

Witam.

Proszę po otrzymaniu tej wiadomości przesłać informację zwrótną na następujący adres e-mail

: janmuszynski20@gmail.com

Polecenie należy wykonać szybko i obowiązkowo. Proszę podać nazwisko, imię oraz klasę.

Po otrzymaniu informacji zwrotnej otrzymasz od nauczyciela następne polecenie do wykonania.

Jan Muszyński



Jan Gocał – absolwent Wydziału Geodezji Górniczej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, jest profesorem zwyczajnym tej uczelni. Od 1962 r. pracuje na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, gdzie kieruje Zakładem Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa. Prowadzi wykłady na studiach dziennych i zaocznych z następujących przedmiotów: geodezja inżynierska, pomiary specjalne, zaawansowane technologie pomiarów inżynierskich, wybrane zagadnienia z geodezji inżyniersko-przemysłowej, skomputeryzowane systemy w pracach pro-

dezyjnych o najwyższej precyzji, oraz seminaria dyplomowe. Wykłada również na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii przedmiot geodezja na kierunku budownictwa. Jest autorem podręczników: *Metody i instrumenty geodezyjne w precyzyjnych pomiarach maszyn i urządzeń mechanicznych* oraz *Geodezja inżyniersko-przemysłowa. Cz. I*, a także współautorem trzech innych podręczników. Był promotorem ponad 400 prac dyplomowych magisterskich i inżynierskich. Wypromował siedmiu doktorów. Przebywał na stażach naukowych: w Moskiewskim Instytucie Inżynierów Geodezji, Aerofotogrametrii i Kartografii, w Institut für Markscheidewesen TU Clausthal w Niemczech oraz na stażu zawodowym w Chicago.

Prowadzi działalność naukową w zakresie problemów występujących w geodezji inżyniersko-przemysłowej oraz geodezyjnych pomiarach przemysłowych i udzialeń ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień występujących przy budowie, montażu i eksploatacji maszyn, urządzeń mechanicznych, budowli inżynierskich i obiektów przemysłowych. Od roku 1990 prowadzi działalność badawczą skoncentrowaną na wykorzystaniu w geodezji: skomputeryzowanych instrumentów i systemów pomiarowych, techniki satelitarnej RTK GPS, techniki termowizyjnej i techniki georadarowej. Kierował pracami naukowo-badawczymi w czterech projektach badawczych finansowanych przez Komitet Badań Naukowych. Opublikował ponad 120 prac. Jest autorem dwóch i współautorem trzech patentów.

Od 1979 r. jest członkiem Komitetu Geodezji PAN. Pełnił funkcję zastępcy dyrektora i dyrektora Instytutu Geodezji Górniczej i Przemysłowej oraz dziekana Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH (w latach 1990–1996 i od roku 2002). Od 1987 r. jest członkiem Senatu AGH. Został odznaczony Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski.

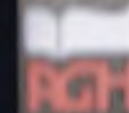
ISBN 83-7464-025-1

Jan Gocał • GEODEZJA INŻYNIERYJNO-PRZEMYSŁOWA • CZĘŚĆ II

JAN GOCAŁ

GEODEZJA INŻYNIERYJNO- -PRZEMYSŁOWA

CZĘŚĆ II



UCZYNIWIĘC LUDYNICTWA NAUKOWO-DYDAKTYCZNE

KRAKÓW 2005

KU 0165 pozycja wydawnictw naukowych
Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie

© Wydawnictwa AGH, Kraków 2005
ISBN 83-7464-001-40165

Redaktor Naczelny Uczelnianych Wydawnictw
Naukowo-Dydaktycznych: *Jan Sas*

Z-ca Redaktora Naczelnego: *Beata Barszczewska-Wojda*

Recenzenci: *dr hab. inż. Aleksander Wodyński, prof. AGH*
prof. dr hab. inż. Bogdan Wolski

Opracowanie edytorskie: *Beata Kalęba*

Redakcja: *Joanna Ciągala*

Projekt okładki, strony tytułowej i redakcja techniczna: *Beata Barszczewska-Wojda*

Na okładce zdjęcie węzła komunikacyjnego w Chicago w USA
Fot. *Jan Gocał*

Rysunki wykonał: *mgr inż. Janusz Malicki*

Skład komputerowy: „Andre”, tel. 012 423-10-10

Redakcja Uczelnianych Wydawnictw Naukowo-Dydaktycznych AGH
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel. 012 617-32-28, tel./fax 012 636-40-38
e-mail: redakcja@wydawnictwoagh.pl
[www. WydawnictwoAGH.pl](http://www.WydawnictwoAGH.pl)

Spis treści

1. Prace geodezyjne w procesie wznoszenia budynków wielokondygnacyjnych	7
1.1. Wprowadzenie	7
1.2. Konstrukcje budynków wielokondygnacyjnych	8
1.3. Pomiary kontrolne form produkcyjnych i elementów prefabrykowanych	18
1.4. Prace geodezyjne przy budowie fundamentów	26
1.5. Obsługa geodezyjna wznoszenia kondygnacji powtarzalnych	32
1.5.1. Przenoszenie osi konstrukcyjnych	33
1.5.1.1. Metoda rzutowania	33
1.5.1.2. Metoda prostej odniesienia	35
1.5.1.3. Metoda pionowania	37
1.5.1.4. Metoda satelitarna GPS	42
1.5.2. Przenoszenie wysokości	42
1.5.3. Ustawianie elementów konstrukcyjnych budynku	44
1.5.4. Pomiary kontrolne	51
1.6. Obsługa geodezyjna montażu prowadnic dźwigowych	55
1.7. Uwagi końcowe	59
Literatura	59
2. Pomiary geodezyjne związane z budową i eksploatacją linii oraz stacji kolejowych	61
2.1. Wiadomości ogólne	61
2.2. Tyczenie tras kolejowych	65
2.2.1. Uwagi o projektowaniu dróg kolejowych	65
2.2.2. Tyczenie podtorza	68
2.2.3. Tyczenie torów	74
2.3. Tyczenie poszerzeń międzytorzy	79
2.3.1. Skrajnia budowli	79
2.3.2. Poszerzanie międzytorza torów równoległych	81

1. Prace geodezyjne w procesie wznoszenia budynków wielokondygnacyjnych

1.1. Wprowadzenie

Stosownie do wymogów ustawy *Prawo budowlane*, wznoszenie obiektów budowlanych, w tym również budynków mieszkalnych oraz budynków użyteczności publicznej, wiąże się z prowadzeniem odpowiedniej obsługi geodezyjnej, która powinna zapewnić uzyskanie pełnej zgodności rzeczywistego i projektowanego kształtu oraz położenia wznoszonego budynku z dokładnością wynikającą z tolerancji budowlano-montażowych. W budownictwie jednorodzinny czynności geodezyjne sprowadzają się do wytyczenia obrysów fundamentów i wykonania geodezyjnej inwentaryzacji po zakończeniu budowy. Natomiast w budownictwie wielokondygnacyjnym cały proces wznoszenia fundamentów i kolejnych kondygnacji odbywa się przy udziale geodetów.

Prace geodezyjne rozpoczyna się od wytyczenia w terenie osi konstrukcyjnych budynku; dokonuje się tego zazwyczaj z wykorzystaniem specjalnej osnowy budowlano-montażowej. Wytyczone i utrwalone osie są sukcesywnie wznawiane w trakcie wykonywania robót ziemnych, wznoszenia fundamentów, inwentaryzacji powykonawczej fundamentów oraz w trakcie wznoszenia i inwentaryzacji kolejnych kondygnacji budynku. Oprócz tyczenia osi konstrukcyjnych wyznacza się też wysokości różnych charakterystycznych poziomów uwidoczniionych w projekcie architektoniczno-budowlanym.

Sposoby wykonywania prac geodezyjnych zapewniających uzyskanie projektowanego przestrzennego położenia elementów konstrukcyjnych budynku dostosowywane są do przyjętej technologii jego budowy. Do niedawna dominowały uprzemysłowione systemy konstrukcyjno-montażowe, w szczególności wielkoblokowe, wielkopłytowe, szkieletowe, a także monolityczne. W ostatnich latach obserwuje się powrót do tradycyjnego wznoszenia murowanych budynków kilkukondygnacyjnych, a jednocześnie wszechstronnie rozwija się systemy szkieletowe, w których elementy nośne wykonywane są z różnego rodzaju materiałów.

1.2. Konstrukcje budynków wielokondygnacyjnych

Do właściwego zorganizowania geodezyjnej obsługi wznoszonych budynków wielokondygnacyjnych i stosowania w kontaktach z kierownictwem budowy poprawnej terminologii budowlanej potrzebna jest wiedza z zakresu budownictwa ogólnego. W tym miejscu przybliżone zostaną jedynie fragmentaryczne informacje z tego zakresu.

Budynki wielokondygnacyjne (rys. 1.1) różnią się wysokością, ukształtowaniem przestrzennym oraz rozwiązaniami konstrukcyjnymi i architektonicznymi. Powtarzalność stosowanych w nich rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych sprzyja uprzemysłowieniu robót budowlanych, polegających na przygotowaniu elementów konstrukcyjnych w wytwórniach i ich montażu na budowie lub też na zmechanizowaniu najbardziej pracochłonnych robót wykonywanych bezpośrednio na budowie. Wysokość takich budynków uzależniona jest od rodzaju materiałów użytych do budowy elementów i konstrukcji nośnych. Budynki ceglane, wieloblokowe i wielopłytowe osiągają zazwyczaj wysokość kilku lub kilkunastu kondygnacji, zaś budynki szkieletowe mogą osiągać wysokość nawet ponad 400 m.



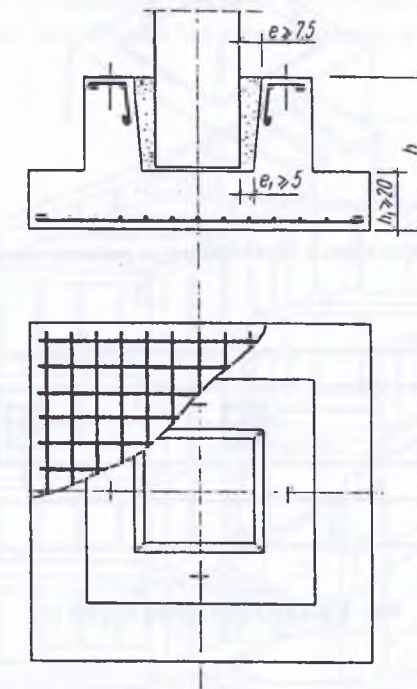
Rys. 1.1. Widok Chicago z wieżowca Sears Roebuck

Postawienie budynku oznacza właściwe usytuowanie w przestrzeni i wzajemne powiązanie elementów i ustrojów nośnych oraz osłonowych i działowych. Elementami są tu: belki, słupy, płyty, zaś ustrojami: ściany, stropy, klatki schodowe.

Elementy i ustroje spełniają określone funkcje:

- wyłącznie konstrukcyjną (fundamenty),
- łącznie konstrukcyjno-osłonową (ściany zewnętrzne).

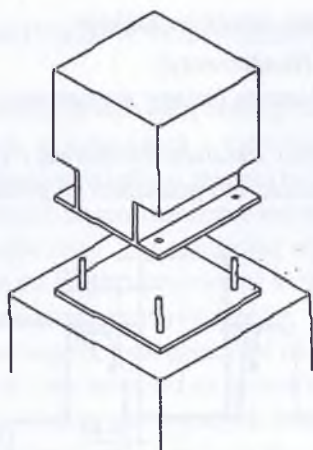
Podstawę każdego budynku stanowią fundamenty posadowione w płytkich lub głębokich wykopach, bezpośrednio lub pośrednio na podłożu gruntowym.



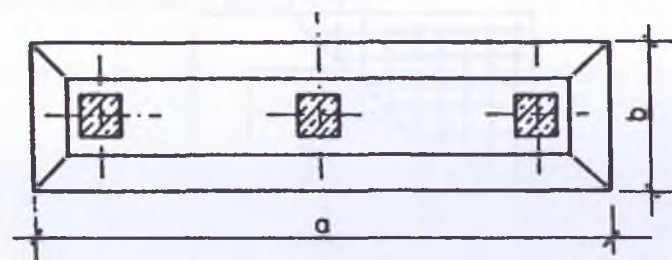
Rys. 1.2. Połączenie słupa ze stopą kielichową [1]

W zależności od warunków wytrzymałościowych gruntu oraz rodzaju konstrukcji nośnej budynku stosuje się następujące rodzaje fundamentów:

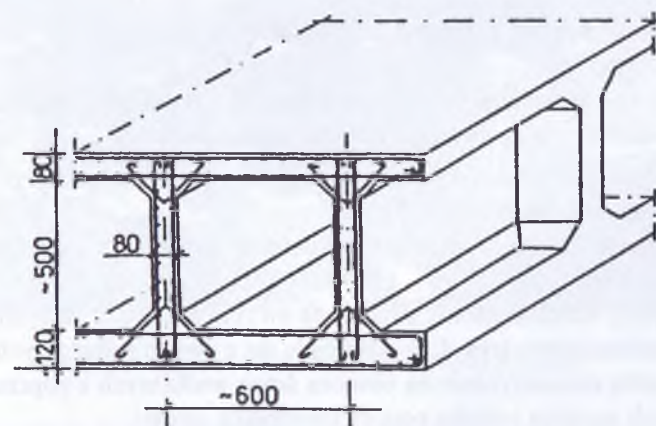
- stopy betonowe pod pojedyncze słupy połączone monolitycznie (rys. 1.2) lub za pomocą złącza stalowego (rys. 1.3);
- ławy pod ściany (ceglane, betonowe, żelbetowe) lub żelbetowe ławy pod szereg słupów (rys. 1.4);
- żelbetowe płyty fundamentowe, stosowane zwykle na bardzo słabych gruntach;
- skrzynie fundamentowe (rys. 1.5) składające się z dwóch żelbetowych płyt powiązanych ze sobą monolitycznie za pomocą ścian podłużnych i poprzecznych rozmieszczonych zgodnie z siatką podpór konstrukcji górnej;
- fundamenty na palach;
- fundamenty na studniach.



Rys. 1.3. Połączenie słupa z fundamentem za pomocą złącza stalowego [1]



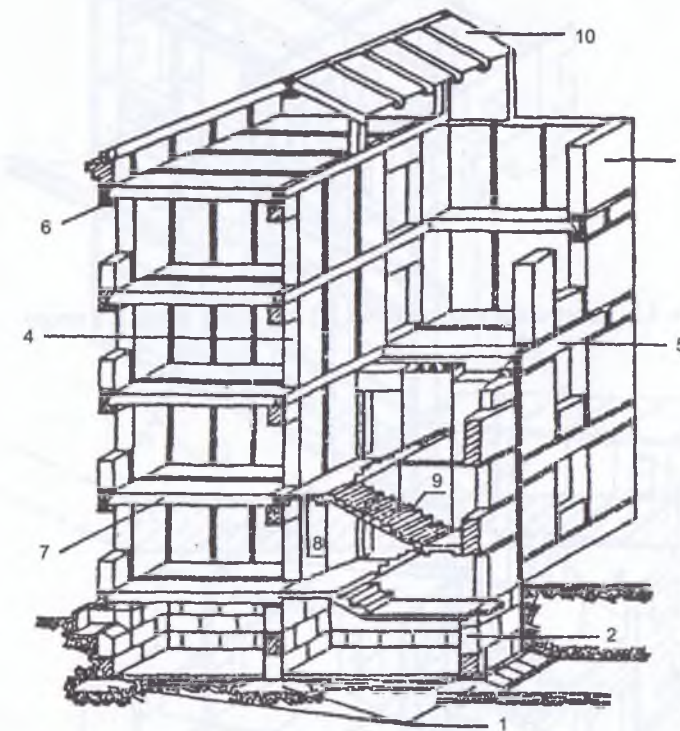
Rys. 1.4. Ława pod szereg słupów [1]



Rys. 1.5. Fragment fundamentu skrzyniowego [6]

Na wykonanych fundamentach wznosi się ustroje nośne budynku w postaci ścian lub konstrukcji szkieletowych. Każda konstrukcja nośna budynku ma zapewnioną stateczność i sztywność dzięki wprowadzeniu poziomych i pionowych przepon usztywniających lub elementów sprężających konstrukcję.

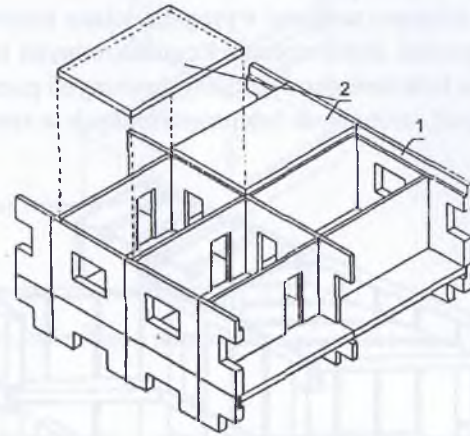
W budynkach ze ścianami nośnymi występują ściany murowane, prefabrykowane lub monolityczne. Ogromna liczba obecnie eksploatowanych budynków wielokondygnacyjnych wznoszona była metodami uprzemysłowionymi pozwalającymi na produkcję elementów ściennych, stropowych lub przestrzennych w tzw. fabrykach domów.



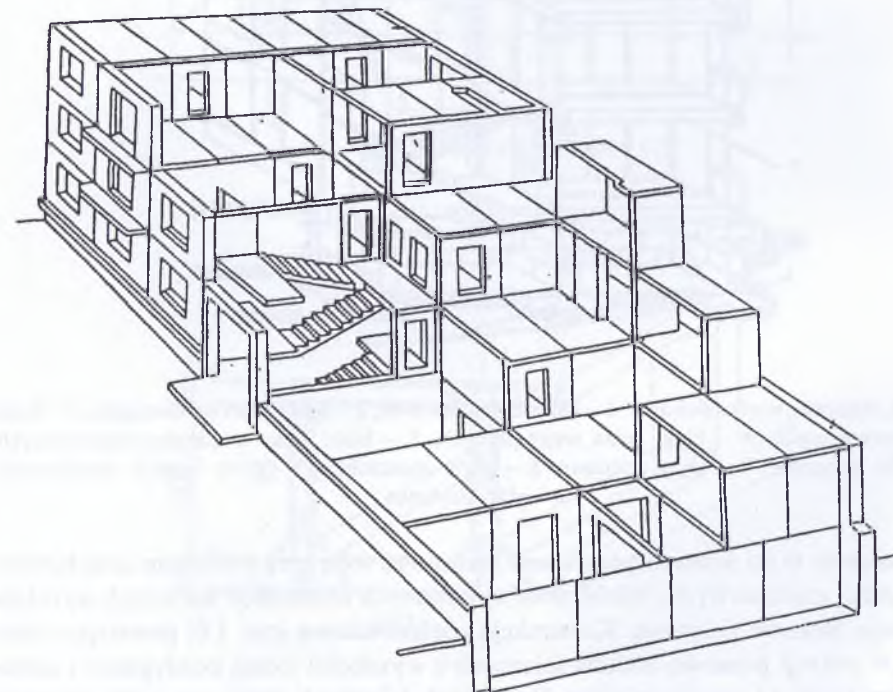
Rys. 1.6. Budynek wieloblokowy: 1 – bloki fundamentowe, 2 – bloki ścian piwnicznych, 3 – bloki ścian zewnętrznych, 4 – bloki ścian wewnętrznych, 5 – bloki ścian międzykondygnacyjnych, 6 – belki gzymsów, 7 – płyty stropowe, 8 – płyty spoczników, 9 – płyty biegów schodowych, 10 – płyty dachowe

Elementy te po przetransportowaniu łączono ze sobą przy znacznym zmechanizowaniu robót montażowych. Wśród prefabrykowanych konstrukcji ściennych wyróżnia się ustroje blokowe i płytowe. Konstrukcje wieloblokowe (rys. 1.6) powstają z ustawienia w pozycji pionowej bloków ściennych o wysokości jednej kondygnacji i szerokości mniejszej od szerokości izby. Na blokach ściennych oparte są prefabrykowane płyty stropowe. Usztywnienie konstrukcji stanowią wylewane na mokro wieńce stropo-

we i słupki narożne, które mają zapewnić współpracę tarcz stropowych i ściennych. Konstrukcje wielopłytowe (rys. 1.7) powstają z ustawienia płyt ściennych o szerokości izby i wysokości kondygnacji, nakrytych płytami stropowymi.



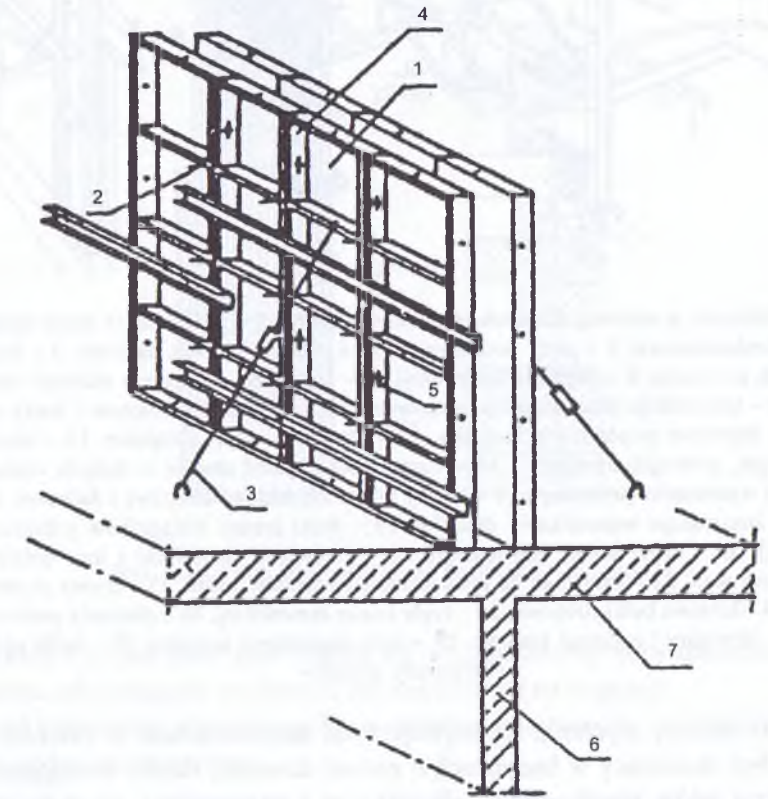
Rys. 1.7. Konstrukcja wielopłykowa [1]: 1 – ściany nośne, 2 – stropy



Rys. 1.8. Schemat konstrukcji z segmentów przestrzennych [10]

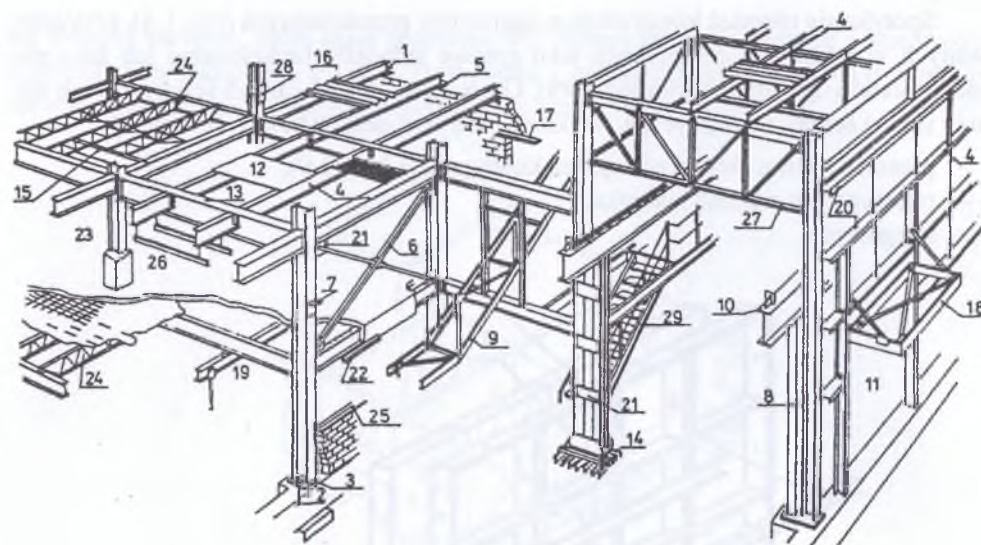
Spotyka się również konstrukcje z segmentów przestrzennych (rys. 1.8), przygotowanych w zakładzie prefabrykacji jako gotowe jednostki funkcjonalne lub jako elementy stanowiące część takiej jednostki. Oprócz prefabrykowanych ścian nośnych stosuje się też ściany monolityczne. Wykonuje się je w deskowaniach (formach):

- przestawnych z niższej na wyższą kondygnację (rys. 1.9),
- przesuwanych wzdłuż budynku,
- ślizgowych.



Rys. 1.9. Deskowanie przestawne: 1 – płyta, 2 – ściąg, 3 – odciąg, 4 – ramka nośna, 5 – łącznik, 6 – ściana, 7 – płyta stropowa

Najpowszechniej stosowanymi ustrojami nośnymi budynków wielokondygnacyjnych i wieżowców są konstrukcje szkieletowe. Zwykle stanowi je układ ram usztywnionych za pomocą stropów. Ustrój szkieletowy eliminuje ściany nośne, które są tu zastępowane lżejszymi ścianami osłonowymi i działowymi. Z uwagi na rodzaj użytego materiału wyróżnia się następujące konstrukcje szkieletowe: drewniane, betonowe monolityczne, betonowe ze sztywnym zbrojeniem, betonowe prefabrykowane, betonowe sprężone i stalowe.

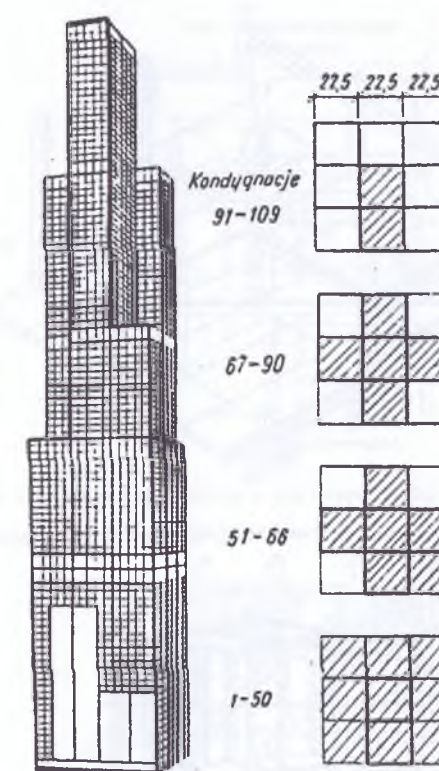


Rys. 1.10. Budynek o stalowej konstrukcji szkieletowej [6]: 1 – zakotwienie belek stropowych, 2 – kotwy fundamentowe, 3 – płyty podstawy słupa, 4 – belki, płatwie, krokwie, 5 – łożyska do oparcia belek na murze, 6 – stężenia konstrukcji, 7 – wsporniki do oparcia różnych elementów, 8 – słupy, 9 – konstrukcje przenośników taśmowych, 10 – belki podsownicowe i kozły oporowe, 11 – otwory drzwiowe w obudowie budynku, 12 – dźwigary i płyty stropowe, 13 – blachownice spawane (rygle, podciągi, dźwigary), 14 – ruszty pod stopami słupów o dużych obciążeniach, 15 – beleczki wymienniki (wymiany), 16 – blachy faliste lub fałdowe stropowe i dachowe, 17 – nadproża, 18 – konstrukcje wspornikowe daszków, 19 – belki jezdne wciągników jednoszynowych (monorelsów), 20 – rygle ściany zewnętrznej, 21 – przewiązki, kątowniki i inne detale łączące elementy konstrukcji, 22 – kątowniki do podwieszenia elementów sufitu, 23 – trzony słupów pełnościennych, 24 – kratowe belki stropowe, 25 – rygle ściany samonośnej, 26 – elementy podwieszonych sufitów, 27 – dźwigary i podciągi kratowe, 28 – styki montażowe śrubowe, 29 – belki policzkowe i balustrady schodów

Szkielet stalowy wyróżnia się największymi możliwościami w zakresie nośności i może być stosowany w budynkach o niemal dowolnej liczbie kondygnacji. Jest to konstrukcja lekka, nieszkodliwie odkształcalna i odznaczająca się dużą sprawnością montażową. Elementy i ustroje tworzące szkielet stalowy wyszczególniono na rysunku 1.10. Szkieletowe konstrukcje stalowe wykorzystuje się do budowy wieżowców. Jednym z nich jest wieżowiec Sears Roebuck w Chicago, o podstawie rozpiętej na siatce kwadratów o wysokości 443 m (rys. 1.11).

Z innych ciekawych rozwiązań stosowanych w budowie wysokich budynków wymienić można:

- budynki trzonowe, w których ustrojem nośnym jest trzon o przekroju koła, trójkąta, kwadratu, wieloboku;
- budynki tarczowe z pionowymi tarczami monolitycznymi;
- budynki filarowe z kilkoma filarami nośnymi.



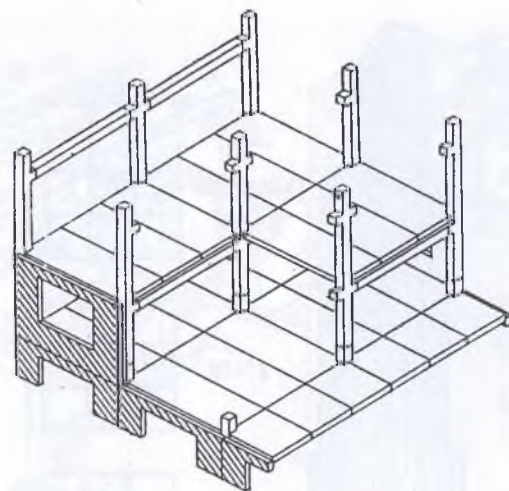
Rys. 1.11. Szkic wieżowca Sears Roebuck w Chicago [1]

W każdym z tych rozwiązań stosuje się najróżniejsze sposoby umocowania stropów poprzez ich podparcie na słupach lub zawieszenie na cięgnach.

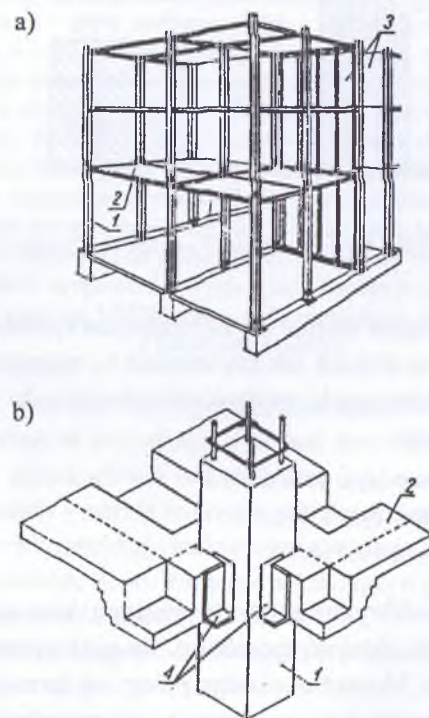
Wśród konstrukcji szkieletowych, szczególnie żelbetowych, wyróżnić można następujące podstawowe systemy:

- systemy słupowo-belkowe (rys. 1.12),
- systemy słupowo-płytowe (rys. 1.13),
- systemy ramowe (rys. 1.14 i 1.15).

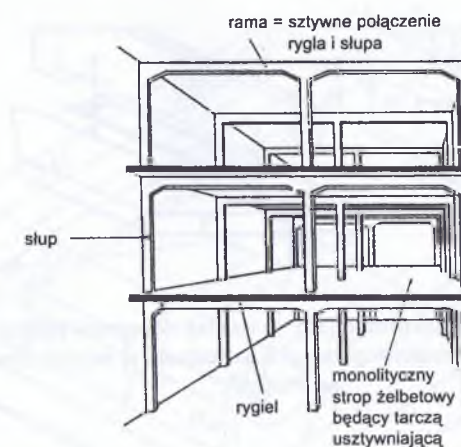
Montaż elementów prefabrykowanych tworzących konstrukcje ścianowe lub szkieletowe można prowadzić różnymi sposobami. Na ogół wyróżnia się montaż swobodny i montaż wymuszony. Montaż swobodny polega na łączeniu elementów prefabrykowanych na tzw. styk prosty. Łączone elementy nie posiadają złącz montażowych ograniczających ich wzajemne przemieszczanie (rys. 1.16). Montaż wymuszony polega na łączeniu elementów konstrukcyjnych w ściśle określonych miejscach przy wykorzystaniu różnego rodzaju złączy montażowych (rys. 1.17).



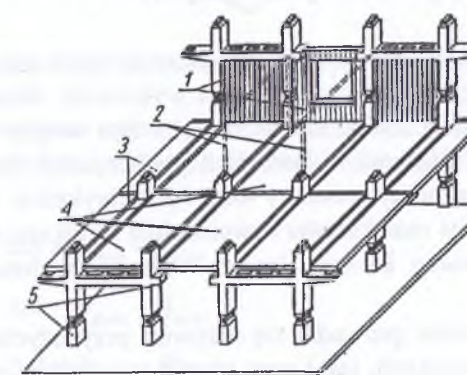
Rys. 1.12. Schemat konstrukcji szkieletowej złożonej z prefabrykowanych słupów i belek [10]



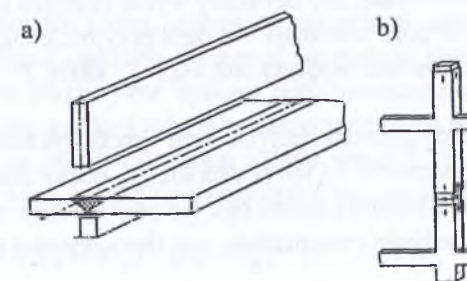
Rys. 1.13. Schemat konstrukcyjny szkieletu prefabrykowanego w układzie słupowo-płytowym (bez-ryglowym) [1]: a) widok ogólny; b) szczegół węzła; 1 – słupy, 2 – płyta stropowa, 3 – pionowe przepony usztywniające, 4 – stalowe złącza stolikowe



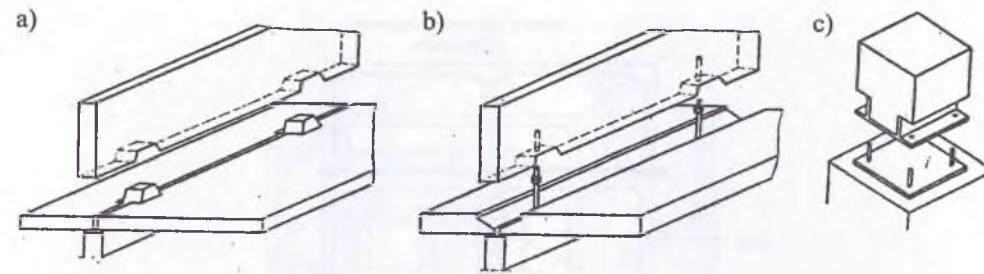
Rys. 1.14. Schemat szkieletu z ram bezprzegubowych [6]



Rys. 1.15. Fragment konstrukcji szkieletowej z ram H [10]: 1 – przepony poprzeczne usztywniające konstrukcję budynku, 2 – przepony podłużne, 3 – płyty stropowe wąskie, 4 – płyty stropowe szerokie, 5 – ramy H ze wspornikami



Rys. 1.16. Zasada montażu swobodnego [10]: a) montaż elementów płytowych; b) montaż elementów słupowych



Rys. 1.17. Zasada montażu wymuszonego [10]: a) montaż elementów płytowych na występach rektyfikacyjnych; b) montaż elementów płytowych na śrubach; c) montaż elementów słupowych na śrubach

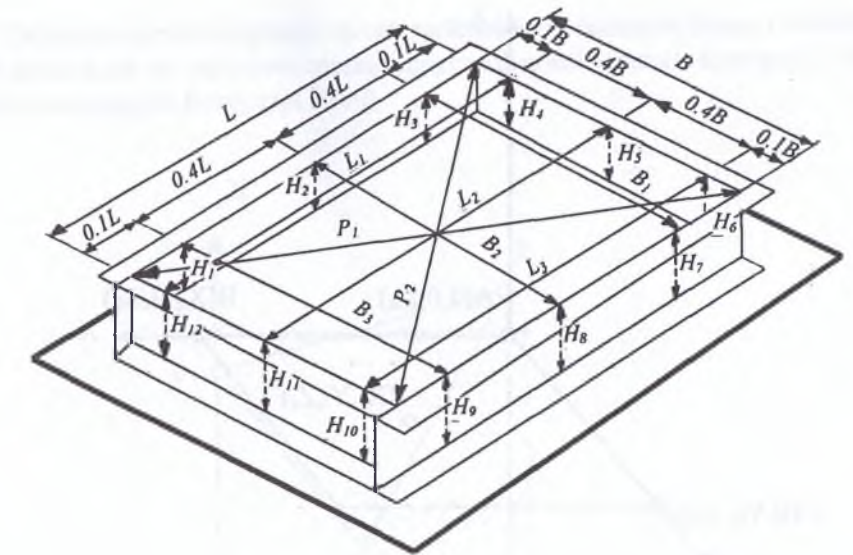
1.3. Pomiary kontrolne form produkcyjnych i elementów prefabrykowanych

W budownictwie uprzemysłowionym, charakteryzującym się wysokim stopniem prefabrykacji, zwraca się szczególną uwagę na wykonanie elementów prefabrykowanych, gdyż od nich zależy dokładność montażu, a tym samym wytrzymałość konstrukcji nośnej budynku. Stąd też w zakładach prefabrykacji służby kontroli technicznej prowadzą różnego rodzaju pomiary form i prefabrykatów. Celem tych pomiarów jest kontrola wymiarów oraz kształtu i ewentualnie wynikająca z niej rektyfikacja form produkcyjnych, a także kontrola losowo wybranych elementów prefabrykowanych.

Takie pomiary kontrolne prowadzi się zarówno przy użyciu klasycznych metod i instrumentów geodezyjnych, jak i przy użyciu przyrządów specjalnych. Wśród przyrządów specjalnych opisanych w [10] wyszczególnić można: przymiar taśmowy, przymiar sztywny, głębokościomierz suwmiarkowy, średnicówkę, kasetomierz, przyrząd strunowy, płytomierz, przyrząd laserowy. Pomiary wykonywane instrumentami geodezyjnymi i przyrządami klasycznymi muszą być prowadzone z dokładnością pozwalającą na stwierdzenie, czy uzyskany wynik pomiaru l , rzeczywistej wielkości wymiaru, mieści się w polu tolerancji. Na ogół przyjmuje się, że graniczny błąd takiego pomiaru nie powinien być większy niż $\pm 0,1 T$, gdzie T – oznacza wielkość tolerancji.

Bezpośredni pomiar cech geometrycznych form i prefabrykatów pozwala na ustalenie wartości odchyłek i dokonanie na ich podstawie np. oceny dokładności produkowanych elementów. Bieżąca kontrola może być też prowadzona przy użyciu sprawdzianów umożliwiających jedynie stwierdzenie, czy dany wymiar mieści się w granicach tolerancji.

Pomiary form wykonuje się w odpowiednio dobranych miejscach i w sposób zapewniający ścisłe określenie wszystkich cech geometrycznych formy.



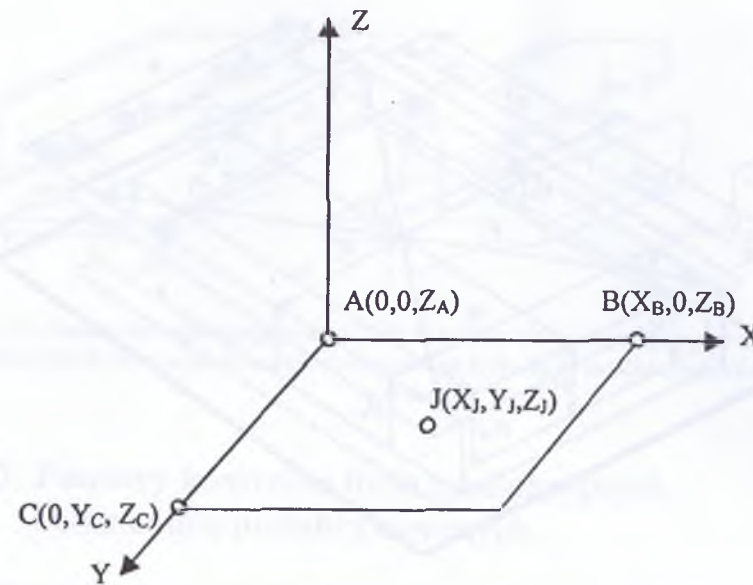
Rys. 1.18. Bezpośredni pomiar cech geometrycznych form lub prefabrykatów

Sposób postępowania wyjaśniony zostanie dla przykładowo przyjętej prostopadłościenniej formy płaskiej (rys. 1.18). Odchyłki od wymiarów podstawowych oblicza się z zależności:

$$\begin{aligned} \Delta L &= L_{pom} - L_{nom} \\ \Delta B &= B_{pom} - B_{nom} \\ \Delta P &= P_{pom} - P_{nom} \\ \Delta H &= H_{pom} - H_{nom} \end{aligned} \quad (1.1)$$

Odchyłki od płaskości ΔZ wyznacza się w oparciu o wysokości punktów reprezentujących powierzchnię dna poziomo ustawionej formy. Punkty takie pokrywają równomiernie powierzchnię dna formy, stanowiąc najczęściej naroża siatki kwadratów. Wysokości obserwowanych punktów wyznacza się metodą niwelacji geometrycznej. Następnie definiuje się płaszczyznę bazową jako płaszczyznę przechodzącą przez trzy narożne punkty. W przypadku formy o kształcie prostokąta przyjęte trzy punkty A, B, C można usytuować na osiach lokalnego układu współrzędnych (rys. 1.19). Wówczas wysokość Z_j dowolnego punktu tej płaszczyzny wyznacza się z zależności

$$\begin{vmatrix} (X_B - X_A) & (Y_B - Y_A) & (Z_B - Z_A) \\ (X_C - X_A) & (Y_C - Y_A) & (Z_C - Z_A) \\ (X_j - X_A) & (Y_j - Y_A) & (Z_j - Z_A) \end{vmatrix} = 0 \quad (1.2)$$



Rys. 1.19. Płaszczyzna bazowa dna formy

Po uwzględnieniu przyjętych założeń $X_A=0$, $Y_A=0$, $Y_B=0$, $X_C=0$ równanie (1.2) przyjmuje postać

$$\begin{vmatrix} X_B & 0 & (Z_B - Z_A) \\ 0 & Y_C & (Z_C - Z_A) \\ X_J & Y_J & (Z_J - Z_A) \end{vmatrix} = 0 \quad (1.3)$$

zaś po przekształceniach uzyskuje się

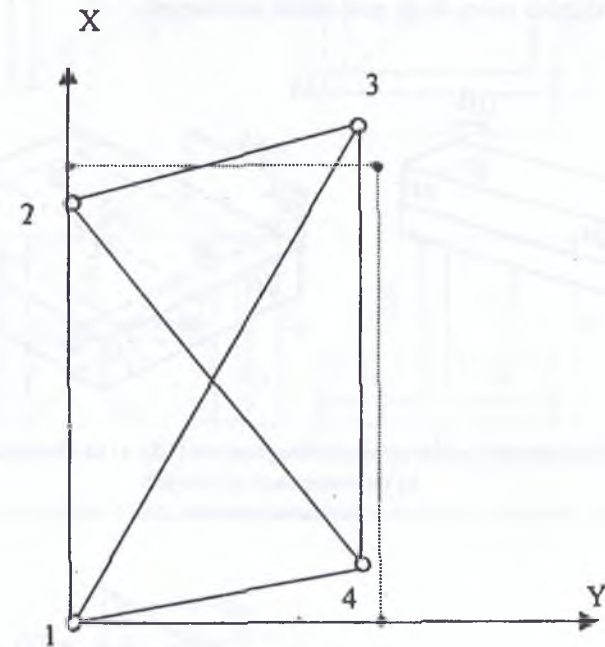
$$Z_J = Z_A + X_J \frac{\Delta Z_{BA}}{X_B} + Y_J \frac{\Delta Z_{CA}}{Y_C} \quad (1.4)$$

Jeśli zatem wysokość dowolnego punktu J reprezentującego powierzchnię dna formy oznaczy się przez \bar{Z}_J , to odchyłka od płaszczyzny w tym punkcie wyrażona jest zależnością

$$\Delta Z_J = \bar{Z}_J - Z_A - X_J \frac{\Delta Z_{BA}}{X_B} - Y_J \frac{\Delta Z_{CA}}{Y_C} \quad (1.5)$$

Odchyłki od prostoliniowości ΔK dowolnej krawędzi formy wyznacza się metodą prostej odniesienia przechodzącej przez skrajne punkty krawędzi.

Odchyłki od równoległości i prostokątności ścian bocznych formy (krawędzi formy) oblicza się na podstawie pomierzonych długości czterech krawędzi i długości dwóch przekątnych formy (rys. 1.20).



Rys. 1.20. Wyznaczanie poprawek trasowania formy prostokątnej

Dla pomierzonych odległości i przyjętego układu współrzędnych (rys. 1.20) układają się równania obserwacyjne typu

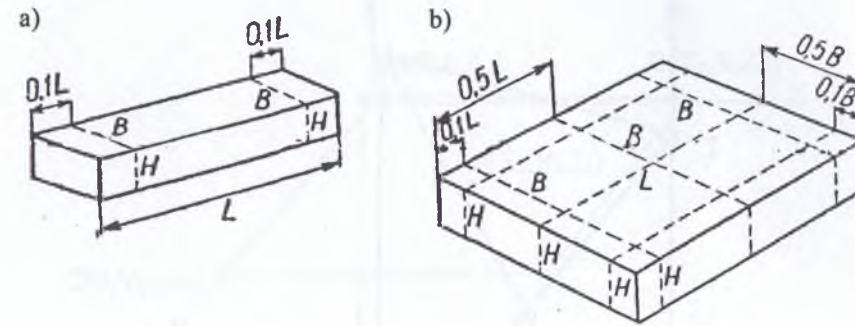
$$v_d = \begin{vmatrix} dX_P & dY_P \\ -\cos \varphi_{PK} & -\sin \varphi_{PK} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} dX_K & dY_K \\ \cos \varphi_{PK} & \sin \varphi_{PK} \end{vmatrix} + d_{nom} - d_{obs} \quad (1.6)$$

gdzie:

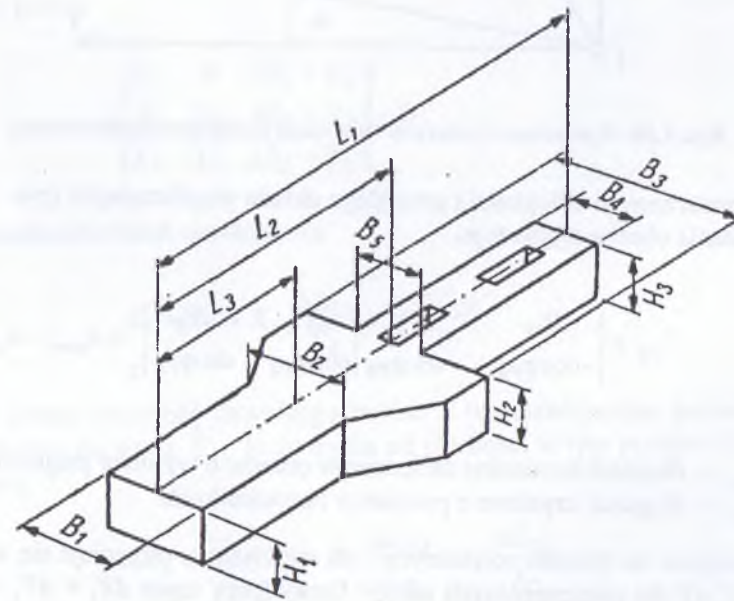
- d_{nom} – długości nominalne obliczone w oparciu o wymiary projektowe formy,
- d_{obs} – długości uzyskane z pomiarów bezpośrednich.

Po przejściu do równań normalnych i ich rozwiązaniu otrzymuje się wartości poprawek dX , dY dla poszczególnych naroży formy (przy czym $dX_1 = dY_1 = dY_2 = 0$). Poprawki dX , dY są różnicami między nominalnymi (projektowanymi) i rzeczywistymi współrzędnymi punktów narożnych formy i mogą być wykorzystane do skorygowania kształtu formy.

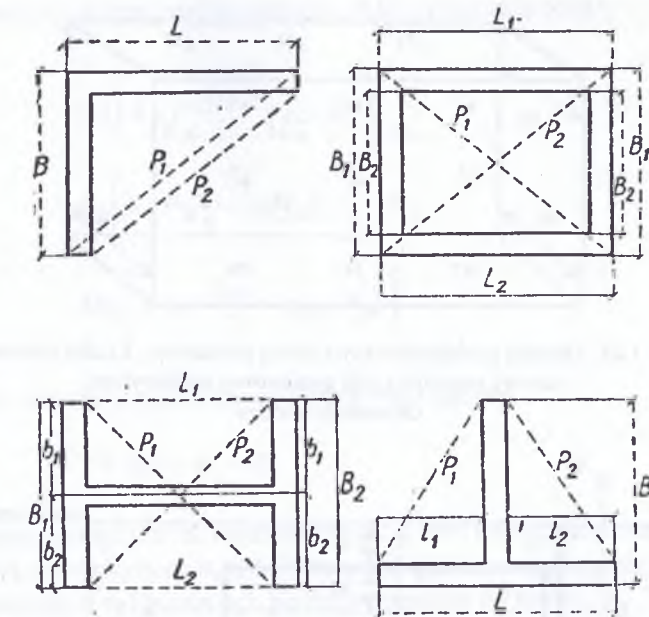
W podobny do przedstawionego sposób można ocenić kształt i wymiary innych form produkcyjnych, a także elementów prefabrykowanych. Miejsca wyznaczania wymiarów podstawowych niektórych prefabrykatów w ich położeniu poziomym przedstawiono na rysunkach: 1.21, 1.22, 1.23. Na rysunku 1.24 zilustrowano sposób kontroli równoległości słupów ramy w jej położeniu pionowym.



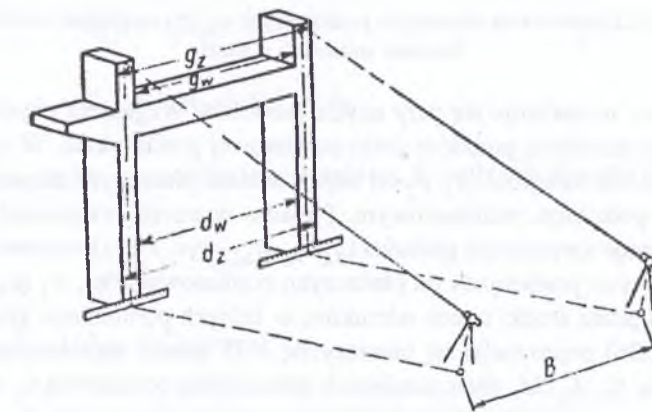
Rys. 1.21. Usytuowanie przekrojów metrologicznych [10]: a) na elementach słupowych; b) na elementach płytowych
Objaśnienia w tekście



Rys. 1.22. Pomiary kontrolne wymiarów podstawowych słupa ze wspornikami [10]
Objaśnienia w tekście

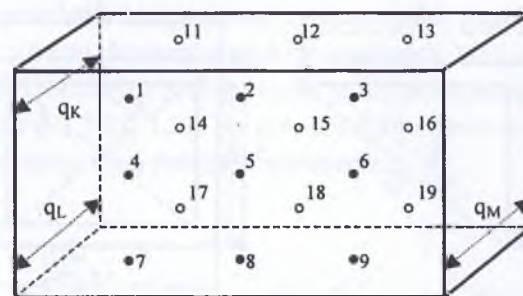


Rys. 1.23. Pomiary kontrolne wymiarów podstawowych w ramach otwartych i zamkniętych [10]

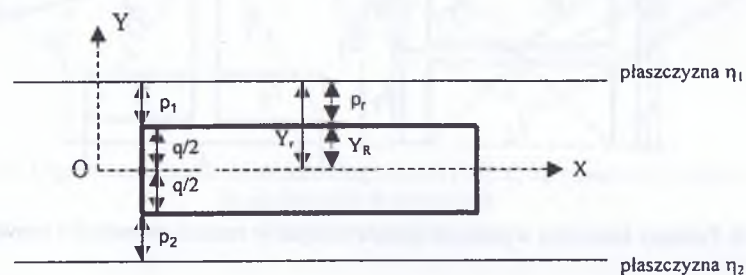


Rys. 1.24. Kontrola równoległości słupów metodą rzutowania [10]

Płaszczyznowość powierzchni i grubość prefabrykowanych ram i płyt można wyznaczyć, postępując w sposób przedstawiony w [7]. Element prefabrykowany z siatką pomiarową naniesioną na jego przeciwległych powierzchniach (rys. 1.25) ustawia się na stabilnym podłożu w pozycji pionowej. Z obydwu stron prefabrykatu sytuuje się dwie pionowe płaszczyzny pomiarowe w przybliżeniu równoległe do jego powierzchni (rys. 1.26).



Rys. 1.25. Element prefabrykowany z siatką pomiarową. Liczby oznaczają numery punktów siatki pomiarowej prefabrykatu
Objaśnienia w tekście



Rys. 1.26. Usytuowanie płaszczyzn pomiarowych η_1 i η_2 względem prefabrykatu
Pozostałe objaśnienia w tekście

Płaszczyzny te realizuje się przy użyciu teodolitu. Względem obydwu płaszczyzn η_1, η_2 ustala się położenie punktów siatki pomiarowej prefabrykatu. W tym celu wykonuje się pomiar ich odległości p_1, p_2 od odpowiednich płaszczyzn za pomocą teodolitu i przymiaru z podziałem milimetrowym. Ponadto w trzech przekrojach prefabrykatu (K, L, M) dokonuje się pomiaru grubości (q_K, q_L, q_M - rys. 1.25) i wyznacza się odległości punktów w tych przekrojach od płaszczyzn pomiarowych η_1, η_2 ($p_{K1}, p_{K2}, p_{L1}, p_{L2}, p_{M1}, p_{M2}$). Jeśli przez środki trzech odcinków, w których pomierzono grubości q prefabrykatu (rys. 1.26) poprowadzi się płaszczyznę XOY układu współrzędnych, to współrzędne punktów K_1, L_1, M_1 wyznaczających płaszczyznę pomiarową η_1 są następujące:

$$\begin{aligned} K_1 & \left[X_K; \frac{q_K}{2} + p_{K1}; Z_K \right] \\ L_1 & \left[X_L; \frac{q_L}{2} + p_{L1}; Z_L \right] \\ M_1 & \left[X_M; \frac{q_M}{2} + p_{M1}; Z_M \right] \end{aligned} \quad (1.7)$$

Płaszczyznę η_2 w tym samym układzie XOZ wyznaczają punkty o współrzędnych:

$$\begin{aligned} K_2 & \left[X_K; -\frac{q_K}{2} - p_{K2}; Z_K \right] \\ L_2 & \left[X_L; -\frac{q_L}{2} - p_{L2}; Z_L \right] \\ M_2 & \left[X_M; -\frac{q_M}{2} - p_{M2}; Z_M \right] \end{aligned} \quad (1.8)$$

Równanie dowolnej płaszczyzny wyraża wzór ogólny

$$Y = \alpha X + \gamma Z + \delta \quad (1.9)$$

Wstawiając do tego wzoru współrzędne (1.7) lub (1.8) uzyskuje się dwa oddzielne układy równań niewiadomych α, γ, δ . Po ich rozwiązaniu otrzymuje się szukane współczynniki występujące w równaniach płaszczyzn pomiarowych η_1, η_2 . Teraz dla każdego punktu $R(X_R, Z_R)$ siatki można na podstawie równania płaszczyzny pomiarowej (1.9), znaleźć odległości Y_r (rys. 1.26) punktów tej płaszczyzny od odpowiadających im punktów płaszczyzny XOZ . Odległości te oblicza się według wzorów:

$$Y_{r,1} = \alpha_1 X_R + \gamma_1 Z_R + \delta_1 \quad (1.10)$$

$$Y_{r,2} = \alpha_2 X_R + \gamma_2 Z_R + \delta_2$$

Następnie znajduje się odległości punktów R siatki od płaszczyzny XOZ według formuły:

$$Y_{R1} = Y_{r,1} - p_{r,1} \quad (1.11)$$

$$Y_{R2} = Y_{r,2} - p_{r,2}$$

gdzie p_r jest odległością odczytaną na podziałce milimetrowej.

Na podstawie tych odległości wyznacza się grubość prefabrykatu

$$q_R = Y_{R1} - Y_{R2} \quad (1.12)$$

W celu wyznaczenia odchyłek od płaskości ustala się dwie płaszczyzny odniesienia. Jedną z nich może być na przykład płaszczyzna przechodząca przez punkty 1, 3, 8

(rys. 1.25), a drugą płaszczyzna do niej równoległa i oddalona o średnią grubość prefabrykatu

$$q_{sr} = \frac{\sum_{R=1}^n q_R}{n}$$

Korzystając ze współrzędnych punktów 1, 3, 8 ustala się równanie płaszczyzny odniesienia

$$Y_{RI} = \alpha_r X_R + \gamma_r Z_R + \delta_r \quad (1.13)$$

a następnie oblicza się odchyłki od płaskości, czyli

$$t_{RI} = Y_{RI} - Y_{RI} \quad (1.14)$$

Odchyłki od płaskości drugiej strony prefabrykatu wyznacza się z wzoru

$$t_{RII} = q_R - (t_{RI} + q_{sr}) \quad (1.15)$$

Badania cech geometrycznych prefabrykatów prowadzi się w celu stwierdzenia, czy spełniają one ustalone wymagania. Ze względu na dużą liczebność każdej wyprodukowanej partii elementów przeprowadza się statystyczną kontrolę dokładności ich wykonania polegającą na przebadaniu tylko wybranej części elementów, zwanej próbą. Sposoby wyboru elementów i liczebności próby określone są według zasad przyjętych w statystycznej kontroli jakości. Na podstawie określonych cech wylosowanej liczby elementów wyprowadza się wnioski dotyczące rozważanych cech również dla pozostałych niezbadanych elementów całej zbiorowości. Pomiarów cech geometrycznych prefabrykatów tworzących próbę prowadzi się metodami geodezyjnymi lub metodami fotogrametrycznymi.

1.4. Prace geodezyjne przy budowie fundamentów

Podstawowym dokumentem, umożliwiającym przygotowanie danych do wytyczenia budynku, jest projekt zagospodarowania działki lub terenu sporządzony na aktualnej mapie, której skala nie powinna być mniejsza niż odpowiednio: 1:500 i 1:1000. Projekt zagospodarowania obejmuje granice działki lub terenu przeznaczonego pod zabudowę: usytuowanie, wymiary, rzędne projektowanych budynków oraz ich odległości do istniejącej i projektowanej zabudowy terenów sąsiednich, a także sieci uzbrojenia terenu, układ komunikacyjny, układ zieleni i inne.

Każdy projekt zagospodarowania działki lub terenu jest opracowywany geodezyjnie w sposób zapewniający przygotowanie danych do tyczenia w oparciu o istniejącą w terenie osnowę geodezyjną. Punkty tej osnowy powinny być naniesione na mapach przeznaczonych do sporządzania projektów. Geodezyjne opracowanie projektu zagospodarowania terenu będzie na ogół polegać na wyznaczeniu współrzędnych głównych i charakterystycznych punktów obiektów budowlanych w układzie współrzędnych istniejącej osnowy geodezyjnej. Uzyskanie tych współrzędnych jest możliwe w postępowaniu jedno- lub dwuetapowym. W pierwszym z nich wyznacza się współrzędne dwóch punktów budynku lub zespołu budynków w układzie współrzędnych istniejącej osnowy geodezyjnej, wykorzystując do tego celu miary graficzne wzięte z mapy. W dowiązaniu do tych dwóch punktów wyznacza się współrzędne pozostałych punktów projektu w oparciu o miary podane przez projektanta i uwidocznione na mapie zagospodarowania terenu.

Postępowanie dwuetapowe wskazane jest wówczas, gdy projekt zagospodarowania dotyczy budowy osiedla mieszkaniowego lub zespołu kilku budynków. Wówczas współrzędne głównych i charakterystycznych punktów projektu wyznacza się w układzie lokalnym w oparciu o miary podane przez projektanta. Jedną z osi układu lokalnego pokrywa się najczęściej z osią głównej ulicy. Przeliczenia tych współrzędnych z układu lokalnego do układu osnowy geodezyjnej dokonuje się metodą transformacji przy wykorzystaniu dwóch lub większej liczby punktów dostosowania, posiadających współrzędne w obydwu układach. Odpowiednie równania aproksymacyjne, na podstawie których oblicza się współczynniki transformacji, mają postać:

$$v_{xi} = x_o + x'_i \cos \varphi - y'_i \sin \varphi - x_i \quad (1.16)$$

$$v_{yi} = y_o + x'_i \sin \varphi + y'_i \cos \varphi - y_i$$

a współrzędne punktów projektu w układzie terenowym oblicza się ze wzorów:

$$x_i = x_o + x'_i \cos \varphi - y'_i \sin \varphi \quad (1.17)$$

$$y_i = y_o + x'_i \sin \varphi + y'_i \cos \varphi$$

gdzie:

- x_o, y_o – translacja układów,
- φ – kąt skręcenia układów,
- $x'_i, y'_i; x''_i, y''_i$ – współrzędne punktów dostosowania w układzie, odpowiednio, terenowym i lokalnym.

W najprostszym przypadku punktami dostosowania mogą być punkty istniejącej i uwidocznionej na mapie osnowy geodezyjnej, dla których wyznaczone zostały współrzędne w układzie lokalnym z wykorzystaniem odpowiednich miar graficznych.

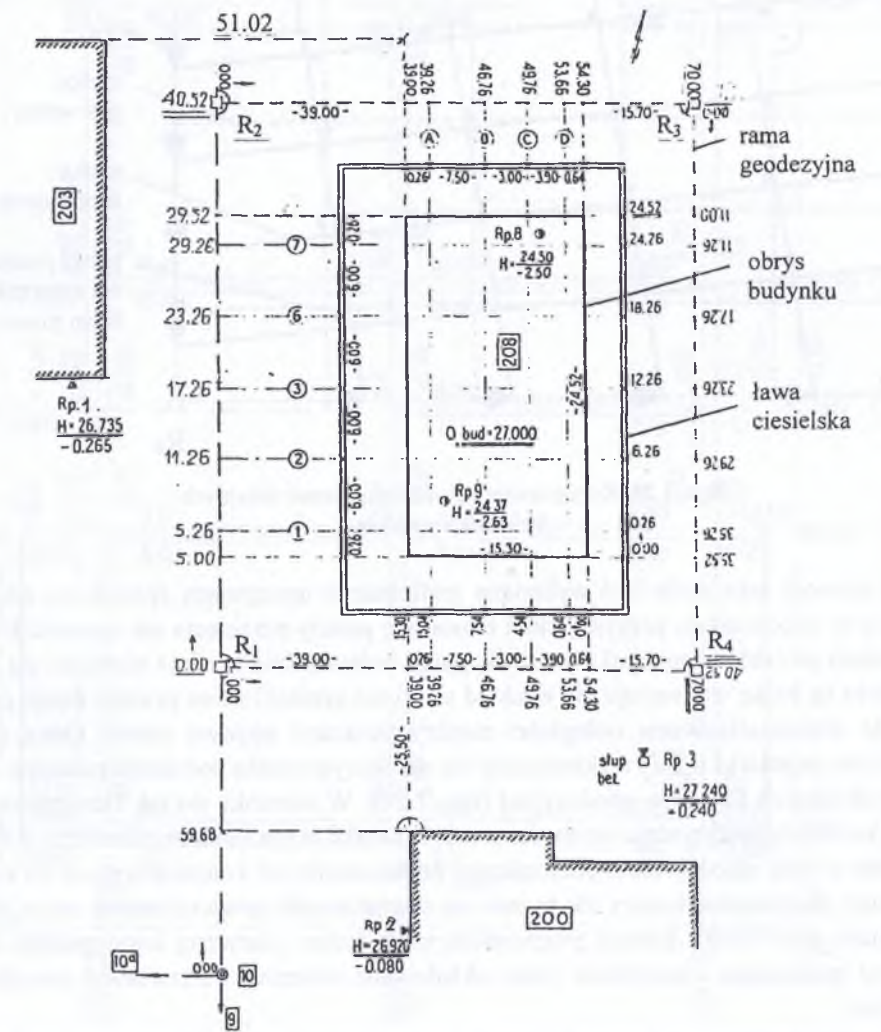
Na podstawie współrzędnych głównych i charakterystycznych punktów projektu zagospodarowania terenu i współrzędnych punktów osnowy geodezyjnej, podanych w jednym układzie odniesienia, przygotowuje się dane do tyczenia. Rodzaj tych danych zależy od rodzaju i jakości posiadanych instrumentów i przyjętego sposobu tyczenia. W dobie korzystania z oprogramowanych tachymetrów elektronicznych przygotowanie danych sprowadza się do zapisu w pamięci instrumentu współrzędnych punktów tycznych i punktów osnowy geodezyjnej oraz opcjonalnego wybrania metody tyczenia. Najczęściej korzysta się z różnych odmian metody biegunowej, uzyskując właściwe położenie punktu tycznego poprzez przesuwanie przyzmatu o wielkości odchyłek kątowych i liniowych wykazywanych na wyświetlaczu tachymetru.

Wznoszenie każdego budynku rozpoczyna się od wykonania wykopów pod fundamenty, stąd też pierwszą czynnością geodezyjną jest wytyczenie punktów obrysu, czyli lokalizacja tego budynku w terenie.

Jeśli nie przewiduje się geodezyjnej obsługi wznoszenia budynku, to wytyczenie obrysu powinno być wykonane z wysoką dokładnością wewnętrzną, zgodnie z normami wykonania fundamentów. Uzyskanie takiej dokładności wymaga stosowania odpowiedniej procedury tyczenia. Najczęściej, aby wyeliminować wpływ błędów osnowy realizacyjnej, tyczy się z niej tylko dwa punkty obrysu budynku, a następnie w oparciu o nie drogą rozwinięcia tyczy się pozostałe punkty obrysu. Po wytyczeniu obrysu przeprowadza się kontrolę poprawności tyczenia, polegającą na sprawdzeniu wymiarów obrysu i długości przekątnych. Oprócz skontrolowania wewnętrznej zgodności wytyczonego budynku sprawdza się również jego lokalizację w stosunku do innych obiektów istniejących w terenie, głównie poprzez pomiar odległości między wybranymi punktami. Ta kontrola musi być wykonana szczególnie dokładnie, gdy budynek tyczny powiązany jest funkcjonalnie z budynkami sąsiednimi. Z opisanego wyżej sposobu tyczenia można zrezygnować, jeśli korzysta się z osnowy realizacyjnej o wysokiej precyzji. Wówczas wszystkie punkty obrysu budynku można tyczyć bezpośrednio z punktów osnowy realizacyjnej. Wytyczone punkty obrysu znajdują się na obszarach przyszłych robót ziemnych i budowlanych i dlatego oprócz nich tyczy się jeszcze tzw. punkty zabezpieczające (odniesienia), zlokalizowane na liniach będących przedłużeniami odcinków prostych łączących sąsiednie punkty obrysu ze sobą. Punkty te najczęściej przeniesione na ławy ciesielskie, wykorzystane zostaną przy wznoszeniu fundamentów i kontroli ich kształtu.

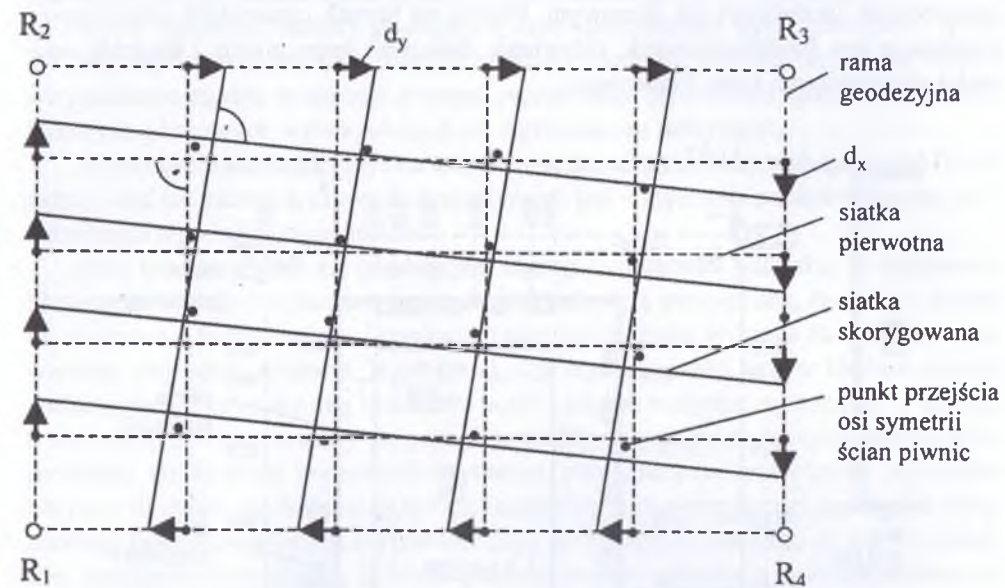
Inny tok tyczenia lokalizującego stosuje się w sytuacji, gdy wznoszenie budynku podlega stałej obsłudze geodezyjnej. Najpierw w oparciu o osnowę geodezyjną tyczy się punkty obrysu budynku potrzebne tylko do wykonania robót ziemnych. W tej fazie nie jest wymagana wysoka dokładność tyczenia punktów obrysu. Natomiast po wykonaniu robót ziemnych wszystkie osie konstrukcyjne budynku, a więc i wyznaczające je punkty, muszą być wytyczone z wysoką dokładnością wewnętrzną. Tyczenie osi rozpoczyna się od wyznaczenia ramy geodezyjnej okalającej wznoszony budynek (rys. 1.27), związanej geometrycznie z układem osi konstrukcyjnych. Ramę lokalizuje się w terenie poprzez dowiązanie jednego z jej boków (np. $R_3 - R_4$) do istniejącej osno-

wy realizacyjnej. Na tym boku rozwija się całą ramę, odkładając kąty proste i ustalone długości boków rami. Po utrwaleniu punktów rami wykonuje się pomiary kątów i długości, obliczając na ich podstawie poprawki trasowania oraz korygując pierwotne położenie znaków $R_1 - R_4$. Na bokach rami tyczy się punkty, utrwalając podłużne i poprzeczne osie konstrukcyjne, a z tych punktów przenosi się osie na ciągle lub przerywane ławy ciesielskie. Punkty osi oraz punkty obrysu utrwalają się gwoździami i opisuje oznaczeniem liczbowym lub literowym. Punkty na ławach ciesielskich umożliwiają lokalizację ław fundamentowych, ustawienie deskowań ścian piwnic i kontrolę osiowości zbudowanych ścian fundamentu.



Rys. 1.27. Tyczenie osi konstrukcyjnych na ławach ciesielskich (szkic terenowy)

Przed położeniem stropu na ścianach fundamentu wykonuje się pomiar kontrolny usytuowania osi symetrii wybudowanych ścian względem osi konstrukcyjnych utrwalonych na ramie geodezyjnej. Jeśli między położeniami tych osi wystąpią zbyt duże odchyłki, wówczas układ osi konstrukcyjnych dopasowuje się do układu osi symetrii ścian fundamentu poprzez jego przesunięcie i skrócenie.

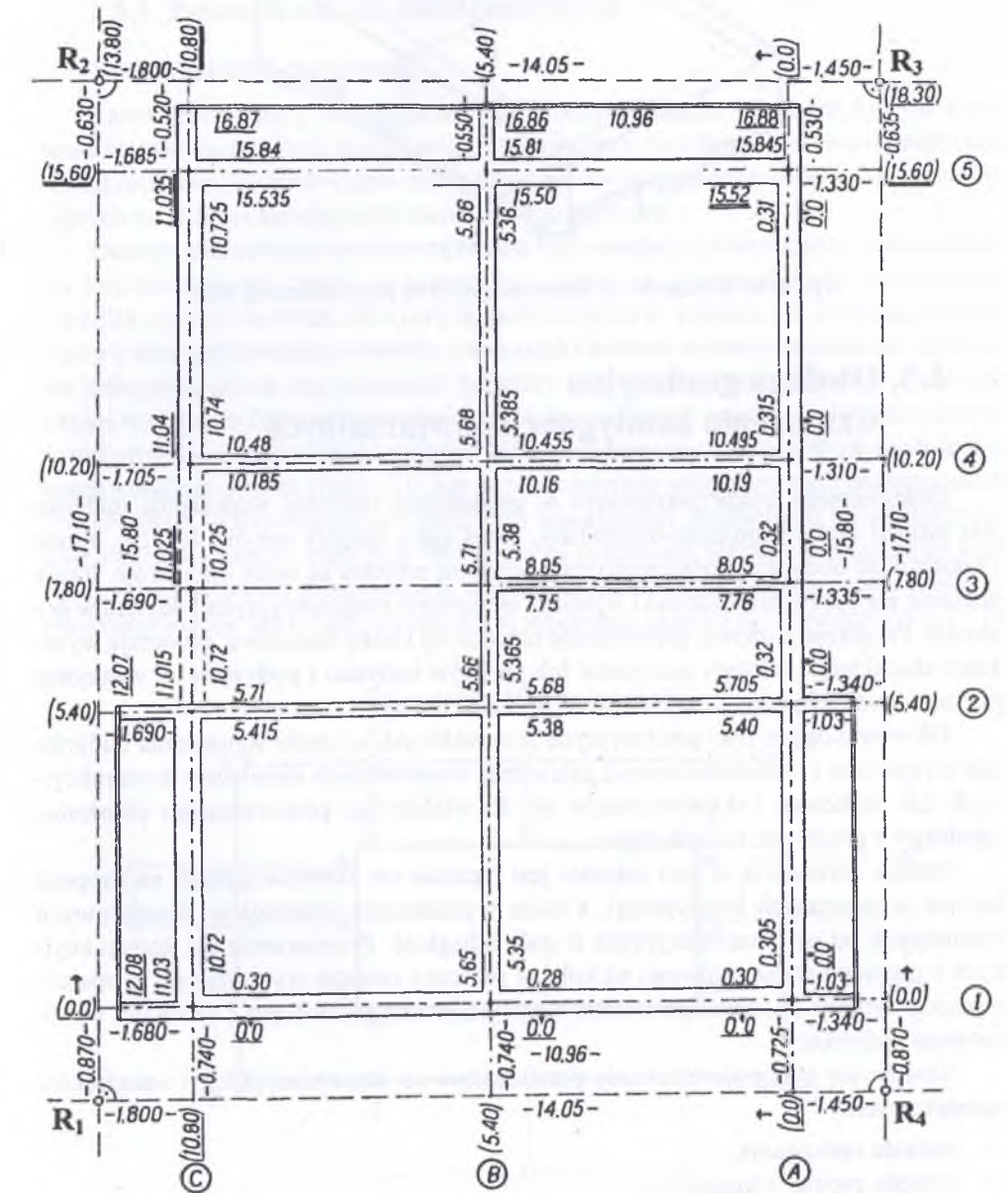


Rys. 1.28. Korygowanie położenia osi konstrukcyjnych
Objaśnienia w tekście

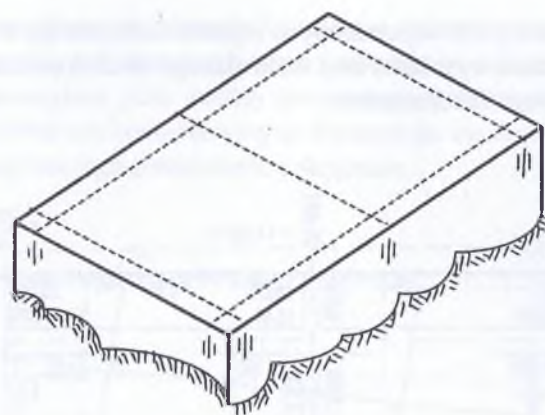
Czynność taka może być wykonana graficznie w następujący sposób: na arkusz papieru w odpowiednio przyjętej skali nanosi się punkty przecięcia osi symetrii ścian względem projektowanej siatki konstrukcyjnej. Jednocześnie tę samą siatkę po jej naniesieniu na kalkę wpasowuje się w układ siatki osi symetrii ścian piwnic, dążąc przy tym do zminimalizowania odległości między punktami obydwu siatek. Odczytane graficznie poprawki d_x , d_y wykorzystuje się do skorygowania położenia punktów osi konstrukcyjnych na ramie geodezyjnej (rys. 1.28). W stosunku do tak skorygowanej siatki konstrukcyjnej podaje się usytuowanie krawędzi ścian fundamentów (rys. 1.29). Ponadto w celu umożliwienia późniejszego przeniesienia osi konstrukcyjnych na kondygnacje powtarzalne oznacza się te osie na zewnętrznych powierzchniach ścian fundamentów (rys. 1.30). Później przenosi się je na ściany pierwszej kondygnacji, aby uniknąć zasłaniania wskaźników przez składowane materiały budowlane i pracujące maszyny.

Oprócz tyczenia osi konstrukcyjnych prowadzi się również wysokościową obsługę wznoszenia fundamentów w nawiązaniu do reperów roboczych usytuowanych

w rejonie placu budowy. Ze wspomnianych reperów korzysta się w fazie robót ziemnych, przy wyznaczaniu wysokości zera budowlanego na deskowaniach i przy kontrolowaniu stanu zerowego fundamentów.



Rys. 1.29. Szkic pomiaru kontrolnego stanu zerowego



Rys. 1.30. Wskaźniki osi konstrukcyjnych na powierzchniach ścian

1.5. Obsługa geodezyjna wznoszenia kondygnacji powtarzalnych

Dokumentem wykorzystywanym w geodezyjnej obsłudze wznoszenia budynku jest projekt architektoniczno-budowlany, określający między innymi funkcję, formę i konstrukcję budynku. Podstawowymi rysunkami projektu są rzuty i przekroje. Rzuty poziome podają rozmieszczenie i wymiary elementów konstrukcyjnych budynku w poziomie. Przekroje pionowe, przecinające najczęściej klatkę schodową, zawierają wysokości charakterystycznych poziomów lub punktów budynku i podawane są względem poziomu podłogi parteru, przyjętego za poziom zerowy.

Głównym celem prac geodezyjnych prowadzonych w czasie wznoszenia budynku jest wytyczenie i oznaczenie miejsc ustawienia montowanych elementów konstrukcyjnych lub deskowań i doprowadzenie ich do właściwego przestrzennego położenia, zgodnego z projektem technicznym.

Istotną czynnością w tym zakresie jest tyczenie osi konstrukcyjnych na stropach kolejno wznoszonych kondygnacji, a także wyznaczanie wskaźników montażowych odsuniętych od osi konstrukcyjnych o stałą odległość. Przenoszenie osi konstrukcyjnych z poziomu stanu zerowego na kolejne poziomy robocze wykonuje się w oparciu o punkty osnowy budowlano-montażowej usytuowanej na zewnątrz i wewnątrz wznoszonego budynku.

Stosuje się następujące metody przenoszenia osi konstrukcyjnych i wskaźników montażowych:

- metoda rzutowania,
- metoda prostej odniesienia,
- metoda pionowania,
- metoda satelitarna GPS.

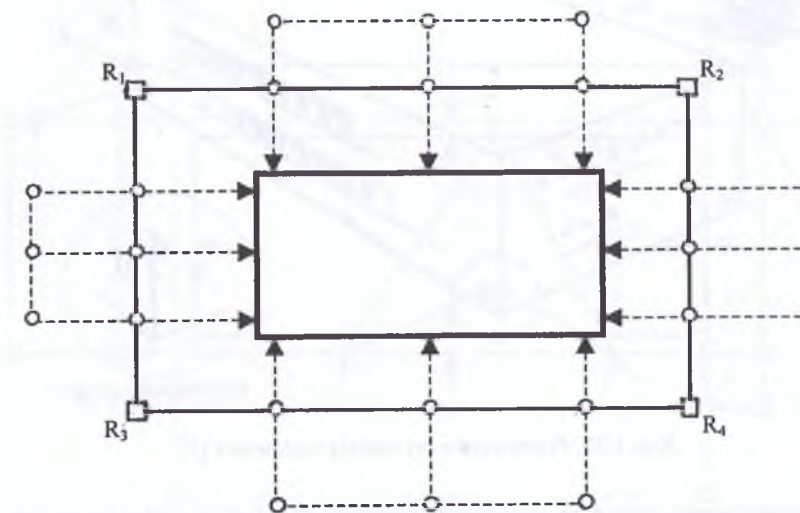
Inną istotną czynnością w geodezyjnej obsłudze wznoszenia budynków jest wyznaczanie wysokości charakterystycznych punktów i poziomów uwidoczniionych na przekrojach pionowych.

1.5.1. Przenoszenie osi konstrukcyjnych

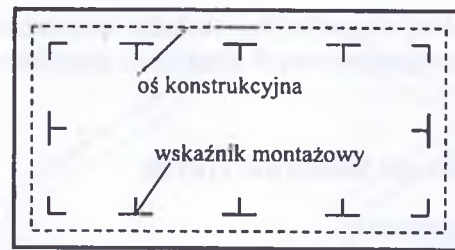
1.5.1.1. Metoda rzutowania

Rama geodezyjna z utrwalonymi na jej bokach punktami osiowymi, których położenie zostało ewentualnie skorygowane po inwentaryzacji stanu zerowego, umożliwia rozwinięcie osnowy budowlano-montażowej stosowanej do przenoszenia osi konstrukcyjnych na kolejne kondygnacje wznoszonego budynku.

Osnowę budowlano-montażową można też rozwijać, opierając się na wskaźnikach osi konstrukcyjnych, które są zaznaczone trwale na powierzchniach ścian piwnic w pobliżu naroży budynku. W tym przypadku najpierw wznawia się prostokąt podstawowy (ramę geodezyjną) w oparciu o wskaźniki ściennie, a następnie poprzez odkładanie odległości ustala się położenie punktów osiowych na bokach ramy, z których z kolei rozwija się osnowę budowlano-montażową. Punkty osnowy budowlano-montażowej utrwalone odpowiednio znakami ziemnymi powinny znajdować się w płaszczyznach konstrukcyjnych (rys. 1.31) lub w przesuniętych względem nich płaszczyznach równoległych, odpowiadających położeniu wskaźników znaczonego na górnych powierzchniach stropów. Tego typu wskaźniki są sytuowane względem płaszczyzn konstrukcyjnych w takich odległościach, aby montowane w tych płaszczyznach elementy konstrukcyjne nie zakrywały wskaźników, względem których są ustawiane (rys. 1.32).

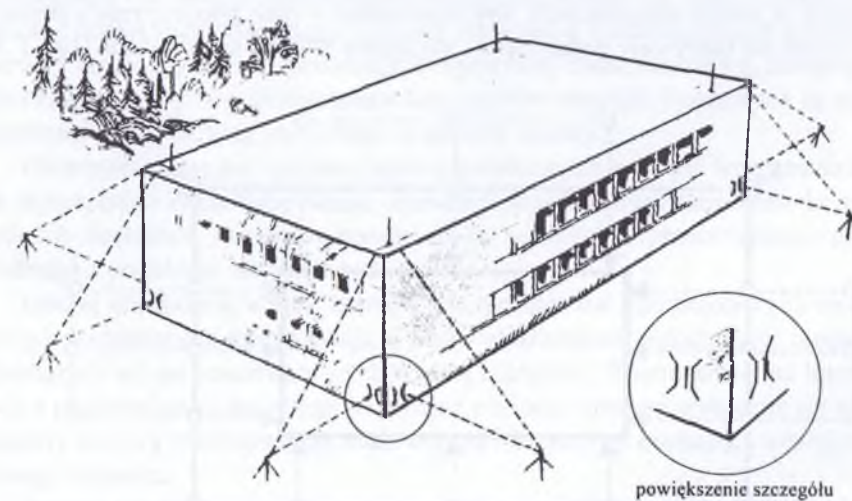


Rys. 1.31. Osnowa budowlano-montażowa do przenoszenia osi konstrukcyjnych na kolejne kondygnacje metodą rzutowania



Rys. 1.32. Usytuowanie wskaźników montażowych względem osi konstrukcyjnych

Do przeniesienia osi na dowolny poziom roboczy używa się teodolitu, który jest kolejno ustawiany na punktach osnowy leżących na osiach konstrukcyjnych. Po wycełowaniu teodolitem na wskaźnik ścienny przenosi się ustalony kierunek osi konstrukcji na górną powierzchnię stropu (rys. 1.33). Przenieszone kierunki utrwala się na krawędziach stropu, a następnie przy użyciu struny stalowej lub teodolitu tyczy się oś konstrukcyjną lub przesunięte względem niej wskaźniki montażowe. Jednoczesne użycie dwóch teodolitów usytuowanych w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach konstrukcyjnych umożliwi wytyczenie punktów przecięcia skrajnych osi konstrukcyjnych. Z punktów tych można na danej kondygnacji tyczyć położenie pozostałych osi konstrukcyjnych bądź wskaźniki montażowe.



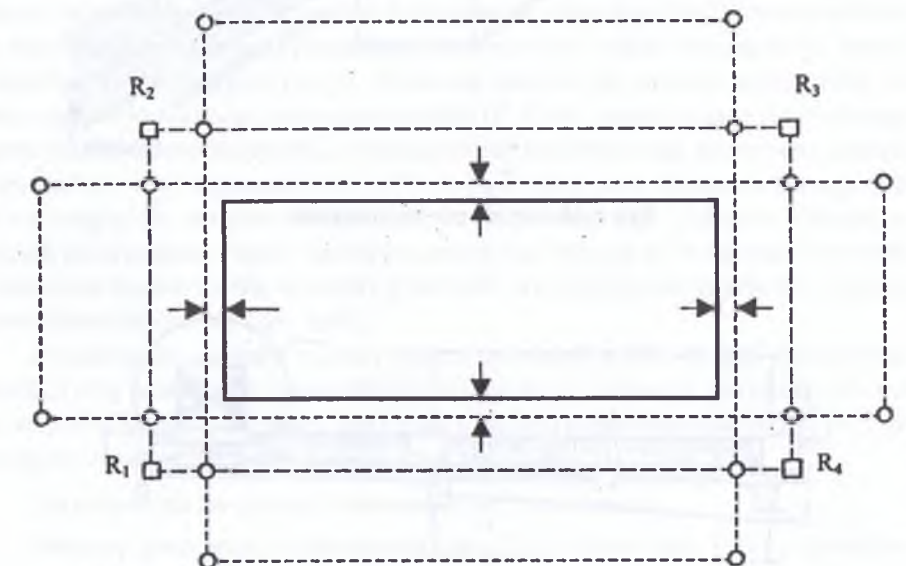
Rys. 1.33. Przenoszenie osi metodą rzutowania [5]

W prezentowanej metodzie stanowiska teodolitu względem budynku powinno się sytuować w odległościach większych niż wysokość budynku. Wówczas przy przenieszeniu osi na najwyższą kondygnację kąt nachylenia celowej nie przekroczy 45° . Takie

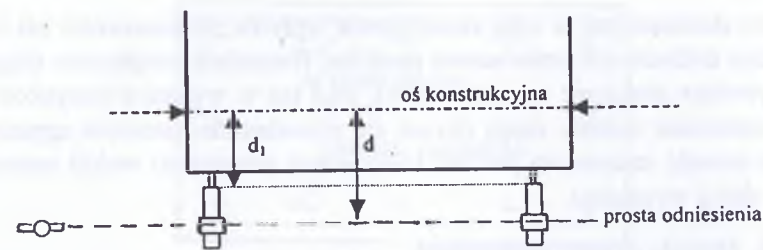
ograniczenie stawiane jest w celu zmniejszenia wpływu niepionowości osi teodolitu i podniesienia dokładności przenoszenia punktów. Natomiast zwiększenie długości celowych wywołuje obniżenie tej dokładności, stąd też w wypadku budynków bardzo wysokich omawiane metody mogą okazać się niewskazane. Istotnym ograniczeniem stosowania metody rzutowania jest też brak wolnej przestrzeni wokół wznoszonego budynku o dużej wysokości.

1.5.1.2. Metoda prostej odniesienia

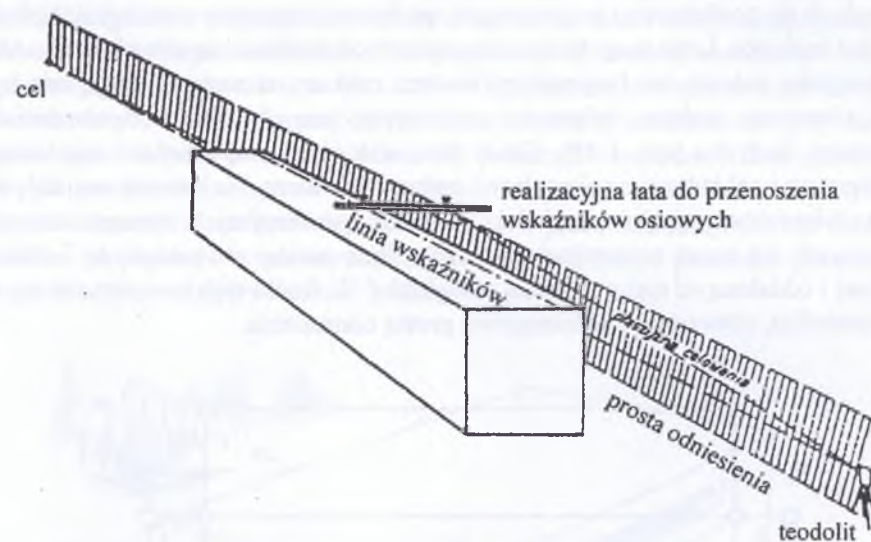
Również w tej metodzie korzysta się z zewnętrznej osnowy budowlano-montażowej rozwijanej z punktów ramy geodezyjnej (rys. 1.34) lub bezpośrednio ze wskaźników osiowych na ścianach fundamentu. Dąży się tu do założenia wokół budynku linii równoległych do podłużnych i poprzecznych osi konstrukcyjnych, w odległościach do 1 m od lica budynku. Linie te spełniają rolę prostych odniesienia i są utrwalane z każdej strony budynku jednym lub (najczęściej) dwoma znakami ziemnymi. Mogą one być również utrwalane znakami ściennymi osadzonymi bezpośrednio w fundamentach wznoszonego budynku (rys. 1.35). Każdy taki znak składa się z bolca zespolonego z fundamentem i nakładanej na niego łąty z tarczą celowniczą. Na bolcach znajdują się nacięcia umieszczone w stałej odległości d_1 od osi konstrukcyjnej. W stosunku do tych nacięć ustawia się tarcze celownicze realizujące linię prostą, równoległą do osi konstrukcyjnej i oddaloną od niej o ustaloną odległość d . W środki tych tarcz wtycza się oś celową teodolitu, odtwarzając każdorazowo prostą odniesienia.



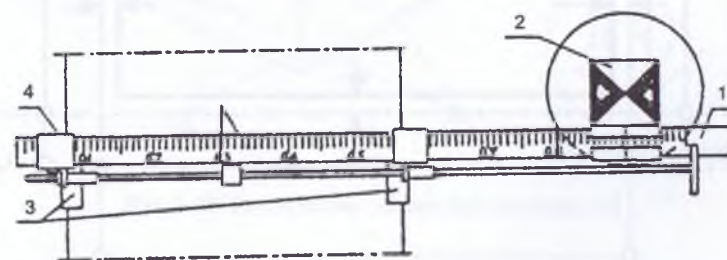
Rys. 1.34. Osnowa budowlano-montażowa do metody prostej odniesienia rozwinięta z ramy geodezyjnej $R_1 - R_4$



Rys. 1.35. Utrwalenie prostej odniesienia znakami ściennymi
Objaśnienia w tekście

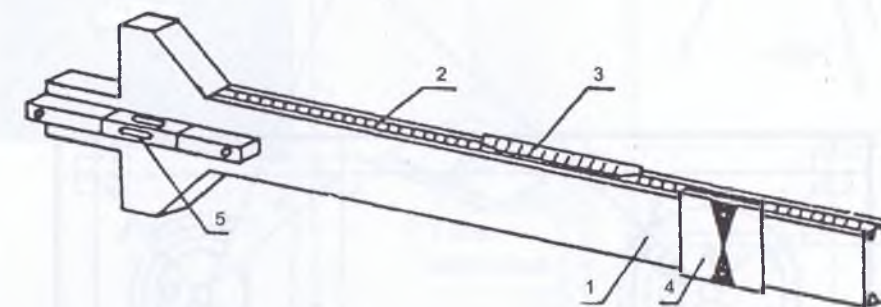


Rys. 1.36. Metoda prostej odniesienia



Rys. 1.37. Przyrząd pomysł J. Brzoski: 1 – linia, 2 – tarcza celownicza, 3 – imadła, 4 – śruba

Przenoszenie osi konstrukcyjnych lub wskaźników montażowych na kolejne poziomy robocze polega na odmierzeniu stałej odległości od płaszczyzny kolimacyjnej teodolitu przechodzącej przez prostą odniesienia (rys. 1.36). Do odmierzenia tej odległości korzysta się z przymiarów sztywnych wyposażonych w podział milimetry i przesuwaną tarczę celowniczą. Przykładowe przyrządy rozwiązania spotykane w praktyce przedstawiono na rysunkach 1.37 i 1.38.



Rys. 1.38. Przyrząd pomysł K. Eckesa: 1 – korpus przyrządu, 2 – podziałka stała, 3 – podziałka przesuwna, 4 – tarcza celownicza, 5 – libela rewersyjna

1.5.1.3. Metoda pionowania

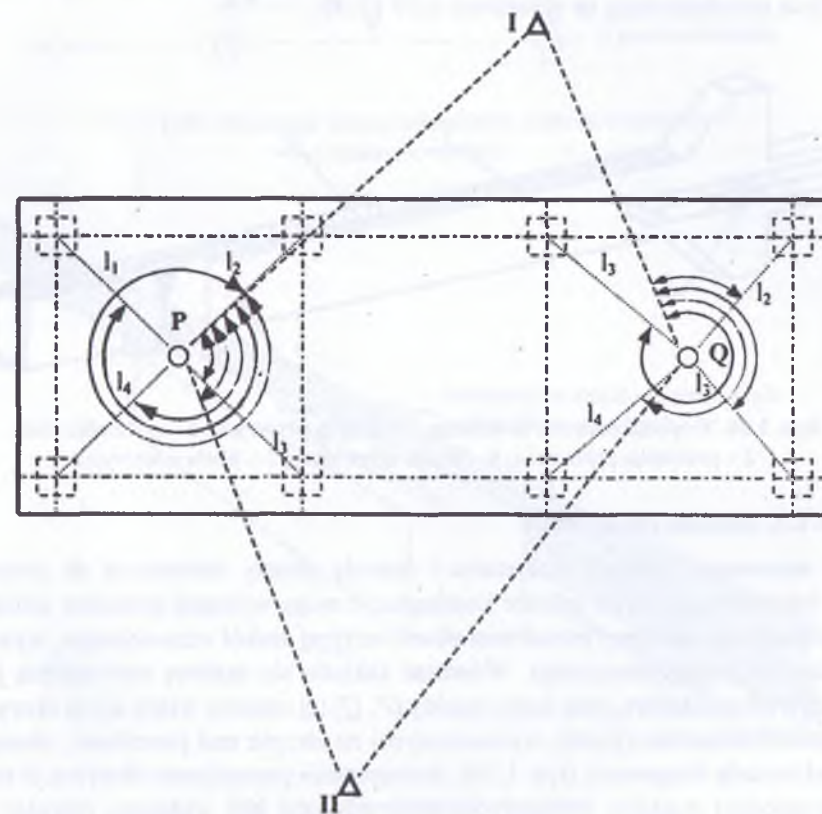
W stosowaniu metody rzutowania i metody prostej odniesienia do przenoszenia osi konstrukcyjnych na wyższe kondygnacje mogą wystąpić poważne utrudnienia w warunkach ograniczonej przestrzeni obserwacyjnej wokół wznoszonego, wysokiego budynku wielokondygnacyjnego. Wówczas zakłada się osnowę wewnętrzną jedno-, dwu- lub wielopunktową, przy czym punkty (P , Q) tej osnowy wiąże się ze skorygowanymi osiami konstrukcyjnymi, wyznaczonymi na stropie nad piwnicami, stosując na przykład metodę biegunową (rys. 1.39). Jednocześnie prowadzone obserwacje orientuje się względem punktów terenowych, które powinny być widoczne również z wyższych kondygnacji. Punkty osnowy wewnętrznej sytuuje się w stropach otworów, poprzez które będzie można te punkty przenosić na kolejne kondygnacje przy użyciu pionowników optycznych (rys. 1.40).

Przenoszenie punktów osnowy można prowadzić z dołu do góry (pionowanie zenitalne) przy ustawieniu pionownika na stropie stanu zerowego, zaś tarczy celowniczej na stropie poziomu roboczego, oraz z góry na dół (pionowanie nadirowe) przy zamienionych usytuowaniach pionownika i tarczy celowniczej (rys. 1.41).

Do pionowników szerzej stosowanych w Polsce należą:

- libelowy pionownik zenitowo-nadirowy ZNL Wilda (rys. 1.42) o powiększeniu 10 \times , przewodzie libeli 20" i dokładności pionowania 1:30 000;
- libelowy pionownik zenitowo-nadirowy OL Kerna o powiększeniu lunety 22,5 \times , przewodzie libeli 20" lub 30" i dokładności pionowania 1:100 000 i 1:50 000;

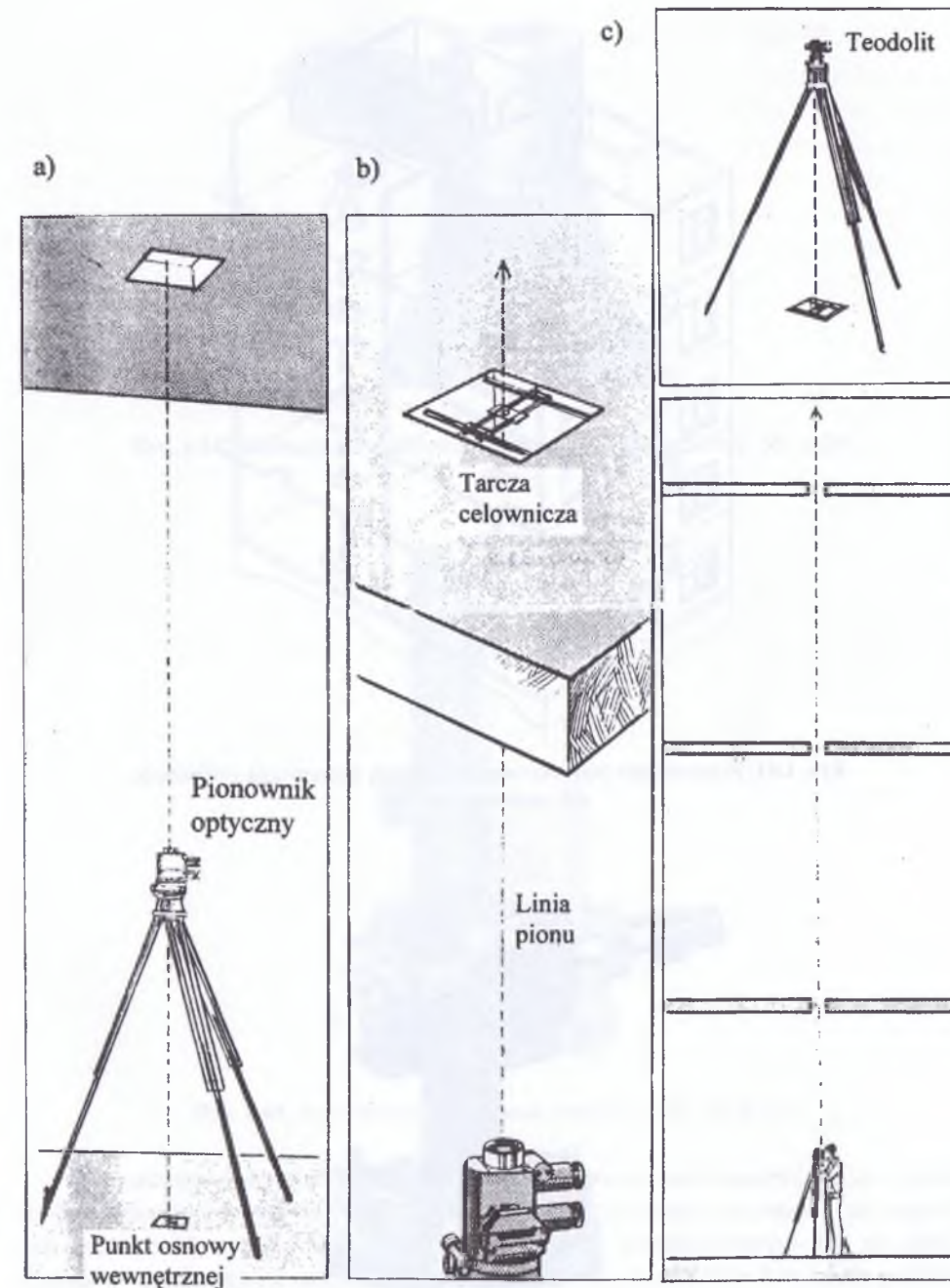
- automatyczny pionownik zenitowy ZL lub nadirowy NL Wilda (rys. 1.43) o powiększeniu lunety 30× i dokładności pionowania 1:200 000;
- automatyczny pionownik zenitowy PZL 100 Zeissa (rys. 1.44) o powiększeniu lunety 31,5×, przewodze libeli 30" i dokładności pionowania 1:100 000.



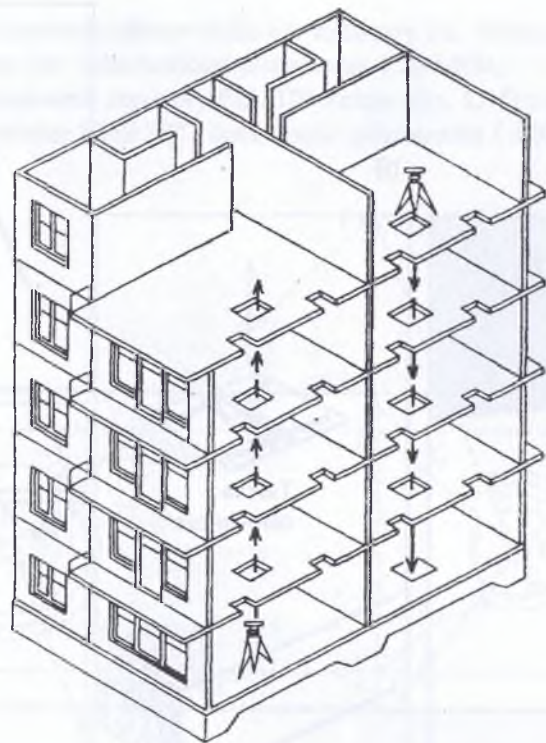
Rys. 1.39. Nawiązanie osnowy wewnętrznej
Objaśnienia w tekście

Nowsza konstrukcja pionownika Zeissa opatrzonego symbolem PZL 005A lub PNL 005A posiada kompensację osi celowej w dwóch płaszczyznach, powiększenie lunety 25× i zapewnia dokładność 1:200 000. W pionowniku PZL 100 automatyczne pionowanie osi celowej jest możliwe tylko w jednej płaszczyźnie. W drugiej płaszczyźnie oś celową pionuje się przy użyciu libeli.

Pionowniki Wilda mogą być dodatkowo wyposażone w wymienne okulary laserowe. Korzystanie z okularu laserowego ułatwia identyfikację położenia punktu przecięcia się pionowej osi celowej celownika z powierzchnią przezroczystej tarczy celowniczej.



Rys. 1.40. Przenoszenie osi na kolejne kondygnacje przy użyciu pionownika optycznego [5]:
a) ustawienie pionownika nad punktem osnowy; b) przeniesienie punktu osnowy na poziom roboczy; c) ustawianie teodolitu w linii pionu na poziomie roboczym



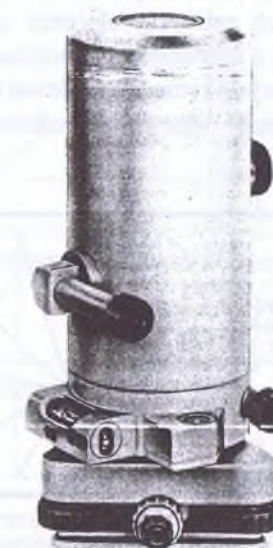
Rys. 1.41. Przenoszenie punktów osnowy metodą pionowania zenitalnego lub nadirowego [10]



Rys. 1.42. Libelowy pionownik zenitowo-nadirowy ZNL Wilda



Rys. 1.43. Automatyczny pionownik zenitowy ZL lub nadirowy NL Wilda

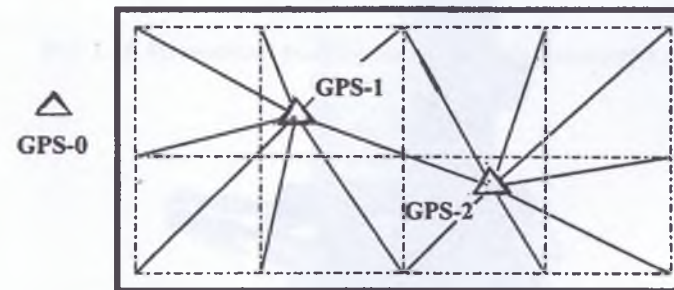


Rys. 1.44. Automatyczny pionownik zenitowy PZL 100 Zeissa

Przenoszone na kolejne kondygnacje punkty osnowy wewnętrznej służą – podobnie jak w pomiarze wyjściowym wykonanym na stropie stanu zerowego – za stanowiska instrumentu, z których tyczy się wskaźniki osi konstrukcyjnych lub wskaźniki montażowe, stosując na przykład metodę biegunową (rys. 1.39). Położenie punktów osnowy wewnętrznej można wyznaczyć nie tylko metodą pionowania, lecz również przez stosowanie metody liniowo-kątowego wcięcia wstecz do co najmniej dwóch punktów usytuowanych wokół budynku i posiadających współrzędne w tym samym układzie, w którym określone jest położenie osi konstrukcyjnej wznoszonego budynku.

1.5.1.4. Metoda satelitarna GPS

Znane właściwości użytkowe i dokładnościowe technologii GPS uprawniają do stwierdzenia, iż technologia ta może być z powodzeniem stosowana do tyczenia osi konstrukcyjnych na stropach dowolnie wysoko położonych kondygnacji. W zależności od wymaganej dokładności tyczenia skorzystać można z metody statycznej lub metody kinematycznej w czasie rzeczywistym. W obydwu przypadkach pomiary odnosi się do punktu usytuowanego w pobliżu budynku wznoszonego. Położenie tego punktu musi być wcześniej wyznaczone w układzie współrzędnych siatki konstrukcyjnej budynku. Metoda statyczna umożliwi wyznaczenie współrzędnych punktów w dowiązaniu do punktu GPS-0 (rys. 1.45) z dokładnością 2–3 mm przy 45-minutowych sesjach pomiarowych. Wystarczy wyznaczyć położenie tylko dwóch punktów GPS-1 i GPS-2 tworzących bazę tyczenia, z której można wyznaczać położenie wskaźników osi konstrukcyjnych lub wskaźników montażowych przy wykorzystaniu metody biegunowej. Niższą dokładność tyczenia punktów uzyskuje się przy stosowaniu metody RTK GPS (*Real Time Kinematik*). Metoda ta pozwala jednak na bezpośrednie tyczenie punktów osi konstrukcyjnych. Punkty tych osi tyczą się przy użyciu odbiornika ruchomego utrzymującego łączność radiową z odbiornikiem stacjonarnym ustawionym nad punktem odniesienia GPS-0. Możliwe jest tyczenie punktów z dokładnością rzędu ± 5 mm, pod warunkiem że antena odbiornika centrowana będzie nad punktem przy użyciu statywu, a nie nośnika drążkowego.

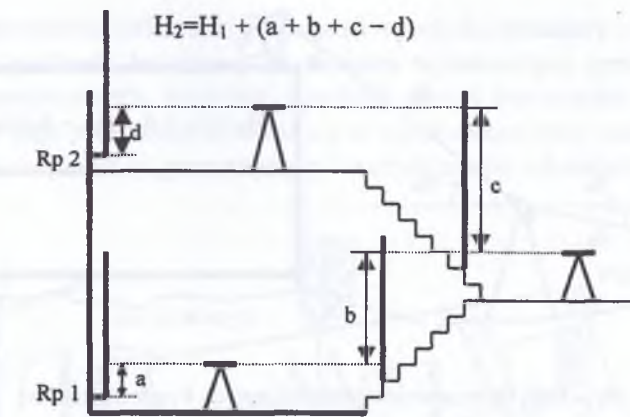


Rys. 1.45. Tyczenie osi z wykorzystaniem GPS

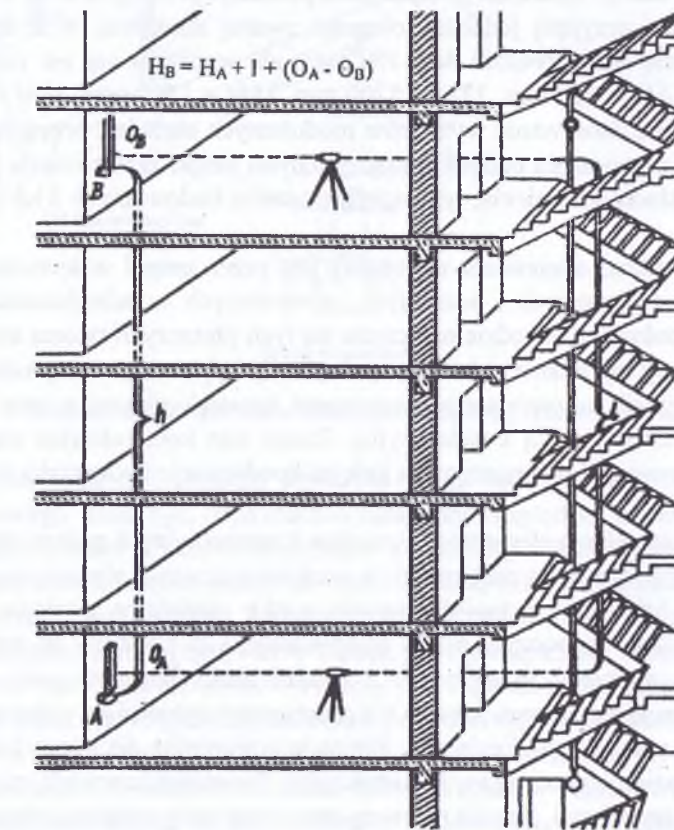
1.5.2. Przenoszenie wysokości

Wysokości charakterystycznych punktów i poziomów wznoszonego budynku, podawane względem przyjętego poziomu zera budowlanego, wyznacza się w dowiązaniu do reperów roboczych zakładanych dla poszczególnych kondygnacji. Z kolei wysokości reperów roboczych względem poziomu posadzki nad piwnicami wyznacza się metodą niwelacji geometrycznej z użyciem łąt niwelacyjnych (rys. 1.46) lub przymiarów wstępnych (rys. 1.47).

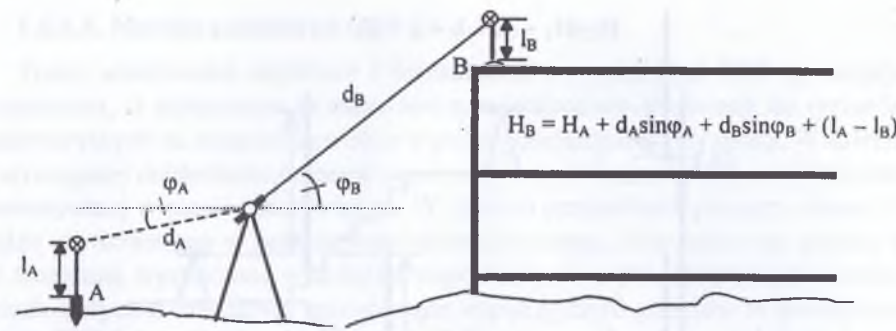
Przenoszenie wysokości może być również wykonane metodą niwelacji trygonometrycznej z użyciem precyzyjnego tachymetru elektronicznego (rys. 1.48).



Rys. 1.46. Przenoszenie wysokości metodą niwelacji geometrycznej



Rys. 1.47. Przenoszenie wysokości przy użyciu przymiarów wstępnych



Rys. 1.48. Przenoszenie wysokości metodą trygonometryczną

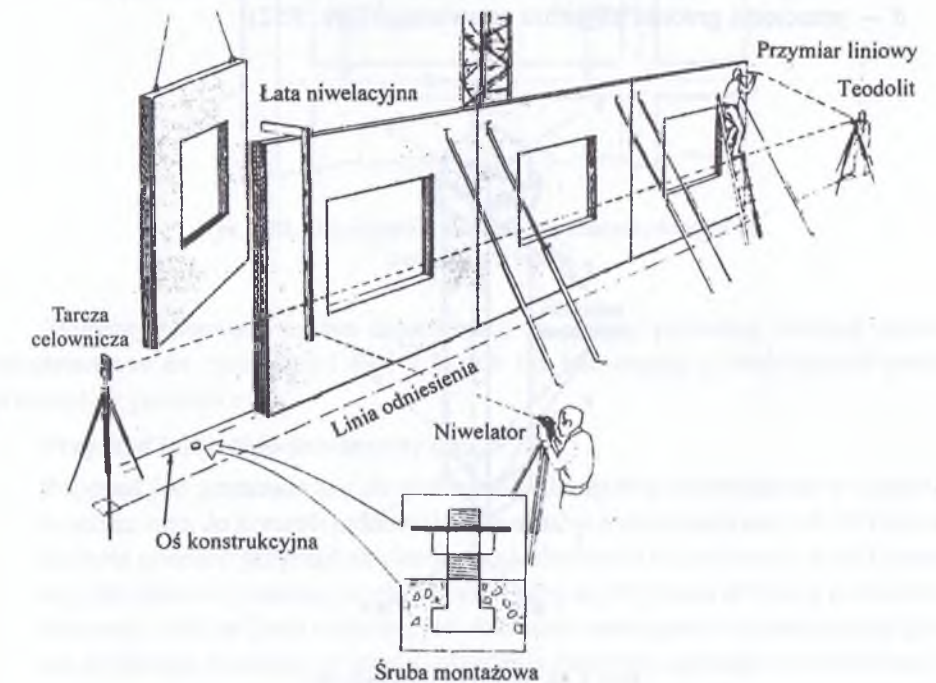
1.5.3. Ustawianie elementów konstrukcyjnych budynku

Elementy i ustroje konstrukcyjne budynku posiadają skoordynowane wymiary będące krotnościami przyjętej jednostki długości zwanej modułem. W Polsce za moduł przyjmuje się wielokrotność $M = 100$ mm, ale wyróżnia się też multimoduły: $3M = 300$ mm, $6M = 600$ mm, $12M = 1200$ mm, $15M = 1500$ mm, $30M = 3000$ mm i $60M = 6000$ mm. Stosowanie wymiarów modułowych ułatwia i przyspiesza proces projektowania i wznoszenia budynku między innymi dzięki zastosowaniu jednolitego modułowego układu odniesienia, typizację elementów budowlanych i ich przemysłową produkcję.

Modułarny układ odniesienia utworzony jest przez zespół wzajemnie prostopadłych płaszczyzn pionowych i poziomych usytuowanych w odległościach równych przyjętemu modułowi. Krawędzie przecięcia się tych płaszczyzn tworzą siatkę modułarną. Płaszczyzny modułarne, z którymi pokrywają się płaszczyzny symetrii elementów konstrukcyjnych, nazywa się płaszczyznami konstrukcyjnymi, a tworzoną przez nie siatkę nazywa się siatką konstrukcyjną. Zatem osie konstrukcyjne utrwalone na stropie stanu zerowego i przenoszone na kolejne kondygnacje tworzą taką właśnie siatkę konstrukcyjną.

Czynność ustawiania elementów i ustrojów konstrukcyjnych polega na wpasowaniu ich płaszczyzn symetrii i osi symetrii w poziome i pionowe płaszczyzny konstrukcyjne, których krawędzie przecięcia tworzą siatkę modułarną poziomą lub przestrzenną. Ustawianie rozpoczyna się od doprowadzenia do pokrycia osi symetrii podstawy każdego elementu ustawianego z osiami siatki konstrukcyjnej. Następnie elementy te pionuje się, doprowadzając ich płaszczyzny symetrii do pokrycia z pionowymi płaszczyznami konstrukcyjnymi. Wreszcie wprowadza się górne powierzchnie elementów w poziome płaszczyzny konstrukcyjne. Ta ostatnia czynność może być wykonana dwoma sposobami. Sposób pierwszy stosowany przy montażu swobodnym polega na wykonaniu niwelacji powierzchni stropu roboczego wzdłuż osi konstrukcyjnych i sporządzeniu profilu, który łącznie ze znanymi wysokościami elementów kon-

strukcyjnych pozwoli na obliczenie wymaganej wysokości podstawy i ustalenie grubości niezbędnej podlewki betonowej. W montażu wymuszonym, prowadzonym przy użyciu śrub montażowych, właściwą wysokość górnej powierzchni tego elementu i równocześnie jego pionowość uzyskuje się w wyniku obserwacji prowadzonych odpowiednią metodą niwelacji geometrycznej i metodą prostej odniesienia (rys. 1.49).



Rys. 1.49. Montaż elementów metodą niwelacji geometrycznej i metodą prostej odniesienia [5]

Podstawa każdego elementu konstrukcyjnego oprócz poprawnego ustawienia wysokościowego musi być odpowiednio ustawiona względem osi konstrukcyjnych. W przypadku słupów i innych elementów konstrukcji szkieletowej ustawienie sytuacyjne podstawy elementu polega na wprowadzeniu osi symetrii podstawy w pionowe płaszczyzny konstrukcyjne. Wykonanie tej czynności ułatwiają wskaźniki montażowe, które zaznaczone są zarówno w dolnej, jak i górnej części elementu (rys. 1.50). Dolne i górne wskaźniki montażowe wykorzystuje się ponadto do doprowadzenia słupa w położenie pionowe. Czynność pionowania prowadzi się dwoma teodolitami ustawionymi w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach konstrukcyjnych (rys. 1.51).

Przy ustawianiu podstaw elementów konstrukcyjnych i osłonowych, a także deskowań ścian, nie korzysta się bezpośrednio z osi konstrukcyjnych, lecz z linii równoległych do tych osi. Wynika to stąd, że wskaźniki osi konstrukcyjnych zostają zakryte przez montowany element. Stosuje się więc wskaźniki przesunięte (mimośrodowe),

ustawiając względem nich podstawę elementu tak, aby odległość jego powierzchni od wskaźników była równa wielkości

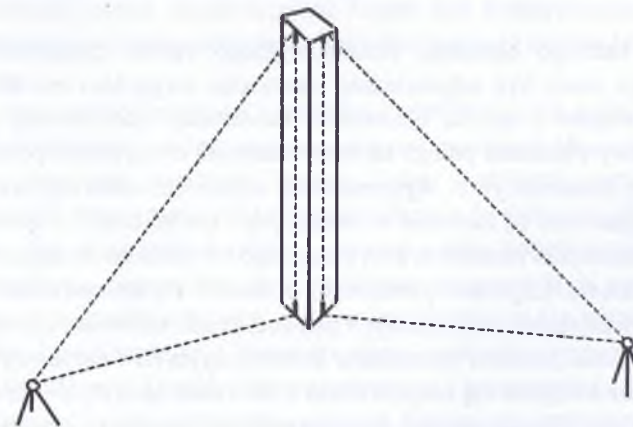
$$a = \frac{d}{2},$$

gdzie:

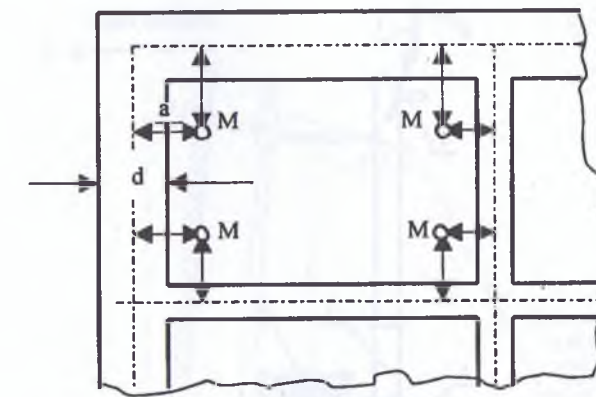
a – odległość między osią konstrukcyjną a wskaźnikiem przesuniętym,
 d – przeciętna grubość elementu ustawianego (rys. 1.52).



Rys. 1.50. Wskaźniki montażowe



Rys. 1.51. Pionowanie słupa



Rys. 1.52. Usytuowanie wskaźników mimośrodowych M
 Objasnienia w tekście

Elementy ustawiane można doprowadzić do pozycji pionowej, stosując sposoby przedstawione na rysunkach 1.49 i 1.51 lub też korzystając z omówionych poniżej przyrządów pomiarowych.

– **Przyrząd kontrolno-pomiarowy** (rys. 1.53)

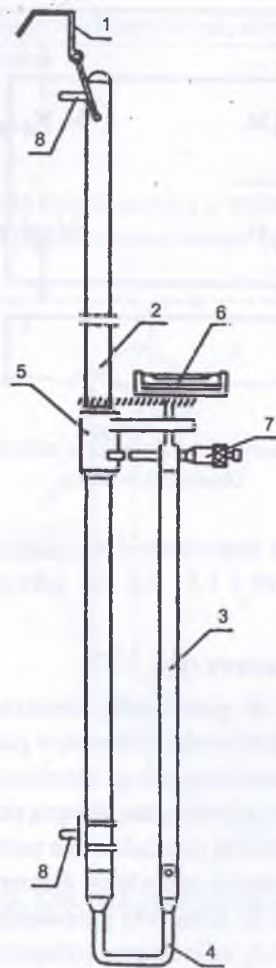
Przyrząd jest przeznaczony do pionowania elementów budowlanych w czasie ich montażu oraz do kontroli pionowości elementów już zamontowanych. W celu wykonania pomiaru przyrząd zawiesz się na elemencie budowlanym w taki sposób, aby trzy bolce wyznaczające płaszczyznę główną przyrządu dotykały powierzchni elementu. Jeśli oś libeli rurkowej jest dokładnie prostopadła do płaszczyzny głównej przyrządu, wówczas pionowe ustawienie elementu uzyskuje się przez jego pochylanie wraz z elementem do momentu górowania libeli. Poziomemu położeniu osi libeli odpowiada odczyt l_0 mikrometru (miejsce zera), będący wartością średnią z odczytów wykonanych, przy dwóch położeniach przyrządu różnych o 180° , na płycie ustawionej prawie pionowo i posiadającej idealnie równoległe powierzchnie. Pomiar aktualnego odchylenia elementu od pionu polega na doprowadzeniu libeli do poziomu za pomocą śruby mikrometrycznej i wykonaniu odczytu l z tej śruby. Różnica odczytów

$$\delta = l - l_0 \quad (1.18)$$

jest wielkością odchylenia elementu od pionu na odcinku 1 m (odchylenie jednostkowe). Całkowitą wartość odchylenia oblicza się ze wzoru

$$\Delta = \delta H \quad (1.19)$$

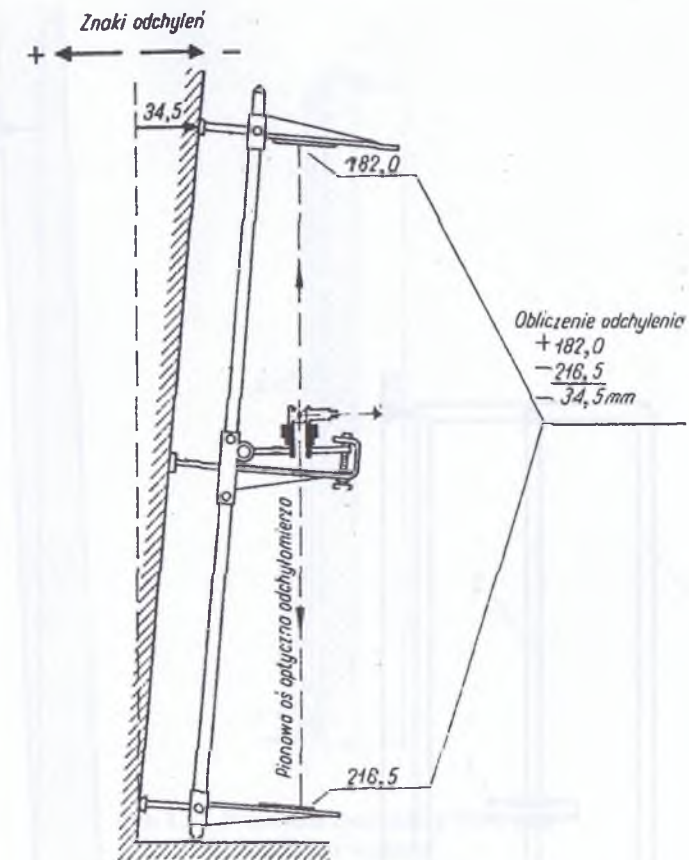
gdzie H – wysokość elementu budowlanego w metrach.



Rys. 1.53. Przyrząd kontrolno-pomiarowy: 1 – zaczep, 2 – ramię dłuższe, 3 – ramię krótsze, 4 – szyjka łącząca, 5 – nasadka z prowadnicą, 6 – śruba mikrometryczna, 7 – libela, 8 – bolce

– **Odchyłomierz optyczny (rys. 1.54)**

Przygotowanie odchyłomierza do pracy polega na sprawdzeniu i rektyfikacji pionownika optycznego w oparciu o wyniki pomiaru wykonanego w dwóch położeniach lunetki pionownika różniących się o 180° . Wyznaczenie aktualnego odchylenia elementu budowlanego od pionu sprowadza się do wykonania odczytów na górnej i dolnej podziałce przy poziomej libeli pionownika i dokonaniu obliczeń w sposób przedstawiony na rysunku 1.54. Natomiast bezpośrednio ustawienie elementu w pionie przy użyciu odchyłomierza może być dokonane przez pochYLENIE elementu aż do uzyskania jednakowych odczytów na obydwu podziałkach przy zachowanej poziomości libeli pionownika.



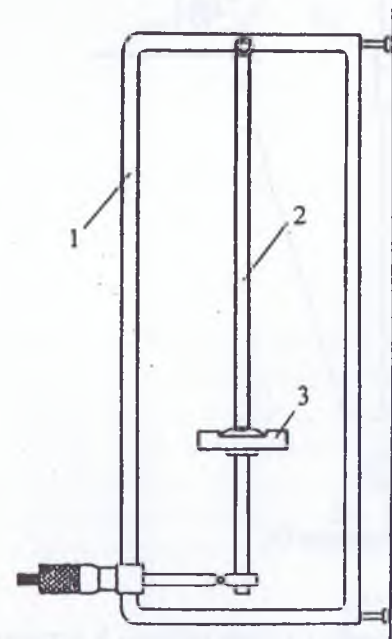
Rys. 1.54. Odchyłomierz optyczny [3]

– **Pochyłomierz wahadłowo-libelowy (rys. 1.55)**

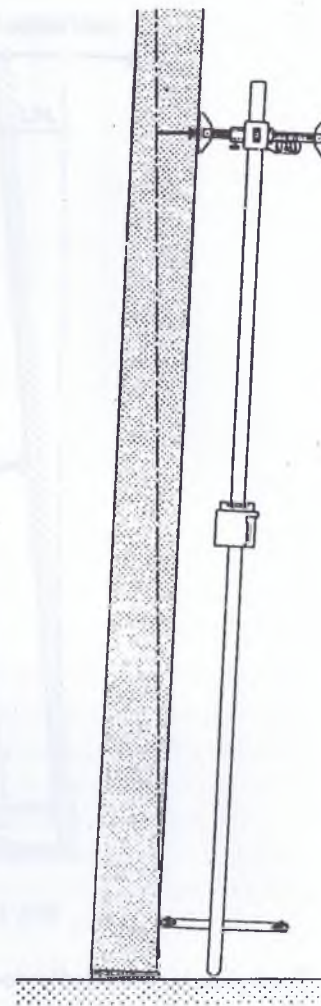
Głównym elementem pochyłomierza jest wahadło 2 z libelą rurkową 3, przymocowane przegubowo do ramy 1 przykładanej do elementu konstrukcyjnego. Wielkość odchylenia wahadła od pionu oblicza się według wzoru (1.18) po uprzednim wyznaczeniu odczytu l_0 śruby mikrometrycznej odpowiadającego poziomemu położeniu osi libeli. Bezpośrednie wykorzystanie tego przyrządu do pionowania elementu wymaga ustawienia na śrubie mikrometrycznej przyrządu odczytu l_0 i pochylanie elementu budowlanego do momentu uzyskania poziomości libeli.

– **Pochyłomierz libelowy (rys. 1.56)**

Przyrząd przeznaczony jest do ustawiania i pomiaru wychyleń. Elementami charakterystycznymi przyrządu są dwustronne trzpienie przyrządu umożliwiające prowadzenie obserwacji w dwóch położeniach różnych o 180° . Średnia arytmetyczna z wyników uzyskanych w dwóch położeniach przyrządu jest wolna od wpływu błędów libeli.



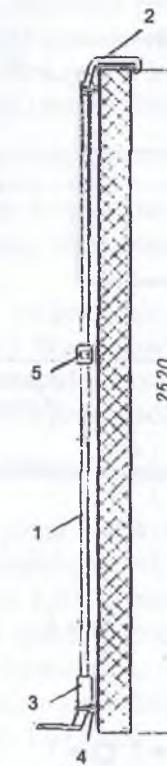
Rys. 1.55. Pochyłomierz wahadłowo-libelowy
Objaśnienia w tekście



Rys. 1.56. Pochyłomierz libelowy [3]

– **Pionownik montażowy PM-5 (rys. 1.57)**

Przyrząd składa się z dwudzielnego korpusu 1, wyposażonego w uchwyt 2 umożliwiający jego zawieszenie na ustawianym elemencie. Na dolnym końcu osadzona jest przesuwana stopa 3 z naniesioną podziałką milimetrową. Przesuwanie stopy umożliwia dopasowanie długości przyrządu do wysokości elementu. Bazę pomiarową stanowią trzy kołki 4, przy czym dwa z nich zamocowane są do stopy 3, a jeden znajduje się w górnej części korpusu 1. W połowie wysokości przyrządu znajduje się libela rurkowa 5 o przewodzie 60'. Po jej zrektyfikowaniu można użyć przyrządu do pionowania elementu ustawianego.



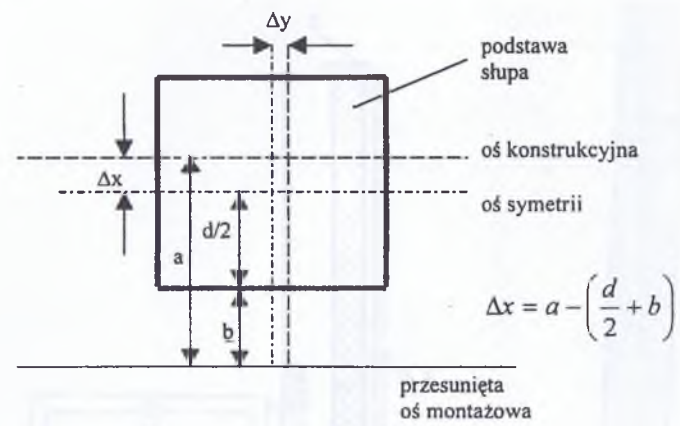
Rys. 1.57. Pionownik montażowy PM-5 [10]
Objaśnienia w tekście

1.5.4. Pomiary kontrolne

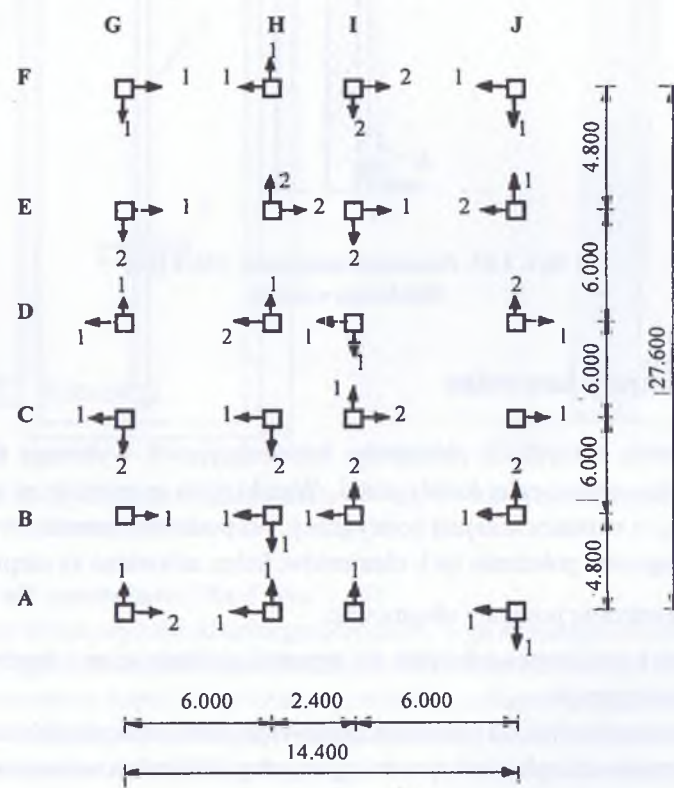
Po ustawieniu wszystkich elementów konstrukcyjnych wykonuje się kontrolne pomiary powykonawcze całej kondygnacji. Wyniki tych pomiarów są podstawą do podjęcia decyzji o montażu kolejnej kondygnacji. Na podstawie pomiarów kontrolnych można też korygować położenie tych elementów, które ustawione są nieprawidłowo.

Pomiary kontrolne powinny obejmować:

- wyznaczenie poziomych odchyłek osi symetrii podstaw ścian i słupów względem osi konstrukcyjnych;
- wyznaczenie odchyłek od położenia pionowego ścian i słupów lub też wyznaczenie poziomych odchyłek osi symetrii górnych powierzchni ustawionych elementów od pionowych płaszczyzn konstrukcyjnych;
- wyznaczenie odchyłek wysokościowego usytuowania górnych powierzchni ścian, słupów lub stropów względem poziomej płaszczyzny odniesienia.



Rys. 1.58. Wyznaczanie odchyłek usytuowania podstawy słupa

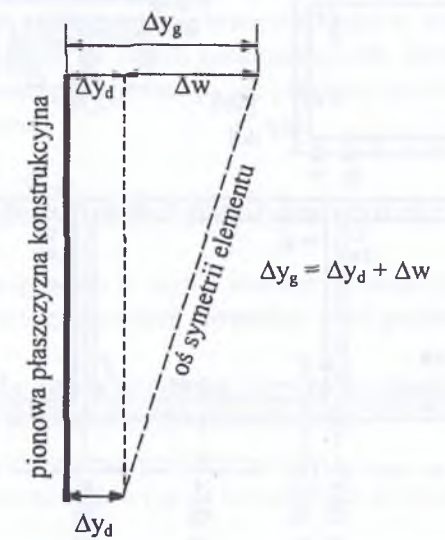


Rys. 1.59. Szkic odchyłek wskaźników montażowych dołu słupów od pionowych płaszczyzn konstrukcyjnych

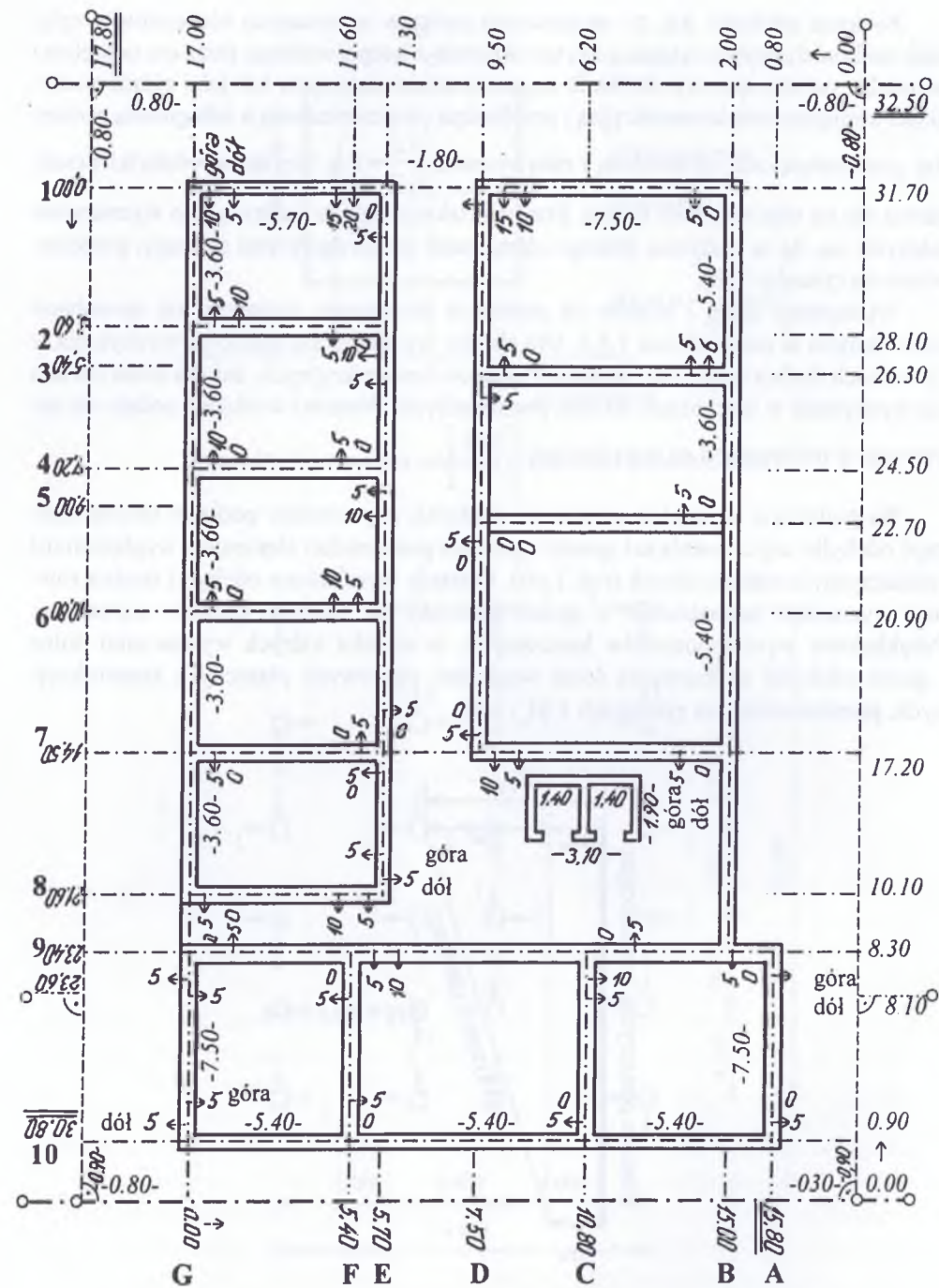
Poziome odchyłki Δx , Δy usytuowania podstaw ustawianych elementów względem osi konstrukcyjnych (rys. 1.58) uzyskuje się z bezpośredniego pomiaru odległości pomiędzy osiami symetrii elementu a osiami konstrukcyjnymi lub jako różnice odległości a między osią konstrukcyjną i przesuniętą osią montażową a odległością pomiędzy przesuniętą osią montażową i osią symetrii $\left(\frac{d}{2} + b\right)$. Uzyskane odchyłki przedstawia się na odpowiednim szkicu. Przykład takiego szkicu ilustrującego wyznaczone odchyłki Δx , Δy w budynku, którego elementami konstrukcyjnymi są słupy, przedstawiono na rysunku 1.59.

Wchylenia ścian i słupów od położenia pionowego wyznacza się sposobami omówionymi w podrozdziale 1.5.3. Dla słupów wyznacza się składowe wchylenia w kierunkach dwóch wzajemnie prostopadłych osi konstrukcyjnych, zaś dla ścian określa się wchylenia w kierunkach do nich prostopadłych. Wartości wchylenia podaje się zazwyczaj w milimetrach na metr bieżący $\left[\frac{\text{mm}}{\text{m}}\right]$.

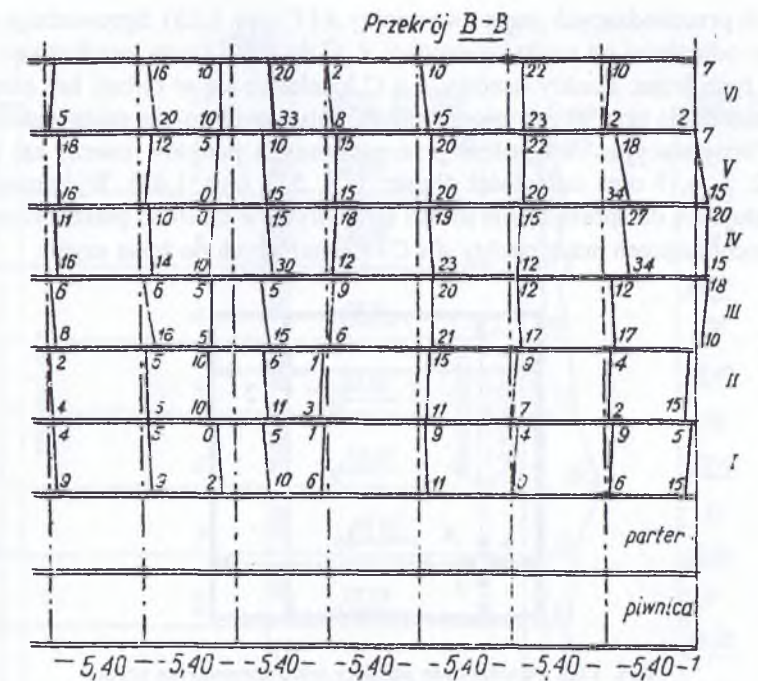
Na podstawie wchylenia od pionu i odchyłek usytuowania podstaw można obliczyć odchyłki usytuowania osi symetrii górnych powierzchni elementów względem osi (płaszczyzn) konstrukcyjnych (rys. 1.60). Ostatnie wymienione odchyłki można również wyznaczyć bezpośrednio w sposób podobny jak odchyłki podstaw elementów. Przykładowe wyniki pomiarów kontrolnych, w wyniku których wyznaczono dolne i górne odchyłki usytuowania ścian względem pionowych płaszczyzn konstrukcyjnych, przedstawiono na rysunkach 1.61 i 1.62.



Rys. 1.60. Wyznaczanie odchyłek usytuowania elementu konstrukcyjnego na poziomie górnym



Rys. 1.61. Szkic wyników pomiaru kontrolnego ścian 1. kondygnacji po montażu



Rys. 1.62. Szkic wyników pomiaru kontrolnego po montażu [10]

Odchyłki wysokościowe górnych powierzchni ścian, słupów lub stropów oblicza się na podstawie pomiaru niwelacyjnego wybranych punktów, reprezentujących powierzchnie elementów i leżących na osiach konstrukcyjnych. Odchyłki te mogą być podawane względem poziomu projektowanego lub poziomu lokalnego ustalonego dla każdej kondygnacji oddzielnie.

1.6. Obsługa geodezyjna montażu prowadnic dźwigowych

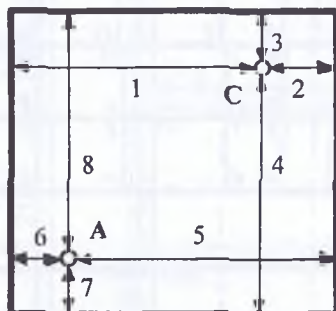
Montaż prowadnic dźwigowych w szybie windowym musi być wykonany z zachowaniem pionowości i prostoliniowości prowadnic oraz projektowych odległości między nimi.

Z uwagi na wysokie wymagania dotyczące przestrzennego usytuowania prowadnic ich montaż poprzedzają prace geodezyjne umożliwiające:

- wyznaczenie kształtu wewnętrznej powierzchni szybu,
- wytyczenie wskaźników montażowych na wspornikach prowadnic.

Wyznaczenie kształtu wewnętrznej powierzchni szybu w wariantcie uproszczonym polega na sporządzeniu profili ścian wzdłuż linii usytuowania wsporników, do których mocowane będą prowadnice. Pomiaru inwentaryzacyjne prowadzi się względem linii

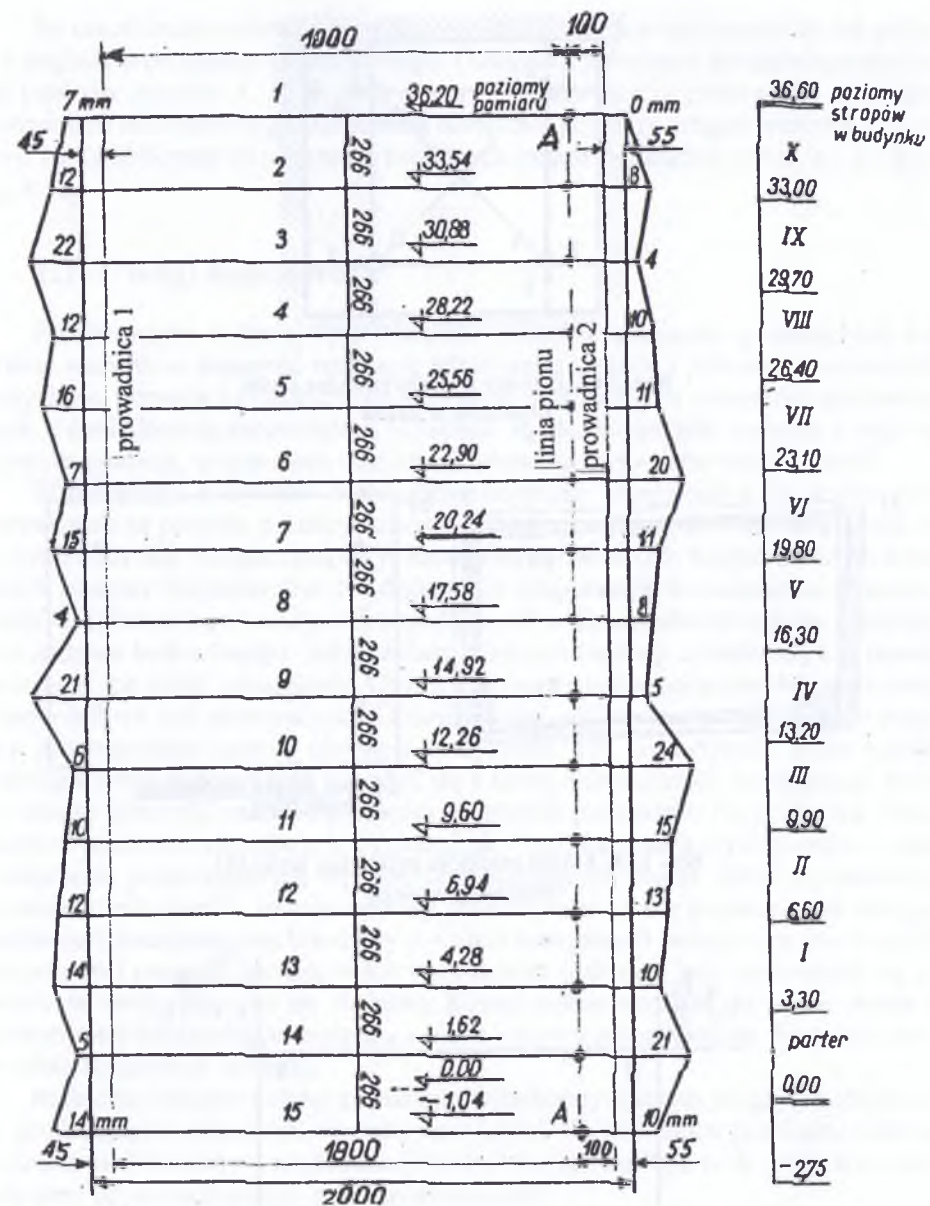
pionowych przechodzących przez dwa punkty *A* i *C* (rys. 1.63). Sprowadzają się one do określenia odległości od punktów osnowy *A*, *C* do ścian szybu, wzdłuż linii równoległych do tych ścian. Punkty osnowy *A* i *C* lokalizuje się w dolnej lub górnej części szybu, a następnie przy użyciu pionowników optycznych są one rzutowane na kolejne poziomy obserwacyjne. Względem przerzutowanych punktów mierzy się odległości krótkie: 2, 3, 6, 7 oraz odległości długie: 1, 4, 5, 8 (rys. 1.63). Wykonane pomiary wykorzystuje się do sporządzania profili ścian szybu w czterech płaszczyznach pionowych przechodzących przez punkty *A* i *C* i równoległych do ścian szybu.



Rys. 1.63. Uproszczone pomiary inwentaryzacyjne szybu
Objaśnienia w tekście

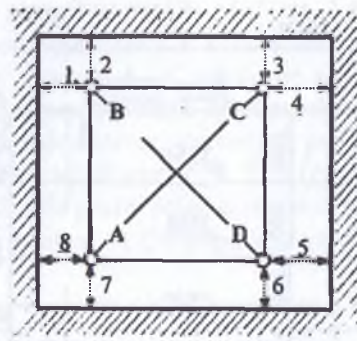
Przykładowy przekrój szybu przedstawiono na rysunku 1.64. W każdy taki przekrój można wpasować położenie prowadnic dźwigowych i ustalić ich odległości względem punktów osnowy (*A*, *C*). Powiększając te odległości o stałą wartość i odkładając je na kolejnych poziomach obserwacyjnych od przerzutowanych na nie punktów osnowy, uzyskuje się położenie przesuniętych wskaźników montażowych, zaznaczanych na wspornikach prowadnic.

Dokładniejsze wpasowanie prowadnic dźwigowych w aktualny kształt szybu jest możliwe na podstawie wyników pomiarów inwentaryzacyjnych wykonanych w oparciu o osnowę w postaci prostokąta *ABCD* (rys. 1.65), zakładanego najczęściej nad szymbem, na stropie maszynowni. Punkty *A*, *B*, *C*, *D* rzutuje się na poszczególne pomosty (poziomy) robocze przy użyciu pionowników optycznych. Względem tych punktów wykonuje się pomiary odległości 1–8 (rys. 1.65), a na ich podstawie, metodą graficzną, określa się kształt każdego przekroju poziomego szybu. W tym celu rysuje się prostokąt podstawowy (np. w skali 1:10) i po odłożeniu odległości punktów od 1–8 uzyskuje się kształt każdego przekroju poziomego szybu (rys. 1.66). Następnie w tej samej skali 1:10 rysuje się na kalce projektowe rozmieszczenie prowadnic. Po położeniu kalki na rysunek z przekrojami szybu przesuwają ją do położenia, w którym prowadnice (+) zmieszczą się w środkowej, wolnej powierzchni rysunku (rys. 1.66a). Ustalony w ten sposób położenie prowadnic określa ich odległości od linii przechodzących przez punkty prostokąta podstawowego (rys. 1.67). Teraz na każdym pomoście odtwarza się sytuację przedstawioną na rysunku 1.67, uzyskując projektowe położenie prowadnic.

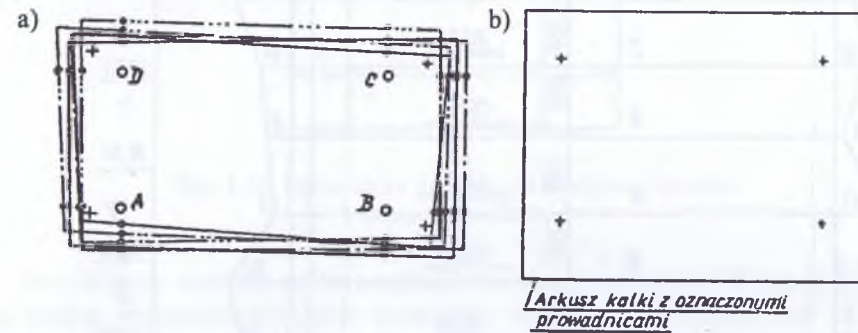


Rys. 1.64. Wykres wyników pomiaru szybu dźwigowego

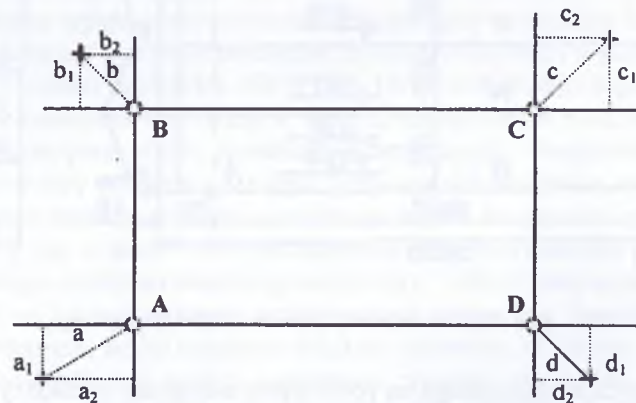
Kontrola tej czynności polega na porównaniu odległości pomiędzy wytyczonymi położeniami prowadnic a ich wartościami wyszczególnionymi w projekcie. Ta sama konstrukcja geometryczna jest następnie wykorzystywana do tyczenia przesuniętych wskaźników montażowych nacinanych na poszczególnych wspornikach prowadnic.



Rys. 1.65. Pomiary inwentaryzacyjne szybu
Objaśnienia w tekście



Rys. 1.66. Kształt przekroju poziomego szybu [4]
Objaśnienia w tekście



Rys. 1.67. Ustalanie położenia przewodnic względem prostokąta podstawowego
Objaśnienia w tekście

Po zakończeniu montażu przewodnic wykonuje się pomiary kontrolne ich położenia względem prostokąta podstawowego. Odległości przewodnic od sąsiadujących z nimi punktów osnowy A, B, C, D wyznacza się przy użyciu pionownika optycznego i przymiaru milimetrowego. Zmierzone odległości powinny osiągać wartości a, b, c, d (rys. 1.67), obliczone na podstawie ustalonych wcześniej składowych $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, d_1, d_2$.

1.7. Uwagi końcowe

Przedstawione w niniejszym rozdziale procedury pomiarów geodezyjnych mają przede wszystkim zapewnić realizację właściwego kształtu i położenia wznoszonych budynków. Oznacza to konieczność spełnienia różnorodnych warunków geometrycznych z dokładnością zapewniającą uzyskanie zgodności modelu budynku z jego rzeczywistą postacią, w granicach ustalonych tolerancji budowlano-montażowych.

W przypadku budynków wielokondygnacyjnych, równoległe z ich wznoszeniem prowadzone są ponadto pomiary, których celem jest wyznaczanie przemieszczeń pionowych budynku. Rozpoczyna się je zazwyczaj w trakcie lub bezpośrednio po zakończeniu budowy fundamentów. Na dostępnych fragmentach fundamentów utrwalą się znaki wysokościowe w miejscach uzgodnionych z kierownikiem budowy i inspektorem nadzoru budowlanego. Jednocześnie w rejonie budowy zakłada się 4-5 reperów utrwalających układ odniesienia. Obydwie grupy reperów połączone ciągami tworzą wysokościową sieć obserwacyjną. Utworzona sieć poddawana jest okresowym pomiarom prowadzonym metodą niwelacji precyzyjnej. Ich częstotliwość może wynikać z postępu robót budowlanych i wiązać się z liczbą wznoszonych kondygnacji, można też ustalić interwały czasowe pomiędzy kolejnymi pomiarami. Na podstawie prowadzonych pomiarów okresowych wyznacza się – według stosowanych procedur – przemieszczenia poszczególnych reperów reprezentujących obiekt. Zbiór wyznaczonych przemieszczeń reperów zinterpretowany geometrycznie przez geodetów jest następnie poddawany interpretacjom branżowym. Celem interpretacji branżowych jest weryfikacja założeń i prognoz dotyczących wytrzymałości podłoża i jego zachowania się pod wpływem zwiększających się obciążeń. Równocześnie możliwa też będzie ocena zachowania się fundamentów budynku i ocena wpływu przemieszczeń fundamentów na trwałość konstrukcji budynku.

Nadmienić jeszcze należy, że budynki wielokondygnacyjne mogą być obejmowane geodezyjnymi pomiarami inwentaryzacyjnymi. Wyniki takich pomiarów ułatwiają prowadzenie remontów i modernizacji budynków, szczególnie tych, które wznoszone były przy użyciu technologii uprzemysłowionych.

Literatura

- [1] Borusiewicz W.: *Konstrukcje budowlane dla architektów*. Wyd. 3, Warszawa, Arkady 1978
- [2] Czajka J.: *Wybrane zagadnienia z geodezji inżynierskiej*. Kraków, Wydawnictwa AGH 1993

- [3] Instrukcja wewnętrzna GB-1. Warszawa, Geoprojekt 1976
- [4] Janusz W.: *Obsługa geodezyjna budowli i konstrukcji*. Warszawa, PPWK 1975
- [5] Berg J., van den: *Measuring practice on the building site Stockholm*. Joint, CiB FIG Working Group, March 1973
- [6] Moj E., Śliwiński M.: *Podstawy budownictwa, część I*. Wydawnictwo Politechnika Krakowska, 1996
- [7] Nowicki J.: *Analiza techniczna geodezyjnej metody pomiaru płaszczyznowości prefabrykatów*. Referaty szkoleniowe z geodezji inżyniersko-budowlanej, Warszawa, Geoprojekt 1976–1977
- [8] Śliwiński M.: *Podstawy budownictwa, część II*. Wydawnictwo Politechnika Krakowska, 1993
- [9] Rola F. (red.): *Geodezja inżyniersko-przemysłowa, wykłady część I*. Wydanie trzecie, Kraków, AGH 1991
- [10] Rola F. (red.): *Geodezja inżynierska, tom I i tom II*. Wydanie II, Warszawa, PPWK 1990, 1994
- [11] Zbiór referatów IV KNT nt. *Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej*. Warszawa 1999

2. Pomiary geodezyjne związane z budową i eksploatacją linii oraz stacji kolejowych

2.1. Wiadomości ogólne

Pomiary geodezyjne związane z budową i eksploatacją linii oraz stacji kolejowych stanowią jeden z działów geodezji inżynierskiej zwany w skrócie geodezją kolejową. Wyróżnić tu można pomiary realizacyjne, pomiary inwentaryzacyjne i pomiary na potrzeby regulacji torów kolejowych. Dotyczą one różnego rodzaju obiektów budowlanych, budowli inżynierskich i urządzeń technicznych tworzących drogi i stacje kolejowe.

Elementami drogi kolejowej są: podtorze gruntowe, budowle inżynierskie i nawierzchnia. Podtorze wykonane jest jako przekop w podłożu gruntowym (rys. 2.1) lub jako budowla nasypowa spoczywająca na podłożu gruntowym (rys. 2.2). Z podtorzem związane są również budowle inżynierskie, z których do najważniejszych należą: mury oporowe, przepusty, mosty, wiadukty i tunele. Na podtorzu budowana jest nawierzchnia kolejowa (rys. 2.3) złożona z szyn, podkładów, złączek i podsypki. Powszechnie stosowane szyny mają oznaczenia związane z ich masą i powierzchnią przekroju. Poczynając od najcięższych, są to:

- szyny S 60 o długości 23, 24 lub 25 m,
- szyny S 49 i S 42 o długości 25 i 30 m.

Ponadto szyny S 49 i S 42 stosowane do torów bezстыkowych mają długość 27,5 m. Szyny stosowane w łukach toku wewnętrznego są krótsze od uprzednio podanych o 4,5 cm, 9,0 cm i 13,5 cm. Szyny układane są na podkładach drewnianych lub betonowych, spoczywających na podsypce, którą uzyskuje się przez kruszenie skał twardych (bazalt, granit, sjenit, kwarcyt) lub jako materiał kopalny (żwir, piasek, pospółka).

Odległość pomiędzy dwiema szynami przymocowanymi do podkładów, zwana szerokością (prześwitem) toru, mierzona jest na wysokości 14 mm poniżej powierzchni tocznych i wynosi 1435 mm (rys. 2.4). Drogi kolejowe o tej szerokości toru uważane są za normalnotorowe w odróżnieniu od szerokotorowych (1524 mm – Rosja, 1600 mm – Irlandia, 1675 mm – Hiszpania) i wąskotorowych (1000, 750, 600 mm).

- [3] Instrukcja wewnętrzna GB-1. Warszawa, Geoprojekt 1976
- [4] Janusz W.: *Obsługa geodezyjna budowli i konstrukcji*. Warszawa, PPWK 1975
- [5] Berg J., van den: *Measuring practice on the building site Stockholm*. Joint, CiB FIG Working Group, March 1973
- [6] Moj E., Śliwiński M.: *Podstawy budownictwa, część I*. Wydawnictwo Politechnika Krakowska, 1996
- [7] Nowicki J.: *Analiza techniczna geodezyjnej metody pomiaru płaszczyznowości prefabrykatów*. Referaty szkoleniowe z geodezji inżyniersko-budowlanej, Warszawa, Geoprojekt 1976–1977
- [8] Śliwiński M.: *Podstawy budownictwa, część II*. Wydawnictwo Politechnika Krakowska, 1993
- [9] Rola F. (red.): *Geodezja inżyniersko-przemysłowa, wykłady część I*. Wydanie trzecie, Kraków, AGH 1991
- [10] Rola F. (red.): *Geodezja inżynierska, tom I i tom II*. Wydanie II, Warszawa, PPWK 1990, 1994
- [11] Zbiór referatów IV KNT nt. *Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej*. Warszawa 1999

2. Pomiary geodezyjne związane z budową i eksploatacją linii oraz stacji kolejowych

2.1. Wiadomości ogólne

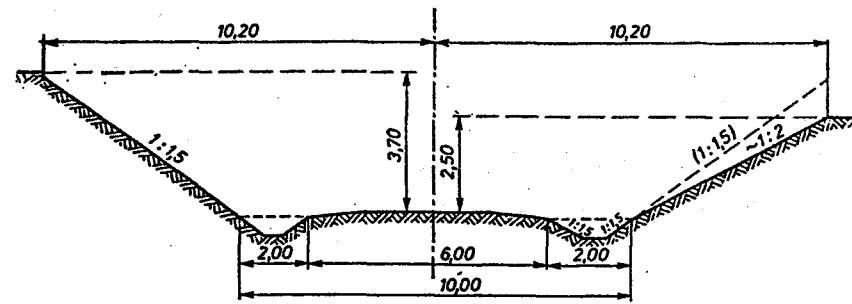
Pomiary geodezyjne związane z budową i eksploatacją linii oraz stacji kolejowych stanowią jeden z działów geodezji inżynierskiej zwany w skrócie geodezją kolejową. Wyróżnić tu można pomiary realizacyjne, pomiary inwentaryzacyjne i pomiary na potrzeby regulacji torów kolejowych. Dotyczą one różnego rodzaju obiektów budowlanych, budowli inżynierskich i urządzeń technicznych tworzących drogi i stacje kolejowe.

Elementami drogi kolejowej są: podtorze gruntowe, budowle inżynierskie i nawierzchnia. Podtorze wykonane jest jako przekop w podłożu gruntowym (rys. 2.1) lub jako budowla nasypowa spoczywająca na podłożu gruntowym (rys. 2.2). Z podtorzem związane są również budowle inżynierskie, z których do najważniejszych należą: mury oporowe, przepusty, mosty, wiadukty i tunele. Na podtorzu budowana jest nawierzchnia kolejowa (rys. 2.3) złożona z szyn, podkładów, złączek i podsypki. Powszechnie stosowane szyny mają oznaczenia związane z ich masą i powierzchnią przekroju. Poczynając od najcięższych, są to:

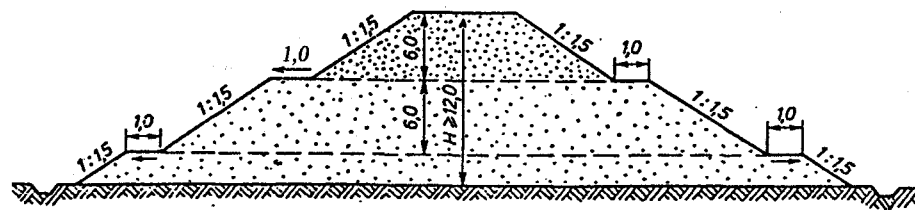
- szyny S 60 o długości 23, 24 lub 25 m,
- szyny S 49 i S 42 o długości 25 i 30 m.

Ponadto szyny S 49 i S 42 stosowane do torów bezстыkowych mają długość 27,5 m. Szyny stosowane w łukach toku wewnętrznego są krótsze od uprzednio podanych o 4,5 cm, 9,0 cm i 13,5 cm. Szyny układane są na podkładach drewnianych lub betonowych, spoczywających na podsypce, którą uzyskuje się przez kruszenie skał twardych (bazalt, granit, sjenit, kwarcyt) lub jako materiał kopalny (żwir, piasek, pospółka).

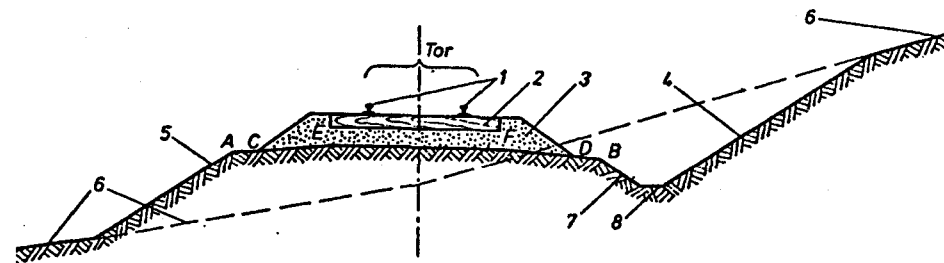
Odległość pomiędzy dwiema szynami przymocowanymi do podkładów, zwana szerokością (prześwitem) toru, mierzona jest na wysokości 14 mm poniżej powierzchni tocznych i wynosi 1435 mm (rys. 2.4). Drogi kolejowe o tej szerokości toru uważane są za normalnotorowe w odróżnieniu od szerokotorowych (1524 mm – Rosja, 1600 mm – Irlandia, 1675 mm – Hiszpania) i wąskotorowych (1000, 750, 600 mm).



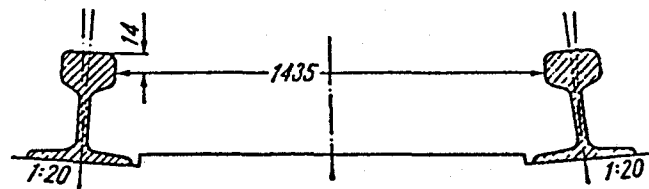
Rys. 2.1. Przekop płytki



Rys. 2.2. Przekrój nasypu o dużej wysokości z ławami [22]



Rys. 2.3. Przekrój podtorza i nawierzchni [22]: 1 – szyny, 2 – podkład, 3 – podsypka, 4 – skarpa przekopu, 5 – skarpa nasypu, 6 – stok terenu, 7 – skarpa rowu, 8 – dno rowu; AB – torowisko, AC, DB – ława (pobocze), EF – płaszczyzna pozioma torowiska



Rys. 2.4. Szerokość toru kolei normalnotorowej

Przyjęta szerokość 1435 mm dróg normalnotorowych obowiązuje na odcinkach prostych i łukach kołowych o promieniu $R \geq 300$ m. W łukach o promieniach $R < 300$ m wprowadza się poszerzenie tej szerokości o 0,5–1 mm na metr bieżący krzywej przejściowej tak, aby po dojściu do łuku kołowego uzyskać całkowite poszerzenie zgodne z tabelą 2.1.

Tabela 2.1
Poszerzenia szerokości toru

R [m]	Poszerzenie szerokości toru [mm]
299–250	5
249–200	10
199–180	15
179–160	20
poniżej 159	25

Jeśli pomiędzy odcinkiem prostym a łukiem kołowym nie występuje krzywa przejściowa, wówczas stopniowe poszerzanie prześwitu toru prowadzi się na odcinku prostym rozpoczynając od punktu znajdującego się w ustalonej odległości od początku łuku kołowego. Przy poszerzaniu toru przesuwają się szynę wewnętrzną w kierunku do środka łuku.

Droga kolejowa wraz z technicznymi urządzeniami zabezpieczenia ruchu kolejowego, budynkami i innymi urządzeniami zapewniającymi bezpieczeństwo ruchu pociągów nazywana jest linią kolejową, zaś zespół linii kolejowych powiązanych punktami eksploatacyjnymi stanowi sieć kolejową. Na liniach kolejowych rozmieszczone są posterunki ruchu i punkty handlowe (przystanki osobowe, ładownie i bocznice), mogą one występować łącznie lub oddzielnie. Do posterunków ruchu zaliczane są stacje kolejowe. Odcinek linii kolejowej zawarty pomiędzy semaforami stacji, mijanek lub posterunków odgałęźnych nazywa się szlakiem.

Linie kolejowe można sklasyfikować według różnorodnych kryteriów. Przede wszystkim wyróżnia się:

- linie magistralne (kategoria 0), łączące wielkie ośrodki przemysłowo-handlowe między sobą oraz ze stolicą państwa, przystosowane do prędkości większych niż 120 km/h;
- linie pierwszorzędne (kategoria 1), łączące linie magistralne, a także ośrodki przemysłowe i handlowe, przystosowane do prędkości 80–120 km/h;
- linie drugorzędne (kategoria 2), przystosowane do prędkości 60–80 km/h;
- linie znaczenia miejscowego (kategoria 3).

Według klasyfikacji opartej na rodzaju terenu wyróżnia się:

- linie kolejowe nizinne o pochyleniach 5–10‰ i promieniach łuków poziomych 500–2000 m,
- linie kolejowe podgórskie o pochyleniach 10–15‰ i promieniach 300–1500 m,
- linie górskie o pochyleniach do 30‰ i promieniach 300–800 m.

Ze względu na liczbę torów linie kolejowe dzieli się na jedno-, dwu- i wielotorowe. Odległość między osiami torów, zwana rozstawem, nie może być mniejsza niż 3,5 m, a w wypadku nowo budowanych torów odległość ta wynosi 4,0 m. Odległość między osiami dwóch sąsiednich torów należących do różnych linii kolejowych zwiększa się do 4,0 m, a nawet do 4,75 m, jeśli na międzytorzu ustawiane są stałe sygnały kolejowe. Jeśli linia kolejowa przebiega w łuku o promieniu $R < 350$ m, to rozstaw 3,5 m poszerza się o wielkości zestawione w tabeli 2.2.

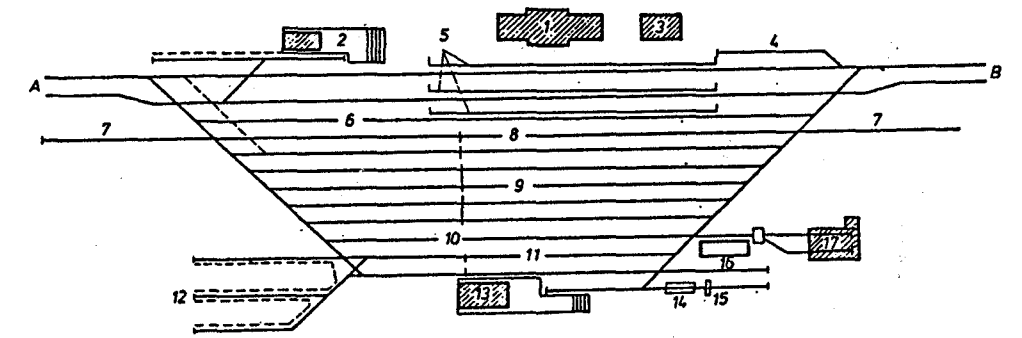
Tabela 2.2

Poszerzenia rozstawu osi torów

R [m]	Poszerzenie rozstawu osi torów [mm]
250	20
200	130
180	190
150	310
120	700
100	1100

Elementem linii kolejowej jest stacja kolejowa (rys. 2.5), która pełni funkcję posterunku ruchu oraz jest przeznaczona do obsługi odprawy podróżnych i wykonania czynności ładunkowych. Umożliwia zatem wykonanie określonej pracy ruchowej i przewozowej. Do wykonywania czynności ruchowych stacja wyposażona jest w tory główne zasadnicze, będące przedłużeniem torów szlakowych, a także tory główne dodatkowe, boczne, postojowe, ładunkowe i inne wraz z rozjazdami i skrzyżowaniami. Działalność przewozową umożliwiają: urządzenia obsługi podróżnych (budynek dworcowy, tory peronowe, perony); urządzenia ładunkowe (magazyny, rampy, dźwigi, wagi wagonowe, budynki biurowe); urządzenia ruchu osobowego i towarowego (tory dojazdowe i przyjazdowe, tory rozrządowe, wyciągowe) i inne potrzebne do wykonywania zadań eksploatacyjnych.

Wzdłuż linii kolejowej rozmieszczane są również przystanki osobowe, ładownie, bocznice, mijanki i posterunki odstępowe.



Rys. 2.5. Stacja średniej wielkości w układzie poprzecznym [22]: 1 – budynek dworca, 2 – magazyn i rampa, 3 – budynek, 4 – tor odstawczy, 5 – perony, 6 – tor wyprzedzania dla ruchu pasażerskiego, 7 – tory wyciągowe, 8 – tory wyprzedzania dla ruchu towarowego, 9 – tory zestawcze, 10 – tor komunikacyjny, 11 – tory magazynowe, 12 – tory i place ładunkowe, 13 – magazyn i rampa, 14 – waga, 15 – skrajnik, 16 – skład opału 17 – lokomotywownia

2.2. Tyczenie tras kolejowych

2.2.1. Uwagi o projektowaniu dróg kolejowych

Ustalanie położenia linii kolejowej oraz towarzyszących jej obiektów i urządzeń technicznych odbywa się w trzech etapach. Najpierw wykonuje się studia ekonomiczne (przedprojektowe), w wyniku których ustala się pożądane kierunki przebiegu projektowanej trasy, a następnie opracowuje się projekt wstępny i projekt techniczny.

Przebieg trasy wykonuje się w kilku wariantach, uwzględniając dane wyjściowe określone w studium ekonomicznym. Pozwalają one na ustalenie kategorii linii z punktu widzenia maksymalnych prędkości pociągów, obciążenia przewozowego oraz znaczenia tej linii w ruchu krajowym i międzynarodowym. Po ustaleniu kategorii linii wybiera się typ i rodzaj nawierzchni kolejowej, określa się minimalne promienie łuków poziomych oraz maksymalne dopuszczalne pochylenia niwelety. Szczegółowe zasady kształtowania geometrii trasy ustala się w warunkach technicznych opracowanych w dostosowaniu do wymagań eksploatacyjnych z uwzględnieniem przewidywanych prędkości pociągów i szerokości torów. Wreszcie tworzy się zbiór informacji o terenie kompletując mapy topograficzne, mapy geologiczne, mapy miejskie, mapy uzbrojenia podziemnego, mapy terenów rolniczych i mapy ewidencji gruntów. Do źródeł informacji o terenie należą również miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego, a także fotomapy, fotoszkie i dane pozyskane z wywiadu terenowego.

W projektowaniu tras kolejowych korzysta się z map wykonanych w różnych skalach. Dla studium ekonomicznego wystarczają mapy w skalach 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, zaś projekt wstępny wymaga map w skalach 1:25 000, 1:10 000, 1:5000.

Projekt techniczny opracowuje się na mapach w skali 1:2000 i 1:1000. Ponadto sporządzane są mapy sytuacyjno-wysokościowe pasów terenu o szerokości 100–200 m, przez które poprowadzona będzie linia kolejowa. Mapy w dużych skalach opracowuje się też dla przejść przez tereny zabudowane, rzeki, lasy, parowy czy też tereny o bardzo zróżnicowanej rzeźbie terenu.

Na potrzeby wielowariantowego projektowania tras kolejowych przygotowuje się również numeryczne modele terenu. Uzyskuje się je z opracowań fotogrametrycznych, z pomiarów tachymetrycznych, a także przez digitalizację istniejących map graficznych. Numeryczny model terenu, odpowiednio zgeneralizowany, może być wykorzystany w procesie projektowania zarówno na etapie studiów ekonomicznych, jak i na etapie projektu technicznego. Model numeryczny przetwarza się w razie potrzeby na postać graficzną. Czynność tę realizuje się przy użyciu ploterów.

Przebieg osi projektowanej linii kolejowej ustala się na mapie, rozpoczynając od wyznaczenia technicznych punktów stałych. Punkty takie lokalizuje się w podejściach do miast lub w miejscach skrzyżowań z przeszkodami liniowymi (drogi, rzeki, linie energetyczne itp.).

Po ustaleniu początku i końca projektowanego odcinka linii oraz ustaleniu położenia punktów stałych otrzymuje się oś trasy w postaci linii łamanej łączącej wyszczególnione wyżej punkty. Nie jest to na ogół linia ostateczna, określa ona jedynie główne kierunki przebiegu trasy. Trasowanie na mapie musi uwzględniać istniejącą rzeźbę terenu, łącznie z jego analizą hydrograficzną i geologiczną. Poszukiwanie najkorzystniejszego przebiegu trasy polega na wyborze rozwiązania optymalnego pod względem ekonomicznym i technicznym.

W trudnych warunkach terenowych przed naniesieniem trasy znajduje się na mapie linię równomiernego spadku, którego maksymalna wartość zależy od kategorii linii. Na podstawie ustalonego spadku i oraz znanej wartości cięcia warstwicowego Δh oblicza się odległość d zwaną krokiem technicznym. Stosuje się tu wzór

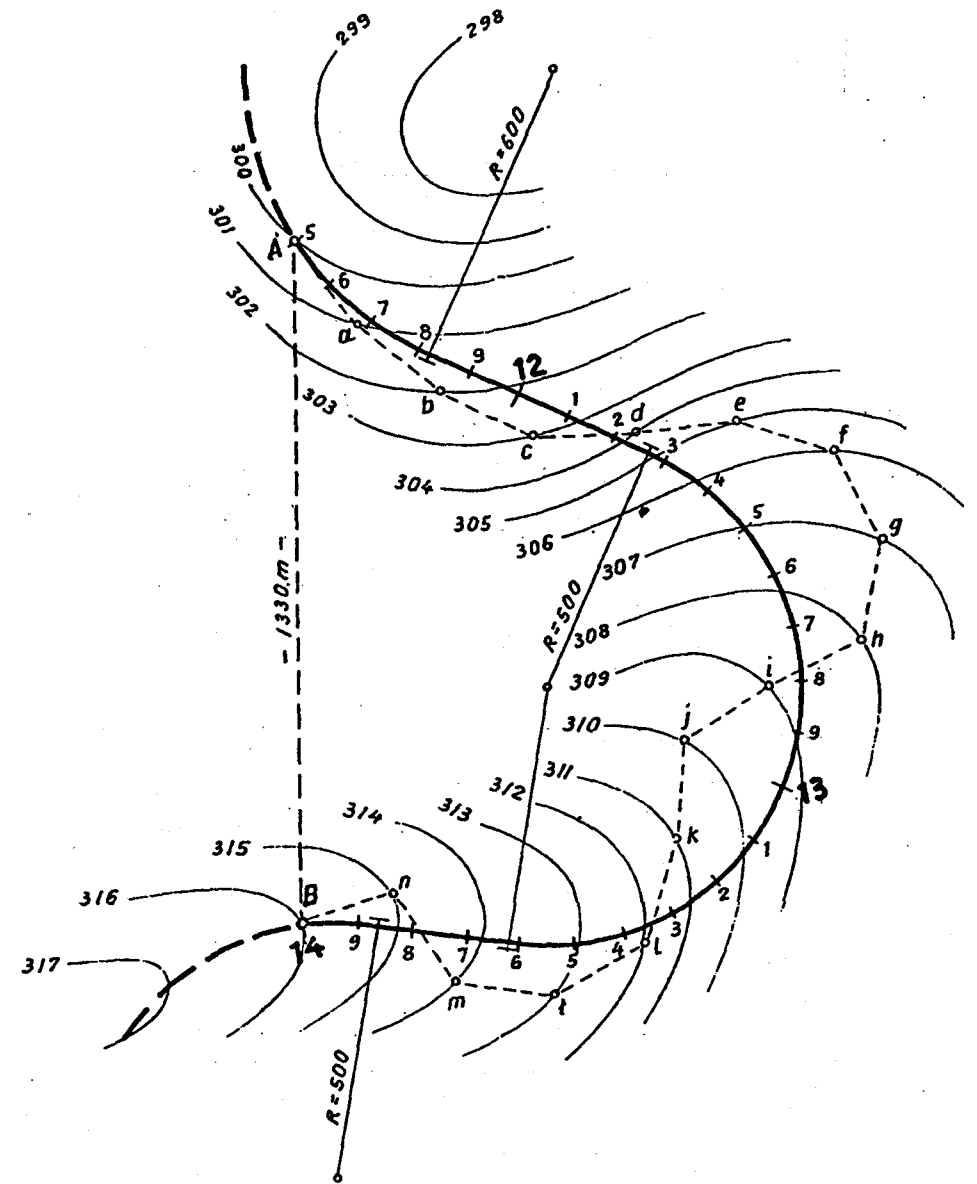
$$d = \frac{\Delta h}{i} \quad (2.1)$$

Krocząc po warstwicach z zachowaniem odległości d , uzyskuje się punkty, które tworzą linię łamaną o jednakowym spadku (rys. 2.6). Na tle tej linii projektuje się przebieg trasy w postaci łuków kołowych i odcinków prostych.

Inne sposoby trasowania umożliwiają lokalizowanie trasy w dolinach rzek, na zboczach, w wododziałach. Każdy z tych wariantów ma swoje zalety i wady, różnią się one także kosztem wykonania wynikającym z wydłużania trasy czy też budową różnych obiektów inżynierskich, takich jak: przepusty, mosty, wiadukty, mury oporowe, a nawet tunele.

Dla przygotowanych wariantów przebiegu trasy w płaszczyźnie poziomej wykonuje się uproszczone profile podłużne terenu wraz z niweletą. Na tej podstawie ocenia

się poszczególne warianty w aspekcie długości trasy, przeciętnego jej pochylenia i liczby przekraczanych przeszkód. Dokonuje się szacunku kosztów robót ziemnych i kosztów budowy obiektów inżynierskich w poszczególnych wariantach. W końcu wybiera się ostateczny wariant przebiegu trasy kolejowej.



Rys. 2.6. Linia jednakowego spadku [22]

Opracowany projekt wstępny linii kolejowej składa się z następujących części: ogólnej, technologiczno-ruchowej, budowlanej, planu realizacyjnego, kosztowej i ekonomicznej. Najobszerniejsza jest część budowlana projektu wstępnego. Ujmuje ona wszystkie projekty branżowe, a w szczególności:

- plan usytuowania linii na mapie sytuacyjno-wysokościowej w skali nie mniejszej niż 1:25 000, z oznaczeniem posterunków ruchu, lokalizacji obiektów inżynierskich, skrzyżowań tras komunikacyjnych itp.;
- profil podłużny linii z niweletą oraz przekroje poprzeczne podtorza i nawierzchni;
- projekty wstępne stacji, budynków stacyjnych, przepustów, mostów, wiaduktów, tuneli;
- projekty dróg, instalacji sanitarnych i elektrycznych.

Inną częścią projektu wstępnego jest plan realizacyjny, który zawiera plan usytuowania linii kolejowej na mapie w skali od 1:25 000 do 1:10 000 oraz plan usytuowania obiektów budowlanych na mapie w skali 1:1000 lub 1:500. Na mapach zaznacza się również granice pasa terenu przeznaczonego pod budowę linii kolejowej oraz objekty do wyburzenia.

Projekt techniczny linii kolejowej składa się z opisu technicznego i części rysunkowej. Część rysunkowa zawiera między innymi:

- plan sytuacyjny układu torów na mapach w skali 1:1000 lub większej;
- profil podłużny linii w skalach $1: \frac{10\,000}{1000}$ lub $1: \frac{5000}{500}$ z oznaczeniem stacji, skrzyżowań z innymi obiektami liniowymi oraz danych wysokościowych mostów, przepustów i wiaduktów;
- przekroje poprzeczne podtorza i nawierzchni;
- projekt robót ziemnych z odpowiednimi zestawieniami.

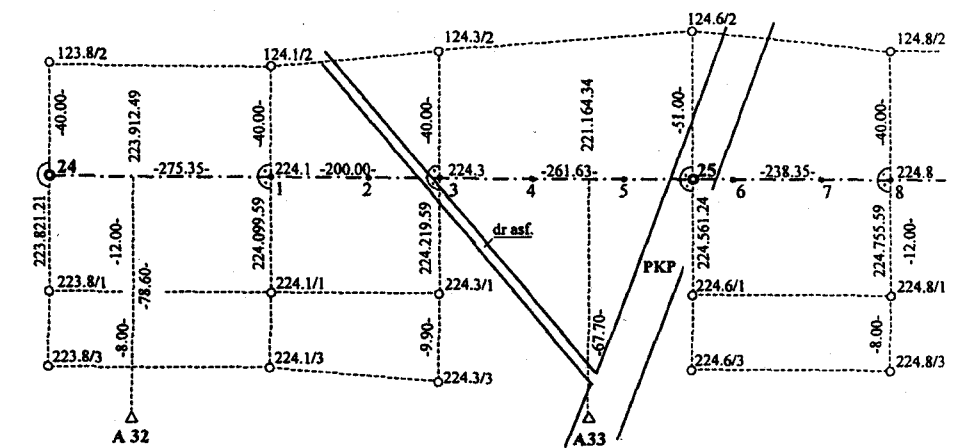
2.2.2. Tyczenie podtorza

Trasa linii kolejowej w planie składa się z odcinków prostych, łuków kołowych, łuków koszowych, łuków odwrotnych i krzywych przejściowych, łączących odcinki prostoliniowe z łukami kołowymi lub też łączących dwa łuki kołowe o różnych promieniach. W profilu podłużnym trasa składa się z odcinków poziomych i pochyłych oraz łuków kołowych wyokrąglających załomy profilu. W pracach tyczeniowych trasę linii kolejowej wyznaczać będą punkty załamania trasy, punkty główne łuków kołowych i krzywych przejściowych, punkty hektometrowe, punkty główne łuków pionowych, punkty zerowe, punkty przecięcia z przeszkodami liniowymi itp. Położenie wymienionych punktów powinno być określone w obowiązującym układzie współrzędnych, w ramach geodezyjnego opracowania projektu trasy kolejowej. W tym celu istniejącą w terenie osnowę geodezyjną należy powiązać elementami liniowymi i kątowymi z punktami załamania trasy w sposób umożliwiający obliczenie współrzędnych tych punktów. Wartości elementów geometrycznych tworzących konstrukcję wiążącą mogą zostać ustalone bezpośrednio w terenie po zlokalizowaniu punktów załomu trasy.

Lokalizację tych punktów wykonuje się w dowiązaniu do szczegółów terenowych lub w oparciu o miary graficzne wzięte z mapy, na której oprócz projektowanej trasy kolejowej naniesione są również punkty osnowy geodezyjnej.

Po wyznaczeniu współrzędnych załomów trasy oblicza się współrzędne pozostałych punktów reprezentujących trasę. Korzysta się przy tym z danych liczbowych przygotowanych przez projektanta. Należą do nich: promienie łuków kołowych, długości krzywych przejściowych, długości odcinków prostoliniowych i miary wynikające z profilu podłużnego. Na tym etapie opracowania nie powinno się korzystać z miar graficznych. Przygotowane współrzędne punktów reprezentujących trasę kolejową są wykorzystywane do ich wytyczenia w terenie w oparciu o istniejącą (lub założoną wcześniej) osnowę geodezyjną. Przy obecnych możliwościach dokładnościowych tachymetrów elektronicznych tyczenie może odbywać się metodą biegunową z punktów osnowy geodezyjnej lub z dowiązanych do nich swobodnych stanowisk tachymetru. Tyczenie można też prowadzić metodą RTK-GPS. Jeśli punkty projektu tyczy się w sposób klasyczny, to pracę rozpoczyna się od wytyczenia punktów załomu trasy, a dopiero w oparciu o nie tyczy się punkty główne trasy i punkty hektometrowe. Jeśli odcinki łączące punkty załamania trasy osiągają znaczne długości, wówczas dzieli się je na mniejsze poprzez wytyczenie punktów pośrednich z wykorzystaniem osnowy geodezyjnej. Na łukach kołowych i krzywych przejściowych oprócz punktów głównych tyczy się też punkty pośrednie.

Wytyczone w terenie punkty osi trasy, po sprawdzeniu ich położenia względem szczegółów terenowych, podlegają wyniesieniu poza pas przyszłej budowy. Wynoszone punkty pomocnicze (zabezpieczające), najczęściej w liczbie 2 lub 3 dla każdego punktu osiowego, sytuuje się na liniach prostopadłych do osi trasy w sposób pokazany na rysunku 2.7.



Rys. 2.7. Utrwalenie trasy w terenie [22]

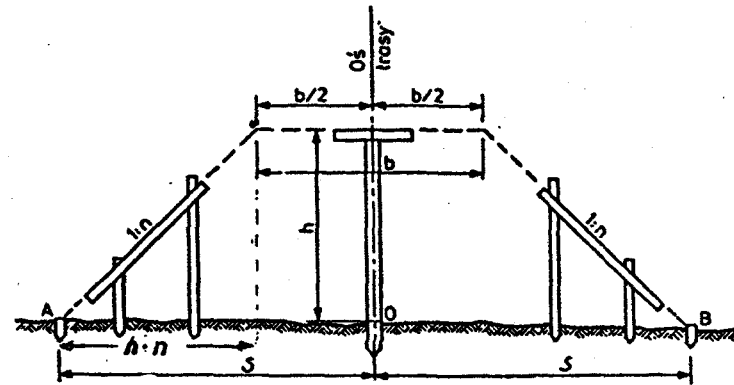
- OBJAŚNIENIA
- - - - - oś trasy
 - ⊙ - punkt hektometrowy
 - - punkt zabezpieczający
 - - punkt pośredni
 - △ - punkt osnowy geodezyjnej

Jeden z dwóch lub trzech punktów pomocniczych każdego przekroju powinien mieć wyznaczoną wysokość w dowiązaniu do reperów założonych wcześniej wzdłuż projektowanej trasy kolejowej.

Kolejną czynnością jest profilowanie korpusu podtorza polegające na odtworzeniu w terenie projektowanych przekrojów poprzecznych trasy. Przekroje takie zamieszczone w dokumentacji technicznej trasy wykonane są dla głównych, charakterystycznych i hektometrowych punktów trasy. Każdy przekrój poprzeczny zawiera: kilometraż trasy, kształt i wymiary korony torowiska, szerokości dna rowu, pochylenia skarp, rzędne terenu, rzędne niwelety oraz rzędne dna rowu.

Czynność profilowania korpusu podtorza w dowolnym przekroju poprzecznym polega na wytyczeniu i zaznaczeniu:

- głębokości wykopu lub wysokości nasypu w osi podtorza, z uwzględnieniem osiadania materiału ziemnego;
- krawędzi wzdłuż których skarpy nasypu lub wykopu przecinają się z terenem;
- wymaganych nachyleń skarp;
- szerokości korony podtorza lub szerokości korony i rowów oraz wysokości jej obu krawędzi.



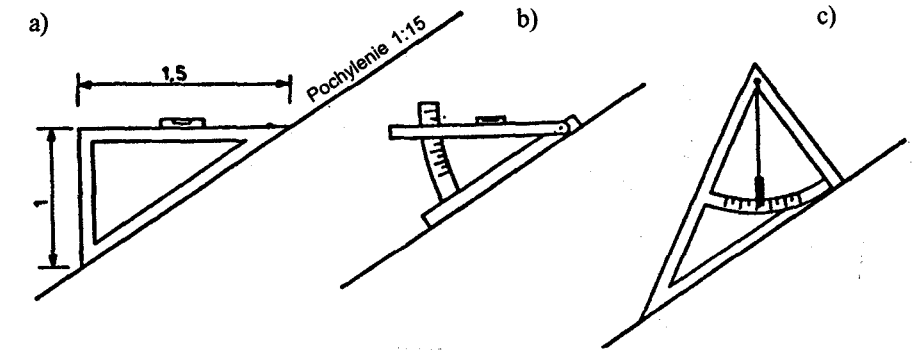
Rys. 2.8. Wyznaczenie przekroju nasypu w terenie płaskim
Objaśnienia w tekście

Wytyczenie typowego niskiego przekroju poprzecznego w terenie płaskim (rys. 2.8) polega na odłożeniu od punktu osiowego O odległości S i utworzeniu punktów A i B odpowiadających śladom przecięcia skarpy nasypu z terenem. Odległość S oblicza się ze wzoru

$$S = \frac{b}{2} + h \cdot n \quad (2.2)$$

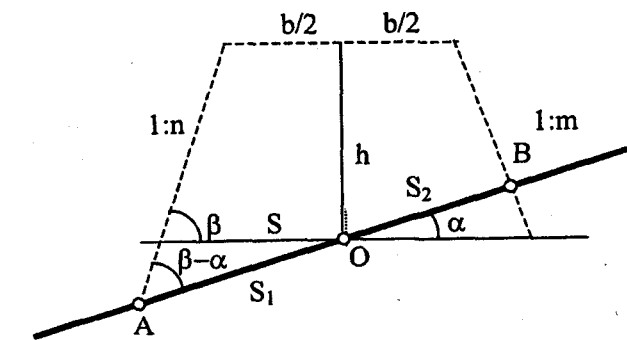
gdzie:

- b – szerokość korony nasypu,
- h – wysokość nasypu będąca różnicą wysokości niwelety i terenu w punkcie O ,
- $1:n$ – pochylenie skarp.



Rys. 2.9. Szablony skarpiarskie [17]: a) trójkąt z libelą; b) kątomierz z libelą; c) kątomierz z pionem mechanicznym

Obrysy wytyczonego przekroju poprzecznego wyznaczają szablony skarpiarskie, przy czym nachylenie łat skarpowych wyznacza się przy użyciu trójkątów skarpiarskich (rys. 2.9).



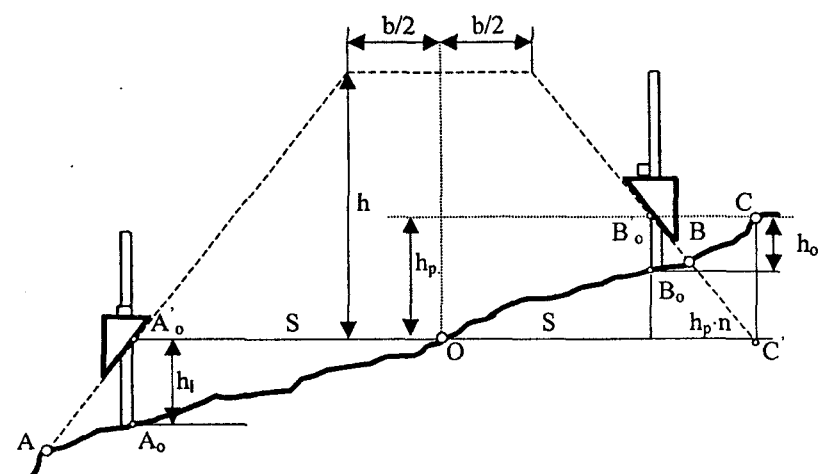
Rys. 2.10. Wyznaczenie obrysu nasypu
Objaśnienia w tekście

W terenie pochyłym odległości krawędzi przecięcia się skarp z terenem od punktu osiowego będą różne. Jeśli pochylenie terenu jest jednostajne (rys. 2.10), wówczas poszukiwane odległości oblicza się ze wzorów:

$$S_1 = \frac{S \cdot \sqrt{m^2 + 1}}{m - n}, \quad (2.3)$$

$$S_2 = \frac{S \cdot \sqrt{m^2 + 1}}{m + n},$$

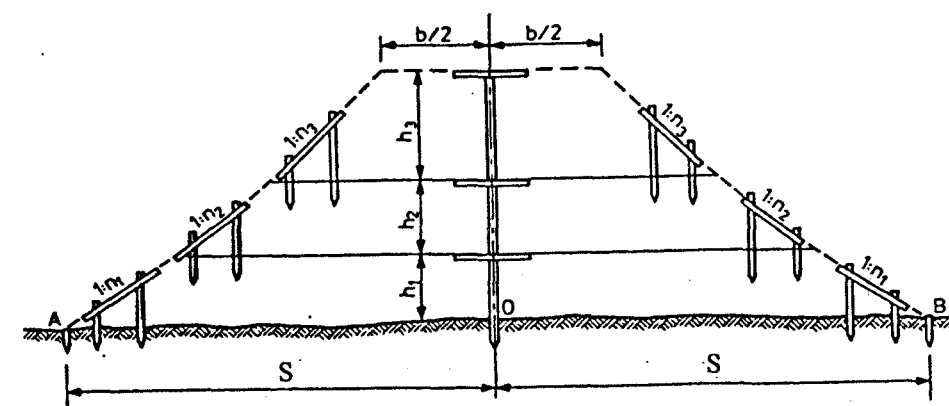
W terenie niejednostajnie pochylonym, zwłaszcza wtedy gdy nasyp jest wysoki, obrys profilu poprzecznego można wyznaczyć przy użyciu niwelatora, łaty niwelacyjnej i trójkąta skarpiarskiego (rys. 2.11) w następujący sposób: od punktu O odkłada się odległość $S = \frac{b}{2} + h \cdot n$, otrzymując punkty A_0 i C . Przy użyciu niwelatora wyznacza się różnicę wysokości h_1 między punktami A_0 i O oraz różnicę wysokości h_p między punktami C i O . Na łacie ustawionej w punkcie A_0 zaznacza się wysokość h_1 , uzyskując punkt A'_0 , przez który przechodzi płaszczyzna skarpy. Kierunek tej płaszczyzny ustala się przy użyciu spoziomowanego trójkąta skarpiarskiego, otrzymując w przedłużeniu przeciwprostokątnej szukany punkt A . W celu znalezienia punktu B łatę ustawia się w punkcie B_0 odległym od punktu O o odcinek $CB'_0 = h_p \cdot n$. Różnica wysokości h_0 pomiędzy punktami C i B_0 pozwala zaznaczyć na łacie punkt B'_0 , przez który przechodzi ślad skarpy przecinającej teren w punkcie B . W opisanym sposobie zamiast niwelatora można użyć poziomnicy i odpowiednio długiej łaty.



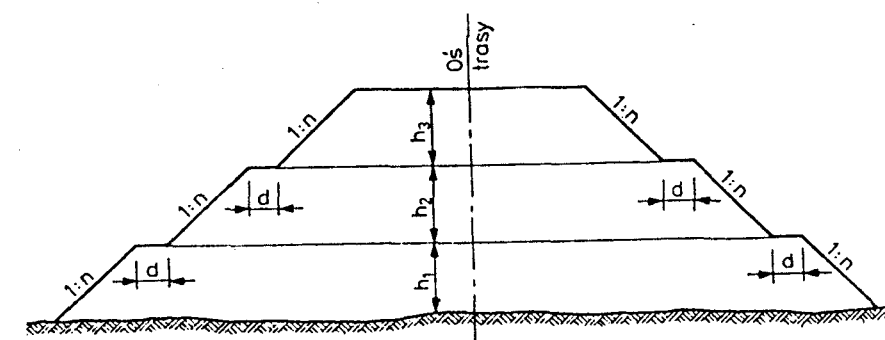
Rys. 2.11. Profilowanie nasypu
Objaśnienia w tekście

W przypadku wyznaczania przekrojów poprzecznych nasypu o dużych wysokościach i zmiennym pochyleniu skarp, szablon traserski ustawia się sukcesywnie w miarę postępu robót ziemnych (rys. 2.12). Podobnie postępuje się przy formowaniu nasypu z odsadzkami (rys. 2.13).

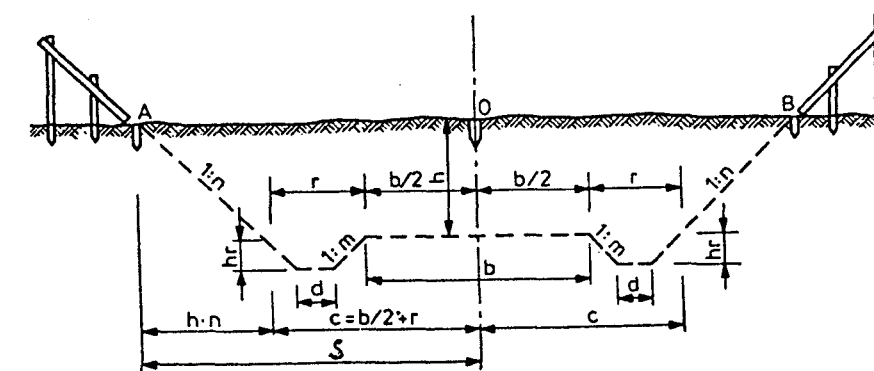
Formowanie kształtu przekrojów trasy kolejowej, podobnie jak poprzednio formowanie nasypów, również polega na wyznaczeniu krawędzi przecięcia skarpy z powierzchnią terenu i nadaniu imżądanego pochylenia. Typowy przekrój poprzeczny przekopu jest określony przez głębokość h wykopu w osi trasy, szerokość korony b , nachylenie skarp $1:n$, szerokość dna rowu d , głębokość rowu h_r oraz pochylenie skarp rowu $1:m$. Stosowne wymiary i wymagane ustawienia szablonów traserskich w przekroju poprzecznym przekopu w terenie płaskim przedstawiono na rysunku 2.14.



Rys. 2.12. Wyznaczenie przekroju nasypu o zmiennym pochyleniu skarp
Objaśnienia w tekście



Rys. 2.13. Przekrój wysokiego nasypu wraz z odsadzkami [17]
Objaśnienia w tekście



Rys. 2.14. Wyznaczenie przekroju przekopu w terenie płaskim [17]
Objaśnienia w tekście

Po ukończeniu formowania przekopu lub nasypu wznawia się na ich górnej powierzchni oś podtorza oraz punkty główne, hektometrowe i inne, korzystając z punktów zabezpieczających lub wprost z punktów osnowy geodezyjnej. W odniesieniu do wznowionej osi podtorza kontroluje się kształt krawędzi korony w nasypach oraz szerokość korony i rowów w wykopach. Sprawdza się również wysokość krawędzi i nachylenie skarp. Wyniki przeprowadzonych pomiarów inwentaryzacyjnych wykorzystuje się do ewentualnego korygowania kształtu nasypów i przekopów.

2.2.3. Tyczenie torów

Górna część podtorza, mająca bezpośredni kontakt z nawierzchnią kolejową, nosi nazwę torowiska. Jego szerokość zależy od kategorii linii kolejowej, liczby torów, wymaganych skrajni, a także od grubości warstwy podsypki, kształtu linii kolejowej w planie, rodzaju trakcji, szerokości ław bocznych między dolną krawędzią przyzmy podsypki i krawędzią torowiska. W wypadku linii nowo budowanych wymagana szerokość torowiska jest przewidziana w projekcie technicznym, natomiast przy pracach modernizacyjnych prowadzonych na liniach istniejących mogą okazać się konieczne poszerzenie torowiska i częściowa przebudowa podtorza.

Na podtorzu układa się nawierzchnię kolejową, w skład której wchodzi: szyny, złączki, podkłady i podsypka. Obecnie przy budowie nowych linii przęsła torowe na podkładach drewnianych lub betonowych przygotowuje się w bazach montażowych. Przęsła te o długościach 25 m lub 30 m przewozi się transportem kolejowym na miejsce budowy i przy pomocy dźwigów ustawia się je na podsypce. Układanie przęseł jest prowadzone na podstawie wytyczonych osi torów i niwelet trasy zaznaczonych w sposób trwały. Podnoszenie toru do projektowanej niwelety wykonuje się przy użyciu podbijarek poprzez zagęszczanie podsypki usypywanej warstwami o grubości 5 cm. Kolejne podnoszenia toru mogą prowadzić do jego przesuwania w planie, dlatego w procesie układania przęseł torowych ich położenie jest korygowane w oparciu o punkty osiowe i wysokościowe wyznaczone metodami geodezyjnymi.

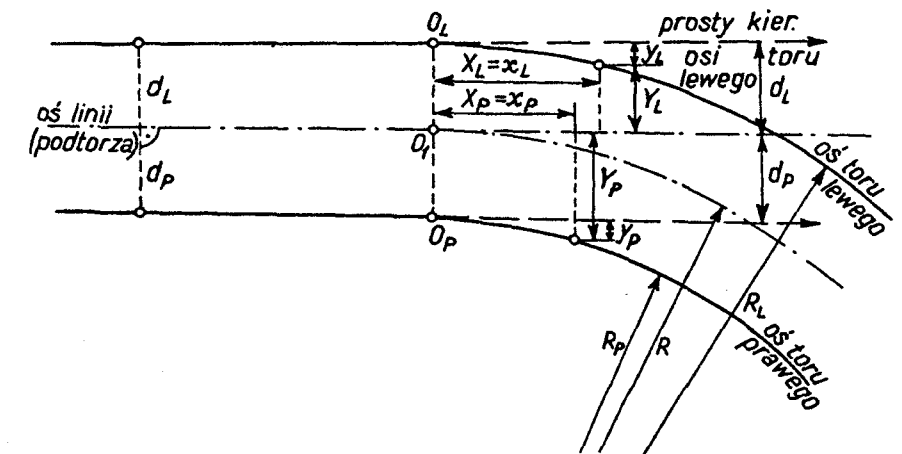
Budowa małych obiektów, np. bocznic kolejowych, prowadzona jest tzw. metodą małej mechanizacji. Tłuczeń, podkłady, złączki i szyny dowozi się na miejsce budowy. Po przymocowaniu szyn do podkładów rozłożonych na torowisku i rozłożeniu tłucznia, podnosi się fragment toru za pomocą lewarków torowych, podbijając jednocześnie tłuczeń pod podkłady. Ponieważ podkłady podbijane są warstwowo, więc i tu również prowadzi się korygowanie sytuacyjnego i wysokościowego położenia fragmentu toru względem punktów osiowych i wysokościowych wytyczonych metodami geodezyjnymi.

Podstawą tyczenia osi torów na torowisku są prostoliniowe odcinki osi linii kolejowej odtworzone na torowisku z punktów zabezpieczających punkty osiowe linii lub wytyczone ponownie w oparciu o osnowę geodezyjną. Odtworzeniem lub ponownym

wytyczeniem obejmuje się punkty ograniczające prostoliniowe odcinki linii kolejowej i znajdujące się na tych odcinkach punkty hektometrowe. Prostoliniowy odcinek linii kolejowej staje się bazą tyczenia zarówno prostoliniowych jak i krzywoliniowych odcinków osi układanych torów (rys. 2.15). Krzywoliniowe odcinki torów mogą być również tyczone w odniesieniu do przedłużonych odcinków prostoliniowych osi torów. Niezbędne miary (x_L, y_L, x_P, y_P) przygotowuje się dla punktów głównych i pośrednich łuków kołowych i krzywych przejściowych. Miary do tyczenia tych samych punktów od osi linii kolejowej oblicza się z zależności:

$$\begin{aligned} X_P &= x_P, & Y_P &= d_P + y_P \\ X_L &= x_L, & Y_L &= d_L - y_L \end{aligned} \quad (2.4)$$

gdzie d_L oraz d_P są odległościami od osi linii do osi torów.



Rys. 2.15. Tyczenie osi torów [18]
Objaśnienia w tekście

Wytyczone punkty osi torów utrwała się palikami z gwoździemi. Również palikami utrwała się wysokości, na jakich mają się znaleźć główki układanych szyn. Sytuuje się je przy stykach szyn toku wewnętrznego tak, aby ich górna powierzchnia odpowiadała projektowanej wysokości główki szyny w danym miejscu. Jednocześnie należy pamiętać o potrzebie wprowadzania przechyłki na krzywych przejściowych i łukach kołowych. Wprowadza się ją na toku zewnętrznym.

Stosownie do Instrukcji D-1 – *Przepisy techniczne...* wydanej przez Ministerstwo Komunikacji w 1982 roku [5], przechyłkę oblicza się według wzorów empirycznych zestawionych w tabeli 2.3.

Tabela 2.3
Wzory na obliczanie przechyłki toru

Warunki stosowania wzoru	Wzór
- przy jednakowej prędkości ruchu towarowego i osobowego	$h = \frac{11,8 \cdot v^2}{R}$
- do obliczenia przechyłki minimalnej w łukach o promieniu $R \geq 300$ m	$h_{\min} = \frac{11,8 \cdot v^2}{R} - 90$
- do obliczenia przechyłki minimalnej w łukach o promieniu $R < 300$ m	$h_{\min} = \frac{11,8 \cdot v^2}{R} \left(25 + \frac{R}{4} \right)$
- do obliczenia przechyłki przy różnych prędkościach ruchu pasażerskiego i towarowego	$\frac{11,8 \cdot v_{\max}^2}{R} - 153a_{\max} \leq h \leq \frac{11,8 \cdot v_t^2}{R} + 153a_n$

gdzie:
 h – wartość przechyłki [mm],
 v – prędkość pociągów [km/h],
 v_t – prędkość pociągów towarowych [km/h],
 R – promień łuku [m],
 a_{\max} – przyspieszenie maksymalne [m/s^2]; dla warunków PKP $a_{\max} = 0,60 m/s^2$,
 a_n – przyspieszenie nierównoważone w ruchu towarowym [m/s^2]

Obliczone przechyłki zaokrągla się do 5 mm. Nie stosuje się przechyłek większych niż 150 mm i mniejszych niż 20 mm. Ponadto odchylenia od projektowanego wysokościowego usytuowania obu toków szynowych nie mogą przekraczać ± 5 mm przy prędkościach ponad 80 km/h. Natomiast dopuszczalne wchrowatości torów głównych i głównych dodatkowych zapewniające spokojność jazdy zestawiono w tabeli 2.4.

Tabela 2.4

Dopuszczalna wchrowatość toru

Prędkość v [km/h]	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Wchrowatość w [%]	3,3	3,2	3,0	2,8	2,7	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1

Przejście od odcinka toru bez przechyłki do odcinka toru z przechyłką lub przejście od mniejszej do większej przechyłki wykonuje się za pomocą rampy przechyłkowej. Rampa przechyłkowa występuje jako odcinek toru o jednostajnym pochyleniu lub o zmiennym pochyleniu uzyskiwanym przy stosowaniu dwóch symetrycznie odwróconych względem siebie parabol drugiego stopnia (rys. 2.16). Pierwsza z nich to rampa prosta, zaś druga to rampa paraboliczna.

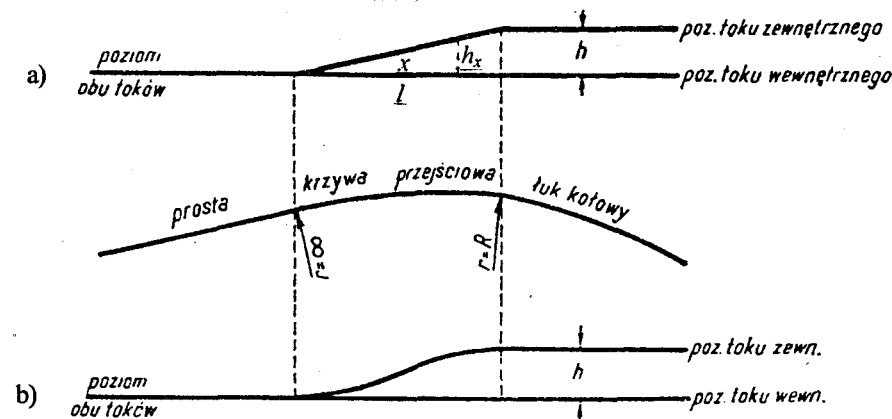
Długość rampy przechyłkowej prostej oblicza się ze wzoru empirycznego

$$l = 10 \cdot v \cdot h \quad (2.5)$$

gdzie:

- l – długość rampy przechyłkowej [m],
- v – prędkość pociągów [km/h],
- h – przechyłka toru.

Dobrze, aby długość rampy przechyłkowej odpowiadała długości krzywej przejściowej lub aby przynajmniej ich początek był wspólny. Jeśli rampa przechyłkowa jest dłuższa od krzywej przejściowej, wówczas można dopuścić jej zachodzenie na łuk kołowy.



Rys. 2.16. Rampy przechyłkowe: a) prosta; b) paraboliczna [14];
 r – promień krzywej przejściowej, R – promień łuku kąowego

Rampy paraboliczne stosuje się wówczas, gdy wprowadzenie przechyłki wymaga stosowania zbyt długich krzywych przejściowych. Pochylenie tych ramp nie powinno się różnić od pochylenia niwelety o więcej niż 2,5%. Wartości przechyłek w poszczególnych punktach rampy prostej i rampy parabolicznej oblicza się odpowiednio ze wzorów:

$$h_x = \frac{h}{l} \cdot x \quad (2.6)$$

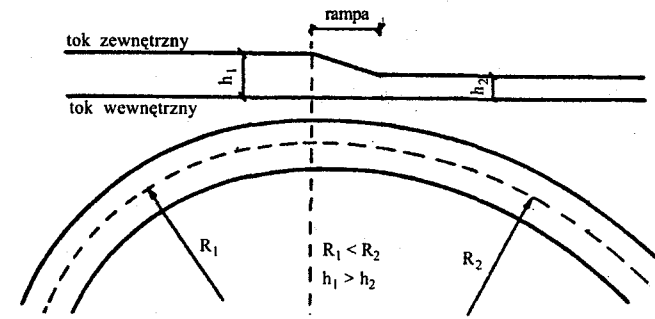
$$h_x = \frac{2h}{l^2} \cdot x^2 \quad (2.7)$$

gdzie:

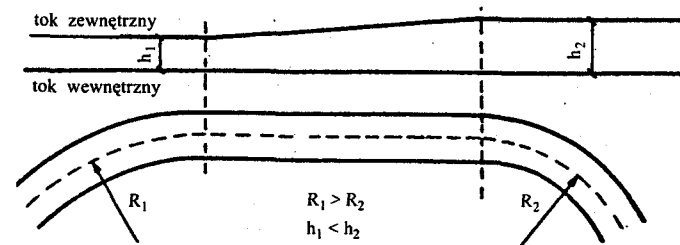
- h – całkowita przechyłka w łuku kołowym,
- l – długość pochylenia,
- x – odległość od początku pochylenia ($h = 0$).

Wprowadzenie przechyłki w łuku kosowym składającym się z dwóch łuków kołowych o różnych promieniach $R_1 < R_2$ polega na zachowaniu przechyłki przypisanej na całym łuku o promieniu mniejszym (R_1) i wprowadzeniu rampy przechyłkowej na łuku

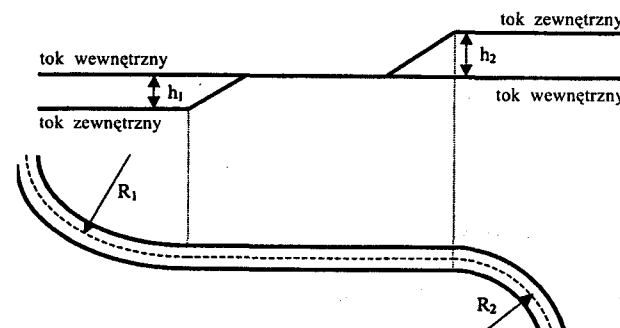
o promieniu większym (rys. 2.17). Przy dwóch łukach kołowych o różnych promieniach $R_1 > R_2$ i różnych przechyłkach, połączonych krótką wstawką prostą, przejścia od przechyłki mniejszej h_1 do większej h_2 dokonuje się na całej długości wstawki prostej (rys. 2.18). W łuku odwrotnym z wstawką prostą, rampy sytuuje się na prostej (rys. 2.19).



Rys. 2.17. Układ przechyłek w łuku koszowym [24]
Objaśnienia w tekście



Rys. 2.18. Układ przechyłek przy połączeniu dwóch łuków o różnych promieniach krótką wstawką prostą [24]
Objaśnienia w tekście



Rys. 2.19. Usytuowanie ramp w łuku odwrotnym
Objaśnienia w tekście

2.3. Tyczenie poszerzeń międzytorzy

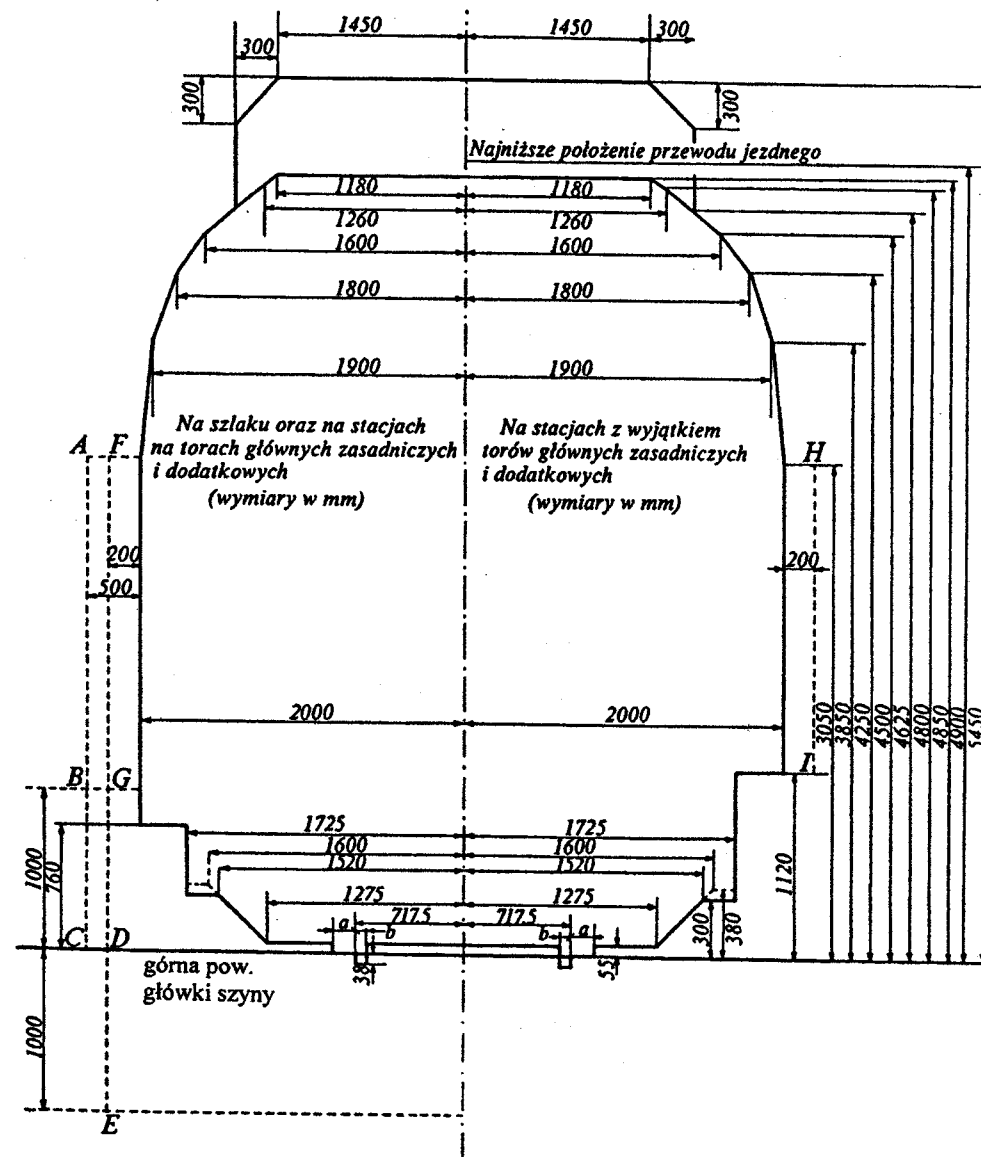
2.3.1. Skrajnia budowli

Zwiększenie prędkości jazdy pociągów na szlaku, modernizacja układów torowych stacji oraz względy bezpieczeństwa jazdy na łukach o małych promieniach wymagają zwiększenia rozstawu osiowego torów. Wraz z tą czynnością może wystąpić potrzeba sprawdzenia skrajni, czyli całkowicie wolnej przestrzeni otaczającej tor. Różni się skrajnię budowli i mieszczącą się w niej skrajnię taboru. Skrajnia budowli jest linią obrysu przekroju poprzecznego rozwiniętego wokół toru, której nie może przekroczyć żadna część budowli i urządzenia kolejowego. Poziome wymiary tego przekroju podawane są w stosunku do osi toru, a wysokościowe względem górnej powierzchni główki szyny. Jedną z takich skrajni, obowiązującą na liniach zelektryfikowanych, przedstawiono na rysunku 2.20. Wymiary podane na tym przekroju odnoszą się do prostych odcinków toru oraz do torów przebiegających w łukach o promieniach większych od 4000 m. W przypadku promieni mniejszych od 4000 m skrajnia jest poszerzana o wielkości zestawione w tabeli 2.5, zamieszczonej w szczegółowych przepisach kolejowych [5]. Oprócz wymiarów liczbowych na rysunku 2.20 występują oznaczenia literowe. Duże litery informują o konieczności zachowania dodatkowych wolnych przestrzeni w rejonach wyszczególnionych poniżej:

- AB – na przystankach;
- ABC – na obiektach mostowych o długości ponad 20 m bez wykuszy z jazdą górą;
- ABCDE – na szlaku z wyjątkiem peronów na przystankach i przestrzeni na i pod obiektami mostowymi;
- ABGDE – pod nowo budowanymi obiektami na szlaku;
- FG – na stacyjnych torach głównych zasadniczych i głównych dodatkowych oraz na obiektach mostowych o długości poniżej 20 m lub długości powyżej 20 m z jazdą dołem, jeżeli istnieje wolna przestrzeń w płaszczyźnie dźwigara głównego;
- FGD – na obiektach mostowych o długości poniżej 20 m lub długości powyżej 20 m z jazdą górą w przypadku zastosowania wykuszy oraz pod istniejącymi obiektami mostowymi na szlaku;
- HI – na torach istniejących, z wyjątkiem torów głównych i dodatkowych.

Małymi literami oznaczono następujące wymiary, których wartości znaleźć można w [5]:

- a – dla przedmiotów nieruchomych względem szyny jezdnej,
- b – dla kierownic przy krzyżownicach rozjazdów i skrzyżowań torów, odbojnic i innych przedmiotów nieruchomych.



OBJAŚNIENIA

linia ciągła – skrajnia budowli,
linia przerywana – zarys wymaganej wolnej przestrzeni między skrajnią budowli a obiektem znajdującym się na stacji lub szlaku,

Rys. 2.20. Skrajnia budowli linii zelektryfikowanych z siecią główną dla nowych budowli ciężkich [18]
Pozostałe objaśnienia w tekście

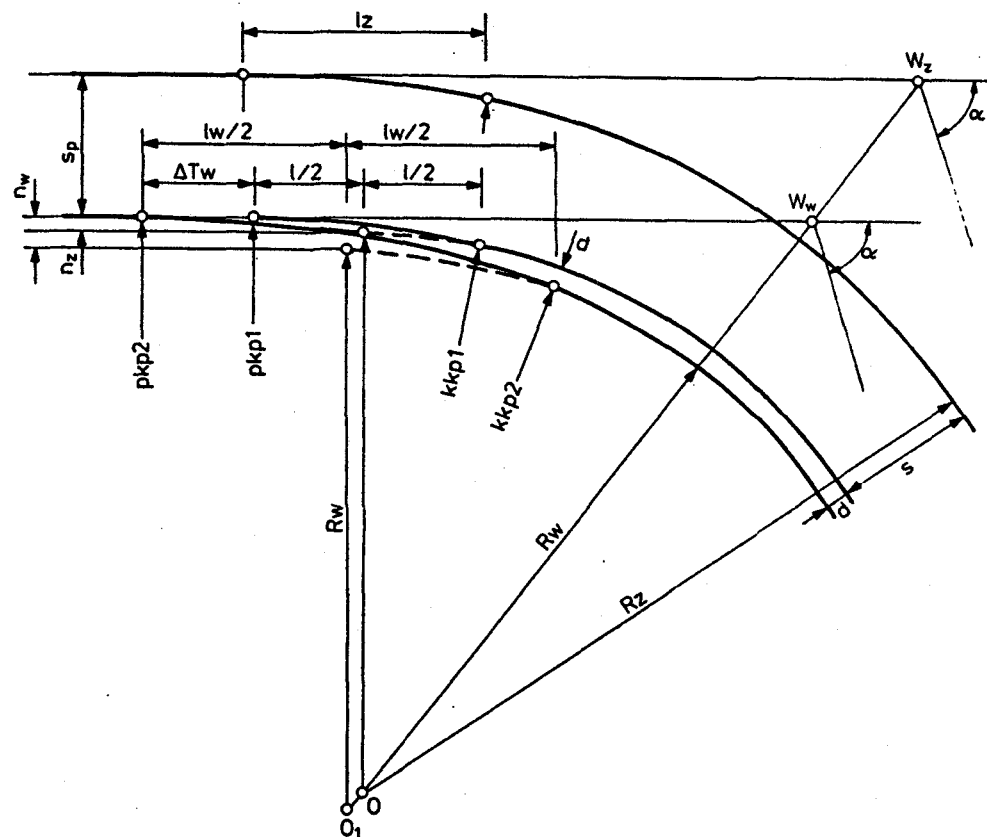
Tabela 2.5
Wymiary skrajni budowli

Promień łuku R [m]	Przechyłka toru h przyjęta do obliczenia poszerzenia skrajni [mm]	Poszerzenie skrajni [mm]							obustronne bez przechyłki
		jednostronne (przy istniejącej przechyłce) od strony wewnętrznej łuku na wysokościach nad główką szyny [mm]						od strony zewnętrznej łuku	
		4850	4250	3850	3050	1100	300		
		[mm]							
4000	20	75	65	60	50	25	15	10	10
3500	20	75	70	60	50	25	15	10	10
3000	25	95	85	80	65	35	20	15	15
2000	40	150	130	120	100	50	25	20	20
1800	45	165	150	135	110	55	30	20	20
1500	50	185	165	155	125	60	35	25	25
1200	75	275	245	225	185	85	45	30	30
1000	110	390	350	320	260	115	60	35	35
800	105	385	340	315	260	120	65	45	45
700	115	425	375	345	285	135	75	50	50
600	105	400	355	330	275	135	85	60	60
500	110	475	385	355	295	150	95	75	75
400	120	480	430	400	335	180	115	90	90
350	130	525	470	435	365	200	130	105	105
300	140	575	515	480	405	225	150	120	120
250	145	615	555	515	440	250	175	145	145
200	150	665	605	565	485	290	210	180	180
180	135	635	580	545	475	300	230	200	200
150	-	-	-	-	-	-	-	-	240

2.3.2. Poszerzenie międzytorza torów równoległych

Międzytorze dwóch torów usytuowanych w łukach równoległych można poszerzyć zwiększając długość krzywej przejściowej w torze wewnętrznym (rys. 2.21). Pomiedzy nową długością krzywej przejściowej l_w w łuku wewnętrznym a wymaganym poszerzeniem d istnieje następująca zależność

$$l_w = \sqrt{\frac{R_w}{R_z} \cdot l_z^2 + 24d \cdot R_w} \quad (2.8)$$



Rys. 2.21. Poszerzenie międzytorza poprzez zwiększenie długości krzywej przejściowej toru wewnętrznego [17]

Zależność powyższa została wyprowadzona przy zachowaniu dotychczasowej długości promienia wewnętrznego łuku R_w i zachowaniu równoległości tego łuku do łuku kołowego zewnętrznego. Wydłużona o $\Delta l = l_w - l$ długość krzywej przejściowej spowoduje wydłużenie stycznych łuku wewnętrznego o wielkość wyrażoną wzorem

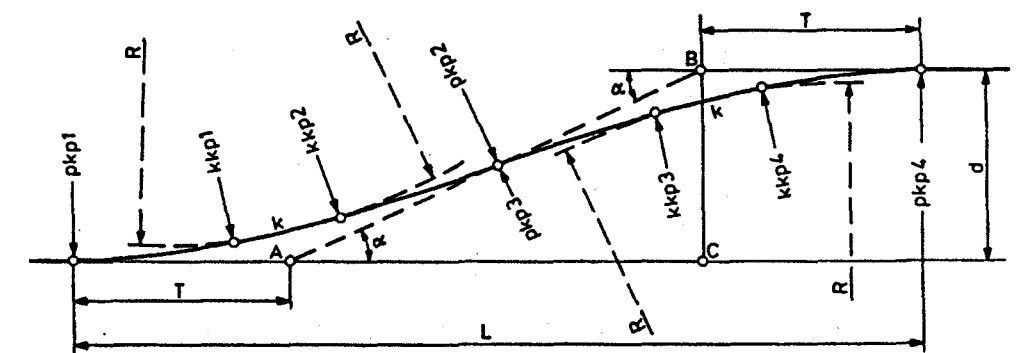
$$\Delta T_w = \frac{\Delta l}{2} \left[1 + \frac{\Delta l}{24R} \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \right] \approx \frac{\Delta l}{2} \quad (2.9)$$

Jeśli wymagane poszerzenie jest niewielkie (rzędu kilkunastu centymetrów), wówczas poszerzenie międzytorzy w torach równoległych może być zrealizowane w ramach projektu regulacji torów łuku, wykonanego metodą analityczną dla założonych parametrów R_w i l_w .

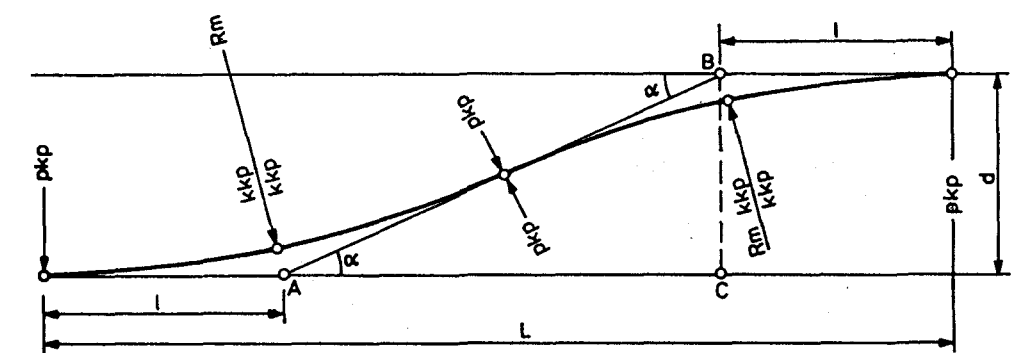
Poszerzenie międzytorza na odcinkach prostoliniowych torów głównych zasadniczych i torów głównych dodatkowych musi być dokonane z zachowaniem przewidzianych maksymalnych prędkości ruchu po tych torach. Szczegółowe rozważania w tym zakresie, prowadzące do wyboru optymalnych konstrukcji geometrycznych stosowanych przy poszerzaniu, przedstawiono w [1, 4]. Do tych konstrukcji geometrycznych należą:

- łuki kołowe z przechyłką i krzywymi przejściowymi (rys. 2.22),
- krzywe przejściowe bez przechyłki w torze (rys. 2.23).

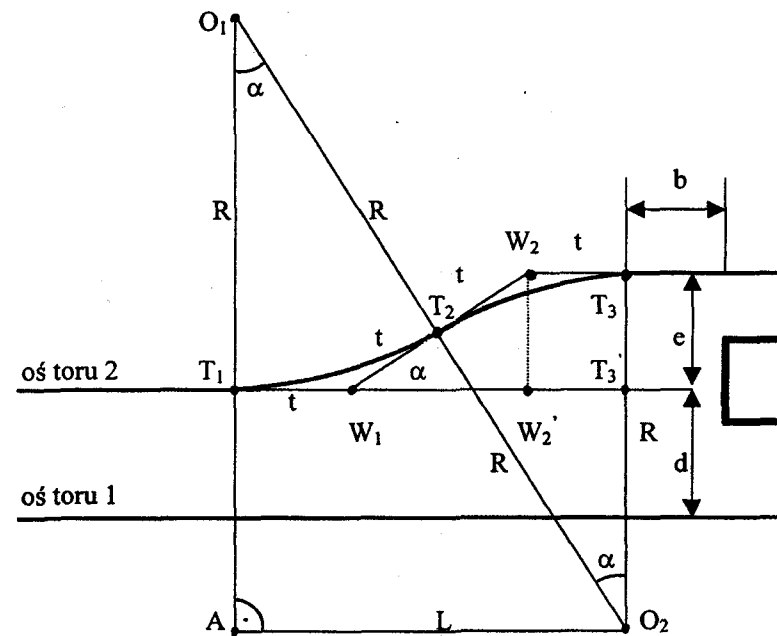
Na stacjach i na szlakach przy prędkościach mniejszych niż 100 km/h poszerzenie może być wykonane z użyciem łuków kołowych odwrotnych bez wprowadzenia krzywych przejściowych (rys. 2.24).



Rys. 2.22. Poszerzenie międzytorza łukami odwrotnymi z przechyłką i krzywymi przejściowymi [17]



Rys. 2.23. Poszerzenie międzytorza czterema krzywymi przejściowymi bez przechyłki [17]



Rys. 2.24. Poszerzenie międzytorza
Objaśnienia w tekście

Poszerzenie wykonuje się przy założeniu, że długość L nie powinna wynosić mniej niż 200 m, zaś promień R – jeśli nie wprowadza się krzywych przejściowych i przechyłek – powinien spełnić zależność

$$R \geq v_{\max}^2 \quad (2.10)$$

lub

$$R = \frac{v_{\max}^2}{9} \quad (2.11)$$

Po przyjęciu promienia R oblicza się długość odcinka L oraz kąt α z trójkąta O_1O_2A , według wzorów:

$$L = \sqrt{4R \cdot e - e^2} \quad (2.12)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{L}{2R - e} \quad (2.13)$$

gdzie e – realizowane poszerzenie.

Jeśli ustalona jest długość L , wówczas można obliczyć promień R po przekształceniu zależności (2.12) ze wzoru

$$R = \frac{L^2 + e^2}{4e} \quad (2.14)$$

Pozostaje jeszcze do obliczenia długość stycznej t . W tym celu określa się kąt α z trójkąta $W_1W_2W_2'$, uzyskując

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{e}{L - 2t} \quad (2.15)$$

Porównując prawe strony równań (2.13) i (2.15) oraz uwzględniając zależność (2.14), otrzymuje się

$$t = \frac{L^2 + e^2}{4L} \quad (2.16)$$

Wprowadzanie łuków kołowych odwrotnych z wstawką prostą w (rys. 2.25) oparte jest na następujących zależnościach:

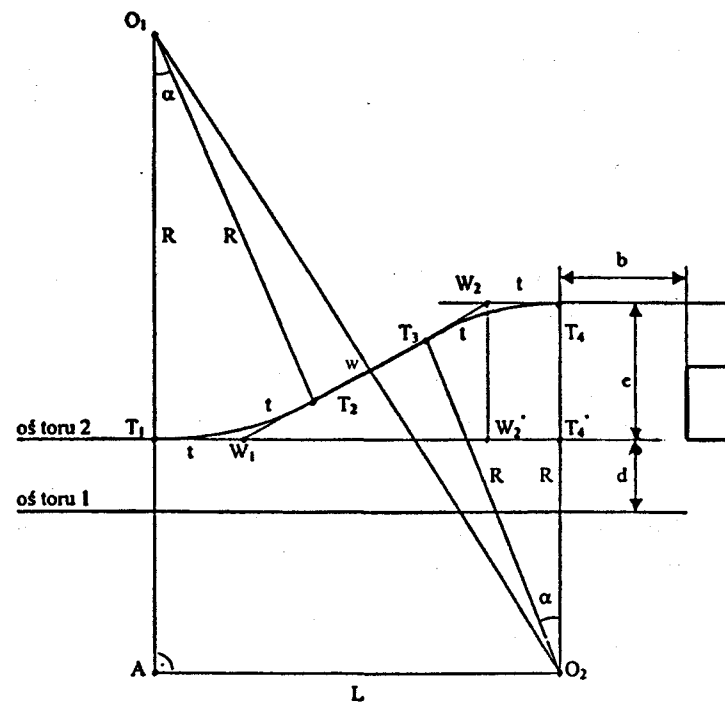
$$L = \sqrt{4R \cdot e + w^2 - e^2} \quad (2.17)$$

$$R = \frac{L^2 + e^2 - w^2}{4e} \quad (2.18)$$

$$t \approx \frac{L - w}{4} \quad (2.19)$$

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \frac{e}{L - 2t} \quad (2.20)$$

Poszerzenie e w obydwu wymienionych przypadkach polega na zlokalizowaniu położenia punktów głównych i pośrednich dwóch łuków kołowych tworzących łuk odwrotny.



Rys. 2.25. Poszerzenie międzytorza
Objaśnienia w tekście

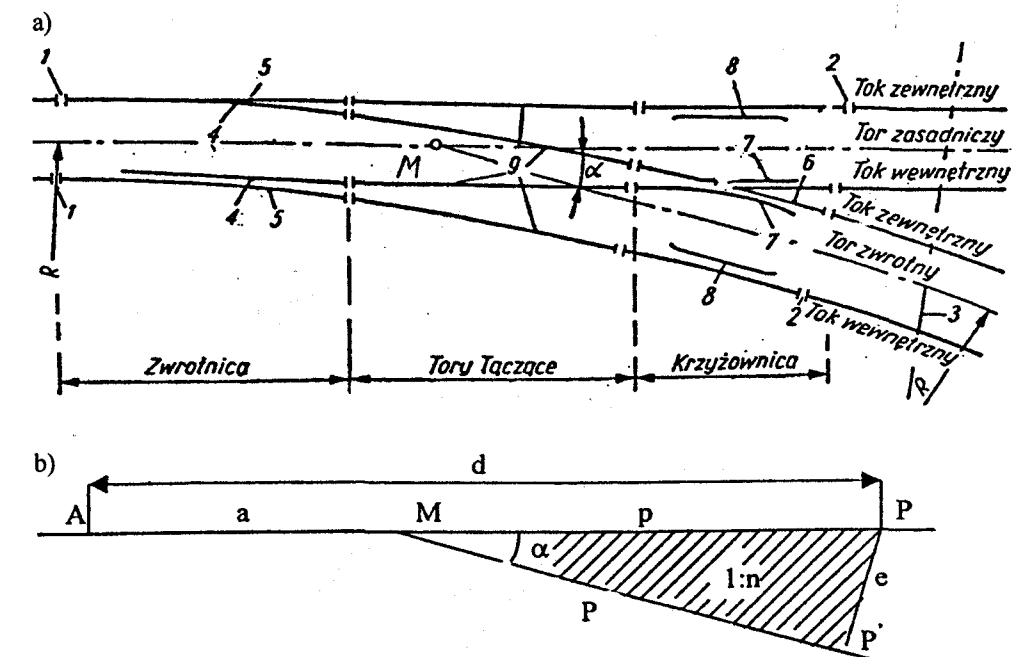
2.4. Tyczenie technicznych urządzeń kolejowych

2.4.1. Tyczenie rozjazdów i skrzyżowań

Rozjazdy są urządzeniami technicznymi umożliwiającymi połączenie torów kolejowych w sposób pozwalający na przejazd pojazdów szynowych z jednego toru na drugi. Powszechnie stosowany rozjazd zwyczajny (rys. 2.26) pozwala na jazdę w dwóch kierunkach, które wyznacza tor zasadniczy i tor odgałęźny. Osie tych dwóch torów przecinają się w środku geometrycznym rozjazdu (punkt M), przy czym kąt α zawarty pomiędzy nimi nosi nazwę kąta rozjazdu, zaś wielkość $\operatorname{tg} \alpha = 1:n$ jest skosem rozjazdu. W oznaczeniu rozjazdu podaje się jeszcze rodzaj szyn i wartość promienia łuku toru odgałęźnego. Na przykład symbol S49-300-1:9 oznacza rozjazd zwyczajny wykonany z szyn S49, o promieniu toru odgałęźnego $R = 300$ m i skosie 1:9.

Pod względem technicznym w rozjeździe zwyczajnym rozróżnia się trzy zespoły elementów: zwrotnicę, szyny łączące i krzyżownicę. Zwrotnica jest częścią przednią rozjazdu i składa się z dwóch wzajemnie połączonych iglic oraz dwóch urządzeń nastawczego. Iglice są tak ułożone, że tylko jedna z nich może przylegać do opornicy, wymuszając żądany kierunek jazdy pociągu. Styk przedigliczny jest począt-

kiem rozjazdu (punkt A). Zwrotnicę łączy się z krzyżownicą za pomocą odpowiednio wygiętych szyn, przy czym łuk toru odgałęźnego rozpoczyna się w początku rozjazdu lub w początku iglic, a kończy się przed dziobem krzyżownicy lub na końcu rozjazdu. Krzyżownica oprócz dziobu posiada szyny skrzydłowe i specjalne prowadnice zwane kierownicami, zabezpieczające właściwe toczenie się kół pojazdu w czasie jazdy po torze zasadniczym lub odgałęźnym. Styki szyn za krzyżownicą przyjmowane są jako końce rozjazdu zarówno w torze zasadniczym (P), jak i torze odgałęźnym (P').



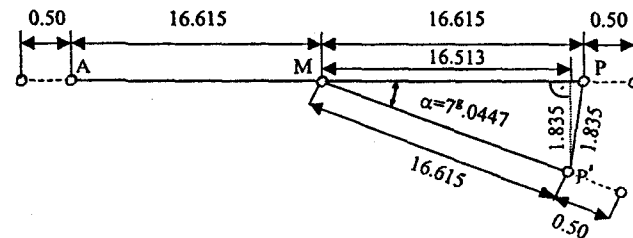
Rys. 2.26. Rozjazd zwyczajny [22]: a) elementy rozjazdu; b) schemat rozjazdu; 1 – początek rozjazdu w styku przediglicowym, 2 – koniec rozjazdu w styku za krzyżownicą, 3 – ostatnia podrozjezdnicza, 4 – iglice, 5 – opornice, 6 – dziób krzyżownicy, 7 – szyny skrzydłowe, 8 – kierownice, 9 – szyny łączące, R – promień toru zwrotnego, $\operatorname{tg} \alpha$ – skos rozjazdu
Pozostałe objaśnienia w tekście

Elementami geometrycznymi charakteryzującymi rozjazd zwyczajny są (rys. 2.26b): długość rozjazdu d , skos rozjazdu $1:n$, promień toru odgałęźnego R . Na ich podstawie oblicza się pozostałe wymiary rozjazdu: a , p , p' , e . Wymiary te odszukuje się w tabelach, uwzględniając różne typy i charakterystyki geometryczne rozjazdów.

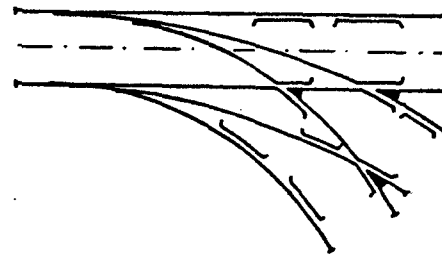
Tyczenie omawianego rozjazdu sprowadza się do zlokalizowania w terenie jego punktów matematycznych A , M , P , P' . Dane do tyczenia przygotowuje się w oparciu o współrzędne punktów, podane na planie zagospodarowania terenu lub wykorzystuje się do tego celu dane podane w projekcie technicznym budowy lub modernizacji linii kolejowej. Tyczenie punktów A , M , P (rys. 2.27) polega na odkładaniu odpowiednich

odległości wzdłuż osi toru zasadniczego, natomiast punkt P' można wytyczyć metodą biegunową z punktu M lub metodą ortogonalną względem linii MP . Wytyczone punkty utrwała się palikami z gwoździem odsuniętymi od punktów właściwych np. o 0,5 m (rys. 2.27), wzdłuż odpowiednich kierunków. Taki sposób utrwalenia jest niezbędny, gdyż w punktach właściwych A , P , P' znajdują się podkłady podpierające styki szyn. Przyjmuje się, że graniczny błąd tyczenia punktów rozjazdu w kierunku podłużnym i poprzecznym nie powinien być większy niż ± 5 mm. Oprócz rozjazdów zwyczajnych wyróżnia się jeszcze rozjazdy podwójne, łukowe i krzyżowe.

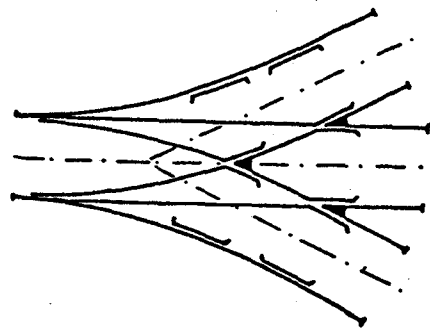
Rozjazdy podwójne umożliwiają przejazd pojazdów w trzech kierunkach. Występują jako jednostronne (rys. 2.28) i dwustronne (rys. 2.29).



Rys. 2.27. Tyczenie rozjazdu
Objaśnienia w tekście

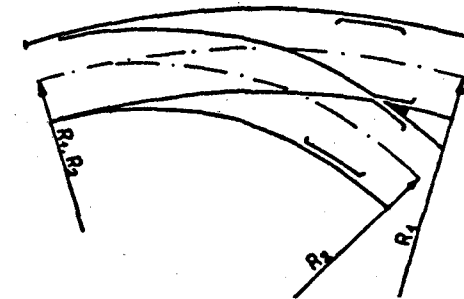


Rys. 2.28. Schemat połączeń torów rozjazdu podwójnego jednostronnego [24]

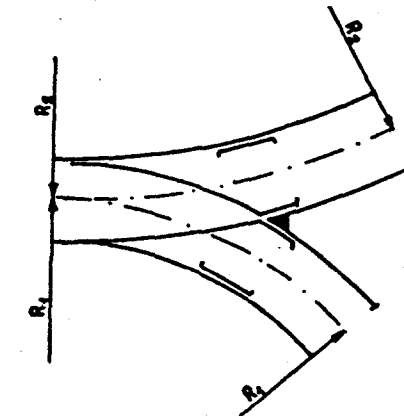


Rys. 2.29. Schemat połączeń torów rozjazdu podwójnego symetrycznego [24]

Rozjazdy łukowe uzyskuje się przez wyginanie rozjazdów zwyczajnych. Występują jako jednostronne (rys. 2.30) i dwustronne (rys. 2.31), służące do łączenia torów leżących w łukach. Przykładowo przyjęty symbol rozjazdu łukowego 8a-500/300-1:9 oznacza, że rozjazd zbudowany jest z szyn typu 8a wygiętych w łuk, którego promień w torze zasadniczym przyjmuje wartość 500 m, w torze odgałęźnym 300 m, a skos rozjazdu wynosi 1:9.

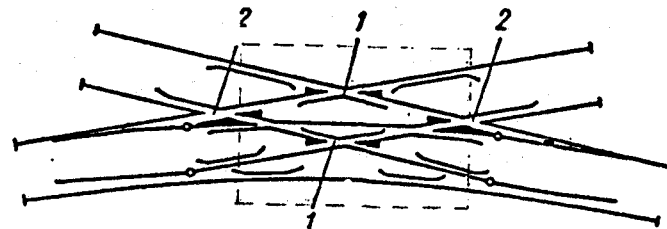


Rys. 2.30. Schemat połączeń torów rozjazdu łukowego jednostronnego prawego [24]

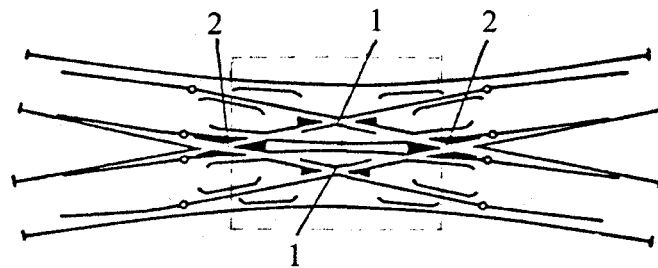


Rys. 2.31. Schemat połączeń torów rozjazdu łukowego dwustronnego [24]

Rozjazdy krzyżowe umożliwiają stosowanie pojedynczych lub podwójnych połączeń przecinających się torów. W pierwszym przypadku wstawia się rozjazd krzyżowy pojedynczy o trzech kierunkach jazdy (rys. 2.32), zaś w drugim – rozjazd krzyżowy podwójny o czterech kierunkach jazdy (rys. 2.33). Rozjazdy krzyżowe mogą być wyginane na łukowe. W rozjazdach krzyżowych, podobnie jak w zwyczajnych, tyczy się środek rozjazdu oraz punkty końcowe, czyli styki szyn za krzyżownicami w krzyżujących się torach. Rozjazd krzyżowy symbolizuje taki sam zapis, jaki stosuje się dla rozjazdu zwyczajnego.

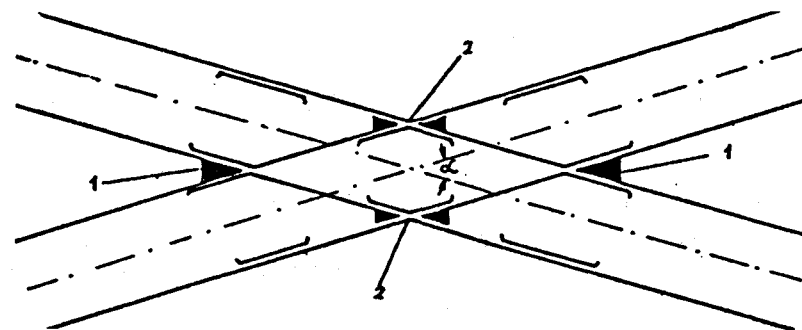


Rys. 2.32. Rozjazd krzyżowy pojedynczy z iglicami na zewnątrz czworoboku rozjazdu [22]:
1 – krzyżownice podwójne, 2 – krzyżownice dwukrotne



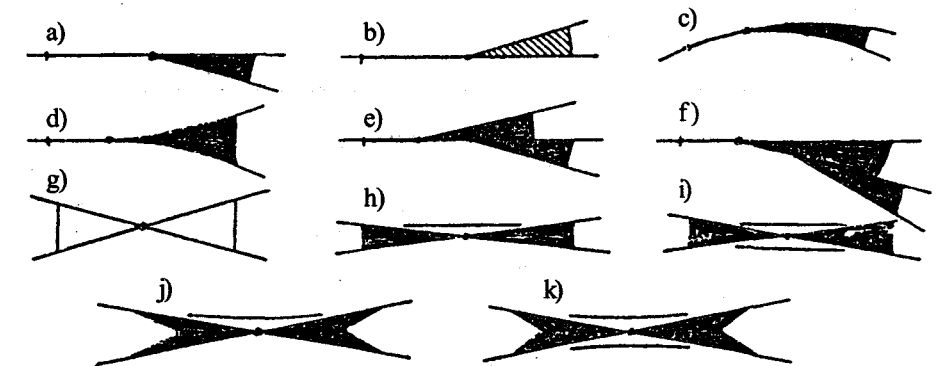
Rys. 2.33. Rozjazd krzyżowy podwójny z iglicami na zewnątrz czworoboku rozjazdu [22]:
1 – krzyżownice podwójne, 2 – krzyżownice trzykrotne

Podobne do rozjazdu krzyżowego są skrzyżowania układane w miejscu przecięcia dwóch torów (rys. 2.34). Nie posiadają one iglic, a tylko krzyżownice i tory łączące, co oznacza, iż pozwalają tylko na jeden kierunek jazdy z każdej strony. W skrzyżowaniach tyczy się te same punkty co w rozjazdach krzyżowych, czyli środek skrzyżowania i punkty końcowe w obydwu torach.



Rys. 2.34. Skrzyżowanie torów [24]: 1 – krzyżownica zwyczajna, 2 – krzyżownica podwójna

Rozjazdy i skrzyżowania przedstawia się na mapach w skalach 1:1000, 1:500 i większych w postaci odpowiednich symboli (rys. 2.35), z zaznaczonymi punktami początku, środka i końca rozjazdu, a także z oznaczeniem numeru rozjazdu, typu szyny, promienia łuku, skosu rozjazdu oraz rodzaju rozjazdu. Rozjazdy nastawiane ręcznie wyróżnia się przez zakreskowanie.



Rys. 2.35. Oznaczenie rozjazdów i skrzyżowań [24]: a) zwyczajny prawy; b) zwyczajny lewy nastawiany ręcznie; c) łukowy jednostronny; d) łukowy dwustronny; e) podwójny dwustronny; f) podwójny jednostronny; g) skrzyżowanie torów; h) krzyżowy pojedynczy z iglicami wewnątrz czworoboku rozjazdu; i) krzyżowy podwójny z iglicami wewnątrz czworoboku rozjazdu; j) krzyżowy pojedynczy z iglicami na zewnątrz rozjazdu; k) krzyżowy podwójny z iglicami na zewnątrz czworoboku rozjazdu

2.4.2. Tyczenie połączeń i odgałęzień torów

Rozjazdy wykorzystuje się do realizacji różnorodnych połączeń torów oraz do wyprowadzania z toru głównego odgałęzień umożliwiających wykonanie czynności eksploatacyjnych na stacjach kolejowych.

Połączenie dwóch torów równoległych może być wykonane przy użyciu dwóch rozjazdów o jednakowym skosie $1:n$. Tyczenie punktów tego połączenia (rys. 2.36) rozpoczyna się od wyznaczenia punktów A_1, M_1, P_1 usytuowanych wzdłuż toru 1. Następnie tyczy się punkt M_2 uwzględniając wielkości d, α znane z dokumentacji i obliczone z poniższych wzorów

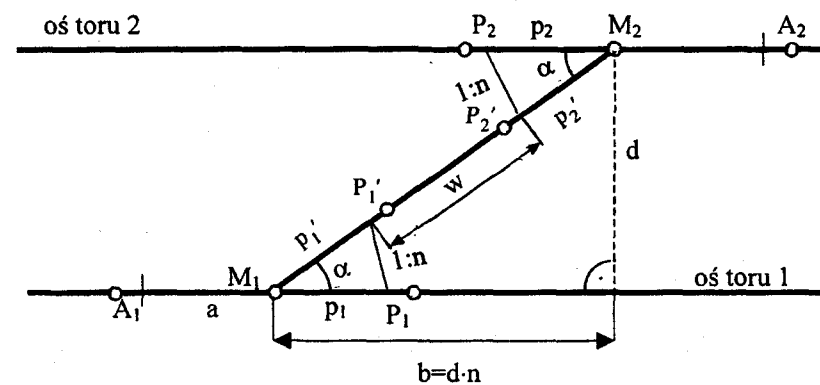
$$b = d \cdot n \quad (2.21)$$

oraz

$$M_1 M_2 = \frac{d}{\sin \alpha} \quad (2.22)$$

gdzie:

d – rozstaw osi torów,
 α – kąt rozjazdu.



Rys. 2.36. Połączenie torów równoległych
Objaśnienia w tekście

Po wytyczeniu punktu M_2 znajduje się punkty A_2 i P_2 oraz P_1' i P_2' . Wszystkie punkty tyczonego połączenia utrwalą się palikami z gwoździem, usytuowanymi w pewnej odległości (około 0,5 m) od punktów rzeczywistych. Na rysunku 2.36 punkty utrwalane zaznaczono kółkami. Z kolei na szkicach tyczenia połączeń torów wpisuje się wszystkie miary odłożone przy tyczeniu punktów oraz miary określające odległości punktów zabezpieczających (palików) od punktów rzeczywistych (tyczonych).

Przy łączeniu dwóch torów rozjazdami o różnych kątach rozjazdowych α_1 i α_2 powstaje konstrukcja geometryczna przedstawiona na rysunku 2.37. Kierunki odgałęźne rozjazdów przetną się w wierzchołku W , który powinien być zlokalizowany w takim miejscu, aby w przedłużeniu łuku rozjazdowego o mniejszym kącie α_2 wprowadzić łuk kołowy $P_2' C$ oraz wstawkę prostą CP_1' o minimalnej długości $w_{\min} = 6$ m. Do wytyczenia punktów tego połączenia korzysta się z miar obliczonych poniżej:

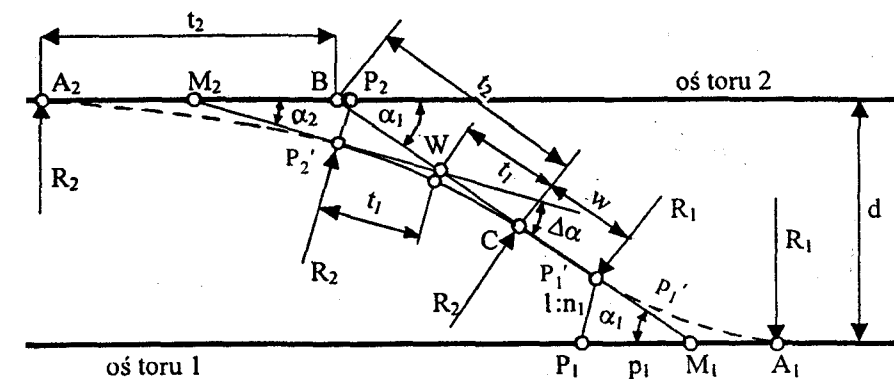
$$t_1 = R_2 \operatorname{tg} \frac{\Delta\alpha}{2} \quad (2.23)$$

$$t_2 = R_2 \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} \quad (2.24)$$

$$BM_1 = \frac{d}{\sin \alpha_1} \quad (2.25)$$

$$w = BM_1 - t_2 - p_1' \quad (2.26)$$

przy czym $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$.



Rys. 2.37. Połączenie torów równoległych
Objaśnienia w tekście

Realizacja przedstawionego układu geometrycznego może być utrudniona w sytuacjach, gdy szerokość międzytorza d jest niewielka. Wówczas dla zachowania minimalnej długości wstawki w zmienia się długość promienia R_2 . Optymalny algorytm ustalania wymaganej długości promienia R_2 przedstawiono w [2].

Typowym odgałęzieniem toru głównego jest bocznica równoległa utworzona przy zastosowaniu rozjazdu o skosie $1:n$ i łuku kołowego o promieniu R wpisanego pomiędzy kierunek odgałęźny i kierunek równoległy (rys. 2.38). Tyczenie bocznicy równoległej rozpoczyna się od wyznaczenia punktów A , M , P oraz punktu W . Do wytyczenia punktów S_1 i S_2 potrzebna jest znajomość długości stycznej t i wstawki prostej w . Minimalna długość wstawki prostej określona jest zależnością $w_{\min} = \frac{v}{6}$, przy czym v w km/h.

Zatem długość t uzyskać można z równania

$$t = MW - p' - w_{\min} \quad (2.27)$$

przy czym

$$MW = \frac{d}{\sin \alpha}$$

Poszukiwany promień R uzyskuje się z zależności

$$R = t \cdot \operatorname{ctg} \alpha / 2 \quad (2.28)$$

a do dalszych obliczeń przyjmuje się R_{proj} spełniające nierówność

$$R > R_{proj} \geq R_{rozj} \quad (2.29)$$

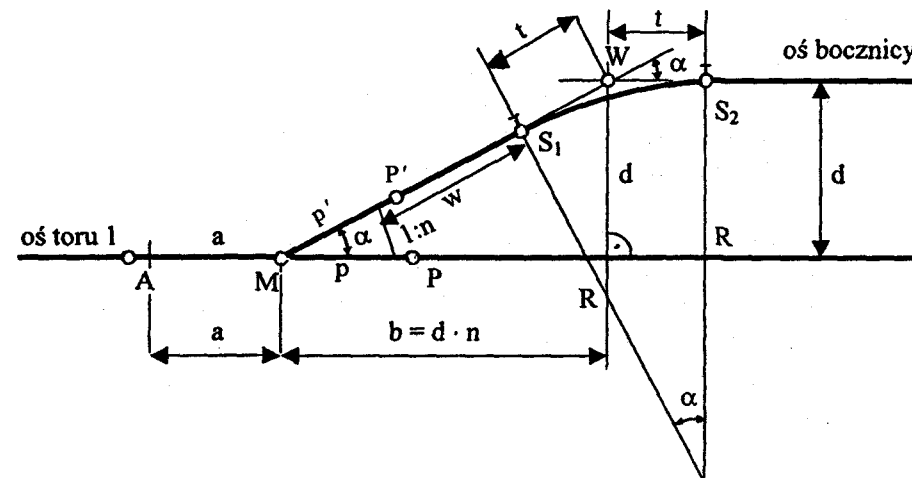
przy czym R zaokrągla się do pełnych dziesiątek metrów, a R_{rozj} jest promieniem zastosowanego rozjazdu. Ze wzoru (2.28), po wstawieniu do niego R_{proj} , otrzymuje się

$$t_{proj} = R_{proj} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (2.30)$$

zaś ze wzoru (2.27) otrzymuje się

$$w_{proj} = MW - p' - t_{proj} \quad (2.31)$$

Wielkość R_{proj} i w_{proj} dla założonych prędkości pociągów na torach bocznicy można też obliczyć według zasad podanych w [2].



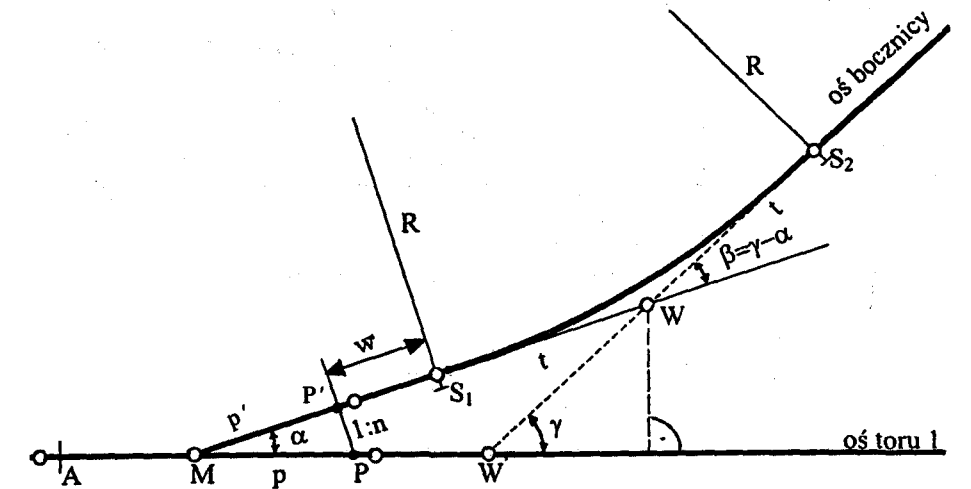
Rys. 2.38. Tyczenie bocznicy równoległej
Objaśnienia w tekście

Tyczenie bocznicy nierównoległej do toru głównego (ukośnej) opiera się na konstrukcji geometrycznej zaprezentowanej na rysunku 2.39. Kierunek tej bocznicy zawiera z osią toru głównego kąt γ i przecina tę oś w punkcie W' . Położenie punktu W' wyznacza się na podstawie miar określonych w projekcie. Względem punktu W' ustala się położenie środka rozjazdu M , odkładając wzdłuż osi toru 1 odległość

$$MW' = MW \frac{\sin(\gamma - \alpha)}{\sin \gamma} \quad (2.32)$$

gdzie

$$MW = p' + w + t \quad (2.33)$$



Rys. 2.39. Tyczenie bocznicy ukośnej
Objaśnienia w tekście

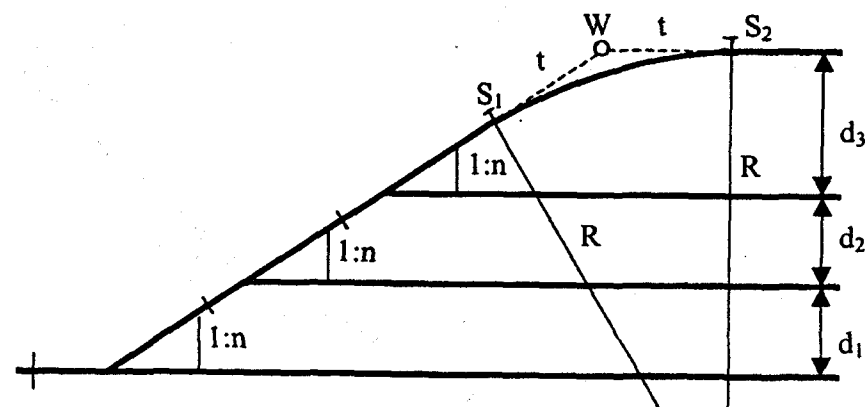
Wielkość p' znana jest z tablic rozjazdów, zaś w oraz t ustala się po przyjęciu promienia R i obliczeniu kąta $\beta = \gamma - \alpha$. Postępowanie poszukiwawcze jest prowadzone w sposób podobny jak w przypadku bocznicy równoległej. Względem punktu M tyczą się punkty A i P . Punkt W można wytyczyć metodą ortogonalną lub biegunową, np. z punktu W' , odkładając kąt γ i odległość

$$WW' = MW \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} \quad (2.34)$$

Na linii MW wyznacza się punkty P' i S_1 , zaś na kierunku $W'W$ znajduje się punkt S_2 .

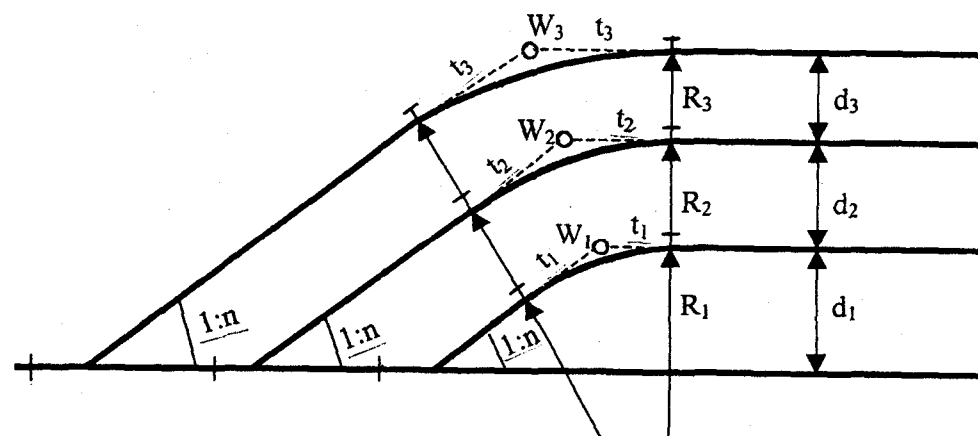
Na terenach zakładów przemysłowych tyczenie torów głównych, ich połączeń oraz bocznicy prowadzi się równocześnie względem osnowy realizacyjnej zakładu. Przygotowanie danych do tyczenia opiera się tam na współrzędnych punktów wyznaczających kierunki osi torów, a także na odległościach i kątach zaznaczonych na planie realizacyjnym. Niekiedy korzysta się z wielkości ustalonych graficznie na planie, lecz z uwagi na ich niewielką dokładność działanie takie jest dopuszczalne tylko w sporadycznych przypadkach i nie może prowadzić do zniekształcenia narzuconych przez projektanta warunków geometrycznych.

Tory stacyjne mogą być kolejno odgałęziane od jednego toru głównego za pomocą rozjazdów usytuowanych w pewnych odległościach na tym torze. Tor taki zwany jest drogą zwrotnicową. Najprostszemu układowi w tym zakresie stanowi prosta droga zwrotnicowa (rys. 2.40) zbudowana w ten sposób, że w przedłużeniu toru zwrotnego rozjazdu zwyczajnego ułożonego w torze głównym umieszcza się rozjazdy łączące kolejne tory równoległe do toru głównego. Utworzona wiązka zawiera najwyżej pięć torów sytuowanych w odległościach wzajemnych 5–7 m.



Rys. 2.40. Droga zwrotnicowa prosta
Objaśnienia w tekście

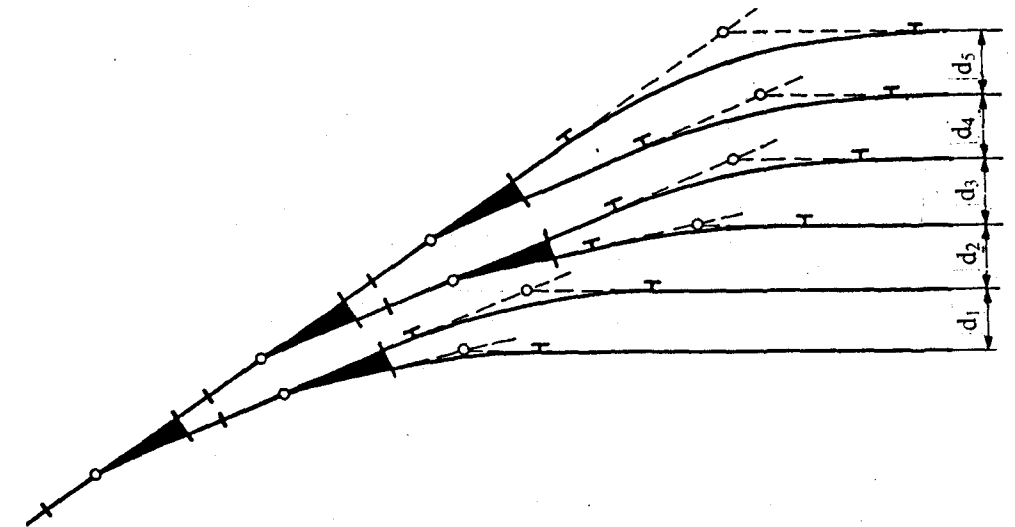
Droga zwrotnicowa prosta może być też oparta na torze zasadniczym, w który wbudowane są rozjazdy odgałęziające kolejne tory (rys. 2.41).



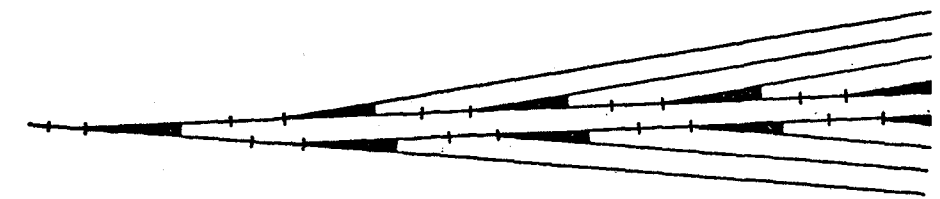
Rys. 2.41. Droga zwrotnicowa prosta oparta na torze zasadniczym
Objaśnienia w tekście

Przy większej liczbie torów stosuje się drogę zwrotnicową jednostronną z odgałęzzeniami (rys. 2.42) lub jeszcze bardziej ekonomiczne rozwiązanie w postaci dwóch dróg zwrotnicowych jednostronnych wzajemnie symetrycznych (rys. 2.43).

Dane do tyczenia dróg zwrotnicowych przygotowuje się w oparciu o projekt techniczny, na którym są podane współrzędne prostokątne punktów matematycznych rozjazdu (A, M, P, P') oraz wierzchołków (W) łuków rozjazdowych w układzie współrzędnych istniejącej w terenie osnowy geodezyjnej.



Rys. 2.42. Droga zwrotnicowa jednostronna z odgałęzzeniami [17]
Objaśnienia w tekście

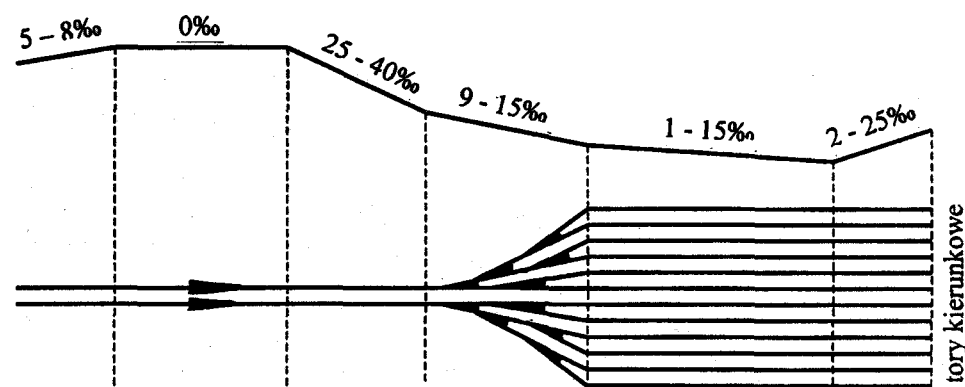


Rys. 2.43. Dwie drogi zwrotnicowe jednostronne wzajemnie symetryczne
(droga zwrotnicowa podwójna) [22]

Rodzajem drogi zwrotnicowej jest też wiązka torów kierunkowych, usytuowanych za górką rozrządową (rys. 2.44). Tego typu urządzenie techniczne wykorzystuje się do formowania składu pociągów lub do ich rozrządzenia, czyli rozdzielania i kierowania wagonów na poszczególne tory usytuowane za górką rozrządową. Górka rozrządowa jest odpowiednio wyprofilowana, przy czym załomy linii o różnych spadkach wyokrągła się łukami kołowymi o promieniach na ogół większych od 500 m. Wysokość górki rozrządowej jest dostosowana do przewidywanej długości przebiegu wagonów, która zazwyczaj osiąga wielkość 100 m.

Tyczenie polega w tym przypadku na wyznaczaniu profilu pionowego górki rozrządowej i na właściwym usytuowaniu rozjazdów i osi torów kierunkowych.

Punkty wyznaczające osie torów głównych i odgałęźnych, a także punkty matematyczne rozjazdów, powinny być tyczone z wysoką dokładnością, rzędu ± 5 mm na łukach oraz ± 10 mm na prostoliniowych odcinkach osi torów w kierunku prostopadłym do tych osi.

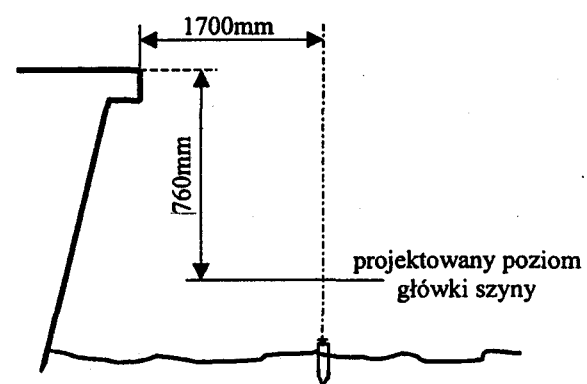


Rys. 2.44. Wiązka torów kierunkowych za górką rozrządową

2.4.3. Tyczenie peronów

Perony stacyjne powinny być usytuowane równoległe do osi toru w odpowiedniej od niego odległości. Odległość ta zależy zaś od przewidywanej wysokości peronu nad powierzchnią toczną szyn. Rozróżnia się perony niskie o wysokości 300 mm, których poziom odpowiada poziomowi najniższego stopnia wagonu osobowego oraz perony wysokie o wysokościach 760 mm, 860 mm, 960 mm nad główką szyny.

Perony powinny być urządzone wzdłuż odcinków torów ułożonych w linii prostej, a tylko wyjątkowo wzdłuż torów ułożonych na łukach o dużych promieniach.

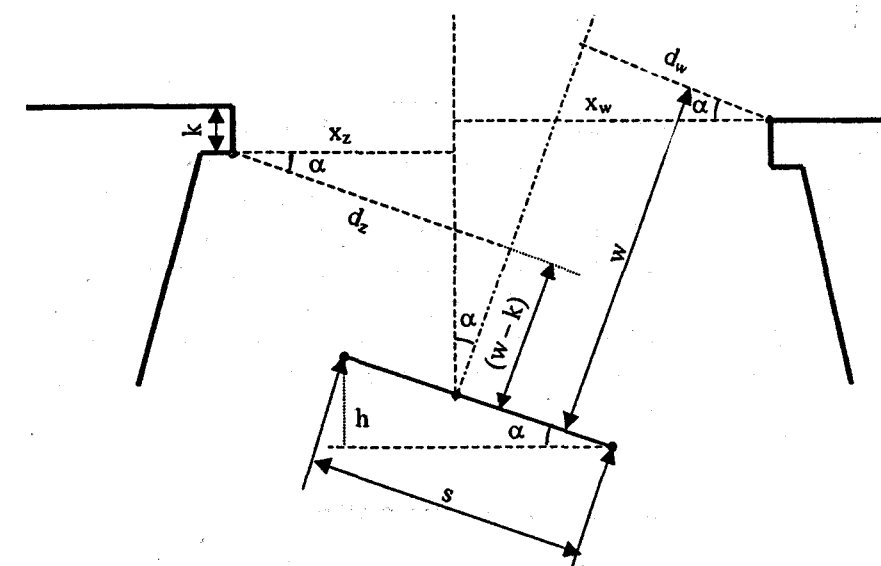


Rys. 2.45. Tyczenie peronu na prostym odcinku toru

Tyczenie sytuacyjne peronu przy torze prostoliniowym polega na wyznaczeniu osi toru lub linii równoległej do osi toru i podaniu odległości krawędzi peronu względem tych linii (rys. 2.45). Odległość krawędzi peronu od osi toru wynosi 1600 mm przy wysokości peronu 300 mm oraz 1700 mm dla peronów wysokich. Projektowany po-

ziom peronu wyznacza się względem reperów roboczych założonych wcześniej w pobliżu tego peronu.

W przypadku tyczenia peronu usytuowanego na łuku wyznacza się najpierw oś toru lub linię do tej osi równoległą i względem niej podaje się odległości do krawędzi peronu. Odległości te muszą uwzględniać poszerzenia skrajni budowli wymagane na łukach o promieniach $R < 4000$ m i zmiany odległości od osi toru do krawędzi peronu, wynikające z przechyłki toru.



Rys. 2.46. Tyczenie peronu w łuku
Objaśnienia w tekście

Gdy peron usytuowany jest na zewnątrz łuku (rys. 2.46), odległość x_z jego krawędzi od osi toru przy istnieniu przechyłki h oblicza się ze wzoru

$$x_z = d_z \cos \alpha - (w - k) \sin \alpha \quad (2.35)$$

lub

$$x_z = d_z - (w - k) \frac{h}{s} \quad (2.36)$$

gdzie:

- d_z – skrajnia budowli z poszerzeniem,
- w – wysokość peronu,
- k – wymiar okapu,
- h – przechyłka toru,
- s – prześwit toru.

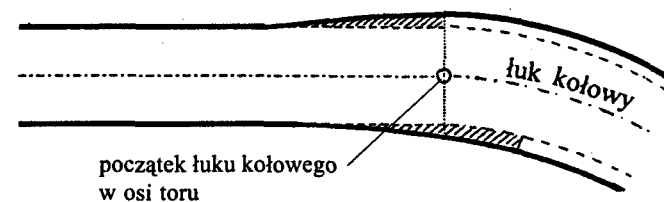
Dla peronu usytuowanego wewnątrz łuku (rys. 2.46) odległość x_w oblicza się z zależności

$$x_w = d_w \cos \alpha + w \sin \alpha \quad (2.37)$$

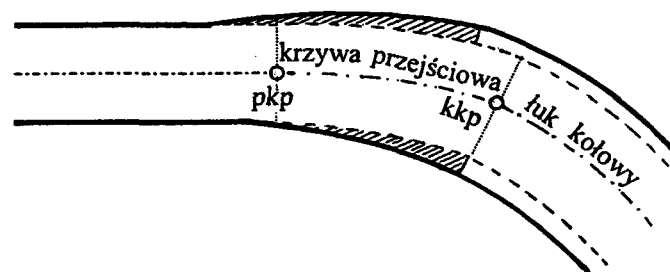
lub

$$x_w = d_w + w \frac{h}{s} \quad (2.38)$$

Łączne wartości poszerzenia skrajni, wynikające zarówno z przyjmowanych promieni łuków $R < 4000$ m, jak i z występowania przechyłki h , zestawione są w tabeli 2.5 dla różnych poziomów, określonych wysokościami podawanymi względem główki szyny (od 300 mm do 4850 mm). Obliczone dla danego łuku kołowego poszerzenia mają stałe wartości na całej długości łuku, natomiast są zmienne przy przechodzeniu z prostej w łuk kołowy bez stosowania krzywej przejściowej (rys. 2.47) i przy zastosowaniu krzywej przejściowej (rys. 2.48). W pierwszym przypadku wprowadzanie narastających wartości poszerzenia rozpoczyna się na odcinku prostoliniowym, bezpośrednio przed początkiem łuku kołowego, zaś w drugim przypadku wykorzystuje się do tego celu krzywą przejściową.



Rys. 2.47. Poszerzenie toru na łuku kołowym



Rys. 2.48. Poszerzenie toru na łuku kołowym: pkp – początek krzywej przejściowej, kkp – koniec krzywej przejściowej

2.5. Regulacja torów kolejowych

2.5.1. Ocena stanu geometrycznego torów

Bezpieczeństwo, a także komfort jazdy pozostają w ścisłym związku z aktualnym stanem nawierzchni kolejowej. Stan ten na skutek intensywnej eksploatacji przemieszczeń podtorza ulega ciągłym niekorzystnym zmianom wpływającym na zdatność eksploatacyjną nawierzchni. Pewnym kryterium oceny stanu nawierzchni jest stosunek

$$\frac{v_i}{v_{\max}}$$

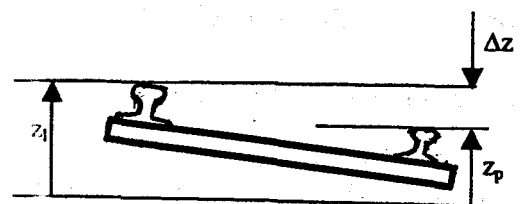
gdzie:

- v_i – prędkość pociągów dopuszczalna ze względu na stan toru,
- v_{\max} – prędkość maksymalna dla danego typu toru.

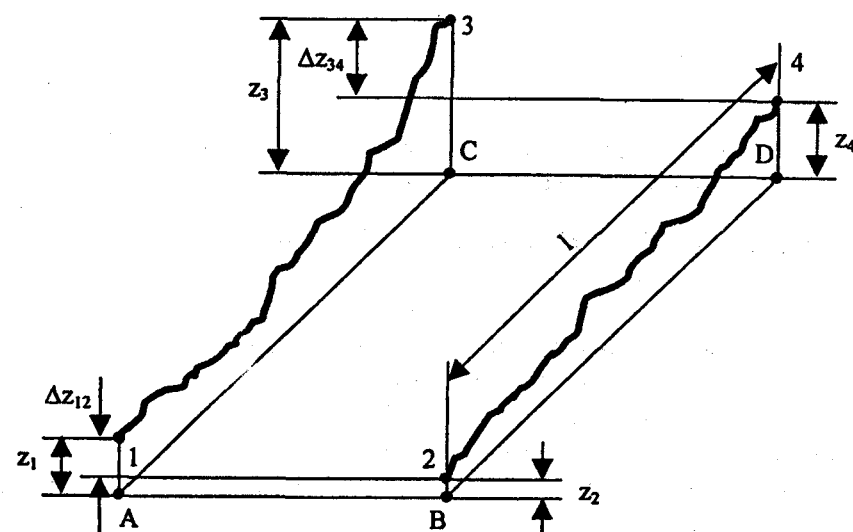
Wartość tego stosunku jest podstawą kwalifikacji zdatności eksploatacyjnej jako pełnej lub ograniczonej bądź uznania, że nawierzchnia jest niezdatna do eksploatacji. Aby jednak dokonać takiej kwalifikacji, trzeba dysponować pełnymi informacjami o stopniu zużycia lub uszkodzenia każdego elementu nawierzchni kolejowej, to znaczy: podsypki, podkładów, szyn, złączek, śrub, wkrętów itp. Szczególne znaczenie przypisuje się badaniom stanu geometrycznego toru, umożliwiającym wyznaczenie następujących wielkości: szerokości toru, pochylecia poprzecznego, wichrowatości toru, średniej nierówności podłużnej obu toków szynowych, nierówności poziomych, a także odchyłki od teoretycznej osi toru.

Szerokość toru ustalana zgodnie z rysunkiem 2.4 jest podstawową wielkością braną pod uwagę przy ocenie stanu toru kolejowego. Na liniach normalnotorowych za nominalną przyjmuje się szerokość 1435 mm, chociaż obecnie przy podkładach betonowych przyjmuje się 1432 mm. Do pomiaru szerokości stosuje się różnorodne przyrządy. Najprostszym z nich jest toromierz ręczny, wyposażony często w dodatkowy zespół urządzeń do pomiaru przechyłki. W niektórych toromierzach na skali przyrządu odczytuje się od razu różnicę między szerokością nominalną a rzeczywistą. Są również toromierze rejestrujące w sposób ciągły przebytą drogę, szerokość toru i przechyłkę.

Drugą wielkością braną pod uwagę przy ocenie stanu toru jest pochylecie poprzeczne wynikające z różnicy wysokości Δz obydwu toków szynowych w przekroju poprzecznym (rys. 2.49). Na odcinkach prostych wysokości toków powinny być jednakowe, zaś na łukach, krzywych przejściowych i rampach przechyłkowych różnica wysokości Δz powinna odpowiadać wymaganej przechyłce toru. Pochylecia poprzeczne, w tym przechyłki torów, wyznacza się wspomnianymi poprzednio toromierzami wyposażonymi w odpowiednie poziomnice z podziałką. Obok toromierzy stosuje się też samodzielne poziomnice torowe lub metodę niwelacji geometrycznej.



Rys. 2.49. Pochylenie poprzeczne toru
Objaśnienia w tekście



Rys. 2.50. Wichrowatość toru
Objaśnienia w tekście

Wichrowatość (przekos) toru na odcinku o długości l (rys. 2.50) wyznacza się ze wzoru

$$w = \frac{\Delta z_w}{l} \quad (2.39)$$

przy czym

$$\Delta z_w = \Delta z_{34} - \Delta z_{12} \quad (2.40)$$

zaś:

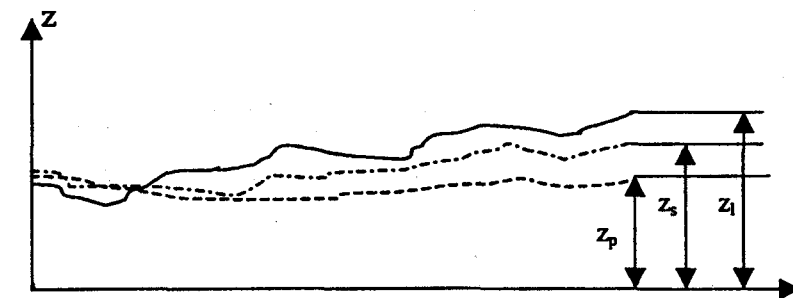
$$\Delta z_{12} = z_1 - z_2 \quad (2.41)$$

$$\Delta z_{34} = z_3 - z_4$$

Wichrowatość jest zatem stosunkiem różnicy przewyższeń toków szynowych w dwóch przekrojach poprzecznych (1-2, 3-4) do odległości l pomiędzy tymi przekrojami. Po uwzględnieniu we wzorze (2.40) zależności (2.41) i uporządkowaniu wyrazów otrzymuje się

$$\Delta z_w = (z_2 + z_3) - (z_1 + z_4) \quad (2.42)$$

Wysokości punktów z_1, z_2, z_3, z_4 niezbędne do obliczenia wichrowatości wyznacza się metodą niwelacji geometrycznej w odniesieniu do przyjętego poziomu odniesienia, który tworzy płaszczyzna $ABCD$ (rys. 2.50). Pomiar wichrowatości jest też prowadzony w sposób ciągły z wykorzystaniem drezyn i wagonów pomiarowych.



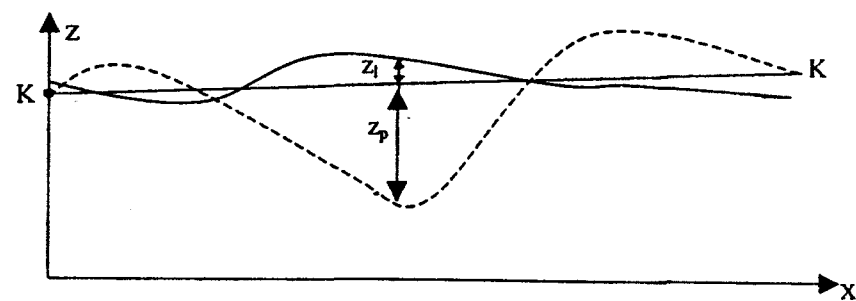
Rys. 2.51. Nierówności podłużne szyn względem niwelety
Objaśnienia w tekście

Nierówności podłużne, czyli odchylenia toków szynowych w płaszczyznach pionowych, wyznacza się względem niwelety (rys. 2.51) lub innej linii teoretycznej $K-K$, poziomej lub nachylonej (rys. 2.52).

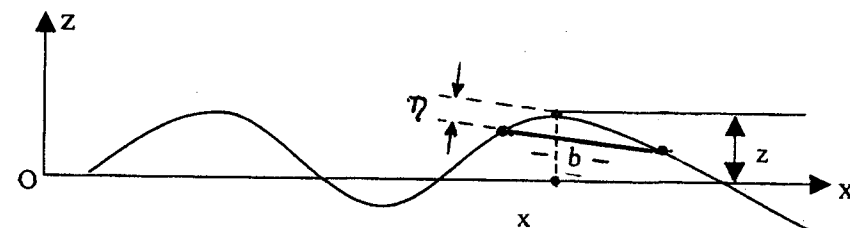
Zazwyczaj korzysta się ze średniej nierówności podłużnej obliczanej w każdym punkcie ze wzoru

$$z_s = \frac{z_l + z_p}{2} \quad (2.43)$$

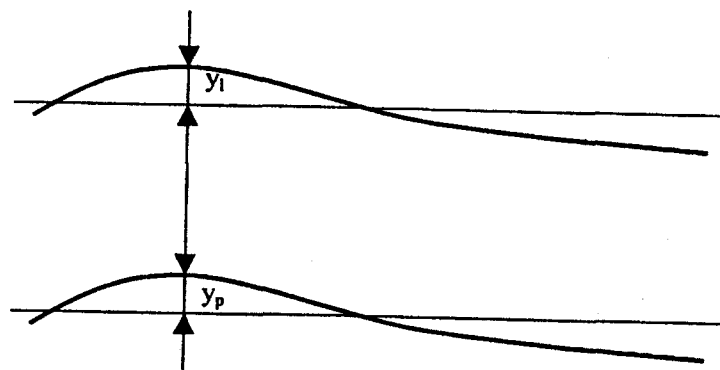
Z uwagi na nieograniczone długości linii odniesienia (niwelety lub prostej $K-K$) nierówności podłużne obliczane względem nich traktuje się jako wielkości bezwzględne. Natomiast nierówności względne η wyznacza się względem pewnej bazy b , która jest długością pojazdu pomiarowego (rys. 2.53). Tego typu nierówności są trudne do interpretowania i jednoznacznej oceny kształtu toków szynowych. Korzystniejsze do interpretacji są nierówności bezwzględne wyznaczone metodą niwelacji geometrycznej. Ich wyznaczanie nie można jednak zautomatyzować i dlatego ocenę stanu toru opiera się najczęściej na pomiarach względnych.



Rys. 2.52. Nierówności podłużne szyn względem dowolnej prostej K-K
Objaśnienia w tekście



Rys. 2.53. Nierówności podłużne szyn względem bazy b
Objaśnienia w tekście



Rys. 2.54. Nierówności podłużne szyn na odcinkach prostoliniowych
Objaśnienia w tekście

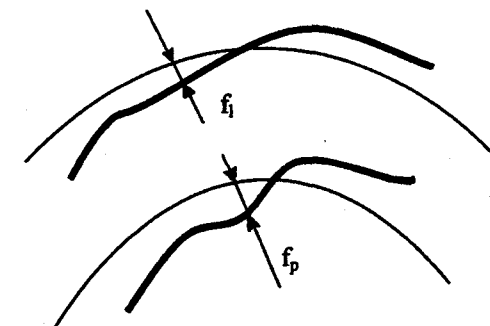
Nierówności poziome toków szynowych, zarówno na prostych, jak i na krzywoliniowych odcinkach toru, zwiększają wstrząsy podczas jazdy i prowadzą do intensywnego narastania odkształceń szyn w płaszczyźnie poziomej. Przy dużych prędkościach nierówności poziome mogą stać się nawet przyczyną wykołowania wagonów. Stąd też

w ocenie stanu nawierzchni kolejowej ich znajomość jest niezbędna. Nierówności tego typu mogą być podawane jako bezwzględne, czyli odniesione do teoretycznych osi toków szynowych. Wówczas na odcinkach prostoliniowych wyznacza się nierówności średnie (rys. 2.54), zgodnie ze wzorem

$$f = \frac{y_l + y_p}{2} \quad (2.44)$$

gdzie y_l i y_p są nierównościami bezwzględnymi, odpowiednio, lewego i prawego toku szynowego.

Na odcinkach krzywoliniowych nierówności poziome f_l, f_p podaje się dla każdej szyny oddzielnie (rys. 2.55). Wyznaczanie nierówności bezwzględnych prowadzi się metodami geodezyjnymi stosowanymi przy regulacji torów. Do bieżącej oceny torów korzysta się z nierówności poziomych względnych, określonych na bazach pomiarowych o niewielkich długościach wynikających z długości stosowanych do tego celu wózków pomiarowych. Również tu dokonuje się pomiaru strzałek zarówno na odcinkach prostoliniowych, jak i krzywoliniowych. Do wyznaczenia nierówności poziomych wykorzystuje się ponadto zmiany przyspieszenia poruszającego się pojazdu, występujące na każdej nieregularności kołowego lub prostoliniowego toku szynowego.

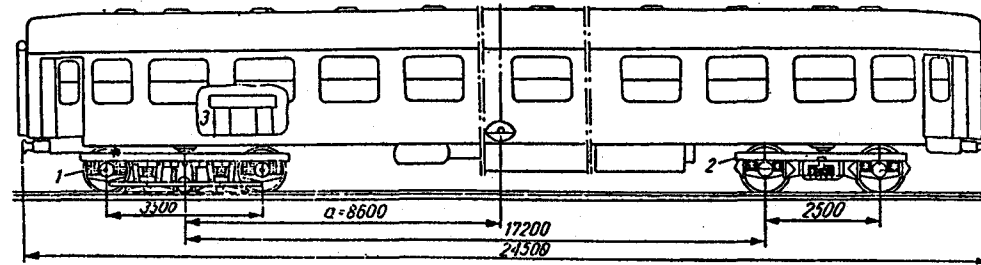


Rys. 2.55. Nierówności podłużne szyn na odcinkach krzywoliniowych
Objaśnienia w tekście

Scharakteryzowane dotychczas wielkości geometryczne wykorzystywane do oceny stanu toków szynowych mogą być wyznaczone przy użyciu prostych przyrządów pomiarowych (np. toromierz), pojazdów pomiarowych lub metod geodezyjnych. W pomiarach względnych oprócz prostych przyrządów pomiarowych stosuje się różne pojazdy pomiarowe. Można je podzielić na samojezdne drezyny lub autobusy i nie mające własnego napędu wagony pomiarowe. Do najbardziej znanych producentów tych

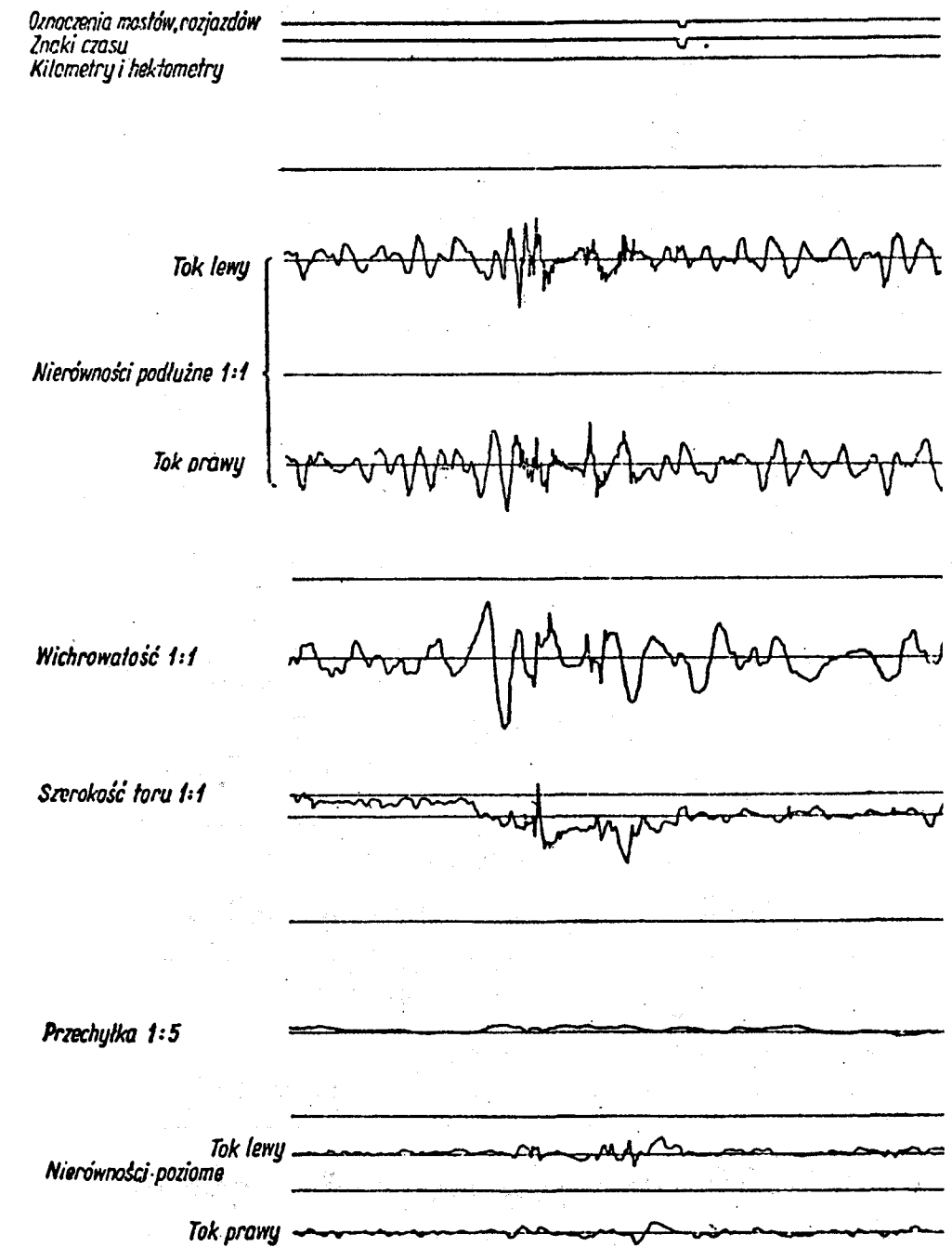
pojazdów należą firmy: Matisa, Amslera, Plasser-Theura, Mauzina, Schenkir-Dultingera. Pojazdy pomiarowe wyposażone są w urządzenia mechaniczne lub elektroniczne, rejestrujące odchyłki kształtu i położenia szyn i przetwarzające je na wielkości używane do oceny stanu technicznego torów.

Przykładowy wagon pomiarowy, przedstawiony na rysunku 2.56, spoczywa na dwóch wózkach (1 i 2). Jeden z nich jest wózkiem pomiarowym o bazie 3500 mm. Wskazania czujników mechanicznych tego wózka przenoszone są na stół pomiarowy (3) i rejestrowane w postaci wykresów, zaś wskazania czujników elektronicznych rejestrowane są w komputerze, gdzie również poddawane są analizie. Poglądowy zapis na taśmie pomiarowej przedstawiono na rysunku 2.57. Rejestracja deformacji toru może odbywać się nawet przy bardzo dużych prędkościach wagonu, rzędu 140 km/h.



Rys. 2.56. Wagon pomiarowy [22]
Objaśnienia w tekście

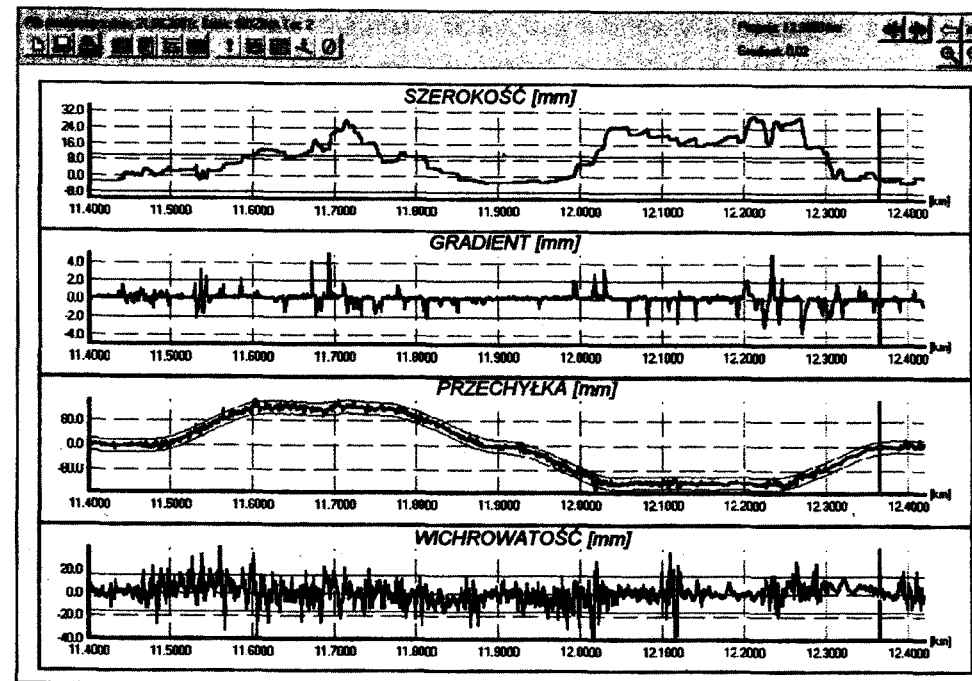
Urządzeniem chętnie stosowanym do wyznaczania parametrów geometrycznych toru jest toromierz elektroniczny TEC-1435 skonstruowany i produkowany przez firmę GRAW w Gliwicach. Toromierz ten wyposażony jest w czujniki pomiarowe i mikroprocesorowy rejestrator. Czujniki indukcyjne umożliwiają pomiar: nierówności poziomych w zakresie ± 5 mm, nierówności podłużnych do ± 3 mm, zmian szerokości toru od -20 mm do $+80$ mm z rozdzielczością 0,15 mm. Do pomiaru pochylenia poprzecznego służy poziomnica pojemnościowa działająca w zakresie ± 250 mm z rozdzielczością 0,7 mm. Wszystkie pomierzone parametry przesyłane są do rejestratora pracującego w trybie konwersyjnym i są tam zapisywane w funkcji drogi, z ustaloną z pulpitu rozdzielczością 0,5 m, 1 m, 2 m, 5 m. Parametry wyznaczone w kolejnych punktach przebytej drogi są rejestrowane, a także pokazane na wyświetlaczu alfanumerycznym rejestratora, a następnie transmitowane do komputera klasy IBM PC za pomocą łącza szeregowego RS-232. Dołączone do toromierza oprogramowanie pozwala na wyświetlenie wyników pomiaru w postaci tabelarycznej (tab. 2.6) i graficznej (rys. 2.58) oraz ich konwersję do formatu tekstowego łącznie z zapisem danych na dysku.



Rys. 2.57. Rejestracja deformacji toru [22]

Tabela 2.6
Wyniki pomiaru toromierzem

Prędkość [km/h]	Odchyłka [mm] (dla bazy pomiaru 10 m)	
	kwalifikacja toru do naprawy	graniczna
≥ 120 80-120 60-80 < 60	Różnica między sąsiednimi maksymalnymi strzałkami na wykresie	
	3	4
	4	5
	5	6
≥ 120 80-120 60-80 < 60	Różnica między strzałką maksymalną i teoretyczną	
	3	4
	4	6
	5	8
< 60	6	10



Rys. 2.58. Wykresy obrazujące stan geometryczny toru [21]

Zgromadzone wyniki pomiarów wykonanych przy użyciu toromierza wykorzystuje się do przeprowadzenia syntetycznej oceny stanu geometrycznego toru. W ocenie tej stosuje się wskaźnik jakości toru J oraz wadliwości W . Pierwszy wskaźnik oblicza się ze wzoru

$$J = \frac{S_z + S_y + S_w + 0,5 \cdot S_e}{3,5} \quad (2.45)$$

w którym S_z, S_y, S_w, S_e oznaczają odchylenia standardowe (nierówności podłużnych, nierówności poziomych, wichrowatości toru i szerokości toru), obliczane według wzoru

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{sr})^2}{n}} \quad (2.46)$$

gdzie:

- n – liczba zarejestrowanych wyników pomiaru na analizowanym odcinku toru,
- x_i – pojedynczy wynik pomiaru w punkcie i ,
- x_{sr} – wartość średnia wielkości mierzonej.

Maksymalne wartości wskaźnika J oraz dopuszczalne odchyłki parametrów geometrycznych toru dla wybranych prędkości jazdy pociągów zestawiono w tabeli 2.7.

Tabela 2.7
Dopuszczalne wielkości wskaźnika J oraz odchyłek parametrów geometrycznych toru

Prędkość [km/h]	Nierówności [mm]		Wichrowatość [mm]	Odchyłki szerokości toru [mm]			Przechyłka [mm]	Wskaźnik J
	poziome	pionowe		poszerz.	zwężenie	gradient		
20	53	56	33	32	10	4	25	12,0
40	35	35	23	20	9	3	25	11,0
60	24	25	19	15	8	2	25	9,0
80	17	18	16	10	8	2	20	7,0
100	13	14	14	10	7	2	15	5,5
120	9	10	12	9	7	1	12	4,0
140	7	8	10	8	5	1	12	2,8
160	6	6	8	6	4	1	8	2,0
180	5	4	6	5	3	0,5	6	1,6
200	4	3	5	4	3	0,5	5	1,4

Drugi wskaźnik określany jako wadliwość W_5 oblicza się ze wzoru

$$W_5 = 1 - (1 - W_e)(1 - W_h)(1 - W_w)(1 - W_z)(1 - W_y) \quad (2.47)$$

Występujące w tym wzorze parametry wadliwości: szerokości (W_e), przechyłki poprzecznej (W_h), wichrowatości (W_w), nierówności podłużnych (W_z), nierówności poziomych (W_y), wyznacza się z zależności

$$W = \frac{n_p}{n} \quad (2.48)$$

gdzie:

- n_p – suma długości odcinków z przekroczonymi odchyłkami dopuszczalnymi dla danej prędkości,
- n – całkowita długość analizowanego odcinka.

Odpowiednie oprogramowanie dołączone do toromierza umożliwi obliczenie obydwu wymienionych wskaźników, J i W , dla odcinków toru o określonej długości.

Oprócz rejestrowania poszczególnych rodzajów zniekształceń toków szynowych do oceny stanu torów stosuje się również wspomnianą już wcześniej metodę pomiaru przyspieszeń odśrodkowych wywołanych nierównościami toków szynowych. Ta metoda badania zniekształceń toru stosowana jest samodzielnie lub łącznie z innymi pomiarami wykonywanymi w pojeździe pomiarowym.

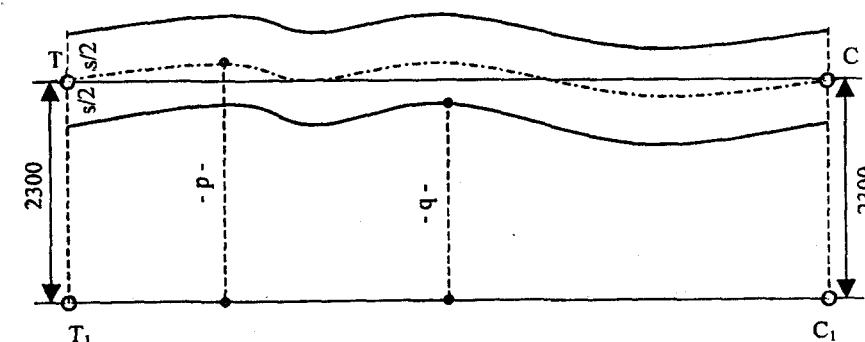
Informacje o stanie toru uzyskane sposobami opisanymi powyżej stanowią podstawę do podjęcia decyzji o ewentualnym ograniczeniu prędkości na linii bądź o potrzebie wykonania naprawy toru, czyli jego regulacji. Określone elementy geometryczne, charakteryzujące kształt i położenie toków szynowych, mogą być wystarczające do regulacji torów na krótkich odcinkach toru przy użyciu ciężkich maszyn torowych, natomiast dla przeprowadzenia modernizacji linii lub też wykonania regulacji torów na długich odcinkach linii konieczna jest znajomość zniekształceń bezwzględnych wyznaczanych w bezwzględnym układzie odniesienia, określonym teoretyczną niweletą i teoretycznymi osiami toków szynowych. Zniekształcenia bezwzględne mogą zostać wyznaczone tylko przy użyciu metod geodezyjnych.

2.5.2. Wyznaczanie kształtu rzeczywistej osi toru w płaszczyźnie poziomej

Oś toru istniejącego składa się z odcinków prostoliniowych, krzywych przejściowych i łuków kołowych. Długości krzywych przejściowych i wartości promieni łuków kołowych są dostosowane do przewidywanych prędkości jazdy pociągów. Zatem, jeśli na istniejącej linii kolejowej przewiduje się zwiększenie prędkości jazdy, to istniejący układ geometryczny torów musi zostać zmieniony. Zmiana ta polega na przykład na wprowadzeniu krzywych przejściowych pomiędzy odcinki prostych stycznych a łuk

kołowy, jeśli dotychczas takie krzywe nie występowały. Może również wystąpić potrzeba wydłużenia istniejących krzywych przejściowych i wprowadzenia łuków kołowych o większych promieniach. Ewentualne zmiany istniejącego układu geometrycznego, a także prace związane z przygotowaniem projektu regulacji torów zniekształconych na skutek długotrwałej eksploatacji, muszą być oparte na materiałach dokumentujących aktualny kształt osi toru. Materiały takie uzyskuje się w oparciu o wyniki geodezyjnych pomiarów inwentaryzacyjnych, którymi obejmuje się prostoliniowe i krzywoliniowe odcinki torów.

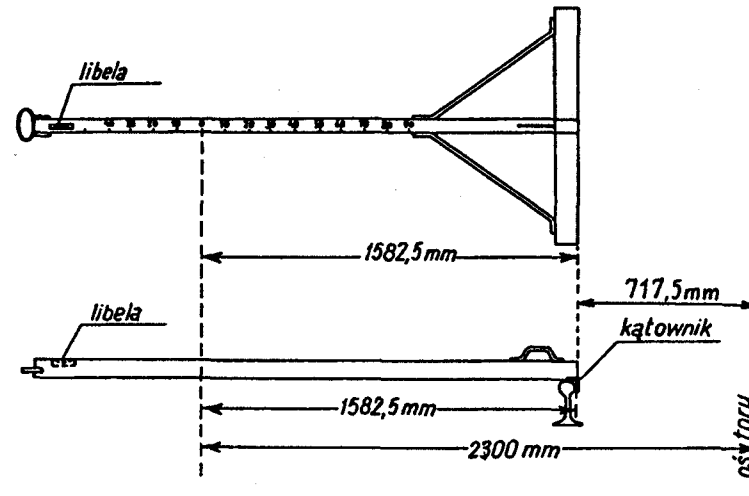
Na prostoliniowych odcinkach wyznacza się położenia punktów osi toru w odległości uzależnionej od stopnia zniekształceń szyn. Zazwyczaj są to punkty usytuowane w odległościach 100 m, 50 m, a nawet 20 m. Dodatkowo ustala się położenie punktów osi toru na początkach i końcach rozjazdów, na mostach, przepustach, przejazdach oraz w punktach załomu profilu. Z uwagi na potrzebę zachowania skrajni budowlanej wyznacza się również położenie punktów osi toru położonych naprzeciw słupów sieci trakcyjnej, wiaduktów, peronów, murów oporowych, nastawni, a także wyznacza się odległości tych obiektów inżynierskich od punktów osi toru. W odległościach co 50 m określa się też wymiary poboczy i międzytorza. Wszystkie te miary wykorzystuje się przy sporządzaniu projektu regulacji torów.



Rys. 2.59. Inwentaryzacja osi toru na odcinku prostoliniowym
Objaśnienia w tekście

Pomiary inwentaryzacyjne na odcinkach prostoliniowych prowadzi się w oparciu o linię pomiarową wytyczoną na poboczu toru, równoległą do osi toru i odległą od niego o ustaloną wartość (np. 2,30 m). Jeśli długość prostoliniowego odcinka toru nie przekracza 400 m i przeszkody terenowe nie utrudniają bezpośredniej obserwacji, wówczas na poboczu zakłada się linię odniesienia, materializowaną przy użyciu tarcz celowniczych i teodolitu ustawianego w środku lub na końcu linii. Położenie punktów osi w przekrojach toru o ustalonym kilometrażu wyznacza się przez pomiar odległości p punktów osiowych od założonej linii odniesienia (rys. 2.59). Pewną trudność sprawia przy tym sposobie odtworzenie punktów osiowych. Z tego powodu zamiast ustalać

odległości p punktów osi, ustala się odległości q punktów krawędzi toczonej szyny. Do pomiarów tych używa się specjalnych łąt wyposażonych w podziałkę milimetrową i libelę (rys. 2.60). Odpowiednie usytuowanie zera łąty sprawia, że zamiast wyznaczać odległość q i obliczać odchylenie $\Delta q = 1582,5 - q$, można to odchylenie odczytać bezpośrednio na dwukierunkowej podziałce łąty.



Rys. 2.60. Łata miernicza [18]

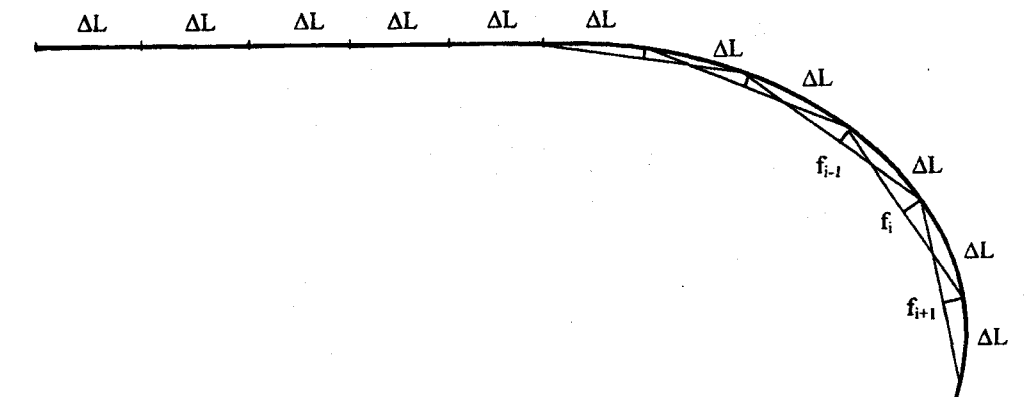
Na odcinkach toru o długościach przekraczających 400 m i dochodzących do kilku czy kilkunastu kilometrów tyczenie prostoliniowej linii odniesienia musi być prowadzone etapami. W najprostszym przypadku zaleca się, aby pierwszy założony odcinek przedłużyć teodolitem w dwóch położeniach lunety. Jednak ze względu na wpływ refrakcji bocznej ten sposób realizacji prostej odniesienia może okazać się zawodny do dokładnościowo, dlatego takie przedłużenie może być tylko jednorazowe.

Długą linię prostą można zastąpić ciągiem poligonowym wzdłuż całego prostoliniowego odcinka toru. W zależności od warunków terenowych długości boków takich ciągów mogą mieścić się w przedziale 200–400 m, zaś długości ciągów poligonowych należałoby zachować odpowiednio w przedziale 2–3 km. Propozycja ta oznacza, że punkty usytuowane w odległościach równych proponowanym długościom ciągów powinny mieć wyznaczone współrzędne metodą statyczną GPS z transformacją współrzędnych z układu WGS-84 do układu lokalnego określonego przez punkty usytuowane na początku i końcu długiego prostoliniowego odcinka toru. Zarówno punkty osnowy podstawowej (GPS), jak i punkty poligonowe powinny być utrwalane na poboczach toru. Istnieje również możliwość skorzystania z wprowadzanej do praktyki nowoczesnej osnowy kolejowej, której punkty utrwalone są na słupach sieci trakcyjnej. Istnienie

odpowiednio dokładnej osnowy wzdłuż linii kolejowej umożliwia prowadzenie inwentaryzacji punktów osi toru metodą ortogonalną lub powszechnie obecnie stosowaną metodą biegunową czy też metodą swobodnego stanowiska. Przy zastosowaniu odpowiedniej klasy tachymetru elektronicznego z jednego stanowiska tachymetru można wyznaczyć współrzędne punktów osi nawet na odcinku po 400 m w obydwie strony od stanowiska.

Wskazane jest również zastosowanie do wyznaczenia współrzędnych punktów osi toru metody RTK-GPS. Metoda ta, z uwagi na jednorodność dokładnościową na dużych odległościach, może być konkurencyjna wobec metod poligonowych, w których występują szybko narastające błędy poprzeczne w środkowych rejonach ciągów długich, szczególnie tych składających się z dużej liczby boków.

Kształt krzywoliniowych odcinków osi toru, a więc krzywych przejściowych i łuków kołowych, ocenia się w oparciu o strzałki pomierzone (rys. 2.61). Przed pomiarem strzałek dzieli się badany fragment toru na odcinki $\Delta L = 5$ m ($R < 500$ m) lub $\Delta L = 10$ m i $\Delta L = 20$ m dla większych długości promieni R . Podział taki rozpoczyna się już na odcinku prostoliniowym od punktu, który jest odległy od początku krzywej przejściowej lub od początku łuku kołowego (jeśli krzywa przejściowa nie występuje) o około 40–60 m. Również za końcowym punktem krzywych kontynuuje się podział na 40–60 m odcinku prostej (stycznej). Takie zakładki są niezbędne, gdyż w procesie projektowania będą to miejsca powiązania projektów regulacji odcinków prostoliniowych i krzywoliniowych. Podział na odcinki rozpoczyna się od pełnych dziesiątek metrów bieżącego kilometrażu. Punkty podziałowe znaczone są olejną farbą na bocznej powierzchni główek i na stopce szyny. Pomiar strzałek wykonuje się różnymi sposobami bezpośrednimi i pośrednimi, zarówno na krzywych przejściowych i łukach kołowych, jak i na wspomnianych poprzednio przylegających odcinkach prostych.

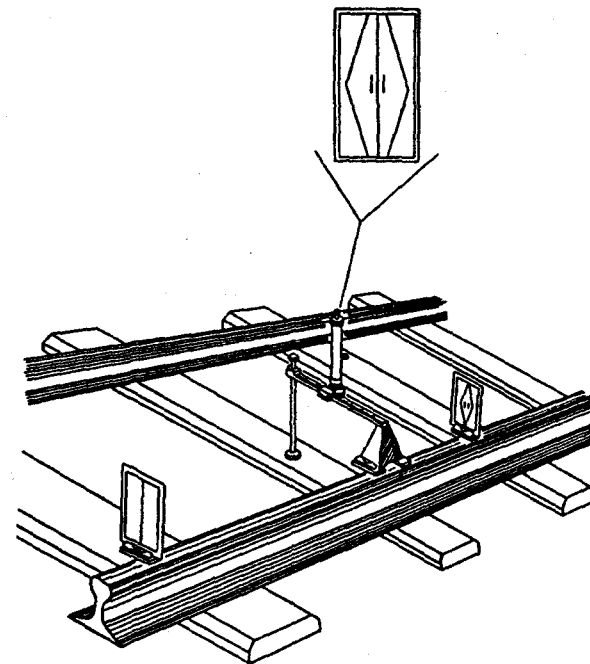


Rys. 2.61. Pomiar strzałek na odcinkach krzywoliniowych
Objaśnienia w tekście

Obserwacjami obejmuje się wewnętrzne powierzchnie toku szyny niepodniesionej, lub bezpośrednio oś toru. W pomiarach bezpośrednich pomiar strzałek wykonuje się:

- przyrządem drutowym,
- przyrządem optycznym,
- teodolitem.

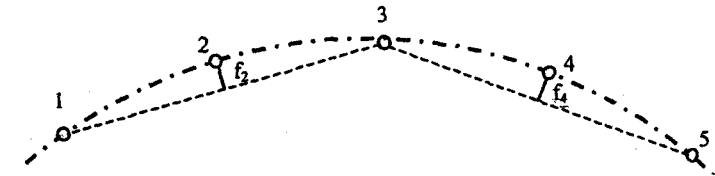
Przyrząd drutowy składa się z dwóch klocków drewnianych lub uchwytów metalowych z umocowanymi na nich libelami, połączonych struną stalową o długości $2\Delta L$. Do kompletu pomiarowego należy jeszcze linijka z dwustronnym podziałem milimetrym wyposażona w libelę. Po rozciągnięciu struny stalowej i zetknięciu klocków z powierzchnią wewnętrzną główki szyny w zaznaczonych uprzednio punktach podziału, w środku rozpiętości struny przykładą się linijkę z podziałem milimetrym, dokonując na niej pomiaru strzałki f . Przy łukach skierowanych w lewo strzałkom przypisuje się znak dodatni (+), a dla łuków skierowanych w prawo, znak ujemny (-). Szczególnie uważnie należy przypisywać znaki na odcinkach prostych, gdzie wartości strzałek są niewielkie, a znaki zmienne.



Rys. 2.62. Przyrząd optyczny do pomiaru strzałek [18]

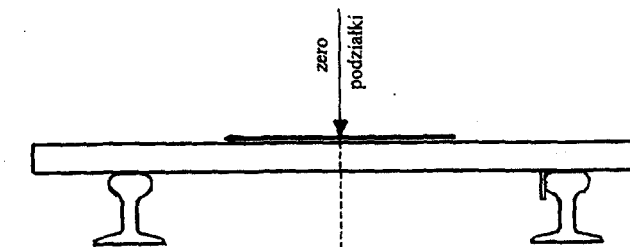
Przyrząd optyczny składa się z dwóch tarcz celowniczych oraz lunetki wyposażonej w dwa pryzmaty i złączonej z prowadnicą, na której naniesiony jest podział milimetry (rys. 2.62). Lunetkę z prowadnicą ustawia się naprzeciw punktu i , w którym

będzie mierzona strzałka, zaś tarcze w punktach $(i-1)$ oraz $(i+1)$ podziału naniesionego na szynie (rys. 2.61). Lunetkę wtycza się w linię cięciwy $(i-1) - (i+1)$ w sposób podobny jak przy użyciu podwójnej węgielnicy, zaś wartość strzałki odczytuje się na prowadnicy według indeksu przytwierdzonego do lunetki.

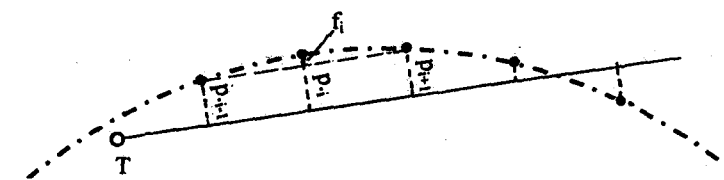


Rys. 2.63. Pomiar strzałek przy pomocy teodolitu
Objaśnienia w tekście

Do pomiaru strzałek można wykorzystać teodolit. W tym przypadku pomiarem obejmuje się zidentyfikowane punkty osi toru (rys. 2.63). Nad jednym z tych punktów (np. 3) ustawia się teodolit, przy czym jego oś celowa zostaje skierowana na punkt 1 w celu wyznaczenia strzałki f_2 oraz na punkt 5 w celu wyznaczenia strzałki 4. Przenosząc teodolit na kolejne punkty, wyznacza się pozostałe strzałki, na przykład z punktu 4 wyznacza się strzałki f_3 i f_5 . Do odtworzenia punktów osi toru w poszczególnych przekrojach korzysta się z zestawu pięciu specjalnych łątek, z których jedna przedstawiona została na rysunku 2.64. Inny sposób wykorzystania teodolitu do pomiaru strzałek przedstawiono na rysunku 2.65. Jest to sposób długich cięciw, polegający na ustawieniu teodolitu w punkcie T i skierowaniu jego osi celowej wzdłuż sprawdzanej linii krzywej.



Rys. 2.64. Łata do odtwarzania osi toru [17]

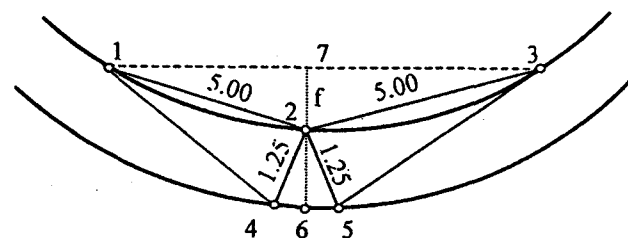


Rys. 2.65. Pomiar strzałek metodą długich cięciw
Objaśnienia w tekście

Po wyznaczeniu odległości p_i przy użyciu przymiaru z podziałem milimetrycznym oblicza się wartości strzałek według wzoru

$$f_i = p_i - \frac{p_{i-1} + p_{i+1}}{2} \quad (2.49)$$

Wartości strzałek f można również wyznaczyć sposobem mechanicznym przy użyciu korektora krzywizn firmy Matisa, przedstawionego schematycznie na rysunku 2.66.



Rys. 2.66. Wyznaczenie strzałek przy użyciu korektora krzywizn
Objaśnienia w tekście

Przyrząd składa się z dwóch sztywnych trójkątów połączonych przegubowo w punkcie 2. W punktach 1, 2, 3, 4 znajdują się kółka umożliwiające toczenie przyrządu po torze. Podczas toczenia po nierównym łuku zmienia się odległość pomiędzy punktami 4-5. Uwzględniając wymiary trójkątów oraz odpowiednie zależności geometryczne, otrzymuje się kolejno:

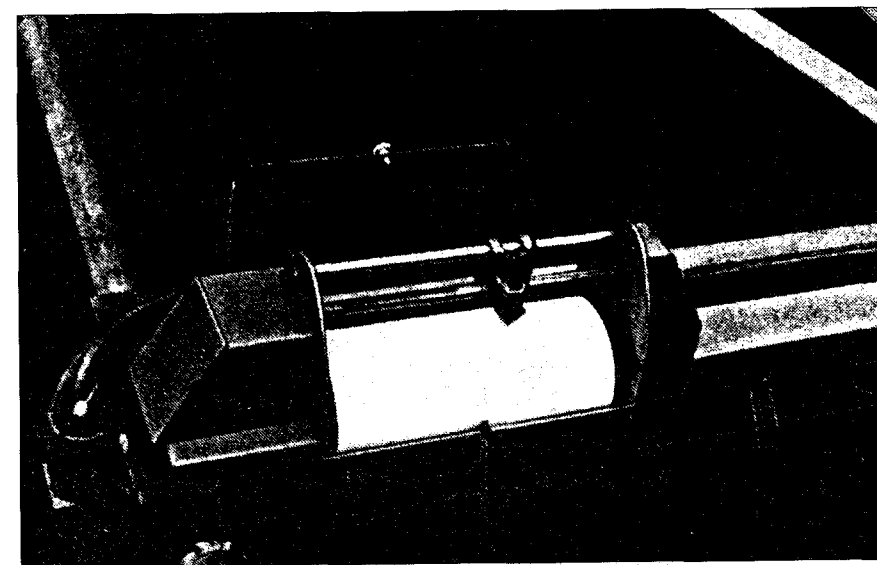
$$\frac{d_{4,6}}{d_{2,4}} = \frac{d_{2,7}}{d_{1,2}} \quad (2.50)$$

$$d_{4,6} = \frac{1,25}{5,00} f = \frac{1}{4} f \quad (2.51)$$

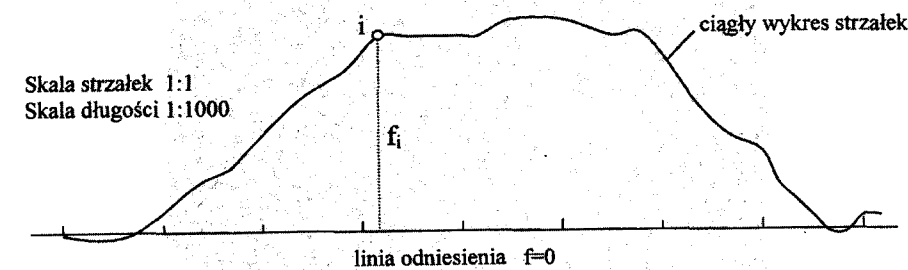
$$d_{4,5} = 2d_{4,6} = \frac{1}{2} f \quad (2.52)$$

Podwójne wartości $d_{4,5}$ przenoszone są za pomocą odpowiedniego cięgna na urządzenie rejestrujące (rys. 2.67) umieszczone w rejonie punktu 2. Uzyskuje się w ten sposób ciągły wykres strzałek w skali 1:1 (rys. 2.68), przy czym skala długości może być 1:1000 lub 1:2000. Strzałki wyznaczone są dla cięgiwy o długości 10 m.

W celu odczytania wartości strzałki w określonym punkcie kilometrażu linii na uzyskany wykres wnosi się linię odniesienia. Linię tę można wykreślić przez swobodny obrót bębna po wcześniejszym zetknięciu z sobą krótszych ramion trójkątów, gdyż wówczas $d_{4,5} = 0$, a więc również $f = 0$.

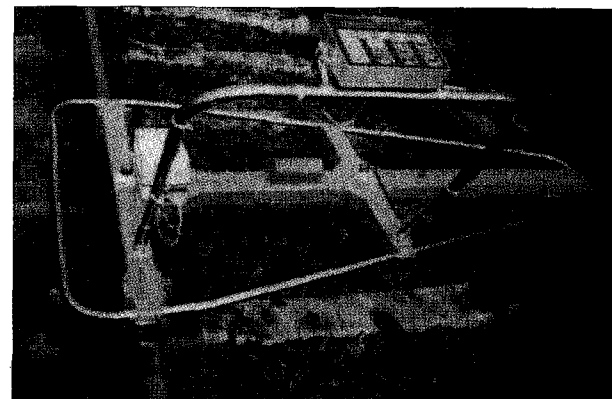


Rys. 2.67. Urządzenie rejestrujące korektora krzywizn [17]

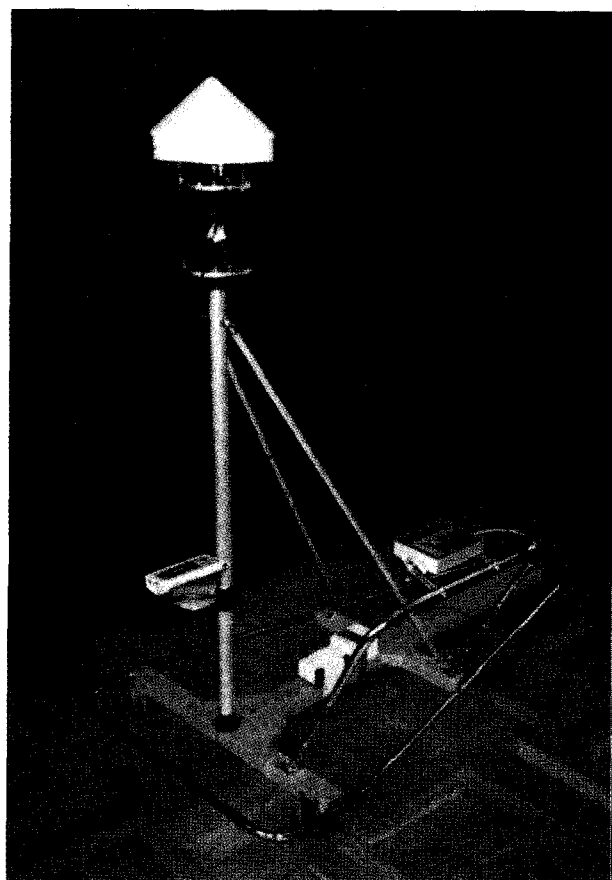


Rys. 2.68. Wykres strzałek na krzywoliniowym odcinku toru
Objaśnienia w tekście

Kształt osi toru, zarówno na odcinkach prostoliniowych, jak i na odcinkach krzywoliniowych, można również wyznaczać w oparciu o współrzędne całego ciągu punktów reprezentujących tę oś. Punkty obserwowane mogą być rozmieszczone równomiernie względem siebie – podobnie jak przy pomiarach strzałek, lub nierównomiernie, z dowolnym ich zagęszczeniem. Do wyznaczania współrzędnych punktów osi toru stosuje się metodę biegunową 3D (tachimetria precyzyjna) lub metodę satelitarną RTK-GPS. W obydwu przypadkach do odtwarzania położenia punktów reprezentujących rzeczywistą oś toru można zastosować toromierz lub inny wózek pomiarowy podobnego typu.

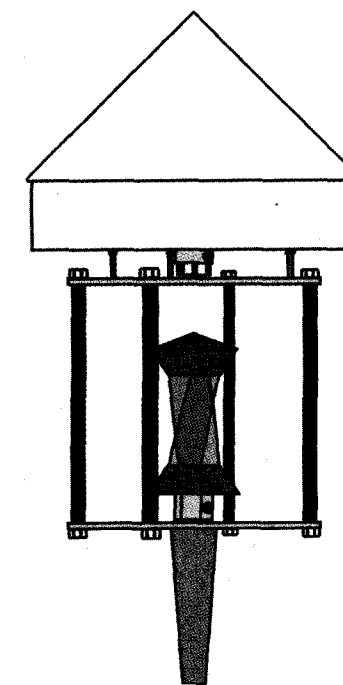


Rys. 2.69. Toromierz elektroniczny TEC 1435 [21]

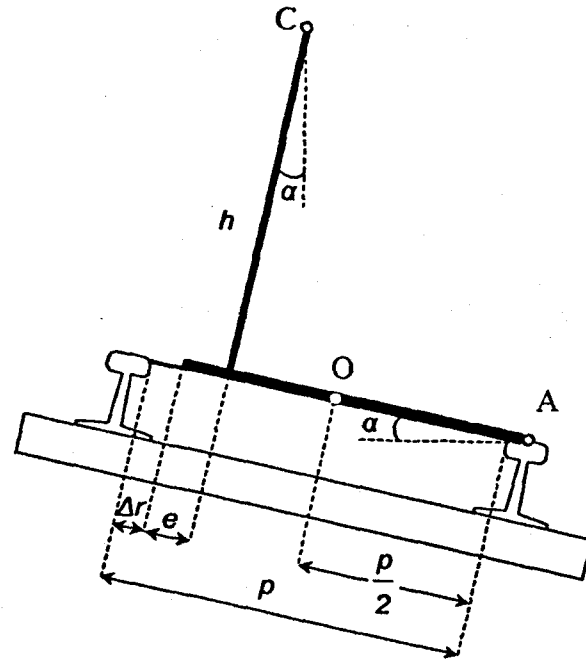


Rys. 2.70. Toromierz elektroniczny TEC 1435 z kolumną pomiarową [21]

Każdy z takich pojazdów przetaczanych po szynach powinien być wyposażony w czujnik pomiaru zmian szerokości toru, czujnik pomiaru przechyłki poprzecznej toru, czujnik pomiaru przebytej drogi, pryzmat dalmierczy lub antenę satelitarną. Wymogi te spełnia toromierz elektroniczny TEC-1435 (rys. 2.69) zmodyfikowany w Zakładzie Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa AGH. Toromierz posiada ramę składającą się z dwóch belek ustawionych prostopadle względem siebie, wyposażonych w rolki toczne. Producent wyposażył toromierz w wymienione wyżej czujniki oraz w elektroniczny rejestrator wyników prowadzonych obserwacji. Do tej konstrukcji dodano kolumnę (rys. 2.70) wyposażoną w głowicę (rys. 2.71) z uchwytami do zamocowania anteny satelitarnej typu *choke-ring* i precyzyjnego pryzmatu dalmierczego. Poziom usytuowania głowicy pomiarowej może być zmieniany poprzez odpowiednie skracanie lub wydłużanie kolumny składającej się z kilku łączonych ze sobą elementów cylindrycznych. Ta cecha konstrukcyjna kolumny toromierza umożliwia niskie ustawienie anteny względem poziomu szyny, co zapewnia najlepszą stabilność głowicy pomiarowej w czasie przetaczania toromierza. Wysokie ustawienie głowicy stosowane jest w trudnych warunkach terenowych panujących wzdłuż toru (zakrzaczenie, wysokie trawy, urządzenia techniczne) i wówczas dla zachowania stabilności wprowadza się dodatkowe elementy łączące kolumnę z ramą dolną toromierza.



Rys. 2.71. Głowica z anteną i pryzmatem dalmierczym [21]



Rys. 2.72. Parametry geometryczne toromierza z kolumną pomiarową w rzucie na płaszczyznę pionową [21]
Objaśnienia w tekście

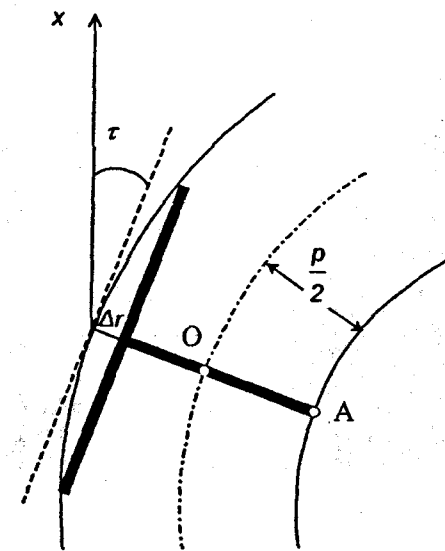
Usytuowanie kolumny pomiarowej nad jedną z szyn oraz ustawianie głowicy na dowolnej wysokości względem ramy toromierza sprawia, że wyznaczone w trakcie pomiaru położenie środka fazowego anteny satelitarnej i środka przyrządu dalmierczego nie odpowiadają położeniu punktu rzeczywistej osi toru w danym przekroju poprzecznym. Stąd też faktycznie obserwowany punkt C (rys. 2.72) powinien zostać zrzutowany na płaszczyznę wyznaczoną przez toki szyn, a następnie przesunięty do punktu O znajdującego się w środku szerokości toru (rys. 2.73). Współrzędne x , y punktu O oblicza się z zależności wyprowadzonych w [21]. Mają one następującą postać:

$$x_o = x_c \pm \left[\left(\frac{p}{2} - e - \Delta r \right) \cos \alpha - h \sin \alpha \right] \cos \left(\tau + \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.53)$$

$$y_o = y_c \pm \left[\left(\frac{p}{2} - e - \Delta r \right) \cos \alpha - h \sin \alpha \right] \sin \left(\tau + \frac{\pi}{2} \right)$$

Wysokość toku szyny wewnętrznej na łuku oblicza się z zależności

$$h_A = h_C - h \cdot \cos \alpha - (p - e - \Delta r) \sin \alpha \quad (2.54)$$



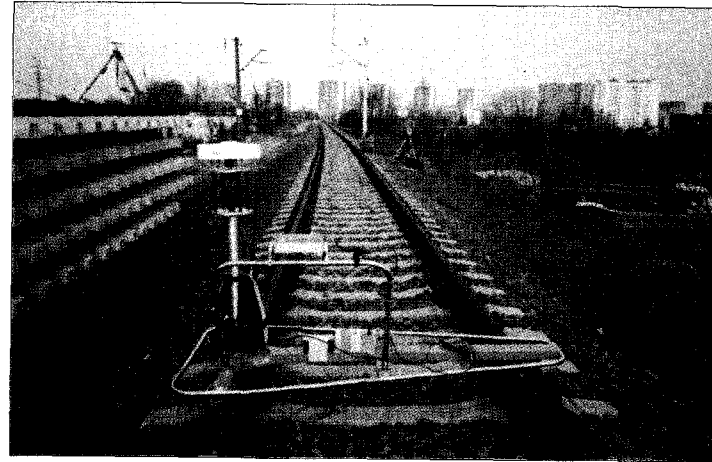
Rys. 2.73. Parametry geometryczne toromierza w rzucie na płaszczyznę poziomą [21]
Objaśnienia w tekście

Występujące we wzorach (2.53) i (2.54) parametry oznaczają:

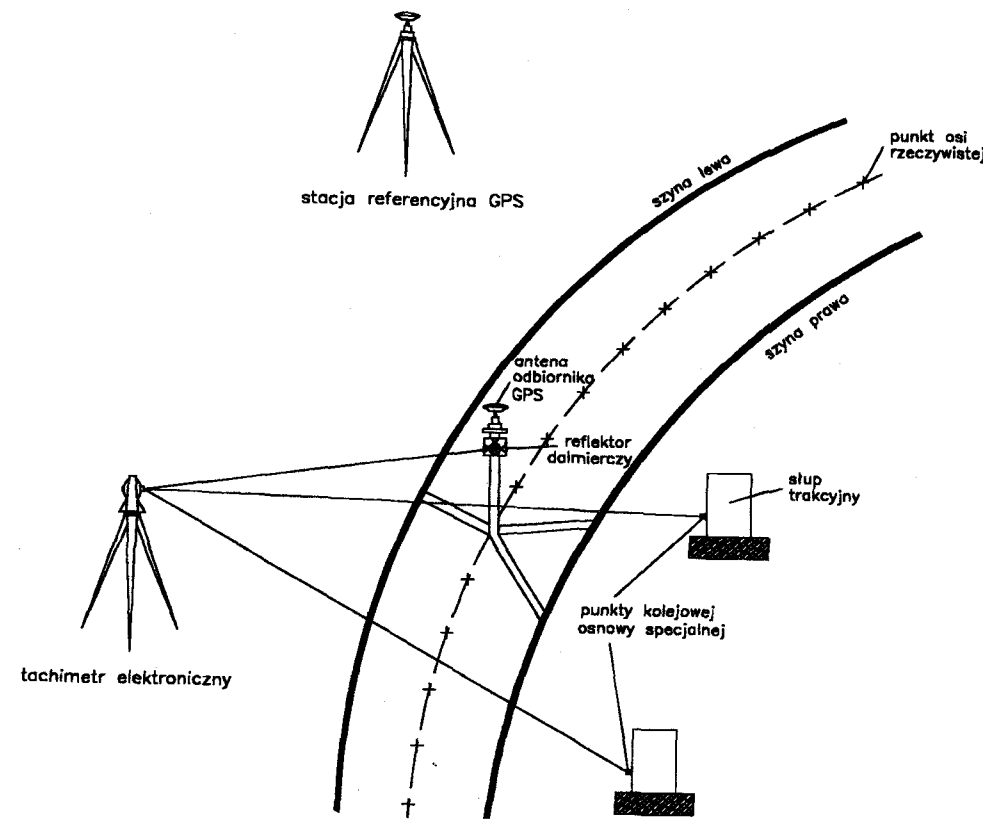
- p – szerokość toru,
- α – pochylenie poprzeczne toru,
- h – wysokość środka fazowego anteny lub przyrządu dalmierczego nad płaszczyznę toków szyn,
- e – mimośród osi kolumny względem krawędzi ramy toromierza,
- Δr – strzałka krzywizny toru dla cięciwy równej długości belki podłużnej toromierza,
- τ – kąt kierunkowy belki podłużnej.

Przedstawiona wersja zmodyfikowanego toromierza TEC-1435 umożliwia prowadzenie pomiarów inwentaryzacyjnych w każdych warunkach terenowych (rys. 2.74 i 2.75). W rejonach występowania zwartych, wysokich przeszkód terenowych pomiary prowadzi się z użyciem precyzyjnego tachimetru elektronicznego, zaś w terenie odkrytym – metodą RTK-GPS (rys. 2.76). W obydwu przypadkach obserwacje prowadzi się w dowiązaniu do punktów kolejowej osnowy geodezyjnej.

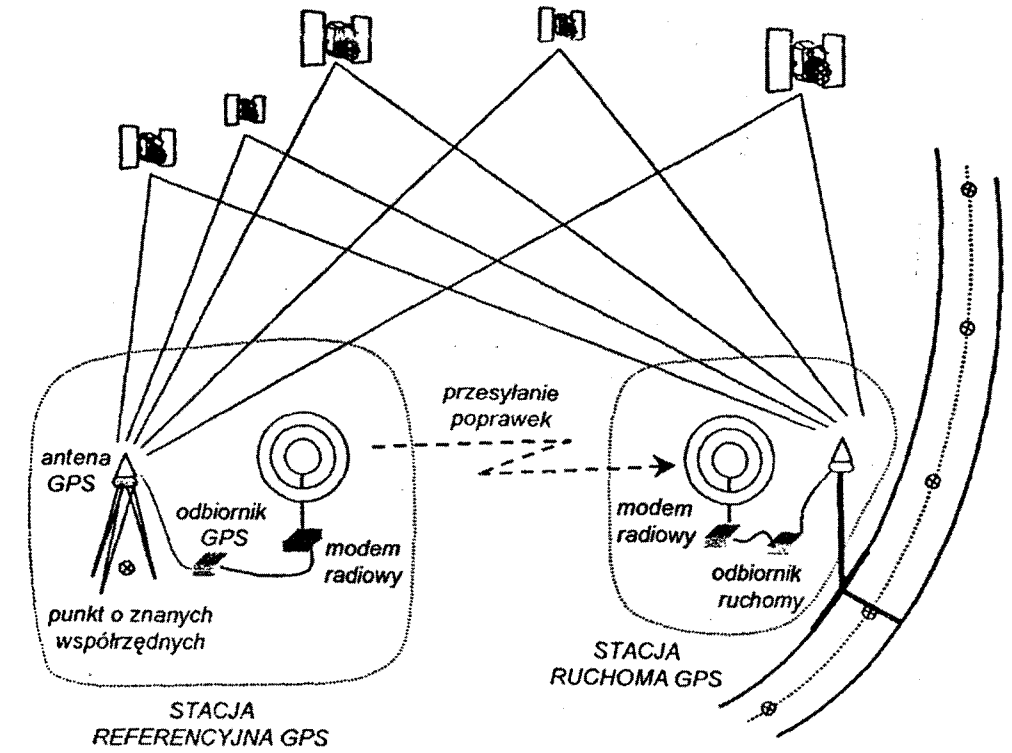
Do wyznaczenia współrzędnych punktów dowolnie długich odcinków osi toru w układzie bezwzględny konieczne jest korzystanie z osnow geodezyjnych o odpowiedniej strukturze i dokładności. Obecnie są to osnowy zintegrowane, składające się z punktów odniesienia, których współrzędne wyznacza się metodą statyczną GPS oraz z punktów osnow szczegółowych, wyznaczanych metodami klasycznymi. Punkty odniesienia GPS utrwalane są znakami ziemnymi w odległościach od 1 km do 2 km, natomiast punkty osnow szczegółowych, będące również wskaźnikami regulacji, utrwalane są na słupach trakcji elektrycznej w odległościach około 60 m.



Rys. 2.74. Zestaw urządzeń do inwentaryzacji osi toru [21]



Rys. 2.75. Geodezyjna inwentaryzacja osi toru



Rys. 2.76. Pomiar metodą RTK GPS [21]

Niektóre z wyszczególnionych wyżej punktów są wykorzystywane w pomiarach inwentaryzacyjnych torów kolejowych bezpośrednio, jako stanowiska tachimetru elektronicznego, lub pośrednio, jako punkty, do których dowiązuje się swobodnie usytuowane stanowiska tachimetru. Z tych stanowisk, odległych od siebie najwyżej o 400 m, prowadzi się obserwacje przyzmatu dalmierczego umieszczonego na toromierzu, uzyskując współrzędne przestrzenne punktu C (rys. 2.72), a po dokonaniu redukcji według wzorów (2.53) i (2.54) współrzędne punktu O (rys. 2.73) rzeczywistej osi toru. Przekroje obserwacyjne, w których wykonuje się pomiary z użyciem zmodernizowanego toromierza TEC 1435, mogą być usytuowane w równych odległościach (na przykład co 10 m) poprzez wcześniejsze ich odmierzenie i zaznaczenie na jednej z szyn toru. Do pomiarów tachimetrycznych powinny być używane precyzyjne tachimetry elektroniczne, charakteryzujące się następującymi parametrami: dokładność pomiaru kierunku $\pm 1''$, dokładność pomiaru długości $\pm 1-3$ mm. Zalecane jest stosowanie tachimetrów zmotoryzowanych, wyposażonych w urządzenia do automatycznego naprowadzania na cel. Ze względów dokładnościowych najdłuższe celowe nie powinny przekraczać odległości 200 m i wówczas dokładność wyznaczenia współrzędnych punktu ocenia się wartością ± 3 mm.

Do wyznaczenia współrzędnych punktów reprezentujących rzeczywistą oś toru można oprócz tachimetrii precyzyjnej zastosować satelitarną metodę RTK-GPS bazującą na sygnałach odbieranych z pięciu satelitów w czasie inicjalizacji pomiaru i czterech satelitów w czasie pomiarów w łańcuchu kinematycznym. W metodzie tej wykorzystuje się dwa dwuczęstotliwościowe odbiorniki sygnałów satelitarnych wyposażone w mode-my radiowe. Antenę jednego z nich ustawia się na punkcie osnowy geodezyjnej o znanych współrzędnych wyznaczonych metodą statyczną GPS. Odbiornik ten pełni funkcję stacji referencyjnej i prowadzi pomiar statyczny. Antenę drugiego odbiornika ustawioną na zmodyfikowanym toromierzu przesuwa się wzdłuż toru i wyznacza się współrzędne kolejnych punktów osi rzeczywistej, w tym samym układzie współrzędnych, w jakim podane są współrzędne stacji referencyjnej. Obserwacje prowadzi się w dwóch trybach: kinematycznym (*true kinematic*) i semikinematycznym (*stop and go*).

W pierwszym przypadku przy ciągłym przesuwananiu toromierza obliczenie i zapis współrzędnych punktów osi toru może następować automatycznie w zadanym interwale czasu lub odległości. W procedurze *stop and go* o momencie rozpoczęcia i zakończenia pomiaru dla obserwacji w każdym punkcie toru decyduje operator. W tym trybie obliczenie współrzędnych następuje na podstawie odczytów fazy fali nośnej sygnału satelitarnego zebranych w czasie bardzo krótkiego pomiaru statycznego, trwającego zazwyczaj od kilku do kilkudziesięciu sekund. Inne odczyty odbiornika ruchomego w trakcie jego przemieszczania z jednego punktu do drugiego nie są brane pod uwagę przy obliczaniu współrzędnych punktów, nad którymi antena została chwilowo zatrzymana.

Współrzędne punktów obserwowanych mogą być znane w czasie rzeczywistym i wówczas cały proces obliczeniowy wykonywany jest przez procesor odbiornika ruchomego. Dane potrzebne do wykonania obliczeń przesyłane są z odbiornika stacjonarnego do ruchomego, drogą radiową. Jakość tego połączenia oraz zasięg łączności między radiomodemami (odbiornikami) zależą od: mocy nadajnika radiowego, czułości odbiornika radiowego, tolerancji sygnału zakłócającego w sygnale modulacji radiowej, tłumienia sygnału przez przewód antenowy, wysokości anteny, rodzaju przeszkód terenowych itp.

Współrzędne punktów w metodzie kinematycznej mogą być dla kontroli ponownie obliczone w trybie postprocessingu, w oparciu o dane zarejestrowane przez odbiorniki i poddane łącznemu przetworzeniu w komputerze stacjonarnym.

W oparciu o wyniki pomiarów doświadczalnych przedstawione w [21] stwierdzono, że sytuacyjne położenie punktu osi toru można wyznaczyć metodą RTK z dokładnością ± 4 mm w trybie *stop and go* oraz ± 6 mm w trybie *true kinematic*. Omawiana metoda nie może być stosowana do wyznaczenia wysokości punktów, gdyż nie zabezpiecza uzyskania odpowiednich dokładności.

Do opracowania projektów regulacji torów można stosować znane algorytmy i programy komputerowe oparte na wykorzystaniu pomierzonych strzałek, wówczas jednak należy na podstawie współrzędnych kolejnych trójek punktów takie strzałki obliczyć ze wzoru (2.67). W tej sytuacji punkty obserwowane muszą być usytuowane

w jednakowych odległościach, co wiąże się z wcześniejszym zaznaczeniem na szynach przekrojów, w których prowadzi się obserwacje metodą biegunową 3D i metodą RTK w trybie *stop and go*. Jeśli natomiast wyznacza się współrzędne punktów usytuowanych w dowolnych odległościach lub też stosuje się pomiar metodą RTK w trybie *true kinematic* z rejestracją współrzędnych punktów co 0,1 s, wówczas model dyskretny osi toru kolejowego należy zastąpić modelem ciągłym poprzez wpasowanie w punkty o znanych współrzędnych odpowiednio dobranych funkcji sklejących. Znane równania wyaprosymowanych krzywych sklejących umożliwiają obliczenie współrzędnych punktów osi toru, usytuowanych w jednakowych odległościach.

Podczas przybliżania osi toru splajnami możliwe jest wykorzystanie dwóch modeli:

- 1) interpolacyjnego,
- 2) aproksymacyjnego.

Interpolacja zmusza do prowadzenia krzywej skleianej dokładnie przez wszystkie punkty pomiarowe, co przy obciążeniu pomiarów pewnymi błędami i dużym ich zagęszczeniu może powodować pewne zafalowania osi i w efekcie dawać mało przejrzysty obraz. Większe możliwości daje aproksymacja, która – przy założeniu błędów pomiarowych i ustaleniu parametru dopasowania do danych pomiarowych na pewnym poziomie – pozwala osiągnąć krzywą najładniejszą na przemian z krzywą najlepiej dopasowaną, redukującą się w skrajnych przypadkach do krzywej interpolacyjnej. Przedstawienie osi toru powinno występować w postaci linii ciągłej posiadającej dodatkowo ciągłą krzywiznę. Ciągłość linii jest tożsama z ciągłością funkcji skleianej, natomiast krzywizna jest determinowana przez pierwsze dwie pochodne funkcji

$$K = \frac{f''}{[1 + (f')^2]^{3/2}} \quad (2.55)$$

Zatem do spełnienia założonych wymagań konieczne jest użycie funkcji klasy C^2 , czyli dwukrotnie różniczkowalnej w każdym punkcie. Takie wymagania spełniają kubiczne krzywe skleione, składające się z odcinków wielomianów stopnia trzeciego. Stopień ten wystarcza do zachowania ciągłości krzywizny, a jednocześnie nie powoduje niepożądanych zafalowań funkcji właściwych wielomianom wysokiego stopnia. Funkcja sklejana stopnia trzeciego $S: [a, b] \rightarrow R$ jest dwukrotnie różniczkowalna w $[a, b]$ oraz jest wielomianem trzeciego stopnia w każdym podprzedziale $[x_i, x_{i+1}]$, $i = 0, 1, 2, \dots, n$.

Jeżeli funkcja S przyjmie w węzłach $\{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ wartości $S(x_i) = y_i$, $\{y_0, y_1, \dots, y_n\}$, to będzie funkcją interpolacyjną, a jeśli osiągnie zbliżone do nich wartości $S(x_i) = \bar{y}_i$, $\{\bar{y}_0, \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_n\}$, to będzie funkcją aproksymacyjną. Równania pozwalające wyznaczyć krzywe skleione układu się, korzystając z faktu, że wartości funkcji wraz z ich dwoma pierwszymi pochodnymi muszą być równe w węzłach x_i . Aby jed-

noznacznie określić funkcje sklejone, konieczne jeszcze jest ustalenie dwóch stopni swobody, co wymaga dodatkowych warunków, z których najprostszym, a przy tym uniwersalnym, jest przyrównanie drugich pochodnych na krańcach przedziału do zera: $S''_{(a)} = S''_{(b)} = 0$.

Interpolacyjne funkcje sklejane, osiągające w węzłach $\{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ pewne zadane wartości $\{y_0, y_1, \dots, y_n\}$, można w każdym podprzedziale $[x_i, x_{i+1}]$ zapisać w postaci (2.56), przy założeniu, że druga pochodna $S'(x)$ jest funkcją ciągłą w $[a, b]$ i liniową w $[x_i, x_{i+1}]$

$$S(x) = \alpha_i + \beta_i(x - x_i) + \gamma_i(x - x_i)^2 + \delta_i(x - x_i)^3 \quad (2.56)$$

gdzie:

$$\alpha_i = y_i,$$

$$\beta_i = S'(x_i) = \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{2M_i + M_{i+1}}{6} h_{i+1},$$

$$\gamma_i = \frac{M_i}{2},$$

$$\delta_i = \frac{S'''(x_i^+)}{6} = \frac{M_{i+1} - M_i}{6h_{i+1}},$$

$$M_i = S''(x_i) \quad i = 0, 1, \dots, n \quad h_{i+1} = x_{i+1} - x_i \quad i = 0, 1, \dots, n-1.$$

Momenty M_i funkcji S , której pierwsza pochodna w węzłach x_i jest ciągła w przedziale $[a, b]$, oblicza się z zależności

$$\mu_i M_{i-1} + 2M_i + \lambda_i M_{i+1} = d_i \quad (2.57)$$

gdzie:

$$\lambda_i = \frac{h_{i+1}}{h_i + h_{i+1}},$$

$$\mu_i = \frac{h_i}{h_i + h_{i+1}},$$

$$d_i = \frac{6}{h_i + h_{i+1}} \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i} \right).$$

Dla $S''(a) = S''(b) = 0$ równania wynikające z zależności (2.57) przyjmują postać:

$$2M_0 + \lambda_0 M_1 = d_0,$$

$$\mu_n M_{n-1} + 2M_n = d_n.$$

Ostatecznie współczynniki interpolacyjnej funkcji sklejonej oblicza się z zależności

$$\begin{bmatrix} 2 & \lambda_0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ \mu_1 & 2 & \lambda_1 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & \mu_2 & 2 & \lambda_2 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \mu_{n-1} & 2 & \lambda_{n-1} \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \mu_n & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_0 \\ M_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_0 \\ d_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ d_n \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

Na potrzeby regulacji torów można z powodzeniem stosować zwykłe splajny kubiczne. Zmiany krzywizny w tym przypadku mają łagodny przebieg i dlatego można tu stosować wielomianowe krzywe sklejone, nawet stopnia czwartego i piątego. Wyższy stopień wielomianu pozwala na jednorazową interpolację większego zbioru punktów. Jeżeli więc odcinek krzywej trzeciego stopnia zawarty jest pomiędzy każdą parą punktów, to już odcinek krzywej czwartego stopnia można poprowadzić przez trzy punkty, a piątego stopnia przez cztery punkty. Wtedy warunki ciągłości funkcji i jej dwóch pierwszych pochodnych wystarczy zapewnić tylko w punktach skrajnych łączących kolejne odcinki krzywej sklejonej. Takie rozwiązania pozwolą wydatnie zmniejszyć liczbę współczynników potrzebnych do wyznaczenia wszystkich odcinków krzywej sklejonej w przedziale $[a, b]$.

Jeśli oś toru opisują współrzędne punktów i znane są błędy średnie wyznaczenia tych współrzędnych, wówczas funkcję sklejoną, zamiast przez dane punkty $\{y_0, y_1, \dots, y_n\}$ można poprowadzić przez ich odpowiedniki $\{\bar{y}_0, \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_n\}$ tak wyliczone, aby został zachowany warunek zadania najmniejszych kwadratów przy jednoczesnym zachowaniu gładkości funkcji. Problem sprowadza się więc do wyznaczenia funkcji minimalizującej następujące wyrażenie

$$p \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - S(x_i)}{\sigma_{y_i}} \right)^2 + (1-p) \int_{x_1}^{x_n} (S''(t))^2 dt \quad (2.59)$$

Pierwszy człon wzoru (2.59) odpowiada za przeprowadzenie aproksymacji średniokwadratowej, zaś drugi człon determinuje minimalną krzywiznę funkcji S . Zmieniając parametr p w przedziale $[0, 1]$, uzyskuje się przemiennie krzywą możliwie gładką

i krzywą najlepiej wpasowaną w posiadany zbiór punktów. Na zmienność tej funkcji wpływa również wielkość błędu σ_{y_i} .

Dla wyznaczenia aproksymującej funkcji sklejanej S , przybierającej w węzłach $\{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ wartości $S(x_i) = \bar{y}_i, \{\bar{y}_0, \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_n\}$ i spełniającej warunek $S''(a) = S''(b) = 0$, zestawia się równania, które w zapisie macierzowym mają postać

$$RM = 6Q^T \bar{Y} \quad (2.60)$$

gdzie:

R – macierz o wymiarze $(n-2)(n-2)$, posiadająca w każdym wierszu wyrazy: $h_i, 2(h_i + h_{i+1}), h_{i+1}$,

M – wektor o wymiarze $(n-2)$, grupujący szukane momenty M_i z uwzględnieniem $M_0 = M_n = 0$,

Q – macierz o wymiarach $(n-2)n$, zawierająca wiersze:

$$\frac{1}{h_i}, -\frac{1}{h_i}, -\frac{1}{h_{i+1}}, \frac{1}{h_{i+1}},$$

\bar{Y} – wektor o wymiarze n zawierający elementy \bar{y}_i .

Drugą część równania (2.59) odpowiadającą za minimalizację krzywizny można zapisać w postaci

$$\int_{x_1}^{x_n} (S''(t))^2 dt = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^{n-1} h_{i+1} (M_i^2 + M_i M_{i+1} + M_{i+1}^2) \quad (2.61)$$

i wówczas równanie (2.59) przyjmie postać

$$p \sum_{i=1}^n \left[\frac{y_i - \bar{y}_i}{\sigma_{y_i}} \right]^2 + \frac{1}{3} (1-p) \sum_{i=1}^{n-1} h_{i+1} (M_i^2 + M_i M_{i+1} + M_{i+1}^2) \quad (2.62)$$

lub w formie macierzowej

$$pV^T PV + \frac{1}{6} (1-p) M^T RM \quad (2.63)$$

gdzie

$$V = Y - \bar{Y}, \quad P = \text{diag} \left[\frac{1}{\sigma_1^2}, \dots, \frac{1}{\sigma_n^2} \right].$$

Po wyznaczeniu M ze wzoru (2.60) i wstawieniu do (2.63) otrzymuje się po przekształceniach

$$AM = L \quad (2.64)$$

a następnie

$$M = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (2.65)$$

gdzie:

$$A = [6(1-p)Q^T P^{-1}Q + pR],$$

$$L = 6pQ^T Y.$$

Wyznaczone według wzoru (2.65) momenty funkcji S pozwalają określić punkty \bar{y}_i , przez które przejdzie krzywa aproksymująca

$$\bar{Y} = Y - \frac{1-p}{p} P^{-1} Q M \quad (2.66)$$

Aproksymacyjne krzywe sklejane zapewniają dużą elastyczność w procesie wyszukiwania najodpowiedniejszej funkcji opisującej rzeczywistą oś toru. Podstawowe znaczenie w modelowaniu krzywych sklejanych ma parametr p . Jego znaczenie jednak maleje w miarę wzrostu błędów pomiarowych.

Wyznaczone współrzędne punktów osi toru usytuowanych w jednakowych odległościach ΔL (rys. 2.61) wykorzystuje się do obliczenia strzałek zgodnie ze wzorem

$$f_i = \frac{(x_{i+1} - x_{i-1})(y_i - y_{i-1}) - (x_i - x_{i-1})(y_{i+1} - y_{i-1})}{\sqrt{(x_{i+1} - x_{i-1})^2 + (y_{i+1} - y_{i-1})^2}} \quad (2.67)$$

Równocześnie z pomiarem strzałek lub wyznaczaniem współrzędnych punktów osi na krzywoliniowych odcinkach toru prowadzi się, podobnie jak na odcinkach prostoliniowych, inwentaryzację wszystkich obiektów ograniczających możliwość poprzecznych przesunięć toru. Położenie punktów reprezentujących te obiekty określają: kilometrą i odległości od osi toru lub od cięciwy łuku o długości ΔL . Punkty obiektów mogą też zostać zinwentaryzowane względem istniejącej osnowy kolejowej i wówczas ich położenie określa współrzędne x, y . Sposób inwentaryzacji zależy od przyjętej metody regulacji osi toru na łukach.

2.5.3. Opracowanie projektów regulacji osi toru w płaszczyźnie poziomej

Decyzję o przeprowadzeniu regulacji osi toru podejmuje się po porównaniu kształtu rzeczywistej osi toru z osią teoretyczną i ocenie, czy istniejące zniekształcenia poziome są dopuszczalne.

Instrukcja techniczna D-1 – *Przepisy techniczne...* [5] podaje niektóre kryteria dokonywania takich ocen.

Rozróżnia się tu podane niżej przypadki.

- 1) Jeśli pomiar inwentaryzacyjny został wykonany przy użyciu wózka pomiarowego, wówczas ocenę istniejących odchyłeń prowadzi się według kryteriów zestawionych w tabeli 2.8.

Tabela 2.8

Dopuszczalne różnice strzałek sąsiednich dla bazy 10 m

Prędkość [km/h]	Odchyłka [mm] (dla bazy pomiaru 10 m)	
	kwalityfikująca tor do naprawy	graniczna
	Różnica między sąsiednimi maksymalnymi strzałkami na wykresie	
≥120	3	4
80–120	4	5
60–80	5	6
<60	6	7
Prędkość [km/h]	Różnica między strzałką maksymalną i teoretyczną	
	kwalityfikująca tor do naprawy	graniczna
	Różnica między sąsiednimi maksymalnymi strzałkami na wykresie	
≥120	3	4
80–120	4	6
60–80	5	8
<60	6	10

- 2) Jeśli inwentaryzację osi toru wykonano metodami geodezyjnymi lub przy użyciu innych metod pomiaru bezpośredniego, to ocenę wykonuje się w oparciu o dane zestawione w tabelach 2.9 i 2.10.
- 3) Jeśli położenie toru sprawdza się przez pomiar odległości toku szynowego od znaków regulacji, to korzystając z danych zawartych w ostatnim protokole regulacji można ustalić wielkości odchyłek i sprawdzić, czy są one dopuszczalne.
- 4) Położenie toru w punktach pośrednich między znakami regulacji uznaje się za poprawne jeżeli:
 - W torze prostoliniowym bezwzględna wartość odchyłeń od prostej łączącej punkty szyny, leżące naprzeciw znaków regulacji mierzonych w dwóch sąsiednich punktach oddalonych od siebie o 10 m, nie przekracza wartości podanych w tabeli 2.9.

Tabela 2.9

Dopuszczalne odchyłki od linii prostej dla bazy 10 m

Prędkość [km/h]	Dopuszczalne odchylenie od prostej dla bazy pomiaru 10 m [mm]	
	kwalityfikacja toru do naprawy	graniczna
≥120	4	6
80–120	6	10
60–80	12	20
<60	20	25

Tabela 2.10

Dopuszczalne różnice sąsiednich strzałek w łuku kołowym

Prędkość [km/h]	Dopuszczalna różnica sąsiednich strzałek w łuku kołowym [mm]			
	kwalityfikująca tor do naprawy		graniczna	
	Δf ₁₀	Δf ₂₀	Δf ₁₀	Δf ₂₀
≥120	4	16	5	20
80–120	6	24	7	28
60–80	10	40	12	48
<60	12	48	14	56

- Dla toru w łuku kołowym bezwzględna różnica dwóch sąsiednich strzałek mierzonych na cięciwie 10 m (Δf₁₀) i na cięciwie 20 m (Δf₂₀) nie przekracza wartości przedstawionych w tabeli 2.10. Dla krzywych przejściowych odchyłki te zwiększa się o wartość

$$d = \frac{c^3}{16 \cdot l \cdot R} \quad (2.68)$$

gdzie:

- d* – teoretyczna różnica sąsiednich strzałek na krzywej przejściowej [mm],
- c* – długość cięciwy pomiarowej [mm],
- l* – długość krzywej przejściowej [mm],
- R* – promień łuku kołowego [mm].

Na podstawie ostatnio prowadzonych badań teoretycznych i doświadczalnych stwierdzono, że zwiększa się siła wstrząsów podczas jazdy w punktach, dla których

różnice pomiędzy sąsiednimi strzałkami przekraczają wartości graniczne określone ze wzoru

$$\Delta f = \frac{48600}{v^2} \quad (2.69)$$

gdzie v – prędkość pociągu [km/h].

Zatem siła wstrząsów podczas jazdy może ulec zwiększeniu na łuku o dowolnym promieniu R , gdy tylko różnica dwóch sąsiednich strzałek przekroczy wartość obliczoną ze wzoru (2.69).

Stosownie do powyższych ustaleń można stwierdzić, że podstawowym celem regulacji jest usunięcie istniejących nadmiernych zniekształceń osi toru. Pod pojęciem regulacji należy też rozumieć dostosowanie istniejącego układu osi do nowych wymagań stawianych w procesie modernizacji linii prowadzonej na przykład ze względu na zwiększenie prędkości jazdy pociągów. Usuwanie zniekształceń i korygowanie osi toru istniejącego polegać będzie na określeniu poziomych odległości (przesunięć) punktów tej osi od nowej osi toru. Nową oś toru stanowią odcinki linii prostych, krzywych przejściowych i łuków kołowych wpasowanych w zbiór punktów reprezentujących oś istniejącą w sposób zapewniający minimalizację przesunięć i zachowanie skrajni budowlanej.

Projekt regulacji osi toru opracowuje się jedną z następujących metod:

- wykreslną,
- mechaniczną,
- analityczno-wykreslną,
- analityczną.

2.5.3.1. Projektowanie prostoliniowych odcinków osi toru

Na odcinkach prostoliniowych toru, na których pomiary inwentaryzacyjne prowadzono względem jednej linii pomiarowej w przybliżeniu równoległej do osi toru, projektowanie nowej osi można wykonać metodą graficzną. W tym celu na arkuszu papieru nanosi się zinwentaryzowane punkty przyjmując lokalny układ współrzędnych, którego oś x jest równoległa do linii pomiarowej (rys. 2.77).

Wykres osi istniejącej sporządza się w odpowiednio dobranych skalach na przykład: skala odległości 1:2000 – 1:10 000, skala odchyłeń C , 1:1 – 1:2. Projektowaną prostą wpisuje się w naniesione punkty, dążąc do takiego jej usytuowania, aby zminimalizować niezbędne przesunięcia. Wartości przesunięć otrzymuje się na sporządzonym wykresie uwzględniając zastosowaną skalę C , nanoszonych odchyłeń.

Jeśli na prostoliniowym odcinku toru wpasowanie jednej linii prostej prowadzi do nadmiernych przesunięć toru, wówczas stosuje się układ dwóch odcinków prostoliniowych

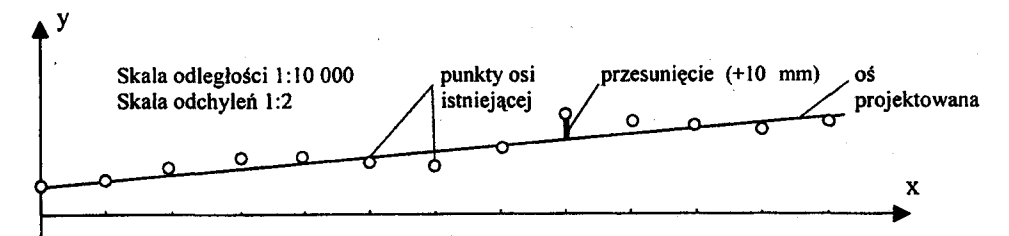
wych (rys. 2.78), a powstałe załamanie wyokragla się łukiem o bardzo dużym promieniu, np. $R = 50\ 000$ m. Kąt zwrotu α prostych, niezbędny do obliczenia długości stycznych wprowadzanego łuku, oblicza się z miar liniowych odczytanych na wykresie z uwzględnieniem skal tego wykresu (rys. 2.78), czyli

$$\alpha = \arctg \frac{b_1}{a} + \arctg \frac{b_2}{a} \quad (2.70)$$

Projektowanie osi teoretycznej, wpasowanej w punkty reprezentujące oś istniejącą (rys. 2.77), można wykonać sposobem analitycznym. Równanie aproksymacyjne szukanej prostej ma postać

$$v_i = ax_i + b - y_i \quad (2.71)$$

gdzie x_i, y_i – współrzędne punktów osi istniejącej.



Rys. 2.77. Projekt regulacji toru na odcinku prostoliniowym

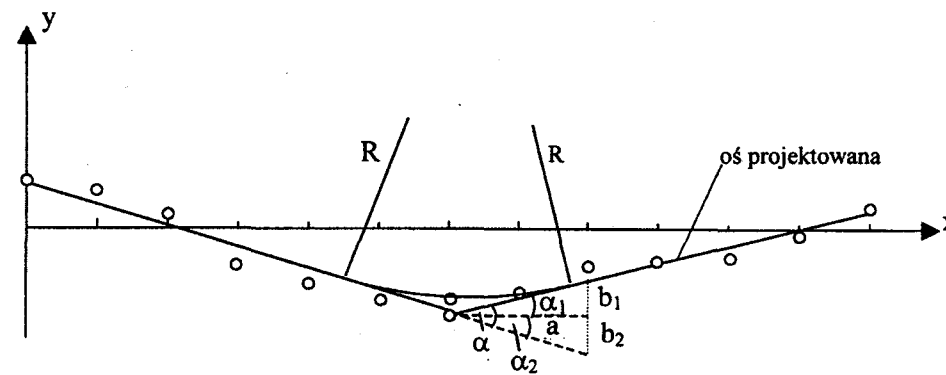
Po wyznaczeniu niewiadomych a, b uzyskuje się równanie prostej

$$y = ax + b \quad (2.72)$$

Względem tej prostej oblicza się przesunięcia punktów zinwentaryzowanych

$$p_i = \frac{y_i - ax_i - b}{\sqrt{1 + a^2}} \quad (2.73)$$

W sytuacji przedstawionej na rysunku 2.78 wyznacza się równania dwóch prostych, a następnie współrzędne punktu przecięcia tych prostych, kąt zwrotu α , długości stycznych oraz odległości punktów osi istniejącej od wyaproksymowanych prostych i wpisanego łuku kołowego.



Rys. 2.78. Wyokrąglenie załamania osi toru
Objaśnienia w tekście

Na bardzo długich prostoliniowych odcinkach toru, gdzie inwentaryzację punktów osi istniejącej prowadzono względem kilku linii pomiarowych tworzących ciąg poligonowy, procedura obliczania przesunięć jest następująca. W oparciu o współrzędne punktów poligonowych i wyniki pomiarów inwentaryzacyjnych oblicza się współrzędne wszystkich punktów osi toru. Ośią teoretyczną całego odcinka toru może być prosta wpasowana w punkty osi istniejącej z użyciem wzorów (2.71) i (2.72), prosta łącząca punkty początkowy i końcowy lub jeszcze inna prosta dostosowana do konkretnej sytuacji. Po ustaleniu równania osi teoretycznej oblicza się wartości przesunięć według wzoru (2.73).

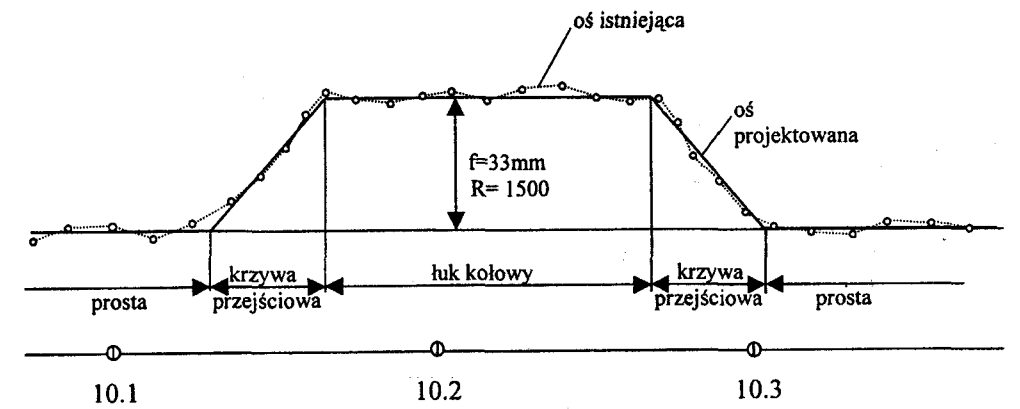
2.5.3.2. Projektowanie krzywoliniowych odcinków osi toru

Metoda wykreślna

Projekt regulacji krzywoliniowego odcinka toru kolejowego sporządza się w oparciu o strzałki pomierzone względem cięciwy o stałej długości. W metodzie wykreślniej kształt osi istniejącej przedstawia się w postaci wykresu strzałek naniesionych w skali $C_f = 1:1$ (lub $1:2$). Podstawę wykresu dzieli się na odcinki np. dziesięciometrowe, przyjmując skalę poziomą $C_x = 1:1000$ (rys. 2.79). Na otrzymanym wykresie krzywej istniejącej projektuje się nowy układ osi odpowiadających odcinkom stycznych, krzywych przejściowych i łuków kołowych. Projektowane styczne muszą pokrywać się z wyregulowanymi wcześniej osiami prostoliniowych odcinków toru. Ośią łuku kołowego na tym wykresie będzie linia prosta równoległa do linii podstawy wykresu i oddalona od niej o wielkość

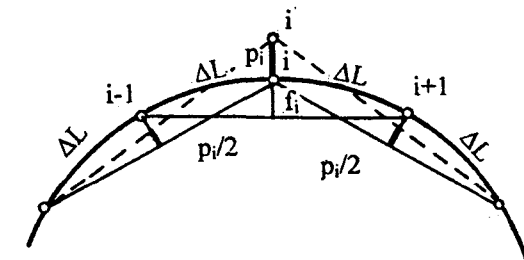
$$f_s = \frac{\sum f_i}{n} \quad (2.74)$$

Krzywymi przejściowymi są odcinki prostych nachylonych względem podstawy i poprowadzonych w taki sposób, aby pola powierzchni zawarte między wykresami osi istniejącej i projektowanej się równoważyły.



Rys. 2.79. Projekt regulacji toru metodą wykreślną
Objaśnienia w tekście

Długości obydwu krzywych przejściowych są zazwyczaj równe i ustala się je w dostosowaniu do przewidywanych prędkości jazdy pociągów. Z otrzymanego wykresu odczytuje się różnice pomiędzy strzałkami odpowiadającymi osi istniejącej i projektowanej. Różnice te wykorzystuje się do obliczenia przesunięć torów (tzw. metoda wyrównania strzałek). Projektując przesunięcie p_i , zmienia się nie tylko strzałkę w punkcie i , lecz również zmienia się strzałki w punktach sąsiednich.



Rys. 2.80. Wpływ przesunięć na wielkości strzałek
Objaśnienia w tekście

Wyjaśnia to rysunek 2.80 i wynikające z niego następujące zależności:

$$\begin{aligned} f_i' &= f_i + p_i \\ f_{i-1}' &= f_{i-1} - 0,5 p_i \\ f_{i+1}' &= f_{i+1} - 0,5 p_i \end{aligned} \quad (2.75)$$

Projektowanie przesunięć, prowadzące do uzyskania regularności projektowanej osi toru, wymaga więc dużej wprawy i jest prowadzone sposobem kolejnych przybliżeń. Można takie projektowanie zakończyć wówczas, gdy różnica dwóch sąsiednich strzałek na łuku kołowym, przy podziale łuku na odcinki $\Delta l = 10$ m, będzie mniejsza od 10 mm. Nowe wartości strzałek f'_i w poszczególnych punktach oblicza się ze wzoru

$$f'_i = f_i + p_i - \frac{p_{i-1} + p_{i+1}}{2} \quad (2.76)$$

gdzie:

- f_i – strzałka pomierzona w punkcie i ,
- f'_i – strzałka obliczona,
- p_{i-1}, p_i, p_{i+1} – zaprojektowane przesunięcia trzech kolejnych punktów toru.

Kryterium poprawności projektu regulacji na krzywych przejściowych wyraża zależność

$$|\Delta f - d| \leq 10 \text{ mm} \quad (2.77)$$

gdzie d – teoretyczna różnica dwóch sąsiednich strzałek.

Metoda wykreślna nie jest chętnie stosowana do regulacji toru, gdyż jest mało dokładna i mało praktyczna. Nadaje się jednak do oceny stanu geometrycznego toru. Uzyskiwane na wykresie różnice strzałek teoretycznych i pomierzonych dają przekonujący obraz istniejących zniekształceń krzywizny toru.

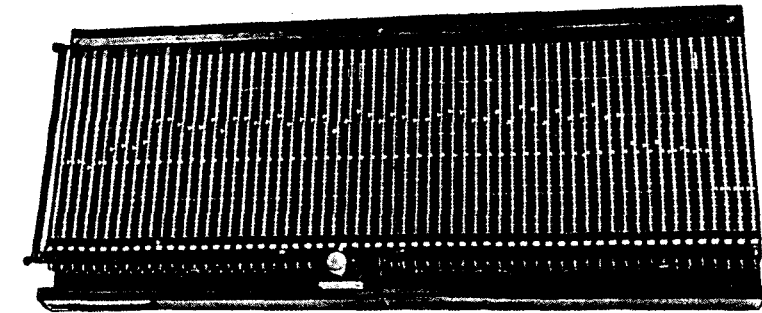
Metoda mechaniczna

Opracowanie projektu regulacji torów metodą mechaniczną oparte jest na zasadach przyjętych w metodzie wykreślniej, z wykorzystaniem urządzenia mechanicznego zwanego multikalkulatorem. Urządzenie to produkuje szwajcarska firma Matis.

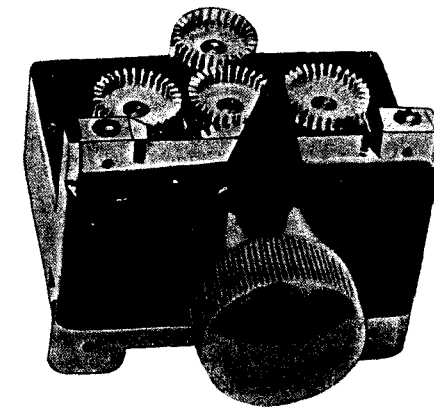
Projektowanie przesunięć metodą wyrównania strzałek prowadzi się na płycie wyposażonej w 30 równoległe usytuowanych podziałek milimetrowych o długości 250 mm (rys. 2.81). Po obydwu stronach każdej podziałki znajdują się wąskie szczeliny, wzdłuż których można przemieszczać znaczkami trójkątne. Z lewej strony podziałek są znaczkami żółte, służące do zbudowania wykresu strzałek krzywej istniejącej, zaś z prawej strony są znaczkami czerwone używane do projektowania przesunięć toru. W fazie początkowej wszystkie znaczkami usytuowane są na jednej linii poziomej przyjętej za linię odniesienia. Następnie znaczkami żółte przesuwa się ręcznie do położenia odpowiadających wartościom strzałek pomierzonych na stycznych, krzywych przejściowych i łukach kołowych. Znaczkami te utworzą wykres krzywej istniejącej podobny do wykresu z metody wykreślniej (rys. 2.79). Kolejny etap opracowania ma doprowadzić do takiego przesunięcia znaczków żółtych, aby utworzyły one wykres regularny składający się z odcinków prostych. Przesuwanie znaczków żółtych prowadzi się w sposób mechaniczny korzystając z pokręteł mechanizmu (rys. 2.82) ustawianego każdorazowo pod kolejną

podziałką. Najpierw wyrównywanie strzałek prowadzi się w punktach o wartościach strzałek najbardziej odbiegających od wartości teoretycznych. Po ustawieniu mechanizmu w takim punkcie, poprzez obrót pokręteł mechanizmu, znaczek żółty sprowadzany jest na oś teoretyczną, a wielkość tego przesunięcia będzie pokazana przez znaczek czerwony, odsunięty od przyjętej linii odniesienia wykresu. Jednocześnie przesunięte zostaną dwa sąsiednie znaczkami czerwone o wartość równą połowie przesunięcia znaczeki środkowego. Postępując w opisany sposób ze wszystkimi znaczkami żółtymi i powtarzając tę czynność uzyskuje się wykres foremny (rys. 2.83), odwzorowujący elementy geometryczne regulowanego fragmentu toru. Jednocześnie znaczkami czerwone utworzą wykres przesunięć. Wartości tych przesunięć, z uwzględnieniem zastosowanej skali wykresu strzałek, odczytuje się w stosunku do przyjętej linii odniesienia.

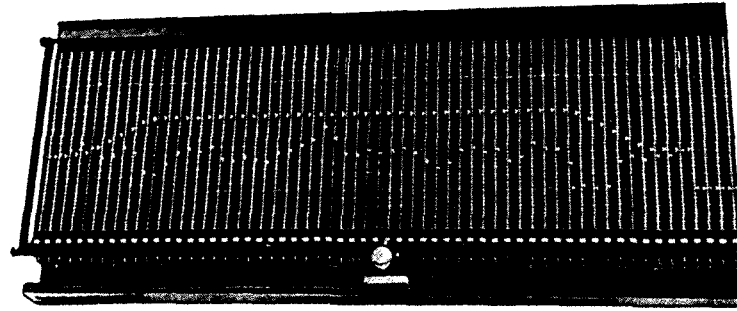
Poprawność wyznaczonych przesunięć sprawdza się porównując różnice dwóch sąsiednich nowych strzałek, których wartości oblicza się ze wzoru (2.76).



Rys. 2.81. Multikalkulator – urządzenie do sporządzania projektu regulacji toru metodą mechaniczną [18]



Rys. 2.82. Pokręteł multikalkulatora [18]



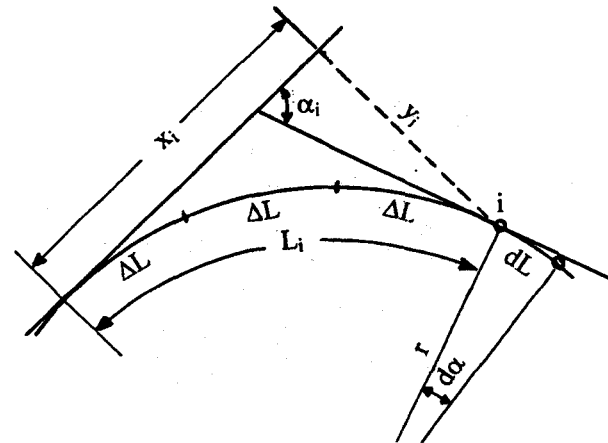
Rys. 2.83. Wykres przesunięć toru [18]

Metoda analityczno-wykreślna

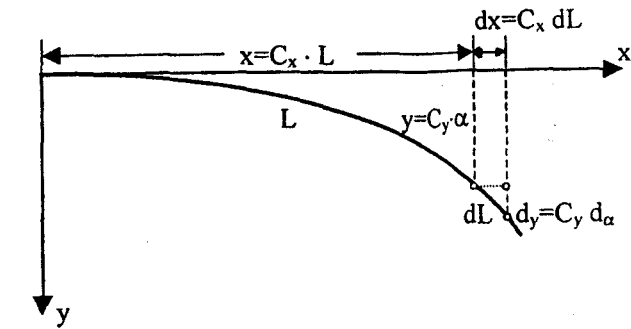
Kolejna metoda regulacji osi toru, wykorzystująca pomierzone wartości strzałek, zwana metodą analityczno-wykreślną lub metodą wykresu kątów, polega na zbudowaniu następujących wykresów:

- wykresu istniejącej osi toru,
- wykresu projektowanej osi toru,
- wykresu przesunięć toru.

Wykresy istniejącej i projektowanej osi toru sporządza się w odwzorowaniu, w którym współrzędne prostokątne x_i, y_i punktu krzywej pozostają w związkach funkcyjnych z długością krzywej L_i oraz kątem zwrotu stycznej α_i (rys. 2.84) z uwzględnieniem skali dla długości C_x i dla kątów C_y . Długość L_i jest odległością punktu i od początku układu współrzędnych, zaś kąt α_i jest kątem zawartym pomiędzy styczną główną (osią x) a styczną poprowadzoną w punkcie i .



Rys. 2.84. Odwzorowanie krzywej metodą wykresu kątów
Objaśnienia w tekście



Rys. 2.85. Zmiany różniczkowe współrzędnych w metodzie wykresu kątów
Objaśnienia w tekście

Dla różniczkowych zmian długości dL i kąta $d\alpha$ (rys. 2.84) można zgodnie z rysunkiem 2.85 napisać zależność:

$$dx = C_x dL \quad (2.78)$$

$$dy = C_y d\alpha$$

Po uwzględnieniu zależności

$$d\alpha = \frac{dL}{r} \quad (2.79)$$

w drugim równaniu wzoru (2.78) uzyskuje się

$$dy = C_y \frac{dL}{r} \quad (2.80)$$

Współczynnik kierunkowy stycznej w dowolnym punkcie wykresu kątów otrzymuje się z zależności

$$y' = \frac{dy}{dx} = \frac{C_y}{C_x} \cdot \frac{1}{r} \quad (2.81)$$

lub

$$y' = \frac{C_r}{r} \quad (2.82)$$

gdzie $C_r = \frac{C_y}{C_x}$ – skala krzywizny.

Po scałkowaniu wzór (2.82) przyjmuje postać

$$y = \frac{C_r}{r} \int dx \quad (2.83)$$

lub

$$y = C_r \cdot k \int dx \quad (2.84)$$

gdzie $k = \frac{1}{r}$ – krzywizna łuku.

Na podstawie wzorów (2.82)–(2.84) można ustalić, jak na wykresie kątów odwzorowywać się będą: prostoliniowe odcinki osi toru, łuk kołowy i krzywe przejściowe.

Dla odcinków prostoliniowych promień krzywizny $r = \infty$, stąd $y' = \frac{r}{\infty} = 0$, czyli prostoliniowy odcinek osi odwzoruje się jako prosta równoległa do osi x układu współrzędnych.

W przypadku łuku kołowego jego promień krzywizny R jest stały, zatem wzór (2.83) po uwzględnieniu wielkości $r = R$ i stałości wyrażenia $\frac{C_r}{R}$ przyjmuje postać

$$y = \frac{C_r}{R} \cdot x \quad (2.85)$$

Łuk kołowy odwzoruje się więc w postaci linii prostej nachylonej względem osi x . Dla łuków skierowanych w prawo prosta odwzorowująca łuk kołowy będzie skierowana w dół względem osi x , a dla łuków skierowanych w lewo prosta odchyli się w górę od osi x .

Krzywiznę $\frac{1}{r}$ krzywej przejściowej przy przechyłce zmieniającej się w sposób liniowy (rys. 2.86) wyraża zależność

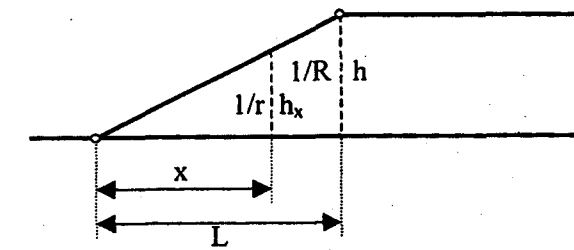
$$\frac{1}{r} = \frac{1}{R} \cdot \frac{h_x}{h} \quad (2.86)$$

lecz

$$\frac{h_x}{h} = \frac{x}{L} \quad (2.87)$$

więc

$$\frac{1}{r} = \frac{x}{LR} \quad (2.88)$$



Rys. 2.86. Przechyłka zmieniająca się liniowo
Objaśnienia w tekście

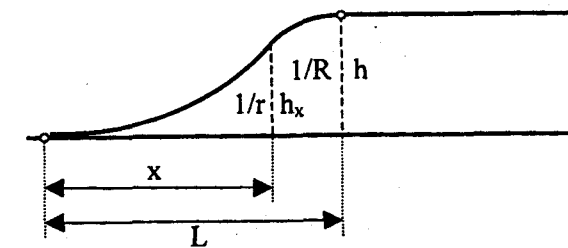
Po wprowadzeniu (2.88) do (2.83) otrzymuje się

$$y = \frac{C_r}{LR} \int x \cdot dx \quad (2.89)$$

a następnie

$$y = \frac{C_r}{2LR} \cdot x^2 \quad (2.90)$$

Równanie (2.90) oznacza, że krzywa przejściowa przy stosowaniu przechyłki zmieniającej się w sposób liniowy odwzorowana zostaje jako parabola drugiego stopnia.



Rys. 2.87. Przechyłka zmieniająca się parabolicznie
Objaśnienia w tekście

Dla krzywej przejściowej o przechyłce zmieniającej się parabolicznie (rys. 2.87) analogiczna do wzoru (2.87) zależność przyjmie postać

$$\frac{h_x}{h} = \frac{2x^2}{L^2} \quad (2.91)$$

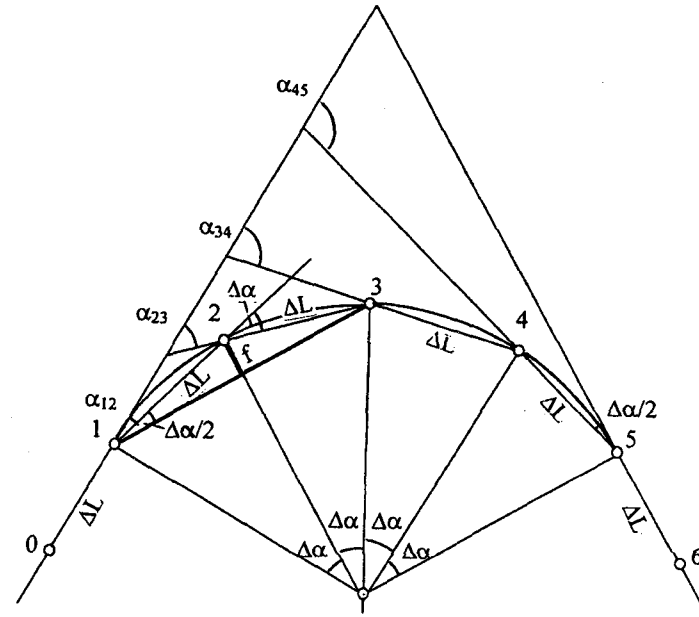
Zatem zgodnie ze wzorem (2.86) krzywizna

$$\frac{1}{r} = \frac{2x^2}{RL^2} \quad (2.92)$$

Po wprowadzeniu (2.92) do wzoru (2.83) otrzymuje się

$$y = \frac{2C_r}{3RL^2} \cdot x^3 \quad (2.93)$$

skąd wynika, że krzywa przejściowa odwzoruje się jako parabola trzeciego stopnia.



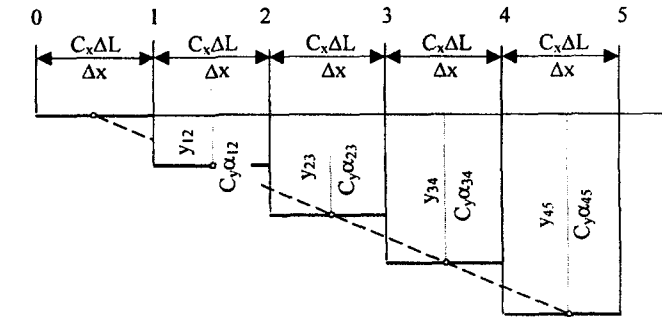
Rys. 2.88. Wielobok wpisany w łuk kołowy
Objaśnienia w tekście

W dalszym ciągu wywodu należy ustalić, jak odwzoruje się wielobok wpisany w łuk kołowy. Wielobokiem tym jest poligon ciągów, w którego wierzchołkach dokonuje się pomiaru strzałek (rys. 2.88). Stosownie do oznaczeń przyjętych na rysunku 2.88 boki tego wieloboku odwzorują się w postaci odcinków o długości $C_x \cdot \Delta L$, usytuowanych w odległościach $y_{i,i+1} = C_y \alpha_{i,i+1}$ od przyjętej linii odniesienia (rys. 2.89), czyli odwzorują się w postaci wykresu schodkowego (linie pogrubione). Jednakże każdemu kątowi $\alpha_{i,i+1}$, jaki zawiera cięciwa ze styczną główną, odpowiada taki sam kąt α_i zawarty pomiędzy styczną do łuku w punkcie środkowym cięciwy a styczną główną. Równość tych kątów pozwala zatem zauważyć, że wykres schodkowy można zastąpić

linią (przerwaną) łączącą środkowe punkty wykresu schodkowego, gdyż rzędne tych punktów są identyczne z rzędnymi boków wieloboku. Tym samym w metodzie wykresu kątów niezdeformowany łuk kołowy odwzoruje się jako zbiór punktów leżących na jednej linii prostej, zaś łuk zdeformowany odwzoruje się w postaci nachylonej linii łamanej. Rzędne punktów tego wykresu oblicza się ze wzoru

$$y_{i,i+1} = C_y \cdot \alpha_{i,i+1} \quad (2.94)$$

Wzór ten nie jest jednak bezpośrednio przydatny, gdyż w praktyce nie prowadzi się pomiaru kątów $\alpha_{i,i+1}$. Zamiast kątów, w celu oceny kształtu istniejącego łuku mierzy się w poszczególnych punktach wieloboku strzałki f_i . Pomiedzy tymi strzałkami a kątami zwrotu istnieje ścisła zależność.



Rys. 2.89. Wykres odwzorowania wieloboku i łuku kołowego
Objaśnienia w tekście

Korzystając z konstrukcji geometrycznej przedstawionej na rysunku 2.88, można ustalić następujące związki:

$$\begin{aligned} \alpha_{0,1} &= 0 \\ \alpha_{1,2} &= \alpha_{0,1} + \frac{1}{2} \Delta \alpha = \frac{1}{2} \Delta \alpha \\ \alpha_{2,3} &= \alpha_{1,2} + \Delta \alpha = \frac{3}{2} \Delta \alpha \\ \alpha_{3,4} &= \alpha_{2,3} + \Delta \alpha = \frac{5}{2} \Delta \alpha \\ \alpha_{4,5} &= \alpha_{3,4} + \Delta \alpha = \frac{7}{2} \Delta \alpha \\ \alpha_{5,6} &= \alpha_{4,5} + \frac{1}{2} \Delta \alpha = 4 \Delta \alpha \\ \alpha_{i,i+1} &= \sum_1^i \Delta \alpha \end{aligned} \quad (2.95)$$

Wielkość $\Delta\alpha$ występująca we wzorze (2.95) można wyznaczyć z trójkąta 1, 2, 3 (rys. 2.88) na podstawie zależności

$$\sin \frac{\Delta\alpha}{2} = \frac{f}{\Delta L} \quad (2.96)$$

Z uwagi na małe wartości różnic $\Delta\alpha$ wzór (2.96) można zapisać w postaci

$$\Delta\alpha = \frac{2f}{\Delta L} \quad (2.97)$$

Wprowadzając wyrażenie (2.97) do wzoru (2.95), otrzymuje się

$$\alpha_{i,i+1} = \frac{2}{\Delta L} \sum_1^i f \quad (2.98)$$

a po uwzględnieniu tej wielkości we wzorze (2.94) uzyskuje się

$$y_{i,i+1} = \frac{2C_y}{\Delta L} \sum_1^i f \quad (2.99)$$

lub po przyjęciu oznaczenia

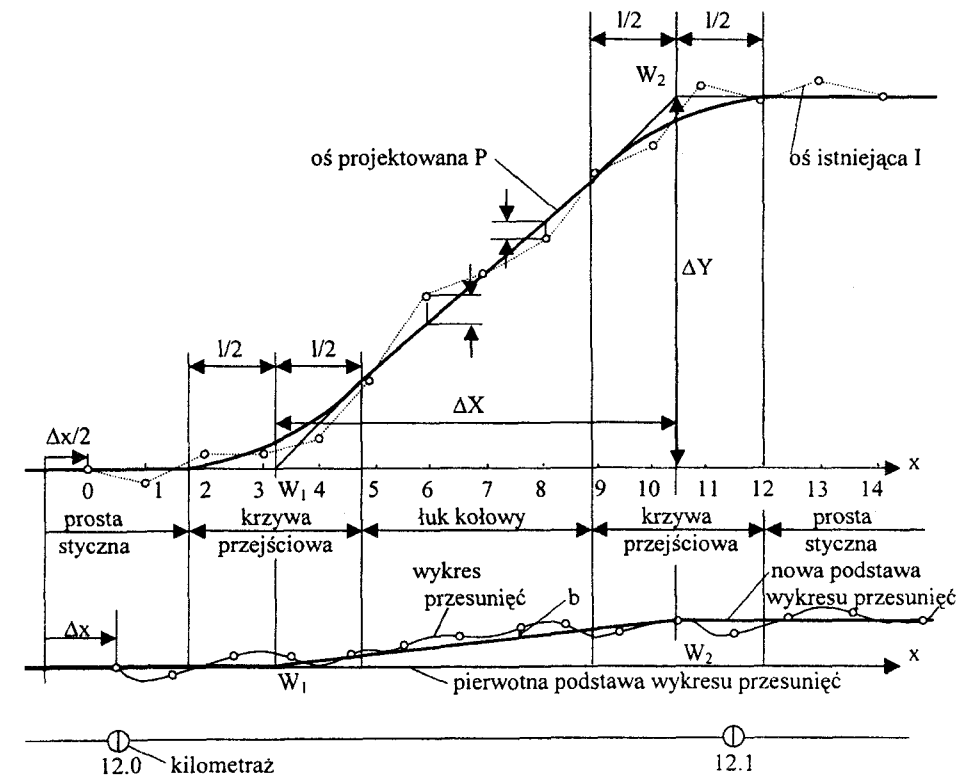
$$C_f = \frac{2C_y}{\Delta L} \quad (2.100)$$

otrzymuje się

$$y_{i,i+1} = C_f \cdot \sum_1^i f \quad (2.101)$$

Wzór (2.101) umożliwia obliczenie rzędnych punktów wykresu osi istniejącej w przyjętej skali C_f . Z doświadczeń wynika, że korzystnie jest przyjmować skalę $C_f = \frac{1}{5}$. Przygotowanie projektu regulacji osi toru metodą wykresu kątów sprowadza się w praktyce do wykonania następujących czynności:

1. Obliczenie rzędnych wykresu punktów krzywej istniejącej według wzoru (2.101) na podstawie kolejno sumowanych wartości strzałek z uwzględnieniem skali C_f (np. $C_f = \frac{1}{5}$).



Rys. 2.90. Regulacja toru metodą wykresu kątów
Objaśnienia w tekście

2. Sporządzenie wykresu krzywej istniejącej I (rys. 2.90). Do tego celu wykorzystuje się obliczone rzędne $y_{i,i+1}$, które odkłada się w środku kolejnych odcinków podziałowych o długości $\Delta x = C_x \cdot \Delta L$ zaznaczonych na linii będącej podstawą wykresu. Wielkości Δx oblicza się po przyjęciu skali długości C_x . Na przykład dla $C_x = 1:1000$ i $\Delta L = 10$ m otrzymuje się $\Delta x = 10$ mm.
3. Sporządzenie wykresu kątów osi projektowanej P . Na początku ustala się położenie stycznych początkowej i końcowej, które powinny być liniami równoległymi do podstawy wykresu, a jednocześnie powinny pokrywać się z wcześniej wyregulowanymi osiami toru na odcinkach prostoliniowych. Następnie projektuje się linię odwzorowującą łuk kołowy. Jest to linia pochylona $W_1 W_2$ wpasowana w punkty krzywej istniejącej tak, aby suma odchyłek d była bliska zeru. Pomiedzy styczną początkową i łuk kołowy oraz pomiędzy łuk kołowy i styczną końcową wprowadza się krzywe przejściowe w postaci paraboli drugiego stopnia. Długości krzywej przejściowej oblicza się zazwyczaj ze wzoru

$$L = 10 Vh \quad (2.102)$$

przy czym dla $V \geq 50$ km/h

$$h = 600 \frac{V}{R} \quad (2.103)$$

lub dla $V < 50$ km/h

$$h = 11,8 \frac{V^2}{R} \quad (2.104)$$

gdzie:

- L – długość krzywej przejściowej [m],
- V – szybkość pociągu [km/h],
- h – przechyłka [mm],
- R – promień projektowanego łuku kołowego [m].

Promień łuku kołowego R , stosownie do równania (2.82), oblicza się ze wzoru

$$R = \frac{C_r}{y'} \quad (2.105)$$

Wielkość $C_r = \frac{C_y}{C_x}$ po uwzględnieniu zależności (2.100) można wyrazić wzorem

$$C_r = \frac{C_f \cdot \Delta L}{2C_x} \quad (2.106)$$

Do obliczenia współczynnika kierunkowego y' występującego we wzorze (2.105) korzysta się z miar ΔX i ΔY (rys. 2.90) oraz wzoru

$$y' = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (2.107)$$

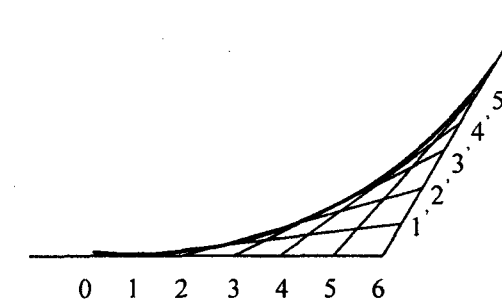
Obliczone długości krzywej przejściowej L z uwzględnieniem skali C_x odkłada się po połowie $\left(\frac{L}{2}\right)$ w lewo i w prawo od punktów W_1 oraz W_2 , a następnie punkty końcowe tych odcinków rzutuje się na odcinki projektowanej osi (styczne, łuki kołowe). Pomiedzy zrzutowane punkty wkreśla się parabole drugiego stopnia, będące obrazem krzywych przejściowych. Przebieg parabol może być ustalony sposobem wykreślnym lub analityczno-wykreślnym. Pierwszy z nich zilustrowano na

rysunku 2.91. W sposobie analityczno-wykreślnym położenie każdego punktu paraboli określają (rys. 2.92) odległość b i strzałka f_b obliczane ze wzoru

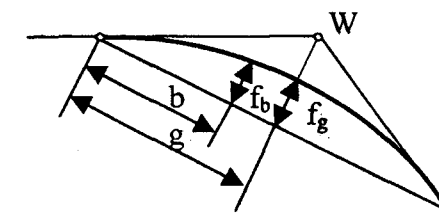
$$f_b = \frac{b}{g} f_g \left(2 - \frac{b}{g}\right) \quad (2.108)$$

gdzie:

- f_b – strzałki symetryczne względem strzałki głównej,
- f_g – strzałka główna równa połowie odległości punktu W od środka cięciwy (określana graficznie),
- b – odległość strzałek f_b od początku cięciwy,
- g – połowa długości cięciwy głównej (określona graficznie).

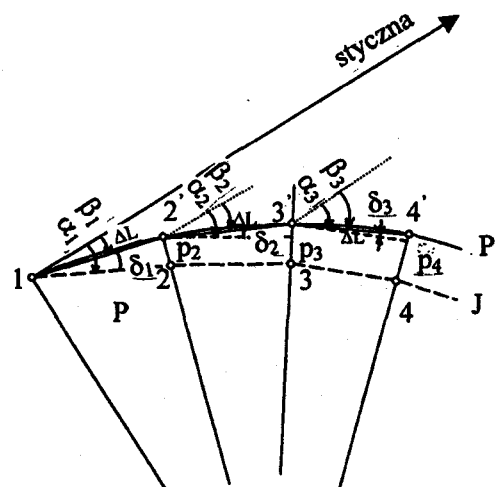


Rys. 2.91. Graficzny sposób wykreślenia paraboli



Rys. 2.92. Zależność między strzałkami na łuku paraboli
Objaśnienia w tekście

4. Sporządzenie wykresu przesunięć na podstawie wykresu krzywych: istniejącej i projektowanej. Wykresy kątów krzywej istniejącej i projektowanej nie dają bezpośrednio poszukiwanych wielkości przesunięć punktów krzywej istniejącej do położenia określonego krzywą projektowaną. Wykresy te umożliwiają jednak wyznaczenie poszukiwanych przesunięć po zbudowaniu wykresu przesunięć.



Rys. 2.93. Wyznaczanie przesunięć osi toru istniejącego do położenia projektowego
Objaśnienia w tekście

Poszukiwane przesunięcia p_i zgodnie z rysunkiem 2.93 określić można z zależności:

$$\begin{aligned} p_1 &= 0 \\ p_2 &= \Delta L \cdot \delta_1 \\ p_3 &= p_2 + \Delta L \cdot \delta_2 = \Delta L(\delta_1 + \delta_2) \\ p_4 &= p_3 + \Delta L \cdot \delta_3 = \Delta L(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) \end{aligned} \quad (2.109)$$

$$p_{i+1} = \Delta L \sum_1^i \delta$$

Kąty δ obliczać można ze wzoru

$$\delta = \alpha - \beta \quad (2.110)$$

Występujące we wzorze (2.110) kąty α , β , zawarte między styczną główną a kolejnymi bokami poligonu cięciw, wykorzystywane są w metodzie wykresu kątów do obliczenia rzędnych:

$$\begin{aligned} y_J &= C_y \alpha \\ y_P &= C_y \beta \end{aligned} \quad (2.111)$$

Jeśli różnice rzędnych $y_J - y_P$ zgodnie z rysunkiem 2.90 oznaczy się przez d , wówczas

$$d = y_J - y_P = C_y(\alpha - \beta) = C_y \cdot \delta \quad (2.112)$$

stąd

$$\delta = \frac{d}{C_y} \quad (2.113)$$

Wzór (2.109) po uwzględnieniu zależności (2.113) przyjmuje postać

$$p_{i+1} = \frac{\Delta L}{C_y} \sum_1^i d \quad (2.114)$$

zaś po przyjęciu $C_p = \frac{\Delta L}{C_y}$ uzyskuje się

$$p_{i+1} = C_p \sum_1^i d \quad (2.115)$$

Współczynnik $C_p = \frac{\Delta L}{C_y}$, zwany skalą przesunięcia, można też przedstawić – po uwzględnieniu wzoru (2.100) – w postaci

$$C_p = \frac{2}{C_f} \quad (2.116)$$

Budowa wykresu przesunięć polega więc na sumowaniu kolejnych odchyłek d pomiędzy krzywą istniejącą a projektowaną i odkładaniu rzędnych

$$b_{i+1} = \sum_1^i d \quad (2.117)$$

od przyjętej linii odniesienia wykresu (rys. 2.90) podzielonej na odcinki ΔL w skali C_x . Na linii odniesienia pierwszą rzędną wykresu przesunięć, zgodnie ze wzorem (2.117) nanosi się w drugim punkcie podziałowym (rys. 2.90). Na wykresie przesunięć odczytuje się przesunięcia dla dowolnego kilometrażu linii. Przesunięciami tymi są odczytane na wykresie rzędne b pomnożone przez przyjętą skalę C_p . Najczęściej przyjmuje się skalę $C_p = 10$ i wówczas zgodnie z zależnością (2.116) skala strzałek $C_f = 1:5$.

Wykres przesunięć może być modyfikowany poprzez zmianę kształtu i położenia jego linii odniesienia. Właściwość ta umożliwia spełnienie różnorodnych warunków postawionych przy projektowaniu nowej osi toru. Wymienić można następujące warunki i sposoby ich spełnienia:

- uzyskanie zminimalizowanych przesunięć osiąga się wówczas, gdy linia wykresu ma kształt zbliżony do sinusoidy;
- uzyskanie pokrycia się stycznych projektowanych z prostoliniowymi osiami toru jest osiągalne, gdy początkowy i końcowy punkt krzywej wykresu znajdują się na linii odniesienia;
- przesunięcie toru w jedną stronę jest na wykresie widoczne, gdy wszystkie rzędne mają jednakowe znaki;
- niezmiennosc położenia określonych punktów osi toru uzyskuje się, gdy rzędna b tego punktu ma wartość równą zero.

Przykładem realizacji określonego warunku przez zmianę pierwotnej linii odniesienia wykresu jest sytuacja przedstawiona w dolnej części rysunku 2.90. Na sporządzonym wykresie przesunięć widać, że końcowy punkt wykresu nie pokrywa się z linią odniesienia. Świadczy to o rozbieżności w położeniu stycznej projektowanej i istniejącej oraz o konieczności przesuwania prostoliniowego odcinka toru do nowego położenia zgodnego ze styczną projektowaną. Aby uniknąć tego niekorzystnego rozwiązania, projektuje się nową linię odniesienia wykresu. W tym celu przez ostatni punkt wykresu prowadzi się linię równoległą do podstawy wykresu i na tę linię rzutuje się wierzchołek W_2 . Ponadto na linię odniesienia rzutuje się wierzchołek W_1 , uzyskując nową podstawę rzędnych, składającą się z pierwotnej linii odniesienia od jej początku do punktu W_1 , linii W_1-W_2 i linii równoległej do podstawy wykresu przechodzącej przez punkt W_2 . Taką linię łamaną należy wyokrąglić parabolami na długości przyjętej poprzednio krzywej przejściowej. Ostatecznie nową linię odniesienia stanowią trzy odcinki prostoliniowe i dwie parabole. Od tej linii określa się przesunięcia toru.

Każda nowa linia odniesienia wykresu może jednak zniekształcić projektowaną krzywiznę toru. Trzeba więc obliczyć błąd zniekształcenia krzywizny i na tej podstawie określić przydatność nowej linii odniesienia. Do obliczania błędów zniekształcenia krzywizny korzysta się z odpowiednich wzorów. W przypadku przedstawionym na rysunku 2.90 korzysta się dla każdej z parabol przejścia ze wzoru

$$\left| \frac{200 \cdot \Delta x}{l^2} \cdot \frac{4f_k}{y'} \right| < 5 \quad (2.118)$$

gdzie:

- l – długość krzywej przejściowej L w skali C_x ,
- Δx – odcinek podziału ΔL w skali C_x ,
- y' – współczynnik kierunkowy prostej obrazującej łuk kołowy (2.107),
- f_k – strzałka paraboli przejścia określona graficznie z projektu.

Jeśli nierówność (2.118) nie jest spełniona, wówczas cały proces projektowania musi być powtórzony, począwszy od wpasowania w krzywą istniejącą l nowej osi projektowanej P .

5. Końcowym etapem projektowania regulacji toru jest kontrola zgodności strzałek krzywej projektowanej (f_{teor}) ze strzałkami krzywej wyregulowanej (f'), która polega na sprawdzeniu nierówności

$$\Delta f = |f' - f_{teor}| < 5 \text{ mm, gdzie: } f'_i = f_i + p_i - \frac{p_{i-1} + p_{i+1}}{2} \quad (2.119)$$

Strzałki f'_i wyznacza się według zależności (2.76), zaś strzałki teoretyczne oblicza się z wzorów podanych w pierwszej części tego skryptu. Na przykład strzałkę dla łuku kołowego o promieniu R oblicza się ze wzoru

$$f_{teor} = R \left[1 - \sqrt{1 - \frac{\Delta L^2}{R^2}} \right] = \frac{\Delta L^2}{2R} + \frac{\Delta L^4}{8R^3} + \dots \quad (2.120)$$

gdzie ΔL – połowa długości cięciwy, względem której określana jest strzałka.

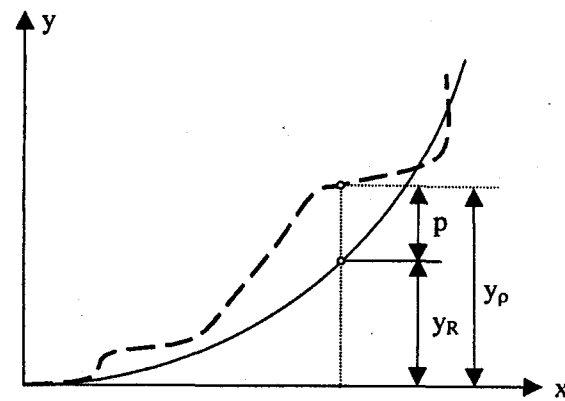
Wystąpienie większych różnic Δf , niż określa to nierówność (2.119), świadczyć będzie o niestaranności wykonania projektu regulacji lub wręcz o popełnieniu większych błędów, które powinny zostać usunięte.

Metody analityczne

Metody analityczne umożliwiają wyznaczanie przesunięć sposobem rachunkowym bez korzystania z wykresów. Do metod tych zalicza się również metodę wykresu kątów, w której przesunięcia oblicza się ze wzoru

$$p_{i+1} = C_p \sum_1^i (y_l - y_p) \quad (2.121)$$

Występujące w powyższym wzorze rzędne punktów osi istniejącej y_l obliczono bezpośrednio ze wzoru (2.101) na podstawie pomierzonych strzałek. Również rzędne y_p , ustalone w metodzie analityczno-wykresowej sposobem graficznym mogą być wyznaczone rachunkowo z określonych zależności geometrycznych. Wystarczy ułożyć równania prostych poziomych, prostej nachylonej i parabol drugiego (lub trzeciego) stopnia, które na wykresie kątów są obrazami stycznych, krzywych przejściowych i łuku kołowego, typowego fragmentu toru poddanego regulacji. Na podstawie tych równań będzie można wyznaczyć współrzędne y_p w dowolnym punkcie podziału krzywej, bez korzystania z miar graficznych.



Rys. 2.94. Regulacja torów wg J. Bodaszewskiej
Objaśnienia w tekście

Znana jest też metoda wykresów różnicowych i sumacyjnych, pozwalająca na wyznaczenie przesunięć p (rys. 2.94) z następujących zależności [18]:

$$p = 2 \sum \sum (f_p - f_R) \quad (2.122)$$

lub

$$p = y_p - y_R \quad (2.123)$$

przy czym

$$y_p = 2 \sum \sum f_p \quad (2.124)$$

oraz

$$y_R = 2 \sum \sum f_R \quad (2.125)$$

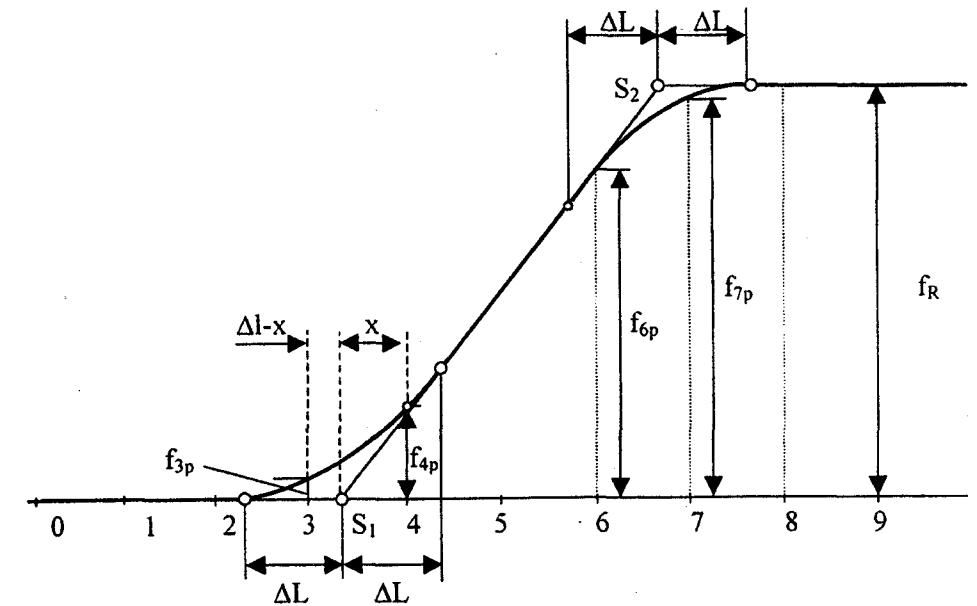
gdzie f_R oblicza się ze wzoru (2.120), zaś f_p jest strzałką krzywej zdeformowanej.

W pierwszym przypadku (2.122) przesunięcia oblicza się, dwukrotnie sumując różnice strzałek krzywej zdeformowanej i krzywej projektowanej, przy czym przesunięcie w punkcie $i+1$ otrzymuje się po zsumowaniu różnic od punktu 1 do i . W drugim przypadku (2.123) przesunięcia oblicza się jako różnice dwukrotnie sumowanych strzałek krzywej istniejącej i projektowanej.

Ponieważ jednak we wzorach (2.122)–(2.125) podwójnym sumowaniem zastąpiono podwójne całkowanie, dla uzyskania równoważnych wyników wśród strzałek krzywej projektowanej muszą być uwzględnione strzałki tzw. krzywizny pozornej. Krzywizna pozorna występuje w otoczeniu punktu styczności dwóch krzywych o różnych krzywiznach lub w otoczeniu punktu wspólnego prostej i krzywej. W układzie

geometrycznym składającym się z prostej stycznej, krzywej przejściowej i łuku kołowego (rys. 2.95) krzywizna pozorna wystąpi wokół punktu styczności prostej i krzywej przejściowej oraz krzywej przejściowej i łuku kołowego.

Krzywizna pozorna ma łączną długość $2\Delta L$. Środek tego przedziału jest zawsze w punkcie styczności (np. S_1 lub S_2 – rys. 2.95). Na długości każdej krzywej pozornej występują dwa punkty podziałowe (3, 4 i 6, 7), w których należy obliczyć strzałki projektowane [18] $f_{3p}, f_{4p}, f_{6p}, f_{7p}$. Ponadto krzywa przejściowa powinna jeszcze spełniać różnego rodzaju warunki. Najpowszechniejszym z nich jest warunek pokrycia się stycznych projektowanych z istniejącymi oraz warunek uzyskania możliwie najmniejszych przesunięć. Kolejność czynności przy sporządzaniu projektu regulacji metodą wykresów różnicowych i sumacyjnych jest analogiczna do przyjętej w metodzie wykresu kątów.

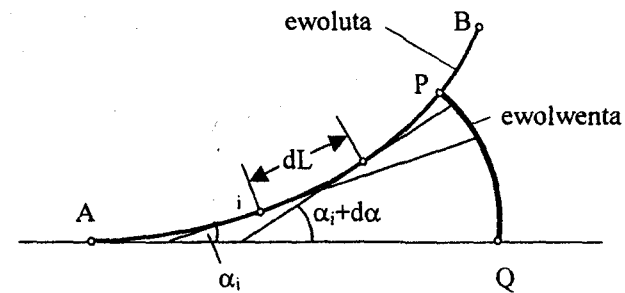


Rys. 2.95. Strzałki krzywizny pozornej
Objaśnienia w tekście

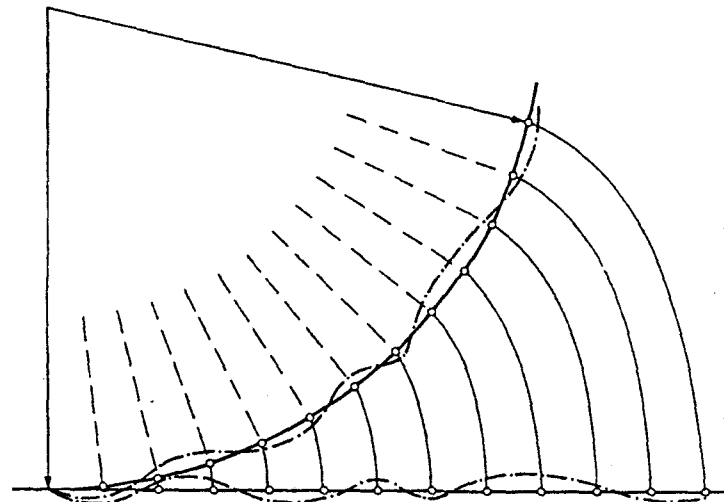
Omówione wyżej metody analityczne nie miały szerszego zastosowania, gdyż nie były przystosowane do obliczeń prowadzonych z wykorzystaniem komputerów. Obecnie właśnie metody komputerowe są powszechnie stosowane w projektowaniu regulacji torów, zaś inne wykorzystywane są sporadycznie, głównie przy pracach regulacyjnych o niewielkim zakresie.

Wśród komputerowych rozwiązań projektu regulacji torów na uwagę zasługuje metoda W. Gogolińskiego. Przyjęto tu układ współrzędnych związany z pojęciem ewoluty i ewolwenty krzywej (rys. 2.96). Ewolutą jest krzywa AB , zaś ewolwentą tej krzy-

wej jest krzywa PQ , jaką zakreśla koniec odwijanej, napiętej nici przylegającej do krzywej AB . Można też ewolwentę zdefiniować jako krzywą płaską, przecinającą styczne do danej krzywej pod kątem prostym. Przy zmianie długości łuku AP otrzymuje się nieskończenie wiele ewolwent tworzących rodzinę krzywych równoległych, a jednocześnie prostopadłych do krzywej AB .



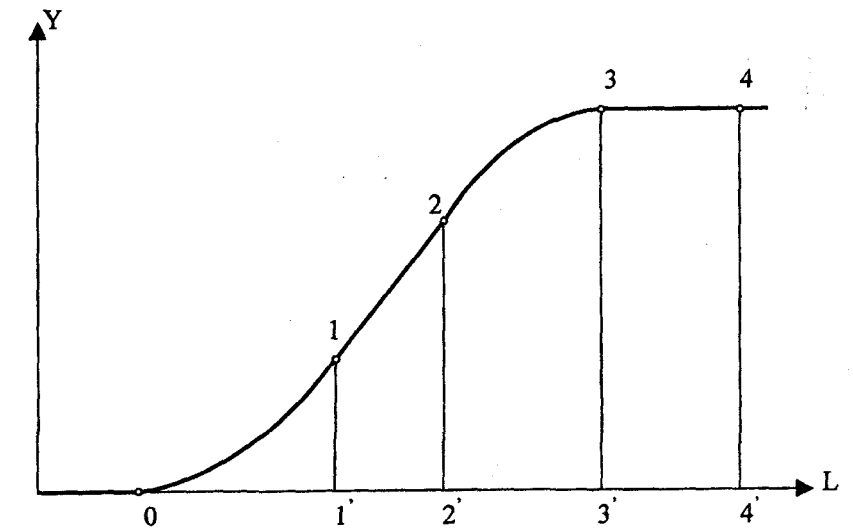
Rys. 2.96. Układ ewolwent
Objaśnienia w tekście



Rys. 2.97. Ewolwenty i wykres przesunięć [17]

Ta właściwość wykorzystana została w teorii regulacji osi torów kolejowych, gdyż różnice długości ewolwent krzywej istniejącej i projektowanej są poszukiwanymi przesunięciami. Jeśli zatem rozwinięciem łuku teoretycznego jest linia prosta, to linia odwzorowująca łuk istniejący w terenie utworzy z tą linią wykres przesunięć (rys. 2.97).

Sporządzenie projektu regulacji polega na ustaleniu równań krzywych: istniejącej I oraz projektowanej P i obliczeniu przesunięć, które są różnicami rzędnych tych krzywych. Rzędne zaś w układzie ewolwentowym odpowiadają długościom ewolwent krzywych I oraz P w punktach podziału krzywej.



Rys. 2.98. Rzędne krzywej projektowanej w układzie ewolwentowym

Rzędne krzywej projektowanej w układzie ewolwentowym są polami zawartymi pomiędzy projektowaną linią wykresu kątów, linią odniesienia wykresu i linią pionową poprowadzoną w określonym punkcie (rys. 2.98). Stwierdzenie to opisuje wzór na długość łuku ewolwenty

$$E = \int_0^L \alpha_i dL \quad (2.126)$$

lub równoznaczny wzór

$$Y_{proj} = E = \int_0^L y_{proj} dL \quad (2.127)$$

gdzie:

- Y_{proj} – rzędna krzywej projektowanej w układzie ewolwentowym,
- y_{proj} – rzędna krzywej projektowanej na wykresie kątów.

Po wprowadzeniu do równania (2.127) wielkości y opisujących kolejne elementy geometryczne wykresu kątów uzyska się równania elementów geometrycznych będących obrazami elementów krzywej projektowanej w układzie ewolwentowym. Równania opisujące obrazy elementów geometrycznych tworzących krzywą projektowaną na wykresie kątów i na wykresie ewolwent zestawiono w tabeli 2.11.

Tabela 2.11
Elementy geometryczne krzywej projektowanej

Element projektowany	Obraz elementu na wykresie kątów	Obraz elementu na wykresie ewolwent wg wzoru (2.107)
styczna	linia prosta równoległa do podstawy rzędnych $y_{proj} = a$	linia prosta $Y_{proj} = al + b$
łuk kołowy	linia prosta $y_{proj} = aL + b$	parabola drugiego stopnia $Y_{proj} = aL^2 + bL + c$
krzywa przejściowa o krzywiznie zmiennej liniowo	$y_{proj} = aL^2 + bL + c$	$Y_{proj} = aL^3 + bL^2 + cL + d$

Krzywą istniejącą w układzie ewolwentowym reprezentują punkty, których rzędne podobnie jak poprzednio są polami zawartymi pomiędzy krzywą istniejącą na wykresie kątów, linią odniesienia wykresu i linią pionową przechodzącą przez przedmiotowy punkt. Występującą tu krzywą istniejącą reprezentują na wykresie kątów punkty, których rzędne y_{istn} oblicza się z zależności

$$y_{istn} = \int_a^b \frac{1}{\rho_i} \cdot dL \quad (2.128)$$

w której krzywiznę krzywej istniejącej określa zależność

$$\frac{1}{\rho_i} = \frac{2}{\Delta L^2} f_i \quad (2.129)$$

Po uwzględnieniu (2.129) we wzorze (2.128) i zastąpieniu całki oznaczonej sumą powierzchni elementarnych w przedziale $a+b$ podzielonym na równe części $\Delta L = \frac{b-a}{n}$ otrzymuje się

$$y_{istn} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\rho_i} \cdot \Delta L = \frac{2}{\Delta L} \sum_{i=1}^n f_i \quad (2.130)$$

Rzędne wykresu ewolwent oblicza się ze wzoru

$$Y_{istn} = \int_a^b y_{istn} dL = \sum_{i=1}^n y_{istn} \Delta L \quad (2.131)$$

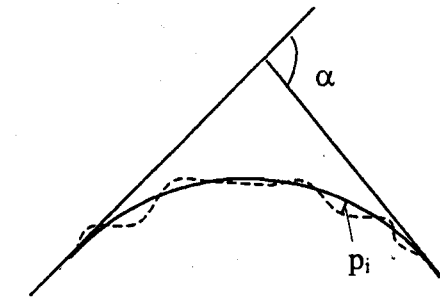
Wzór powyższy po uwzględnieniu w nim zależności (2.130) przyjmie postać

$$Y_{istn} = 2 \sum \sum f_i \quad (2.132)$$

Poszukiwane wielkości przesunięć osi toru uzyskuje się ostatecznie ze wzoru

$$p = Y_{istn} - Y_{proj} \quad (2.133)$$

W projektowaniu regulacji osi toru mogą wystąpić zagadnienia optymalizacyjne.



Rys. 2.99. Minimalizowanie przesunięć wg zasady Gaussa

Jednym z nich jest minimalizowanie przesunięć (rys. 2.99) według znanej zasady Gaussa

$$\sum p^2 = \min \quad (2.134)$$

Jeśli przyjmie się stałość stycznych i stałość kąta zwrotu, spełnienie warunku (2.134) dla łuku kołowego można osiągnąć, zmieniając promień R łuku projektowanego i realizując warunek

$$\sum [Y_{istn}(f) - Y_{proj}(R + \Delta R)]^2 = \min \quad (2.135)$$

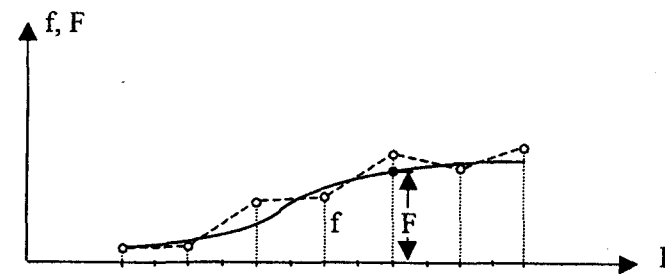
Dla łuku kosowego składającego się z dwóch łuków kołowych o promieniach R_1 i R_2 oraz długościach łuków D_1 i D_2 warunek minimalizacji przesunięć ma postać

$$\sum [Y_{istn}(f) - Y_{proj}(R_1 + \Delta R_1, R_2 + \Delta R_2, D_1 + \Delta D_1, D_2 + \Delta D_2)]^2 = \min \quad (2.136)$$

Z innych zagadnień optymalizacyjnych wymienić można uzyskanie żadanego przesunięcia w określonym punkcie lub też pozostawienie niektórych punktów w pierwotnym położeniu, czyli narzucenie im przesunięć $p = 0$.

Autor przedstawionej wyżej metody oprogramował algorytm prowadzonych tu obliczeń. Program pozwala na rozwiązanie większości problemów występujących w procesie projektowania regulacji osi torów kolejowych.

Kolejna metoda opracowana przez B. Dobrowolskiego również bazuje na układzie ewolwentowym, w którym przesunięcia są różnicami ewolwent krzywej istniejącej i projektowanej. Program regulacji osi toru składa się tu z trzech niezależnych bloków o nazwach: REG, SŁUP i SNS.



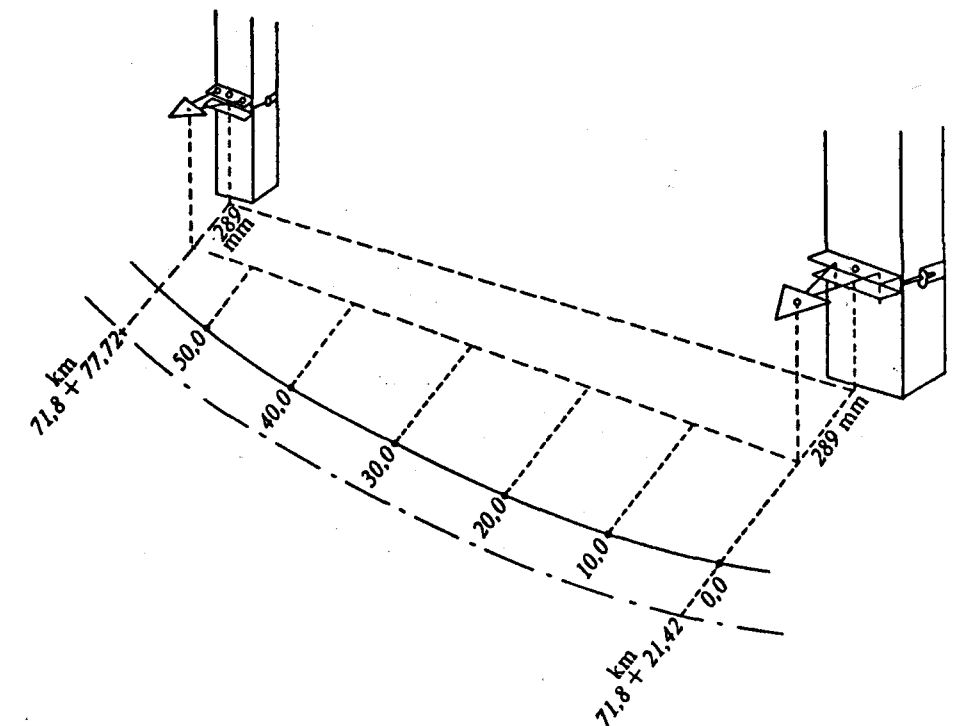
Rys. 2.100. Wygładzanie wykresu strzałek
Objaśnienia w tekście

Program REG umożliwia opracowanie projektu regulacji krzywych w oparciu o strzałki pomierzone w równych odstępach ΔL . W początkowej fazie opracowania dokonuje się tzw. wygładzania wykresu strzałek pomierzonych, co ułatwia późniejszy wybór parametrów krzywej projektowanej. Wygładzanie (rys. 2.100) prowadzi do wyliczenia strzałek zastępczych F_i według wzoru

$$F_i = \frac{f_{i-1} + 2f_i + f_{i+1}}{4} \quad (2.137)$$

Kolejne kroki pozwalają na zaprojektowanie nowej geometrii toru z uwzględnieniem warunków terenowych i dopuszczalnej szybkości. Można tu zmieniać długości krzywych projektowanych, długości ich promieni, a także przesuwać i skręcać łuk. Sporządzony projekt jest wyświetlany na monitorze lub opracowany w formie wydruku.

Drugi blok programu SŁUP przeznaczony jest do określenia odległości projektowanej osi toru od linii znaków regulacji utrwalonych na słupach (rys. 2.101). Służy również do obliczania strzałek kontrolnych f_k i strzałek zredukowanych f_{kr} , jakie tworzą trzy kolejne znaki regulacji, przy czym pierwsze z nich liczone są wzdłuż promieni krzywych, a drugie wzdłuż kierunku prostopadłego do cięciwy. Do wykonania obliczeń potrzebne są odległości pomiędzy znakami na słupach, długość krzywej przejściowej, długości promieni w początkowym i końcowym punkcie krzywej, a także odległość pierwszego punktu krzywej od jej początku.



Rys. 2.101. Odległości osi projektowanej od linii znaków regulacji [18]

Trzeci blok programu SNS umożliwia obliczanie strzałek ze współrzędnych znaków regulacji na słupach. Porównanie tych strzałek z obliczonymi w bloku SŁUP wykorzystuje się do oceny dokładności sporządzonego projektu regulacji osi toru. Różnice strzałek nie powinny przekroczyć wartości obliczonych ze wzoru

$$df_{\max} = \frac{100 \cdot a \cdot b}{V_{\max}^2} [\text{mm}] \quad (2.138)$$

gdzie:

- a, b – odległości pomiędzy znakami regulacji [m],
- V_{\max} – maksymalna szybkość na odcinku wyregulowanym [km/h].

2.5.4. Sporządzanie projektu regulacji toru w płaszczyźnie pionowej

Równocześnie z regulacją osi toru w płaszczyźnie poziomej powinna być przeprowadzona regulacja osi toru w płaszczyźnie pionowej. Podstawą regulacji w płaszczyźnie pionowej są wyniki pomiarów wysokościowych wykonanych metodą niwelacji geometrycznej z dokładnością odpowiadającą wymogom niwelacji technicznej. Niwe-

lacją obejmuje się punkty główki szyny usytuowane naprzeciw istniejących lub projektowanych wskaźników regulacji osi toru. Na krzywych przejściowych i łukach kołowych niweluje się punkty na niepodwyższonym toku toru, usytuowane w odległościach 15–30 m. Ponadto powinny być zaniwelowane istniejące wskaźniki regulacji. Pomiary niwelacyjne prowadzi się w dowiązaniu do reperów kolejowej sieci wysokościowej.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wysokościowych sporządza się profil podłużny toru, a na jego tle projektuje się nową niweletę. Projekt niwelety powinien uwzględniać wszelkiego rodzaju opracowania wynikające z obowiązujących przepisów technicznych, przy zachowaniu wymaganej skrajni pionowej określonej w [5]. Typowe ograniczenia dotyczą: maksymalnego pochylenia, minimalnej długości o jednakowym spadku, maksymalnej wielkości podnoszenia niwelety, minimalnej wielkości obniżenia niwelety oraz minimalnych promieni łuków pionowych.

Końcowy projekt regulacji w płaszczyźnie pionowej wykonany techniką komputerową powinien zawierać: kilometraż charakterystycznych punktów niwelety, rzędne niwelety istniejącego toru, rzędne projektowanej niwelety, a także różnice rzędnych niwelety projektowanej i istniejącej. Ponadto dla potrzeb regulacji przygotowuje się różnice rzędnych znaków regulacji i rzędnych projektowanej niwelety w punktach leżących naprzeciw znaków regulacji. Różnice te wykorzystane zostaną do przeniesienia projektowanej niwelety w terenie, między innymi przez oznaczenie nowego poziomu niwelety na znakach regulacji.

2.5.5. Sporządzanie projektu regulacji osi torów z wykorzystaniem współrzędnych punktów

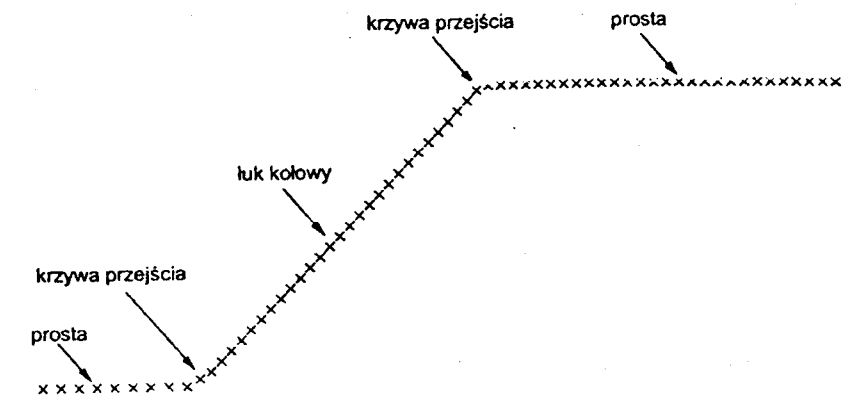
Wdrożenie do praktyki geodezyjnej nowoczesnych instrumentów elektronicznych i satelitarnych metod pomiaru sprawia, że projekty regulacji osi torów kolejowych opracowuje się obecnie w oparciu o współrzędne x , y , z punktów reprezentujących rzeczywistą oś toru. Współrzędne te wyznaczyć można metodą biegunową 3D z wykorzystaniem precyzyjnego tachimetru elektronicznego lub metodą satelitarną RTK GPS. Stwierdzono, że pod względem funkcjonalności i uzyskiwanych dokładności wyznaczenia współrzędnych punktów rzeczywistej osi toru najkorzystniejszą jest metoda biegunowa 3D, pozwalająca na jednoczesne wyznaczenie trzech współrzędnych (x , y , z) z dokładnością rzędu $\pm(2-3)$ mm. Natomiast metoda RTK, atrakcyjna ekonomicznie, zapewnia uzyskanie zadawalających dokładności jedynie dla wyznaczenia sytuacyjnego położenia punktów. Wysokości punktów wyznacza się tu odrębnie, stosując metodę niwelacji geometrycznej.

Program REGUL

W Zakładzie Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa oprogramowany został [12] algorytm regulacji torów kolejowych w płaszczyźnie poziomej dla odcinka trasy kolejowej składającego się ze stycznych głównych oraz łuku kołowego z symetrycznymi lub niesymetrycznymi krzywymi przejściowymi. Program napisany jest w języku C++

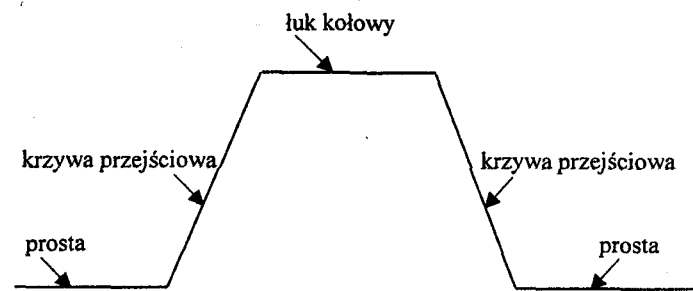
i pracuje pod kontrolą systemów operacyjnych MS Windows 95/98 NT. Składa się on z dwóch modułów: ROZPOZ – do rozpoznawania punktów krańcowych odcinków trasy (prosta, łuk kołowy, krzywa przejściowa) oraz REGUL – do poprowadzenia regulacji zniekształconej osi toru. Danymi są zbiory ponumerowanych punktów wraz z ich współrzędnymi, podawane w postaci plików tekstowych w formie ASC II. Wyniki poszczególnych operacji komputerowych zapisywane są w plikach wsadowych do programu graficznego Auto Cad w postaci skryptowej – format SCR, a końcowe dane do regulacji umieszczone są w pliku tekstowym. Przyjęte w rozwiązaniu specjalistyczne oprogramowanie CAD umożliwia: łatwe przesuwanie i przeskalowywanie obrazu, dokonywanie pomiarów odległości między punktami, a także prowadzenie krzywych przez kolejne punkty (tzw. splajnów), co ma szczególne znaczenie przy prezentacji krzywych przejściowych.

Rozpoznawanie punktów rozgraniczających elementy geometryczne trasy prowadzi się przy użyciu wykresu strzałek. Ponieważ strzałki nie są już mierzone, a do ich ewentualnego obliczenia ze współrzędnych kolejnych punktów muszą być zachowane jednakowe odległości między tymi punktami, stąd też zdecydowano się na stosowanie wykresu kątów, wykresu krzywizn i wykresu przechyłek. Wykres kątów powstaje w oparciu o różnice pomiędzy kierunkiem wyznaczonym przez dwa punkty początkowe osi toru a kierunkami określonymi przez kolejne pary punktów osi. Na wykresie kątów (rys. 2.102) styczne główne (odcinki prostoliniowe) odwzorują się jako proste poziome, łuki kołowe jako proste nachylone, zaś krzywe przejściowe będą krzywymi wyokrągłającymi załomy wykresu kątów.



Rys. 2.102. Wykres kątów

Wykres krzywizn (rys. 2.103) odwzorowuje odcinki proste i łuki kołowe w postaci linii poziomych, zaś krzywe przejściowe – w postaci prostych o dużym nachyleniu. Wykres ten uzyskuje się poprzez naniesienie odwrotności promieni okręgów utworzonych przez kolejne punkty osi toru. Dla odcinków prostych krzywizna jest zerowa, dla łuku kołowego krzywizna jest stała, a dla krzywej przejściowej krzywizna jest zmienna.



Rys. 2.103. Wykres krzywizn

Wykres przechyłek toru również ułatwia identyfikację elementów geometrycznych i jest identyczny w formie z wykresem krzywizn. Utworzyć go można w oparciu o wskazania czujnika pochyłeń poprzecznych, będącego częścią składową zmodyfikowanego toromierza. Przechyłki poprzeczne mają zerową wartość na odcinkach prostoliniowych, stałą wartość na odcinkach łuku kołowego i zmienną wartość na krzywych przejściowych.

Z doświadczeń wynika, że optymalne wyniki identyfikacji elementów geometrycznych uzyskuje się przy łącznym stosowaniu wykresu kątów i wykresu krzywizn.

Po rozpoznaniu krańcowych punktów ograniczających proste, łuki kołowe i krzywe przejściowe ustala się długości tych elementów oraz wielkość promienia łuku kołowego. Do sporządzenia projektu regulacji osi toru korzysta się z modułu REGUL.

Po uruchomieniu programu zostaje wyświetlone menu zawierające:

- 1 – plik ze skrajnią,
- 2 – plik z punktami toru,
- 3 – kasowanie punktów,
- 4 – minimalna odległość od skrajni,
- 5 – wpasowanie prostej,
- 6 – wpasowanie łuku,
- 7 – promień minimalny i przejściowa minimalna,
- 8 – obliczenie parametru trasy,
- 9 – współrzędne ostateczne i wielkości przesunięć,
- 0 – koniec.

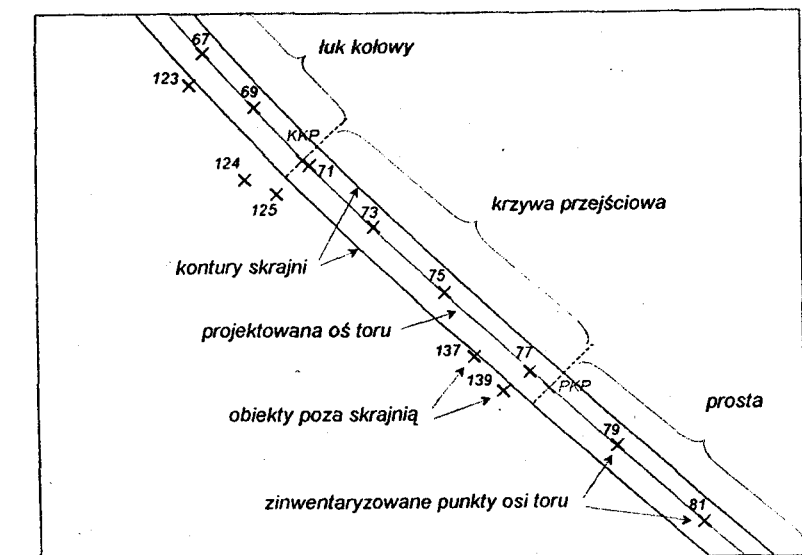
Pierwsze dwie opcje umożliwiają wczytanie plików tekstowych zawierających numery oraz współrzędne zinwentaryzowanych punktów osi toru i punktów położonych w pobliżu skrajni budowli. Wybór trzeciej opcji pozwala na usunięcie z plików wejściowych zbędnych punktów. W czwartej opcji można wprowadzić minimalną odległość, dla której zostaną narysowane kontury skrajni po obu stronach osi toru. Po nałożeniu rysunków, zawierających projekt regulacji osi toru i pomierzone obiekty znajdujące się w pobliżu toru, można zorientować się czy projekt regulacji spełnia warunki minimalnej skrajni. Po wybraniu piątej opcji, w zbiór punktów należących do odcinków

prostych zostają wpasowane proste regresji. W wyniku tej opcji wyznaczone zostają współczynniki kierunkowe dwóch prostych wlotowej i wylotowej.

Dla łuków kołowych (opcja 6) w pierwszej kolejności wyznacza się promień przybliżony. Zrezygnowano z obliczeń metodą najmniejszych kwadratów, które komplikują algorytm. Długość promienia łuku wyznacza się jako wartość średnią z promieni łuków obliczonych dla wszystkich trójek rozpoznanych punktów okręgu. Rezygnacja ze stosowania MNK jest uzasadniona, gdyż w procesie regulacji długość promienia łuku poddawana jest korektom.

W kolejnym kroku ustala się długości krzywych przejściowych, przyjmując je jako sumy odległości pomiędzy punktami reprezentującymi tą krzywą. Plik wejściowy danych ustawia się zgodnie z kilometrażem, co podczas opracowywania projektu pozwala operować odcinkami identyfikowanymi jedynie numerami ich punktów skrajnych.

Obliczone wstępnie wartości promienia łuku kołowego i długości krzywych przejściowych (parabol sześciennych) koryguje się w razie potrzeby, porównując je z wymogami obowiązujących w tym względzie przepisów.



Rys. 2.104. Obraz osi rzeczywistej i projektowanej [21]

Przygotowane dane w postaci równań prostych (wlotowej i wylotowej), promienia łuku kołowego i długości krzywych przejściowych wykorzystuje się do wykonania projektu. Dane na ten temat umieszcza się w pliku skryptowym do programu Auto Cad. Zawierają one ciągły obraz projektowanej osi toru z zaznaczonymi punktami oddzielającymi proste, krzywe przejściowe i łuk kołowy. Dodatkowo generuje się plik zawierający obraz osi rzeczywistej z zaznaczonymi numerami punktów tej osi. Po nałożeniu obydwu obrazów na siebie (rys. 2.104) można w razie potrzeby zmieniać długości

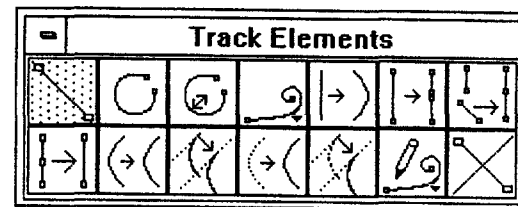
krzywych przejściowych, wartości promienia, można też przesuwac równolegle proste, wlotową i wylotową. Program pozwala na bieżące kontrolowanie skrajni poprzez wpisanie jej konturów w zadanej odległości od projektowanej osi.

Po sprawdzeniu poprawności wykonania projektu regulacji wprowadza się kilometrąz trasy oraz oblicza się odległości punktów osi rzeczywistej od osi teoretycznej.

Ostateczne obliczenia zapisane zostają w tekstowym pliku wynikowym, zawierającym numery punktów pomierzonych, ich współrzędne istniejące i projektowane oraz kilometrąz i wielkości przesunięć.

Program In Rail

Projekt regulacji toru można opracować przy użyciu systemu In Rail firmy Integraph, współpracującego z pakietem graficznym Microstation oraz z oprogramowaniem Auto Cad. Przystępując do sporządzenia projektu regulacji osi toru, zakłada się nowy lub otwiera się już istniejący projekt geometryczny. Projekt taki jest podobny do bazy danych, gdyż przechowuje w pamięci dane i zarządza nimi. Wczytuje też punkty rzeczywistej osi toru i wszystkie punkty reprezentujące skrajnie budowli oraz obiekty mogące mieć wpływ na przebieg projektowanej osi toru. Punkty pobierane są z pliku w formie ASCII, a następnie zapisywane do bufora współrzędnych „COGO buffer”. Za pomocą podmenu „Track Points” selekcjonuje się punkty reprezentujące rzeczywistą oś toru i tworzy się wykres krzywizn, który jest generowany automatycznie po wybraniu funkcji „Track Point Curvature Diagram”. Wykres ten poprzez wizualizację zmian krzywizny osi, ułatwia projektantowi ustalenie zasięgu odcinków prostych, łuków kołowych i krzywych przejściowych. Następnie korzystając z podmenu „Track Elements” (rys. 2.105) wstawia się projektowane elementy geometryczne toru w zbiór punktów reprezentujących oś rzeczywistą.



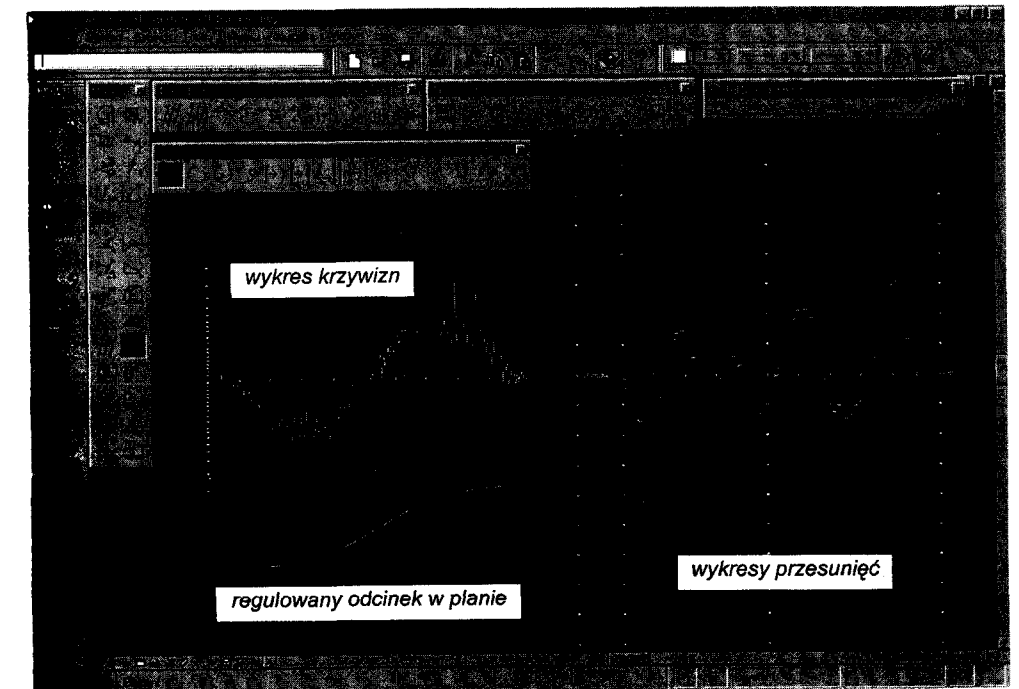
Rys. 2.105. Elementy geometrii toru [21]

Czynność ta polega na wskazaniu dwóch punktów dla odcinków prostych i trzech punktów dla łuków kołowych. Punkty wybiera się poprzez wpisanie ich numerów z klawiatury bądź wskazanie myszką punktów na wykresie krzywizn lub na planie. Ostateczne położenie projektowanego elementu ustala się przez jego wpasowanie w zbiór punktów osi, metodą najmniejszych kwadratów. W tej fazie projektowania długości odcinków prostych i łuku kołowego mogą być zmieniane. Krzywe przejściowe tworzy się poprzez wskazanie punktów między które mają być wpisane. Teraz łączy się z sobą zaprojektowane elementy geometryczne, zachowując ciągłość w punktach łączących elementy.

W razie potrzeby oś projektowana może być jeszcze przesuwna tak, aby zachować skrajnie, ominąć przeszkodę w ustalonej odległości lub też poprowadzić oś projektowaną przez zadany punkt.

Po przyjęciu ostatecznego przebiegu osi teoretycznej toru program In Rail generuje wykres przesunięć (rys. 2.106) oraz plik wynikowy w formacie tekstowym.

Program In Rail umożliwia również wykonanie projektu regulacji osi toru w profilu, przy czym elementami projektowanymi są jedynie odcinek prostej i łuk kołowy. W procesie projektowania wyświetla się na ekranie niweleta istniejącego toru i w ten zbiór punktów wpisuje się odcinki proste, a powstałe załomy wyokrągla się łukami kołowymi.



Rys. 2.106. Wykres przesunięć [21]

W najnowszym pakiecie In Rail (wersja 7.1) występuje opcja umożliwiająca przeliczenie projektowanych przesunięć na bezpośrednie namiary do podbijarek firmy Plasser Theurer.

2.5.6. Tyczenie projektu regulacji w terenie

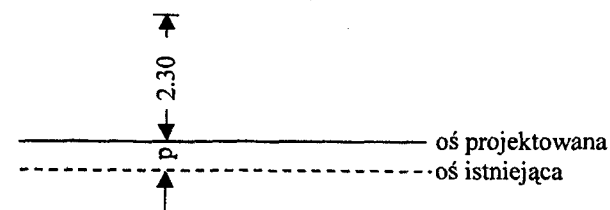
Przygotowany projekt regulacji osi torów kolejowych jest realizowany w terenie. Czynność ta polega na takim utrwaleniu w terenie projektowanej osi toru i jego niwelety, aby ekipy remontowe mogły w sposób jednoznaczny dokonać niezbędnych przesunięć

toru istniejącego. Do utrwalania projektowanej osi i niwelety stosuje się tzw. znaki regulacji występujące obecnie w różnych postaciach. Początkowo, gdy linie nie były zelektryfikowane, stosowano powszechnie znaki regulacji w postaci odcinka szyny ustawionej pionowo i zastabilizowanej w ławie torowiska (rys. 2.107). Na odcinkach prostoliniowych znaki regulacji ustawiano w odległościach 100 m, na krzywych przejściowych w odległościach 10–15 m, zaś na łukach kołowych co 20–30 m. Znaki sytuowano w odległościach 2,30 m od projektowanej osi toru, zaś górna powierzchnia znaku miała wysokość o około 10 cm wyższą od poziomu niwelety. Znaki wyposażone są w nacięcia pionowe i poziome (rys. 2.107). Nacięcia pionowe wykorzystuje się do wznawiania projektowanej osi toru poprzez odmierzenie od niego ustalonej stałej odległości, np. 2,3 m.



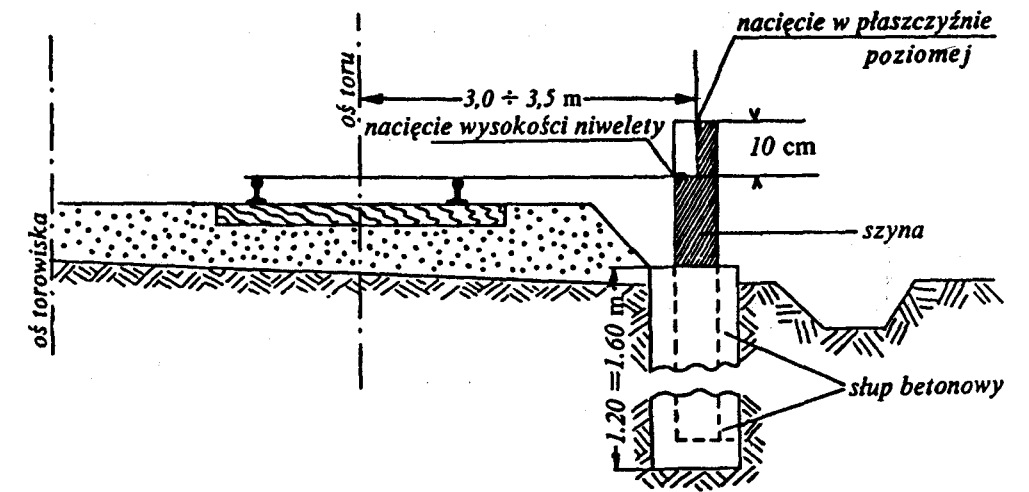
Rys. 2.107. Znak regulacji starego typu

Aby właściwie usytuować takie nacięcie na wskaźniku regulacji, należy uwzględnić określoną w projekcie wartość przesunięcia p osi istniejącej do położenia projektowanego (rys. 2.108), czyli od istniejącej osi należy odłożyć odległość $(2,30 + p)$.



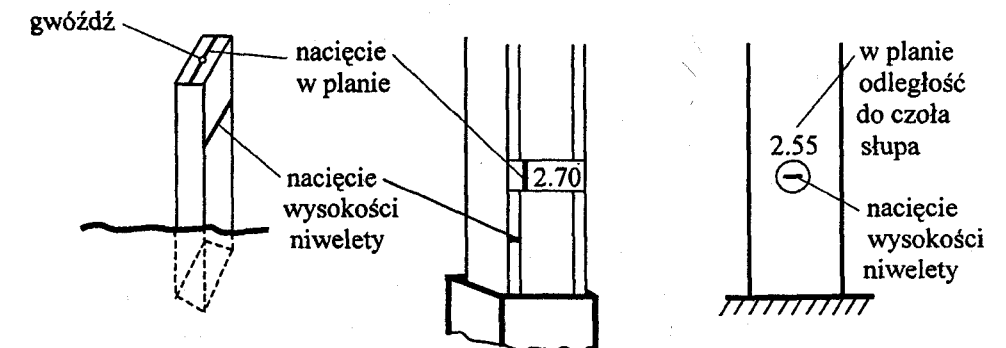
Rys. 2.108. Wyznaczanie osi projektowanej na znakach regulacji
Objaśnienia w tekście

Poziome nacięcie na znaku regulacji oznacza poziom projektowanej niwelety i jest ono odległe od górnej powierzchni znaku o różnicę wysokości tej powierzchni i projektowanej w tym miejscu wysokości niwelety.



Rys. 2.109. Znak regulacji wysoki
Objaśnienia w tekście

Obecnie, ze względu na skrajnie maszyn torowych, znaki wysokie odsunięte są od osi toru o 3–3,5 m (rys. 2.109). Wskaźniki regulacji mogą być też nanoszone na pale drewniane i słupy sieci trakcyjnej (rys. 2.110).

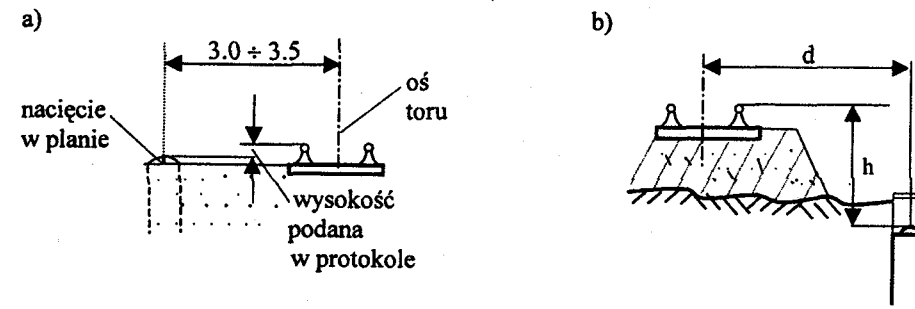


Rys. 2.110. Trzy rodzaje znaków regulacji na słupach

Na stacjach i przystankach kolejowych stosuje się znaki regulacji osadzone równo z powierzchnią torowiska i znaki kryte (rys. 2.111).

W celu sprawdzenia poprawności usytuowania wskaźników regulacji wykonuje się pomiary kontrolne strzałek na wskaźnikach. Wyniki pomiarów wykonanych przy użyciu teodolitu porównuje się ze strzałkami teoretycznymi obliczonymi dla łuków kołowych i krzywych przejściowych.

Uzyskane różnice nie powinny przekraczać wartości 2–3 mm. Kontrola taka ma sens, jeśli wszystkie wskaźniki regulacji usytuowane są w stałej odległości od teoretycznej osi toru.

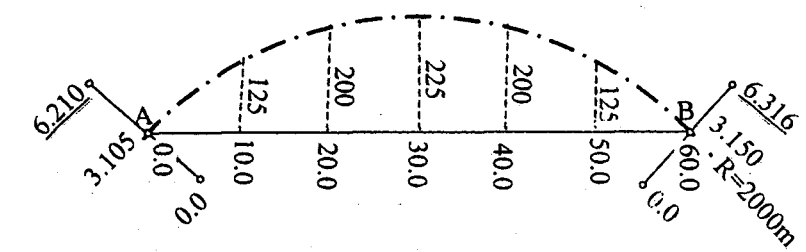


Rys. 2.111. Znaki regulacji niskie: a) wskaźnik regulacji na powierzchni peronu; b) wskaźnik regulacji zakręty; d – odległość wskaźnika regulacji od osi toru, h – wysokość niwelety nad wskaźnikiem regulacji

Przedstawione sposoby utrwalania osi teoretycznej są przydatne przy doraźnych kontrolach stanu toru i przy ręcznych naprawach toru, natomiast stają się one mało przydatne wówczas, gdy nasuwanie i podbijanie torów wykonuje się przy użyciu ciężkich maszyn torowych. Operatorzy takich maszyn muszą mieć podane wielkości przesunięć i podbić toru nie tylko naprzeciw znaków regulacji, ale również między nimi, w odległościach co 5 lub 10 m. Z tego też powodu rezygnuje się ze stosowania samodzielnych znaków regulacji, a ich rolę przyjmują znaki poziomej osnowy kolejowej utrwalone zarówno znakami ziemnymi, jak i znakami usytuowanymi na słupach trakcyjnych.

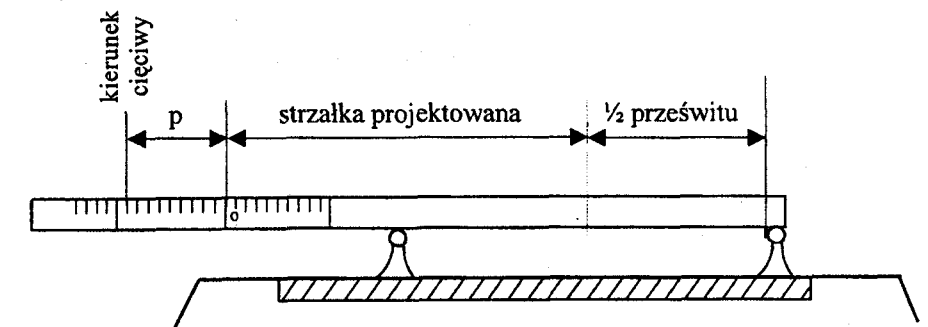
W aktualnych publikacjach zaleca się, aby zawsze naprzeciw podstawowych znaków osnowy utrwalac po drugiej stronie toru znaki pomocnicze. Zarówno punkty główne, jak i pomocnicze powinny mieć określone współrzędne płaskie z dokładnością zapewniającą poprawne wyznaczenie projektu regulacji w terenie. Istnienie dwóch punktów na liniach prostopadłych do osi toru wymusza określoną kolejność czynności przy tyczeniu nowej osi. Najpierw w oparciu o miary obliczone w projekcie wyznacza się położenie punktów A , B osi projektowanej na tych liniach poprzecznych (rys. 2.112), a następnie, łącząc wyznaczone punkty, uzyskuje się cięciwę, od której można tyczyć pozostałe punkty osi teoretycznej. Jednak do sterowania maszyną torową potrzebne są wielkości przesunięć, czyli odległości pomiędzy punktami osi istniejącej i projektowanej w kolejnych przekrojach poprzecznych. Wielkości tych przesunięć najłatwiej jest wyznaczyć przy użyciu specjalnej łąty, wyposażonej w przesuwną podziałkę milimetrową (rys. 2.113). Na łącie tej zero przesuwnej podziałki ustawia się w odległości równej sumie strzałki projektowanej w danym miejscu i połowy prześwitu

toru. Po ułożeniu łąty na szynach odczytuje się na niej wielkość przesunięcia p jako odległość pomiędzy zerem łąty a osią celową teodolitu pokrywającą się z cięciwą AB (rys. 2.112). Kierunek cięciwy AB można też realizować przy użyciu struny stalowej lub rzutnika laserowego i trzech odpowiednio rozmieszczonych łąt.



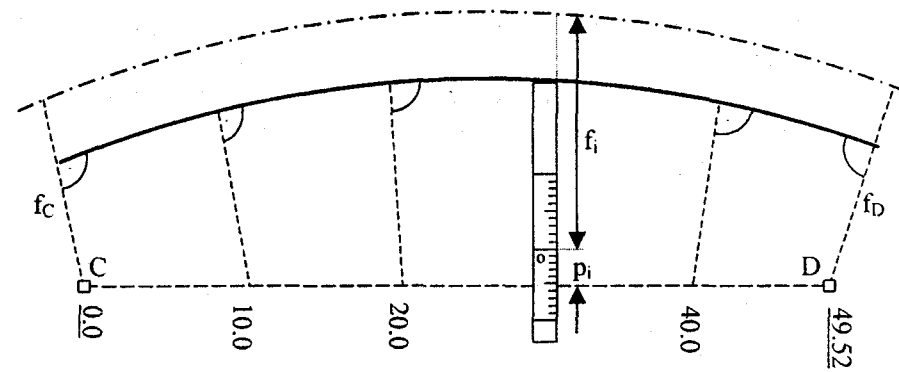
Rys. 2.112. Tyczenie osi toru przy podwójnych znakach regulacji

Wyznaczone wielkości przesunięć wraz z ich kierunkami zapisuje się na podkładach. Przesunięcia te są wykorzystywane przez operatorów do właściwego ustawiania ciężkich maszyn torowych dokonujących nasuwania i podbijania torów do pozycji przewidzianych w projekcie regulacji.



Rys. 2.113. Wyznaczanie przesunięć toru w punktach pośrednich

Jeśli znaki osnowy poziomej usytuowane są tylko po jednej stronie toru, to dla wytyczenia punktów pośrednich osi projektowanej nie realizuje się cięciwy AB , (rys. 2.112), jak to uczyniono przy znakach podwójnych, a tyczenie prowadzi się bezpośrednio z boku osnowy geodezyjnej CD (rys. 2.114). Ustawiając zero podziałki ruchomej w odległości projektowanej f_i , można na podziałce odczytać wielkość i kierunek przesunięcia p_i osi istniejącej do pokrycia się z osią projektowaną. Łatę z podziałką ustawia się prostopadle do toku szyny w punktach podziałkowych, które zaznacza się po odmierzeniu odcinków 10 m od przerzutowanego na tok szyny punktu C .



Rys. 2.114. Tyczenie osi toru w oparciu o punkty osnowy geodezyjnej

W celu doprowadzenia istniejącego toru do pokrycia się z niweletą projektowaną podnosi się kolejne podkłady o wielkości wyznaczone przy użyciu niwelatora torowego (rys. 2.115) lub innego niwelatora libelowego ze śrubą elewacyjną, w dowiązaniu do wysokościowych wskaźników regulacji. Niwelator torowy przykręca się do szyny w pobliżu jednego ze wskaźników regulacji i przy poziomej osi celowej wykonuje się odczyt w na łacie, której stopkę zgrywa się z nacięciem. Wysokość nacięcia nad projektowaną niweletą oznaczono przez a (rys. 2.116); jest ona podana także w protokole zdawczo-odbiorczym. Wielkość a może osiągać wartość zero, gdy nacięcie wykonano na wysokości niwelety. Na podstawie odczytu na łacie w oraz znanej wielkości a oblicza się wysokość

$$s = w + a \quad (2.139)$$

Dla uzyskania równoległości osi celowej niwelatora do linii projektowanej niwelety, również na drugim wskaźniku regulacji realizuje się wielkości s , spełniającą tym razem zależność

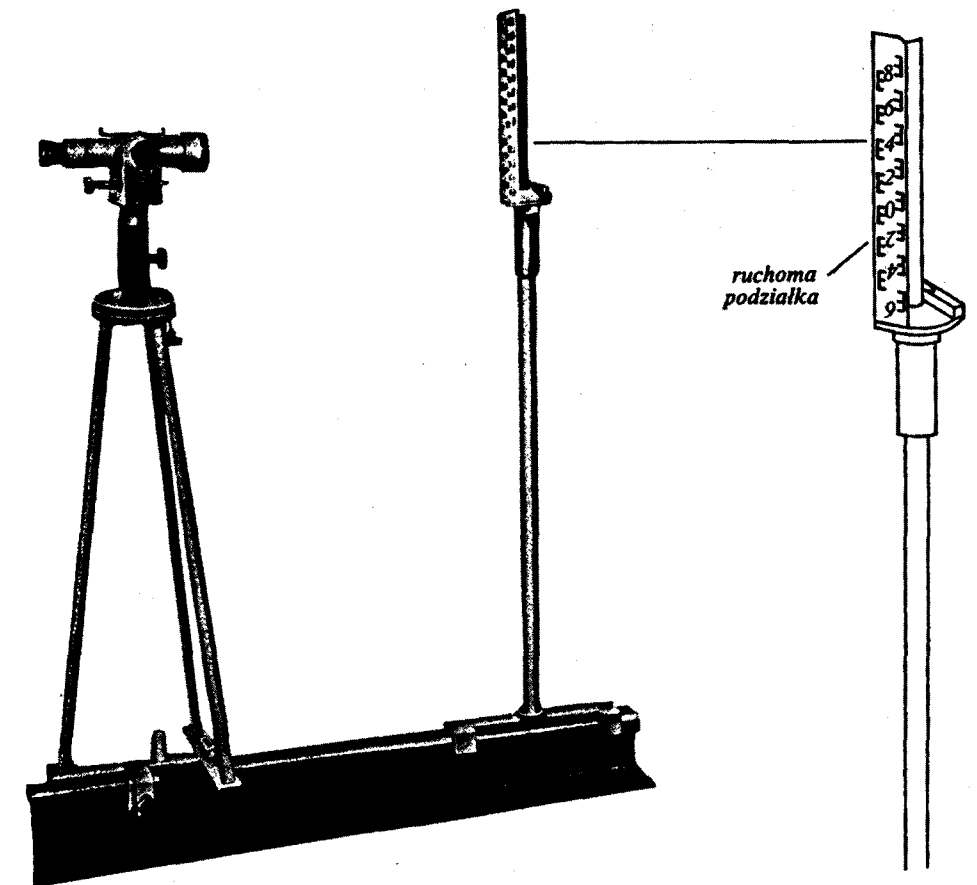
$$s = p + b \quad (2.140)$$

gdzie:

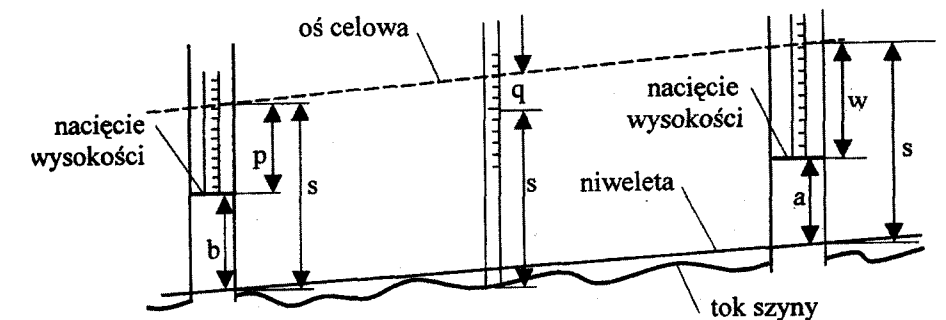
- b – wysokość nacięcia nad projektowaną niweletą,
- p – poszukiwany odczyt na łacie obliczony ze wzoru

$$p = s - b \quad (2.141)$$

Na obliczony odczyt p należy nastawić nitkę poziomą niwelatora przy użyciu śruby elewacyjnej, uzyskując równoległość jego osi celowej do zadanej linii niwelety. Teraz na łacie torowej ustawia się zero przesuwanej podziałki na wysokość s . Po ustawieniu tej łaty na toku szyny w dowolnym punkcie i wycelowaniu na nią niwelatorem z pochyloną osią celową odczytuje się wielkość podbicia q . Podbicia takie wyznacza się i zapisuje zazwyczaj na co piątym podkładzie.



Rys. 2.115. Niwelator torowy z łatą torową [18]



Rys. 2.116. Wyznaczanie pionowych przesunięć toru w punktach pośrednich
Objaśnienia w tekście

2.5.7. Automatyczne podbijanie i nasuwanie toru

Prace związane z doprowadzeniem zdeformowanego toru do położenia projektowanego prowadzi się obecnie za pomocą ciężkich maszyn torowych zwanych podbijarkami wieloczynnościowymi. W Polsce do bardziej znanych maszyn tego typu należą podbijarki austriackiej firmy Plasser Theurer oraz szwajcarskiej firmy Matisa. Każda podbijarka wieloczynnościowa składa się z podwozia, zespołu podbijającego, urządzenia do automatycznej niwelacji i urządzenia do automatycznego nasuwania toru. Sterowanie pracą urządzeń podnoszących i nasuwających podbijarek może być prowadzone w bezwzględnym lub względnym układzie odniesienia. Sterowanie podbijarką w układzie bezwzględnym wykonuje się na podstawie wyników bezpośrednich pomiarów wysokościowych i sytuacyjnych prowadzonych w dowiązaniu do punktów osnów geodezyjnych. Jest to więc sterowanie prowadzone głównie w dowiązaniu do wskaźników regulacji torów. Bezwzględny układ odniesienia nawiązanych może wystąpić również wówczas, gdy projektowaną niweletę oraz położenie osi toru na prostych odcinkach wyznacza odpowiednio zorientowany promień lasera ustawionego na punkcie stałym lub na samodzielnym wózku pomiarowym.

Sterowanie podbijarką w układzie względnym prowadzi się w dowiązaniu do wybranych punktów na szynach. Układ względny jest związany z istniejącym położeniem sytuacyjnym i wysokościowym toru.

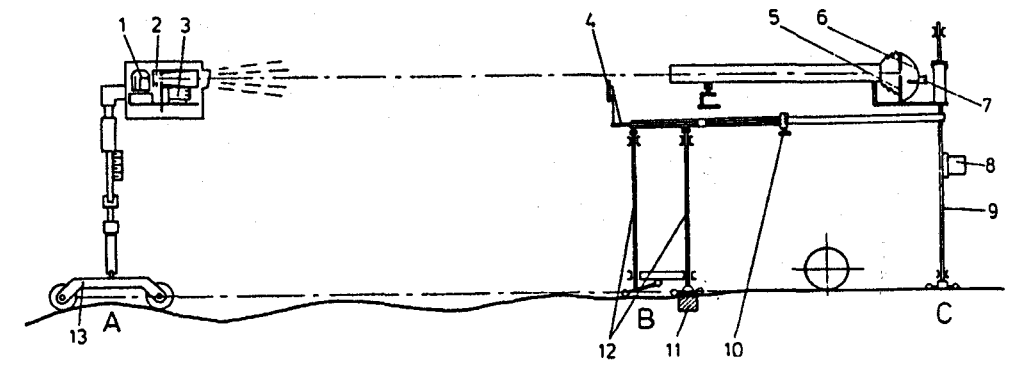
Współczesne podbijarki wieloczynnościowe wyposażone są w systemy automatyki wewnętrznej podnoszenia i nasuwania toru. Charakterystyczne cechy tych systemów przedstawione zostaną na przykładzie podbijarek firmy Plasser Theurer serii 06 i 07.

2.5.7.1. Regulacja toru w profilu

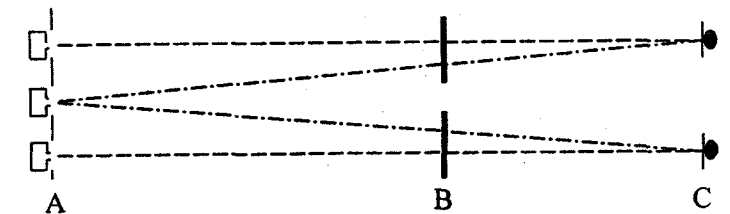
Urządzenie do automatycznej niwelacji toru składa się z układu nawiązującego oraz układu podnoszenia i podbijania toru. Układ nawiązujący urządzenia niwelującego (rys. 2.117) składa się z trzech zasadniczych zespołów: nadajnika promieni podczerwonych A, odbiornika C, przerywacza B.

Nadajnik promieni podczerwonych umieszczony jest na wózku usytuowanym w stałej odległości przed podbijarką. Na wózku instaluje się dwa nadajniki usytuowane nad osiami szyn, lub jeden nadajnik umieszczony nad osią toru (rys. 2.118). Z dwóch nadajników umieszczonych nad osiami szyn korzysta się przy pracy w układzie bezwzględnym, zaś nadajnik centralny wykorzystuje się przy pracy w układzie względnym.

Drugim zespołem układu nawiązującego jest odbiornik C, do którego skierowana jest wiązka promieni podczerwonych. Odbiornik ten przez drążek 9 opiera się na wózku toczącym się po szynie. Elementami odbiornika są: długa rura odbiorcza z wewnętrzną przesłoną szczelinową 5, przez którą spolaryzowana wiązka światła pada na zwierciadło paraboliczne 6, w ognisku którego umieszczono opornik fotoelektryczny. Opornik fotoelektryczny zamienia energię świetlną na energię elektryczną kierowaną do wzmacniacza 8. Trzeci zespół B składa się z wózka pomiarowego ze stojakiem 12, na którym umocowana jest płyta przerywacza 4.



Rys. 2.117. Wysokościowy układ nawiązujący podbijarki torowej [17]: 1 – lampa nadajnika, 2 – nadajnik promieni podczerwonych, 3 – modulator, 4 – płyta przerywacza, 5 – przesłona szczelinowa, 6 – zwierciadło paraboliczne, 7 – opór fotoelektryczny, 8 – wzmacniacz, 9 – drążek odbiornika, 10 – śruba rektyfikacyjna, 11 – podkład do podbicia, 12 – drążki przerywacza, 13 – wózek przedni



Rys. 2.118. Usytuowania nadajników promieni podczerwonych

Układ nawiązujący i układ podnoszenia współdziałają ze sobą w taki sposób, że wiązka światła podczerwonego, biegnąca z nadajnika A do odbiornika C, jest w tym ostatnim zamieniana na energię elektryczną, która po wzmożeniu trafia na przekaźnik. Jeśli natężenie prądu będzie rzędu min 6,5 mA (maks. 10,5 mA), wówczas przekaźnik zostanie uruchomiony i poda napięcie na cewkę stycznika sterującego zaworem elektrohydraulicznym siłownika podnoszenia toru. Tor będzie podnoszony do chwili, w której płyta przerywacza 4 przesłoni wiązkę promieni podczerwonych, co spowoduje zanik prądu w obwodzie i wywoła przesterowanie zaworu elektrohydraulicznego siłownika podnoszenia toru w położenie wyjściowe. Podniesiony tor będzie utrzymywany w tej pozycji aż do momentu podbicia podkładu.

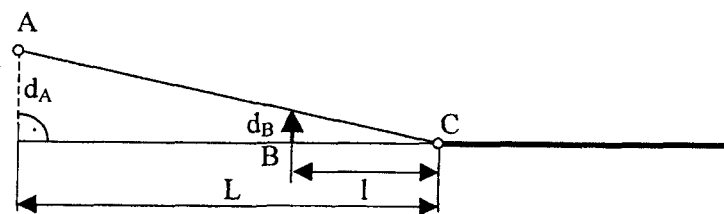
Wysokościowe regulowanie toru może być prowadzone w układzie względnym lub bezwzględnym. Pierwszy rodzaj regulacji pozwala jedynie na wyrównanie lokalnych nierówności toru i nie jest stosowany do regulacji torów o dużych zniekształceniach i promieniach łuków mniejszych od 1000 m. Podbijarka wyrównuje nierówności toru w oparciu o wewnętrznie ustalone wielkości podniesienia toru. Stosownie do sytu-

acji przedstawionej na rysunku 2.117 wyrównywanie nierówności lokalnych przebiega następująco: nadajnik A ustawia się na odcinku nie wyregulowanym, odbiornik C na odcinku wyregulowanym, zaś tor podnoszony będzie w punkcie B. Wielkość podnoszenia toru w punkcie B zależy od wielkości zniekształcenia w punkcie A oraz od stosunku odległości L i l w danej podbijarce. Przyjmując nierówność toru w punkcie A jako odcinek d_A można obliczyć wielkość d_B podnoszenia toru w punkcie B (rys. 2.119), po którego osiągnięciu przesłona 4 przerwie bieg wiązki promieni podczerwonych.

Wielkość d_B oblicza się ze wzoru

$$d_B = \frac{l}{L} d_A \quad (2.142)$$

Regulacja toru w bezwzględnym układzie odniesienia rozpoczyna się od wprowadzenia rozpisanych wcześniej na podkładach (np. co pięć podkładów) wielkości podniesień w nadajniku A. Oznacza to, że za pomocą ręcznych pokręteł przesuwa się nadajniki promieni podczerwonych, usytuowane nad osiami szyn, o wielkości wypisane na podkładach lub wyinterpolowane dla każdego podkładu w oparciu o przesunięcia wypisane na co piątym podkładzie. Każdy nadajnik jest podnoszony oddzielnie, co ma znaczenie przy regulacji na łuku, gdzie występują przechyłki toru. Po ustawieniu nadajnika na wymaganej wysokości uruchamia się proces podnoszenia toru w punkcie B, trwający aż do momentu przesłonięcia wiązki promieni podczerwonych i wyłączenia zespołu podnoszenia.



Rys. 2.119. Wyznaczanie przesunięć w punkcie pośrednim
Objaśnienia w tekście

2.5.7.2. Regulacja toru w planie

Do nasuwania torów przy użyciu podbijarek wieloczynnościowych korzysta się z dwóch zasadniczych układów: układu namiarowego i układu wykonawczego (nasuwającego). W podbijarkach Plasser serii 06 i 07 stosuje się system namiarowy oparty na dwóch cięciwach pomiarowych lub na jednej cięciwie. Pierwszy z nich wykorzystuje zasadę, że na łuku niezależnie od jego promienia, stosunek strzałek mierzonych względem krótkiej i długiej cięciwy jest wielkością stałą (rys. 2.120). Cięciwa długa L (namiarowa) jest napięta między dwoma wózkami napinającymi, zaś cięciwa krótka jest napięta

ta między wózkiem napinającym A i wózkiem nasuwania. Cięciwami są linki stalowe o średnicy 2,2 mm. Pomiędzy wózkiem napinającym A a wózkiem nasuwania umieszczony jest wózek pomiarowy. Wózek ten usytuowany jest niesymetrycznie w stosunku do długości cięciw i służy do mierzenia wartości stosunku strzałek $f : F$. Strzałki dla poszczególnych cięciw wyrażone są wzorami:

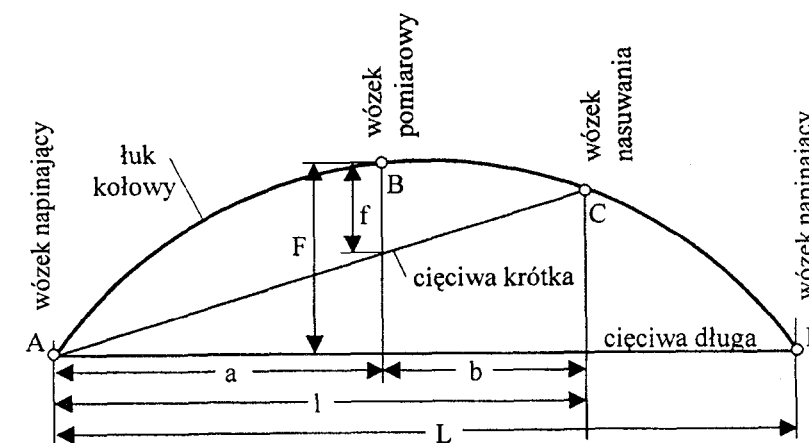
$$f = \frac{a \cdot b}{2R} \quad (2.143)$$

$$F = \frac{a(L-a)}{2R} \quad (2.144)$$

Wzajemny stosunek strzałek wyraża się zależnością

$$i = \frac{f}{F} = \frac{b}{L-a} \quad (2.145)$$

Wielkość i zależy od długości cięciw i miejsca usytuowania wózka pomiarowego, natomiast jest niezależna od promienia łuku.



Rys. 2.120. Układ namiarowy podbijarki do poziomego nasuwania toru
Objaśnienia w tekście

Układ namiarowy oparty na dwóch cięciwach działa następująco. Na długiej cięciwie L mierzy się strzałkę F , z której automatycznie przy znanej wartości stosunku $i = \frac{f}{F}$ wyznaczona jest strzałka f . Jeśli faktyczna wielkość strzałki ustalonej względem cięciwy l jest inna niż obliczona, to wózek nasuwania w punkcie C jest przesuwany tak długo, aż strzałka f osiągnie określoną wielkość nominalną.

Metoda dwóch cięciw jest w zasadzie metodą wyrównywania, przy której istniejące zniekształcenia są automatycznie zmniejszane i uzyskuje się równomierny wykres strzałek. Znajomość miejsca i wielkości zniekształcenia nie jest konieczna. Jednak metoda ta może być też stosowana przy nasuwaniu według wielkości przesunięć ustalonych w projekcie regulacji.

Przy prowadzeniu regulacji w bezwzględny układ odniesienia operator na wózku przednim (punkt *D* – rys. 2.120) przestawia koniec długiej cięciwy o wielkość przesunięcia ustaloną w projekcie regulacji i zapisaną na podkładach. Przesunięcia podawane są zazwyczaj w odstępach 10 m i dla pojedynczych podkładów należy je wyinterpolować.

Zespół nasuwający może być umieszczony pośrodku maszyny i wówczas układ namiarowy przekazuje automatycznie wartości odchyżeń w punkcie *C* na wskaźnik położenia toru, a operator ręcznie steruje czynnością nasuwania. Procesem nasuwania steruje się przez skrócenie kierownicy w kabinie sterowniczej zgodnie ze wskazaniami automatycznego wskaźnika położenia toru. Tor nasuwa się tak długo, aż strzałka tego wskaźnika osiągnie pozycję *O*. Opisywany zespół nasuwający działa niezależnie od podnoszenia i podbijania toru. W nowych rozwiązaniach występują dwa zespoły nasuwające, przy czym jeden umieszczony jest w środku, a drugi z przodu maszyny. Każdy z tych zespołów ma swój układ namiarowy. Zespół umieszczony z przodu maszyny wykonuje nasuwanie równocześnie z podnoszeniem toru. Nasuwanie wykonywane jest automatycznie bez udziału operatora, na podstawie dyspozycji otrzymanych z układu namiarowego.

2.6. Pomiary sytuacyjno-wysokościowe terenów kolejowych

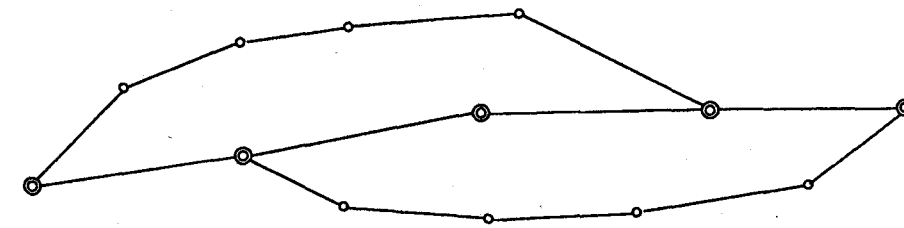
2.6.1. Geodezyjne osnowy kolejowe

Osnowa geodezyjna usytuowana wzdłuż szlaków kolejowych oraz w obrębie stacji zapewnia realizację użytkowych i dokładnościowych aspektów różnorodnych prac geodezyjnych prowadzonych zarówno w fazie wznoszenia budowli, jak i podczas ich późniejszej eksploatacji. Z tego względu zarówno gęstość punktów osnowy, jak i dokładności wyznaczenia ich współrzędnych powinny być dostosowane do wymagań stawianych pomiarom realizacyjnym i inwentaryzacyjnym, a także pomiarom prowadzonym w celu regulacji osi torów czy też ewentualnego wyznaczania przemieszczeń. W obrębie stacji występować będą na ogół osnowy powierzchniowe, zaś wzdłuż szlaków – osnowy wydłużone.

Optymalne dopasowanie gęstości punktów osnowy i dokładności wyznaczenia ich położenia osiągnąć można poprzez rozróżnienie grupy punktów odniesienia tworzących osnowę podstawową i grupy punktów zagęszczających wyznaczających osnowę szczegółową. Osnowę podstawową stanowią z reguły punkty osnowy państwowej I i II klasy, znajdujące się w pobliżu pasa terenów kolejowych. Współrzędne tych punk-

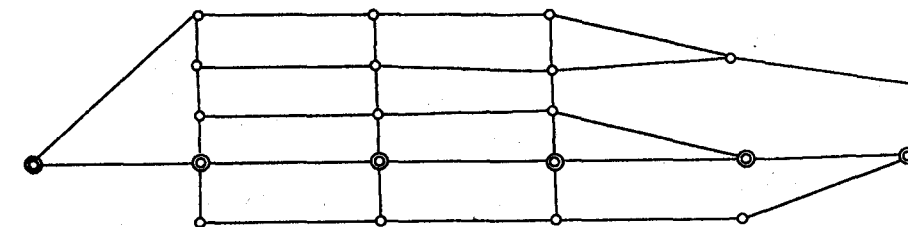
tów – co można stwierdzić po ich weryfikacji dokonanej ostatnio w oparciu o pomiary GPS – są wyznaczone z bardzo wysoką dokładnością. W wielu rejonach Polski pomiarami GPS objęto również punkty osnowy państwowej III klasy, które można zaliczyć do punktów podstawowej osnowy kolejowej. Ponieważ typową osnową szczegółową dla obiektów wydłużonych są ciągi poligonowe, zagęszczenie punktów osnowy podstawowej powinno zabezpieczyć możliwość dwustronnego nawiązania tych ciągów. Oznacza to, że osnowa podstawowa powinna być dodatkowo zagęszczona punktami, których położenie wyznaczyć można metodą wcięć, czy też korzystając z technologii GPS.

Klasyczną osnowę szczegółową stanowią ciągi poligonowe o długościach 2–3 km i długościach boków 100–300 m. Ciągi te mogą być uzupełniane opartymi na nich ciągami i liniami pomiarowymi rozbudowanymi w sposób zapewniający prowadzenie pomiarów realizacyjnych i inwentaryzacyjnych z wykorzystaniem różnych metod pomiaru.



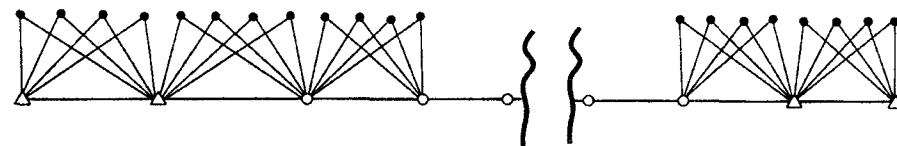
Rys. 2.121. Klasyczna osnowa geodezyjna na linii kolejowej

Na szlakach o dużych szerokościach pasa terenu kolejowego stosowano dotychczas oprócz ciągu głównego jeden, a niekiedy nawet dwa ciągi sytuacyjne równoległe do niego (rys. 2.121). Podobna struktura sieci sytuacyjnej może być wymuszona przy zakładaniu osnowy szczegółowej w rejonach głębokich wykopów. Również na stacjach kolejowych oprócz głównych ciągów poligonowych zakładano ciągi sytuacyjne i linie pomiarowe równoległe do osi torów, które wzmacniano wiązaniami poprzecznymi (rys. 2.122). W ten sposób rozbudowana osnowa sytuacyjna ułatwiała prowadzenie pomiarów szczegółowych dominującą do niedawna metodą rzędnych i odciętych.



Rys. 2.122. Klasyczna osnowa geodezyjna na stacji kolejowej

Obecnie, gdy do dyspozycji są przy dysponowaniu instrumenty elektroniczne i powszechnie stosuje się metodę biegunową, osnowa sytuacyjna ma inny charakter. Tachymetry elektroniczne nie tylko zapewniają uzyskanie dużego zasięgu pomiaru i wysoką dokładność wyznaczania położenia punktów, lecz pozwalają również na wykonywanie wielu obliczeń w terenie, co sprzyja szerokiemu stosowaniu metody swobodnego stanowiska. Równocześnie wprowadza się do praktyki wskaźniki regulacji, utrwalane znakami ziemnymi lub znakami usytuowanymi na słupach trakcji elektrycznej. W konsekwencji obserwuje się dążenie do traktowania znaków regulacji również jako znaków utrwalających punkty geodezyjnej osnowy kolejowej. Spotykane w literaturze rozwiązania bazują na wykorzystaniu zintegrowanych osnów geodezyjnych, zakładanych z użyciem klasycznych i satelitarnych technik pomiarowych. Osnowę podstawową na szlaku i stacjach kolejowych stanowią punkty, których położenie wyznacza się metodami GPS. Na szlakach punkty takie lokalizuje się zazwyczaj parami w odległościach od 1 km do 3 km, a do nich dowiązuje się ciągi poligonowe, których punkty mogą być stabilizowane trwale lub tymczasowo. Stabilizacja tymczasowa jest stosowana wówczas, gdy punktami osnowy sytuacyjnej są punkty utrwalane na słupach trakcji, które pełnią jednocześnie funkcję wskaźników regulacji. Sytuację taką przedstawiono na rysunku 2.123. W przedstawionej sieci położenie punktów osnowy podstawowej wyznacza się metodą statyczną GPS, natomiast położenie punktów poligonowych i punktów utrwalanych na słupach wyznacza się rozwiązując sieć linio-kątową.



- △ - punkty osnowy podstawowej
- - punkty poligonowe
- - punkty osnowy szczegółowej utrwalone na słupach trakcji elektrycznej

Rys. 2.123. Nowoczesna osnowa geodezyjna

Wszystkie dalsze pomiary inwentaryzacyjne i realizacyjne wykonuje się metodą swobodnego stanowiska, w dowiązaniu do punktów osnowy szczegółowej lub bezpośrednio z tych punktów. Pozostaje jeszcze do ustalenia kwestia dokładności wyznaczenia współrzędnych punktów kolejowej osnowy geodezyjnej. Niewątpliwie najwyższe dokładności będą wymagane wówczas, gdy punkty osnowy wykorzystywane będą do sporządzania projektu regulacji osi torów. Dla orientacji zestawiono w tabeli 2.12 błędy średnie położenia punktów dziesięciu ciągów poligonowych założonych na 28-kilometrowym odcinku linii kolejowej, uzyskane z pomiarów doświadczalnych.

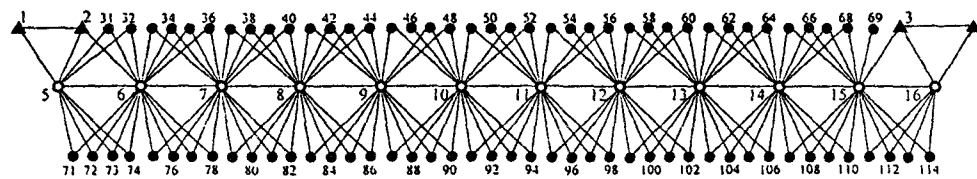
Tabela 2.12
Dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów ciągów poligonowych

Lp.	Liczba pkt. wyznaczanych n	Długości boków ciągu [m]	Długości ciągów [m]	Błędy średnie punktu środkowego [mm]			Błędy śr. w ciągu [mm]
				m_x	m_y	m_p	
1	8	220	2000	4	9	9,8	6,8
2	11	210	2600	4	15	15,5	10,8
3	12	220	2800	6	16	17,0	12,7
4	14	240	3600	8	23	24,3	16,7
5	13	200	2900	8	18	19,7	13,0
6	12	220	2900	4	16	16,5	11,8
7	13	230	3200	4	14	14,6	11,0
8	12	200	2700	5	16	16,8	11,3
9	13	170	2500	3	14	14,3	10,2
10	12	210	2800	4	17	17,5	12,3
Wartości średnie		210	2800	±5,3	±16,1	±16,9	±11,9

Każdy założony ciąg poligonowy rozpoczyna się i kończy na punktach, których współrzędne wyznaczone metodą statyczną GPS. Pomiary w ciągach poligonowych wykonano metodą trzech statywów, przy użyciu precyzyjnego tachymetru elektronicznego TC 2002 w bardzo trudnych warunkach obserwacyjnych przy silnym nasłonecznieniu i występowaniu wibracji oraz wpływów refrakcyjnych ($m_\alpha = \pm 13^{\text{cc}}$, $m_l = \pm 15$ mm). Stwierdzono, iż w tych trudnych warunkach przeciętny średni błąd położenia dowolnego punktu w ciągu wynosi $\pm 11,9$ mm. Wynik ten pozwala sądzić, że po dobraniu odpowiednich długości ciągów i długości boków oraz wykonaniu pomiarów w dobrych warunkach obserwacyjnych wyznaczyć można położenie punktów poligonowych z dokładnością rzędu kilku milimetrów, co powinno zabezpieczyć wszystkie potrzeby prac geodezyjnych, w tym i tych, które są związane z regulacją torów kolejowych.

Dla potwierdzenia powyższych przewidywań przedstawiono analizę *a priori* osnowy geodezyjnej przedstawionej na rysunku 2.124.

Przyjęto, że analizowana osnowa usytuowana jest wzdłuż linii kolejowej, na której dwa rzędy słupów trakcji elektrycznej oddalone są od siebie o 11,5 m. Sieć punktów (swobodnych stanowisk) usytuowanych co 200 m przebiega w pobliżu jednej z linii słupów. Poszczególne słupy w każdej linii są oddalone od siebie o 50 m. Na punktach poligonowych wykonuje się pomiary długości boków i kątów w poligonie oraz pomiary odległości i kątów do wskaźników regulacji (punkty na słupach). Współrzędne każdego punktu reprezentującego wskaźnik regulacji wyznaczone są metodą biegunową, z dwóch różnych punktów osnowy poligonowej.



- ▲ punkty osnowy podstawowej stabilizowane trwałymi znakami ziemnymi
- punkty ciągów poligonowych stabilizowane trwałymi lub tymczasowymi znakami ziemnymi
- punkty osnowy szczegółowej utrwalone na słupach trakcji elektrycznej

Rys. 2.124. Geodezyjna osnowa kolejowa

Do analizy przyjęto sieci o długości 2000 m (5–16) i 1000 m (5–11), dowiązane dwustronnie do punktów osnowy podstawowej GPS. Położenie punktów GPS wyznaczono z błędem średnim ± 3 mm. Założono, że w dobrych warunkach obserwacyjnych pomiary kątów można przeprowadzić z dokładnością $m_\alpha = \pm 8''$, zaś dla pomiarów długości przyjęto $m_l = \pm 1$ mm. Początek układu współrzędnych pokrywa się z punktem 1, natomiast oś x jest równoległa do linii słupów. W prowadzonej analizie uwzględniono wpływy błędów wyznaczenia położenia punktów osnowy podstawowej i wpływy błędów konstrukcji wiążącej na ostateczną dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów pełniących równocześnie funkcję wskaźników regulacji i punktów osnowy szczegółowej. Ocenę dokładności wykonano metodą ścisłego wyrównania obserwacji zależnych. W tym celu dla przewidywanych do pomiaru kątów i długości boków zestawiono następujące równania obserwacyjne bez wyrazów wolnych:

$$v_\alpha = \begin{vmatrix} dx_L & dy_L & dx_P & dy_P & dx_C & dy_C \\ A_L & B_L & -A_P & -B_P & -(A_L - A_P) & -(B_L - B_P) \end{vmatrix}_1 \quad (2.146)$$

$$v_l = \begin{vmatrix} dx_P & dy_P & dx_K & dy_K \\ -\cos \varphi_{PK} & -\sin \varphi_{PK} & \cos \varphi_{PK} & \sin \varphi_{PK} \end{vmatrix}_2 \quad (2.147)$$

Zestawiono również równania obserwacyjne dla współrzędnych punktów nawiązania:

$$\begin{aligned} v_x &= dx \\ v_y &= dy \end{aligned} \quad (2.148)$$

W postaci blokowej macierz współczynników powyższych równań obserwacyjnych zapisać można następująco

$$A = \begin{bmatrix} A_r & A_s \\ 0 & J \end{bmatrix} \quad (2.149)$$

gdzie:

- A_r – macierz współczynników przy różniczkach współrzędnych punktów wyznaczanych,
- A_s – macierz współczynników przy różniczkach współrzędnych punktów dowiązania,
- J – macierz jednostkowa.

Macierz współczynników równań normalnych uzyskuje się z zależności

$$N = A^T \cdot P \cdot A \quad (2.150)$$

czyli

$$N = \begin{bmatrix} A_r^T & 0 \\ A_s^T & J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_r & 0 \\ 0 & P_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_r & A_s \\ 0 & J \end{bmatrix} \quad (2.151)$$

gdzie

$$P_r = \begin{bmatrix} \frac{1}{m_\alpha^2} & & & \\ & \frac{1}{m_l^2} & & \\ & & \frac{1}{m_x^2} & \\ & & & \frac{1}{m_y^2} \end{bmatrix} \quad (2.152)$$

zaś

$$P_s = (\text{cov}(X, Y))^{-1} \quad (2.153)$$

Macierz kowariancji współrzędnych punktów sieci uzyskuje się z zależności

$$\text{cov}(x, y) = (A^T P A)^{-1} \quad (2.154)$$

zaś średnie błędy współrzędnych położenia punktów oblicza się ze wzorów:

$$m_x = \sqrt{V(x)} \quad (2.155)$$

$$m_y = \sqrt{V(y)} \quad (2.156)$$

$$m_p = \sqrt{V(x) + V(y)} \quad (2.157)$$

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń w tabeli 2.13 zestawiono średnie wartości średniego błędu położenia punktu sieci $m_s = \frac{m_p}{n}$ oraz wartości maksymalne m_{\max} najbliższej wyznaczonego (środkowego) punktu w sieci.

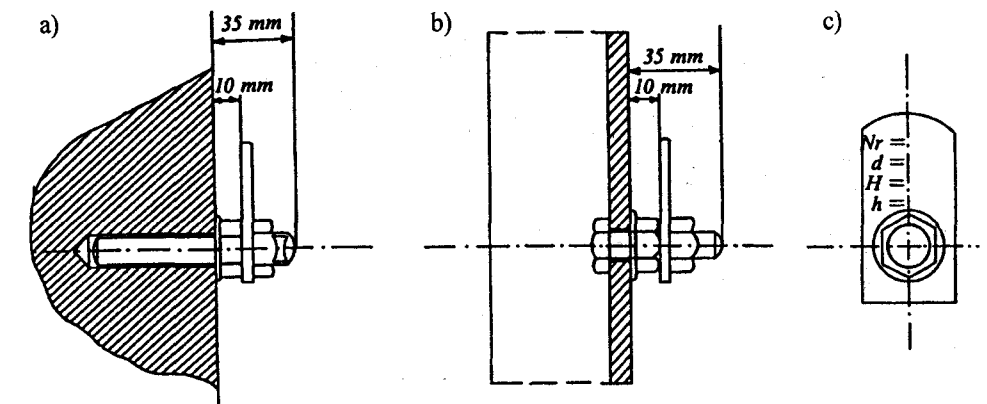
Tabela 2.13
Charakterystyka dokładności sieci kolejowej

Rodzaj sieci	Błędy średnie [mm]			
	Punkt środkowy sieci			m_s
	m_x	m_y	m_{\max}	
odcinek 1000 m prostoliniowy	1,4	2,5	2,8	2,5
krzywoliniowy ($R = 2500$ m)	2,2	2,6	2,3	2,3
odcinek 2000 m prostoliniowy	1,5	4,8	5,0	3,8
krzywoliniowy ($R = 2500$ m)	1,6	3,6	3,9	3,1

W podsumowaniu można stwierdzić, że istnieją możliwości wyznaczenia położenia najbliższego punktu w sieci wydłużonej (rys. 2.124) z dokładnością ± 5 mm, jeśli:

- obserwacje kątów i długości w sieci wykonane zostaną w dobrych warunkach atmosferycznych ($m_\alpha = \pm 8''$, $m_l = \pm 1$ mm);
- długość ciągu poligonowego o bokach 200 m nie przekroczy 2000 m;
- współrzędne punktów dwustronnego nawiązania ciągu poligonowego (punkty odniesienia) wyznaczone zostaną metodą statyczną GPS (± 3 mm).

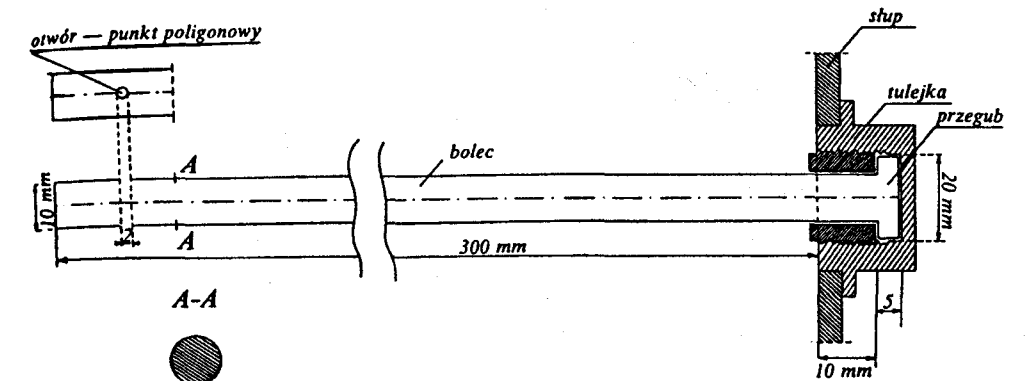
Przedstawione na rysunkach 2.123 i 2.124 punkty na słupach utrwała się różnego rodzaju znakami wkręcany, spawanymi lub mocowanymi przy użyciu obejmy.



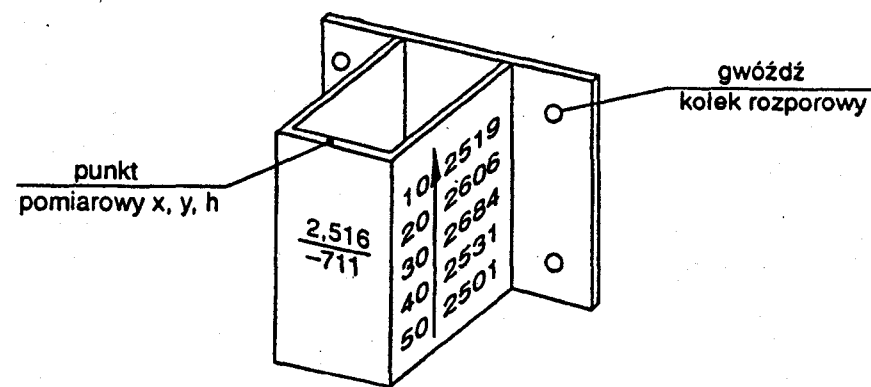
Rys. 2.125. Znak utrwalający wskaźnik regulacji i punkt osnowy geodezyjnej [18]: a) znak osadzony w słupie betonowym; b) znak osadzony w słupie metalowym; c) znak widoczny z przodu

Jednym z nich jest znak pełniący funkcję wskaźnika regulacji i utrwalający punkt osnowy geodezyjnej (rys. 2.125). Składa się on z bolca przymocowanego do słupa na wysokości 300–400 mm nad poziomem szyn. Na bolcu tym mocowana jest płyta o łukowatej krawędzi górnej z wypisanymi: numerem punktu, odległością d płytki od najbliższej szyny, różnicą wysokości H pomiędzy projektowaną niweletą a najwyższym punktem płytki, przechyłką h . Po odkręceniu płytki na bolca można nakręcić nośnik teodolitu i sygnału dalmierczego. Istnieje więc możliwość ustawiania instrumentu bądź na przenośnym statywie, bądź bezpośrednio na nośniku złączonym ze słupem.

Proponuje się też mocowanie do słupa tulejki z gwintem. Do tulejki takiej można wkręcić bolca utrwalający swą powierzchnią czołową wskaźnik regulacji. Inny bolca, o długości 30 cm, wkręcany w tulejkę ma nawiercony otwór utrwalający punkt poligonowy (rys. 2.126).

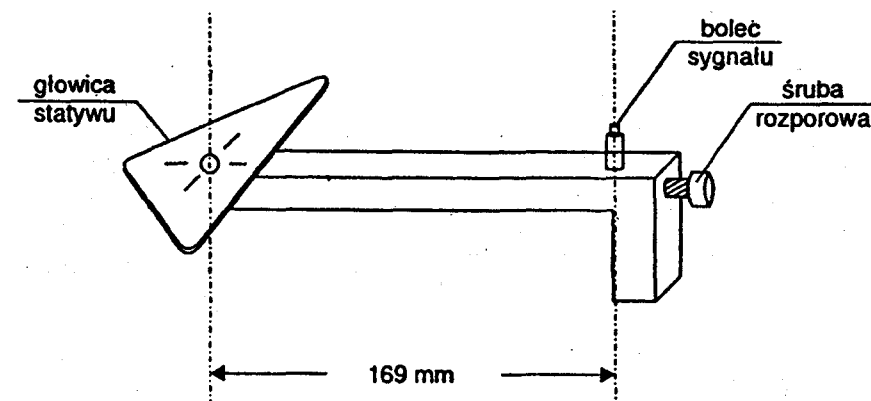


Rys. 2.126. Znak wkręcany w tuleję [18]

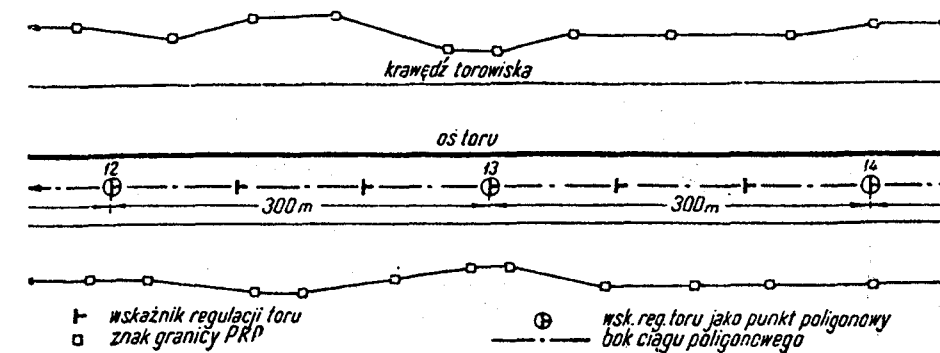


Rys. 2.127. Znak uniwersalny [9]

W Instrukcji D-19 [11] przedstawiono znak uniwersalny, składający się z odpowiednio ukształtowanego elementu przymocowanego do słupa (rys. 2.127) na wysokości 0,70 m nad niweletą toru. Jest to wskaźnik regulacji, zawierający dane dotyczące położenia osi toru. Na ścianie czołowej w formie ułamka podana jest odległość od osi teoretycznej toru i przewyższenie górnej krawędzi znaku nad projektowaną niweletą. Na ścianie bocznej znajduje się wykaz strzałek osi teoretycznej od tzw. długiej cięciwy utworzonej przez punkty nawiercone w górnych krawędziach kształtowników, umocowanych na sąsiednich słupach. Nawiercone punkty utrwalają również osnowę geodezyjną. Do pomiarów kątów i odległości korzysta się ze specjalnych statywów (rys. 2.128), na których można ustawiać instrument.

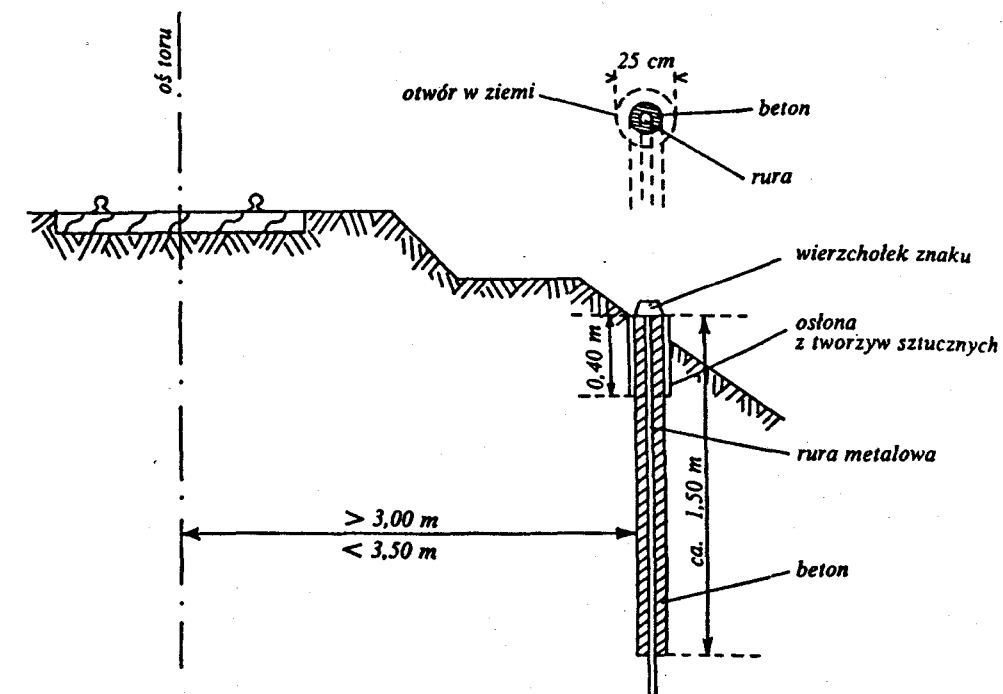


Rys. 2.128. Statyw mocowany do znaku uniwersalnego [9]

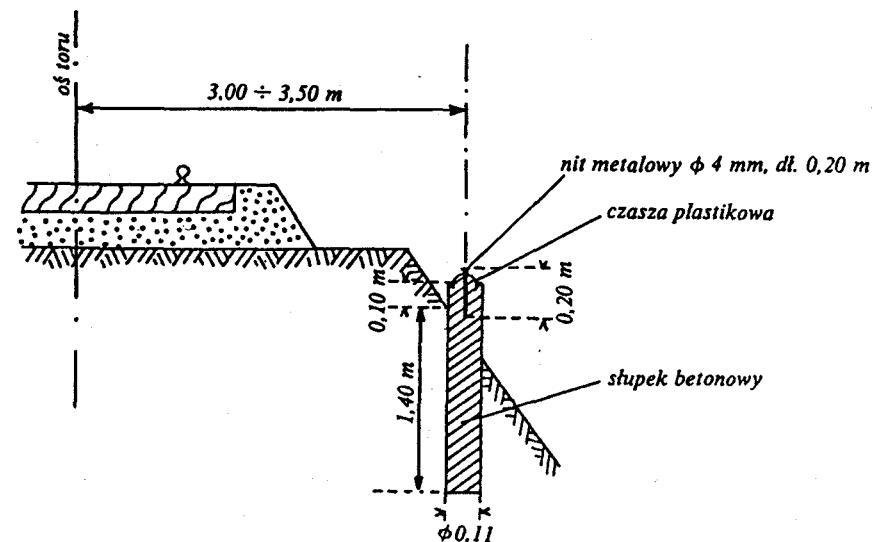


Rys. 2.129. Wykorzystanie ziemnych wskaźników regulacji jako punktów osnowy geodezyjnej [14]

Na liniach nie zelektryfikowanych punkty poligonowe utrwalano dawniej bezpośrednio na szynowych wskaźnikach regulacji toru (rys. 2.129), zaś obecnie utrwalają się znakami metalowymi osłoniętymi rurą wypełnioną betonem (rys. 2.130) lub słupami betonowymi (rys. 2.131). Te dwa ostatnie znaki pełnią rolę wskaźników regulacji i punktów poligonowych.



Rys. 2.130. Znak rurowy [18]



Rys. 2.131. Znak betonowy prefabrykowany [18]

Wzdłuż linii kolejowych zakłada się również repery w odległościach około 1–1,5 km w terenie otwartym oraz co 500 m w terenie zabudowanym. Wysokości tych reperów uzyskuje się na podstawie precyzyjnych pomiarów niwelacyjnych prowadzonych w dowiązaniu do reperów sieci państwowej I, II i III klasy. Punkty wysokościowe utrwalają się znakami ściennymi lub znakami betonowymi osadzonymi w gruncie. Dolna podstawa znaku powinna znaleźć się poniżej poziomu zamrzania gruntu (około 120 cm).

2.6.2. Pomiary sytuacyjne

Pomiarami sytuacyjnymi obejmuje się wszystkie szczegóły znajdujące się w granicach pasa terenu kolejowego. Wyróżnić tu można urządzenia techniczno-kolejowe, obiekty budowlane i szczegóły gruntowo-katastralne. Zgodnie z wymogami Instrukcji G-4 – *Pomiary sytuacyjno-wysokościowe* wszystkie szczegóły sytuacyjne dzielą się na trzy grupy dokładnościowe, różniące się wyrazistością obrysów i ważnością użytkową.

Do pierwszej grupy dokładnościowej zalicza się szczegóły o wyraźnych i jednoznacznie określonych obrysach, konturach i granicach. Są to: osie torów, rozjazdy, ukresy, szerokości międzytorzy, słupy trakcji elektrycznej, semafony i tarcze ostrzegawcze, znaki kilometrowe i hektometrowe, znaki utrwalające oś stacji, wskaźniki regulacji, wskaźniki pochylenia, obiekty inżynierskie, mosty, wiadukty, przepusty, tunele, mury oporowe, skrzyżowanie różnych urządzeń z torem, elementy naziemne uzbrojenia terenu, perony, latarnie, pomniki, figury, trwałe ogrodzenia, punkty załamania granic działek, znaki granicy państwa, granice podziału administracyjnego.

W drugiej grupie dokładnościowej o mniej wyraźnych i mniej trwałych konturach wymienić można następujące szczegóły: kontury budowli ziemnych, place, zieleńce, trawniki, drzewa.

Ostatnia grupa dokładnościowa obejmuje: kontury użytków gruntowych i klasyfikacyjnych, naturalne linie brzegowe wód płynących i stojących, linie podziałowe w lasach, punkty załamania dróg dojazdowych i inne obiekty o niewyraźnych konturach.

Wszelkie pomiary sytuacyjne opiera się na istniejącej osnowie, stosując metody i instrumenty zapewniające uzyskanie wymaganej dokładności wyznaczenia położenia punktów reprezentujących zdejmowane szczegóły. Dotychczas stosowano głównie metodę rzędnych i odciętych, korzystając z odpowiednio uformowanych osnow sytuacyjnych o bokach równoległych do osi torów. Ta metoda zapewnia uzyskanie wysokich dokładności pomiaru mimo stosowania prostych przyrządów. Obecnie pomiary sytuacyjne prowadzi się metodą biegunową z wykorzystaniem tachymetrów elektronicznych. Przy istnieniu osnowy o punktach utrwalonych na słupach trakcji pomiary powinny być prowadzone metodą swobodnego stanowiska. Stanowisko to nie musi być trwale stabilizowane, lecz powinno być markowane przynajmniej na czas wykonywania obserwacji. Długości celowych mogą osiągać nawet kilkaset metrów, gdyż wzrost długości nie obniża znacząco dokładności ich pomiaru. Ewentualne skracanie celowych wynika z szybkiego narastania błędów poprzecznych, zależnych od dokładności pomiarów kątowych i występowania znaczących wpływów refrakcji bocznej, szczególnie w dni słoneczne.

Pomiary sytuacyjne urządzeń technicznych i obiektów budowlanych na terenach kolejowych powinny być prowadzone z uwzględnieniem wymagań ustalonych w odpowiednich normach i przepisach. W szczególności w przepisach tych znajdują się zalecenia odnośnie doboru punktów i linii reprezentujących obiekty obserwowane, jak również scharakteryzowane są wymiary, które powinny być ustalone w toku pomiarów. Na prostych odcinkach toru punkty osi zdejmowane są co 50 m, na łukach o promieniu większym od 400 m co 20 m, a na łukach o promieniu mniejszym od 400 m co 10 m. Punkty osi toru odtwarza się przy użyciu szablonu nakładanego na górne powierzchnie szyn (rys. 2.132).



Rys. 2.132. Szablon torowy

Przy pomiarze rozjazdów prostych (rys. 2.27) zdejmuje się punkt początkowy *A* (złącze przedigliczne), punkty końcowe rozjazdu *PP'* (złącza za krzyżownicą). Wyznacza się skos rozjazdu i długość rozjazdu, czyli odległość pomiędzy punktami *A* i *P* w torze głównym, a także ustala się typ rozjazdu, jeśli jest zaznaczony na szynie. Skrzyżowania i rozjazdy krzyżowe reprezentują cztery punkty będące stykami szyn za krzy-

żownicami. Właśnie te punkty podlegają pomiarom, a w przypadku rozjazdu krzyżowego wyznacza się jeszcze położenie środka tego rozjazdu.

W budynkach leżących blisko torów punkty wyznaczone reprezentują zarówno ich przyziemia, jak i inne wyżej położone fragmenty występujące poza obrys przyziemia. Podobnie postępuje się przy pomiarach peronów wyznaczając obrys przyziemia i kształt ich górnych krawędzi. Położenie semaforów, tarcz, słupów, wskaźników itp. ustala się przez wyznaczenie położenia osi pionowej tych urządzeń na wysokości powierzchni terenu, a także wyznaczenie zewnętrznych obrysów fundamentów, jeśli są one widoczne.

Miarami kontrolnymi w pomiarach sytuacyjnych są: miary czołowe budynków, długości i szerokości peronów, długości rozjazdów, szerokości międzytorzy, odległości pomiędzy punktami granic, długości mostów, wiaduktów, tuneli itp.

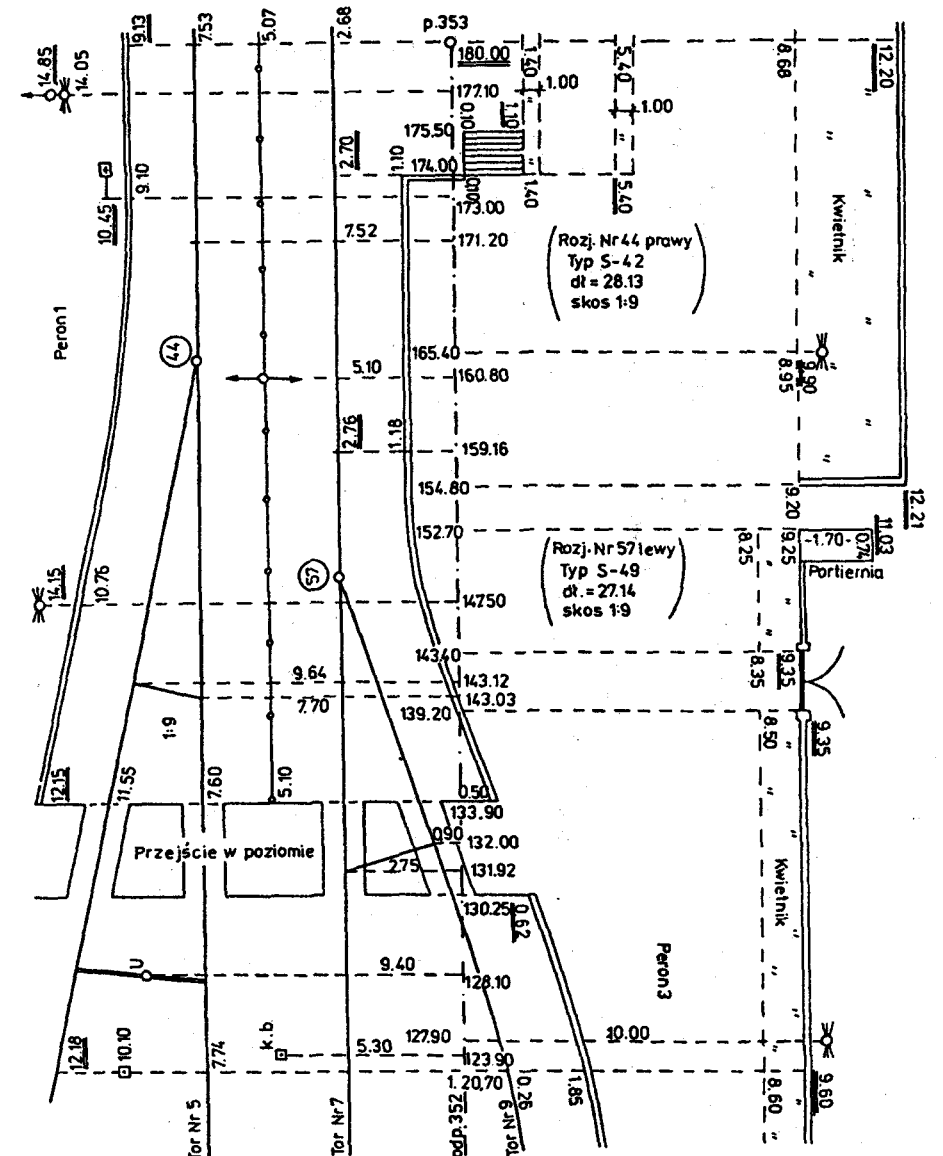
Wyniki pomiarów sytuacyjnych przedstawia się na szkicach połowych. Dla pomiarów prowadzonych metodą rzędnych i odciętych na szkicu podaje się wszystkie miary pozyskane w terenie (rys. 2.133), zaś szkic sporządzony dla metody biegunowej zawiera numery punktów obserwowanych (rys. 2.134) i ewentualnie miary kontrolne. Do przedstawiania szczegółów sytuacyjnych na szkicach stosuje się znaki umowne zestawione w tabeli 2.14. Ponadto na szkicach wypisuje się nazwy obiektów zdejmowanych, rodzaje użytków gruntowych, rodzaje obiektów budowlanych, numery budynków i nieruchomości.

Końcowym rezultatem pomiaru szczegółów są mapy sytuacyjne, gruntowe i schematyczne.

Mapa sytuacyjna sporządzana jest w skali 1:1000, a dla fragmentów stacji o dużym zagęszczeniu szczegółów sytuacyjnych (np. złożone główlice rozjazdów, górki rozjazdowe itp.) stosuje się skale 1:500 i 1:200. Mapy sytuacyjne sporządza się w układzie sekcyjnym, przy czym z uwagi na wydłużony kształt szlaków i stacji przyjmuje się układ skręcony względem kierunku północnego tak, aby podłużna oś szlaku była równoległa do dłuższej ramki arkusza, przy czym kilometrąż wzrasta od lewej do prawej strony.

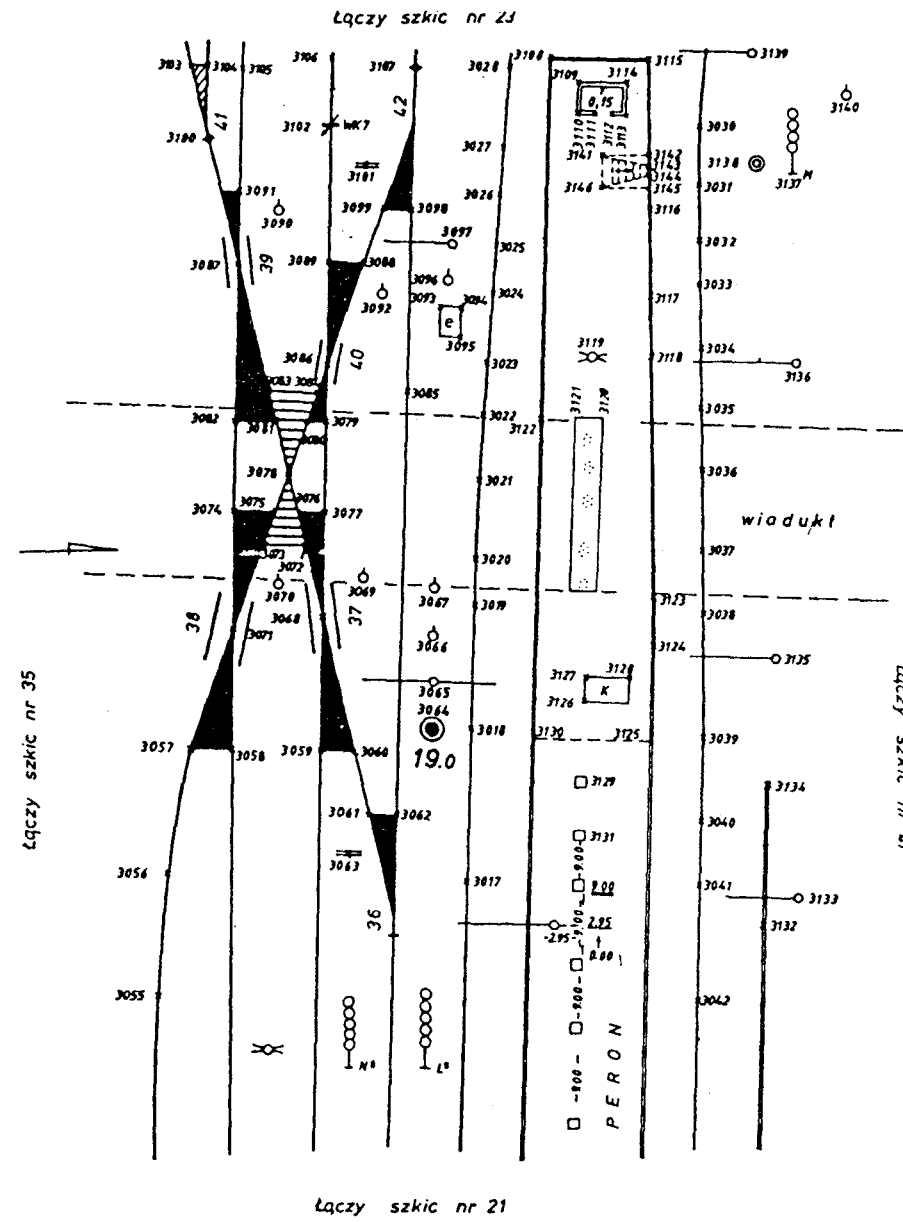
Podstawową treścią map kolejowych są układy torów i urządzenia techniczne z nimi związane, a także szczegóły gruntowo-katastralne. Tory przedstawione są pojedynczymi liniami będącymi ich osiami. Podaje się odległości pomiędzy tymi liniami, wyznaczone z pomiarów bezpośrednich w przekrojach poprzecznych usytuowanych co 100 m. Tory i rozjazdy na stacjach numeruje się cyframi arabskimi.

Tor główny zasadniczy prawy w liniach dwutorowych otrzymuje numer 1, zaś tor lewy numer 2. Pozostałe tory stacyjne usytuowane z prawej strony torów głównych zasadniczych otrzymują numery nieparzyste, a z lewej strony numery parzyste (rys. 2.135). Na liniach jednotorowych pierwszy tor stacyjny z lewej strony toru głównego oznacza się numerem 2. Inne tory na stacjach, znajdujące się w rejonach oddalonych od torów szlakowych oznacza się numerami bieżącymi oddzielnie w każdej grupie jak na przykład: w grupie pierwszej 1, 2, 3, ...; w grupie drugiej 11, 12, 13, ...; w grupie trzeciej 101, 102, 103, ...



Rodzaj i nr pomiaru	Rodzaj pracy: Pomiar sytuacji			Szkic połowy nr 41
	Data	Imię i nazwisko, podpis	Krakowskie Województwo	
Pomiarzył	2.03.81	O. Michalec	Krakowskie Województwo	Obiekt: st. Kr. Płaszów
Skartował	13.12.81	I. Wronda	Kraków Miasto-Gmina	Pierwotny
Sprawił	13.05.82	mgr.inż. A. Jamka	Kraków Miasto-Gmina	PKP Oddział Geodezyjny w Krakowie nr jednostki wykonującej pomiar

Rys. 2.133. Szkic z pomiaru sytuacyjnego metodą ortogonalną [17]



Nazwa obiektu	Stacja Zabrze		
	Data	Podpis	woj. <i>katowickie</i>
Pomierzył	04.01	Stanisław Dyduch	Powiat
Skartował	05.01	Anna Zielińska	Miejscowość Zabrze
Sprawdził	05.03	mqr inż. Jerzy Szydło	

Rys. 2.134. Szkic z pomiaru sytuacyjnego metodą biegunową [11]

Tabela 2.14
Znaki umowne

Nr	Przedmiot sytuacyjny na profilu	Znak umowny
7	Mijanka nieczynna	
8	Posterunek odstępowy telegraficzny	
9	Posterunek odstępowy elektromechaniczny	
10	Posterunek odstępowy nieczynny	
11	Przystanek bez posterunku i z posterunkiem odstepowym telegraficznym	
12	Posterunek nieczynny	
1	Stacja bez wodociągu	
2	Stacja z wodociągiem	
3	Stacja z parowozownią	
4	Stacja z obrotnicą	
5	Stacja z trójką obratowym	
6	Mijanka czynna	

Tabela 2.14 cd.

Nr	Przedmiot sytuacyjny na profilu	Znak umowny	Nr	Przedmiot sytuacyjny na profilu	Znak umowny
13	Ładownia bez posterunku i z posterunkiem odsłepowym elektromechanicznym		19	Aparat telegraficzny	
14	Ładownia nieczynna		20	Tarcza ostrzegawcza	
15	Przystanek i ładownia		21	Tarcza ostrzegawcza świetlna	
16	Przystanek i ładownia nieczynna		22	Semafor jednoramienny	
17	Nastawnia		23	Semafor dwuramienny	
18	Aparat telefoniczny		24	Semafor trzyramienny	

Tabela 2.14 cd.

Nr	Przedmiot sytuacyjny na profilu	Znak umowny	Nr	Przedmiot sytuacyjny na profilu	Znak umowny
25	Semafor świetlny dwustawny		31	Przejazd strzeżony obsługiwany na miejscu	
26	Semafor świetlny trzystawny		32	Przejazd strzeżony obsługiwany z odległości	
27	Semafor na pomoście nad torami		33	Przejazd zamykany kluczem	
28	Wskaźnik W16		34	Przejazd z sygnalizacją samoczynną	
29	Wskaźnik W4 zatrzymania się czoła pociągu		35	Przejście piesze w poziomie szyn	
30	Przejazd niestrzeżony		36	Przejście piesze nad torami	

Tabela 2.14 cd.

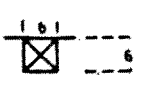
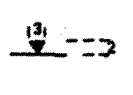



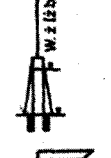
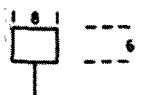

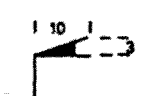
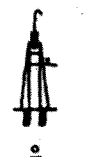
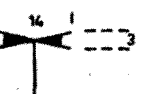

Nr	Przedmiot sytuacyjny na profilu	Znak umowny	Nr	Przedmiot sytuacyjny na profilu	Znak umowny
37	Przejście piesze pod torami		43	Znak wysokościowy	
38	Siedziba Zawiadowcy Odcinka Drogowego		44	Tunel kolejowy	
39	Dom torowy		45	Wiadukt kolejowy	
40	Stróżnica		46	Wiadukt drogowy	
41	Rozjazd		47	Wiadukt kolejki linowej	
42	Skrzyżowanie torów w poziomie		48	Akwedukt rurociągowy	

Tabela 2.14 cd.




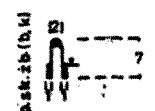
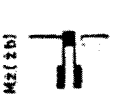
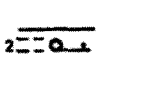
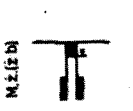
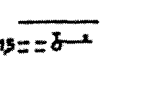

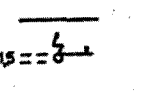

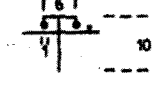
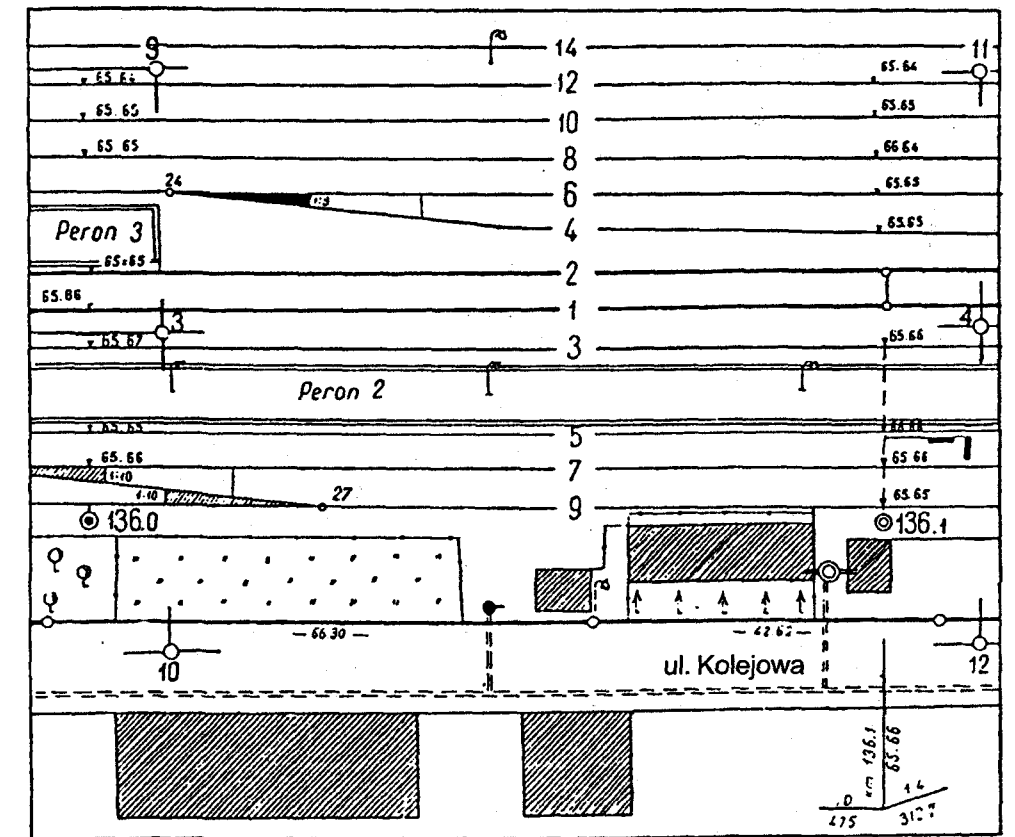
Nr	Przedmiot sytuacyjny na profilu	Znak umowny	Nr	Przedmiot sytuacyjny na profilu	Znak umowny
49	Most kratowy z jazdą dołem		55	Przepust prostokątny	
50	Most kratowy z jazdą górną		56	Przepust sklepiony	
51	Most belkowy z jazdą dołem		57	Przepust rurowy	
52	Most belkowy z jazdą górną		58	Rurociąg	
53	Most sklepiony		59	Kabel elektryczny	
54	Most otwarty pomiędzy podkładami		60	Przewód wysokiego napięcia	

Tabela 2.14 cd.

Nr	Przedmiot sytuacyjny na profilu	Znak umowny
67	Kilometr istniejący na linii	
68	Kilometr państwa osłoniętego	
69	Hektometr o nieprawidłowej długości	
70	Wskaźnik pochylenia	
71	Łuk kolowy bez krzywych przejściowych	
72	Łuk kolowy z krzywymi przejściowymi	
73	1 Niweteta linii kolejowej 2 Profil terenu z prawej strony toru 3 Profil terenu z lewej strony toru	

Nr	Przedmiot sytuacyjny na profilu	Znak umowny
61	Granica państwa	
62	Granica Dyrekcji (D.O.K.P.)	
63	Granica Oddziału Drogowego (D.O.)	
64	Granica Odcinka Drogowego (D.Z.)	
65	Granica Działki Roboczej (D.T.)	
66	Kilometr projektowany	



Rys. 2.135. Numeracja torów [14]

Rozjazdy numeruje się kolejno w kierunku rosnącego kilometrażu z ewentualnym wyróżnieniem oddzielnych grup, np. w grupie pierwszej: 100–199, w grupie drugiej: 200–299 itd. Szczegóły sytuacyjne wykreśla się na mapie cienkimi liniami, z wyjątkiem torów głównych, które dla odróżnienia kreśli się liniami grubymi. Rozjazd zwyczajny przedstawia się w postaci schematycznej przez jego punkty charakterystyczne (A, M, P, P') i podanie skosu 1:n. Rozjazdy krzyżowe na mapie symbolizują punkty końcowe i punkt środkowy (punkt matematyczny). Inne szczegóły i urządzenia techniczno-kolejowe przedstawia się na mapach za pomocą symboli i opisów zgodnie z instrukcjami K-1 i D-19.

Mapa gruntowa jest odrysem z mapy sytuacyjnej. Jej treść stanowią: granice pasa terenów kolejowych, granice administracji państwowej i kolejowej, budynki, kilometraż linii kolejowej, drogi, rzeki, użytki rolne, działki gruntów wraz z ich numeracją. Wykonany na materiale przezroczystym odrys jest podstawowym dokumentem kolejowej księgi gruntów.

Mapa schematyczna stacji przedstawia położenie kolejowych szczegółów sytuacyjnych i urządzeń technicznych za pomocą znaków umownych w pewnym uproszczeniu i zmniejszeniu i jest wykonywana w skali podłużnej 1:4000 lub 1:2000 i w skali poprzecznej 1:1000 lub 1:500. Pierworys tej mapy opracowuje się na podstawie bezpośrednich pomiarów terenowych lub na podstawie mapy sytuacyjnej stacji i szczegółowego profilu podłużnego linii kolejowej. Treścią mapy schematycznej są szczegóły techniczno-kolejowe przedstawione na mapach sytuacyjno-wysokościowych stacji z wyłączeniem przebiegu tras urządzeń podziemnych oraz rysunku warstwicy i rzędnych wysokości terenu i torów. Wprowadza się tu wiele opisów związanych z funkcjonowaniem stacji oraz informacji zestawionych w tabelach, a dotyczących: torów i peronów, typów rozjazdów, wzajemnych odległości semaforów i rozjazdów, odległości tarcz ostrzegawczych od osi stacji, odległości semaforów od nastawni dysponującej itp. Mapy schematyczne stanowią integralną część regulaminów technicznych stacji i korzysta się z nich do prowadzenia nadzoru i kontroli prac eksploatacyjno-ruchowych. Tego typu map nie można wykorzystać do opracowania projektów przebudowy i rozbudowy stacji.

Mapa numeryczna jest systemem informatycznym przedstawiającym w sposób nowoczesny obraz terenu kolejowego. Tworzą ją zbiory współrzędnych x, y, z punktów reprezentujących teren i obiekty kolejowe. Na podstawie zbiorów punktów o znanych współrzędnych można w sposób graficzny przedstawić obraz terenu (mapę) w dowolnej skali określonej przez użytkownika. Opracowanie mapy numerycznej stało się możliwe z chwilą użycia do pomiarów tachymetrów elektronicznych upraszczających wyznaczanie pozycji punktu metodą biegunową i dzięki wykorzystaniu do opracowań kameralnych techniki komputerowej.

W podstawowym zakresie edycja mapy numerycznej obejmuje:

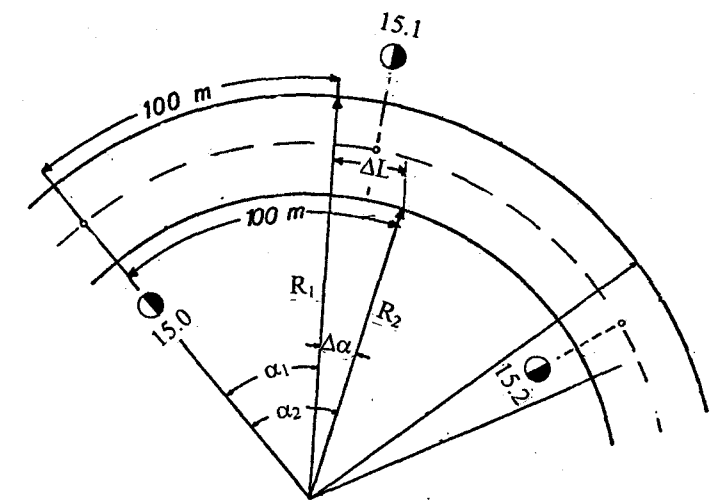
- mapę sytuacyjno-wysokościową,
- mapę ewidencji gruntów,
- mapę ewidencji urządzeń podziemnych.

2.6.3. Profil eksploatacyjny

Oprócz profili budowlanych, stanowiących podstawę do projektowania i budowy torowiska oraz innych obiektów inżynierskich, sporządza się profile eksploatacyjne linii kolejowych. Profile linii eksploatowanych wykorzystywane są przez służbę drogową do prowadzenia prac nawierzchniowych i bieżących napraw toru, a także przez służbę ruchu do formowania składów pociągów, ustalania dopuszczalnych prędkości itp.

Prace związane z wykonaniem profilu podłużnego rozpoczynają się od sprawdzenia lub ponownego przeprowadzenia kilometrowania linii kolejowej, w celu utrwalenia wskaźników kilometrowych i hektometrowych oraz określenia sytuacyjnego położenia

szczegółów techniczno-kolejowych i budowlanych. Początkiem kilometrowania jest zazwyczaj oś budynku stacyjnego, oś posterunku, środek peronu, zaś w szczególnych przypadkach początek rozjazdu. Osie, od których rozpoczyna się kilometrowanie, powinny być utrwalone wskaźnikami (od 2 do 4) osadzonymi w widocznych miejscach. Ten początek kilometrażu zaznacza się na tokach szyn zewnętrznych linii dwutorowej i na obydwu tokach linii jednotorowej. Wzdłuż wymienionych toków odkłada się odcinki 100-metrowe, uzyskując dwa punkty, przy czym po zrutowaniu jednego z nich na drugi tok szyny użytej do kilometrowania rozbieżność między obydwoma punktami nie powinna być większa od błędu granicznego pomiaru długości. Punkt hektometrowy sytuuje się w środku odcinka wyznaczonego przez punkty końcowe obydwu toków pomierzonych po zrutowaniu tych punktów na jeden wybrany tok szyny.



Rys. 2.136. Kilometraż linii kolejowej na łukach kołowych
Objaśnienia w tekście

Odkładanie odcinków stumetrowych na krzywoliniowych odcinkach toru prowadzi się podobnie jak na odcinkach prostoliniowych. Następnie przerzutowuje się punkt 100 m z toku zewnętrznego na tok wewnętrzny (rys. 2.136). Uzyskana odchyłka długości ΔL powinna być zgodna z wielkością teoretyczną otrzymaną ze wzoru

$$\Delta L = R_2 \frac{\Delta \alpha}{\rho''} \quad (2.158)$$

Wzór (2.158) po uwzględnieniu zależności

$$\Delta \alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = 100 \cdot \rho'' \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right),$$

przyjmie postać

$$\Delta L = 100 \left(1 - \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (2.159)$$

Punkt hektometryowy sytuuje się w połowie odcinka ΔL .

Odkładanie odległości wzdłuż obydwu toków szyn prowadzi się zazwyczaj przy użyciu dwudziestometrowych taśm stalowych, z uwzględnieniem w wynikach pomiaru poprawek z tytułu komparacji oraz różnic temperatur i różnic sił naciągu występujących podczas pomiaru i komparacji. Na łukach o promieniach mniejszych od 300 m długość 100 m odkłada się odcinkami dziesięciometrowymi, zaś na łukach o promieniach większych i na odcinkach prostoliniowych odcinkami dwudziestometrowymi. Do kilometrowania linii można również użyć dalmierzy elektronicznych, szczególnie na prostoliniowych odcinkach toru. Wskaźniki kilometrowe i hektometryowe utrwalają się słupkami betonowymi lub tablicami umieszczonymi na słupkach trakcji elektrycznej.

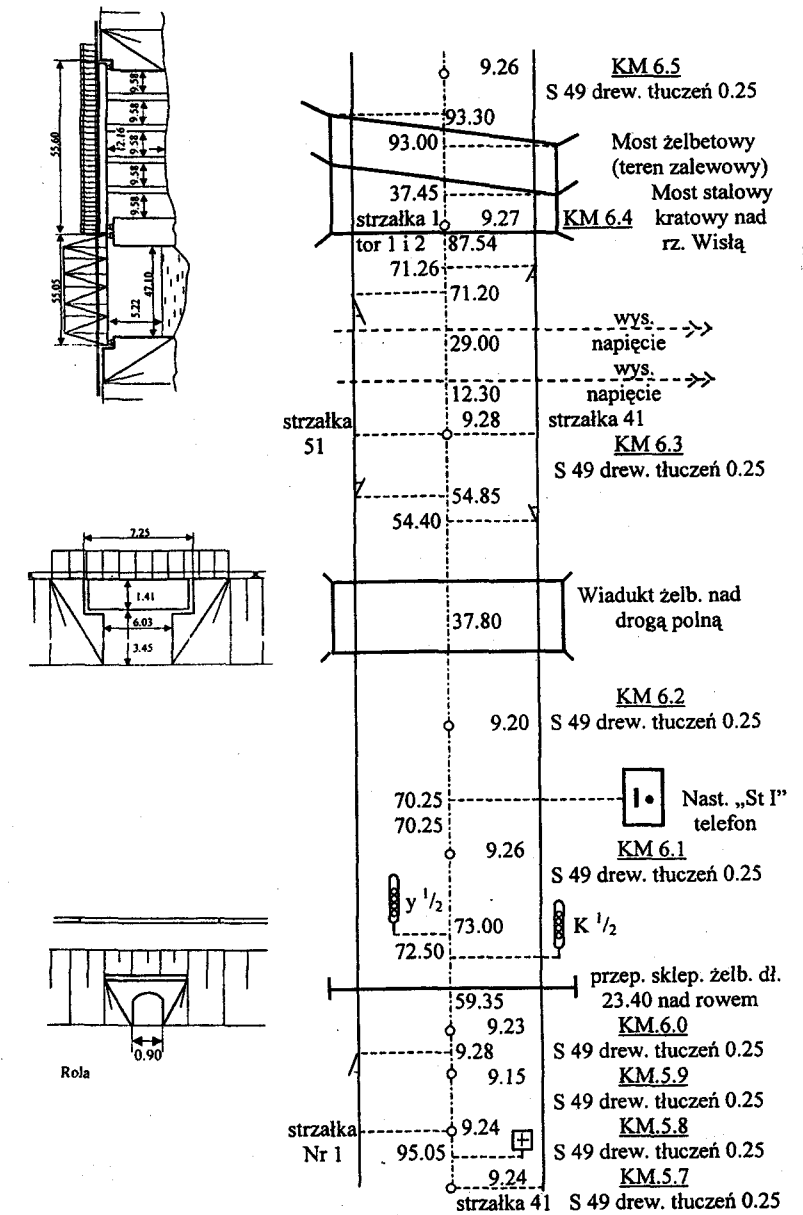
Kolejna czynność w procedurze sporządzania profili polega na odrzutowaniu wszystkich szczegółów profilowych na prawą szynę linii jednotorowej i dwutorowej na jej odcinkach prostoliniowych. Jeśli linia przebiega w łuku, to szczegóły odrzutowuje się na obydwie toki skrajne.

Do obiektów profilowych należą:

- osie stacji, mijanek, przystanków, ładowni, przejazdów drogowych;
- początki, środki i końce mostów oraz wiaduktów, a także osie filarów;
- początki i końce tuneli;
- skrzyżowania torów w poziomie;
- początki wszystkich rozjazdów w torach głównych oraz środki rozjazdów krzyżowych;
- wskaźniki regulacji osi torów, znaki hektometryowe i kilometrowe, znaki załomów profilu, znaki wysokościowe;
- wszystkie inne urządzenia niewymienione wyżej, a wyszczególnione w tabeli 2.14.

Wszystkie wyżej wymienione szczegóły odrzutowuje się na toki szyn przy użyciu prostokątnego szablonu lub węgielnicy. Odrzutowane punkty oznacza się białą farbą olejną na główce, stopce i szyjce szyny od strony ławy torowiska. Miejsca niwelowane na linii dwutorowej odrzutowuje się na toki skrajne odcinków prostych i na toki wewnętrzne odcinków krzywoliniowych. Punkty niwelowane zaznacza się krzyżykiem na szyjce szyny, niezależnie od oznaczenia ich normalną kreską. Osie stacji lub mijanek oznacza się na prawym toku prawego toru głównego i opisuje na szyjce szyny hasłem: „oś stacji” lub „oś mijanki”.

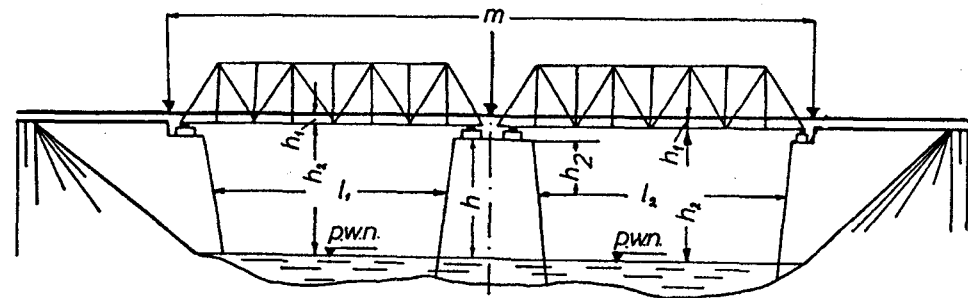
Pikietaż na łukach torów, które nie były regulowane, prowadzi się co 10 m, a nawet co 5 m, jeśli promienie łuków są mniejsze od 300 m. W punktach tych dokonuje się pomiaru strzałek. Jeśli natomiast regulacja torów była przeprowadzona, to na szkicu pikietażu nanosi się położenia wskaźników regulacji oznaczających początek i koniec krzywych przejściowych.



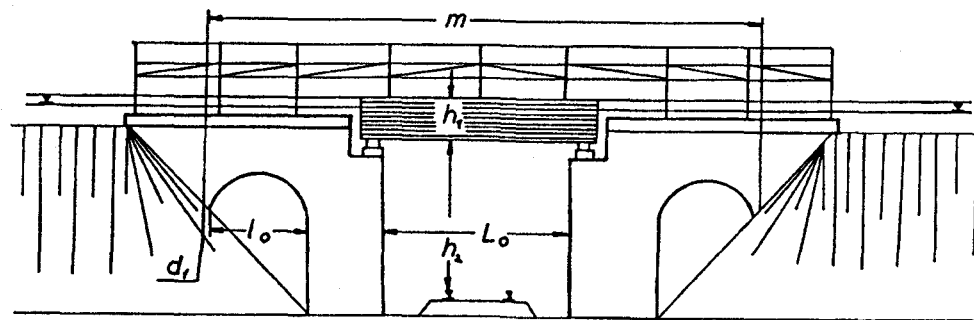
Rys. 2.137. Szkic połowy z pomiaru sytuacyjnego dla sporządzenia profilu eksploatacyjnego

Położenie punktów zaznaczonych na tokach szyn określa się w odniesieniu do znaków hektometryowych lub innych punktów związanych z kilometrażem linii. Prowadzony pikietaż przedstawia się na szkicu połowym (rys. 2.137), uzupełnionym rysunkiem odpowiednio zwymiarowanych budowli inżynierskich.

Przykłady sposobów tego wymiarowania przedstawiono na rysunkach 2.138 i 2.139. Pomiar szczegółów profilowych wykonywany jest łącznie z kilometrowaniem linii. Na rozciągniętej taśmie odczytuje się wtedy położenie punktów zaznaczonych na szynie. Przy wykonywaniu kilometrażu na łukach odczyty na taśmach ułożonych wzdłuż toków: wewnętrznego i zewnętrznego należy poprawić tak, aby odpowiadały one kilometrażowi osi toru lub osi linii. Po przygotowaniu pikietażu linii wykonuje się niwelację punktów profilowych, czyli wszystkich punktów oznaczonych na szynie krzyżkami. Niweluje się górne powierzchnie odpowiednich toków szynowych w tych punktach. Na liniach jednotorowych są to punkty na toku prawym odcinka prostoliniowego lub na toku wewnętrznym odcinka krzywoliniowego. Na liniach dwutorowych niweluje się odpowiednie punkty na tokach skrajnych i punkty na tokach wewnętrznych. Na stacjach niwelację profilową prowadzi się wzdłuż toków szyn toru głównego zasadniczego. Ponadto niweluje się wszystkie toki szyn wzdłuż osi przejazdu usytuowanego na łuku linii kolejowej oraz punkty osi drogi po 50 m w obie strony od osi linii (toru). Niwelacją obejmuje się również charakterystyczne punkty terenu u podnóża nasypu lub krawędzie przekopów z obu stron osi toru.



Rys. 2.138. Wymiarowanie mostu; p.w.n. – poziom wody niskiej



Rys. 2.139. Wymiarowanie wiaduktu

Na podstawie wykonanego pikietażu, uzupełnionego zwymiarowanymi budowlami inżynierskimi i wynikami niwelacji punktów profilowych, sporządza się szczegółowy profil podłużny w skali 1:5000/200. Profil ten przedstawia niweletę toru, krawędzie przekopów i nasypów na poziomie powierzchni topograficznej z użyciem linii ciągłej dla prawej strony toru i linii przerywanej dla lewej strony. Wszelkie obiekty budowlane i urządzenia kolejowe przedstawia się na profilu za pomocą oznaczników zestawionych w tabeli 2.14 wraz ze skrótami i liczbami opisującymi przedstawiony obiekt (rys. 2.140).

Projekt niwelety opracowuje się na profilu szczegółowym, zachowując skalę podłużną 1:5000 i stosując skalę wysokości 1:20. Niweletę projektuje się graficznie, a jej rzędne wyznacza się analitycznie. Projektowana niweleta powinna odtwarzać stan istniejący i wyrównywać zapadnięcia w torach. Załomy niwelety w których suma dwóch sąsiednich pochyłeń jest większa od 2,5% wyokrągla się łukiem kołowym.

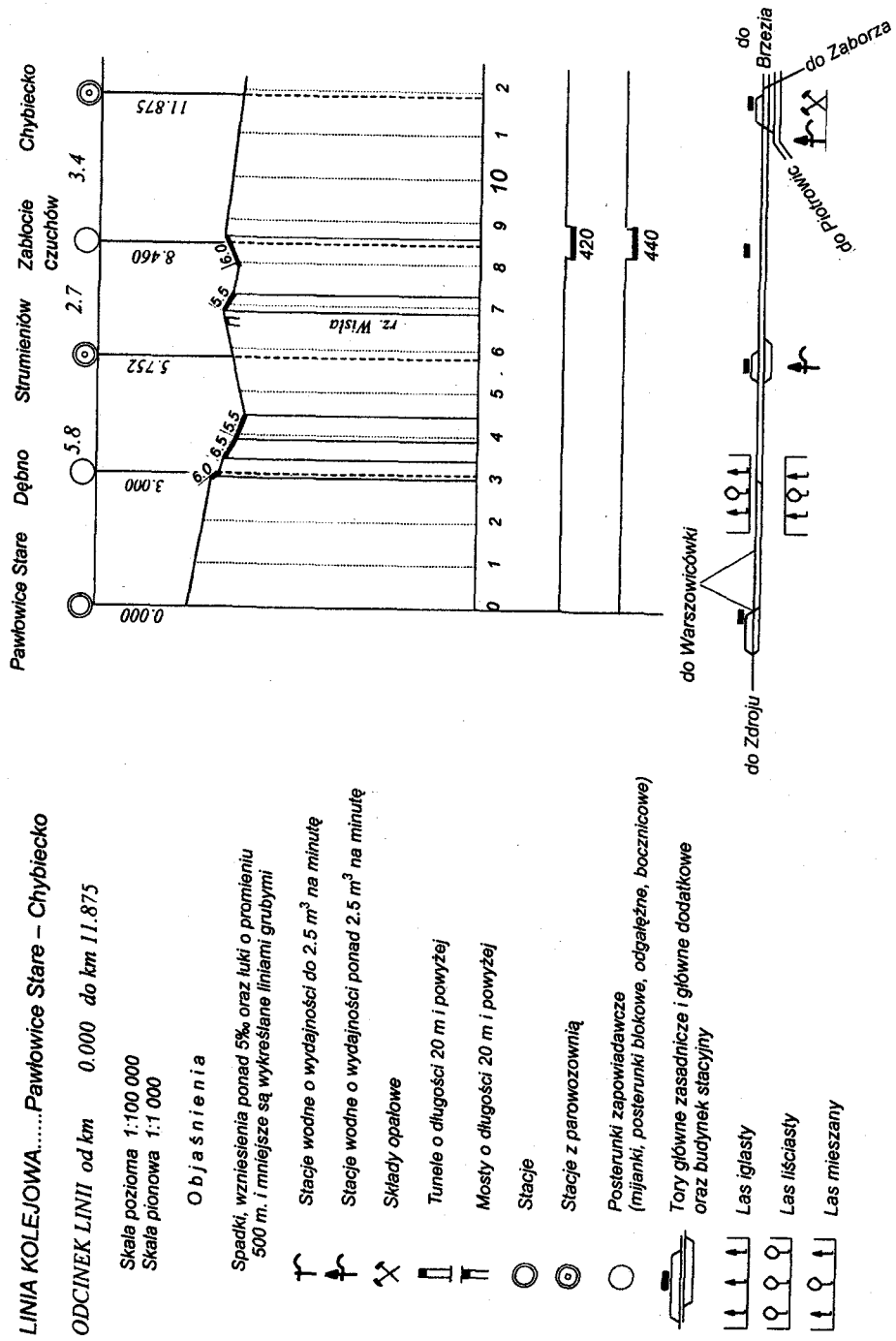
Pierworys profilu szczegółowego jest dwukolorowy. W kolorze czarnym przedstawia się stan istniejący, zaś w kolorze czerwonym elementy nowe i projektowane. Do elementów nowych należą: zmieniony kilometraż oraz wszystkie szczegóły rysunkowe, literowe i cyfrowe projektowanej niwelety toru.

W oparciu o profil szczegółowy sporządza się profil kieszonkowy. Nie zawiera on żadnych rzędnych wysokości i pozbawiony jest nazw stacji, mijanek, przystanków, rzek, dróg itp. Niweletę symbolizuje znacznik, na którym podaje się spadki lub wzniesienia i odpowiadające im długości. Z lewej strony wskaźnika pochylenia wpisuje się jego odległość od poprzedniego hektometra, z prawej zaś zapisuje się dane dotyczące łuku wyokrąglającego załom. W dolnej części wykresu umieszcza się wskaźniki regulacji osi toru oraz typ szyn, rodzaj podkładów i podsypki (rys. 2.141). Wyróżnia się jeszcze profil skrócony (rys. 2.142) wykonywany w skali 1:100 000/1000 dla odcinków wyszczególnionych w rozkładzie jazdy w granicach poszczególnych DOKP. Kilometraż podany jest w pełnych dziesiątkach kilometrów.

Na profilu wykazuje się:

- tory główne zasadnicze,
- tory główne dodatkowe,
- mosty o długości powyżej 20 m,
- tunele,
- lasy znajdujące się w pasie o szerokości 2000 m,
- składy opału.

Linie rysunku profilu różnią się między sobą grubością. Liniami pogrubionymi wykreśla się niweletę o pochyleniu powyżej 5% oraz łuki kołowe o promieniu mniejszym niż 500 m.



Rys. 2.142. Profil skrócony

Literatura

- [1] Bałuch H.: *Optymalizacja układów geometrycznych toru*. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności 1983
- [2] Bałuch H.: *Układy geometryczne połączeń torów*. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności 1988
- [3] Basiewicz T.: *Projektowanie linii kolejowych*. Skrypt, Kraków, Politechnika 1982
- [4] Bogdaniuk B.: *Modernizacja dróg kolejowych przy elektryfikacji*. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności 1988
- [5] Instrukcja D-1 – *Przepisy techniczne utrzymania i eksploatacji nawierzchni na liniach kolejowych normalnotorowych użytku publicznego*. Warszawa, Ministerstwo Komunikacji 1982
- [6] Gmyrek J., Gocał J.: *Charakterystyka dokładnościowa zintegrowanej osnowy kolejowej*. Półrocznik AGH Geodezja, t. 5, z. 1, 1999
- [7] Gocał J., Kadaj R.: *Adjusting the railway track axis in the horizontal plane using the analytical – numeric method*. Proceedings of the Geodesy and Environmental Engineering Commission, Geodesy, 39, 5–19, 2002, Polish Academy of Sciences – the Kraków Section
- [8] Gocał J., Lenda G., Strach M., Uznański A.: *Experimental Inventory Measurements of the Railway Tracks by a RTK GPS Method*. Proceedings of the Geodesy and Environmental Engineering Commission Geodesy, 40, 14–33, 2003, Polish Academy of Sciences the Kraków Section
- [9] Gogoliński W.: *Koncepcja zintegrowanej osnowy kolejowej*. Półrocznik AGH Geodezja, t. 4, z. 1, 1998
- [10] Gogoliński W., Uznański A.: *Badanie geometrii osi torów kolejowych techniką RTK-GPS*. Półrocznik AGH Geodezja, t. 5, z. 1, 1999
- [11] Instrukcja D-19 – *O organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej*. Warszawa, PKP 1992
- [12] Lenda G.: *Automatyzacja procesu obliczeniowego regulacji osi torów kolejowych*. Półrocznik AGH Geodezja, t. 7, z. 2, 2002, 275–284
- [13] Lenda G.: *Application of spline functions in adjustment of rail tracks*. Geodezja i Kartografia, t. 51, z. 3, 2002, 153–166
- [14] Praca zbiorowa – *Pomiary specjalistyczne, część 1*. Warszawa, PPWK 1968
- [15] Praca zbiorowa – *Zmechanizowane utrzymanie nawierzchni kolejowej*. Warszawa, 1970
- [16] Rola F. (red.): *Geodezja inżynierjno-przemysłowa, Wykłady, część II*. Wydanie trzecie, Kraków, AGH 1991
- [17] Rola F. (red.): *Miernictwo kolejowe, tom 1, 1989, tom 2, 1992*. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności 1988
- [18] Rola F. (red.): *Geodezja inżynierjna tom III*. Wydanie drugie zmienione, Warszawa, PPWK 1993

- [19] Retscher G.: *3D-Gleiserfassung mit einem Multisensorsystem und linearen Filterverfahren*. Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 44, Institut für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie. TU Wien, 1996
- [20] Sobotnik W.: *Geodezyjna obsługa podbijarek somoniwelujących*. Przegląd Kolejowy Drogowy, 12/70
- [21] Strach M.: *Ocena możliwości wykorzystania techniki satelitarnej RTK GPS do regulacji osi torów kolejowych*. Kraków, AGH 2003 (rozprawa doktorska)
- [22] Sysak J.: *Drogi kolejowe*. Warszawa, PPWK 1982
- [23] Szajer R.: *Drogi kolejowe*. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności 1971
- [24] Pelz M.: *Drogi kolejowe*. Politechnika Krakowska 1986

3. Prace geodezyjne w budownictwie drogowym

Jan Gocał, Dariusz Tomaszewski

3.1. Informacje ogólne

Drogi kołowe publiczne i wewnętrzne

Drogi publiczne ze względu na stopień dostępności i zakres obsługi przyległego terenu dzieli się na drogi szybkiego ruchu i drogi ogólnodostępne; ze względów technicznych rozróżnia się również:

- drogi szybkiego ruchu: autostrady A (dawniej I kl.), drogi ekspresowe S (II kl.);
- drogi ogólnodostępne: główne ruchu przyspieszonego GP (III kl.), główne G (IV kl.), zbiorcze Z (V kl.), lokalne L (VI kl.), dojazdowe D (VII kl.).

Drogi publiczne w klasyfikacji funkcjonalnej dzieli się na:

- drogi krajowe (klasy: A, S, GP, wyjątkowo G), pozostające w gestii Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA), do których zalicza się: drogi o znaczeniu ogólnokrajowym (autostrady, drogi ekspresowe), obronnym, drogi łączące stolicę z miastami wojewódzkimi oraz łączące miasta wojewódzkie między sobą, a także inne drogi o istotnym znaczeniu gospodarczym lub turystycznym;
- drogi wojewódzkie (klasy G i Z, wyjątkowo GP), łączące poszczególne miasta, a także miasta z innymi mniejszymi miejscowościami, pozostające w gestii zarządów wojewódzkich;
- drogi powiatowe (klasy G i Z, wyjątkowo L) i gminne (klasy L i D, wyjątkowo Z), stanowiące uzupełniającą sieć służącą potrzebom miejscowym, pozostające w gestii zarządów powiatowych i gminnych;
- drogi wewnętrzne, do których należą: drogi zakładowe, łączące drogi gminne z zakładami produkcyjnymi, obszarami leśnymi, dworcami kolejowymi i autobusowymi oraz portami morskimi i lotniczymi.

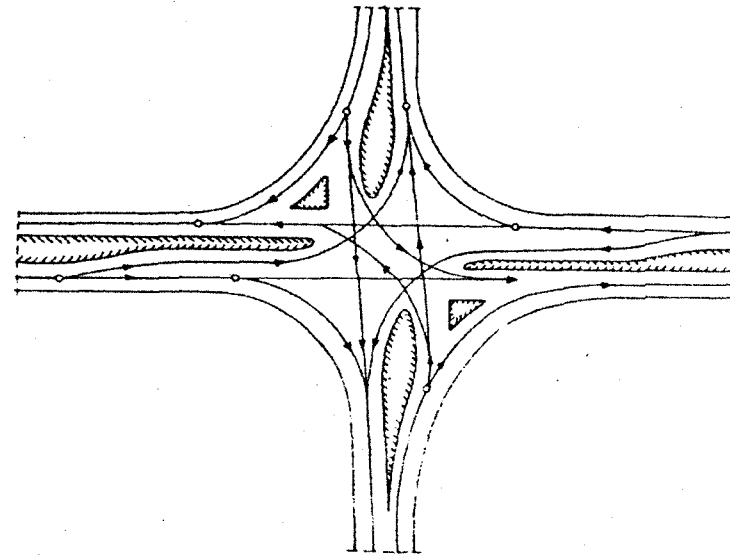
Autostrada nie obsługuje przyległego terenu (wjazd na autostradę i wyjazd z niej w ściśle określonych miejscach) i jest drogą klasy technicznej A, przeznaczoną wyłącznie do ruchu pojazdów samochodowych, posiadającą dwie trwale rozdzielone jed-

nokierunkowe, wielopasowe jezdnie z bezkolizyjnymi, wielopoziomowymi węzłami na wszystkich przecięciach z innymi trasami komunikacyjnymi. Wyposażona jest również w urządzenia do obsługi podróżnych i pojazdów, przeznaczone wyłącznie dla jej użytkowników. Autostrady posiadają specjalne oznakowanie, wyróżniające je w sieci dróg publicznych. Stosuje się następujące prędkości projektowe: 80, 100, 120 km/h.

Droga ekspresowa (klasa techniczna S) również nie obsługuje przyległego terenu i składa się z dwu trwale rozdzielonych wielopasowych jezdni lub z jednej jezdni dwukierunkowej, przeznaczonych wyłącznie do ruchu pojazdów samochodowych. Jest ona wyposażona w węzły bezkolizyjne lub skrzyżowania z odpowiednią sygnalizacją. Przyjmuje się następujące prędkości projektowe: 80, 100 i 120 km/h.

Skrzyżowania i węzły drogowe

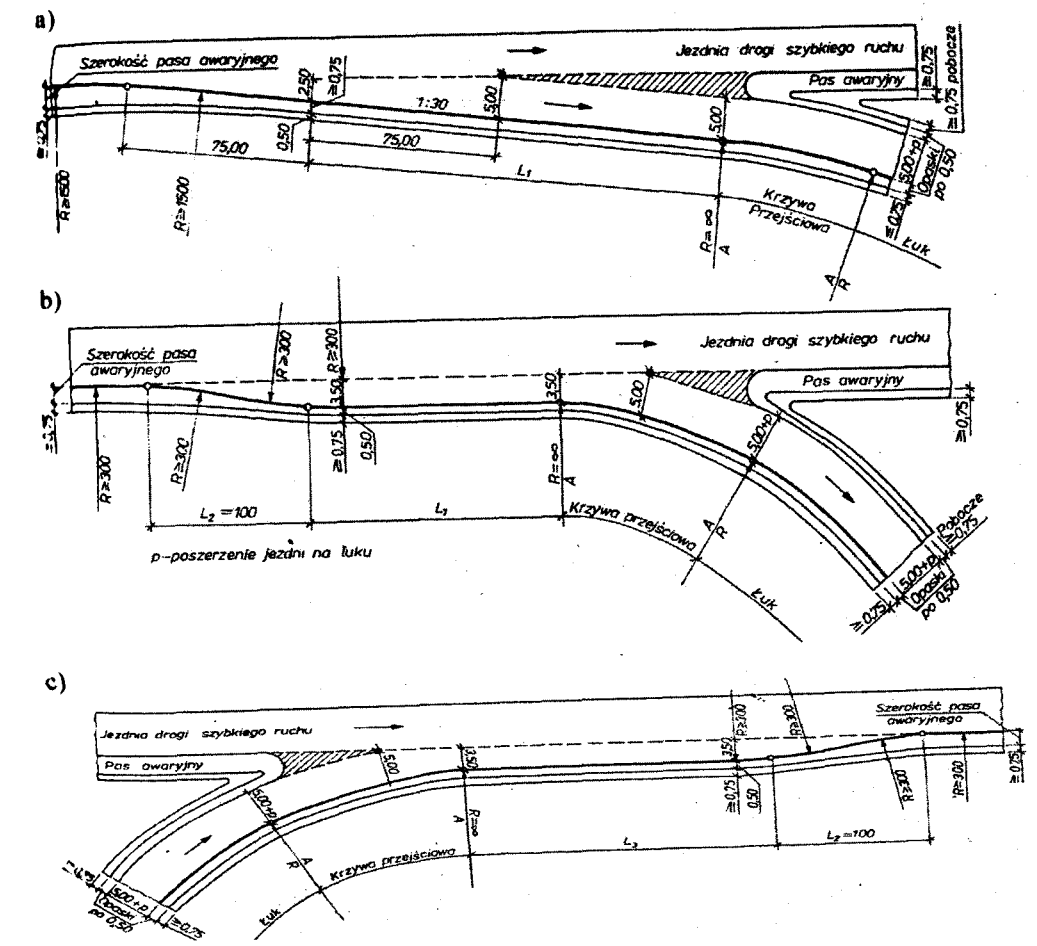
Skrzyżowanie jest przecięcie lub połączenie dróg w jednym poziomie, umożliwiające pełny lub częściowy wybór kierunku jazdy. Rozróżnia się rozwidlenia dróg oraz skrzyżowania wieloramienne. Ze względu na sposób regulacji ruchu wyróżnia się: skrzyżowania zwykłe – nie posiadające żadnych urządzeń regulacyjnych; skrzyżowania skanalizowane, w których kierunki ruchu regulują wysepki (rys. 3.1); skrzyżowania o ruchu okrężnym (ronda).



Rys. 3.1. Czteroramienne skrzyżowanie skanalizowane

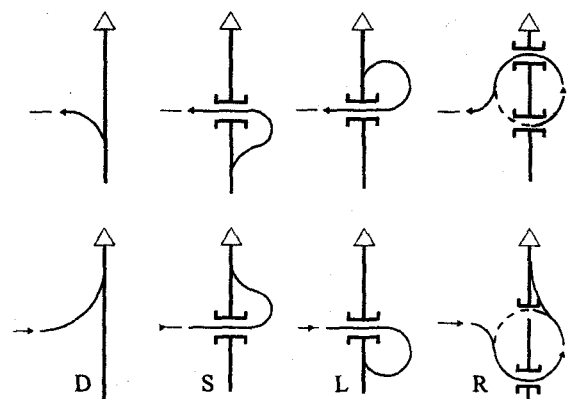
Węzeł drogowy jest to konstrukcja inżynierska umożliwiająca bezkolizyjne przecięcie dwóch lub więcej dróg samochodowych w różnych poziomach, bez połączeń lub z zapewnieniem połączeń między tymi drogami za pomocą łącznic. Zasadniczymi elementami węzłów drogowych są: drogi główne (przelotowe), łącznice składające się

z pasa wyłączania, drogi łącznikowej i pasa włączania (lub skrzyżowania) oraz skrzyżowania będące połączeniem dróg ogólnodostępnych z łącznicami umożliwiającymi wymianę ruchu między krzyżującymi się drogami. Pasy włączeń i wyłączzeń są to dodatkowe pasy ruchu, na których pojazd może przemieścić się z jezdni głównej na drogę łącznikową i odwrotnie (rys. 3.2).

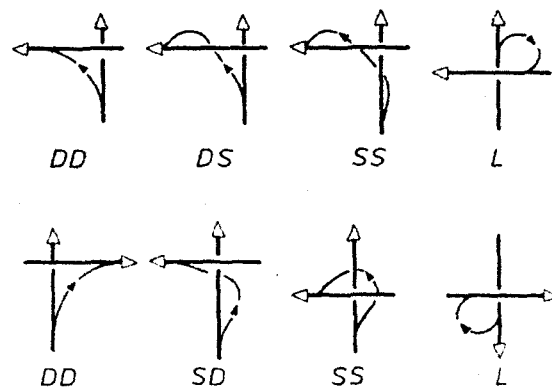


Rys. 3.2. Pasy wyłączania i włączania na zamiejskich drogach szybkiego ruchu: a) pas wyłączania ukośny (kierunkowy); b) pas wyłączania równoległy; c) pas włączania równoległy

Łącznice mogą być bezpośrednie (D), półbezpośrednie (S), pośrednie (L) i związane z ruchem okrężnym (R). Przykładowe typy łącznic wjazdowych i wyjazdowych przedstawiono na rysunku 3.3, a kombinacje łącznic stosowanych do połączenia z jezdnią główną na rysunku 3.4.



Rys. 3.3. Typy łącznic wjazdowych i zjazdowych dla pojazdów skręcających w lewo: D – bezpośrednie, S – półbezpośrednie, L – pośrednie, R – z ruchem okrężnym [4]



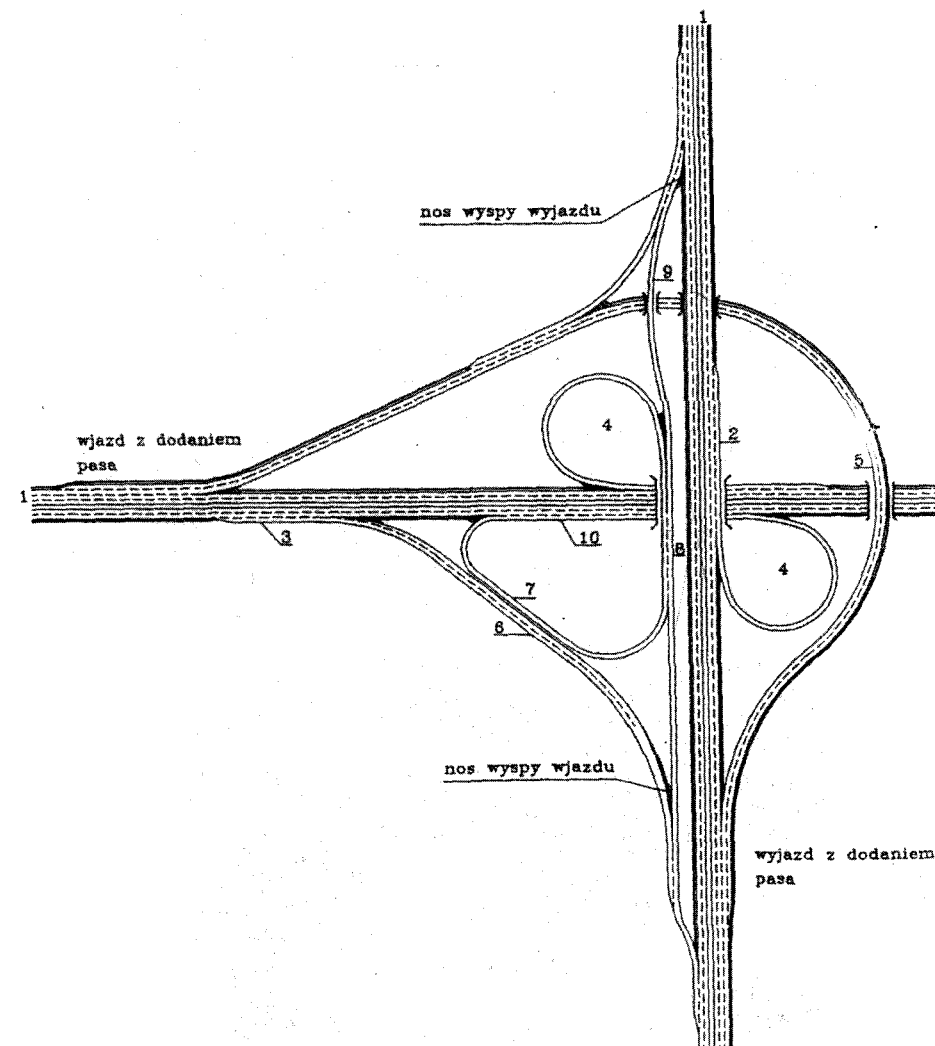
Rys. 3.4. Kształty łącznic [4]
Objaśnienia jak na rysunku 3.3

Rozróżnia się trzy główne grupy węzłów, oznaczane literami:

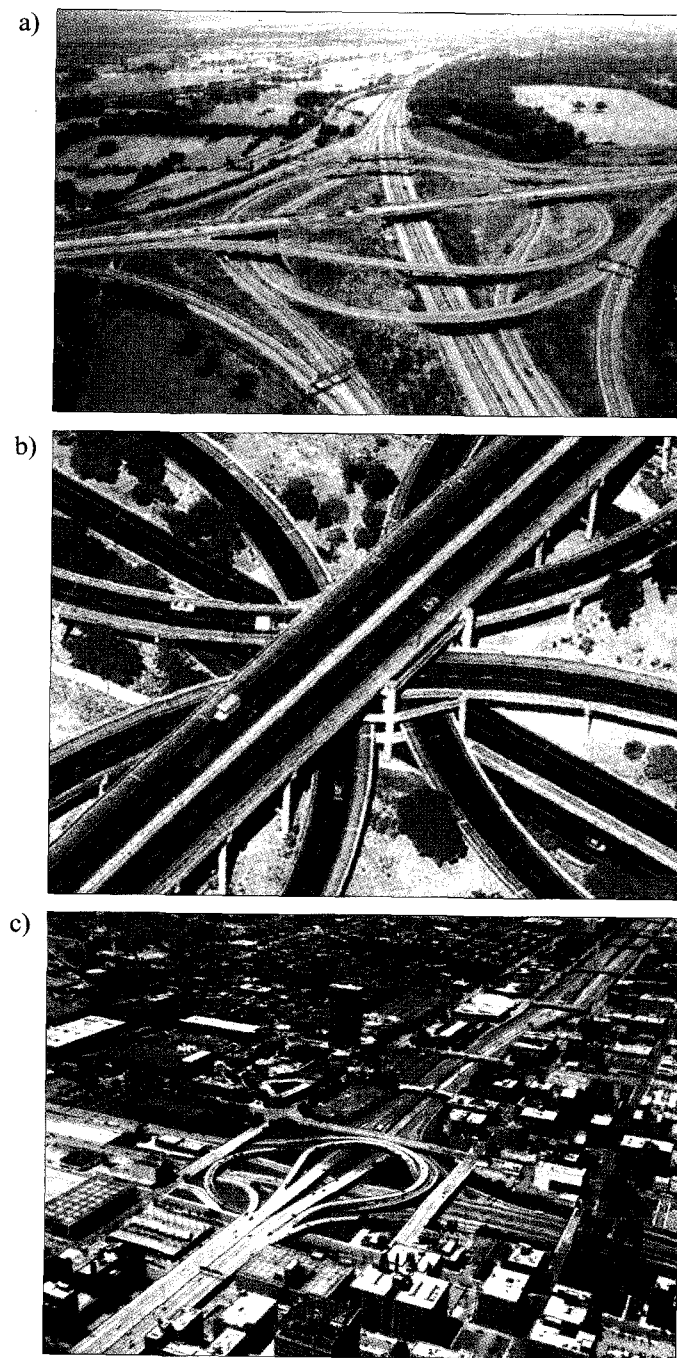
- WA – węzły bezkolizyjne, na których nie występuje przecinanie torów jazdy, a skręcanie realizuje się jako manewry włączenia, wyłączenia i przeplatania;
- WB – węzły z ograniczoną kolizyjnością, na których dopuszcza się przecięcie torów jazdy pojazdów na drogach niższych klas, jednak kierunki o dominujących natężeniach ruchu prowadzone są bezkolizyjnie;
- WC – węzły kolizyjne, na których tylko jezdnie główne krzyżują się na różnych poziomach, natomiast manewry skrętne na obu drogach odbywają się na skrzyżowaniach.

Węzły grupy WA projektowane na przecięciu dróg szybkiego ruchu są całkowicie bezkolizyjne, a jedyny dostęp do krzyżujących się dróg jest zapewniony przez pasy

wyłączania, włączania i przeplatania. Stopień rozbudowy węzła, decydujący o jego sprawności zależy głównie od rangi krzyżujących się dróg i może być wyrażony liczbą pasów dla ruchu przelotowego, liczbą pasów na łącznicach oraz wyposażeniem węzła w urządzenia dodatkowe. W tej grupie wyróżnia się węzły typu koniczyna, budowane w obszarach miejskich i podmiejskich. Jedną z odmian takiego węzła przedstawiono na rysunku 3.5. Na rysunku 3.6 uwidoczniono zrealizowane koncepcje rozwiązania węzłów grupy WA.

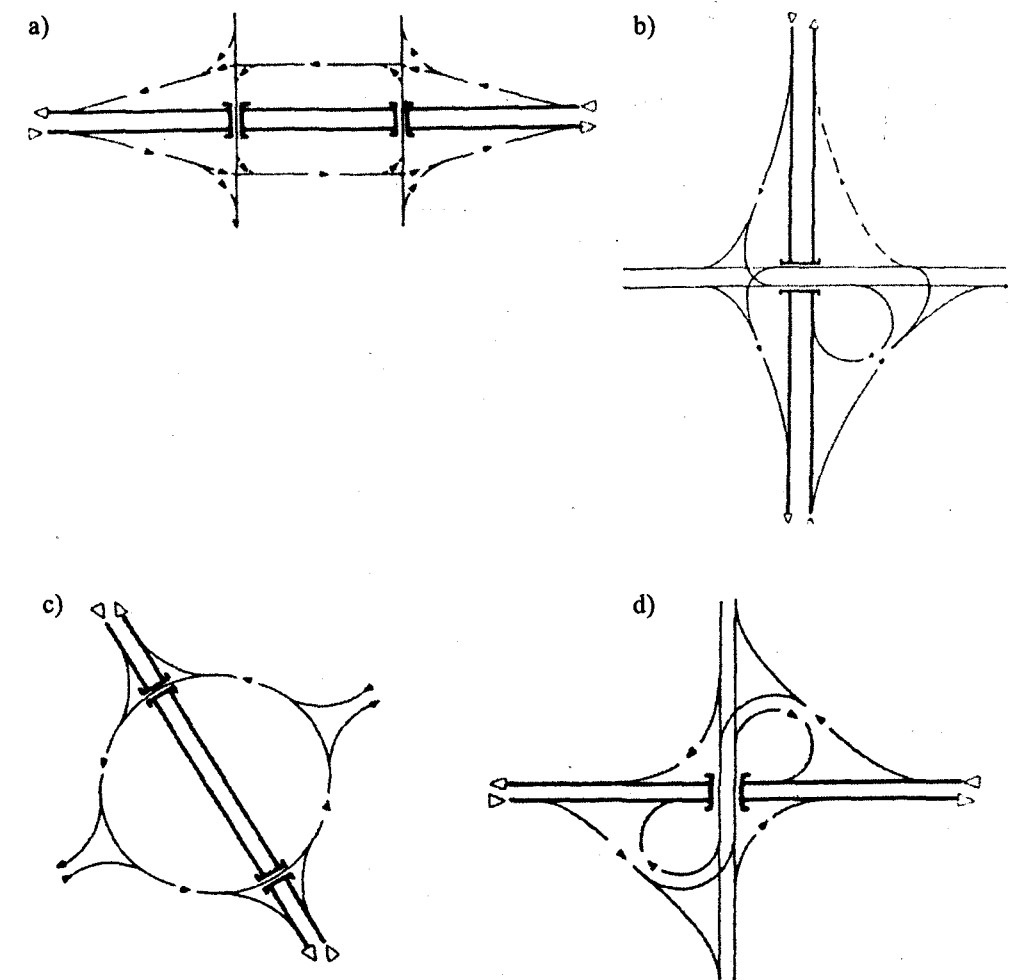


Rys. 3.5. Węzeł autostradowy WA: 1 – jezdnia główna, 2 – wjazd, pas włączenia, 3 – wyjazd, pas wyłączenia, 4 – łącznica pośrednia, 5 – łącznica półbezpośrednia, 6 – łącznica bezpośrednia dopasowana, 7 – łącznica pośrednia dopasowana, 8 – obszar przeplatania, 9 – jezdnia zbierająco-rozpraszająca, 10 – dodatkowy pas w obszarze przeplatania, pas awaryjny, wiadukt



Rys. 3.6. Przykładowe rozwiązania węzłów: a) Leeds w Anglii; b) Caracas w Wenezueli; c) Chicago w USA

Węzły grupy WB są budowane na przecięciach dróg, z których jedna nie może mieć punktów kolizji, natomiast na drugiej drodze są one dopuszczalne. Takim węzłem łączy się zazwyczaj drogi szybkiego ruchu z drogami podrzędnymi. Rozwiązaniem charakterystycznym dla tej grupy są węzły czterowlotowe typu karo (rys. 3.7).



Rys. 3.7. Węzły grupy WB: a) węzeł karo rozsunięty; b) węzeł karo z łącznicą pośrednią; c) węzeł dwupoziomowy z rondem; d) węzeł typu półkoniczyna o ćwiartkach przeciwnych

Węzły grupy WC mogą być stosowane na drogach i ulicach wszystkich klas, z wyjątkiem autostrad i dróg ekspresowych w mieście. W węzłach tych główne potoki krzyżują się ze sobą bezkolizyjnie, a na każdej z krzyżujących się dróg jest dodatkowo skrzyżowanie z dwukierunkową łącznicą.

3.2. Przepisy prawne i techniczne w procesie projektowania i budowy dróg

W pracach związanych z projektowaniem i budową dróg wykonuje się wiele różnorodnych działań prawnych i technicznych pozyskiwania gruntów i prowadzenia budowy. Następują one po sobie lub przeplatają się i uzupełniają na kolejnych etapach prac nad projektem. Wyróżnić można:

- przygotowanie map do opracowania koncepcji przebiegu trasy drogowej;
- opracowanie koncepcji przebiegu trasy drogowej na bazie przygotowanych map;
- uzyskanie decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu oraz o lokalizacji inwestycji celu publicznego;
- wykonanie pomiarów oraz przygotowanie i uzyskanie klauzuli przydatności szczegółowych map i przekroi przeznaczonych do celów projektowych;
- uzyskanie decyzji lokalizacyjnej zatwierdzonej przez wojewodę (ta decyzja jest jednocześnie projektem podziału działek i pozwoleniem na ten podział);
- wykonanie decyzji o podziale nieruchomości przez utrwalenie na gruncie nowo wyznaczonych punktów granicznych znakami granicznymi;
- udział w procesie pozyskiwania gruntu przez jego nabycie lub wywłaszczenie;
- uzyskanie pozwolenia na budowę;
- wyłonienie wykonawców robót w drodze przetargu;
- geodezyjne opracowanie projektu zagospodarowania terenu;
- założenie geodezyjnych osnów realizacyjnych;
- prowadzenie pomiarów realizacyjnych, kontrolnych, inwentaryzacyjnych i pomiarów przemieszczeń na wszystkich etapach budowy drogi;
- wykonanie inwentaryzacji powykonawczej i aktualizacja map szczegółowych.

Do wykonania wyszczególnionych wyżej prac potrzebna jest szeroka i wszechstronna wiedza inżynierska oraz dobra znajomość przepisów prawnych i technicznych. Rozróżnić tu można: ustawy i rozporządzenia (www.mi.gov.pl), normy budowlane, instrukcje geodezyjne (www.gugik.gov.pl) oraz specyfikacje techniczne Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA). Do szczególnie ważnych należą:

- 1) Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych – obwieszczenie Marszałka Sejmu RP z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie jednolitego tekstu ustawy o drogach publicznych (Dz. U. Nr 204, poz. 208);
- 2) Ustawa z dnia 27 października 1994 r. o autostradach płatnych oraz o Krajowym Funduszu Drogowym (Dz. U. z 2001 r., Nr 110, poz. 1192, z późn. zm. Dz. U. z 2002 r., Nr 25, poz. 253);
- 3) Ustawa z dnia 10 kwietnia 2003 r. o szczegółowych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg krajowych (Dz. U. Nr 80, poz. 721), zwana w skrócie Ustawą Specjalną;
- 4) Ustawa z dnia 29 sierpnia 1997 r. o finansowaniu dróg publicznych (Dz. U. z 2000 r. Nr 71, poz. 838).

- 5) Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – *Prawo budowlane* (Dz. U. z 2003 r., Nr 207, poz. 2016, oraz z 2004 r., Nr 6, poz. 41 i Nr 92, poz. 881, oraz z 2004 r., Nr 93, poz. 888);
- 6) Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. Nr 80, poz. 717, z późn. zm.);
- 7) Ustawa z dnia 17 maja 1989 r. – *Prawo geodezyjne i kartograficzne* (tekst jednolity w Dz. U. Nr 100, poz. 1086, z późn. zm.);
- 8) Ustawa z dnia 21 sierpnia 1997 r. o gospodarce nieruchomościami (Dz. U. z 2000 r., Nr 46, poz. 543, ze zmianami, w tym Ustawą z dnia 28 listopada 2003 r. o zmianie Ustawy o gospodarce nieruchomościami oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. Nr 141, poz. 1942));
- 9) Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. – *Prawo wodne* (Dz. U. Nr 115, poz. 1229);
- 10) Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. z 1997 r., Nr 60, poz. 370 z późn. zm.);
- 11) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 2 września 2004 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej, specyfikacji technicznych wykończenia i odbioru robót budowlanych (Dz. U. Nr 202, poz. 2072);
- 12) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 26 sierpnia 2003 r. w sprawie oznaczeń i nazewnictwa stosowanych w decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego oraz w decyzji o warunkach zabudowy (Dz. U. z 2003 r., Nr 164, poz. 1589);
- 13) Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 16 lipca 2001 r. w sprawie zgłaszania prac geodezyjnych i kartograficznych, ewidencjonowania systemów i przechowywania kopii zabezpieczających bazy danych, a także ogólnych warunków umów o udostępnianiu tych baz (Dz. U. z 2001 r., Nr 78, poz. 837);
- 14) Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. z 2000 r., Nr 63, poz. 735);
- 15) Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. z 1999 r., Nr 43, poz. 430);
- 16) Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 29 września 2001 r. w sprawie ustalenia sieci autostrad, dróg ekspresowych oraz dróg o znaczeniu obronnym (Dz. U. Nr 120, poz. 1283);
- 17) Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 21 lutego 1995 r. w sprawie rodzaju i zakresu opracowań geodezyjno-kartograficznych oraz czynności geodezyjnych obowiązujących w budownictwie (Dz. U. z 1995 r., Nr 25, poz. 133);
- 18) Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 maja 1999 r. w sprawie określenia rodzajów materiałów stanowiących państwowy zasób geodezyjny i kartograficzny, sposobu i trybu ich gromadzenia i wyłączenia z zasobu oraz udostępniania zasobu (Dz. U. z 1999 r., Nr 49, poz. 493);

- 19) Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 2 kwietnia 2001 r. w sprawie geodezyjnej ewidencji sieci uzbrojenia terenu oraz zespołów uzgadniania dokumentacji projektowej (Dz. U. z 2001 r., Nr 38, poz. 455);
- 20) Rozporządzenie Ministrów Spraw Wewnętrznych i Administracji oraz Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 14 kwietnia 1999 r. w sprawie rozgraniczania nieruchomości (Dz. U. z 1999 r., Nr 45, poz. 453);
- 21) Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 lutego 1998 r. w sprawie trybu dokonywania podziałów nieruchomości oraz sposobów sporządzania i rodzajów dokumentów wymaganych w tym postępowaniu (Dz. U. z 1998 r., Nr 25, poz. 130);
- 22) Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz. U. z 2000 r., Nr 70, poz. 821);
- 23) Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 grudnia 2004 r. w sprawie sposobu i trybu dokonywania podziałów nieruchomości (Dz. U. z 2004 r., Nr 268, poz. 2663);
- 24) Ogólne specyfikacje techniczne GDDP Warszawa 1998:
 - GG-00.00.00 – *Wymagania ogólne,*
 - GG-00.11.01 – *Wykonanie mapy do celów projektowania dróg,*
 - GG-00.11.02 – *Założenie osnowy realizacyjnej przy budowie dróg i obiektów mostowych,*
 - GG-00.12.01 – *Pomiar powykonawczy zrealizowanych drogowych obiektów budowlanych,*
 - GG-00.13.01 – *Pomiary przemieszczeń i odkształceń obiektów mostowych metodami geodezyjnymi,*
 - GG-00.21.01 – *Opracowanie materiałów do wniosku o uzyskanie zgody na zmianę przeznaczenia gruntów rolnych i leśnych na cele nierolnicze i nieleśne,*
 - GG-00.21.02 – *Opracowanie materiałów do wniosku o wydanie decyzji na wyłączenie gruntów rolnych i leśnych z produkcji rolniczej i leśnej,*
 - GG-00.21.03 – *Opracowanie dokumentacji geodezyjno-kartograficznej związanej z nabywaniem nieruchomości pod pasy drogowe,*
 - GG-00.21.04 – *Opracowanie dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej związanej z uregulowaniem stanu prawnego gruntów zajętych pod pasy drogowe w latach ubiegłych;*
- 25) Wytyczne projektowania dróg szybkiego ruchu wydane przez Ministerstwo Komunikacji i Centralny Zarząd Dróg Publicznych w 1997 r.;
- 26) Wytyczne projektowania dróg I, II (WPD-1), III, IV i V (WPD-2), VI i VII (WPD-3) klasy technicznej, Zarządzenie nr 5 Generalnego Dyrektora Dróg Publicznych z dnia 31 marca 1995 r.;
- 27) Wytyczne projektowania ulic, cz. I i II, opracowane przez Ministerstwo Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska oraz Biuro Planowania Rozwoju Warszawy, wydane przez Centrum Techniki Budowlanej w 1982 r.;

- 28) Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych cz. 1 i 2 – Zarządzenie Generalnego Dyrektora Dróg Publicznych z dnia 12 czerwca 2001 r.;
- 29) Stadia i skład dokumentacji projektowej dla dróg i mostów w fazie przygotowania zadań. Warszawa, GDDP 2000 r.;
- 30) Geodezyjne instrukcje i wytyczne techniczne:
 - O-2 – *Ogólne zasady opracowania map do celów gospodarczych,*
 - G-1 – *Pozioma osnowa geodezyjna,*
 - G-2 – *Wysokościowa osnowa geodezyjna,*
 - G-3 – *Geodezyjna obsługa inwestycji,*
 - G-3.1 – *Osnowy realizacyjne,*
 - G-3.2 – *Pomiary realizacyjne,*
 - G-4 – *Pomiary sytuacyjno-wysokościowe,*
 - G-4.4 – *Prace geodezyjne związane z podziemnym uzbrojeniem terenu,*
 - G-7 – *Geodezyjna ewidencja sieci uzbrojenia terenu,*
 - K-1 – *Mapa zasadnicza,*
 - K-2 – *Mapy topograficzne do celów gospodarczych,*
 - K-3.1 – *Mapy społeczno-gospodarcze 1:5000, 1:10 000, 1:25 000;*
- 31) Instrukcja techniczna o wykonywaniu pomiaru tras, wydana przez Ministerstwo Gospodarki Komunalnej, Departament Techniki i Dokumentacji w 1969 r.;
- 32) Polskie normy związane z budową dróg i obiektów inżynierskich.

3.3. Dokumentacja geodezyjno-kartograficzna do celów projektowych

3.3.1. Rodzaje map

Mapy są podstawowym narzędziem projektanta na każdym etapie projektowania dróg, od studiów planistycznych do szczegółowych projektów wykonawczych. Bez opracowań geodezyjnych nie jest możliwa praca nad usytuowaniem przebiegu nowej drogi, ani projektowaniem rozwiązań szczegółowych. Geodeci i przygotowywane przez nich mapy, poprzez zapewnienie terminowości i jakości opracowania geodezyjnego, w dużej mierze decydują o powodzeniu procesu projektowego. Co więcej, praca geodetów przygotowujących mapy do celów projektowych jest poddawana największej próbie w trakcie procesu wykupu nieruchomości i na etapie budowy drogi. Błędy występujące na mapie mogą skutkować opóźnieniem inwestycji oraz podniesieniem jej kosztów np. ze względu na niewykrucie uzbrojenia podziemnego lub niewłaściwe odwzorowanie formy terenu. Na każdym etapie procesu projektowego potrzebne są inne mapy o odpowiedniej skali i poziomie szczegółowości. Również wymagania co do jakości i poziomu szczegółowości map są różne. Oprócz map potrzebnych projektantowi do właściwego usytuowania drogi i uzyskania szczegółowych rozwiązań projekto-

wych, potrzebne są również mapy: na potrzeby nabywania nieruchomości; do sporządzenia planu zagospodarowania przestrzennego, podziału nieruchomości; załączane do wniosku o zmianę przeznaczenia gruntów; terenów kolejowych; do opracowania raportu oceny oddziaływania inwestycji drogowej na środowisko i inne.

Mapy do celów projektowych są podstawą do sporządzania projektów budowlanych i wykonawczych. Realizacja rozwiązań projektowych opartych na tych podkładach niesie ze sobą brzemienne w skutki czasowe, prawne i finansowe działania administracyjne i techniczne. Stąd tym mapom stawia się bardzo wysokie wymagania.

Mapa do celów projektowych sporządzana na potrzeby budowy drogi powinna zawierać:

- granice własności (władania) nieruchomości (działek);
- granice istniejącego pasa drogowego sprawdzone pod względem prawnym;
- numery działek;
- granice użytków oraz klasy bonitacyjne gleb;
- informacje o oddziałach i pododdziałach dla obszarów lasów państwowych;
- linie rozgraniczające obszary o różnym przeznaczeniu, według ustaleń miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego;
- rzędne punktów w przekrojach poprzecznych drogi (środek nawierzchni, krawężnie nawierzchni, krawędź korony, dno rowu, przecięcie przeciwskarp z terenem, górę i dół krawężników, chodniki, przyległy teren i inne charakterystyczne punkty), usytuowanych w sposób zapewniający pełne i rzeczywiste, sytuacyjno-wysokościowe odtworzenie drogi w numerycznym modelu terenu, ze szczególnym zagęszczeniem przekrojów na łukach, skrzyżowaniach, przy zatokach, zjazdach i wyspach;
- rzędne istniejących koryt, cieków wodnych (w przypadku cieków zlokalizowanych poprzecznie do drogi pomierzone na odległości około 100–200 m w każdą stronę);
- rzędne wlotów i wylotów oraz średnice i typ przepustów (może być dodatkowy szkic);
- ogrodzenia, furtki, bramy, z podziałem na trwałe i nietrwałe;
- pionowe znaki drogowe;
- znaki kilometrowe i hektometrowe z pikietażem;
- pojedyncze drzewa i skupiska drzew;
- zabytki i pomniki przyrody;
- wyniki inwentaryzacji urządzeń podziemnych odkrytych podczas pomiarów polowych, co do których nie było informacji na mapach, wraz z informacjami dotyczącymi tych urządzeń uzyskanymi od ich właścicieli (tzw. wywiad branżowy wraz z uzgodnieniami branżowymi map);
- projekty innych jednostek branżowych uzgodnione w ZUD;
- rzędne punktów charakterystycznych (np. studni teletechnicznych);
- inne elementy wyposażenia dróg, które nie występują na mapie zasadniczej, jak np. reklamy, bariery ochronne itp.;

- wyniki inwentaryzacji geodezyjnej obiektów inżynierskich w następującym zakresie: skrajnia na obiekcie, skrajnia pod obiektem, rozpiętości przęsła, zwymiarowanie podpór, rzędne nawierzchni w osiach podpór (w tym dylatacje), rzędne terenu pod obiektem, przekrój poprzeczny na obiekcie (krawężnik, chodnik, poręcz, bariery).

Szczególną uwagę należy zwrócić na określenie granic nieruchomości według stanu prawnego zgodnie z wymaganiami Specyfikacji technicznej GG-00.11.01 – *Wykonanie mapy do celów projektowania dróg* (Warszawa, GDDP 1998). Oznacza to, że granice nieruchomości powinny być wyznaczone przez punkty graniczne, których położenie zostało określone w trybie postępowania: rozgraniczeniowego, podziałowego, scaleniowego i podziału nieruchomości (wymiany gruntów), przenoszącego własność (stwierdzenie nabycia nieruchomości), sądowego, dotyczącego założenia katastru nieruchomości. Kwestia właściwego ustalenia i przedstawienia granic na mapie do celów projektowych na tym etapie jest na tyle istotna, że przy dalszych pracach, w razie popełnienia błędu, projekt będzie wykonany nieprawidłowo. Jeśli granice nieruchomości ustalone na podstawie mapy przeznaczonej do celów projektowych nie pokrywają się z granicami rzeczywistymi, wówczas, aby zrealizować projekt, trzeba dokonywać podziałów nieruchomości odcinając od nich paski gruntu o ustalonej szerokości lub należy zmienić rozwiązania projektowe. Również w przypadku istniejących pasów drogowych poprawne odtworzenie pasa drogowego pozwala projektantowi na zastosowanie właściwych rozwiązań, które można zlokalizować w pasie drogowym. Jeśli pas będzie źle odtworzony, na etapie budowy właściciele sąsiednich nieruchomości mogą – i słusznie – protestować. Obecnie na etapie przygotowywania dokumentacji geodezyjnej do wniosku o wydanie decyzji lokalizacyjnej według obowiązującej ustawy o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg krajowych równocześnie opracowuje się mapy do celów projektowych i mapy z projektem podziału. Można wtedy odpowiednio skoordynować te opracowania tak, aby ustalenie granic nieruchomości było na obu mapach właściwe.

Podstawowe wymagania, które powinny zostać uwzględnione przed przystąpieniem do wykonywania mapy pod inwestycję drogową, dotyczą:

- skali mapy;
- układu odniesienia;
- zakresu mapy;
- wymagań ogólnych i szczegółowych wynikających z prawa, przepisów, zaleceń projektanta i innych ustaleń;
- standardów mapy numerycznej;
- numerycznego modelu terenu.

Skala mapy

Zakres skal stosowanych dla map do celów projektowania dróg jest określony w *Prawie budowlanym* i rozporządzeniach wykonawczych (skala od 1:500 do 1:2000). W wielu przypadkach skala map podawana jest w warunkach zamówienia przygotowanych przez zamawiającego (inwestora).

Skalę map dostosowuje się do:

- stopnia zurbanizowania terenu; w przypadku terenów miejskich zalecana jest skala 1:500, a dla terenów płaskich niezurbanizowanych, bez uzbrojenia terenu, można przyjąć skalę 1:2000;
- stopnia skomplikowania projektu; w przypadkach, gdy w niezurbanizowanym terenie przy autostradzie projektowane będą obiekty i urządzenia obsługujące użytkowników drogi, wówczas skala musi być większa;
- skali istniejących map zasadniczych z dopuszczalnym dwukrotnym przeskalowaniem mapy zasadniczej;
- wymagań stawianych przez Ośrodki Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (ODGiK) oraz Zespoły Uzgadniania Dokumentacji Projektowej (ZUDP).

W doborze skali bierze się również pod uwagę czytelność podkładu geodezyjnego oraz możliwość przedstawienia w czytelnej formie wszystkich rozwiązań projektowych (zarówno w formie rysunkowej, jak i opisowej) bez uszczerbku dla odbioru treści mapy. Przy większych projektach można stosować różne skale w jednym opracowaniu, np. skala 1:1000 dla drogi przebiegającej po terenach niezabudowanych i 1:500 dla przejść drogi przez tereny zabudowane.

Układ odniesienia

Zastosowany układ odniesień (sytuacyjny i wysokościowy) powinien być zgodny z wymaganiami Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych. W przypadku dróg krajowych zwykle nie stosuje się lokalnych układów współrzędnych. Problem ten został już uregulowany stosownymi przepisami. Wcześniej mapy do celów projektowych były wykonywane w różnych układach odniesienia obowiązujących w rejonach, przez które przebiegała droga (np. układ lokalny w mieście i układ 65 poza miastem oraz układ wysokościowy Amsterdam lub Kronsztad). Można sobie wyobrazić, jak taka różnorodność układów utrudniała prace geodezyjne prowadzone przy budowie na przykład mostu znajdującego się na granicy tych układów. Problem był złożony ze względu na włączanie map do państwowego zasobu geodezyjno-kartograficznego i sztywne trzymanie się zasady, że treść mapy do celów projektowych ma być zgodna z mapą zasadniczą przechowywaną w państwowym zasobie. Jeżeli wykonywany projekt dotyczy pewnego wycinka drogi, którego sąsiednie odcinki są wykonywane przez inne biura projektowe, wówczas wskazane jest przyjęcie jednolitego systemu odniesień dla całej drogi. Dodatkowo warto zwrócić uwagę, że w takim przypadku należy dokonać uzgodnień „styków” zarówno dla rozwiązań projektowych, jak i podkładów mapowych.

Droga, jako wielokilometrowy obiekt liniowy, przechodzić może przez granice stref układów odniesienia. Taka sytuacja miała miejsce przy budowie autostrady A4 w okolicach Chrzanowa, gdzie wystąpiło przejście pomiędzy strefą układu 1965 i strefą śląską, zatem pojawiły się problemy wynikające z różnych parametrów tych stref i różnych sposobów odwzorowania (walcowe i stereograficzne). W przypadku niektórych opracowań dotyczących autostrad (w szczególności projektów wstępnych) układ

odniesień jest narzucony przez zamawiającego w warunkach zamówienia. Określenie jednolitego systemu odniesień i formy mapy numerycznej ma na celu stworzenie warunków do importowania jej treści do systemu przyjętego dla całej sieci drogowej przez administrację. Na przykład na potrzeby Systemu Informacji Przestrzennej dla autostrad płatnych, stworzonego w Agencji Budowy i Eksploatacji Autostrad i rozwijanego przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad, przyjęto jednolite standardy numeryczne i układ odniesień 1965.

Inny problem pojawia się, gdy projektowana droga przekracza granicę państwową. Wówczas zwraca się uwagę na:

- uściślenie położenia punktu przecięcia osi drogi z granicą państwową przez podanie odległości od sąsiadujących z tym punktem słupów granicznych, posiadających swoje numery;
- zachowanie azymutu osi lub stycznej;
- uściślenie wysokościowego układu odniesienia;
- wykorzystanie map przygranicznych fragmentów terenu w układzie WGS 84.

Dzięki technologii GPS można w układzie WGS 84 wyznaczyć w terenie na dowolnej długości, punkt styku oraz przebiegi osi w obu kierunkach, ułatwiając projektantom ustalenie parametrów drogi po obydwu stronach granicy.

Zakres mapy

Zakres podkładów mapowych jest uwarunkowany przez lokalizację rozwiązań projektowych i określany przez projektanta i geodetę, a nie przez przepisy, jak błędnie interpretują to niektórzy wykonawcy. Przepisy (np. *Prawo budowlane*) podają tylko pewne warunki graniczne. W praktyce projektant zleca wykonanie mapy w korytarzu drogi (poprzez podanie szerokości pasa), a w miarę postępu prac projektowych następuje uszczegóławianie zakresu map.

Przy ustaleniu zakresu map projektant wraz z geodetą biorą pod uwagę:

- projektowany pas drogowy lub – w przypadku przebudowy drogi – pas istniejący;
- pasy drogowe przebudowywanych dróg krzyżujących się z projektowaną drogą (na potrzeby zaprojektowania dwupoziomowych węzłów);
- przedstawiany na mapie teren inwestycji drogowej powinien być poszerzony z każdej strony o pas szerokości minimum 30 m (zgodnie z wymogami Rozporządzenia Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 21 lutego 1995 roku w sprawie rodzaju i zakresu opracowań geodezyjno-kartograficznych oraz czynności geodezyjnych obowiązujących w budownictwie (Dz. U. Nr 25, poz. 133));
- dodatkowe rozszerzenia mapy, z uwzględnieniem wspomnianego powyżej obustronnego poszerzenia o pas 30 m, na potrzeby:
 - przebudowy kolidującej z budową drogi infrastruktury technicznej,
 - doprowadzenia mediów niezbędnych do funkcjonowania drogi,
 - budowy urządzeń ochrony środowiska,
 - czasowego zajęcia terenu dla zbudowania tymczasowych objazdów lub przebudowy systemu melioracji.

Poza wymienionymi wymaganiami dotyczącymi zakresu mapy konieczne jest dokonanie pomiaru cieków krzyżujących się z projektowaną drogą na długości 100–200 m, w celu określenia:

- zakresu odtworzenia cieków,
- spadku cieku,
- rzędnych i przepływów niezbędnych przy projektowaniu przepustów pod koroną drogi.

Wymagania ogólne i szczegółowe

Mapa powinna być wykonana według obowiązujących przepisów geodezyjnych, tj. ustawy *Prawo geodezyjne i kartograficzne*, Rozporządzenia Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa w sprawie rodzaju i zakresu opracowań geodezyjno-kartograficznych oraz czynności geodezyjnych obowiązujących w budownictwie, Instrukcji geodezyjnej K-1 – *Mapa zasadnicza*, wytycznych zawartych w dokumentach GDDKiA *Wymagania ogólne* oraz *Wykonanie mapy do celów projektowania dróg*. Wykonana mapa musi być przyjęta przez Państwowy Zasób Geodezyjny i Kartograficzny. Na terenach PKP mapę wykonuje się według standardów PKP. Na mapie przeznaczonej do celów projektowych nanosi się szczegóły pozyskane z map kolejowych (urządzenia techniczne, rzędne główki szyny, kilometraż).

Istotne są również wymagania dotyczące formy mapy. Arkusze map powinny mieć format złożeniowy A3, umożliwiając projektowanie dróg w układzie wstęgowym utworzonym tak, aby poszczególne odcinki były optymalnie dostosowane do kształtu trasy, z zachowaniem długości do 2,5 m, w rozbiciu na powiaty. Na każdym arkuszu przedstawia się podział na pojedyncze odcinki z ich oznakowaniem. Przyjęty podział przedstawia się zamawiającemu do akceptacji. Arkusze map muszą być poświadczone przez właściwy Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. Aktualna mapa do celów projektowych w układzie wstęgowym powinna być przekazana na papierze w dwóch egzemplarzach oraz dodatkowo w tylu egzemplarzach i w takiej formie, jakie określone są przez odpowiednie ustalenia, a także na materiale przezroczystym, w jednym egzemplarzu. Mapy wykonane w układzie wymaganym przez ODGiK przekazuje się do tej instytucji w ustalonej liczbie egzemplarzy. Wszystkie wymienione wyżej egzemplarze map muszą mieć oryginalne poświadczenia (klauzulę) ODGiK.

Zasób numeryczny mapy przekazuje się na płycie CD-R lub DVD z uwzględnieniem:

- mapy numerycznej (obiektowej),
- numerycznego modelu terenu 3D,
- bazy ewidencji gruntów (dołączonej do mapy obiektowej),
- informacji o osnowie.

Standardy mapy numerycznej

Najczęściej spotykanymi standardami dla map numerycznych wykonywanych dla celów drogownictwa są pliki w formacie programów do komputerowego wspomaganie projektowania AutoCAD(*.dwg) lub MicroStation(*.dgn). Mapy opracowane dla biur

projektowych w wyżej wymienionych formatach powinny być przekonwertowane przez biura geodezyjne do standardów używanych przez ODGiK oraz przez Zespoły Uzgadniania Dokumentacji. Obecnie, dzięki udoskonaleniu oprogramowania, wymiana danych pomiędzy standardami nie jest aż tak trudna jak kilka lat temu, ale nadal czasami stanowi problem. Dodatkowo to zobowiązanie zmusza biura geodezyjne do inwestowania w różne programy geodezyjne i systemy wspomaganie projektowania.

Podstawowe wymagania dla mapy numerycznej są następujące:

- format danych np. AutoCAD(*.dwg) lub MicroStation(*.dgn);
- ewentualny podział treści mapy na oddzielne pliki, zawierające: treść sytuacyjno-wysokościową, ewidencję gruntów, istniejące uzbrojenie, uzbrojenie projektowane według ZUDP;
- odpowiednie preferencje dla pliku rysunku projektowego: tematyczne rozwarstwienie mapy, tablice kolorów, typy linii, symbole;
- lokalizowanie elementów mapy (w tym urządzeń branżowych), w trzech wymiarach w celu automatycznego wyświetlania elementów na przekrojach podłużnych i poprzecznych;
- nazewnictwo plików (i kolejnych wersji mapy) zgodne ze standardami biura projektów;
- „obiektość” mapy zgodna z potrzebami biura projektów i wymaganiami zamawiającego.

„Obiektość” mapy może być częściowa, uwzględniająca tylko treść ewidencyjną (do działek-obiektów przypisane są dane o właścicielach, powierzchni, jednostkach administracyjnych itp.). Mapy takie pozwalają na szybkie sporządzenie wykazów zajmowanych działek (z podaniem nazwisk właścicieli i powierzchni zajmowanych działek), z podziałem na jednostki administracyjne, rodzaje własności (Skarb Państwa, prywatne), bonitacji itp. W niektórych przypadkach, np. w wypadku projektów autostrad, wymagane są pełne mapy obiektowe, gdzie np. zawarte są informacje o parametrach i zarządzających infrastrukturą techniczną. Przykładem kompleksowego systemu plików obiektowych dla mapy numerycznej do celów projektowych i samego projektu drogowego (w tym opracowań branżowych) jest System Informacji Przestrzennej dla Autostrad Płatnych. W systemie tym zdefiniowano wszystkie wymagania dotyczące układów odniesienia, plików graficznych (dopuszczone standardy, podział na pliki, rozwarstwienie, obiekty) i baz danych (standardy, układ i format pól). Pliki opracowane przez różne biura geodezyjne i biura projektowe importowane są do jednego systemu Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, opartego na programie ArcInfo. Robocze wersje mapy mogą być przekazywane na płytach CD-R lub przy pomocy e-mail. Wersja ostateczna powinna być przekazywana tylko w postaci danych utrwalonych na płycie CD-R.

Numeryczny model terenu

Numeryczny model terenu (NMT) powinno się tworzyć w całości na podstawie wyników nowego pomiaru sytuacyjno-wysokościowego. Nie należy łączyć archiwal-

nych punktów wysokościowych wziętych z mapy zasadniczej z wynikami nowego pomiaru, gdyż w efekcie tego łączenia otrzymuje się produkt wadliwy. Zakres prowadzonych pomiarów powinien umożliwiać pełne i rzeczywiste odtworzenie drogi w pionie i poziomie w numerycznym modelu terenu. Na potrzeby budowy NMT powinny zostać zdefiniowane linie nieciągłości terenu (*breaklines*), które są odzwierciedleniem liniowych załamań terenu (krawędzie nawierzchni, skarp, rowów itp.). Pozostałe punkty powinny zostać zdefiniowane jako rozproszone (*random points*). Zaleca się również zdefiniowanie zewnętrznego zakresu terenu objętego opracowaniem (*external line*). Model terenu po opracowaniu, a przed przekazaniem do biura projektowego, poddaje się kontroli poprzez wygenerowanie i przeanalizowanie warstwic oraz wizualizację rzeźby terenu (np. w przeskalowaniu pionowym) oraz sprawdzenie prawidłowości odtworzenia terenu, poprawności naniesionych pikiet, kontrolę ustalonych linii nieciągłości i poprawności łączenia punktów w trójkąty. Należy pamiętać, że w modelu numerycznym pikiety nie mogą znajdować się nad sobą, szczególnie przy mostach i wiaduktach. Górne lub dolne pikiety obiektu sztucznego wycina się z modelu i nie przyjmuje się ich przy łączeniu w trójkąty. Stąd też przy obiekcie mostowym pozostaną stożki nasypowe i teren pod obiektem, a zniknie płyta mostu. Wówczas, jeśli wystąpi taka potrzeba, płytę mostu można odrębnie wrysować do modelu.

Numeryczny model terenu powinien być przekazany projektantowi w jednym z następujących formatów:

- pliki programów drogowych (np. *.dtm programu InRoads) – ze względu na dość wysoką cenę oprogramowania biura geodezyjne nie zawsze mają możliwość utworzenia plików w tym formacie;
- pliki graficzne z liniami nieciągłości i punktami rozproszonymi, zlokalizowanymi w trzech wymiarach, tak by projektant był w stanie sam dokonać importu danych do swojego systemu i łączyć punkty w trójkąty – system projektanta może jednak w tym przypadku przeprowadzić nieprawidłowe tworzenie trójkątów;
- pliki graficzne z już wygenerowanymi trójkątami NMT;
- pliki tekstowe w standardzie, który może być importowany przez system projektanta w zakresie: linie nieciągłości i punkty rozproszone lub trójkąty już wygenerowane.

3.3.2. Opracowania dodatkowe

Projektantowi oprócz mapy dostarcza się również operat geodezyjny zawierający:

- wykaz współrzędnych punktów osnowy geodezyjnej wraz ze szkicem sieci i opisami topograficznymi punktów;
- wypisy z rejestru ewidencji gruntów dla pasa drogowego i sąsiednich działek (wydruk i wersja numeryczna);
- metrykę mapy;
- sprawozdanie techniczne;

- udokumentowane wywiady i uzgodnienia branżowe odnośnie do lokalizacji przewodów sieci uzbrojenia z podaniem właścicieli urządzeń;
- aktualną mapę ewidencyjną w skali 1:5000 w zakresie zgodnym z zakresem mapy sytuacyjno-wysokościowej (w pasie po 500 m w obydwie strony od osi drogi) z dodatkowym uwzględnieniem nowych budynków i numerów działek w pasie terenu po 150 m w obydwie strony od osi drogi.

Warto zwrócić uwagę, aby mapa była wykonywana na podstawie punktów osnowy i reperów, które będą wykorzystywane na etapie budowy.

Innymi opracowaniami dodatkowymi, często wykorzystywanymi do projektowania, są:

- zdjęcia lotnicze (odbitki w skali 1:5000) pokrywające prawie cały obszar Polski;
- mapy tematyczne, szczególnie te, które dotyczą ochrony przyrody;
- mapy z miejscowymi planami zagospodarowania przestrzennego terenu gmin.

Dzięki dużej pamięci i mocy obliczeniowej współczesnych komputerów oraz możliwości przenoszenia kolorowych map rastrowych na dyskach CD lub DVD, wszystkie te mapy są w większości przygotowywane i przetwarzane w komputerze. W związku z tym wskazane jest, by mapy o różnych skalach i treściach kalibrować i wpasowywać w ten sam układ współrzędnych, który obowiązywałby przez cały cykl projektowy. Ustalony powinien być standard numeryczny map, tak aby mogły być one wykorzystane przez oprogramowanie stosowane w biurze projektów (łącznie z określeniem współrzędnych). Te same zasady dotyczą zdjęć lotniczych. Na wykorzystanie niektórych map i zdjęć lotniczych do celów opracowania projektów drogowych potrzebna jest zgoda Głównego Geodety Kraju.

3.4. Planowanie dróg krajowych

Uwagi wstępne

Ogólny przebieg dróg krajowych (ekspresowych i autostrad) jest ustalany na poziomie rządowym w oparciu o modele sieci drogowej wykonane na mapach typu GIS, gdzie analizuje się korytarze drogowe z uwzględnieniem potrzeb użytkowników dróg w odniesieniu do strategii politycznej i gospodarczej. Bierze się również pod uwagę zobowiązania międzynarodowe Polski. Po przeprowadzeniu takich analiz i ustaleniu prognozowanych natężeń ruchu, przyjmuje się ogólne założenia przebiegu autostrad i dróg ekspresowych, jak również ustala sieć dróg krajowych. W procesie tym dużą rolę odgrywają systemy GIS, które pozwalają łączyć informację graficzną (np. mapa sieci dróg w danym mieście czy regionie) z innymi danymi (np. liczba ludności w regionie, parametry dróg czy natężenie ruchu). Dzięki tym systemom można wszechstronnie ocenić różne warianty sieci drogowej. Ogólny przebieg dróg krajowych ustala Rada Ministrów w formie rozporządzenia.

Do sprawnego zarządzania siecią drogową buduje się systemy typu GIS, pomagające zbierać, przetwarzać i udostępniać dane o niej (parametry drogi, stan techniczny, zajętość pasa drogowego, warunki pogodowe). Elementem tego systemu są dane o stanie sieci dróg krajowych podawane na stronach internetowych GDDKiA. Obecnie na etapie opracowania jest system pozwalający identyfikować hierarchię potrzeb inwestycyjnych takich jak budowa nowych odcinków dróg, ich naprawa, przebudowa lub rozbudowa.

Proces ustalania lokalizacji

Proces ustalania lokalizacji drogi krajowej w trybie Ustawy z dnia 10 kwietnia 2003 r. o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg krajowych (Dz. U. Nr 80, poz. 721) rozpoczyna się od uzyskania decyzji wojewody, która powinna być wydana w terminie nie dłuższym niż trzy miesiące. Musi to być bardzo wyważona decyzja, gdyż od niej zależy cała procedura przygotowania i realizacji inwestycji. Poza ustaleniem przebiegu trasy drogi krajowej, tą samą decyzją wojewoda zatwierdza projekt podziału nieruchomości, co oznacza, że precyzyjnie ustalone we wniosku linie rozgraniczające są jednocześnie liniami podziału nieruchomości. Eliminuje się tym samym osobne postępowanie w sprawie zatwierdzenia podziału nieruchomości. Na etapie opracowania przez projektanta koncepcji przebiegu drogi na podkładzie geodezyjnym, która jest załącznikiem do wniosku inwestora (GDDKiA), należy bardzo precyzyjnie określić zaprojektowany zasięg inwestycji (rowy, nasypy) oraz porządek prawny granic ewidencyjnych. Decyzja ta stanowi od razu podstawę do dokonywania wpisów w księdze wieczystej, jak również do nabywania nieruchomości pod drogę na podstawie umów lub w drodze wyłączenia. Dzięki Ustawie Specjalnej z 10 kwietnia 2003 r. można pominąć przepisy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, a więc przypadek braku planu na danym terenie lub ewentualne poprowadzenie drogi krajowej niezgodnie z tym planem nie powstrzymuje działań wynikających z podjętej decyzji. Decyzja ta upraszcza również tryb uzyskiwania opinii i uzgodnień oraz wyłącza stosowanie przepisów o ochronie przyrody, gruntów leśnych i rolnych, przepisów *Prawa ochrony środowiska oraz ochrony przyrody*.

Decyzja zawierająca usterki może spowodować przestoje w rozpoczętej budowie lub nawet jej ewentualne wstrzymanie. Należy więc podkreślić, że zachowanie wymogów formalnych, przepisów prawa materialnego, prawidłowe wykonanie podkładów mapowych, naniesienie na tych podkładach istniejącej zieleni, drzew i krzewów, będzie gwarantować zasadność podjętej decyzji i jej moc prawną, co przyspieszy i ułatwi wykonywanie dalszych czynności w procesie przygotowania i realizacji inwestycji. Do najczęściej popełnianych błędów należą: brak potwierdzenia przyjęcia mapy do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego, brak numerów i nazw obrębów oraz arkusza mapy ewidencyjnej, brak określenia powierzchni nieruchomości według stanu przed i po podziale, usterki w formie wykazu zmian gruntowych, nie stosowanie koloru czerwonego do oznaczania granic projektowanych działek i ich numerów, brak informacji o sposobie ustalania granic, powtarzające się numery działek.

Dokumentacja do wniosku o wydanie decyzji lokalizacyjnej

Decyzja lokalizacyjna dla drogi krajowej została wprowadzona ustawą o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg krajowych. Zastępuje ona decyzję o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu dla dróg krajowych i decyzję o ustaleniu lokalizacji dla autostrad płatnych. Tryb wydawania decyzji upraszcza częściowo procedurę opiniowania i uzgadniania lokalizacji drogi oraz ogranicza możliwości wnoszenia protestów. Najważniejszą zmianą w stosunku do dotychczasowych uregulowań jest to, iż linie rozgraniczające, zatwierdzone decyzją lokalizacyjną, stają się liniami podziału nieruchomości, stąd też na tym właśnie etapie powinny być wykonane wszystkie rozwiązania projektowe wpływające na zajętość terenu.

Dokumentacja do wniosku o wydanie decyzji o lokalizacji drogi krajowej powinna zawierać:

- mapy orientacyjne (np. w skali 1:25 000), na których jest przedstawiona lokalizacja inwestycji, podstawowe rozwiązania projektowe, powiązanie projektowanej drogi z istniejącą siecią drogową i zagospodarowaniem terenu, lokalizacja drogi w jednostkach administracyjnych, obsługa przyległego terenu;
- mapy do celów projektowych zawierające przebieg linii rozgraniczających, informacje o inwestycji i projektowych rozwiązaniach oraz o zmianach w istniejącej infrastrukturze;
- mapy podziału nieruchomości.

3.5. Stadia dokumentacji projektowej

W budownictwie drogowym wyróżnia się trzy stadia przygotowania dokumentacji projektowej:

1. studium techniczno-ekonomiczne,
2. koncepcja programowa,
3. projekt budowlany.

Pełna trzystadiowa dokumentacja wymagana jest dla inwestycji drogowej składającej się z wielu obiektów, dla której analizuje się różne rozwiązania konstrukcyjne i lokalizacyjne. Jeśli prowadzi się budowę lub remont drogi bez analizowania wariantów konstrukcji różnych obiektów i różnych lokalizacji trasy, to dokumentację stanowi tylko projekt budowlany. Występuje też dokumentacja dwustadiowa, na przykład studium techniczno-ekonomiczne i projekt budowlany lub koncepcja programowa i projekt budowlany.

3.5.1. Założenia techniczno-ekonomiczne

Założenia techniczno-ekonomiczne są dokumentem decyzyjno-projektowym, zawierającym podstawowe ustalenia określające cel, program i wymagania stawiane inwestycji oraz koncepcję rozwiązań technologicznych, technicznych i funkcjonalnych.

Podstawowymi celami opracowania założeń techniczno-ekonomicznych są:

- określenie ostatecznego przebiegu korytarza drogi i jej podstawowych parametrów technicznych,
- wstępne ustalenie zakresu inwestycji i kosztów jej realizacji,
- ustalenie efektywności ekonomicznej inwestycji,
- uzyskanie zatwierdzenia inwestycji i skierowanie jej do dalszych etapów projektowania.

Rodzaje map stosowanych na etapie studium techniczno-ekonomicznego są określone w specyfikacjach istotnych warunków zamówienia przypisanych konkretnym projektom. Korzysta się z map poglądowych w skali od 1:1 000 000 do 1:300 000, zawierających podstawową sieć drogową wraz z numerami dróg, ważniejszymi elementami zagospodarowania i ukształtowania terenu oraz granicami administracyjnymi (województwa, powiatu, gminy). Mapa poglądowa przedstawia usytuowanie projektowanej drogi oraz jej powiązanie z istniejącą siecią drogową i zagospodarowaniem terenu. Wyróżnia się też mapy orientacyjne, do których zalicza się mapy topograficzne w skali 1:25 000, wydawane przez Głównego Geodetę Kraju. Na mapach tych przedstawia się: lokalizację inwestycji, podstawowe rozwiązania projektowe, powiązanie projektowanej drogi z istniejącą siecią drogową i zagospodarowaniem terenu, lokalizację drogi w jednostkach administracyjnych i obsługę przyległego terenu. Mapy topograficzne w skali od 1:5000 do 1:10 000 stosuje się do przedstawiania inwestycji w stopniu szczegółowości niezbędnym dla stadium techniczno-ekonomicznego. Mapy ewidencyjne w skali 1:5000 również przedstawiają usytuowanie projektowanej inwestycji drogowej.

3.5.2. Opracowanie koncepcji programowej

Na tym etapie określa się ostateczny przebieg drogi i jej parametry techniczne; ustala się zakres i koszty inwestycji, ocenia się efektywność ekonomiczną inwestycji, dokonuje się uzgodnień między zainteresowanymi stronami, przygotowuje się wycieczne do projektowania w etapach następnych oraz gromadzi się materiały do wniosku o ustalenie lokalizacji drogi i opracowania projektu budowlanego. Rozwiązania projektowe, a nawet przebieg drogi, może być na tym etapie przyjmowany wariantowo. Teraz można również opracować studium wykonalności inwestycji. Stosowane tu mapy w skalach od 1:5000 do 1:300 000 mają treść podobną do map wykorzystywanych na etapie studium techniczno-ekonomicznego. Mapy w skali od 1:5000 do 1:10 000 są czasami wykorzystywane tylko do uszczegółowienia wariantów i do wyboru najbardziej optymalnego z nich. Pozwala to na oszczędność czasu i kosztów związanych z wykonywaniem aktualnych map zasadniczych w skali 1:1000 dla każdego wariantu. Podstawową mapą do zobrazowania rozwiązań projektowych jest mapa zasadnicza w skali 1:1000. W przypadku terenów mocno zurbanizowanych przyjmuje się nawet skalę 1:500. Przy mniej skomplikowanych inwestycjach i przebiegu trasy w tere-

nie o luźnej zabudowie można przyjmować skalę 1:2000. Mapa powinna być zaktualizowana w terenie o luźnej zabudowie i wykonana według zaleceń stosowanych dla map do celów projektowych.

Czasem jednak ogranicza się te wymagania (poza tymi, które wynikają z uregulowań prawnych); czyni się tak ze względu na:

- potrzebę dostosowania treści mapy do stosunkowo małych szczegółów rozwiązań projektowych,
- oszczędność kosztów i czasu na etapie wykonywania podkładów,
- potrzebę ponownej aktualizacji podkładów na etapie pozwolenia na budowę (wtedy już według pełnych wymagań).

3.5.3. Projekt budowlany

Projekt budowlany i dokumentacje wykonywane w trakcie jego opracowania są niezbędne do uzyskania pozwolenia na budowę, opinii specjalistycznych i dokonania wszystkich niezbędnych uzgodnień. Projekt budowlany jest podstawą wykonania robót i rozliczenia prac.

Do opracowania projektu budowlanego wykorzystuje się następujące mapy:

- topograficzne, w skali 1:25 000;
- ewidencyjne, w skali 1:5000;
- zasadnicze, w skali od 1:500 do 1:2000.

Na mapach topograficznych przedstawia się, jak na poprzednich etapach: lokalizację inwestycji, podstawowe rozwiązania projektowe, powiązania projektowanej inwestycji z istniejącą siecią drogową i zagospodarowaniem terenu, lokalizację drogi w istniejących jednostkach administracyjnych, obsługę przyległego terenu. Mapy te są również wykorzystywane w raportach o wpływie projektowanej drogi na środowisko.

Mapy ewidencyjne wraz z wypisami z ewidencji gruntów służą prezentacji terenu zajmowanego przez inwestycje i wykazaniu prawa do dysponowania terenem na cele budowlane. Mapy te są również wykorzystywane w opracowaniu raportów oddziaływania inwestycji na środowisko. Pozwalają one na ustalenie rodzaju użytków zajmowanych przez inwestycję, określenie bonitacji gruntów oraz identyfikację lokalizacji zabudowy w strefie oddziaływania drogi.

Mapy do celów projektowych są podstawą do sporządzania planów zagospodarowania terenu i projektów architektoniczno-budowlanych. Wymagania stawiane tym mapom wynikają z ustawy *Prawo budowlane* i rozporządzeń wykonawczych do tego prawa, ustalających zasięg mapy, skalę mapy i podstawowe informacje o jej treści. Poza powyższymi wymaganiami mapy te muszą być zgodne z uregulowaniami *Prawa geodezyjnego i kartograficznego* oraz specyfikacjami ogólnymi wydanymi przez administrację drogową (GDDKiA) i specyfikacjami szczegółowymi sporządzanymi dla celów realizacji konkretnego projektu. Uregulowania określone w tych przepisach nie wyczerpują wszystkich wymagań stawianych przez biura projektowe geodetom sporządzającym takie mapy. Wymagania projektanta i administracji drogowej często wy-

kraczący poza te określone w *Prawie geodezyjnym i kartograficznym* oraz w *Prawie budowlanym*. Projektanci na swoje potrzeby określają standardy numeryczne mapy (niezależnie od wymagań Ośrodków Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej) i ustalają zakres pomiarów sytuacyjno-wysokościowych w celu stworzenia numerycznego modelu terenu.

3.6. Ochrona środowiska w rejonie autostrad i dróg ekspresowych

Dążenie Polski do integracji ze wspólnotami europejskimi przyczyniło się do tego, iż zadaniem priorytetowym dla państwa stała się poprawa warunków drogowych, osiągnięta między innymi przez wybudowanie nowoczesnej sieci dróg. W lipcu 1993 r. Rada Ministrów przyjęła bardzo ambitną uchwałę *Program budowy autostrad*, której celem miało być zniwelowanie różnic w tej dziedzinie pomiędzy Polską a krajami zachodnimi i odwrócenie niekorzystnych tendencji w polskiej infrastrukturze transportu drogowego. Program, który był jednym z większych wyzwań inwestycyjnych w powojennej historii Europy Środkowo-Wschodniej, zakładał, że w ciągu 15 lat, czyli do roku 2008, zostanie wybudowanych w Polsce około 1961 km autostrad (docelowo 2600 i 3900 km dróg ekspresowych). Inwestycje drogowe są bardzo drogimi i czasochłonnymi zadaniami, o czym świadczą kolejne, z trudem oddawane do eksploatacji odcinki autostrad czy dróg ekspresowych. Zmieniony po raz trzeci *Program budowy autostrad* nie przyniósł, jak na razie, oczekiwanych efektów.

Rozwiązaniem o wiele bardziej korzystnym dla kraju niż ciągle dostosowywanie istniejącego układu dróg do wzrastających potrzeb transportowych jest budowa systemu autostrad i dróg ekspresowych. Za budową autostrad w Polsce przemawiają liczne argumenty, w tym zmniejszenie ryzyka wypadków drogowych, oszczędność w zużyciu paliwa i skrócenie czasu jazdy. Ponadto płynność jazdy zmniejsza emisję spalin samochodowych do atmosfery. Zauważalny jest wpływ budowy autostrad i dróg ekspresowych na rozwój regionów, przez które przebiegają te trasy (kapitałnym przykładem są Bielany Wrocławskie). Warto również dodać, że odciążenie głównych dróg przebiegających przez polskie „metropolie” (np. trasa nr 4 i 7 biegnąca przez centrum Krakowa) pozwoli na ograniczenie zanieczyszczeń powietrza oraz obniżenie poziomu hałasu w obszarach zlokalizowanych przy najbardziej ruchliwych trasach. Można się zatem spodziewać zmniejszenia ilości stref kongestii (obszarów, na których przekroczone są normatywne wielkości krytycznego natężenia ruchu na ulicach), a zatem nastąpi poprawa czystości środowiska w miastach.

Jednakże każda autostrada i droga ekspresowa ma wpływ na środowisko przyrodnicze. Oddziaływanie autostrad na poszczególne jego elementy rozpoczyna się już w momencie realizacji inwestycji drogowej. Wytyczenie przebiegu nowej drogi wiąże się z wprowadzeniem zmian i wizualną ingerencją w krajobraz. Skutkiem budowy jest

naruszanie terytorialnej spójności istniejących ekosystemów i wspólnot ludzkich oraz zmniejszenie powierzchni gruntów rolnych, leśnych, rekreacyjnych itp. Budowa i eksploatacja nowoczesnych dróg prawie całkowicie burzy istniejące układy przestrzenne i własnościowe, zmienia gospodarkę rolną na obszarach rolniczo-leśnej przestrzeni produkcyjnej oraz ingeruje we wspólnoty społeczne na terenach wiejskich.

Rodzaj, zasięg i natężenie oddziaływań autostrady i drogi szybkiego ruchu na środowisko są zależne od ukształtowania terenu, wrażliwości ekologicznej rejonu, odległości od jezdni, a także od zastosowanych zabezpieczeń.

Wydziela się trzy strefy oddziaływań autostrad i dróg szybkiego ruchu:

- I strefa oddziaływań ekstremalnych o zasięgu 20 m od krawędzi jezdni. Jest to obszar, w którym występują wszelkiego rodzaju uciążliwości – zagrożenie środowiska hałasem w porze dziennej i nocnej, zagrożenie jakości powietrza sanitarnego, zagrożenie wibracjami, zanieczyszczenie gleb i skażenie upraw polowych.
- II strefa zagrożeń o zasięgu do 50 m od krawędzi jezdni. Jest to obszar, w którym występuje zagrożenie środowiska hałasem w porze dziennej i nocnej i nie są dotrzymane standardy jakości powietrza, gleb i upraw polowych.
- III strefa uciążliwości akustycznej o zasięgu do 150 m od krawędzi jezdni. W strefie tej przekroczone są dopuszczalne poziomy hałasu w porze dziennej i nocnej, ale nie notuje się innych uciążliwości związanych z eksploatacją drogi.

Problem ochrony środowiska występuje na wszystkich etapach realizacji inwestycji drogowej, począwszy od etapu studiów i przygotowania inwestycji, poprzez budowę aż do etapu jej eksploatacji. Nie każda droga w jednakowy sposób oddziałuje na środowisko. Emisje substancji zanieczyszczających pochodzą z poruszających się po niej pojazdów, zatem wielkości emisji są ściśle uzależnione od natężenia ruchu na danej drodze oraz pośrednio od jej rangi (autostrada, droga ekspresowa). Z tego powodu dla poszczególnych typów dróg rozwiązania w celu ochrony środowiska. Realna wartość negatywnych skutków zależy nie tylko od źródła zanieczyszczeń, jakim są poruszające się pojazdy, ale też od wrażliwości otoczenia, przez które dana droga ma przechodzić. Przy projektowaniu przebiegu drogi uwzględnia się tereny szczególnie cenne przyrodniczo, jak również tereny zamieszkałe. Często wybór pomiędzy potrzebami gospodarki a koniecznością ochrony środowiska jest niekorzystny dla tej drugiej i dlatego podejmowanie decyzji w tym zakresie powinno być poprzedzone przygotowaniem map zawierających maksimum różnorodnych informacji.

Planowany przebieg nowej trasy drogowej analizowany jest pod kątem konfliktów z obszarami chronionymi, zarówno na mocy prawa krajowego, jak i prawa europejskiego (np. europejskiej sieci obszarów chronionych NATURA 2000). Drogi są inwestycjami liniowymi, których zasięg bezpośrednich oddziaływań obejmuje pas kilkudziesięciu metrów wzdłuż całego ich przebiegu. Potencjalne oddziaływanie dróg na otoczenie,

a szczególnie dróg ekspresowych i autostrad, ma lokalnie niekorzystny charakter. Dotyczy to przede wszystkim zwiększenia poziomu hałasu, zanieczyszczenia powietrza i wód, skażenia gleb i roślin, zmiany sposobu użytkowania terenu, przecięcia naturalnych układów przyrodniczych oraz struktur zagospodarowania. Część z nich jest trwała i nie ma sposobu na ich całkowitą eliminację. Można natomiast ograniczyć skalę i zasięg niekorzystnych zmian poprzez właściwe rozpoznanie tych zjawisk, dostarczone w formie „bazy danych” wraz z mapą do celów projektowych, i na ich podstawie podjąć decyzję o sposobach ochrony środowiska. Jako przykład praktycznego zastosowania takiej bazy, można podać obszar, przez który przebiega Południowe Obejście Krakowa. Dla tego obszaru wykonano pomiary natężenia dźwięku (50 i 60 db) oraz zanieczyszczeń pyłowych i gazowych (SO₂, NO₂), a uzyskane wyniki przedstawiono na mapach w postaci izolinii, z informacjami o porze dnia, pogodzie, długości prowadzonych obserwacji itp.

Zwiększająca się świadomość społeczna w zakresie ekologii oraz wiedza i doświadczenie w dziedzinie, która przecież do niedawna była całkowicie lekceważona, powoduje, że z każdym rokiem zwiększa się udział społeczeństwa w podejmowaniu decyzji o realizacji inwestycji. Postępowanie w sprawie oceny oddziaływania na środowisko oraz postępowanie mające charakter strategiczny, jak również przygotowywanie planów i programów, nazywa się strategicznymi ocenami oddziaływania na środowisko, co ma pokazać odmienny charakter tego postępowania oraz odmienną metodę stosowanych do jego prowadzenia, w stosunku do postępowań w sprawie oceny oddziaływania na środowisko projektów konkretnych przedsięwzięć.

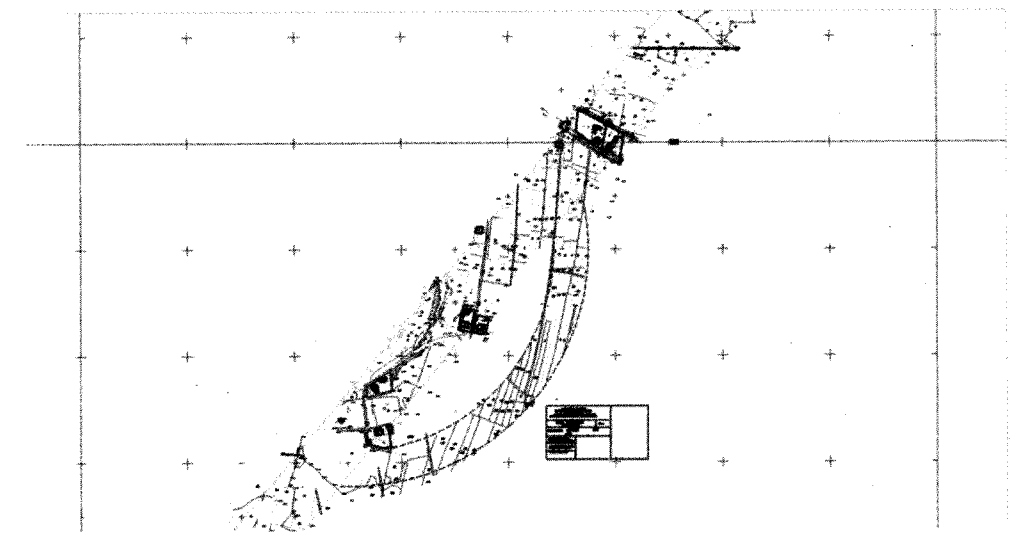
Na podstawie zapisów Dyrektywy 2001/42/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 27.06.2001 w sprawie oceny oddziaływania niektórych planów i programów na środowisko oraz art. 40 ust. pkt. 1 i 2 ustawy *Prawo ochrony środowiska*, koniecznością przeprowadzenia oceny oddziaływania na środowisko objęto następujące dokumenty:

- projekt koncepcji zagospodarowania przestrzennego kraju, projekty planów zagospodarowania przestrzennego oraz projekty strategii rozwoju regionalnego;
- projekty polityk, strategii, planów lub programów w dziedzinie przemysłu, energetyki, transportu, telekomunikacji, gospodarki odpadami, leśnictwa, rolnictwa, rybołówstwa, turystyki i wykorzystania terenu, których opracowanie przez centralne lub wojewódzkie organy administracji, przewidziane jest w ustawach.

Podstawowymi cechami i nowością tego systemu jest traktowanie oceny oddziaływania na środowisko jako procedury (postępowania) z obowiązkowym udziałem społeczeństwa oraz włączenie w tę procedurę, oprócz dotychczas nią objętych planowanych działań inwestycyjnych, również projektów polityk, strategii, planów i programów.

Podstawowym dokumentem do planowania rozwoju infrastruktury w Polsce jest koncepcja zagospodarowania przestrzennego kraju. Przy rozbudowie dróg kluczową rolę odgrywają rządowe programy rozwoju, natomiast w regionalnych (wojewódzkich)

planach zagospodarowania przestrzennego wytycza się proponowane trasy dróg publicznych. Przygotowanie dokumentów strategicznych jest obowiązkowe i wszystkie one podlegają procedurze strategicznej oceny oddziaływania na środowisko. Niektóre drogi są wpisane w miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego, które również podlegają tej procedurze. Jednym z ważniejszych elementów jest obowiązek wariantowania rozwiązań planistycznych w zakresie oceny strategicznej, a następnie wariantowanie w trakcie postępowania w sprawie oceny oddziaływania na środowisko planowanych przedsięwzięć, dotyczące lokalizacji czy wybranej technologii budowy. Drugim bardzo istotnym elementem jest zapewnienie możliwości udziału społeczeństwa w ocenie oddziaływania na środowisko oraz planowaniu przedsięwzięć. Dlatego też współpraca pomiędzy geodetami, projektantami i urzędem musi być bardzo ścisła. Wybór najlepszych wariantów trasy powinien być dokonany przez projektanta w oparciu o odpowiednio przygotowane mapy i bazę danych ułatwiająca ten wybór. Stąd też pomiary geodezyjne w terenie powinny być prowadzone z uwzględnieniem wspomnianej wielowariantowości. Na przykład mapa do celów projektowych 21-kilometrowego odcinka nowej drogi wojewódzkiej od Brzeska do Koszyc, która przebiega przez nowo wybudowany most na rzece Wiśle, uwalniającej od bardzo uciążliwego ruchu wiele miejscowości na trasie, została wykonana alternatywnie (rys. 3.8). Zakres opracowania uwzględniał potrzebę ochrony środowiska i stref zamieszkałych (jego realizatorzy musieli więc podejmować decyzje z uwagi na dwa aspekty przedsięwzięcia: „człowiek – przyroda” oraz „drożej – taniej”) i pozwalał na prowadzenie dalszych ustaleń przez poszczególne gminy.



Rys. 3.8. Alternatywny przebieg trasy drogowej [11]

Ustawa Specjalna z dnia 10.04.2003 r. o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg krajowych wyłącza inwestycje polegające na lokalizowaniu i budowie określonych kategorii dróg z ogólnie obowiązujących procedur i wymagań określonych w ustawie *Prawo ochrony środowiska* (POŚ), określając jednocześnie odrębne zasady dla przedsięwzięć tego rodzaju. Dotyczą one przede wszystkim zagadnień ochrony środowiska, z uwzględnieniem procedury oceny oddziaływania na środowisko, konsultacji społecznych oraz wykupu gruntów. Drogami podlegającymi szczególnej procedurze oceny oddziaływania na środowisko w ramach Ustawy Specjalnej są autostrady i drogi ekspresowe. Ogólną procedurę oceny oddziaływania na środowisko wynikającą z zapisów POŚ stosuje się do wszystkich pozostałych dróg publicznych, sklasyfikowanych jako drogi wojewódzkie, powiatowe lub gminne o trwałej nawierzchni i długości nie mniejszej niż 1 km. Jeżeli droga posiada nie mniej niż cztery pasy ruchu i długość nie mniejszą niż 10 km, zalicza się ją do inwestycji wymagających sporządzenia raportu oddziaływania na środowisko.

Szczególna procedura wprowadzona przez Ustawę Specjalną składa się z dwóch etapów:

1. procedury lokalizacyjnej, wieńczącej decyzją o lokalizacji drogi,
2. procedury wydania pozwolenia na budowę drogi.

Dla obu wymienionych etapów wykonuje się raporty o oddziaływaniu drogi na środowisko, a organ wydający decyzję przeprowadza postępowanie w tej sprawie.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23.01.2003 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem, portem (Dz. U. Nr 35, poz. 308) nakłada na zarządzającego drogami obowiązek prowadzenia monitoringu stanu środowiska.

Zarządzający drogą jest obowiązany do prowadzenia okresowych pomiarów:

- hałasu w środowisku: co 5 lat w okresie wykonania generalnego pomiaru ruchu oraz dwukrotnie w roku kalendarzowym w okresie pierwszych 3 lat dla autostrad i dróg ekspresowych nowo oddanych do eksploatacji;
- zawiesiny ogólnej i substancji ropopochodnych w wodach opadowych i roztopowych ujmowanych w systemy kanalizacyjne, z częstotliwością nie mniejszą niż raz w roku.

Wyniki monitoringu opracowywane są na mapach na podstawie pomiarów współrzędnych stanowisk pomiaru hałasu, pyłu i zanieczyszczeń. Na podstawie otrzymanych danych generowane są izolinie. W poszczególnych warstwach mapy przechowuje się pełną bazę danych z pomiarów poprzednich, co pozwala na ocenę zachodzących zmian.

Jednym z ważniejszych instrumentów ochrony środowiska przy nowych inwestycjach jest analiza porealizacyjna. Właściwy organ ochrony środowiska może w przypadku przedsięwzięć, dla których sporządza się raport o oddziaływaniu na środowisko, w pozwoleniu na budowę nałożyć na wnioskodawcę obowiązek sporządzenia analizy

porealizacyjnej. W analizie porealizacyjnej porównuje się ustalenia zawarte w raporcie o oddziaływaniu na środowisko i w decyzji o pozwoleniu na budowę z rzeczywistym oddziaływaniem przedsięwzięcia na środowisko. Geodezyjna inwentaryzacja powykonawcza stwierdza zgodność lub niezgodność wykonania elementów drogi z projektem, natomiast „analiza porealizacyjna” idzie znacznie dalej. Wykonując pomiary dla potrzeb takiej analizy, należy sprawdzić znacznie więcej danych w terenie. Warto tak zaplanować geodezyjną inwentaryzację powykonawczą, aby nie trzeba było wykonywać dodatkowych prac. Należy pamiętać o pomiarze wysokości ekranów akustycznych, ustaleniu rzędnych ich podstaw, pomiarze kubatury podczyszczalni wód opadowych, ustaleniu położenia wylotów rowów do cieków itd. W przypadku stwierdzenia okoliczności wskazujących na możliwość negatywnego oddziaływania istniejącej drogi na środowisko, organ ochrony środowiska może swoją decyzją zobowiązać zarządzającego drogą do sporządzenia i przedłożenia przeglądu ekologicznego.

Wyjaśnienia wymaga również określenie „obszar ograniczonego użytkowania”. Według Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – *Prawo ochrony środowiska* (Dz. U. Nr 62 z dnia 20.06.2001 r.), obszar taki ustanawia się dla inwestycji liniowych, szczególnie drogowych, na których, mimo zastosowania dostępnych rozwiązań technicznych i organizacyjnych, nie mogą być dotrzymane standardy jakości środowiska poza terenem do którego zarządzający drogą posiada tytuł prawny. Najczęściej podstawowym powodem ustanawiania obszaru ograniczonego użytkowania są przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu w otoczeniu dróg na terenach zurbanizowanych. W granicach takiego obszaru określa się odpowiednie ograniczenia w sposobie gospodarowania przestrzenią.

Decyzję o potrzebie określenia obszaru ograniczonego użytkowania podejmuje się na podstawie:

- przeprowadzonego postępowania w sprawie oceny oddziaływania na środowisko,
- wykonanej analizy porealizacyjnej,
- wykonanego przeglądu ekologicznego.

Obszar ograniczonego użytkowania ustanawia wojewoda w drodze rozporządzenia lub rada powiatu w drodze uchwały.

Aby ustanowić taki obszar, przygotowuje się mapy w skali 1:1000 i 1:5000, z naniesionym przebiegiem projektowanej lub istniejącej drogi wraz z całą infrastrukturą związaną z odprowadzeniem wód opadowych (rowy, przepusty, kanalizacja, separatory, piaskowniki), budynki wraz z danymi o liczbie kondygnacji i budowle z opisem ich wysokości, ogrodzenia, istniejące cieki wodne, ekrany akustyczne, granice ewidencyjne wraz z granicami lokalizacji autostrady, elementy planu zagospodarowania przestrzennego terenu, warstwice. Mapy te obrazują pas terenu o szerokości 300 m od obu krawędzi drogi. Na mapach nanosi się za pomocą izolinii, wyniki pomiarów hałasu w porze dziennej i nocnej przekraczające 50 i 60 db oraz opadu SO₂ i NO₂.

Następnie firma wyspecjalizowana w zakresie ochrony środowiska analizując wszystkie uwarunkowania projektowe (np. projektowane ekrany) i określa granice zewnętrzne obszaru ograniczonego użytkowania. Za wewnętrzną granicę tego obszaru

przyjmuje się granice lokalizacji autostrady (pasa zajętości terenu). Następnie geodeta przygotowuje wykaz współrzędnych wszystkich punktów załamania tych granic oraz ich przecięć z granicami poszczególnych działek ewidencyjnych, a także skorowidz właścicieli działek według numerów i według alfabety, wewnątrz każdego obrębu ewidencyjnego. Tak przygotowana dokumentacja geodezyjna stanowi załącznik do rozporządzenia wojewody o ustanowieniu obszaru ograniczonego użytkowania. Zarówno mapa, jak i baza ewidencyjna muszą być przygotowane z dużą starannością i dokładnością, gdyż umieszczenie danych dotyczących budynku lub właściciela działki w odpowiedniej dokumentacji ma konsekwencje prawne w formie odszkodowań wypłacanych właścicielowi z tytułu ograniczeń w użytkowaniu, uciążliwości inwestycji itp.

Niekiedy stosuje się kompensacje przyrodnicze. Dotyczy to sytuacji, gdy nie można wyeliminować strat w przyrodniczo cennych obszarach, natomiast istnieje możliwość odtworzenia (na koszt inwestora) zniszczonego fragmentu w innym miejscu. Jest to forma kompromisu między inwestorem a służbami ochrony środowiska.

Dla złagodzenia negatywnego oddziaływania drogi lub autostrady na środowisko stosuje się następujące zabezpieczenia: zieleń przydrożną, ekrany akustyczne, separatory, filtry gruntowe, osadniki oraz przejścia dla zwierząt zlokalizowane w miejscach przebiegu korytarzy ekologicznych.

3.7. Inne uwarunkowania występujące w procesie budowy dróg

Słowo „proces” jest tu użyte w celu wyartykułowania powiązania wszystkich czynności administracyjno-prawnych, projektowych i geodezyjnych w czasie od opracowania koncepcji aż do eksploatacji wykonanej drogi. Podstawowe założenie polega na tym, aby wykonywanie tych wszystkich czynności maksymalnie skrócić. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że są one niezwykle czasochłonne i mogą trwać nawet kilka lat. Można stąd wysnuć wniosek, że najtrudniejsze i bardzo czasochłonne jest przygotowanie budowy a samo budowanie, przy nowoczesnym sprzęcie budowlanym i stosowanych technologiach, nie przysparza dziś większych problemów technicznych.

Niewątpliwie konieczne staje się ujednoczenie i uproszczenie trybu postępowania administracyjnego, stosowanie jednakowej interpretacji przepisów przez wszystkie szczeble administracji wydającej decyzje i opinie. Potrzebą chwili wydaje się uproszczenie i ujednoczenie obsługi procesu przygotowania inwestycji drogowych przez geodezyjną administrację powiatową. Dotyczy to Powiatowych Ośrodków Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, komórek prowadzących ewidencję gruntów oraz Zespołów Uzgadniania Dokumentacji Projektowej. W tej dziedzinie panuje zauważalna dowolność. Osobną sprawą jest znalezienie rozwiązania spełniającego potrzeby drogownictwa w zakresie udostępniania i legalizacji map oraz przygotowania opracowań geodezyjnych w technikach komputerowych.

Ogrom zadań wymaga doskonałej współpracy pomiędzy inwestorami instytucjonalnymi odpowiedzialnymi za inwestycje drogowe wraz z instytucjami finansującymi z jednej strony a sferą projektowania i realizacji inwestycji drogowych. Stąd też pojawia się zapotrzebowanie na odpowiednio dobrane zespoły wykonawców (chodzi o biuro projektowe, przedsiębiorstwo geodezyjne, rzeczoznawców majątkowych, przedsiębiorstwo budownictwa drogowego, mostowego itd.), spełniające wymagania nowoczesnej organizacji i techniki oraz gwarantujące jakość usług wymaganą przez normy europejskie.

Ograniczenie do minimum czasu realizacji przygotowania inwestycji można osiągnąć poprzez równoczesne wykonywanie prac w systemach informatycznych przez poszczególne ogniwa geodezyjne i projektowe, które jednocześnie na bieżąco wspomagają urząd administracyjny w ramach wspólnie przyjętego harmonogramu prac. Na czas realizacji zamówienia wydzielone komórki produkcyjne poszczególnych firm, będące uczestnikami procesu przygotowania inwestycji, powinny stanowić jeden zespół, komunikujący się ze sobą za pomocą sieci internetowej i współodpowiedzialny za jakość i terminowość opracowania. Dobremu przygotowaniu się do sprawnej, terminowej i odpowiedzialnej realizacji zamówienia sprzyja zasada tworzenia konsorcjów firm współpracujących ze sobą już na etapie przygotowania oferty przetargowej. Jednocześnie dla dużej inwestycji drogowej należy przyjąć określony sposób i tryb uzgadniania na roboczo, zatwierdzania i przekazywania poszczególnych etapów opracowania projektu drogowego i wykupu terenu. Wysiłki wszystkich uczestników tego procesu: drogowców, urzędników administracji, projektantów, wykonawców robót budowlanych i geodetów zmierzają do maksymalnego skrócenia tego czasu – poprzez uproszczenie procedur postępowania, ale również przez umożliwienie takiego powiązania ze sobą poszczególnych czynności, by były wykonywane i koordynowane jednocześnie, a nie następowały po sobie.

Z powyższych uwag wynika, że najtrudniejsza w całym procesie budowy jest procedura administracyjna. Proces zmian prawnych, dotyczących wydawania decyzji lokalizacyjnych i pozwoleń na budowę dróg przez urzędy, jaki ma miejsce w Polsce, musi być bardzo dokładnie śledzony przez geodetów i już na tym etapie musi istnieć ścisła współpraca urzędu, projektanta i geodety, a efektem tej współpracy będzie wyraźne skrócenie czasu trwania niezbędnych procedur.

Dodatkowo należy zwrócić uwagę na kilka aspektów współpracy projektanta z geodetą. Aby efekty pracy były najlepsze, współpraca musi być ścisła. Obecnie, gdy terminy opracowywania projektów są bardzo krótkie, niezbędna jest szybka wymiana danych i informacji. W momencie rozpoczęcia współpracy projektant określa orientacyjny przebieg korytarza drogi, a geodeta gromadzi i skanuje wszystkie dostępne materiały geodezyjne (mapy ewidencyjne i archiwalne mapy sytuacyjno-wysokościowe). Projektant na podstawie tych danych zaczyna prace projektowe i wraz z uszczegóławianiem rozwiązań przekazuje informacje o niezbędnym zakresie map. Geodeta w miarę uzyskiwania danych z pomiarów terenowych przekazuje fragmenty opracowań geodezyjnych projektantowi do wykorzystania. Często projektant definiuje, które

odcinki opracowań są najważniejsze i gdzie powinno się wykonać mapy w pierwszej kolejności. W porozumiewaniu oraz przekazywaniu danych między geodetą a projektantem, bardzo pomaga internet. W związku z tym, że projekty i mapy należy wykonywać szybko, ważne jest, by nie tracić czasu na ustalenia wymagań dla map, standardów numerycznych i sposobu przekazywania danych. Z tych względów wskazana jest stała współpraca projektanta z jednym biurem geodezyjnym, a nawet jednym geodetą prowadzącym.

3.8. Nabywanie nieruchomości pod budowę drogi

3.8.1. Informacje wstępne

Nabywanie nieruchomości pod inwestycje liniowe, jakimi są drogi, jest procesem złożonym i długotrwałym, często trwającym dłużej niż wybudowanie samego obiektu drogowego. Wynika to z procedur określonych przepisami, niełatwych negocjacji, jakie należy przeprowadzić z właścicielami nieruchomości, oraz dużej liczby podmiotów prawnych (jest wśród nich zamawiający GDDKiA lub Zarząd Dróg Wojewódzkich, firma nabywająca grunty – tzw. inwestor zastępczy, urząd wojewódzki, urzędy gminne, starostwa powiatowe, sądy, osoby prawne, osoby fizyczne posiadające prawa do nieruchomości, rzeczoznawcy majątkowi). Duża liczba nieruchomości do nabycia wymaga od zamawiającego i wykonawcy wdrożenia przejrzystych procedur, gwarantujących na każdym etapie postępowania związanego z wykupem szybki i łatwy dostęp do kompletnej i aktualnej dokumentacji w każdej z prowadzonych spraw. Z tych też powodów dla każdej nabywanej nieruchomości powinien być kompletowany operat prawny, uzupełniany na bieżąco wpływającymi dokumentami. Znajomość przepisów prawnych, które mają zastosowanie przy nabywaniu nieruchomości pod budowę dróg, jest bardzo ważna dla geodety i jest podstawowym warunkiem, jaki musi spełniać wykonawca takich prac, bowiem od znajomości i umiejętności stosowania przez niego prawa zależy jakość i efekty usług świadczonych w tym zakresie.

Przepisy prawne mające zastosowanie w procedurze nabywania nieruchomości można podzielić na trzy grupy, w zależności od rodzaju spraw, które regulują. Do pierwszej grupy zaliczyć można przepisy odnoszące się do trybu i zasad nabywania nieruchomości pod drogi, do drugiej – przepisy regulujące tryb i zasady przygotowania dokumentacji niezbędnej do nabycia nieruchomości, a do trzeciej grupy – „geodezyjnej” – przepisy techniczne określające tryb i zasady sporządzania tych dokumentów, a mianowicie:

- standardy techniczne dla opracowań geodezyjnych i kartograficznych, wprowadzone do porządku prawnego Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 marca 1999 r. w sprawie standardów technicznych dotyczących geodezji, kartografii oraz krajowego systemu informacji o terenie;
- Instrukcja G-5 – *Ewidencja gruntów i budynków*, wprowadzona do stosowania Zarządzeniem Głównego Geodety Kraju dnia 3 listopada 2003 r. w sprawie wytycz-

nych techniczno-organizacyjnych dotyczących prowadzenia ewidencji gruntów i budynków;

- ogólne specyfikacje techniczne:
 - GG-00.21.03 – *Opracowanie dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej związanej z nabywaniem nieruchomości pod pasy drogowe*,
 - P-30.20 – *Dokumentacja geodezyjna i kartograficzna związana z nabywaniem nieruchomości i czasowym korzystaniem z nieruchomości*.

Zamawiający stawia pewne wymagania dotyczące nabywania nieruchomości. Odbywa się to w dwu fazach: wstępnej i właściwej. Faza wstępna obejmować może następujące czynności geodezyjne:

- założenie osnowy geodezyjnej spełniającej swą rolę do końca budowy;
- stabilizację linii rozgraniczających;
- przygotowanie dokumentacji geodezyjno-prawnej, niezbędnej do przeprowadzenia postępowania podziałowego;
- przygotowanie dokumentacji podziałowej i przekazanie jej właściwym organom w celu zatwierdzenia mapy z projektem podziału;
- reprezentowanie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w postępowaniu podziałowym;
- stabilizację granic podziału;
- sporządzenie wykazu nieruchomości o nieuregulowanym stanie prawnym oraz nieruchomości, których właściciel lub użytkownik wieczysty nie żyje, a ich spadkobiercy nie wykazali prawa do spadku.

Faza właściwa obejmuje:

- sporządzenie wyceny, przygotowanie ofert, dostarczenie oferty właścicielowi wraz z ustaleniem warunków zawarcia aktu notarialnego;
- przygotowanie dokumentacji do wystąpienia i wystąpienie do właściwych urzędów i organów o wykonanie stosownych czynności związanych z pozyskaniem nieruchomości, będących własnością Skarbu Państwa lub jednostek samorządu terytorialnego oraz pilotowanie tych czynności;
- doprowadzenie do zawarcia umowy nabycia nieruchomości lub innych praw istniejących dla nieruchomości;
- przygotowanie wniosku i dokumentacji do złożenia wniosku o wywłaszczenie i o ewentualne zezwolenie na zajęcie nieruchomości z nadaniem w/w zezwoleniu rygoru natychmiastowej wykonalności oraz pilotowaniem tych procesów;
- wnioskowanie o ustalenie prawa trwałego zarządu na rzecz GDDKiA;
- wnioskowanie o wpis prawa stałego zarządu do ewidencji gruntów;
- przygotowanie wniosku o wpis prawa trwałego zarządu do ksiąg wieczystych;
- pozyskiwanie działek położonych poza lokalizacją autostrady, tzw. resztówek, jeśli ich właściciel złożył w tej sprawie stosowny wniosek, a zamawiający go zaakceptował.

W wyniku realizacji wymienionych prac i czynności w uzgodnieniu z zamawiającym kompletuje się dla każdej nieruchomości operaty prawne, zawierające:

- protokół z przejęcia granic nieruchomości podlegającej podziałowi;
- protokół z okazania zainteresowanym nowym granic powstałych na skutek podziału;
- protokół z przeprowadzonych badań ksiąg wieczystych;
- tytuły własności do nieruchomości przedłożone przez zainteresowane strony;
- jednostkową mapę z projektem podziału nieruchomości, zawierającą wykaz zmian gruntowych oraz oznaczenie nieruchomości według księgi wieczystej;
- prawomocną decyzję zawierającą projekt podziału nieruchomości;
- operat szacunkowy nabywanej nieruchomości;
- ofertę skierowaną do właściciela nieruchomości w sprawie nabycia nieruchomości, określającą warunki nabycia i proponowaną cenę;
- odpowiedzi właścicieli na przedłożoną ofertę;
- akt notarialny nabycia w drodze umowy cywilnej nieruchomości na rzecz Skarbu Państwa lub prawomocną decyzję o wywłaszczeniu nieruchomości, wydaną zgodnie z art. 15 Ustawy Specjalnej z dnia 10 kwietnia 2003 r.;
- decyzję wojewody o przekazaniu nieruchomości nabytej na własność Skarbu Państwa w trwały zarząd GDDKiA.

3.8.2. Podziały nieruchomości

Zgodnie z art. 96 Ustawy z dnia 21 sierpnia 1997 r. o gospodarce nieruchomościami, podziału nieruchomości dokonuje się na podstawie decyzji wójta, burmistrza lub prezydenta miasta zatwierdzającej projekt podziału. Zadaniem wymienionych organów jest więc przeprowadzenie postępowania administracyjnego związanego z zatwierdzeniem projektowanego podziału. Postępowanie w tym przedmiocie może zostać wszczęte z urzędu lub na wniosek – odpowiednio – starosty wykonującego zadania z zakresu administracji rządowej, albo zarządu powiatu lub zarządu województwa. Organ prowadzący postępowanie bada zasadność i kompletność wniosku (wystąpienia o wszczęcie postępowania z urzędu) według kryteriów określonych w *Kodeksie postępowania administracyjnego*.

Wniosek powinien w szczególności określać przedmiot postępowania, wskazywać strony tego postępowania oraz zawierać informacje o adresach ich siedzib bądź miejsc zamieszkania. Do wniosku dołącza się mapę z projektem podziału nieruchomości opatrzoną klauzulą o przyjęciu do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego oraz aktualny wypis z księgi wieczystej prowadzonej dla nieruchomości objętej podziałem lub wynik badania tej księgi. W przypadku nieruchomości, która nie ma założonej księgi wieczystej, do wniosku załącza się dokument stanowiący tytuł prawny nieruchomości. Art. 12 Ustawy *Prawo geodezyjne i kartograficzne* nakłada na wykonawców prac geodezyjnych, dotyczących podziałów nieruchomości, obowiązek zgło-

sznienia staroście faktu podjęcia takiej pracy oraz przekazania do powiatowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego materiałów powstałych w jej wyniku.

Rozporządzenie Ministra Budownictwa z dnia 16 lipca 2001 r. w sprawie zgłaszania prac geodezyjnych i kartograficznych stanowi, że dokumentacja przekazywana do zasobu podlega kontroli w zakresie:

- przestrzegania zasad wykonywania prac;
- osiągnięcia wymaganej dokładności;
- zgodności opracowania ze standardami technicznymi dotyczącymi geodezji, kartografii oraz krajowego Systemu Informacji o Terenie;
- spójności topologicznej informacji dostarczonej przez wykonawcę z informacjami uzyskanymi z ośrodka dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej w trakcie realizacji pracy;
- kompletności przekazywanych materiałów.

W listopadzie 2003 roku Główny Geodeta Kraju ustalił wytyczne techniczno-organizacyjne w sprawie prowadzenia ewidencji gruntów i budynków Instrukcją G-5 – *Ewidencja gruntów i budynków*, która w części VII określa formę i treść typowych opracowań geodezyjnych i kartograficznych na potrzeby opracowań administracyjnych, sądowych, umów cywilnoprawnych oraz aktualizacji operatu ewidencyjnego.

Zgodnie z wytycznymi operat podziału nieruchomości powinien zawierać następujące dokumenty uporządkowane zgodnie z zasadami Instrukcji O-3:

- kopię pozytywnej opinii wójta (burmistrza, prezydenta miasta) o możliwości podziału; w przypadku wydzielania z nieruchomości części przeznaczonej pod budowę drogi krajowej będzie to kopia decyzji o ustaleniu lokalizacji tej inwestycji wydana przez wojewodę;
- protokół ustaleń w sprawie stanu prawnego nieruchomości podlegającej podziałowi;
- protokół przejęcia granic nieruchomości podlegającej podziałowi;
- szkice i dzienniki zawierające wyniki geodezyjnych pomiarów terenowych;
- obliczenia i robocze wykazy współrzędnych i pól powierzchni;
- projekt podziału nieruchomości;
- szkic wyznaczenia nowych punktów granicznych;
- wykazy współrzędnych nowych punktów granicznych objętych protokołem przejęcia granic oraz nowych punktów granicznych w formie elektronicznej;
- sprawozdanie techniczne;
- wykaz zmian danych ewidencyjnych.

Szczególne uwagi należy zwracać na: poprawność danych przy ustaleniu stanu władania, protokolarne przejmowanie granic nieruchomości podlegających podziałowi, zgodność projektu podziału z decyzją ustalającą lokalizację inwestycji oraz sprawdzenie, czy treść mapy z naniesionym projektem podziału nieruchomości zawiera wszystkie informacje wymienione w Rozporządzeniu Rady Ministrów z 17 maja 1998 r.

w sprawie trybu dokonywania podziałów nieruchomości oraz sposobu sporządzania i rodzajów dokumentów wymaganych w tym postępowaniu.

Dotychczasowy brak norm technicznych określających formę oraz treść opracowań geodezyjnych i kartograficznych wykonywanych na potrzeby związanych z obrotem nieruchomości pod inwestycje drogowe był powodem powstawania różnych wzorców i zwyczajów w tworzeniu takiej dokumentacji. Upowszechnienie i egzekwowanie norm zawartych w Instrukcji G-5 przyczyni się do ujednoczenia wymagań stawianych przez ośrodki dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej.

3.8.3. Formy nabywania nieruchomości

Nabywanie nieruchomości pod drogi publiczne jest czynnością złożoną. Już samo pojęcie nabywania nieruchomości ze względu na wiele czynności prawnych z nim związanych jest bardzo szerokie, podobnie jak pojęcie drogi publiczne, które przecież mają różne kategorie i władającego. Przy pozyskiwaniu nieruchomości pod drogi należy rozróżnić drogi krajowe, wojewódzkie, powiatowe i gminne, co pozwoli na korzystanie z różnych przepisów prawa i odmiennie podchodzić do problemu wyceny nieruchomości. W art. 135 Ustawy o gospodarce nieruchomościami stwierdzono, że nabywanie nieruchomości pod drogi dokonuje się w ramach umowy cywilnoprawnej, z mocy prawa lub przez wywłaszczenie. Uwypuklono też różnicę pomiędzy pojęciem wartości nieruchomości, określanej przez rzeczoznawcę majątkowego (na podstawie dokonanej wyceny), oraz wartości nieruchomości, która jest ustalona przez zainteresowane strony. Przy ustalaniu ceny nieruchomości przez urząd określona przez rzeczoznawcę wartość nieruchomości jest podstawą do określenia wysokości odszkodowania, ustalanego w granicach dopuszczonych przepisami ustawy. Prowadząc negocjacje z właścicielami, urząd kieruje się konstytucyjną zasadą słusznego odszkodowania, ale powinien mieć zawsze świadomość, że w razie niepowodzenia wynikającego z żądania zbyt dużej ceny za nieruchomość w tle zawsze pozostaje możliwość wywłaszczenia.

Złożenie oferty nabycia nieruchomości właścicielowi lub użytkownikowi wieczystemu jest wymagane z mocy prawa. Ofertę składa Generalny Dyrektor Dróg Krajowych i Autostrad. Tryb ofertowy nie zwalnia jednak z ustawowego obowiązku prowadzenia negocjacji cenowych. Są one wprawdzie ograniczone z mocy prawa, ale pozostaje jeszcze możliwość zaoferowania nieruchomości zastępczej oraz wykupienia, na wyraźny wniosek właściciela, tzw. resztówki, czyli części nieruchomości, która pozostaje poza liniami rozgraniczającymi pas drogowy i nie nadaje się do użytkowania zgodnego z przeznaczeniem.

Nabywanie nieruchomości z mocy prawa jest rzadko stosowane i dotyczy głównie sytuacji uregulowania zaszczości prawnych, jakie nastąpiły w przeszłości przy scalaniach czy uwłaszczaniu dróg publicznych.

Nabywanie nieruchomości w drodze wywłaszczenia następuje w momencie wyczerpania możliwości negocjacji umowy i może następować jedynie w odniesieniu do gruntów leżących w pasie drogowym. Wywłaszczenie jest konfliktową i bardzo czasochłonną formą nabycia nieruchomości, kończąca się prawie zawsze w sądzie administracyjnym. Postępowanie wszczynane jest przez wojewodę na wniosek Generalnego Dyrektora Dróg i Autostrad. Zanim jednak wojewoda złoży stronom postępowania wywłaszczeniowego stosowne zawiadomienie o jego wszczęciu, wyznacza właścicielowi ostateczny termin do zawarcia umowy kupna-sprzedaży. Po tym terminie wojewoda składa wniosek w sądzie wieczysto-księgowym o dokonanie w KW nieruchomości wpisu o prowadzonym postępowaniu wywłaszczeniowym. Wojewoda przeprowadza postępowanie administracyjne zgodne z KPA i kończy je wydaniem decyzji. W decyzji wywłaszczeniowej określa się jednocześnie wysokości odszkodowań. Warto jeszcze przez chwilę zatrzymać się przy konstytucyjnej zasadzie słusznego odszkodowania, wywołującej tak dużo emocji szczególnie przy nabywaniu nieruchomości pod drogi publiczne. Przyjęto zasadę, że nie może to być odszkodowanie ani większe ani mniejsze od słusznego, czyli takiego, na podstawie którego wywłaszczany właściciel będzie mógł kupić nieruchomość podobną do wywłaszczanej. Do ustalenia tego odszkodowania nie bierze się pod uwagę straconych korzyści, które ta nieruchomość przynosi, czy też utraty wartości nieruchomości otaczających lub innych koniunkturalnych korzyści ekonomicznych, nawet jeśli zostaną one udowodnione.

Wydawanie decyzji wywłaszczeniowej może być oparte na zwykłych zasadach, określonych w Ustawie o gospodarce nieruchomościami lub na zasadach ustalonych w Ustawie Specjalnej. Przy stosowaniu zasad zwykłych występowały trudności z odbiorem nieruchomości i należało wtedy przeprowadzać żmudne postępowania cywilne, kończone wyrokiem sądu zawierającym klauzulę o konieczności zapewnienia przez lokalny samorząd lokalu zastępczego, co w przypadku braku takich lokali skazywało inwestora na długotrwałą drogę postępowania. Natomiast w Ustawie Specjalnej wprowadzono zapis, że w przypadku niewydania przez użytkownika nieruchomości Generalny Dyrektor Dróg występuje do wojewody o podjęcie czynności egzekucyjnych. Wszczęcie takiego postępowania możliwe jest jednak po uzyskaniu klauzuli ostateczności w rozumieniu art. 16 KPA, który mówi o przejęciu nieruchomości wywłaszczonej z dniem, kiedy decyzja staje się ostateczna. Ponadto ustawa ta daje jeszcze możliwość przyspieszenia dysponowaniem nieruchomością przez wydanie przez wojewodę zezwolenia na niezwłoczne zajęcie nieruchomości przeznaczonej pod drogi krajowe. Zezwolenie takie może być wydane dopiero po wszczęciu postępowania wywłaszczeniowego. W tym jednak przypadku, stosownie do przepisów art. 108 KPA, należy bardzo dokładnie uzasadnić, dlaczego nieruchomość jest zajmowana. Jest to konieczne do zabezpieczenia majątku Skarbu Państwa przed stratami. Jednocześnie konieczne jest zapewnienie przez Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad lokalu zamiennego, co najmniej do czasu wydania decyzji i wypłaty odszkodowania.

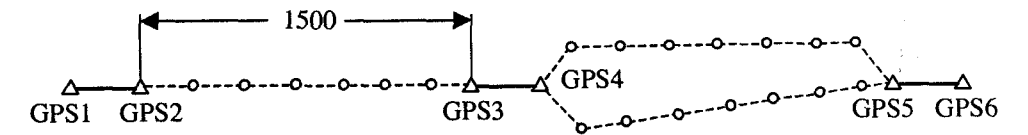
3.9. Osnowy geodezyjne

Rola osnowy geodezyjnej w procesie projektowania, budowy i eksploatacji drogi jest niezwykle ważna, choć często niedoceniana, szczególnie przez projektantów, drogowców i osoby odbierające projekty techniczne ustalające wymagania techniczne dla dokumentacji projektowej. Szczegółowe zasady zakładania osnów i dokładności wyznaczania współrzędnych jej punktów wynikają z instrukcji geodezyjnych i przyjętych warunków technicznych wykonania konkretnego zlecenia. Istotne uwagi praktyczne, wynikające bezpośrednio z potrzeb budowy autostrad, dotyczą specyfiki prac drogowych oraz faktu, iż jest to obiekt dochodzący nawet do kilkudziesięciu kilometrów długości. Na takich długich odcinkach projektuje się położenie wierzchołków trasy i kształtuje się oś drogi, uwzględniając najdogodniejsze warunki terenowe do przeprowadzenia całej trasy, z jednoczesnym zachowaniem wymogów zawartych w normach projektowania. Zatem zakładana osnowa powinna zagwarantować prawidłowy przebieg osi trasy na całej jej długości i posiadać określoną dokładność wewnętrzną, zapewniającą precyzyjne łączenie oddzielnie wykonywanych odcinków trasy.

Wszystkie prace geodezyjne podejmowane w procesie projektowania, a także budowy i użytkowania dróg, prowadzone są w oparciu o istniejące lub nowo zakładane osnowy. O przydatności każdej osnowy dla konkretnych prac geodezyjnych powinna decydować jej dokładność, struktura geometryczna i odległości pomiędzy punktami. Inna osnowa potrzebna jest w pomiarach sytuacyjno-wysokościowych prowadzonych dla zbudowania numerycznego modelu terenu na potrzeby projektowania, a inna w pomiarach realizacyjnych, inwentaryzacyjnych i pomiarach przemieszczeń. Zazwyczaj na etapie przygotowywania dokumentacji na potrzeby projektowania korzysta się z osnów istniejących w terenie, uzupełniając je w razie konieczności pojedynczymi punktami, ciągami poligonowymi lub nawet sieciami punktów. W pomiarach realizacyjnych takie podejście można zaakceptować jedynie na etapie robót ziemnych, natomiast przy formowaniu nawierzchni drogi i wznoszeniu drogowych obiektów inżynierskich wymagania dokładnościowe są znacznie wyższe i dla ich spełnienia zakłada się osnowy realizacyjne. Również osnowy geodezyjne wykorzystywane w pomiarach przemieszczeń muszą charakteryzować się wysokimi dokładnościami. W przypadku osnów geodezyjnych wykorzystywanych przy budowie autostrad i dróg ekspresowych powinien być jeszcze spełniony warunek jednorodności dokładnościowej i jednolitości układu odniesienia na bardzo długich odcinkach trasy drogowej.

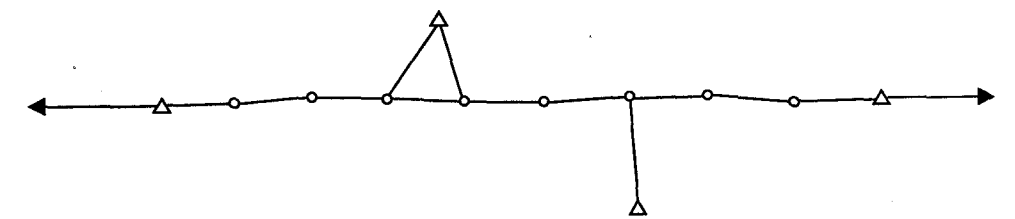
W świetle tak sformułowanych wymagań stawianych osnowom geodezyjnym zakładanym wzdłuż tras drogowych, najważniejsze będzie rozróżnienie osnowy odniesienia i osnowy szczegółowej. Osnowa odniesienia powinna być założona jeszcze przed rozpoczęciem budowy, z zachowaniem dokładności najwyższych możliwych do osiągnięcia przy zastosowaniu obecnych technik pomiarowych. Stąd też stanowić ją mogą punkty poziomej osnowy krajowej II, a także III klasy, jeśli tylko współrzędne tych punktów zostały wyznaczone metodą statyczną GPS. Odległości pomiędzy punktami tej osnowy, mierzone wzdłuż trasy, powinny zabezpieczać późniejsze zakładanie między nimi ciągów poligonowych lub innych konstrukcji osnowy szczegółowej. Dla

zapewnienia wysokiej dokładności pomiarów realizacyjnych i pomiarów przemieszczeń, punkty osnowy odniesienia powinny znajdować się w odległości mniejszej od 1500 m, co oznacza, że istniejąca osnowa krajowa powinna być zagęszczona dodatkowymi punktami z użyciem technologii GPS. Przy zagęszczaniu osnowy krajowej korzystne jest zakładanie „gniazd” punktów GPS w odstępach około 1500 m, zawierających w każdym „gnieździe” na przykład po dwa punkty odległe od siebie o około 200 m.



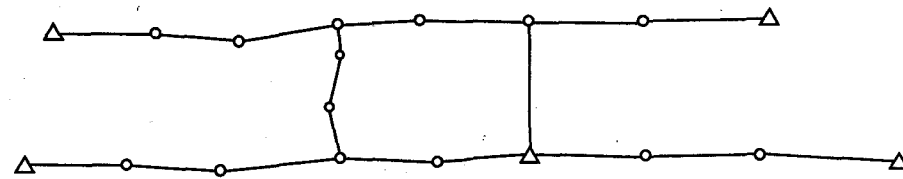
Rys. 3.9. Zintegrowana osnowa geodezyjna

Takie usytuowanie punktów osnowy odniesienia znacząco ułatwi nawiązywanie osnów szczegółowych zakładanych metodą poligonową (rys. 3.9) i wyraźnie zwiększy dokładność wyznaczania współrzędnych punktów poligonowych. Ciągi poligonowe o znacznych długościach mogą być wzmocnione dodatkowymi obserwacjami w sposób przedstawiony na rysunku 3.10.

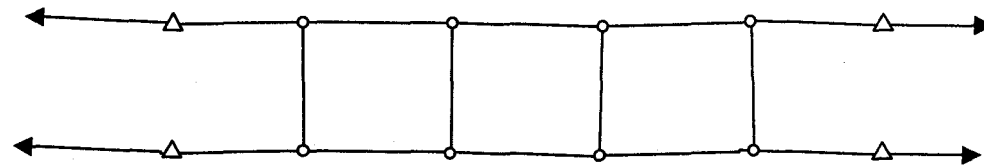


Rys. 3.10. Ciąg poligonowy wzmocniony dodatkowymi obserwacjami

Jeśli wzdłuż autostrady zakładane są dwa ciągi poligonowe, to można je wzmocnić dodatkową linią lub ciągiem wiążącym (rys. 3.11) lub też można zakładać łańcuchy trójkątów lub czworokątów (rys. 3.12). Projekt osnowy dla trasy drogowej dostosowuje się do projektu tej trasy tak, aby punkty osnowy nie ulegały zniszczeniu w trakcie prowadzonych robót budowlanych, a jednocześnie aby znajdowały się blisko trasy. Naturalną konstrukcją geodezyjną łatwo dostosowywaną do różnych warunków terenowych są ciągi poligonowe dowiązane do punktów osnowy odniesienia. W rejonach wysokich nasypów korzystnie jest prowadzić ciągi po obydwu stronach drogi. Z praktyki wynika jednak, że mimo odpowiedniego usytuowania i zabezpieczenia punktów pewna ich liczba ulega zniszczeniu. Można więc przyjąć zasadę, że zakładane sieci szczegółowe muszą od początku charakteryzować się dużą liczbą punktów odległych od siebie o 150–200 m – być wyrównywane w ramach jednego pomiaru. Punkty tych osnów powinny mieć wyznaczone współrzędne sytuacyjne i wysokościowe, aby umożliwić prowadzenie pomiarów realizacyjnych i inwentaryzacyjnych w trójwymiarowej przestrzeni drogi.



Rys. 3.11. Ciągi poligonowe równoległe z elementami wiążącymi



Rys. 3.12. Łańcuch czworoboków

Właściwie ukształtowana i trwała osnowa geodezyjna ułatwi tyczenie i prowadzenie inwentaryzacji powykonawczej kolejnych odcinków drogi oraz nanoszenie jej wyników na mapę zasadniczą. Ułatwi też wykonywanie różnych pomiarów uzupełniających przy późniejszych pracach budowlanych związanych z zakładaniem kabli, rurociągów, budową ogrodzeń i parkingów, prowadzeniem remontów czy nabywaniem przyległych gruntów.

Osnowy zakładane na potrzeby budowy obiektów inżynierskich stanowią odrębną konstrukcję. W tym przypadku jeszcze bardziej niż w przypadku osnowy drogowej należy zadbać o prawidłowe rozmieszczenie i utwalenie punktów. Powszechne jest już dzisiaj montowanie stałych, dobrze widocznych stanowisk geodezyjnych. Na stalowej rurze o średnicy 200 mm, osadzonej w cokole betonowym, montuje się stolik ze śrubami na lustro lub instrument. Całość konstrukcji jest pomalowana na kolor żółty i otoczona ogródkiem z taśmy ostrzegawczej. Założenie trzech lub czterech takich stanowisk pozwoli na prowadzenie pomiarów metodą swobodnego stanowiska, z dowolnego miejsca placu budowy.

Osnowę budowlano-montażową dla dowolnego obiektu należy zaprojektować i wyrównać jako osnowę niezależną, po czym jako dokładniejszą dowiązać ją do osnowy trasy drogowej bez zmiany jej wewnętrznych parametrów geometrycznych. Osnowę dla obiektów mostowych rozwiązuje się w lokalnym układzie współrzędnych bez wprowadzania poprawek odwzorowawczych.

Ze względu na specyfikę terenu (brak obiektów budowlanych) osnowę wysokościową tworzą te same punkty, które utrwalają osnowę poziomą. Wówczas słup betonowy z płytą metalową na głowicy wyposaża się w dodatkowy bolec, utrwalający punkt wysokościowy. Powinno się jednak dążyć, tam gdzie to jest możliwe, do stabilizacji reperów na obiektach trwałych, takich jak domy i mury betonowe.

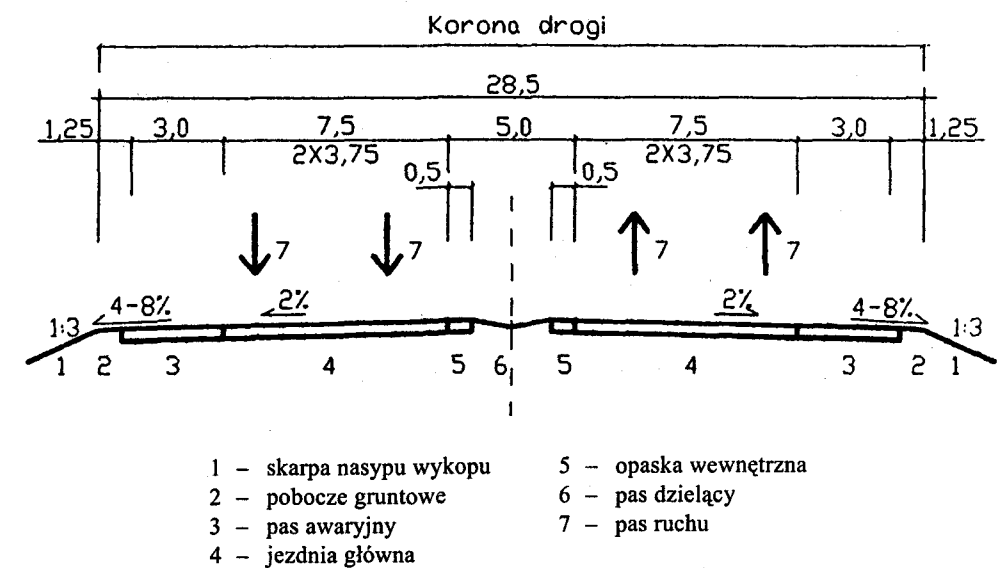
3.10. Dokumentacja projektowa budowy drogi

Aktualna dokumentacja projektowa budowy drogi musi być dostępna dla geodety przez cały okres budowy, a jej dostarczaniem zajmuje się pracownik zatrudniony na stanowisku koordynatora dokumentacji.

Do podstawowych składników tej dokumentacji należą:

- specyfikacje techniczne – część drogowa,
- specyfikacje techniczne – część mostowa,
- projekt drogowy (plan sytuacyjny, plansza zbiorcza),
- przekroje normalne (rys. 3.13.),
- przekroje poprzeczne,
- profile podłużne,
- projekty obiektów inżynierskich,
- projekty budowy lub przebudowy infrastruktury podziemnej,
- projekt oznakowania poziomego.

Powyższa dokumentacja określa zwymiarowanie i usytuowanie głównych elementów trasy lub obiektów. Jest ona uzupełniana rysunkami poszczególnych elementów trasy i obiektów (np. studzienki kanalizacyjne, łożyska na obiekcie mostowym, zbrojenie pala fundamentowego, itp).



Rys. 3.13. Przekrój normalny drogi dwujezdniowej [11]

W skład dokumentacji projektowej, jaką otrzymuje wykonawca robót budowlanych, a wraz z nim wykonawca prac geodezyjnych, wchodzi również zestaw dokumentów pochodzących z wcześniejszych opracowań geodezyjnych, wykonywanych na etapie sporządzania projektu drogowego. Są to dane o osnowie geodezyjnej poziomej i wysokościowej założonej i wykorzystywanej do sporządzenia mapy do celów projektowych oraz wszelkich opracowań prawnych. Do dokumentów tych należą również mapy podziału nieruchomości, wykazy zmian gruntowych i wykazy współrzędnych punktów granicznych pasa drogowego.

W dokumentacji wykorzystywanej na budowie podawane są z reguły współrzędne punktów granicznych, a nie domiary do istniejących szczegółów terenowych. Istnieje również zasada, że obiekt liniowy o powtarzalnych przekrojach normalnych wymiarowany jest od osi drogi. Wymiary są podane na przekroju normalnym i one mają pierwszeństwo przed współrzędnymi odczytanymi z projektu.

Wszystkie większe projekty drogowe opracowywane są w technologii cyfrowej, na przygotowanej przez geodetów mapie numerycznej. Zasady sporządzania takiej mapy zostały wcześniej ściśle określone.

Bardzo ważną rolę w dokumentacji projektowej spełnia specyfikacja techniczna. Określa ona zasady i wymagania dotyczące:

- prowadzenia pomiarów realizacyjnych,
- kontrolowania wykonania robót,
- prowadzenia odbioru robót wraz z ich obmiarem i rozliczeniem.

Są to prace związane bezpośrednio z budową drogi i prowadzeniem czynności geodezyjnych. Do innych wymagań, bezpośrednio dotyczących prac geodezyjnych, a określonych w specyfikacji technicznej, można zaliczyć: opis podstawowych elementów trasy podlegających trwałemu wytyczeniu i zabezpieczeniu (osie, punkty główne łuku kołowego i krzywych przejściowych), opis sposobu stabilizacji i markowania punktów, podanie wymaganych dokładności i gęstości punktów osnowy realizacyjnej, a także dokładności tyczenia, wyszczególnienie rodzaju sprzętu geodezyjnego.

Do wymagań, które nie dotyczą bezpośrednio robót geodezyjnych, ale są bardzo istotne z punktu widzenia obsługi tyczenia i inwentaryzacji powykonawczej robót drogowych, zalicza się zapisy o dopuszczalnych tolerancjach wykonania poszczególnych warstw drogi lub elementów obiektu mostowego, o sposobach wykonania obmiarów i doborze jednostek potrzebnych do celów rozliczeniowych. Kontrolę zachowania tych tolerancji prowadzi się metodami geodezyjnymi.

3.11. Przygotowanie terenu pod budowę

Zasady przekazania przez inwestora i przejęcia przez wykonawcę placu budowy reguluje Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. *Prawo budowlane*. Nakłada ona na inwestora obowiązek przekazania wykonawcy:

- granicy terenu przeznaczonego pod budowę,
- punktów osnowy geodezyjnej sytuacyjnej i wysokościowej,
- punktów oraz osi głównych obiektu.

Do punktów głównych trasy zalicza się: początek i koniec trasy, wierzchołki załamania, początki i końce krzywych przejściowych, łuków kołowych poziomych i pionowych oraz punktów załamania niwelety trasy. Wymienione punkty nie powinny być oddalone od siebie o więcej niż 100 m, co w konsekwencji sprowadza się do wyznaczenia również punktów hektometrowych.

Przejęcie placu budowy z dopełnieniem powyższych wymagań poświadczą swoim podpisem geodeta wykonawcy, posiadający uprawnienia geodezyjnej obsługi inwestycji. Od tego czasu wykonawca odpowiada już za stan punktów i w razie zniszczenia odtwarza je na własny koszt. Specyfikacja techniczna zobowiązuje też wykonawcę do odpowiedniego zabezpieczenia tych punktów. W przypadku granic terenu budowy, która z reguły utrwalona jest kamieniami granicznymi, a więc znakami prawnie chronionymi, należy punkty graniczne oznaczyć wysokimi tyczkami drewnianymi z białoczerwoną taśmą. Punkty te muszą być dobrze widoczne przez operatorów maszyn, szczególnie w początkowej fazie robót, aby nie wykroczać poza zakres robót i uniknąć sporów i nieporozumień z sąsiadami drogi. Punkty osnowy geodezyjnej zabezpiecza się ogrodzeniem, a punkty osi drogi uzupełnia się punktami pomocniczymi (odbiciami) pozwalającymi na jej odtworzenie. Przy dzisiejszym sprzęcie geodezyjnym oraz nowoczesnych metodach tyczenia punktów można zresztą punkty osi drogi wznawiać bez korzystania z punktów pomocniczych. Dziś ekipa geodezyjna jest na budowie przez cały czas i tyczy punkty z dużą dokładnością, bezpośrednio z osnowy lub, co zdarza się już coraz częściej, przy wykorzystaniu metody RTK-GPS.

Na przejętym placu budowy oprócz wymienionych powyżej prac wykonuje się roboty ziemne, po wcześniejszym usunięciu z zajmowanego terenu drzew i krzewów przeznaczonych do wycinki oraz budynków przeznaczonych do rozbiórki.

Zadaniem geodety jest wykonanie inwentaryzacji drzew i obszarów zielonych, które zostały przeznaczone do wycinki. W pozwoleniu na wycinkę zieleni określona jest liczba drzew do wycinki wraz z ich numerami, nazwą gatunku i długością obwodu mierzonego na wysokości 1 m (tzw. pierśnica). Pozwolenie uzupełnione jest załącznikiem graficznym w postaci mapy z naniesionymi drzewami i ich numerami oraz wykaz współrzędnych drzew. Mapy te wykorzystują dendrolodzy prowadzący szacowanie drzew przeznaczonych do wycinki, więc braki lub pomyłki w wykazie drzew muszą być zweryfikowane już na etapie tworzenia projektu. Jest to bardzo ważny wymóg – ze względu na długą procedurę wydawania zezwolenia na wycinkę oraz bardzo wysokie koszty wycinki, które powinny być uwzględnione w projektowanym budżecie budowy.

Dla obszarów leśnych lub terenów położonych wzdłuż rzek, określanych niekiedy jako użytek Lz, wyznacza się linie wycinki. Sporządza się tu wykazy objętości drewna pozyskanego z wycinki i przydzielonego instytucjom lub osobom prywatnym, po uprzednim obmiarze drewna zgromadzonego na składzie w postaci „metrówek”. Innym problemem dla geodetów jest wymóg rozliczenia usunięcia „karpiny”, czyli korzeni wyciętych drzew. Dlatego też wszystkie korzenie przed wywiezieniem gromadzi się w pojedyncze, większe hałdy i obmierza ich kubaturę.

Obiekty budowlane podlegające wyburzeniu objęte są, podobnie jak wycinka drzew, osobną decyzją urzędu. Obiekt musi spełniać wszystkie wymagane warunki, a więc: musi być przejęty od poprzednich właścicieli, opuszczony przez mieszkańców, wszystkie przewody, doprowadzające media do budynku, muszą być odcięte i zabezpieczone przez odpowiednie służby, co powinno być udokumentowane odpowiednim wpisem do dziennika rozbiórki. Rozbiórka budynku jest określona do rozliczenia w jednostkach objętości (m^3). Operat geodezyjny z obmiaru budynków do rozbiórki zawiera podział na części drewniane i murowane, wiaty, a w budynkach o dachach spadzistych rozróżnia się dolną część murowaną i górną drewnianą (dach). Obiekty budowlane o nieokreślonej kubaturze mogą być rozliczane zarówno na sztuki (np. stacje paliw, wiaty autobusowe), jak i kubaturowo (np. zbiorniki betonowe).

Osobnym problemem, rozwiązywanym zawsze poprzez przeniesienie w inne określone w projekcie miejsce, są obiekty kultu religijnego, takie jak kapliczki i krzyże.

Należy również wspomnieć o badaniach archeologicznych. *Prawo budowlane* uwzględnia potrzebę prowadzenia badań archeologicznych wszędzie tam, gdzie zostaną one wskazane przez organ wydający pozwolenie na budowę. Ponieważ stanowiska archeologiczne naniesione na planie zagospodarowania przestrzennego, jak również opinia wojewódzkiego konserwatora zabytków, są nierozłącznym elementem pozwolenia na budowę, wszelkie prace drogowe muszą być prowadzone pod nadzorem archeologicznym. Dla łatwiejszego dokumentowania wyników prac archeologicznych zakłada się w wyznaczonych rejonach stabilizowaną siatkę kwadratów o bokach 50 m. W ramach tej siatki, na odpowiednio przygotowanym terenie, pozbawionym humusu oraz wygładzonym łopatami, wyznacza się siatkę arową (10×10 m), w ramach której dokumentuje się położenie wszystkich znalezisk. Powstaje w ten sposób bardzo dokładna mapa archeologiczna, która doświadczonym archeologom pozwala określać następne pola arowe interesujące z punktu widzenia analizy całości obrazu.

Do prac przygotowawczych zalicza się również zdjęcie warstw humusu. Na wstępie wykonuje się inwentaryzację stanu istniejącego terenu, która ma na celu zarejestrowanie tzw. stanu zerowego przed odhumusowaniem. Od tej pory wszystkie roboty ziemne będą odnoszone do poziomu uzyskanego z pomiarów inwentaryzacyjnych, bez względu na to, jaki jest on w przekrojach poprzecznych.

Dokonując inwentaryzacji terenu przed odhumusowaniem w projektowanych przekrojach poprzecznych, wykonuje się jednocześnie dwa dodatkowe pomiary:

- wytyczenie zakresu odhumusowania,
- wytyczenie linii przecięcia skarp z terenem.

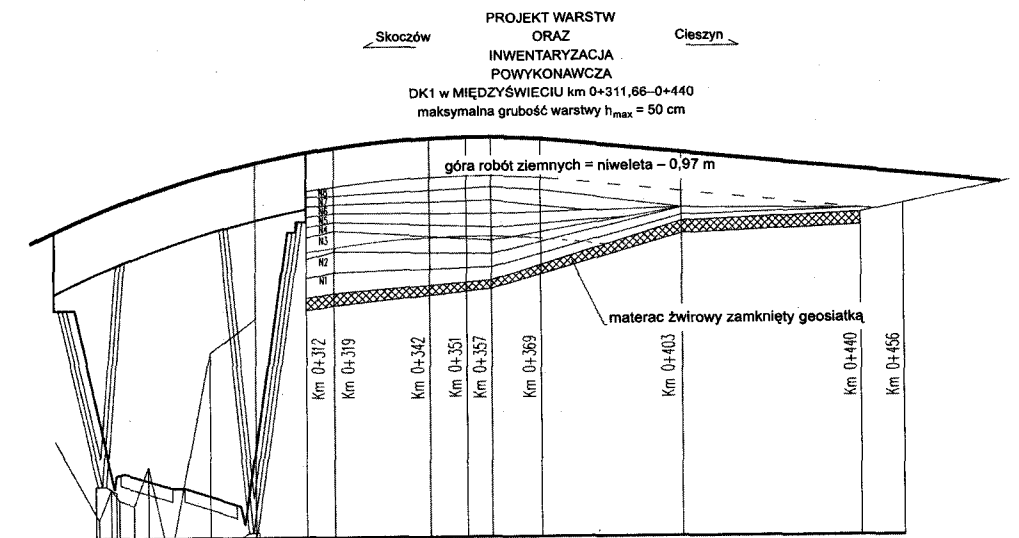
Pomiary te obejmują:

- wytyczenie osi trasy w przekrojach projektowych;
- wytyczenie dolnych krawędzi skarp przez odłożenie od osi odległości obliczonych na podstawie danych z przekroju poprzecznego;
- ustawienie w terenie tzw. skarpowników, czyli drewnianych szablonów wyznaczających nachylenie skarpy;
- ustawienie szablonu wyznaczającego projektowaną wysokość skarpy.

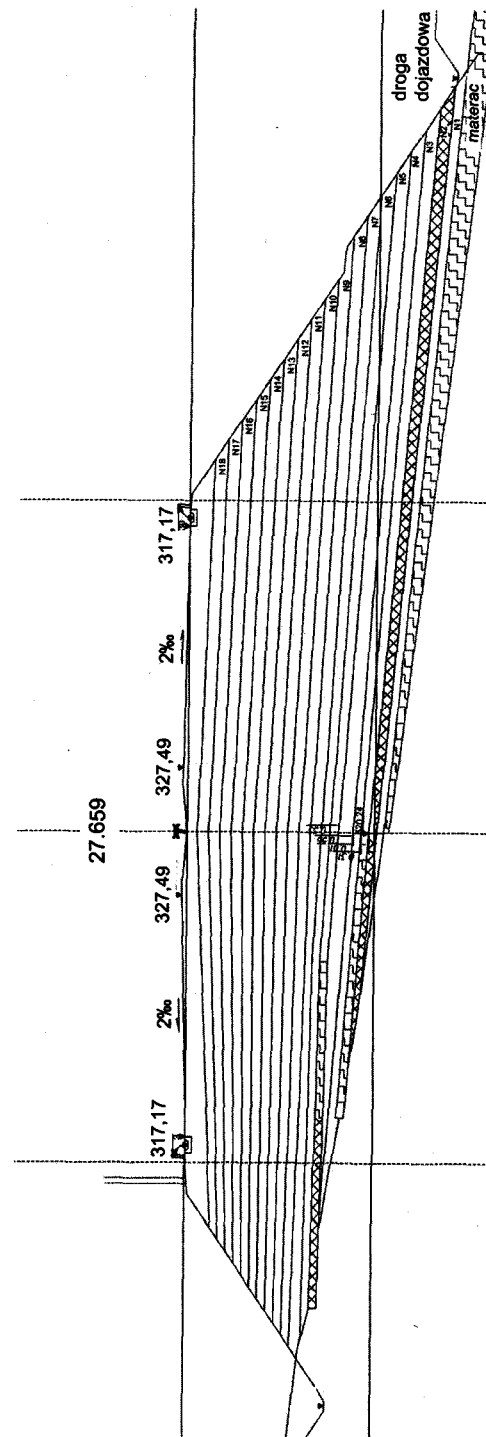
3.12. Obsługa geodezyjna robót ziemnych

W przypadku gruntów nadających się do formowania nasypów, roboty ziemne są bilansowane przez projektanta z nadwyżką wykopów, gdyż zawsze będzie występować jakaś część gruntu nie nadającego się do wykorzystania. Podstawą do wykonania takich obliczeń jest model geologiczny terenu wykonany w oparciu o wyniki wierceń i badań geologicznych. Model taki wykonywany jest często przez geodetów współpracujących z geologami. Na jego podstawie można obliczać kubatury warstw wykopowych, przydatnych i nieprzydatnych do formowania nasypów. Wszystkie prowadzone roboty ziemne (wykopy, nasypy) są na bieżąco inwentaryzowane przez geodetów w celu rozliczenia ich kosztów z inwestorem i podwykonawcami. Dzięki takim pomiarom, wykonywanym w projektowych przekrojach poprzecznych, można na bieżąco kontrolować przebieg linii skarpy, pochylenie, lokalizację półek oporowych i występowanie przemieszczeń.

Do robót ziemnych zalicza się również prace polegające na usunięciu podłoża rodzimego i wprowadzenie na jego miejsce materiału o lepszej nośności. Jednak ze względu na ich ogromny koszt, zamiast wymiany gruntu stosuje się wzmocnienie podłoża materacem żwirowym grubości 30–50 cm zamkniętym geosiatką (rys. 3.14). Materac taki wymaga dokładnego wytyczenia i obmiaru szczególnie w przypadkach, gdy poszczególne jego części nachodzą na siebie lub są przykrywane kolejnymi warstwami nasypu. Stosuje się też geodezyjny monitoring wzmocnienia podłoża sposobem przeciążenia nasypów z użyciem drenażu wgłębnego i powierzchniowego. Geodezyjną kontrolą obejmuje się również kolejne warstwy formowanego nasypu. Kontrola ta wynika z zaostreżenia norm obciążeniowych stosowanych przy zagęszczaniu nasypu.



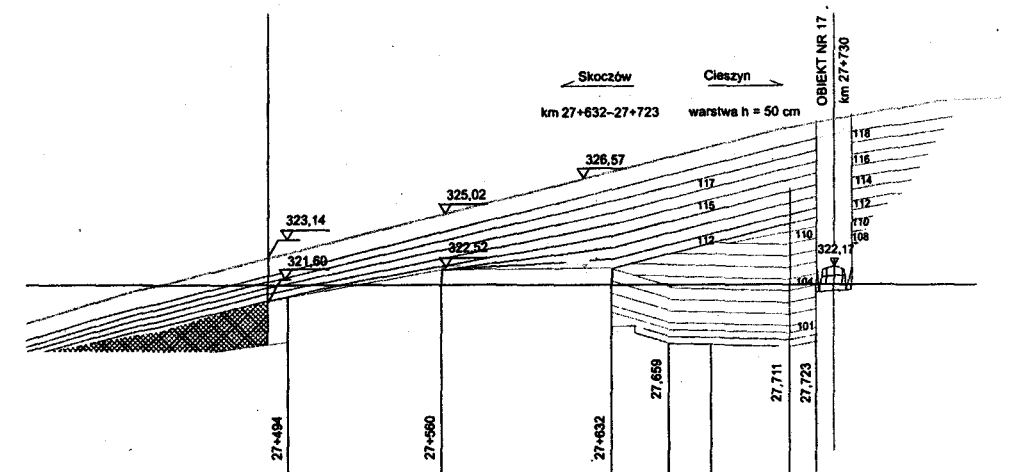
Rys. 3.14. Materac wzmocniający podłoże na dojeździe do obiektu mostowego [11]



Rys. 3.15. Ułożenie warstw w przekroju poprzecznym [11]

Jeżeli układanie warstw rozpoczyna się w terenie o nachyleniu poprzecznym do osi trasy (rys. 3.15), to liczbę warstw nasypu należy określić dzieląc wysokość wyższej krawędzi nasypu przez 0,5 m, a grubości tych samych warstw na krawędzi niższej będą odpowiednio mniejsze. Inaczej wygląda formowanie warstw na zmieniającym się przekroju podłużnym (rys. 3.16). Warstwy mogą wtedy zachodzić „schodkowo” na siebie i mieć grubość narastającą od 0 do 0,5 m.

Należy również pamiętać, że z przyczyn ograniczeń technicznych nie można zagęścić nasypu walcem aż do jego krawędzi. Dlatego też podczas formowania nasypu wytacza się warstwy szersze o 0,5 m z każdej ze stron, a tak powstały nadmiar jest na końcu ścinany i przemieszczany na ostatnią warstwę. Odbiory wysokościowe wszystkich warstw wykonuje się w osi drogi i na jej krawędziach. Przy niekorzystnych warunkach gruntowych przy pomocy specjalnej mieszanki cementowej wykonuje się tzw. stabilizację warstwy. Wszystkie wzmocnione rejonu muszą być dokładnie pomierzone i naniesione na odpowiednie warstwy nasypowe.



Rys. 3.16. Ułożenie warstw w przekroju podłużnym [11]

3.13. Tyczenie szczegółów trasy drogowej

Cały teren budowy wraz z osnową geodezyjną, wykorzystaną wcześniej do celów projektowych przejmuje wykonawca. W oparciu o nią prowadzone będą sytuacyjne i wysokościowe pomiary realizacyjne.

Podstawą lokalizacji sytuacyjnej punktów trasy drogowej, a więc: jezdni wraz z poszczególnymi warstwami konstrukcyjnymi, studni kanalizacji, krutek ściekowych, słupów oświetleniowych, poboczy, rowów itd., jest oś drogi wraz z określonym kilometrażem. Wymiary podaje się wzdłuż kierunków prostopadłych do osi drogi na odcinkach prostoliniowych lub prostopadłych do stycznych na odcinkach krzywoliniowych. Zmieniają się one tylko w szczególnych, określonych w projekcie rejonach i dotyczą

pasów włączenia i wyłączenia oraz przekrojów ze zmienną przechyłką lub wprowadzania poszerzeń wewnętrznych i zewnętrznych. Dane do tyczenia wszystkich punktów projektu oblicza się, wykorzystując podane przez projektanta zależności geometryczne związane z osią drogi, określoną współrzędnymi i parametrami wierzchołków. Podstawą lokalizacji wysokościowej elementów drogi jest niweleta. Linia niwelety bywa różnie usytuowana w stosunku do osi drogi. Może się z nią pokrywać, może być przesunięta o stałą wielkość lub może przebiegać po krawędzi jezdni. Określa to dokładnie przekrój normalny. W stosunku do linii niwelety określa się rzędne poszczególnych punktów trasy, a w szczególności grubości warstw konstrukcyjnych.

Tyczenie punktów najwygodniej wykonywać bezpośrednio z punktów osnowy realizacyjnej lub w dowiązaniu do osi drogi. O wyborze metody decydują względy dokładności tyczenia, pracochłonności oraz warunki terenowe i warunki budowy. Często jest tak, że pracujące maszyny uniemożliwiają tyczenie z osnowy, za to jest możliwość celowania wzdłuż pasa zieleni. Linie proste krawędzi drogi, a szczególnie linie szpilek z rozwieszonymi linkami do sterowania rozścielaczem masy bitumicznej i rozkładarką kruszywa, tyczy się z uwzględnieniem ustalonych wcześniej poszerzeń tak, aby maszyny te nie uszkadzały punktów, natomiast równiarki, walce i spycharki korzystają z systemu naprowadzania przy użyciu tachymetru elektronicznego. Ważne jest również stosowanie zakładki warstwy na warstwę oraz znakowanie kolorami tyczonych punktów, aby łatwo było rozpoznać różne elementy drogi leżące blisko siebie. Bardzo ważne jest sporządzenie odpowiednich szkiców tyczenia i przekazywanie ich na bieżąco zleceniodawcy.

Po zakończeniu robót ziemnych oraz geodezyjnym i laboratoryjnym odbiorze podłoża (spód wykopu lub ostatnia warstwa nasypu) przystępuje się do budowy konstrukcji drogi składającej się z podbudowy i nawierzchni, podzielonych jednocześnie na warstwy.

W skład podbudowy wchodzi następujące warstwy:

- odsączająca,
- piasku lub kruszywa stabilizowanego cementem,
- kruszywa stabilizowanego mechanicznie,
- betonu asfaltowego.

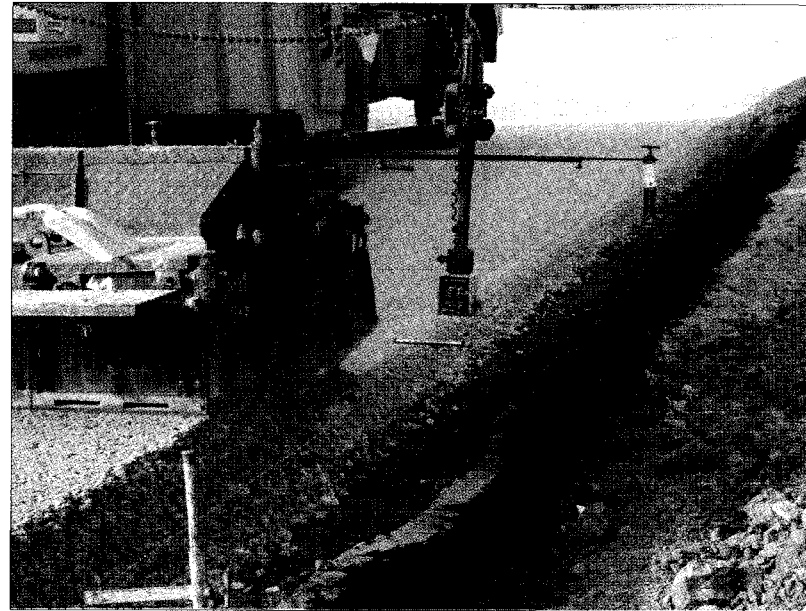
Przy układaniu kolejnych warstw podbudowy prowadzi się prace geodezyjne związane z tyczeniem warstwy i jej inwentaryzacją. W pierwszej kolejności na podstawie dokumentacji projektowej ustala się szerokości danej warstwy z uwzględnieniem tzw. odsadzki, czyli schodkowego poszerzenia warstw nakładanych na siebie. Następnie określa się spadek poprzeczny warstwy. W tym miejscu należy zauważyć, że podłoże w przekroju typowym (na odcinku prostoliniowym) ma pochylenie 4%, natomiast warstwy podbudowy mają pochylenie 2%. W związku z tym pierwsza warstwa podbudowy układana na podłożu (warstwa odsączająca) będzie miała zmienną grubość. Na krzywej przejściowej różnice te zmniejszają się w taki sposób, aby w przekroju poprzecznym na łuku kołowym linie krawędzi warstw były do siebie równoległe.

Stosowanie warstwy odsączającej pozwala na odprowadzenie wody opadowej, wsiąkającej poprzez pas zieleni i pobocze, do krawędzi nasypu i do rowu (w tym właśnie celu zwiększa się pochylenie podłoża do 4%), a w wykopie do drenażu usytuowa-

nego przy krawędziach zewnętrznych jezdni, z odprowadzeniem do kanalizacji. Drenaż z rur wykonywany jest również przy pasie rozdziału, jeżeli droga jest prowadzona w łuku bez rozróżnienia wykop – nasyp. Znajomość tych zasad budowlanych pozwala geodecie na bieżącą analizę sytuacji przy sypaniu warstwy filtracyjnej i jednoczesnym układaniu drenażu. Na przykład, jeśli spadek poprzeczny na łuku zmieni się z (+) na (-), wówczas budowanie drenażu w pasie rozdziału nie ma sensu, gdyż nie będzie on pracował. Gdy kończy się wykop i zaczyna nasyp, należy pamiętać o wyprowadzeniu tej warstwy do samej krawędzi nasypu, aby woda filtrowała do rowu. W omawianych pracach ważne jest takie przygotowanie danych, by tyczone punkty nie zostały uszkodzone przez maszyny stosowane do układania podbudów i kruszyw. Punkty tyczone przesunięte np. o 0,5 m znaczą się szpilkami stalowymi z poprzecznymi ramionami, w których ulokowana jest linka stalowa, z jednej strony zamocowana trwale, z drugiej napięta poprzez specjalny, blokowany kołowrotek (rys. 3.17). Linka ta jest bazą dla układu elektronicznego sterującego rozkładarką kruszywa (rys. 3.18) lub rozścielaczem asfaltu. Rozścielacz asfaltu jest rozstawiony na pełną szerokość, a czujniki elektroniczne sterujące stołem pobierają dane z linek ustawionych przez geodetów z obu stron maszyny, przy czym układ stabilizujący sam wylicza spadek poprzeczny i jest w stanie płynnie go zmieniać. Rozkładarki do kruszyw układają warstwy paskami (najczęściej o szerokości 5 m) i są dowiązywane do linki z jednej strony. Spadki poprzeczne muszą być opisane w terenie i przekazane operatorowi, który wprowadza je ręcznie do układu elektronicznego sterującego stołem.



Rys. 3.17. Napinanie linki [11]

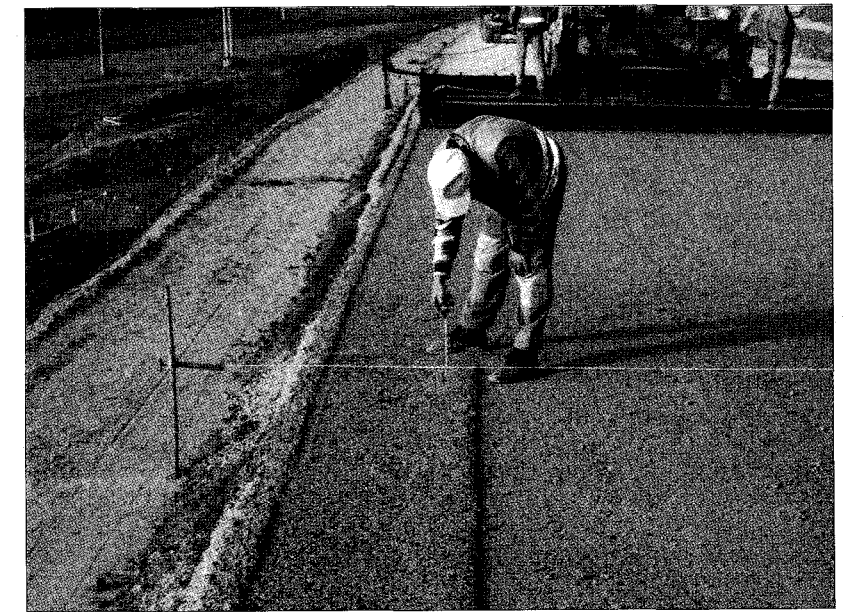


Rys. 3.18. Rozkładarka kruszywa z czujnikiem elektronicznym [11]

Warstwa kruszywa stabilizowanego cementem wykonywana jest za pomocą specjalnej maszyny, która rozprowadzone wstępnie kruszywo miesza z cementem rozsypanywanym na powierzchni warstw, następnie polewa wodą i zagęszcza. Istotne jest tu także wcześniejsze rozprowadzenie kruszywa z odpowiednią poprawką na zagęszczenie (ok. 10% grubości warstwy), aby była ona wyprowadzona na odpowiednią wysokość. W rejonach, gdzie istnieje możliwość dostępu do betonu popiołowego (elektrownie), stosuje się go zamiennie jako tańszy materiał do układania warstwy podbudowy. Rozkłada się go za pomocą rozkładarek do kruszyw. Ze względu na konieczność szybkiego przykrywania popiołu następną warstwą podbudowy z kruszywa stabilizowanego mechanicznie, pomiary geodezyjne realizacyjne i inwentaryzacje powykonawcze muszą się odbywać bardzo sprawnie. Dlatego też należy z góry założyć, że obie warstwy podbudów stabilizowanych cementem należy położyć z wytyczonego jednego zestawu szpilek i linek. Konieczne jednak będzie, aby w pewnym momencie podnieść linki do góry o wartość równą grubości warstwy. Na trasie linki nie może być przeszkód w formie np. hałd ziemi wsypywanych do zieleńca (drogowcy często wykonują tak zwany „opór” dla warstw, aby nie rozjeżdżały się na boki). Prawie na pewno będą przeszkadzać wysokie kominy kregów studni kanalizacyjnych, które wyprowadzone są na projektowaną wysokość. Wtedy wytycza się szpilkę przed i za studzienką, a w momencie dojeżdżania rozkładarki do studni wyłącza się czujnik wysokościowy stołu. Kontrola wysokościowa polega na sprawdzeniu za pomocą niwelatora i łąty trzech punktów na przekroju co 20 m; jest wykonywana na bieżąco po zagęszczeniu warstwy

walcem. Z reguły warstwa podbudowy z popiołu betonowego jest wykonywana pasem 5 m, a następnie przykrywana jest warstwą podbudowy z kruszywa stabilizowanego mechanicznie (również pasem 5 m). Czasu na ewentualne korekty (frezowanie) jest niewiele, dlatego wszystkie czynności geodezyjne muszą być wykonane bardzo sprawnie.

Warstwa kruszywa stabilizowanego mechanicznie jest ostatnią warstwą przed rozpoczęciem układania warstw bitumicznych. Dokładność jej wykonania jest szacowana na około 1–2 cm, dlatego należy dołożyć wszelkich starań, aby tolerancji tej nie przekraczać, by unikać konieczności skrobania warstwy równiarką. W trakcie układania warstwy prowadzi się cały czas kontrolę (rys. 3.19) grubości warstwy za stołem, w 2–3 miejscach na przekroju, przy użyciu żyłki naciągniętej pomiędzy linkami i przymiaru liniowego.

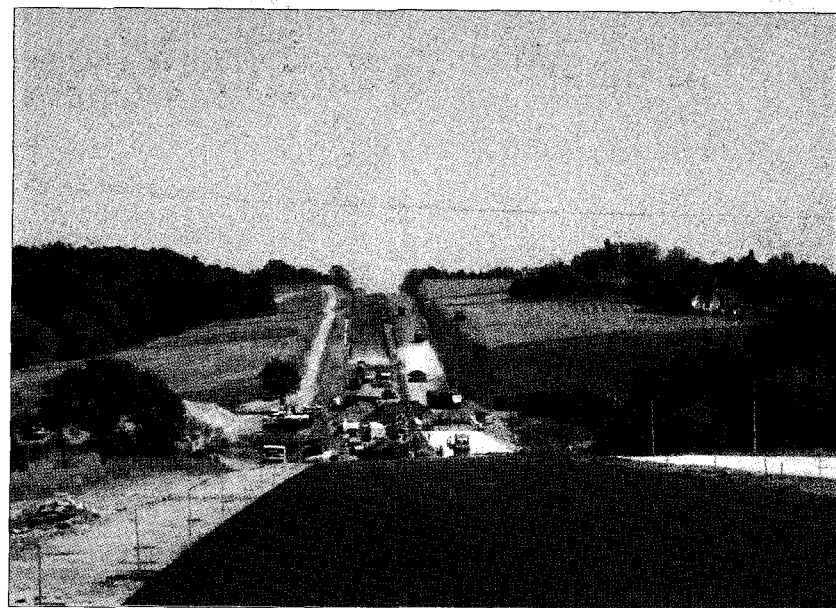


Rys. 3.19. Kontrola rozkładania kruszywa [11]

Warstwa betonu asfaltowego wykonywana jest podobnie jak nawierzchnia, stąd sposób prowadzenia obsługi geodezyjnej jest taki sam, jak opisano poniżej.

Do nawierzchni drogi zalicza się warstwę wiążącą i warstwę ścieralną lub warstwę z mieszanki mastyksowo-grysowej. Nawierzchnię można rozkładać (budować) przy użyciu rozścielacza asfaltu lub można ją frezować. Frezowanie nawierzchni ma miejsce na odcinkach dowiązywania do istniejących dróg lub ich remontowania. Wyróżnia się następujące grubości frezowania: do 1 cm (uszerstnianie), 3 cm, 10 cm, 15 cm i 20 cm. Tego typu prace, ze względu na ich wysokie koszty, są bardzo dokładnie inwentaryzowane z rozróżnieniem zrealizowanych grubości frezowania.

Pomiary geodezyjne prowadzone przy formowaniu warstwy wiążącej rozpoczyna się od ponownego wytyczenia osi drogi w pasie rozdziału. Następnie od osi wytycza się szpilki przesunięte względem granic warstwy ścieralnej o 50–60 cm. Szpilki powinny być ustawione w tych samych miejscach co poprzednio, szczególnie przy dużych spadkach podłużnych. Do układania i kontroli wykonania nawierzchni wykorzystuje się układ odniesienia, który stanowią linki rozwieszane na dwóch rzędach szpilek (rys. 3.20). Wysokości wsporników szpilek, na których rozwiesza się linki, wyznacza się metodą niwelacji technicznej w dowiązaniu do reperów wchodzących w skład osnowy wysokościowej budowanej trasy drogowej. Linki ustawia się na wysokości niwelety warstwy ścieralnej i względem nich wykonuje się pomiary kontrolne. Zarówno grubość warstwy, jak i jej rzędna nie powinny odbiegać od wartości projektowej o więcej niż ± 10 mm.



Rys. 3.20. Szpilki z linkami jako układ odniesienia do kształtowania nawierzchni [11]

Układanie warstwy wiążącej (wyrównawczej) pozwala na ewentualne usunięcie odchyłek wysokościowych powstałych przy układaniu warstwy poprzedniej. Na niej układa się ostatnią warstwę ścieralną o określonej grubości, ale już nie dokonuje się sprawdzania wysokości.

W trakcie prowadzenia robót oraz po wykonaniu podbudowy i nawierzchni dokonuje się odbioru technicznego, który polega na wykonaniu szeregu czynności geodezyjnych i laboratoryjnych oraz porównaniu otrzymanych wyników z wielkościami projektowymi.

Do prac geodezyjnych wykonywanych w tym zakresie zalicza się kontrolę:

- grubości poszczególnych warstw podbudowy i nawierzchni w zakresie ustalonym z kierownikiem budowy,
- szerokości warstwy i jej obramowania w odstępach co 100 m,
- rzędnych niwelety w odstępach co 100 m,
- spadków poprzecznych wykonaną łąką profilową (4 m) z poziomicyą w odstępach co 100 m na obu pasach ruchu,
- równości nawierzchni w przekroju podłużnym, ustalaną na bazie 4 m w odstępach co 100 m,
- kształtu osi podbudowy w płaszczyźnie poziomej względem osi projektowanej, w odstępach co 100 m oraz dodatkowo w punktach głównych łuków poziomych.

Z czynności tych powstaje protokół odbioru robót, do którego załącza się wyniki pomiarów wykonanych przez geodetów „wykonawcy” lub geodetów „nadzoru”.

Dla wszystkich warstw asfaltów wykonywane są tzw. badania cech geometrycznych. Plan tych badań jest jednakowy, a zmieniają się tylko tolerancje. Szczegółowy przebieg badań dla warstwy wiążącej zestawiono w tabeli 3.1.

Tabela 3.1

Badanie cech geometrycznych warstwy wiążącej

Lp.	Elementy obserwowane	Częstotliwość pomiarów
1	Szerokość warstwy	2 razy na 1 km
2	Równość podłużna	w sposób ciągły (planograf)
3	Równość poprzeczna	10 razy na 1 km
4	Spadki poprzeczne	10 razy na 1 km oraz w punktach głównych łuków kołowych
5	Rzędne wysokościowe	co 100 m
6	Ukształtowanie osi w planie	co 100 m oraz w punktach głównych łuków kołowych
7	Złącza podłużne i poprzeczne	każde złącze

Badanie szerokości warstwy polega na pomiarze odległości pomiędzy przeciwnymi bocznymi krawędziami. Szerokość wykonanej warstwy nie może różnić się od projektowanej o więcej niż ± 5 cm.

Równość podłużną sprawdza się „planografem”, który jest urządzeniem wózkowym, składającym się z dziesięciu kółek zamocowanych wzdłuż jednej linii. Kółka skrajne realizują linię bazową, względem której pozostałe kółka, wyposażone w rejestrujące czujniki, dokonują pomiaru nierówności. Pomiary takie można również wykonać przy użyciu zestawu składającego się z czterometrowej łąty i klina. Wymagana równość podłużna jest określana przez wartości wskaźnika podanego w mm/m.

Równość poprzeczną warstwy wyznacza się przy użyciu łąty i klina. Odchyłką jest największa odległość między łątą a powierzchnią w danym profilu.

Spadki poprzeczne warstw z betonu asfaltowego na odcinkach prostych i na łukach powinny być zgodne z dokumentacją projektową z tolerancją $\pm 0,5\%$.

Rzędne wysokościowe warstwy sprawdza się co 100 m lub co 20 m. Sprawdzenie polega na wykonaniu niwelacji i porównaniu wyników pomiaru z dokumentacją projektową. Różnice pomiędzy rzędnymi wysokościowymi warstwy wykonanej a rzędnymi projektowymi nie powinny przekraczać ± 1 cm.

Ukształtowanie osi w planie sprawdza się co 100 m. Różnica pomiędzy osią rzeczywistą a projektowaną nie powinna być większa niż 5 cm.

Warstwa ściernalna jest ostatnią, najdroższą warstwą nawierzchni; po niej odbywa się ruch pojazdów, dlatego wymagania dokładnościowe są dla niej najwyższe. Najistotniejsze jest zachowanie jednakowej grubości tej warstwy (np. 3 cm), stąd jej tyczenie wysokościowe nie wymaga stosowania linek. Dla prawidłowego, sytuacyjnego prowadzenia rozścielacza (kierunek, szerokość) wyznacza się znaki malowane na asfalcie lub szpilki i jedną linkę. Czujnik rozścielacza prowadzi maszynę tylko sytuacyjnie, natomiast baza wysokościowa ustawiona w opcji „na grubość” jest pobierana z warstwy poprzedniej przy pomocy specjalnej płyty umieszczonej pod maszyną. Szpilki rozstawia się co 40 m na prostej i co 10 m na łuku, a linka jest odsunięta od krawędzi warstwy o 0,5 m. Znaki malowane odsuwa się o 5 cm od projektowanej krawędzi drogi, aby można je było wykorzystać do obcinania krawędzi przez frez walca lub w przypadku budowy korytek przykrawędziowych – do obcinania ich przez piły mechaniczne.

3.14. Systemy sterowania maszynami do robót ziemnych i drogowych

W ostatnim czasie coraz popularniejsze stają się systemy sterowania maszynami budowlanymi. Systemy te oparte są na wykorzystaniu:

- tachymetrów elektronicznych,
- odbiorników satelitarnych GPS,
- niwelatorów laserowych i sensorów ultradźwiękowych.

Najdokładniejsze są systemy tachimetryczne pracujące w zasięgu do 200 m. Wykorzystuje się je przy robotach, gdzie wymagana jest milimetrowa dokładność wykonania nawierzchni asfaltowej lub betonowej. Stosuje się tu tachymetry o najwyższej precyzji z opcją ciągłego śledzenia przemieszczanego pryzmatu dalmierczego. Instrument ten odnajduje lustro zamontowane na stole rozścielacza masy bitumicznej i przez radiomodem przesyła dane do komputera pokładowego maszyny, sterującego jej hydrauliką. Na maszynach montuje się również czujniki przechyleń, rejestrujące pochylenia współpracujących ze sobą części maszyny. Sterowanie może odbywać się w sposób automatyczny i wówczas maszyna wykonuje polecenia opisane w przestrzeni 3D, wy-

generowanej wcześniej w postaci modelu danej warstwy (terenu). Maszyna może być również sterowana przez operatora wzdłuż wygenerowanej osi lub w płaszczyźnie widocznej na panelu komputera w maszynie.

Systemy satelitarne GPS zapewniają dokładność pomiaru rzędu 2–3 cm w zakresie do 20 km i są wykorzystywane przy mniej dokładnych robotach drogowych. Działają bardzo podobnie do systemu tachimetrycznego z tą różnicą, że lustro zastępuje się tu anteną GPS. Korzysta się przy tym z dwóch odbiorników GPS pracujących w systemie RTK. Jeden odbiornik pełni funkcję stacji referencyjnej i emituje poprawki korekcyjne, natomiast drugi odbiera sygnały z anteny umieszczonej na lemieszku maszyny. Pochylenia maszyny rejestrują czujniki, a odpowiednie komunikaty wysyłane są do urządzeń sterujących hydrauliką maszyny. Jest to system, za pomocą którego z jednej stacji referencyjnej sygnały może odbierać wiele odbiorników.

Systemy laserowe i ultradźwiękowe jedynie wspomagają pracę maszyny, nie zapewniając jej pełnej automatyzacji. Sygnał, jakim jest wiązka promienia laserowego lub fali ultradźwiękowej, generuje jedynie kierunek, po którym należy przesuwac maszynę i ogranicza wysokość lub głębokość wykonania określonych prac ziemnych, a także informuje operatora o wielkościach odchyłek od określonej linii. Odpowiednie sensory mocuje się magnetycznie do lemieszku maszyny. System ten jest łatwy w użyciu i można go rozbudowywać o czujniki przechyleń i tym samym zwiększyć zakres automatyzacji pracy maszyny.

Wszystkie trzy systemy w znaczny sposób przyczyniają się do poprawy wydajności pracy maszyn, skracania czasu budowy, ograniczenia masowych wytyczeń, poprawy dokładności, wyeliminowania błędów, ograniczenia obliczeń i zakresu wykonania pracochłonnych operatów geodezyjnych.

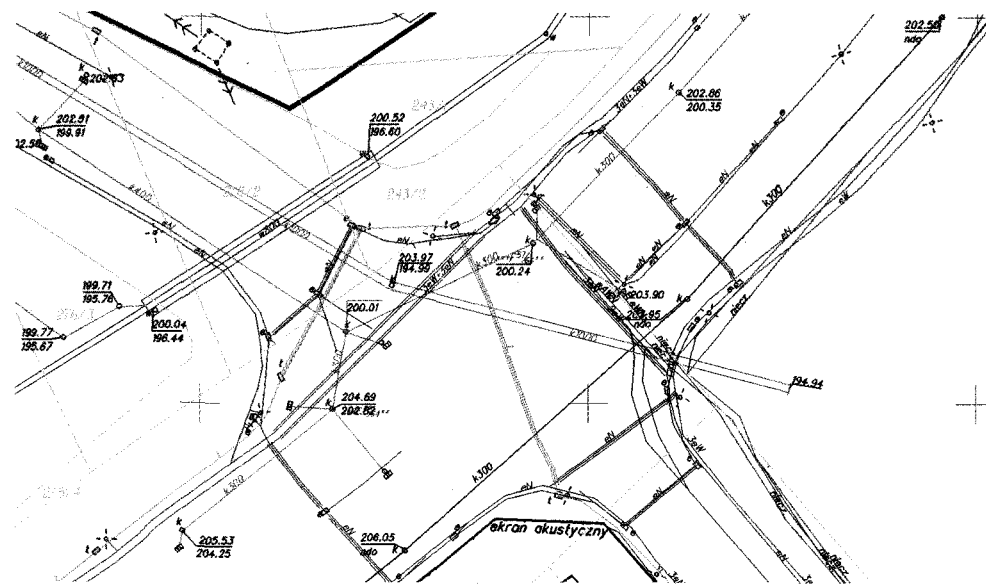
3.15. Uwagi końcowe

Nadzór geodezyjny

Nadzór nad realizacją dużych inwestycji drogowych sprawują inspektorzy różnych specjalności, często pochodzący z różnych krajów. Przepisy i procedury postępowania muszą być jednak uniwersalne i przejrzyste. Do zadań inspektora nadzoru geodezyjnego należy prowadzenie ścisłej współpracy ze służbami geodezyjnymi wykonawcy w zakresie: przekazywania geodezyjnej części projektu, kontroli tyczenia, kontroli usytuowania wybudowanych elementów drogi i obiektów, kontroli przestrzegania przepisów oraz obowiązujących instrukcji, kontroli jakości sprzętu geodezyjnego używanego do pomiarów, a także prowadzenie spraw geodezji w biurze nadzoru i współpraca z organami władzy terenowej w zakresie użytkowania terenu budowy. Nadzór jak i cały proces projektowania i budowy prowadzony jest w oparciu o „warunki kontraktowe dla robót inżyniersko-budowlanych” opracowane przez Międzynarodową Federację Inżynierów Konsultantów (FIDIC).

Mapa dyżurna

Przy budowie dróg jedną z pierwszych prac jest przebudowa i budowa urządzeń infrastruktury podziemnej, kolidujących z przebiegiem trasy, oraz budowa infrastruktury technicznej samej autostrady (kanalizacje, drenaże, linie kablowe oświetlenia autostradowego, komunikacja światłowodowa systemu ostrzegania itd). Z tego względu prowadzenie mapy dyżurnej (rys. 3.21) jest konieczne. Dostarcza ona informacji o rzeczywistym przebiegu przewodów i urządzeń podziemnych, ustalonym na podstawie sukcesywnie prowadzonej, powykonawczej inwentaryzacji geodezyjnej. Umożliwia tym samym opracowanie kolejnych fragmentów dokumentacji projektowej budowanej trasy drogowej, zapewniając im bezkolizyjność. Mapa dyżurna prowadzona jest w formie elektronicznej, a na bieżące potrzeby jej dowolne fragmenty mogą być drukowane.



Rys. 3.21. Fragment mapy dyżurnej [11]

Końcowa inwentaryzacja powykonawcza

Końcowa dokumentacja powykonawcza jest niezbędna do dokonania odbioru inwestycji. Składa się ona z części drogowej, potrzebnej do odbioru przez Urząd Wojewódzki oraz Nadzór Budowlany (zgodność z pozwoleniem), oraz części branżowej dotyczącej uzbrojenia podziemnego (zgodność z protokołem ZUDP), przekazywanej jednostkom prowadzącym gospodarkę różnymi mediami.

Przepisy wymagają, aby po zakończeniu budowy każdej inwestycji wykonać inwentaryzację powykonawczą. W odniesieniu do inwestycji drogowej oznacza to w prak-

tyce wykonanie nowego pomiaru sytuacyjno-wysokościowego całego pasa drogowego. Zmiany stanu zagospodarowania terenu przed zakończeniem i po zakończeniu budowy są znaczne, więc nie powinno się próbować wykonania pomiaru uzupełniającego. Wyniki pomiaru inwentaryzacyjnego wnosi się na mapę zasadniczą.

Literatura

- [1] Kaleta B.: *System wspomagania geodezyjnej obsługi inwestycji drogowych*. Kraków, AGH 2004 (praca dyplomowa, promotor J. Gocał)
- [2] Kluczewski Ł., Kondyjowski M.: *Prace geodezyjne przy budowie autostrad*. Kraków, AGH 1999 (praca dyplomowa, promotor J. Gocał)
- [3] Kłopotniński W., Lipiński M., Łabęcki Z., Ponikowski J.: *Pomiary specjalne, cz. 1*. Warszawa, PPWK 1968
- [4] Krystek R.: *Węzły drogowe i autostradowe*. Gdańsk, Wyd. Komunik. i Łączn. 1998
- [5] Pierzchała H.: *Projektowanie dróg kołowych w zarysie*. Kraków, AGH 1982
- [6] Pisula P.: *Prace geodezyjne przy budowie węzła drogowego „Bora Komorowskiego” w Warszawie*. Kraków, AGH 2002 (praca dyplomowa, promotor J. Gocał)
- [7] Praca zbiorowa: *Geodezja inżynierska, t. III*. Wydanie 2 zmienione, Warszawa, PPWK 1993
- [8] Rola F. (red.): *Geodezja inżyniersko-przemysłowa. Wykłady, część II*. Wydanie trzecie, Kraków, AGH 1991
- [9] Przewłocki S.: *Geodezja inżyniersko-drogowa*. Warszawa, PWN 2000
- [10] Rolla S., Rolla M., Żarnoch W.: *Budowa dróg, cz. 1 i 2*. Warszawa, WSiP 1998, 1993
- [11] Tomaszewski D.: *Etapy geodezyjnej obsługi autostrady na podstawie budowy Południowego Obejścia Krakowa*. Kraków, AGH 2004 (praca dyplomowa, promotor J. Gocał)
- [12] Żurowski A.: *Pomiary geodezyjne w budowie dróg, lotnisk i mostów*. Warszawa, Wyd. Komunik. i Łączn. 1981

4. Geodezyjna obsługa budowy mostów

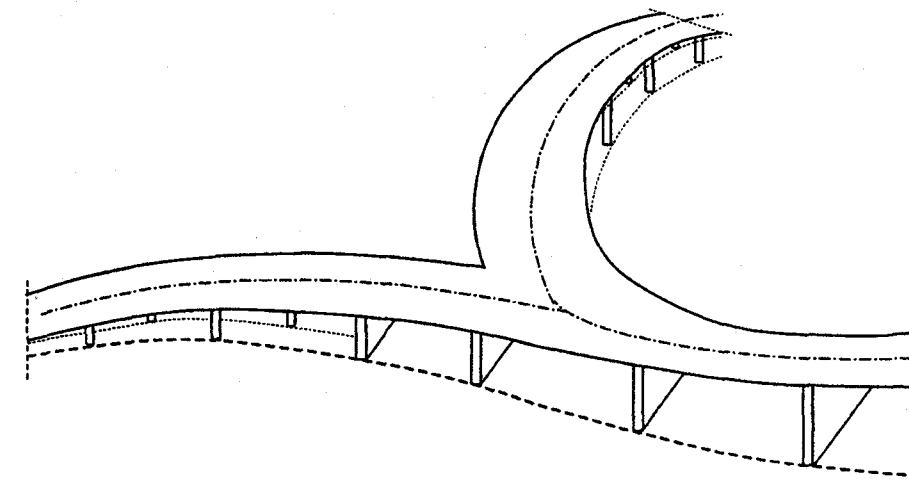
4.1. Charakterystyka techniczna budowli mostowych

4.1.1. Ogólne wiadomości o mostach

Wznoszenie budowli mostowych z zastosowaniem klasycznych i nowoczesnych technologii budowy prowadzone jest przy stałej obsłudze geodezyjnej. Wykonywane tu prace pomiarowe charakteryzują się wysoką dokładnością, a stosowane procedury pomiarowe dostosowuje się do konkretnej technologii budowy mostów w taki sposób, aby pomiary realizacyjne i inwentaryzacyjne nie zakłócały normalnego rytmu budowy. Jest to zadanie bardzo trudne do spełnienia, głównie ze względu na wysokie wymagania dokładnościowe, specyfikę nowoczesnych technologii budowy i duże rozpiętości przęseł. Zakres i stopień trudności prac geodezyjnych w znacznej mierze uzależnione są od wymiarów mostów. O skali możliwych problemów najlepiej mogą świadczyć ostatnio wybudowane mosty, np. most podporowo-wiszący, łączący wyspy Sprogø i Zeeland w cieśninie Wielki Bełt (Dania, 1996 r.), ma łączną długość 6800 m i posiada w części podporowej 19 przęseł o rozpiętości 193 m oraz jedno przęsło wiszące o rozpiętości 1624 m. Most Akashi-Kaikyo łączący wyspy Honsiu i Sikoku (Japonia, 1998 r.) ma łączną długość 3650 m, przy czym przęsło wiszące ma rozpiętość 1990 m. Warto też wymienić betonowy most, wykonany z elementów prefabrykowanych, o łącznej długości 38 500 m, składający się z 1265 przęseł (jezioro Ponchartrain, Nowy Orlean, USA). W Polsce najdłuższy most poprowadzony jest przez Wisłę w Wyszogrodzie. Jego całkowita długość wynosi 1200 m, przy czym przęsła na terenie zalewowym mają rozpiętość 60 m, zaś w części nurtowej – 100 m.

Geodeta prowadzący prace geodezyjne przy budowie mostu powinien znać jego konstrukcję i technologię wznoszenia, gdyż tylko wówczas będzie potrafił poprawnie zaprojektować osnowę geodezyjną i dokonać właściwego doboru narzędzi i metod pomiarowych. Stąd też w niniejszym rozdziale przedstawione zostaną podstawowe wiadomości z zakresu budownictwa mostowego, z uwzględnieniem najnowszych technologii ich budowy.

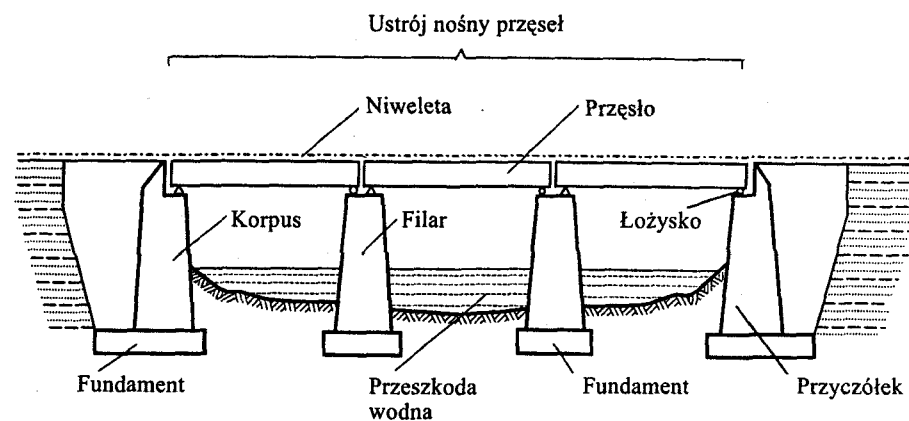
Budowle mostowe, do których należą mosty, wiadukty i estakady, umożliwiają przeprowadzenie ciągu komunikacyjnego nad wszelkiego rodzaju przeszkodami wodnymi i lądowymi. Nad przeszkodami wodnymi buduje się mosty, zaś nad przeszkodami lądowymi wznosi się wiadukty. Estakadami (rys. 4.1) są budowle zastępujące nasypy, czyli konstrukcje służące podniesieniu drogi ponad otaczający teren. Występują one przy wielopoziomowych skrzyżowaniach, przy torach dojazdowych do głównych mostów i wiaduktów oraz wzdłuż głównych dróg prowadzonych w rejonach występowania licznych przeszkód lądowych. Występować tu mogą znaczne spadki podłużne oraz łuki kołowe w płaszczyźnie poziomej lub nachylonej do poziomu.



Rys. 4.1. Estakada [9]

Rozmiary budowli mostowych są uzależnione od szerokości przekraczanych przeszkód wodnych i lądowych. Najczęściej spotykanymi przeszkodami wodnymi są ciekł wodne naturalne i sztuczne. Wyróżnić można kanały oraz rzeki – małe, średnie i duże, których koryta łącznie z terenami zalewowymi osiągają szerokości od kilkudziesięciu metrów nawet do kilku kilometrów. Do przeszkód wodnych, nad którymi buduje się obecnie mosty, należą również jeziora oraz zatoki i cieśniny morskie o szerokościach rzędu kilkunastu kilometrów. Przeszkodami lądowymi są rozległe doliny, wąwozy, jary, linie kolejowe, drogi kołowe, ulice, place i inne obiekty utrudniające ruch komunikacyjny i jego bezpieczeństwo, szczególnie w rejonach wielkich miast.

Zasadniczymi elementami konstrukcyjnymi mostów są podpory oraz spoczywające na nich przęsła (rys. 4.2) wraz z łożyskami lub przegubami. Rozwiązania konstrukcyjne podpór i przęseł są uzależnione od rodzaju mostu, rozpiętości przęseł, technologii budowy, przewidywanego obciążenia, rodzaju materiałów, własności geotechnicznych podłoża, warunków atmosferycznych i wielu innych czynników.

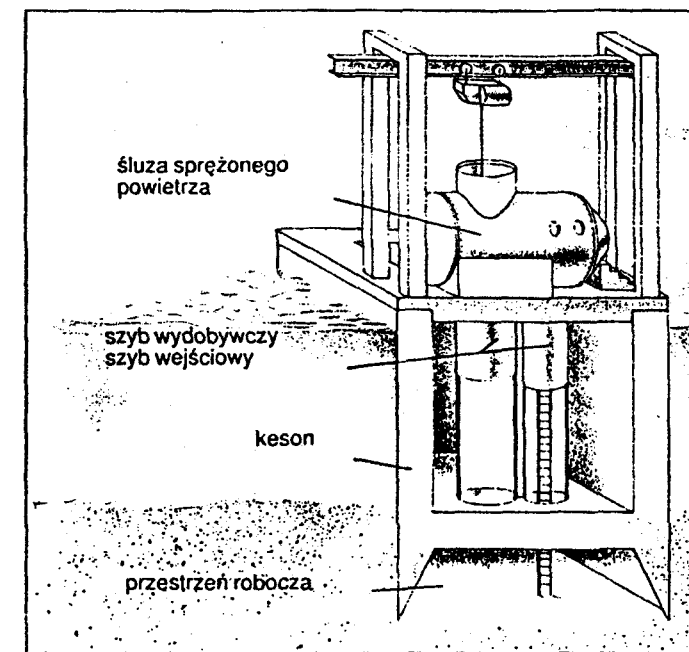


Rys. 4.2. Elementy konstrukcyjne mostu [9]

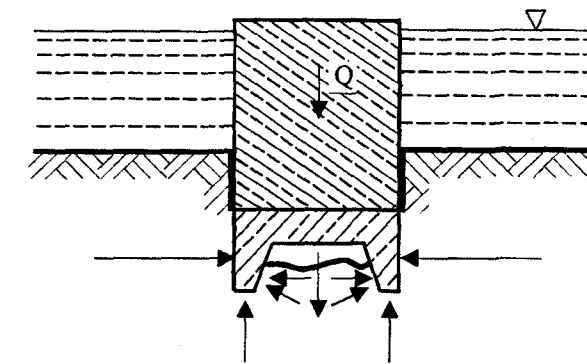
Podpory mostowe przenoszą na grunt ciężar własny całej konstrukcji mostu oraz obciążenia użytkowe, a ponadto parcie gruntu, parcie wiatru, parcie lodu, uderzenia fal morskich i inne. Wielkości tych obciążeń wraz z właściwościami podłoża, rodzajem materiałów budowlanych i rozpiętościami przęseł w sposób decydujący wpływają na projektowany kształt i wymiary podpór. Dolne części podpór są ich fundamentami, występującymi w postaci ław lub płyt w wykopach, ewentualnie w postaci fundamentów pośrednich (pale i studnie fundamentowe). W gruntach nawodnionych oraz w wodzie stosuje się ławy w osłonach suchych, a także studnie i kesony (te ostatnie na wodach głębokich). Początkowo były one wykonywane z drewna, a obecnie ze stali i żelbetu. Kesony mają kształt skrzyni odwróconej dnem do góry. Schemat ideowy wykorzystania kesonu przedstawiono na rysunku 4.3. W przestrzeni roboczej kesonu wybiera się grunt – po uprzednim usunięciu z niej wody przez tłoczenie powietrza sprężonego. Transport ludzi i wybranego gruntu odbywa się poprzez dwa szyby – wejściowy i wydobywczy. Z uwagi na panujące w komorze roboczej ciśnienie, różne od ciśnienia atmosferycznego, stosuje się specjalne śluzy umożliwiające stopniową zmianę ciśnienia do poziomu ciśnienia w komorze przy wprowadzaniu ludzi do poziomu ciśnienia atmosferycznego przy ich transportowaniu na powierzchnię. Nad częścią roboczą buduje się fundament kesonowy (rys. 4.4). Jego ciężar wywołuje obniżanie się kesonu w miarę usuwania gruntu, aż do osiągnięcia stabilnego podłoża. Typowe prace kesonowe są kosztowne i niebezpieczne dla ludzi, stąd też dokonuje się ich tylko w wyjątkowych przypadkach.

Przy budowie wymienionego wcześniej mostu w cieśninie Wielki Bełt stosowano następujące kesony fundamentowe:

- dwa kesony fundamentów pylonów o wymiarach 78×35×21 m (D, S, W);
- dwa kesony bloków kotwiących liny o wymiarach 124×54×14 m;
- siedem kesonów dla podpór mostu.



Rys. 4.3. Keson [16]

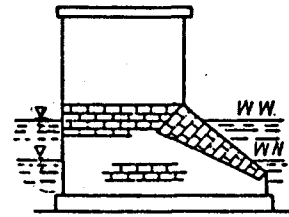


Rys. 4.4. Fundament kesonowy [8]

Te potężne skrzynie żelbetowe wykonywano w suchym doku, a następnie transportowano przy użyciu holowników w rejon budowy mostu i opuszczono na wcześniej przygotowane trwałe podłoże, po uprzednim zdjęciu wierzchniej warstwy namułu z dna morza.

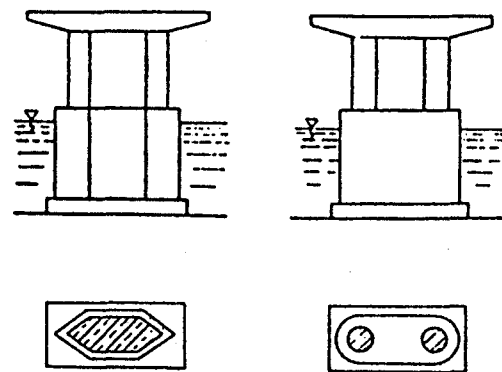
Z fundamentami łączy się górne części podpór, występujących w postaci odpowiednio ukształtowanych korpusów, wykonanych najczęściej z betonu lub żelbetu, rza-

dziej ze stali (filary wiaduktów, stalowe pylony mostów podwieszonych). Zasadnicze różnice kształtów występują pomiędzy korpusami przyczółków, czyli podpór skrajnych, pełniących dodatkowo funkcję murów oporowych i korpusów filarów, którymi są podpory usytuowane w wodzie i na terenie zalewowym. Również między korpusami filarów usytuowanych w wodzie i filarów usytuowanych na terenie zalewowym występują wyraźne różnice kształtów. Filary rzeczne mają z reguły mocniejszą konstrukcję, szczególnie jeśli posadowione są w nurcie rzeki.

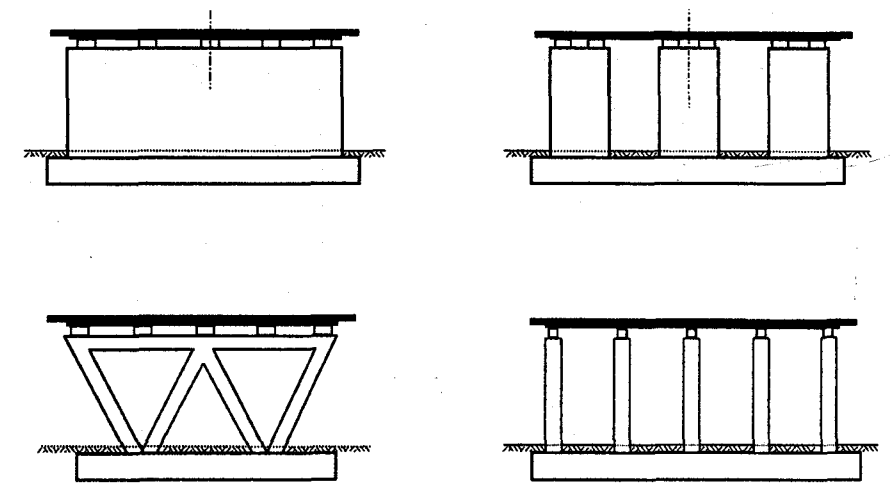


Rys. 4.5. Filar rzeczny ciężki [8]: WW – woda wysoka, WN – woda niska

W tradycyjnym betonowym filarze rzeczonym (rys. 4.5) wyróżnić można ławę podłożyskową, trzon nadwodny, trzon opływowy i fundament. Budowane są również betonowe filary rzeczne o lżejszej konstrukcji z wyraźnym odróżnieniem części dolnej i części górnej (rys. 4.6). Część dolna ma zazwyczaj opływowy kształt i dużą masę, zaś część górną mogą stanowić pojedyncze słupy, ściany żelbetowe bądź też dwu- lub wielosłupowe ramy z rygłem górnym. Żelbetowy oczep budowany na górze słupów umożliwia oparcie przęseł (poprzec łóżyska) oraz łączy i usztywnia słupy części nadwodnej filara.

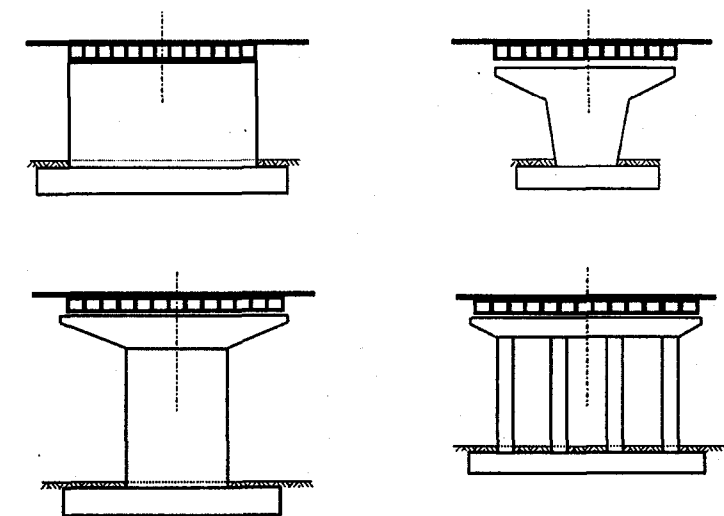


Rys. 4.6. Filar rzeczny lekki [8]

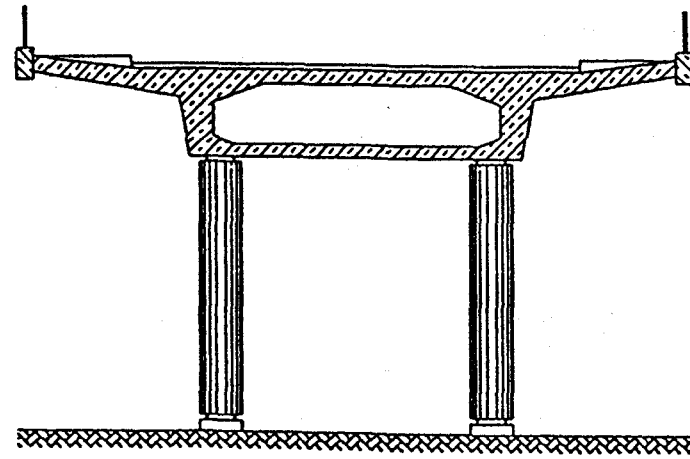


Rys. 4.7. Filary żelbetowe dla przęseł płytowych [8]

Filary lądowe stosowane przy budowie wiaduktów i estakad mogą być budowane technologią monolityczną lub prefabrykowaną. W technologii monolitycznej stosuje się deskowania – przestawne, przesuwne i pełne. Na kolejnych rysunkach przedstawiono przykładowo: filary żelbetowe dla przęseł płytowych (rys. 4.7) i belkowych (rys. 4.8) oraz dla przęseł o przekroju skrzynkowym (rys. 4.9). Najwyższe filary (190 m) zastosowano przy budowie mostu o długości 820 m w okolicach Innsbrucka (Austria, 1963 r.).

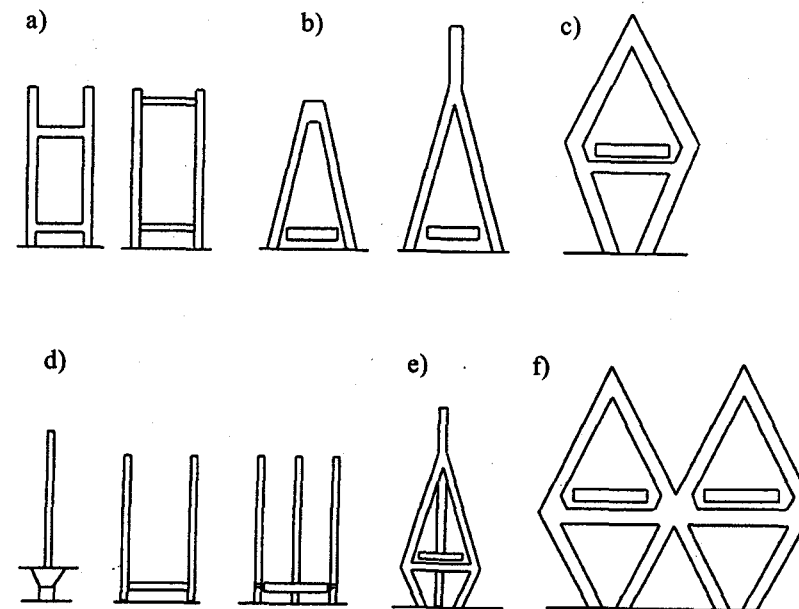


Rys. 4.8. Filary żelbetowe dla przęseł belkowych [8]



Rys. 4.9. Filary żelbetowe dla przęseł o przekroju skrzynkowym [9]

W mostach wantowych (podwieszonych) rolę filarów spełniają wystające nad jezdnią pylony. W mostach wiszących oprócz pylonów występują dodatkowo bloki oporowe, w których zakotwione są liny odciągowe. Stosowane pylony mostów wantowych różnią się między sobą kształtem (rys. 4.10) i wysokością.

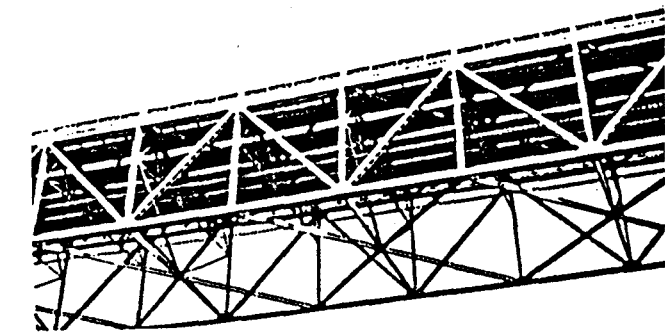


Rys. 4.10. Pylony mostów wantowych [2]: a) trapezoidalne; b) trójkątne; c) deltoidalny; d) wolno stojące; e) kombinowany; f) deltoidalny zdwojony

Przyjmuje się, że optymalne wysokości pylonów nad jezdnią (płytą pomostu) powinny wynosić około 0,2 rozpiętości przęsła głównego podwieszono do dwóch pylonów i 0,4 rozpiętości przęsła głównego podwieszono do jednego pylonu. Jednak ze względów estetycznych bądź z uwagi na konieczność zachowania właściwego nachylenia olinowania wysokości pylonów mogą być bardzo różne. W wypadku mostów wiszących stosuje się pylony podobne jak w mostach podwieszonych.

Do budowy pylonów używa się różnych materiałów. Na przykład pylony mostu Brooklińskiego (Nowy Jork) zbudowano z bloków granitowych, a w konstrukcji mostu Golden Gate (San Francisco) zastosowano czteroczołowe pylony ze stali o łącznej wysokości 210 m. Żelbetowe pylony przęsła mostu łączącego wyspy Sprogø i Zeeland (Dania) osiągają wysokość 258 m.

Na podporach spoczywają przęsła mostu, które zwykle składają się z dźwigarów głównych, elementów stężających i pomostu, tworzących razem ustrój nośny mostu. Najważniejszą rolę konstrukcyjną pełnią dźwigary główne podtrzymujące pomost i przenoszące obciążenia przęsła na podpory. Są one wykonywane z elementów stalowych, żelbetu lub betonu sprężonego. Wyróżnia się następujące dźwigary stalowe: dwuteowniki walcowane dla małych rozpiętości przęsła oraz dźwigary blachownicowe i dźwigary kratownicowe dla przęsła o największych rozpiętościach, występujące również w mostach wiszących jako kratownicowe dźwigary przestrzenne (rys. 4.11). Istnieje też podział na dźwigary pełnościenne, skrzynkowe i kratowe.

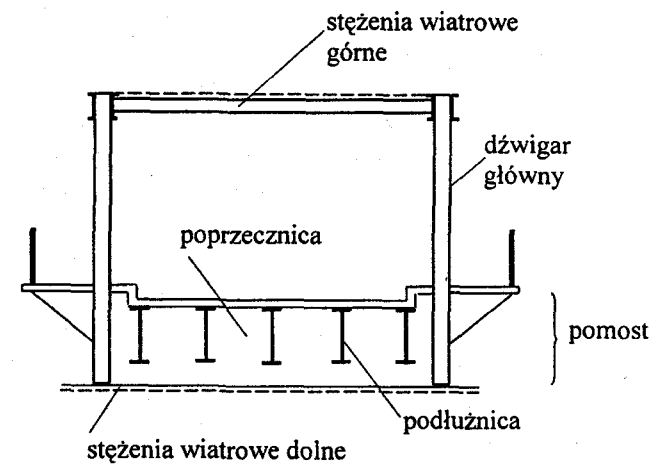


Rys. 4.11. Kratownicowy dźwigar przestrzenny [16]

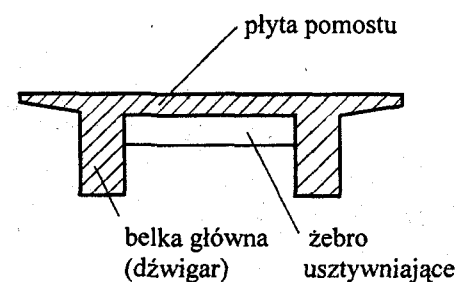
W najnowszych opracowaniach wyróżnia się mosty zespolone, w których dźwigary i pomost są wzajemnie powiązane, tworząc jednolitą konstrukcję składającą się z różnych materiałów, takich jak na przykład:

- stalowy dźwigar powiązany z pomostem wykonanym z żelbetu lub betonu sprężonego,
- dźwigar z betonu sprężonego połączony z pomostem z żelbetu,
- dźwigar z żelbetu połączony z pomostem z żelbetu.

Przykładowy układ konstrukcyjny mostu składającego się z dźwigarów kratownicowych, stężeń górnych i dolnych oraz pomostu przedstawiono na rysunku 4.12. Przekrój mostu żelbetowego ilustruje rysunek 4.13.



Rys. 4.12. Przekrój poprzeczny mostu stalowego o dźwigarach głównych kratownicowych [7]

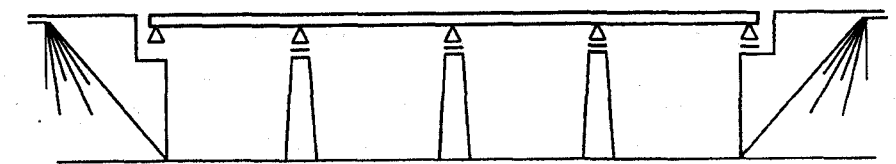


Rys. 4.13. Przekrój poprzeczny mostu żelbetowego [7]

Pomost tradycyjny mostów kolejowych zbudowany jest z belek wzdłużnych (podłużnic) i poprzecznych tworzących ruszt, na którym opierają się mostownice toru. Pomosty mostów drogowych są najczęściej wykonane jako żelbetowe, sprężone w pełni lub sprężone częściowo zarówno w kierunku poprzecznym, jak i podłużnym. Elementy stężące zapewniają stateczność całej konstrukcji i umożliwiają pracę dźwigarów głównych w kierunku poprzecznym do osi mostu, a jednocześnie przenoszą obciążenia poziome, wywołane na przykład podmuchami wiatru, uderzeniami taboru czy też nierównomiernym nasłonecznieniem konstrukcji mostu. Szczególnie istotną rolę spełniają one w mostach stalowych, wykonywanych z cieńszych i bardziej wiotkich ele-

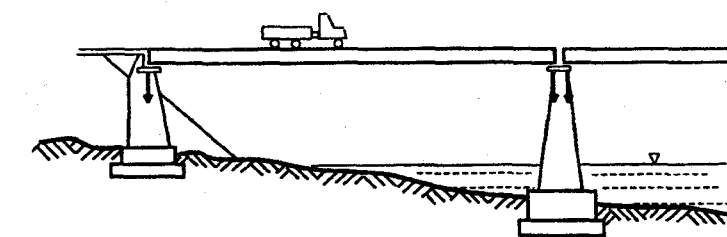
mentów niż mosty betonowe. W mostach zespolonych pomost usztywnia całe przęsło, a jego konstrukcja jest podobna do właściwej innym rodzajom mostów. Należy również wspomnieć o stosowaniu płyt dolnych w konstrukcjach przęseł mostu. Ich wprowadzenie umożliwia przeniesienie ujemnych momentów zginających z dźwigarów stalowych na płyty betonowe i tym samym daje możliwość oszczędnego stosowania elementów stalowych w strefach ściskanych.

Istotną rolę w prawidłowej pracy całej konstrukcji mostu odgrywają też łożyska używane do przeniesienia obciążeń z przęseł na podpory. Dzięki nim przęsła mogą się swobodnie odkształcać w kierunku podłużnym, wykonując drobne przesuwu i obroty bez naruszania stabilności podpór. Z reguły stosuje się łożyska stalowe, wśród których wyróżnia się łożyska ruchome, umożliwiające obrót i przesuw przęsła, i łożyska stałe, umożliwiające jedynie obrót. Stosuje się też łożyska żelbetowe oraz neoprenowe, wykonane z kauczuku syntetycznego.



Rys. 4.14. Współpraca przęseł z podporami [8]

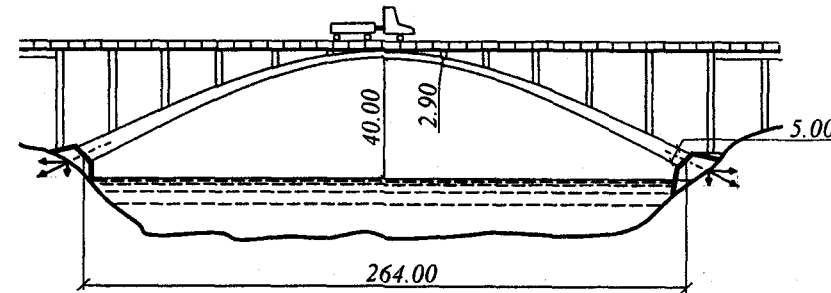
Poprzez odpowiednie stosowanie łożysk można wymusić sposób współpracy podpór z przęsłami (rys. 4.14): np. na jednym przyczółku są łożyska stałe, zaś na drugim i na wszystkich filarach łożyska przesuwne.



Rys. 4.15. Obciążenia podpór w mostach belkowych [8]

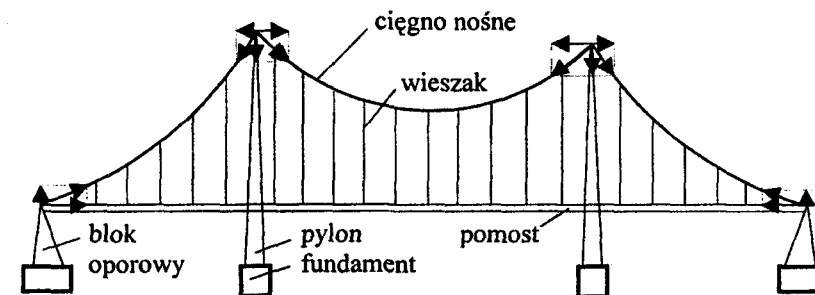
Ze względu na układ statyczny przęseł wyróżnia się mosty belkowe, łukowe i wiszące. W konstrukcjach belkowych całe obciążenie pionowe na podpory przekazywane jest w kierunku pionowym (rys. 4.15). Belki mogą być podparte na końcach przęseł, ale mogą też występować jako belki wspornikowe. Wykonane są ze stali, żelbetu lub beto-

nu sprężonego, czyli z materiałów dobrze przenoszących siły rozciągania i ściskania. W mostach belkowych występują konstrukcje swobodnie podparte lub ciągle. Ustroje ciągle mogą osiągać znacznie większe rozpiętości niż ustroje swobodnie podparte.



Rys. 4.16. Obciążenia podpór w mostach łukowych [8]

W mostach z przęsłami łukowymi, a także o konstrukcjach ramowych i zastrzałowych, obciążenia pionowe powodują w podporach reakcje ukośne o składowych skierowanych w kierunku pionowym i poziomym (rys. 4.16). Przęsła łukowe mają kształt kołowy lub paraboliczny, zaś pomost jezdni przebiega wzdłuż stycznej do łuku w jego punkcie najwyższym lub jest do łuku podwieszony. Przęsło łukowe łączone jest z podporami sztywno lub za pomocą przegubów. Przegub może być też usytuowany w kłuczu czyli najwyższym punkcie łuku.

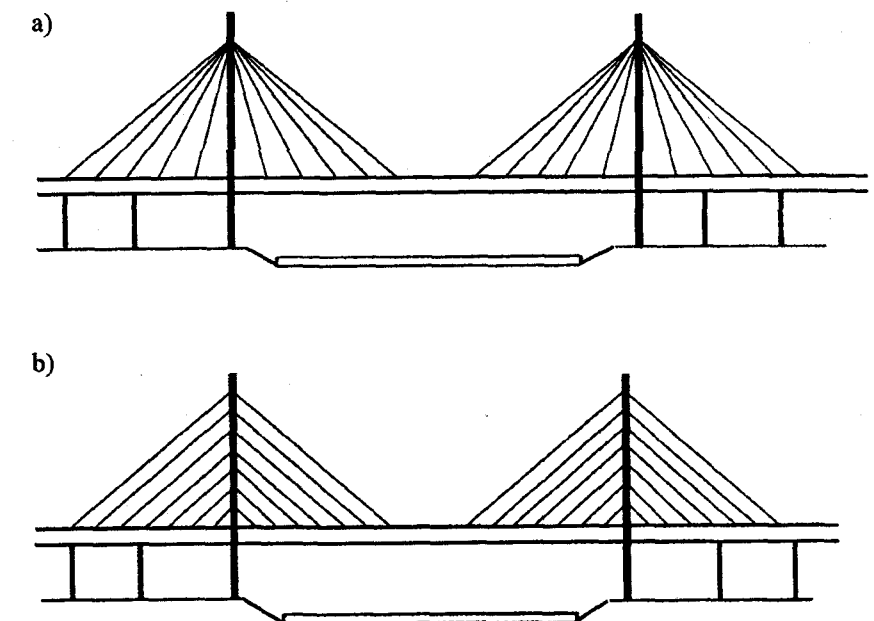


Rys. 4.17. Naprężenia w mostach wiszących

W mostach wiszących, podobnie jak w łukach, występują siły skośnie działające na pylony i podpory kotwiące liny. Rozkład tych sił w mostach z dwoma pylonami przedstawiono na rysunku 4.17. W linach nośnych powstają siły rozciągające, przenieszone na pylony i podpory kotwiące liny. Składowe pionowe siły działających na podpory kotwiące skierowane są do góry, a więc w kierunku przeciwnym do kierunku składo-

wych pionowych sił działających na pylony lub na podpory mostów belkowych oraz łukowych.

Inną odmianą mostów wiszących są mosty wantowe, w których konstrukcja pomostu zawieszona jest na jednym lub dwóch pylonach przy pomocy wielu ukośnych lin, tworzących różnorodne układy, na przykład promienisty, harfowy lub wachlarzowy (rys. 4.18). W układzie promienistym (a) wszystkie liny podtrzymujące pomost mocowane są do wierzchołka pylonu. Składowe pionowe obciążenia lin są tu największe, stąd też dźwigary główne mogą być projektowane jako konstrukcje lżejsze. Układ harfowy (b) o linach nośnych równoległych względem siebie wymaga budowania wysokich pylonów. Na pylony te działają znaczne siły w miejscach zaczepienia lin, wywołując zginanie pylonów. Układ wachlarzowy jest rozwiązaniem kompromisowym względem dwóch poprzednich, traktowanym jako rozwiązanie optymalne. Można zauważyć, że konstrukcja dźwigarów (a także pylonów) w znacznym stopniu uzależniona jest od przestrzennego usytuowania lin nośnych i ich liczby.



Rys. 4.18. Układy lin nośnych w mostach wantowych [2]
Objaśnienia w tekście

Jako uzupełnienie przedstawionych w niniejszym punkcie ogólnych informacji o mostach, w tabeli 4.1 przedstawiono uproszczoną klasyfikację mostów opartą na wybranych kryteriach.

Tabela 4.1
Uproszczona klasyfikacja mostów

Lp.	Kryterium klasyfikacji	Rodzaje mostów
1	przeznaczenie użytkowe	drogowe, kolejowe, dla pieszych, tramwajowe, kanałowe, przystosowane równocześnie do różnych rodzajów ruchu, specjalnego przeznaczenia
2	położenie względem przeszkody	prostopadłe, skośne, na łuku poziomym
3	niweleta drogi na moście	poziome, nachylone, w łuku pionowym
4	tworzywo konstrukcji	kamienne, drewniane, z betonu (nieuzbrojonego, uzbrojonego, sprężonego, sprężysto-rozprężonego), metalowe (żeliwne, stalowe, ze stopów aluminium), metalowe z betonową płytą współpracującą
5	dostosowanie do warunków komunikacyjnych wzdłuż przeszkody	stałe, ruchome, obrotowe, przesuwne, podnoszone
6	położenie pomostu na przęśle	nad lub pod konstrukcją przenoszącą siły na podpory, częściowo nad, a częściowo pod konstrukcją, dwupoziomowe, wielopoziomowe
7	schemat statyczny konstrukcji przęseł	belkowe i kratownicowe: o przęsłach wolno podpartych, o przęsłach wspornikowych, o przęsłach ciągłych i przegubowych, o przęsłach ciągłych i bezprzegubowych; ramownicowe: o przęsłach pojedynczych bezwspornikowych lub wspornikowych, o przęsłach ciągłych przegubowych i bezprzegubowych; łukowe: o łukach przegubowych i bezprzegubowych (z pomostami podwieszonymi do łuku lub opartymi na nim), wiszące, wantowe (podwieszane)
8	liczba dźwigarów głównych	jednodźwigarowe, dwudźwigarowe, skrzynkowe
9	sposób oparcia przęseł na podporach	podpartych poprzez łożyska lub przeguby, połączonych z podporami bezprzegubowo, częściowo podpartych a częściowo połączonych bezprzegubowo
10	podstawowa technologia wykonania	z materiałów dostarczonych na budowę, z prefabrykatów

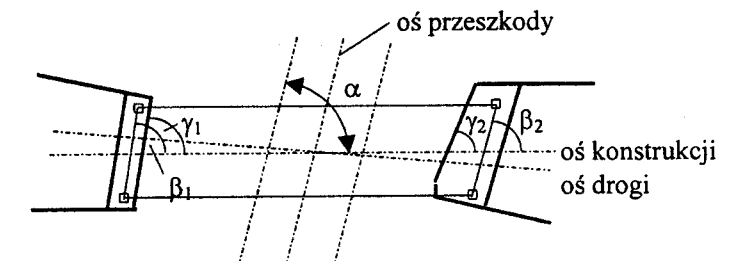
4.1.2. Parametry geometryczne określające położenie i wymiary mostów

W celu dokładnego ustalenia położenia mostu względem przeszkody oraz usytuowania przęseł względem podpór określa się następujące parametry (rys. 4.19) [7]:

- kąt α skrzyżowania osi drogi (z reguły pokrywającej się z osią konstrukcji przęsła) z osią przeszkody;

- kąt β ukosu przęsła, mierzony między osią konstrukcji przęsła i prostą łączącą punkty podparcia przęsła na podporze;
- kąt γ ukosu podpór, mierzony między licem podpory i osią podłużną konstrukcji przęsła;
- niweletę drogi na moście, która jest ustalona z uwzględnieniem warunków ruchu na drogach dojazdowych oraz warunków ruchu pod mostem, i dotyczy: górnej krawędzi jezdni, poziomu główki szyny lub poziomu górnej krawędzi krawężnika.

Wymiary mostu podawane są w dwóch kierunkach: poziomym i pionowym.



Rys. 4.19. Elementy geometryczne skrzyżowania mostu z przeszkodą [7]
Objaśnienia w tekście

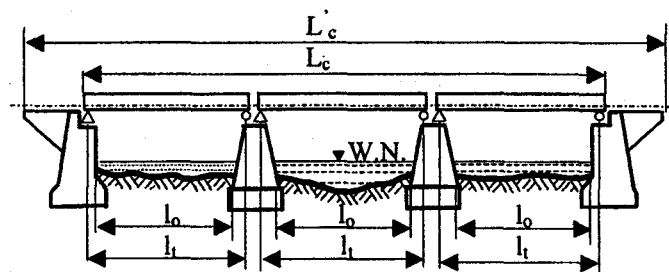
Głównymi wymiarami mostu w kierunku poziomym (rys. 4.20 i 4.21) są:

- rozpiętość teoretyczna lub podporowa przęsła (l_p , l_m), mierzona pomiędzy punktami podparcia, czyli między osiami łożysk lub przegubów, a w przypadku podparcia bezprzegubowego mierzona pomiędzy osiami pionowymi podpór;
- rozpiętość przęsła w świetle (l_o , l_{ou}), która jest odległością mierzoną pomiędzy licami sąsiednich podpór na ustalonym poziomie, na przykład wody normalnej, dolnej krawędzi łożysk itp.;
- długość mostu w świetle (światło mostu), liczona jako suma rozpiętości w świetle wszystkich przęseł według wzoru

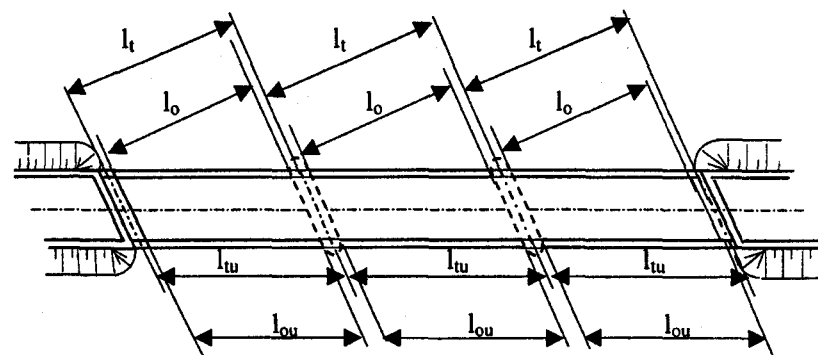
$$L_o = \sum_{i=1}^n l_{o,i} \quad (4.1)$$

- całkowita długość mostu L_c , liczona jako odległość pomiędzy krawędziami skrajnych przęseł lub odległość L'_c pomiędzy zewnętrznymi krawędziami przyczółków.

Wyróżnia się ponadto całkowitą szerokość pomostu, mierzoną pomiędzy zewnętrznymi krawędziami przekroju poprzecznego przęsła, oraz szerokość użytkową pomostu, będącą sumą szerokości pasów ruchu wraz z pasami bezpieczeństwa.



Rys. 4.20. Wymiary mostu [7]
Objaśnienia w tekście

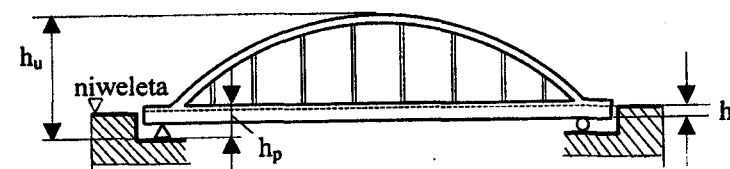
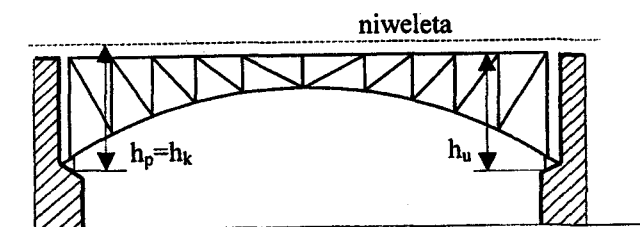
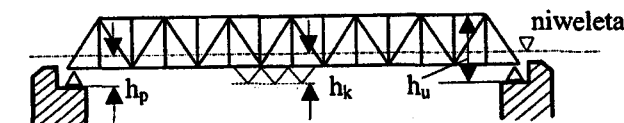
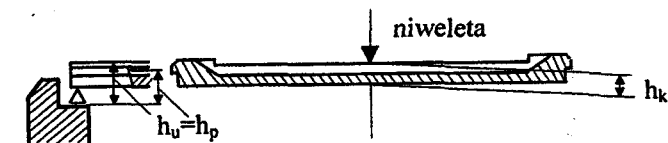


Rys. 4.21. Wymiary mostu w skosie [7]
Objaśnienia w tekście

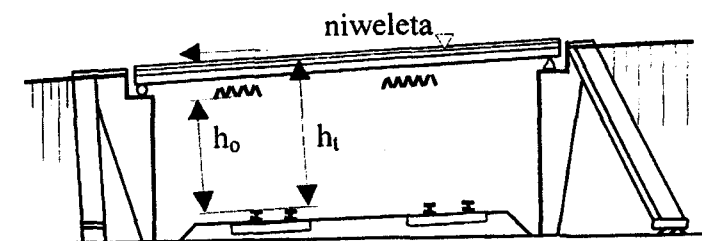
Głównymi wymiarami mostu w płaszczyźnie pionowej (rys. 4.22) są:

- wysokość konstrukcyjna h_k mostu, mierzona pomiędzy niweletą drogi a najniższą krawędzią spodu przęsła, którą może być nawet osłona przeciwdymowa lub urządzenie podtrzymujące trakcję elektryczną;
- wysokość ustrojowa h_u mostu, mierzona pomiędzy dolną krawędzią łożysk a najwyższą krawędzią jego konstrukcji;
- wysokość podporowa h_p mostu, mierzona między niweletą drogi na moście nad podporą a górną krawędzią ławy podłożyskowej.

Ponadto określa się wysokość h_t mostu nad terenem i wysokość h_o mostu w świetle (rys. 4.23). Pierwsza z nich jest największą odległością pomiędzy niweletą osi drogi na moście a ustalonymi poziomami: drogi, górnej powierzchni szyn, dna koryta rzeki lub dna doliny. Wysokość h_o jest najmniejszą wysokością pomiędzy dolną krawędzią przęsła a najwyższym poziomem przeszkody pod przęsłem. Wysokości h_t i h_o wyznacza się dla każdego przęsła oddzielnie.



Rys. 4.22. Różne konstrukcje mostów i ich wymiary w płaszczyźnie pionowej [7]
Objaśnienia w tekście



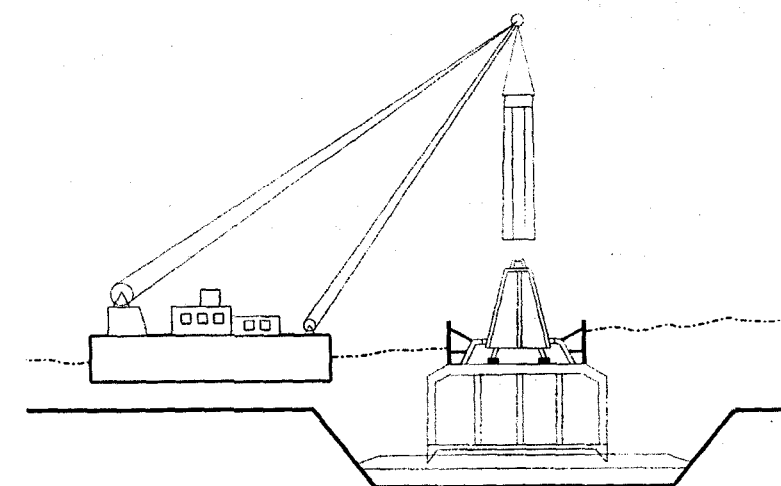
Rys. 4.23. Wysokości mostu nad terenem [7]
Objaśnienia w tekście

4.1.3. Technologia budowy i montażu mostów

W zakresie technologii budowy mostów wyróżnić można budowę podpór i budowę przęseł. W budowie podpór najwięcej problemów wykonawczych stwarzają trudne warunki terenowe oraz duże wysokości podpór. Stąd w dążeniu do zapewnienia stateczności podpór, w skrajnie niekorzystnych warunkach, gdy jednocześnie wystąpią wszystkie możliwe obciążenia własne i zewnętrzne, wykazuje się szczególną dbałość o właściwe posadowienie podpór. Fundamenty podpór powinny opierać się na stabilnym podłożu, zidentyfikowanym w oparciu o wyniki szczegółowych badań geotechnicznych. Dotarcie do podłoża przez prowadzenie wykopów lub wykonywanie palowania jest stosunkowo łatwe w przypadku budowy podpór lądowych. Znacznie trudniej budować fundamenty podpór na terenach pokrytych wodą, szczególnie przy dużej głębokości posadowienia i przy znacznych odległościach podpór od lądu (jeziora, cieśniny morskie, szerokie rzeki). W takich przypadkach do budowy fundamentów stosuje się kesony, ułatwiające wybieranie namulów i gruntu nienośnego. W miarę postępu robót ziemnych kesony obniżają swoje położenie i umożliwiają dotarcie do podłoża stabilnego. Jednak ze względu na nadciśnienie panujące w komorze roboczej kesonu i jego szkodliwy wpływ na zdrowie pracowników proponuje się inny sposób budowy fundamentu kesonowego. Sposób ten, opisany w [1], zastosowano przy budowie mostu w cieśninie Wielki Bełt między wyspami Sprogø i Zeeland. Polega on na zdjęciu namulów i gruntu nienośnego z dna morza przy użyciu ogromnych pogłębiarek i barek w miejscach lokalizacji podpór. Miejsca te zaznaczone są na wcześniej sporządzonej mapie, obejmującej pas dna morskiego o szerokości 1000 m, usytuowany wzdłuż projektowanej osi mostu. Po odkryciu podłoża trwałego przygotowane zostały łoża pod fundamenty, zbudowane z wielu warstw żwiru o frakcji 10–100 mm. Każda usypana warstwa żwiru była następnie zagęszczana przy użyciu 65-tonowego wibratora zawieszono na pływającym dźwigu. Ostatnia warstwa łoża została dodatkowo wyrównana względem ustalonej w projekcie płaszczyzny poziomej z dokładnością ± 5 cm. Na tak przygotowane łoża opuszczano kesony, mające postać ogromnych betonowych skrzyń. Kesony wykonywano w suchym doku na lądzie, a po ich zwodowaniu przeciągano drogą wodną w miejsce lokalizacji. Każdy keson był dokładnie pozycjonowany, a następnie opuszczany na przygotowane łoża. Dolne fragmenty kesonu, ukształtowane lemieszowo, wbijały się głęboko w przygotowane łoża. Łącznie tym sposobem przygotowano fundamenty kesonowe dla dwóch pylonów, dwóch podpór kotwiących liny przęsła wiszącego mostu i 14 podpór.

Oprócz kesonów przy budowie fundamentów filarów usytuowanych w głębokiej wodzie (jezioro, morze) stosuje się również palowanie przy użyciu rur stalowych o wielkich średnicach (np. 2,5 m), wypełnionych w całości betonem lub częściowo betonem a częściowo ziemią i osadzonych w skale lub innym trwałym podłożu. Górne części rur wiązane są na górze betonowym blokiem wystającym ponad poziom wody. W słabym gruncie można również stosować wiercone studnie (szyby) wypełniane betonem.

Na fundamentach wznoszone są korpusy podpór z zastosowaniem deskowań pełnych, przestawnych lub przesuwanych. Korpusy podpór występują również jako elementy prefabrykowane jedno- lub kilkuczłonowe. Są one szczególnie przydatne przy budowie wysokich filarów lub pylonów usytuowanych w głębokiej wodzie. Sposób łączenia dwuczłonowego korpusu filara z fundamentem kesonowym przy użyciu pływającego dźwigu przedstawiono na rysunku 4.24. Dolna część korpusu filara ustawiana jest na kesonie za pośrednictwem podnośników hydraulicznych, ułatwiających korygowanie położenia montowanego fragmentu. Ustawiony element jest łączony z fundamentem poprzez zabetonowanie. Następnie ustawia się górną część korpusu, korzystając ze specjalnych ograniczników, ułatwiających poprawne zespolenie filara lub pylonu.

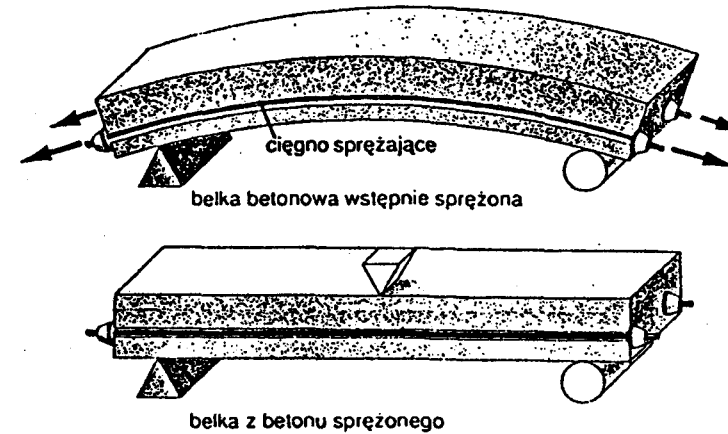


Rys. 4.24. Dwuczłonowy korpus filara [1]

Budowę przęseł prowadzi się z zastosowaniem wielu różnorodnych technologii, dostosowanych głównie do rozpiętości przęseł oraz przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych. W mostach tradycyjnych i zespolonych przęsła mogą być budowane z gotowych elementów prefabrykowanych oraz z elementów wykonywanych na placu budowy. Ponadto przęsła buduje się metodą nawisową (wspornikową) i metodą nasuwania podłużnego, z wykonywaniem wszystkich prac budowlanych bezpośrednio w rejonie budowy mostu.

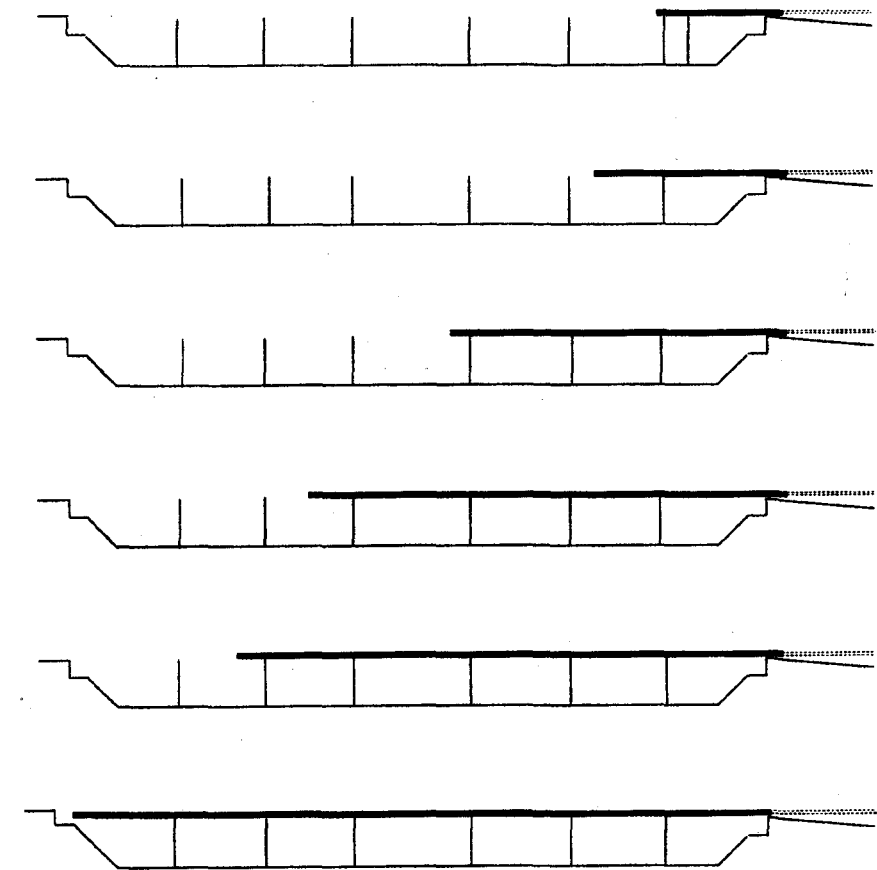
Do szeroko rozpowszechnionych metod budowy przęseł mostowych, wymagających prowadzenia obsługi geodezyjnej należą: metoda nasuwania podłużnego i metoda deskowań przesuwanych. Wymienione metody stosuje się głównie przy budowie mostów betonowych, ale także przy budowie mostów stalowych i zespolonych. W okresie powojennym szczególnie dynamicznie rozwija się budownictwo mostów betonowych. Stosuje się w nich beton sprężony, który pozwala na kształtowanie konstrukcji lżejszych.

szych i cieńszych niż przy użyciu betonu zbrojonego. W mostach kablobetonowych belka nośna (bądź płyta) z betonu sprężonego (rys. 4.25) wytwarzana jest w ten sposób, że w dolną część elementu konstrukcyjnego, podlegającą rozciąganiu, wprowadza się rury zawierające liny o dużej wytrzymałości. W trakcie betonowania belki liny układają się luźno, natomiast po stwardnieniu betonu są one naprężane i kotwione mechanicznie, a następnie rury wypełniane są zaprawą betonową spajającą cięgna z betonem i konserwującą liny. Mosty z betonu sprężonego są lekkie i estetyczne.

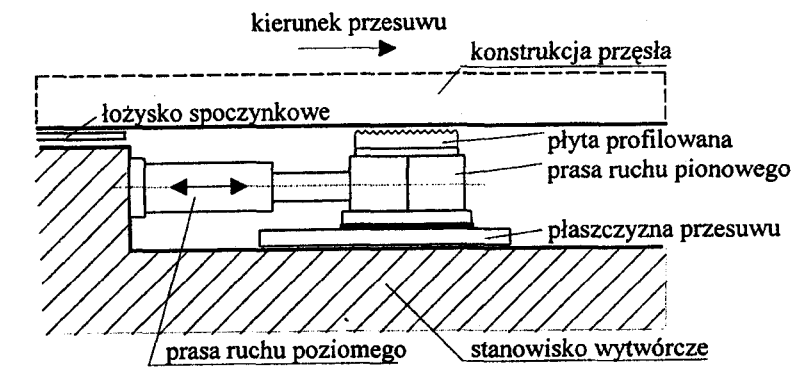


Rys. 4.25. Belka z betonu sprężonego [17]

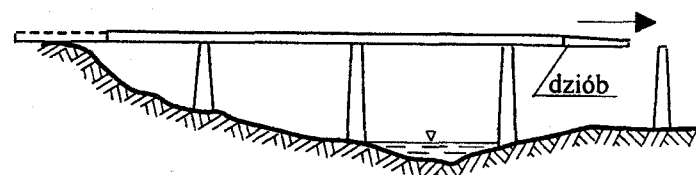
W metodzie nasuwania podłużnego (rys. 4.26), najchętniej stosowanej dla przęseł o długości 40–70 m (maks. 90 m), korzysta się z elementów przygotowywanych w terenie, na placu montażowym usytuowanym bezpośrednio za przyczółkiem. Na specjalnym stendzie buduje się kolejne segmenty przęsła o długościach rzędu 10–30 m. W przypadku budowy mostów stalowych zespolonych segmenty te mogą powstać przez łączenie (nitowanie, spawanie) uzyskanych z wytwórni konstrukcji stalowych. Przy wznoszeniu mostów betonowych segmenty przęsła powstają w stałym deskowaniu o ustalonej długości. Po napełnieniu form betonem i jego stwardnieniu spręża się podłużnie płytę za pomocą kabli prowadzonych centrycznie. Gotowy segment przesuwa się po specjalnym torze w kierunku przyczółka, stosując układ pras hydraulicznych (rys. 4.27). Tor ten musi być precyzyjnie ułożony sytuacyjnie i wysokościowo. Po wysunięciu pierwszego segmentu na zwolnionym stendzie buduje się kolejne segmenty, łącząc je z poprzednimi. Do pierwszego wysuwanego segmentu przymocowuje się specjalną konstrukcję blachownicową lub kratownicową, zwaną awanbekiem. Konstrukcja ta pozwala zmniejszyć momenty zginające przed osiągnięciem kolejnej podpory przez czoło pierwszego segmentu (rys. 4.28). Zmniejszenie momentów zginających można również osiągnąć przez stosowanie masztów (pylonów) z wantowymi odciągami lub podpór tymczasowych zakotwionych odciągami do podpór trwałych.



Rys. 4.26. Budowa mostu metodą nasuwania podłużnego [10]

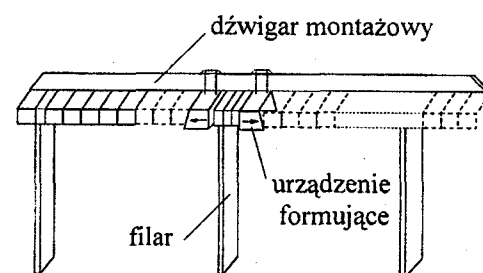


Rys. 4.27. Układ pras hydraulicznych do nasuwania podłużnego [9]



Rys. 4.28. Usytuowanie awanboku [9]

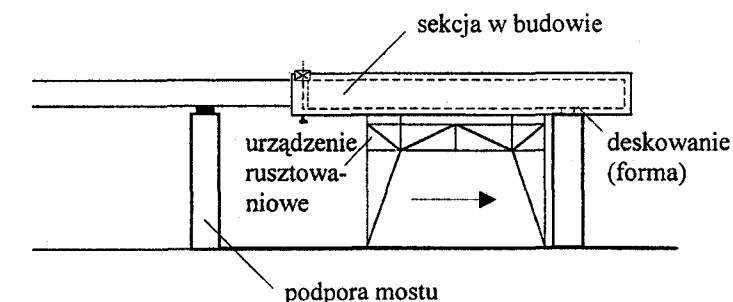
Metodę nawisową (wspornikową), stosowaną dla przęseł o długości od 90–170 m (maks. 200 m), wykorzystywano początkowo do budowy mostów stalowych, a obecnie – mostów z betonu sprężonego. Metoda ta jest stosowana przy budowie mostów o konstrukcji belkowej, ramowej, podwieszanej i łukowej. Budowę przęsła rozpoczyna się od wykonania segmentu usytuowanego bezpośrednio nad filarem (rys. 4.29), a następnie dodaje się do niego kolejne segmenty budowane jednocześnie z obydwu stron filara (betonowanie symetryczne) lub na przemian (betonowanie asymetryczne). Przy wysoko położonych przęsłach i ich dużych rozpiętościach korzysta się z pomocniczego dźwigara stalowego. Do tej konstrukcji montażowej podwiesza się przesuwne urządzenia (trawelery), w których formuje się i spręża betonowy segment. Gdy zbudowany fragment przęsła jest już nośny, przesuwa się formę wzdłuż osi mostu i buduje się kolejny segment. Ten sposób umożliwia postęp prac tylko w jednym kierunku (od filara do filara). Ze względów bezpieczeństwa w metodzie nawisowej stosuje się jednostronne lub dwustronne (względem filara) tymczasowe podpory montażowe oraz dokonuje się kotwienia skrajnego przęsła do przyczółka. Można też stosować odciaży mocowane w tymczasowych pylonach, które są przedłużeniem podpór utrzymujących stateczność konstrukcji.



Rys. 4.29. Budowa mostu metodą wspornikową [17]

W przypadku mostów stalowych lub zespolonych zbudowane na podporze wsporniki uzupełnia się z dwóch stron gotowymi elementami zmontowanymi na brzegu. Elementy te dostarczane są na miejsce montażu przy użyciu jednostek pływających lub jednostek transportowych naziemnych oraz dźwigów usytuowanych na zmontowanych już częściach przęseł. W taki sposób można prowadzić montaż równocześnie na kilku podporach mostu wieloprzęsłowego.

Metoda rusztowań przesuwnych (rys. 4.30), stosowana przy budowie przęseł o długościach 40–70 m (maks. 110 m), polega na budowie sekcji, z których każda obejmuje 80% długości przęsła poprzedniego i 20% długości przęsła następnego. Innymi słowy, dobudowuje się brakującą część przęsła poprzedniego i przygotowuje się wspornik przęsła następnego. Stosuje się w tym przypadku rusztowania robocze przesuwane do kolejnych położań bezpośrednio po terenie lub na zbudowanych torach. Metoda ta jest korzystna przy budowie mostów niskich lub wieloprzęsłowych estakad drogowych z betonu sprężonego.



Rys. 4.30. Budowa mostu metodą rusztowań przesuwnych [9]

W praktyce budowlanej wnoszenie mostu prowadzone jest niekiedy z zastosowaniem innej metody budowy przęseł dla części zalewowej, a innej dla części nurtowej. Ponadto oprócz wyżej wyszczególnionych technologii budowy mostów spotyka się również inne metody, mniej rozpowszechnione lub odznaczające się oryginalnością z uwagi na konkretne indywidualne warunki terenowe. Przy niewielkich rozpiętościach przęseł mogą być stosowane rusztowania ciągłe lub elementy prefabrykowane, podnoszone na podpory bardzo różnymi sposobami. Stwierdzenie powyższe dotyczy również mostów zespolonych, przy których budowie najpierw montuje się konstrukcję stalową (dźwigary, poprzecznice, podłużnice) na podporach, a dopiero później łączy się z nią płytę pomostu, wykonaną z żelbetu lub betonu sprężonego. Takie konstrukcje zespolone stosowane są w mostach blachownicowych i kratownicowych z przęsłami o rozpiętości ponad 200 m. Montaż konstrukcji stalowych prowadzi się metodami wymienionymi wcześniej, a dodatkowo stosuje się wciąganie czołowe z zastosowaniem podpór montażowych lub nasuwanie boczne. Konstrukcje zespolone wykorzystuje się również w mostach wantowych, gdzie rozpiętości przęseł są jeszcze większe; na przykład most wantowy Yangpu w Chinach, wybudowany w 1993 r., ma przęsło o rozpiętości 602 m, zaś most Xupu (Chiny, 1996 r.) ma przęsło o rozpiętości 590 m.

Mosty łukowe buduje się głównie metodą wspornikową. Można tu przykładowo wymienić: most kolejowy w Niemczech nad rzeką Wupper, o wysokości 107 m, zbudowany bez dodatkowych rusztowań w kierunku od filarów do środka. Inny most łukowy, w Allgau, przecinający wąwóz górski na wysokości 56 m, budowano w dwóch częściach bez użycia rusztowań. Zastąpiono je deskowaniem ślizgowym, ustawionym pio-

nowo, które wypełniano betonem przy użyciu żurawia. Wykonane połowy łuku osadzone były w potężnych łożyskach przegubowych i dzięki nim a za pomocą lin opuszczano wykonane dwie części łuku aż do zetknięcia się ich końców. Po spięciu obydwu połówek w miejscu połączenia i po zlikwidowaniu przegubów ustawiano na słupach nośnych belki ze sprężonego betonu, dźwigające pomost i nawierzchnię. Najdłuższy stalowy most łukowy na świecie, poprowadzony przez wąwóz New River w Wirginii, ma długość 518 m.

Mosty wiszące buduje się w czterech następujących etapach:

1. budowa bloków oporowych dla zakotwienia lin nośnych,
2. budowa pylonów,
3. montaż lin nośnych,
4. podwieszenie płyty pomostu.

Problemy techniczne występujące przy budowie tego typu mostów są rozwiązywane indywidualnie, w dostosowaniu do warunków terenowych i stosowanych rozpiętości przęseł.

Przykładowe rozpiętości mostów wiszących i wysokości pylonów są następujące:

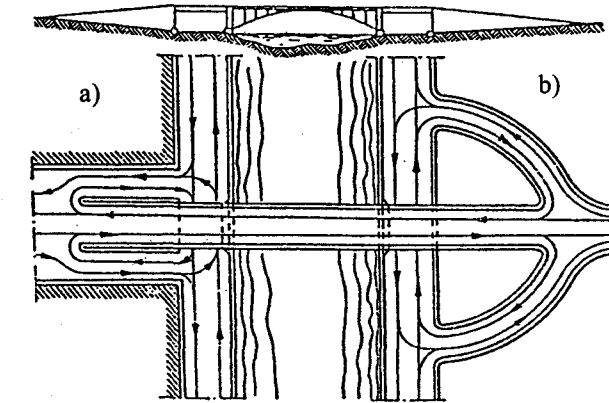
- most Brookliński, Nowy Jork (1883 r.): rozpiętość 486 m, pylony granitowe;
- most Golden Gate, San Francisco, California (1937 r.): rozpiętość 1281 m, pylony o wysokości 210 m (czterosegmentowe, ze stali);
- most Verrano Narrows, Nowy Jork (1964 r.): rozpiętość 1300 m;
- most Humber, Anglia (1981 r.): rozpiętość 1410 m, pylony o wysokości 162 m;
- most Akashi Kaikyo, Japonia (1998 r.): rozpiętość 1990 m;
- most łączący wyspy Sprogo i Zealand, Dania (2000 r.): rozpiętość 1624 m, pylony o wysokości 254 m.

4.2. Ogólne uwagi o projektowaniu tras mostowych

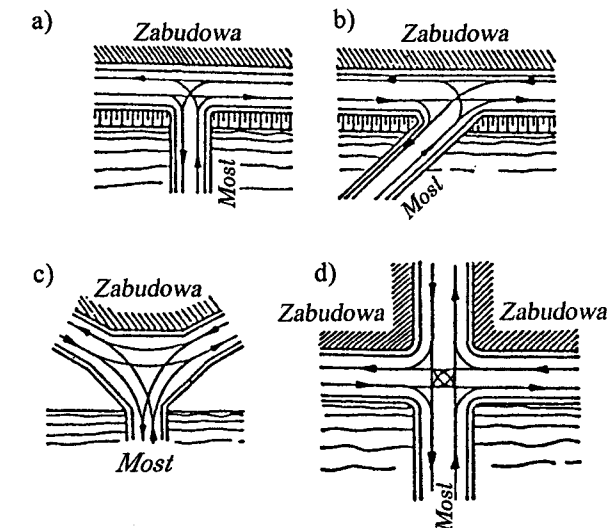
W procesie projektowania przejść mostowych poszukuje się najwłaściwszych rozwiązań technicznych, architektonicznych i ekonomicznych oraz dąży się do jak najlepszego zaspokojenia bieżących i przyszłych potrzeb komunikacyjnych danego rejonu. Lokalizacja mostu powinna zapewnić największe oszczędności komunikacyjne przy najmniejszych kosztach przewozu i powinna być zgodna z planem zagospodarowania terenu przyległego do mostu. Z uwagi na koszt budowy ważne jest sprawdzenie warunków geologicznych i hydrogeologicznych w miejscu projektowanego przekroczenia przeszkody. Jeśli przeszkodą jest rzeka, to most powinien być budowany na jej prostoliniowym odcinku o stałym korycie, wzdłuż osi prostopadłej do kierunku rzeki. Do przekroczenia dolin wybiera się przekroje najwęższe lub najniższe.

Mosty i dojazdy do nich winny spełniać warunki techniczne i komunikacyjne odpowiadające danej klasie technicznej dróg, wzdłuż których są one budowane. Skrzyżowania dojazdów z liniami kolejowymi oraz ważniejszymi drogami powinny być sy-

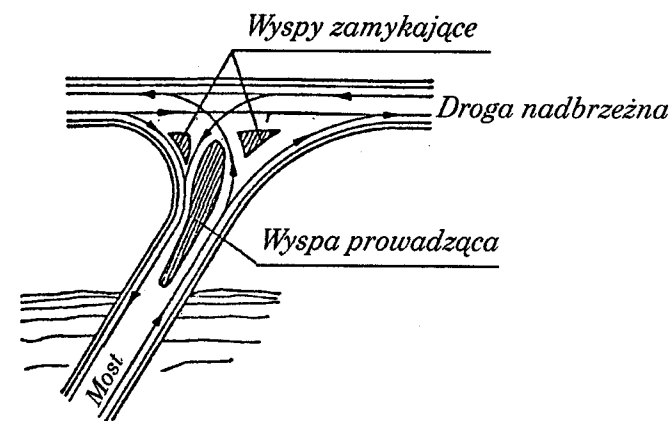
tuowane na różnych poziomach, jako skrzyżowania bezkolizyjne (rys. 4.31). Skrzyżowania jednopoziomowe: zwykle, skanalizowane lub z ruchem okrężnym, przedstawione na rysunkach 4.32–4.34, budowane są z uwzględnieniem liczby samochodów przejeżdżających przez skrzyżowanie w ciągu doby. Węzły przedmostowe w dużych miastach powinny zapewniać bezkolizyjność jazdy, stąd odpowiednie poziomy ruchu osiąga się przez wprowadzanie wiaduktów i estakad. Na węzłach takich każda zmiana kierunku jazdy wymaga zmiany poziomu ruchu.



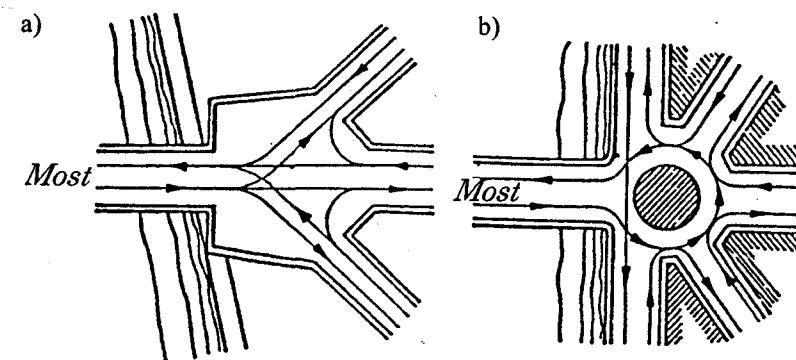
Rys. 4.31. Bezkolizyjne węzły przedmostowe [8]: a) w ograniczonej przestrzeni; b) w postaci rozwiniętej



Rys. 4.32. Węzły przedmostowe [8] w postaci skrzyżowań jednopoziomowych: prostych (a i d), ukośnych (b) i rozwidleń (c)



Rys. 4.33. Skrzyżowanie o ruchu skanalizowanym [8]



Rys. 4.34. Węzły przedmostowe w postaci skupień [8]: a) o ruchu nieokrężnym; b) o ruchu okrężnym

Projektowanie obiektów mostowych (mosty drogowe, mosty kolejowe, wiadukty, estakady) jest procesem złożonym i wieloetapowym. Rozróżnia się następujące etapy przygotowania projektu: studia i analizy przedprojektowe, koncepcje projektowe, projekt budowlany i projekt techniczny. Projekt budowlany składa się z projektu zagospodarowania terenu i projektu architektoniczno-budowlanego, wykonanych w postaci rysunkowej i opisowej. Część rysunkowa projektu zagospodarowania terenu zawiera: granice przedsięwzięcia budowlanego, istniejące i projektowane obiekty budowlane, wymiary i wzajemne odległości obiektów projektowanych i istniejących, rzędne charakterystycznych punktów i poziomów, uzbrojenie terenu oraz jego ukształtowanie z naniesioną istniejącą i projektowaną siecią drogową. Część rysunkowa projektu architektoniczno-budowlanego obejmuje: widoki boczne, widok z góry, przekroje podłużne i poprzeczne przedstawiające rozmieszczenie elementów konstrukcyjnych mostu oraz zastosowane rozwiązania budowlano-konstrukcyjne i powiązania z podłożem.

Projekt techniczny, będący uszczegółowieniem projektu budowlanego, zawiera między innymi rysunki konstrukcyjne potrzebne do poprawnego zespolenia, zgodnego z wizją projektanta, zarówno poszczególnych elementów jak i całej budowli mostowej.

Dane niezbędne do sporządzenia projektu to:

- mapa sytuacyjno-wysokościowa rejonu przejścia mostowego,
- przekroje terenu wykonane wzdłuż projektowanej osi mostu i linii do niej równoległych,
- mapa uzbrojenia podziemnego w rejonie trasy mostowej i projektowanych węzłów przedmostowych,
- wyniki badań geologicznych, hydrologicznych i hydraulicznych,
- informacje o rodzajach i klasie technicznej ciągów komunikacyjnych i spodziewanym natężeniu ruchu,
- opisy warunków klimatycznych i środowiskowych.

Do map stosowanych w procesie projektowania należą: mapy topograficzne w skalach od 1:200 000 do 1:5000 i mapy zasadnicze w skalach od 1:5000 do 1:500. Powinny być one generowane w odpowiednich skalach w oparciu o numeryczny model terenu. Mapy i inne dokumenty geodezyjne wykorzystuje się do opracowania różnych wariantów trasy mostowej oraz projektowania badań geologicznych i hydrologicznych. Na materiałach tych ustala się położenie: przyczółków, filarów, dróg dojazdowych, urządzeń regulacyjnych, obiektów tymczasowych, składowisk materiałów budowlanych, a także punktów osnowy budowlano-montażowej.

Skale map sytuacyjno-wysokościowych są dostosowane do etapu projektowania. Założenia projektowe opracowuje się na mapach topograficznych w skalach małych (1:200 000, 1:100 000). Lokalizuje się na nich projektowaną trasę mostową i przeprawy z nią sąsiadujące. Na mapach topograficznych w skalach większych uściśla się położenie osi mostu, dojazdów stałych i objazdów przygotowywanych na okres prowadzonej budowy. Projekt wstępny opracowuje się na mapach w skalach 1:10 000 i 1:5000. Obejmują one teren o długości równej pięciokrotnej szerokości rzeki (3 szerokości w górę i 2 szerokości w dół) w pasach obejmujących teren po obydwu stronach rzeki, aż poza granice rozlewiska wody wielkiej. Do sporządzania projektu technicznego, po ustaleniu lokalizacji trasy mostowej, wykorzystuje się: mapy zasadnicze w skalach od 1:2000 do 1:500, przekroje terenu wykonane wzdłuż osi trasy i wzdłuż linii równoległych do niej, przekrój podłużny rzeki wykonany wzdłuż jej nurtu z zaznaczonym spadkiem zwierciadła wody, przekroje poprzeczne koryta i doliny rzeki, a także mapę rzeźby dna. Treścią map sytuacyjno-wysokościowych w skalach dużych są: elementy zagospodarowania terenu, drogi, starorzecza, potoki, zbiorniki wodne, groble, granice rzeki przy średnim stanie wody, granice największego rozlewiska, rowy odwadniające i nawadniające, studnie z podaniem wysokości zwierciadła wody, wodowskazy z podaniem bezwzględnych wysokości ich punktów zerowych, rzeźba terenu, punkty sytuacyjnej i wysokościowej osnowy geodezyjnej oraz inne ważne szczegóły.

Na przekroju wykonanym wzdłuż osi mostu przedstawia się ukształtowanie terenu, poziom zwierciadła wody bądź wysokość niwelety przekraczanej linii komunikacyjnej.

Na potrzeby projektu prowadzi się również szczegółowe badania geologiczne i hydrologiczne. Pierwsze z nich pozwalają na określenie nośności gruntu oraz jego właściwości fizycznych i chemicznych, szczególnie w miejscach posadowienia fundamentów przyczółków i filarów mostowych. Wykonuje się też profile geologiczne umożliwiające ustalenie grubości poszczególnych warstw podłoża, a także wysokości poziomów wód gruntowych. W tym celu wyznacza się na brzegach oraz na dnie rzeki położenie otworów wiertniczych, szybków i rowów badawczych. Drugi rodzaj badań prowadzi się, aby przygotować dane hydrologiczne i hydrauliczne, niezbędne do określenia długości mostu, rozpiętości przęseł, wysokości mostu, a także wysokości dolnych poziomów przęseł.

Jeśli trasa mostowa prowadzona jest przez obszary morskie, wówczas na potrzeby projektu sporządza się mapę dna morskiego wzdłuż projektowanej osi mostu. Przykładowe rozwiązanie w tym zakresie, dotyczące budowy mostu o długości 6,8 km pomiędzy wyspami Sprogo i Zealand, można znaleźć w opracowaniu [1]. Wykonano tu pomiary hydrograficzne dna morskiego w pasie o szerokości ± 500 m względem projektowanej osi mostu. Pomiar głębokości prowadzono przy użyciu echosondy umieszczonej na specjalnej barce, która poruszała się wzdłuż linii równoległych i prostopadłych do osi mostu. Pomiedzy liniami równoległymi zachowano odległości 10 m, a pomiedzy liniami prostopadłymi 50 m. Pozycje barki ustalano przy użyciu francuskiego systemu AYXLE firmy Sercel, opartego na wykorzystaniu dalmierzy radiowych, umożliwiających wyznaczenie pozycji jednostki pływającej względem siedmiu nabrzeżnych stacji o zasięgu 10 km z dokładnością ± 30 cm. Aktualny poziom wody w rejonie prowadzonych pomiarów ustalano w oparciu o wskazania trzech mareometrów przekazujących wyniki obserwacji drogą radiową do komputera centralnego, a następnie do jednostki pływającej, wykonującej pomiary sondażowe. Do pomierzonych echosondą głębokości dna względem poziomu morza wprowadzano poprawki ze względu na zmieniającą się poziom powierzchni wody i różne prędkości rozchodzenia się dźwięku w wodzie, warunkowane zmiennym zasoleniem. Na podstawie wyznaczonych położenia punktów sondażowych i odpowiadających im głębokości ustalonych z pomiarów echosondą określono wysokości punktów reprezentujących powierzchnię dna morza, a następnie opracowano mapę w skali 1:1000 z cięciem warstwicowym 0,5 m dla pasa o szerokości 1000 m i długości 6,8 km.

Dodatkowo wykonano pomiary z użyciem sonaru bocznego wybierania, pozwalającego na lokalizację głazów, kamieni, złomu i innych elementów zalegających na dnie morza. W pomiarach tych prowadzono skanowanie w pasach z 50% pokryciem, uzyskując odtworzenie każdego obiektu z dwóch stron. Wykryte obiekty przedstawiono na mapie w skali 1:1000, przyporządkowując im numery, według których zestawiono listę z opisem cech i wymiarów tych obiektów.

Pełna dokumentacja rzeźby dna, uzupełniona badaniami geologicznymi, stanowi podstawę do poprawnego projektowania prac związanych z usuwaniem luźnych obiektów zalegających na dnie morza, zdejmowaniem górnej warstwy dna morskiego w miejscach przyszłej lokalizacji podpór mostowych i przygotowaniem żwirowego podłoża, na którym ustawiane będą fundamenty kesonowe filarów, pylonów i bloków kotwiących liny nośne mostu wiszącego.

W oparciu o materiały geodezyjne, geologiczne i hydrogeologiczne opracowuje się pełną dokumentację projektową, obejmującą między innymi następujące rodzaje prac:

- przygotowanie wstępnej koncepcji podlegającej zatwierdzeniu przez inwestora,
- przygotowanie materiałów do wniosku o wydanie decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu,
- przygotowanie materiałów do regulacji stanu prawnego nieruchomości gruntowych,
- wykonanie projektu budowlanego,
- przygotowanie materiałów do wniosku o wydanie pozwolenia wodnoprawnego,
- wykonanie projektu technicznego.

Wstępne rozwiązania lokalizujące most powstają na szczegółowych mapach rejonu przekraczania przeszkody, po przeanalizowaniu zgromadzonych danych wyjściowych oraz ustaleniu niezbędnego światła poziomego i pionowego. Po wyborze lokalizacji mostu wpasowuje się jego położenie sytuacyjne i wysokościowe w istniejący lub projektowany ciąg komunikacyjny. Zazwyczaj niweleta jezdnia na moście jest dostosowana do niwelety drogi. Jedynie bardzo duże mosty stanowią tak zwane „punkty stałe” trasy i wymuszają zastosowanie odpowiednich rozwiązań geometrycznych dojazdów. Na przekroju podłużnym wykonanym wzdłuż osi mostu zaznaczone są dane dotyczące ukształtowania terenu, poziomu zwierciadła wody pod mostem lub niwelety przekraczanej linii komunikacyjnej. Dane te pozwalają właściwie rozmieścić podpory mostu i ustalić ich wysokości, co z kolei wpływa na przyjęcie właściwych rozwiązań konstrukcyjnych przęseł i wybór technologii budowy.

Przygotowany projekt budowlany i opracowany na jego podstawie projekt techniczny stanowią materiał źródłowy dla określenia zakresu i rodzaju wszelkich prac pomiarowych związanych z geodezyjną obsługą budowy mostu. Dokumentem podstawowym jest projekt zagospodarowania terenu, a szczególnie jego część graficzna sporządzana na mapach w odpowiednio dobranych skalach, na przykład: 1:2000 dla dróg dojazdowych, 1:1000 dla lokalizacji mostu i 1:500 dla lokalizacji podpór mostowych.

Plan realizacyjny powinien zawierać:

- granice terenu budowy, usytuowanie istniejących i projektowanych obiektów budowlanych oraz urządzeń z nimi związanych, wymiary obiektów i odległości pomiędzy nimi oraz wysokości charakterystycznych punktów;
- rzeźbę terenu, z zaznaczeniem projektowanych zmian jego ukształtowania;
- uzbrojenie terenu, zarówno istniejące, jak i projektowane, z podaniem charakterystycznych rzędnych, wymiarów i odległości.

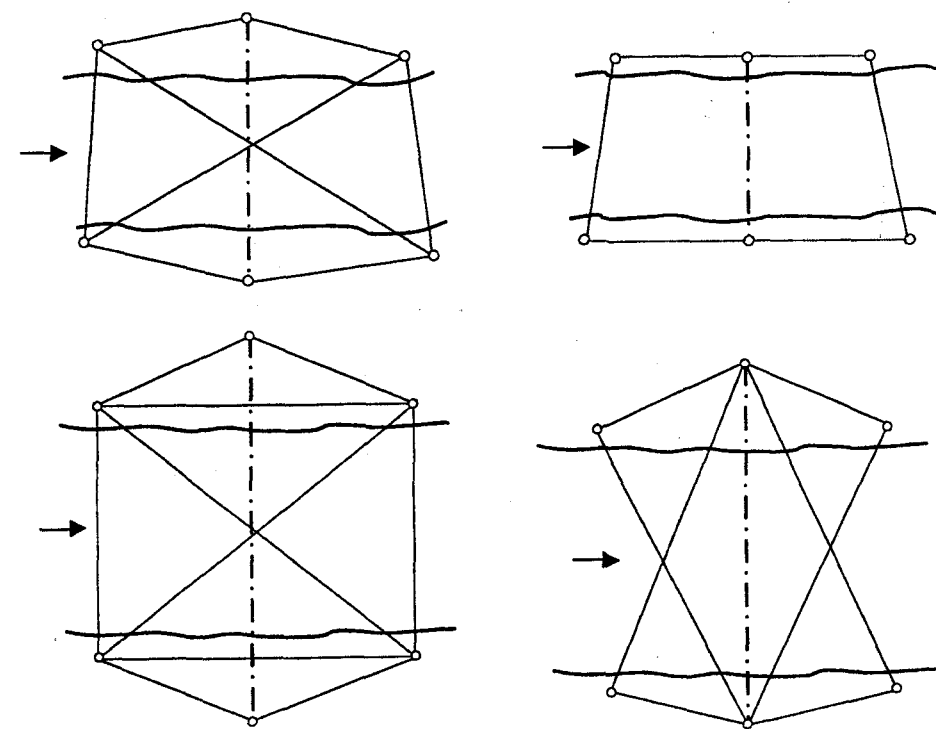
Na kolejnych etapach geodezyjnej obsługi budowy mostu korzysta się z części graficznej projektu architektoniczno-budowlanego, do której należą:

- widoki boczne i widok z góry obiektu (w skalach 1:50 i 1:100), z zaznaczeniem podstawowych wymiarów geometrycznych;
- przekroje podłużne i poprzeczne usytuowane w miejscach charakterystycznych obiektu, potrzebne do przedstawienia rozwiązań budowlano-konstrukcyjnych i powiązania z podłożem, wraz z podaniem stosownych wymiarów;
- rysunki przedstawiające zasadnicze elementy wyposażenia technicznego obiektu oraz połączenia jego instalacji z sieciami zewnętrznymi.

Do właściwego zaprojektowania geodezyjnej osnowy realizacyjnej i osnowy budowlano-montażowej, oraz sprawnego prowadzenia geodezyjnej obsługi budowy konieczna jest również znajomość przyjętej technologii budowy i wynikających z niej czynności budowlanych i montażowych.

4.3. Tyczenie osi mostu

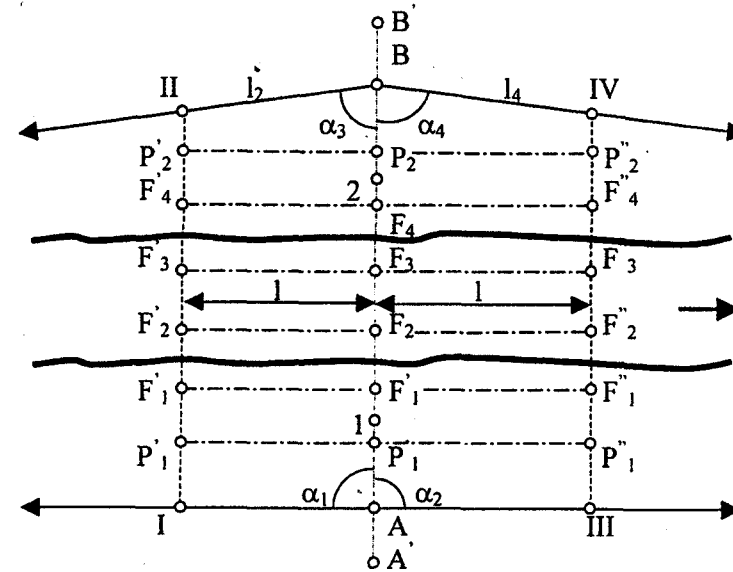
Geodezyjną obsługę budowy mostu rozpoczyna się od opracowania projektu zagospodarowania terenu w sposób umożliwiający uzyskanie danych do wytyczenia w terenie osi podłużnej i osi poprzecznych (osi podpór) mostu. W czasie budowy osie te będą wznawiane i wykorzystywane w kolejnych etapach prac związanych z wykonaniem robót ziemnych, betonowaniem fundamentów podpór mostowych, wznoszeniem przyczółków i filarów, a także budową lub montażem przęseł mostowych. Z uwagi na potrzebę wznawiania osi i zabezpieczenia zróżnicowanych wymagań dokładnościowych w całym procesie budowy, punkty wyznaczające osie mostu powinny być wytyczone z zachowaniem najwyższych dokładności określonych w projekcie technicznym konkretnego mostu. Ponadto wytyczone punkty muszą być tak zlokalizowane i utrwalone, aby można z nich odtwarzać osie na każdym etapie budowy mostu, zarówno na dnie głębokich wykopów, jak i na górnej powierzchni wysokich podpór mostowych. Punkty wyznaczające osie podłużne usytuowane są poza przyczółkami mostu oraz w miejscach przecięć z osiami poprzecznymi i pomiędzy nimi. Osie poprzeczne utrwalają się dwoma lub trzema punktami z każdej strony osi podłużnej. Najpierw wytycza się punkty osi podłużnej, po dwa z każdej strony przekraczanej przeszkody, korzystając z miar podanych w projekcie zagospodarowania terenu. Następnie zakłada się osnowę realizacyjną, włączając do niej poprzednio zlokalizowane punkty osi podłużnej. Zazwyczaj jest to osnowa lokalna, rozwiązywana w układzie współrzędnych, którego jedna z osi pokrywa się z osią podłużną mostu. Najprostsze osnowy realizacyjne stosowane są przy budowie mostów o niewielkich długościach. Ciekawsze konstrukcje geometryczne takich osnów, rozwiązywanych jako sieci liniowe lub liniowo-kątowe, przedstawiono na rysunku 4.35.



Rys. 4.35. Konstrukcje geometryczne sieci liniowych i liniowo-kątowych

Tyczenie punktów prostoliniowej osi podłużnej mostu polega w tym przypadku na odkładaniu obliczonych odległości pomiędzy skrajnymi punktami osi podłużnej a kolejnymi osiami poprzecznymi. Następnie z tych punktów tyczy się osie poprzeczne – poprzez realizację kątów prostych pomiędzy nimi a osią podłużną. Punkty końcowe osi poprzecznych można również tyczyć bezpośrednio na liniach równoległych do osi podłużnej (rys. 4.36). Utrwalanie wytyczonych punktów osiowych w wodzie można dokonać na specjalnych pomostach wspierających się na palach wbitych w dno rzeki lub na innych trwałych elementach, takich jak szyny stalowe lub pale drewniane.

W rejonach występowania rozgałęzionych przeszkód wodnych (brzegi mórz i jezior) lub przy zróżnicowanej rzeźbie terenu można stosować cały zespół wzajemnie połączonych budowli mostowych (mosty, wiadukty, estakady) tworzących odcinki trasy drogowej. Budowle te pozwalają przekraczać nie tylko koryta rzek i ich rozlewiska, ale również zatoki jezior i mórz, a także parowy i tereny okresowo zalewane. Przykładem takiego układu budowli mostowych może być trasa widokowa prowadzona nad brzegiem morza, jeziora lub sztucznie utworzonego zbiornika wody. Często poszczególne odcinki takiej trasy budowane są jednocześnie przez kilka zespołów budowlanych i wówczas oddzielnie wznoszone budowle mostowe muszą być ze sobą scalone z dużą dokładnością.

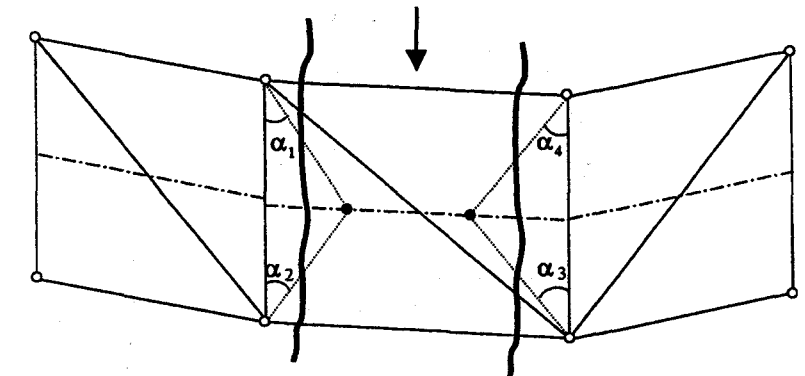


Rys. 4.36. Tyczenie punktów osiowych mostu

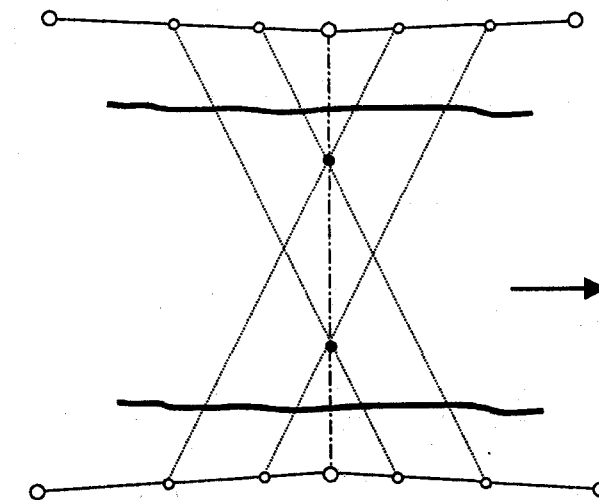
W takich sytuacjach geodezyjna osnowa realizacyjna musi być rozbudowana wzdłuż całej trasy mostów, estakad i wiaduktów. Można tu zastosować łańcuch trójkątów, w których dokonuje się pomiaru kątów i długości boków, a ponadto, z uwagi na wysokie wymagania dokładnościowe, część punktów tej osnowy powinna mieć wyznaczone współrzędne metodą statyczną GPS. Punkty GPS obiera się w miejscach odkrytych, z dala od wysokich przeszkód terenowych, we wzajemnych odległościach rzędu 1–2 km. Punkty projektowanej osnowy realizacyjnej powinny być lokalizowane w miejscach łatwo dostępnych, zapewniających wizury pomiędzy nimi i dobrą widoczność miejsc budowy podpór, tak aby można było z nich tyczyć punkty osiowe poszczególnych podpór mostowych.

Zazwyczaj osie podłużne takiego zespołu budowli mostowych będą miały przebieg krzywoliniowy, stąd tyczenie punktów głównych i pomocniczych (pośrednich) na osi podłużnej oraz tyczenie względem niej osi poprzecznych jest zadaniem trudniejszym niż przy mostach prostoliniowych. Przede wszystkim położenie wszystkich punktów osnowy realizacyjnej, punktów osi podłużnej, punktów określających położenie podpór stałych i tymczasowych oraz punktów pośrednich osi mostu powinno być wyznaczone w tym samym układzie współrzędnych. Jeśli w projekcie zagospodarowania terenu nie będą podane współrzędne punktów osi podłużnej, to na podstawie podanych tam wartości elementów geometrycznych trasy (kąty załamania, długości stycznych, promienie łuków, odległości pomiędzy podporami) oblicza się współrzędne punktów osiowych w układzie lokalnym, związanym z osią trasy, a następnie transformuje się je do układu terenowego osnowy realizacyjnej. W oparciu o współrzędne

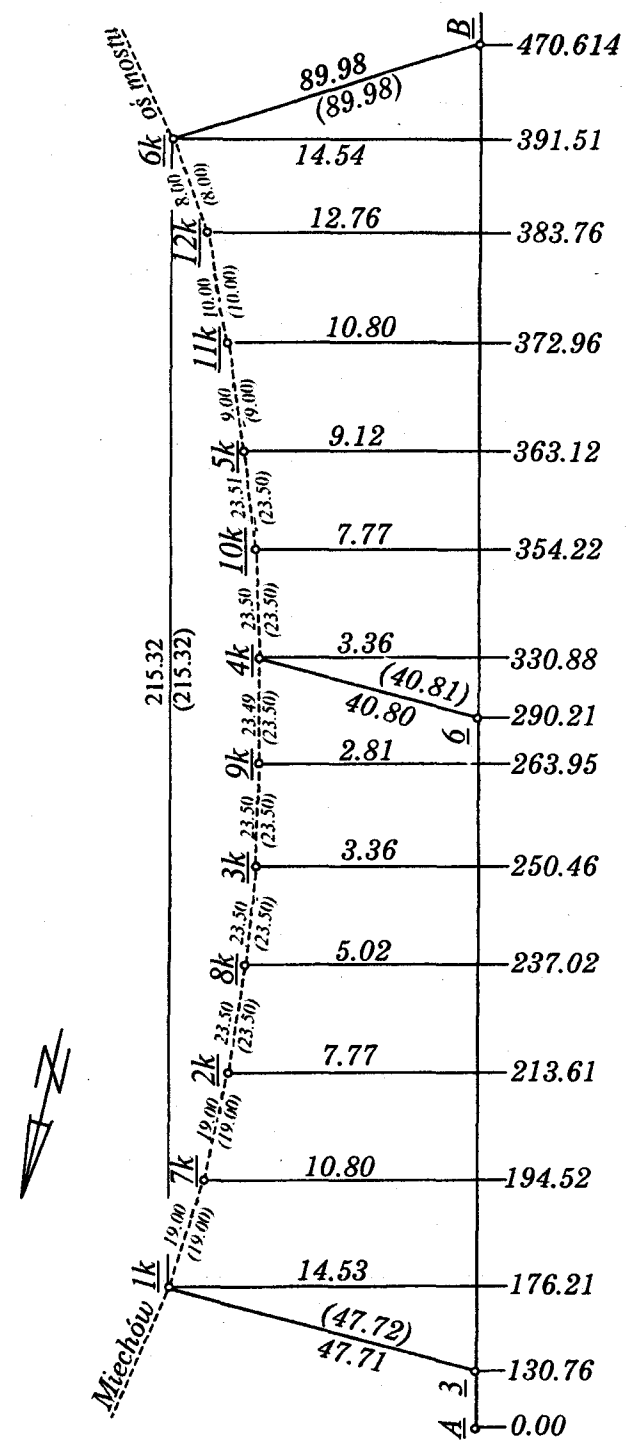
punktów osnowy realizacyjnej i współrzędne punktów osi podłużnej przygotowuje się dane do tyczenia. Wybór metody tyczenia w dużym stopniu jest uzależniony od warunków terenowych. Optymalnym rozwiązaniem jest stosowanie metody biegunowej w wersji klasycznej lub metody swobodnego stanowiska, z użyciem elektronicznych, odpowiednio oprogramowanych tachimetrów. Niekiedy pożyteczna może się okazać metoda wcięć kątowych (rys. 4.37) lub metoda przecięć kierunków (rys. 4.38). Klasyczna metoda ortogonalna może być przydatna do tyczenia punktów podłużnej osi budowli mostowej w terenach zakrzaczonych i pofałdowanych. Przykładowy szkic tyczenia podpór stałych (1k–6k) i montażowych (7k–13k) łukowej budowli mostowej z użyciem metody ortogonalnej przedstawiono na rysunku 4.39.



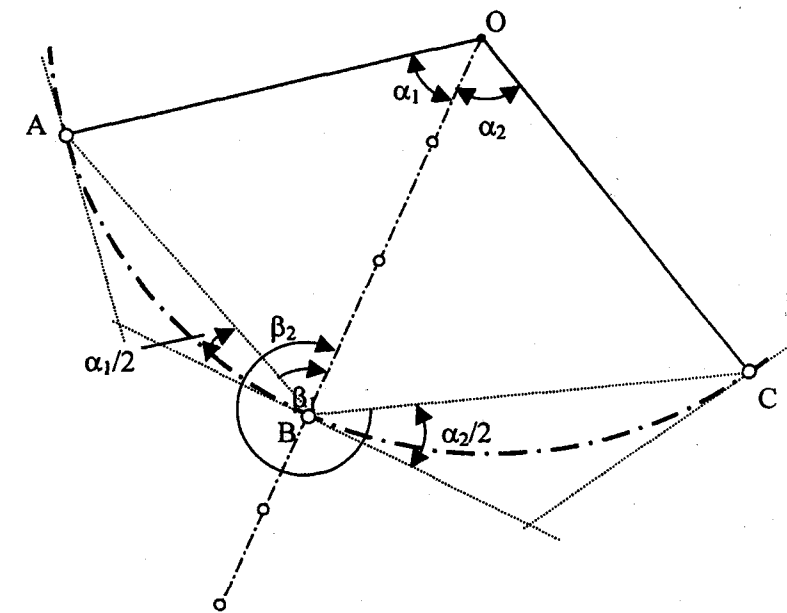
Rys. 4.37. Tyczenie punktów osi mostu metodą wcięć kątowych



Rys. 4.38. Tyczenie punktów osi mostu metodą przecięć kierunków



Rys. 4.39. Tyczenie podłużnej osi (środków ciężkości) fundamentów mostu
Objaśnienia w tekście



Rys. 4.40. Tyczenie osi podpór łukowej budowli
Objaśnienia w tekście

Tyczenie osi poprzecznych mostu (osi podpór) w punktach krzywoliniowej osi podłużnej budowli mostowej polega na odkładaniu kątów β od cięciw łączących punkty osiowe (rys. 4.40). Jeśli oś podpory tyczona będzie w punkcie B, to ustalenie jej kierunku polega na odłożeniu kąta β_1 od kierunku BA lub kąta β_2 od kierunku BC.

Wartości wymienionych kątów oblicza się ze wzorów:

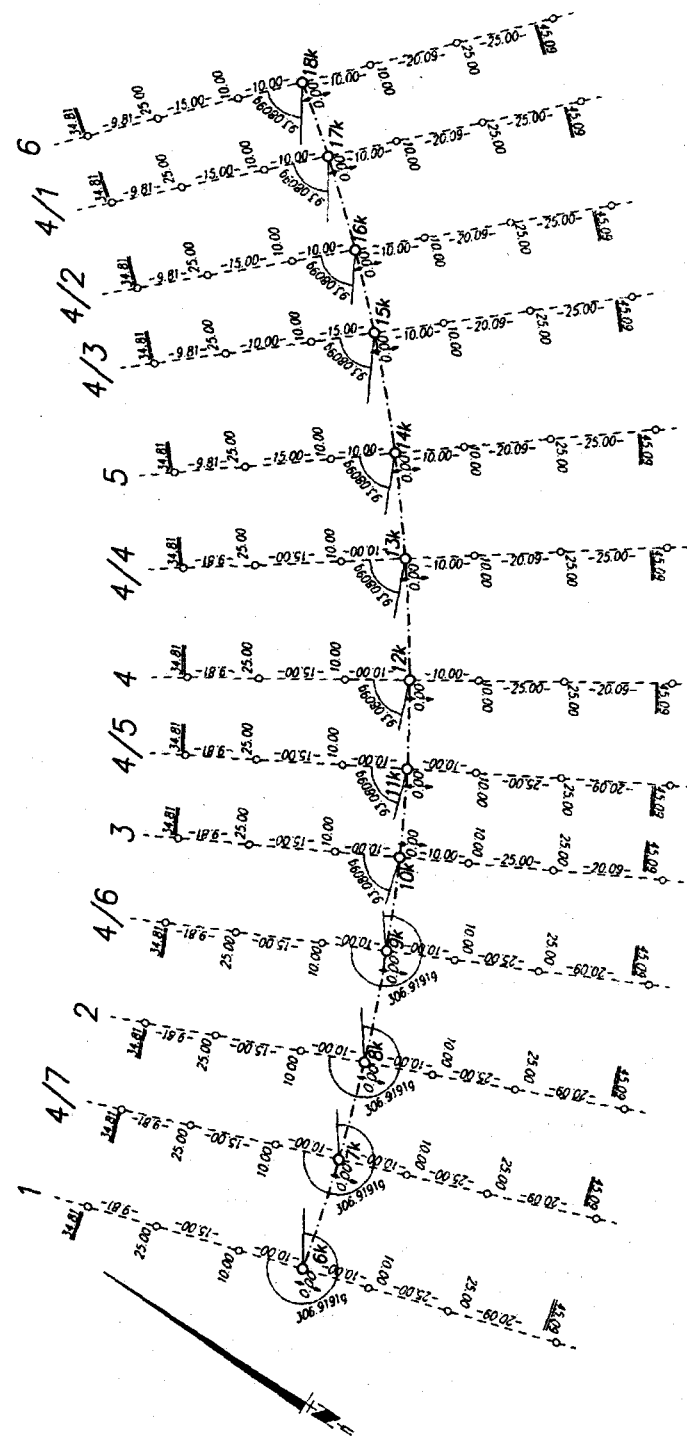
$$\beta_1 = 100^\circ - 1/2\alpha_1 \quad (4.2)$$

$$\beta_2 = 300^\circ + 1/2\alpha_2 \quad (4.3)$$

po uprzednim obliczeniu kątów α_1 i α_2 ze współrzędnych punktów O, A, B, C.

Szkic tyczenia punktów osi podpór stałych i montażowych na krzywoliniowym odcinku budowli mostowej przedstawiono na rysunku 4.41.

Oprócz typowej obsługi geodezyjnej wznoszenia budowli mostowych na lądzie, na szczególną uwagę zasługują prace geodezyjne prowadzone przy budowie mostów morskich, łączących wyspy lub wyspy z lądem stałym. Mosty tego typu osiągają długość kilku kilometrów i budowane są z dala od lądu, co oznacza, że lokalizacja ich podpór musi być prowadzona względem bardzo odległych punktów osnowy geodezyjnej.



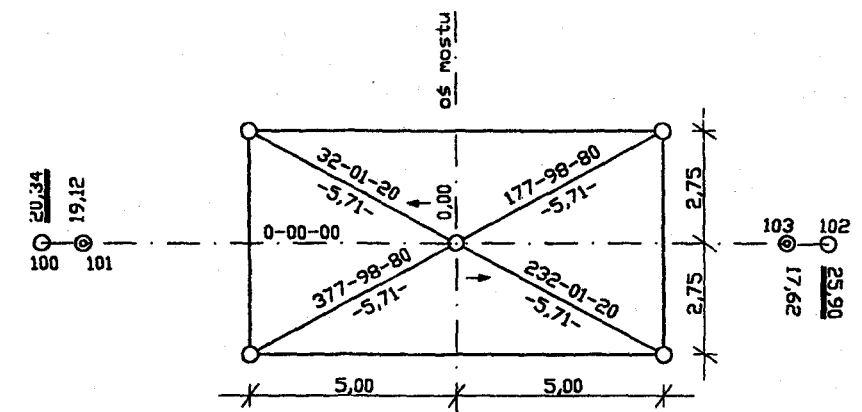
Rys. 4.41. Tyczenie osi podpór statycznych i montażowych mostu wraz z odbiciami
Objaśnienia w tekście

Dotychczas w warunkach takich używano systemu precyzyjnych dalmierzy radiowych o dużym zasięgu, korzystając z punktów sieci osnowy geodezyjnej, którą tworzą punkty zlokalizowane w pobliżu projektowanej budowli mostowej, na brzegach morza, naturalnych wyspach i sztucznych platformach zbudowanych specjalnie dla prac geodezyjnych. Osnowa tego typu wyrównywana jest w lokalnym układzie współrzędnych, związanym z osią mostu. Przy tych pracach nie tyczy się osi podłużnej i osi poprzecznych, natomiast wyznacza się bezpośrednio pozycje jednostek pływających wyposażonych w dźwigi, pogłębiarki czerpakowe, młoty do wbijania pali i inne urządzenia umożliwiające przygotowanie na dnie morza stabilnego podłoża oraz ustawienie kesonów i wbijanych w dno morza słupów podpór mostowych. W ostatnich latach do pozycjonowania jednostek pływających i ustawiania prefabrykowanych elementów konstrukcyjnych mostu stosuje się technikę satelitarną RTK-GPS, przy czym odbiorniki stacjonarne ustawiane są na punktach podstawowej osnowy geodezyjnej i tworzą system stacji referencyjnych, współpracujących w sposób ciągły z odbiornikami umieszczonymi na jednostkach pływających lub na ustawianych elementach mostu.

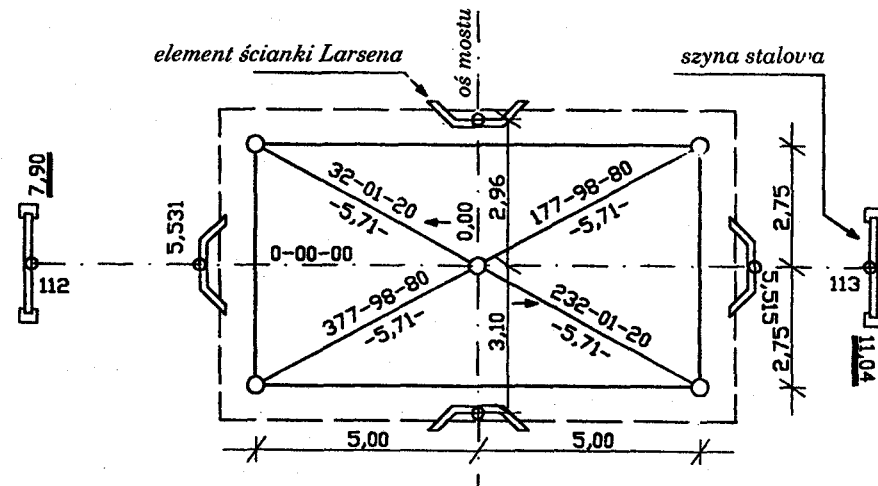
4.4. Prace geodezyjne podczas budowy podpór mostowych

4.4.1. Obsługa budowy fundamentów

Każda z podpór mostowych spoczywa na fundamencie, który może być wykonany bezpośrednio w terenie lub dostarczony na miejsce przeznaczenia jako gotowy element prefabrykowany, w postaci kesonu lub zespołu rur o dużych średnicach. W pierwszym przypadku tyczenie obrysu można prowadzić metodą biegunową, bezpośrednio z punktu osiowego (rys. 4.42). Tyczenie obrysu fundamentów (deskowań) wykonywanych w wodzie prowadzi się z punktu osiowego, z równoczesnym zaznaczeniem osi podłużnej i poprzecznej podpory, na trwałych elementach wbitych w dno rzeki (rys. 4.43).



Rys. 4.42. Wytyczenie obrysu fundamentu

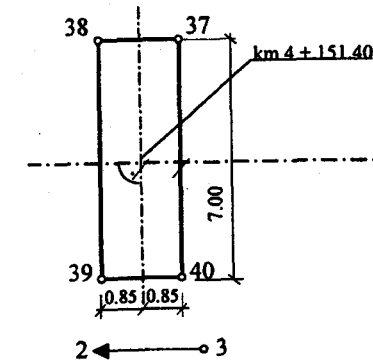


Rys. 4.43. Wytyczenie obrysu fundamentu w wodzie

Na wykonanych fundamentach można wznowić punkt osiowy i wytyczyć z niego obrysy przyczółków i filarów, podobnie jak to uczyniono poprzednio. Można też wszystkie prace tyczeniowe wykonać metodą biegunową z punktów istniejącej w terenie osnowy geodezyjnej (rys. 4.44 i 4.45).

Zbudowanie fundamentów podpór na wodach głębokich polega zazwyczaj na przygotowaniu kesonu na lądzie, przetransportowaniu go w wyznaczone miejsce i opuszczenie na wcześniej przygotowane podłoże. Wszystkie wymienione czynności prowadzone są pod ścisłym nadzorem geodetów. Opis tych czynności przedstawiony zostanie w oparciu o publikację [1], zawierającą szczegółowe informacje o pracach geodezyjnych prowadzonych przy budowie mostu morskiego łączącego wyspy Zealand i Sprogo, należące do Danii (rys. 4.46).

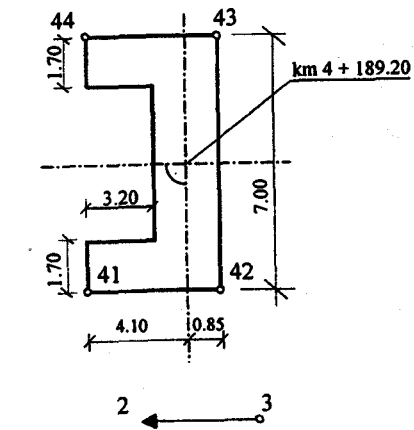
Budowę ogromnych fundamentów kesonowych pod pylony, bloki kotwiące i filary prowadzono w dwóch suchych dokach. W pierwszym doku o wymiarach 280×160×13 m przygotowano kesony dla dwóch pylonów (78×35×21 m), zaś w drugim, o wymiarach 280×220×10 m, zbudowano dwa kesony pod bloki kotwiące (124×54×14 m) i siedem kesonów pod najcięższe filary. Prace pomiarowe przy budowie tych olbrzymich, żelbetowych obiektów prowadzono, wykorzystując specjalnie do tego celu założoną osnowę geodezyjną, dowiązaną do punktów stałych, znajdujących się poza zasięgiem wpływów robót budowlanych. Osnowę wykorzystano do trasowania obrysów kesonów na kolejnych poziomach roboczych, prowadzenia inwentaryzacji wykonanych fragmentów oraz do wyznaczania poziomych i pionowych przemieszczeń ścian kesonów, wywołanych zwiększającymi się obciążeniami podłoża gruntowego doków. W przytaczanym przykładzie całkowite osiadanie podłoża wyniosło 25 mm i o taką wartość została skorygowana wysokość budowanych kesonów.



Stanowisko 3

Nr pkt	Azymut	Długość (m)
2	130 78 90	135.14
37	177 57 53	19.18
38	181 87 75	18.03
39	190 25 52	24.68
40	194 07 76	23.80

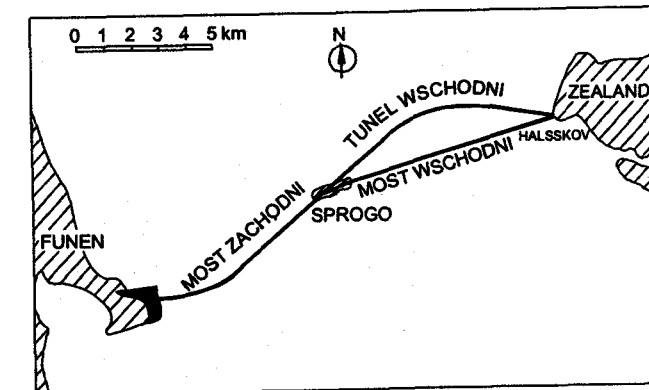
Rys. 4.44. Wytyczenie obrysu



Stanowisko 3

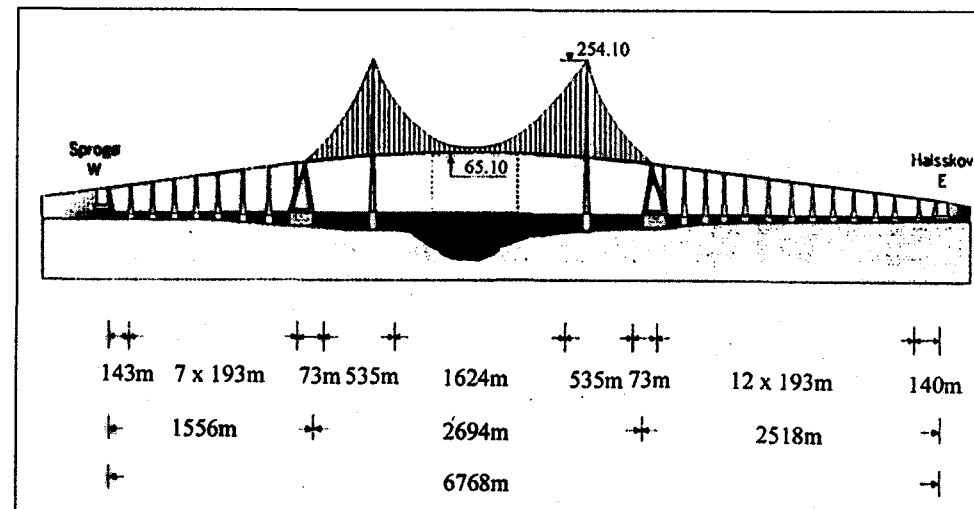
Nr pkt	Azymut	Długość (m)
2	130 78 90	135.14
41	142 48 15	56.09
42	143 97 03	51.35
43	151 99 48	53.65
44	149 92 19	58.20

Rys. 4.45. Wytyczenie obrysu przyczółka



Rys. 4.46. Most łączący wyspy Zealand i Sprogo [1]

Równocześnie z budową kesonów przygotowano powierzchnie nośne w projektowanych miejscach lokalizacji podpór mostowych i pylonów. Do wytyczenia obrysów tych powierzchni na dnie morza korzystano z systemu AXYLE francuskiej firmy Sercel, działającego w oparciu o dalmierze pracujące na falach radiowych o długości 1 m. System ten pozwalał na wyznaczanie pozycji jednostek pływających z dokładnością ± 30 cm, w dowiązaniu do siedmiu nabrzeżnych stacji, ustawionych nad punktami wcześniej założonej osnowy triangulacyjnej, obejmującej swym zasięgiem całość inwestycji przedstawionej na rysunku 4.47. Pomiary wysokościowe prowadzono względem poziomu morza ustalanego na podstawie obserwacji wykonanych na trzech stacjach mareometrów.



Rys. 4.47. Wymiary mostu Zealand – Sprogo [1]

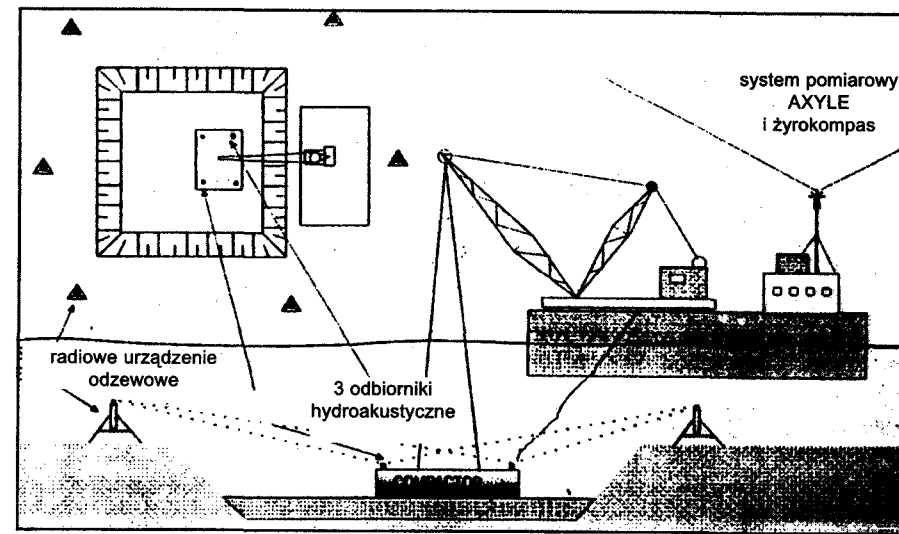
Należy w tym miejscu zaznaczyć, że do pozycjonowania jednostek pływających wykorzystuje się obecnie pomiary satelitarne GPS, prowadzone metodą DGPS lub RTK. Po uwzględnieniu poprawek korekcyjnych metody te zapewniają wyznaczenie sytuacyjnego położenia punktu z dokładnością, odpowiednio, ± 20 cm oraz ± 1 cm.

Odkrywanie podłoża nośnego na dnie morza prowadzono przy użyciu pogłębiarki ustawianej w żądanym położeniu, przy wykorzystaniu systemu AXYLE i żyrokompasu, zaś poziom wody wyznaczał system trzech mareometrów. Przy znanym położeniu elementów pogłębiarki względem wybranych punktów jednostki pływającej można było prowadzić wybieranie namułu na całej powierzchni przeznaczonej do oczyszczenia. Obrysy tych powierzchni dla poszczególnych podpór mostu ustalono na wcześniej wykonanej mapie dna morza, w pasie o szerokości 1000 m ciągnącym się symetrycznie wzdłuż osi projektowanego mostu. Po zakończeniu pogłębiania przeprowadzono pomiary kontrolne przy użyciu echosondy i systemu lokalizacji jej położenia sytuacyjne-

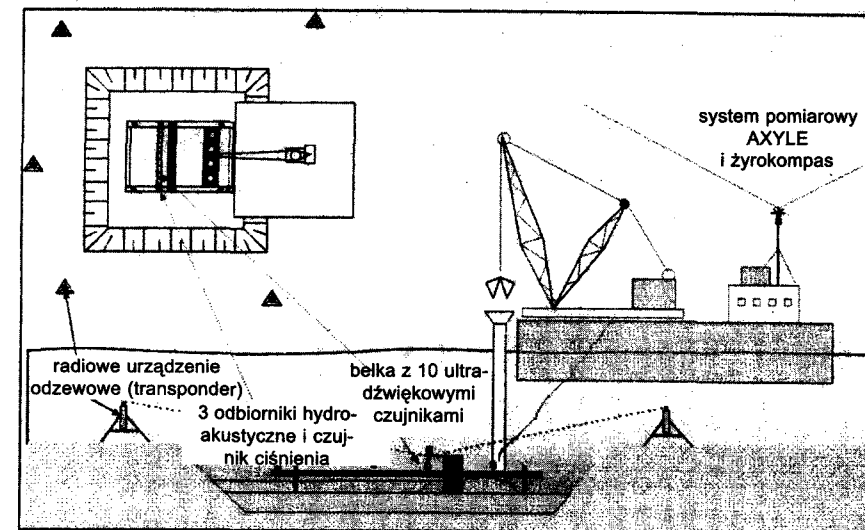
go, uzyskując w efekcie szczegółową rzeźbę dna powierzchni odkrytej. Takie mapy posłużyły do zaprojektowania grubości i obrysów kolejnych warstw podsypki fundamentowej, stanowiącej łożo dla kesonu. Podsypkę w postaci tłuczni o frakcji od 10 mm do 100 mm wysypywano na oczyszczoną powierzchnię dna morza przy użyciu pogłębiarki wyposażonej w zamykany pojemnik. Każda kolejna warstwa tłuczni była zagęszczana 65-tonową ubijarką, zawieszoną na pływającym dźwigu. Opuszczana ubijarka musiała zajmować ściśle określone położenia, aby cała warstwa tłuczni była dokładnie zagęszczona. Górna powierzchnia tej warstwy powinna osiągnąć projektowany poziom. W celu wykonania wszystkich opisanych czynności formowania warstwy tłuczni pod wodą użyto systemu pomiarowego SONARDYNE. Jest to akustyczny system pozycjonujący, umożliwiający pomiar długości pod wodą, pomiędzy różnymi stacjami pomiarowymi. Najpierw wokół formowanego łoża rozstawiano od 6 do 8 transponderów, wyznaczając ich pozycje przy użyciu jednostki pływającej wyposażonej w dalmierz radiowy wchodzący w skład systemu AXYLE, żyrokompas oraz przetwornik odbierający sygnały z transponderów (dalmierza hydroakustycznego). Pozycję każdego transpondera wyznaczano, prowadząc jednostkę pływającą wokół niego, wzdłuż pętli o kształcie liścia koniczyny. Na podstawie wyznaczanych współrzędnych punktów tworzących pętle oraz pomierzonych dalmierzem hydroakustycznym odległości od tych punktów do transpondera wyznaczono jego współrzędne. Następnie pomierzono odległości pomiędzy transponderami i otrzymaną sieć liniową wyrównano, uzyskując ostateczne współrzędne transponderów z dokładnością około 30–50 cm.

Przygotowanie łoża pod keson prowadzono według następującej procedury: powierzchnię utwardzaną podzielono na kwadraty w taki sposób, że zasięg roboczy dźwigu z ubijarką obejmował jeden kwadrat. Ubijarka wyposażona została w trzy przetworniki dokonujące pomiarów odległości do transponderów, dwa inklinometry umożliwiające pomiar nachylenia i urządzenie do pomiaru głębokości. Uzyskane wyniki pomiarów wyżej wymienionych wielkości były przekazywane do systemu komputerowego generującego na ekranie obraz przedstawiający aktualną pozycję wibratora (rys. 4.48). Obraz ten przekazywany był do dyspozycji inżyniera geodety, kapitana barki i operatora dźwigu. Operator mógł samodzielnie ustawiać wibrator i zagęszczać kolejne warstwy tłuczni. Ostatnią warstwę tłuczni pozostawiano niezagęszczoną, ponieważ górna powierzchnia tej warstwy powinna być zbliżona do płaszczyzny i posiadać projektowaną wysokość. Uzyskanie takiego efektu wymagało użycia dodatkowej barki wyposażonej w analogiczny zestaw aparatury pomiarowej do znajdującego się na barce z dźwigiem. Z barki tej opuszczano stalową ramę wyposażoną w cztery hydrauliczne stopy, pozwalające na jej precyzyjne wypoziomowanie. Ustawianie i poziomowanie ramy wykonano według procedury opisanej poprzednio. Barka obsługująca ramę wyposażona była w teleskopowe rury, umożliwiające dostarczenie tłuczni do wnętrza ramy. Powierzchnię podsypki wyrównywano przy użyciu ruchomej poprzecznicy, przesuwanej wzdłuż ramy. Równoległe za tą poprzecznicą ustawiona była druga belka wyposażona w dziesięć czujników głębokości rozmieszczonych co 1 m, podłą-

czonych do wielokanałowego odbiornika, w którym analizowano wyniki obserwacji. Zebrane informacje o położeniu sytuacyjnym i nachyleniu ramy oraz belki gładzącej były, podobnie jak poprzednio, wyświetlane na ekranie komputera w postaci przekroju sekcji (rys. 4.49). Najwyższy poziom łoża realizowano z dokładnością ± 5 cm.

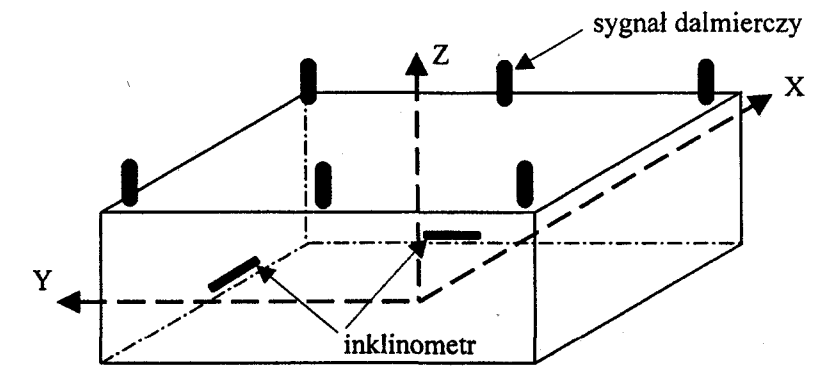


Rys. 4.48. Ustawianie wibratora [1]



Rys. 4.49. Formowanie górnej powierzchni łoża [1]

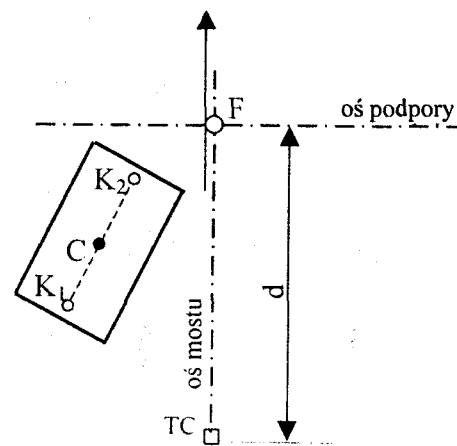
Po przygotowaniu łoża przystąpiono do transportu kesonów. Potężne kesony dla pylonów i bloków kotwiących wyposażono w niezbędną aparaturę pomiarową jeszcze w suchym doku. Na górnej powierzchni kesonu przygotowano sześć wież pomiarowych z urządzeniami do automatycznego centrowania sygnałów dalmierczych. W kesonie umieszczono również kilka inklinometrów (rys. 4.50) oraz pojemnik z całym systemem komputerowym, w skład którego wchodziły dwa dalmierze radiowe współpracujące z dziewięcioma stacjami nabrzeżnymi. Odpowiednie oprogramowanie pozwalało na graficzną prezentację trasy transportu i umożliwiało sterowanie procesem bezpiecznego transportu kesonów z doku do rejonu ich posadowienia (kolejne łoża usytuowane wzdłuż osi mostu). Przed rozpoczęciem transportu kesonów przeprowadzono manewr ich podnoszenia, poprzez wypełnianie doku wodą. Do kontrolowania położenia kesonu podczas wodowania (podnoszenia) użyto trzech precyzyjnych tachimetrów elektronicznych, wyposażonych w serwomotory umożliwiające automatyczne naprowadzanie lunet na pryzmaty umieszczone na wieżach pomiarowych. Uzyskane wyniki obserwacji, wraz ze wskazaniem inklinometrów, były przekazywane drogą radiową do komputerowego systemu kontroli dostarczającego informacji o aktualnym położeniu kesonu. Informacje graficzne i liczbowe wyświetlano na dwóch monitorach podłączonych do komputera.



Rys. 4.50. Keson z wyposażeniem pomiarowym [1]

Operację transportu każdego kesonu do miejsca jego ustawienia prowadzono przy użyciu holowników. Zastosowany system dalmierzy radiowych AXYLE zapewniał odnajdywanie rejonu łoża z dokładnością około 10 m. Po uzyskaniu przybliżonej pozycji holowniki przycumowano do boi kotwicznych. Dalsze pozycjonowanie kesonu prowadzono przy użyciu trzech zmechanizowanych tachimetrów, ustawianych na punktach zlokalizowanych na jednej z czterech sztucznych wysp (platform), zbudowanych w rejonie pylonów i bloków kotwiących. Współrzędne stanowisk tachimetrów wyznaczono metodą statyczną GPS w dowiązaniu do osnowy założonej dla budowy tego mostu. W wyniku tych pomiarów każdy z punktów kesonu, sygnalizowany wieżami pomiaro-

wymi, na których spoczywały reflektory dalmiercze, uzyskał współrzędne w układzie przyjętym dla budowy mostu. Ponadto punkty reprezentujące keson miały własne współrzędne, wyznaczone wcześniej w układzie własnym, którego początek znajdował się w centralnym punkcie, a osie x i y były równoległe do podłużnej i poprzecznej osi kesonu. Po dokonaniu transformacji współrzędnych punktów z układu lokalnego do układu terenowego można było ocenić, w jakiej odległości od projektowanego punktu osiowego podpory znajduje się punkt centralny kesonu. Na podstawie współrzędnych teoretycznego punktu osiowego podpory oraz współrzędnych centralnego punktu kesonu i współrzędnych punktów zaczepienia lin utrzymujących stałą pozycję kesonu, obliczono długości teoretyczne i rzeczywiste lin kotwiących keson. Różnice tych długości redukowali operatorzy holowników, uzyskując nasunięcie centralnego punktu kesonu na teoretyczny punkt osiowy podpory (rys. 4.51). W kolejnym kroku doprowadzono osie ustawianego kesonu do równoległości z osiami teoretycznymi podpory.



Rys. 4.51. Ustawianie kesonu w pozycji projektowanej [1]
Objaśnienia w tekście

Po uzyskaniu żądanej pozycji ustawienia kesonu na powierzchni morza rozpoczęto jego obciążanie i zatapianie. Proces zatapiania kontrolowano przy użyciu inklinometrów, czujników głębokości i tachimetrów śledzących kolejne pozycje zatapianego kesonu. Czynności te prowadzono aż do zbliżenia dolnych krawędzi kesonu na odległość 20 cm od górnej powierzchni przygotowanego łóża. Dopiero po dokładnym skorygowaniu tej ostatniej pozycji uwolniono liny mocujące i keson swoimi wypustami zanurzył się w łóżu wykonanym z tłucznia. Po tej operacji przeprowadzono pomiar inwentaryzacyjny ustawienia kesonu, korzystając z tachimetrów ustawionych na jednej ze sztucznych wysp. Kontrolnie wykonano jeszcze pomiar metodą *rapid static*. Dopuszczalne tolerancje ustawienia kesonu w stosunku do pozycji projektowanej zawiera tabela 4.2.

Tabela 4.2

Rodzaj elementu	Rodzaj odchyłki liniowej [cm] oraz kątowej [g]					
	dX	dY	dZ	Kierunek	Przechył podłużny	Przechył poprzeczny
Kesony pylonów	± 20	± 20	± 20	$\pm 0,172$	$\pm 0,115$	$\pm 0,057$
Kesony bloków	± 20	± 20	± 20	$\pm 0,172$	$\pm 0,172$	$\pm 0,115$
Kesony filarów	± 20	± 20	± 20	$\pm 0,172$	$\pm 0,172$	$\pm 0,115$

Kesony mniejsze ustawiano w podobny sposób, prowadząc obserwacje przy użyciu tachimetrów elektronicznych z kesonów już ustawionych, co pozwoliło na skrócenie celowych do 200 m.

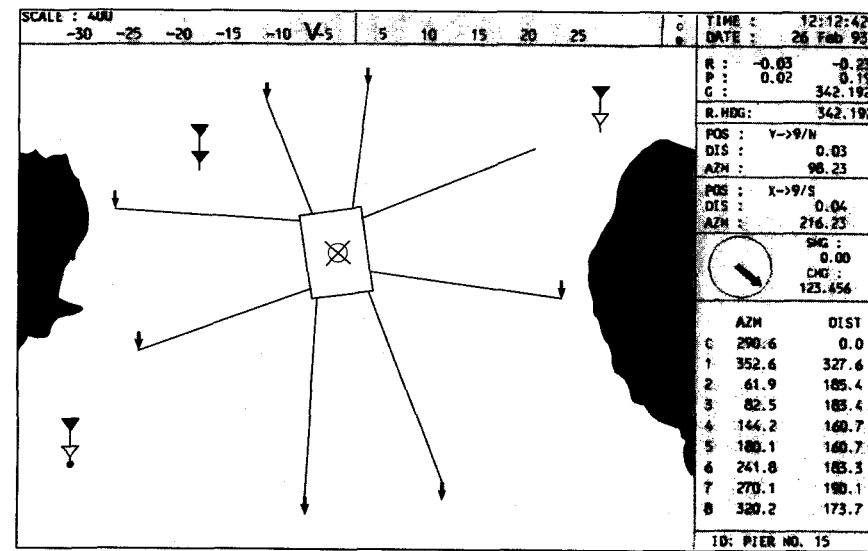
Przedstawiony tu sposób transportu kesonów i ustawiania ich w żądanej pozycji wymagał zbudowania sztucznych wysp oraz wykonywania żmudnych, wieloetapowych pomiarów z użyciem systemu AXYLE. Obecnie cały proces lokalizacji kesonu można wykonać przy użyciu metod DGPS i RTK-GPS, bez budowania sztucznych wysp. Aby dokładnie ustawić keson, wystarczy prowadzić obserwacje przy użyciu stacjonarnych odbiorników satelitarnych, umieszczonych na punktach nabrzeżnych, oraz dwóch odbiorników umieszczonych na kesonie.

Jeśli istnieje możliwość ustawienia tachimetru w osi mostu, wówczas wystarczy, by na górnej powierzchni kesonu ustawić pryzmat dalmierczy w punkcie centralnym C oraz zasygnalizować oś kesonu dwiema tarczami celowniczymi K_1 i K_2 . Ustawianie w tym przypadku polega na wprowadzeniu punktu C na oś mostu w odległości projektowanej d i skróceniu kesonu tak, aby punkty K_1 i K_2 pokryły się z osią mostu (rys. 4.52).

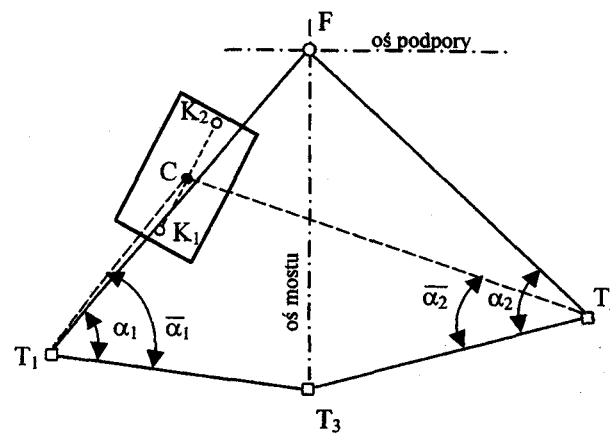
Jeżeli kesony ustawia się na rzece, wówczas do ich lokalizacji można użyć trzech teodolitów ustawionych na punktach T o znanych współrzędnych (rys. 4.53). Na podstawie współrzędnych punktów T i współrzędnych punktu osiowego F oblicza się kąty wcinające α_1 i α_2 . Pomiar kątów α ze stanowisk T_1 i T_2 do punktu C kesonu pozwala na kolejne poprawianie pozycji kesonu aż do momentu pokrycia się punktu C z punktem F, czyli do momentu realizacji obliczonych kątów α . Wtyczenie punktów K_1 i K_2 w oś mostu prowadzi się przy użyciu teodolitu ustawionego w punkcie T_3 .

Przy budowie mostów morskich kesony mogą być zastąpione palami o dużych średnicach i kulkudziesięciometrowych długościach. Pale tego typu są rurami stalowymi wbijanymi w dno morza w ściśle określonych miejscach, zazwyczaj z dala od brzegu. Lokalizację pali można z powodzeniem wykonać metodą RTK. W tym celu na barce obsługującej ustawianie i wbijanie pali instaluje się dwie anteny odbiorników satelitarnych – jedną na rufie, a drugą na śródokręciu. Współrzędne tych punktów powinny być znane w układzie terenowym przyjętym do budowy mostu. Oznacza to konieczność wcześniejszego przygotowania współczynników transformacji współrzędnych z układu

WGS-84 na układ terenowy mostu. Oprócz współrzędnych anten ustawionych na barce wyznacza się współrzędne środka młota do wbijania pali. Uzyskanie tych współrzędnych wiąże się z potrzebą wcześniejszego wykonania pomiaru elementów geometrycznych, wiążących środek młota z punktami ustawienia anten. Porównanie współrzędnych punktów projektowanego usytuowania słupa ze współrzędnymi młota pozwala odpowiednio sterować barką. Efekty przesuwania barki z młotem do właściwego położenia są obserwowane na monitorze komputera obsługującego system pomiarowy.



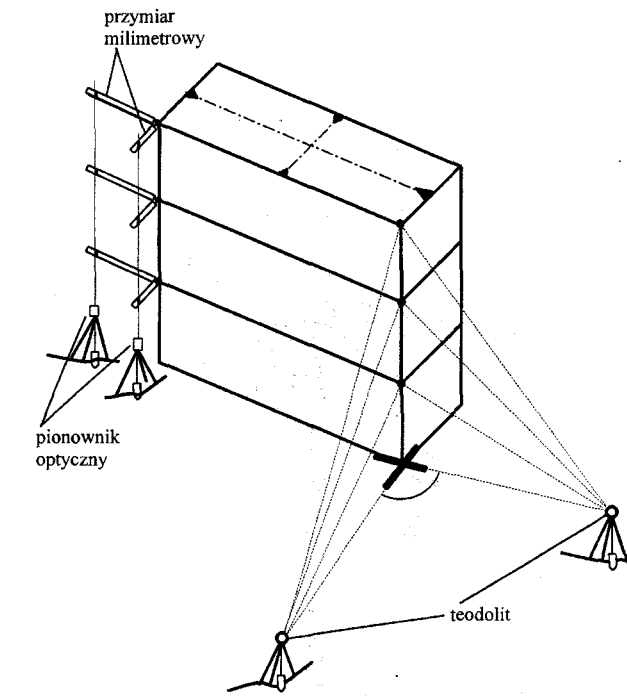
Rys. 4.52. Lokalizacja punktu centralnego kesonu z użyciem tachimetru



Rys. 4.53. Lokalizacja punktu centralnego kesonu z użyciem trzech teodolitów
Objaśnienia w tekście

4.4.2. Obsługa budowy podpór i pylonów

Na przygotowanych fundamentach wznosi się podpory (przyczółki, filary) i pylony. Mogą być budowane bezpośrednio w miejscu przeznaczenia lub podobnie jak kesony mogą być elementami prefabrykowanymi. W obydwu przypadkach prowadzi się geodezyjną obsługę ich budowy lub montażu.



Rys. 4.54. Ustawienie form na wyższych poziomach za pomocą teodolitów lub pionowników optycznych

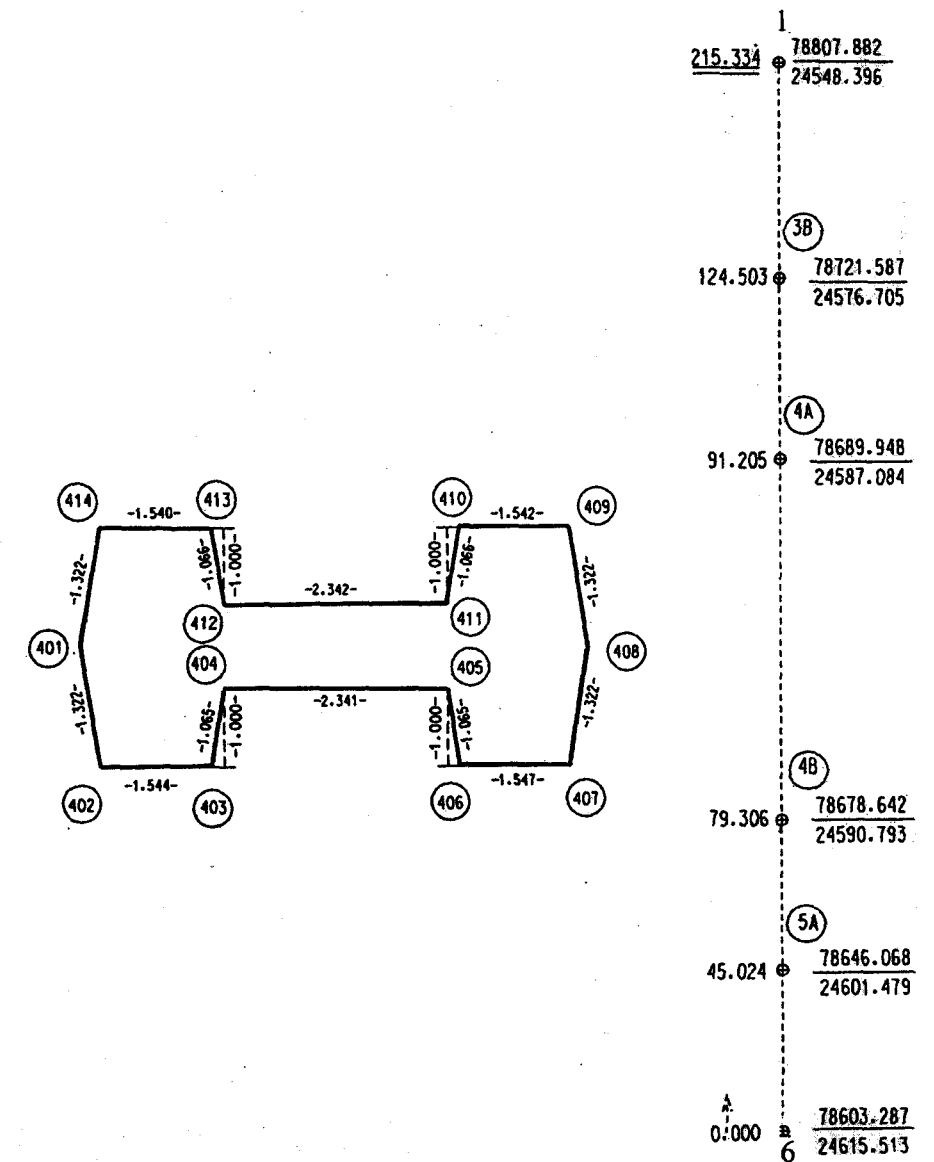
Przy budowie przyczółków i filarów prace pomiarowe mają na celu zapewnienie prawidłowego ustawienia form (deskowań) na kolejnych poziomach roboczych. Formy powinny być ustawiane względem osi podpory, poprzez odmierzenie od nich odległości projektowych. Ustawianie form wysokich podpór i pylonów można też prowadzić, używając teodolitów lub pionowników optycznych, w sposób przedstawiony na rysunku 4.54, albo przy użyciu metody biegunowej (rys. 4.55). Prawidłowo ustawione formy gwarantują właściwy kształt kolejnych przekrojów poprzecznych i zapewniają uzyskanie prostoliniowych i odpowiednio usytuowanych krawędzi wznoszonej podpory, co ma szczególne znaczenie przy podporach osiągających duże wysokości. W trakcie wznoszenia podpór powinno się prowadzić systematycznie pomiary odbiorcze. Ewentualne nadmierne odchyłki od położenia projektowych fragmentów już wykonanych można usuwać przez korygowanie położenia form ustawianych na kolejnych

poziomach roboczych. Przy dużych wysokościach podpór ani pomiary realizacyjne, ani odbiorcze nie powinny być prowadzone podczas jednostronnego nagrzewania ich powierzchni promieniowaniem słonecznym, wywołującym znaczne odchylenie podpory od linii pionu. W trakcie wznoszenia podpór winno się prowadzić pomiary niwelacyjne, których celem jest ustalenie wielkości osiadań podłoża, powstających pod wpływem coraz większych obciążeń gruntu wznoszona podpora. Okresowymi obserwacjami obejmuje się co najmniej cztery repery założone na podporze, bezpośrednio nad powierzchnią terenu. Wyniki tych pomiarów dają podstawę do przeprowadzenia weryfikacji przewidywanych przez projektanta osiadań. W razie nadmiernych osiadań można zastosować odpowiednie środki zaradcze.



Rys. 4.55. Pomiary kontrolne podpory metodą biegunową

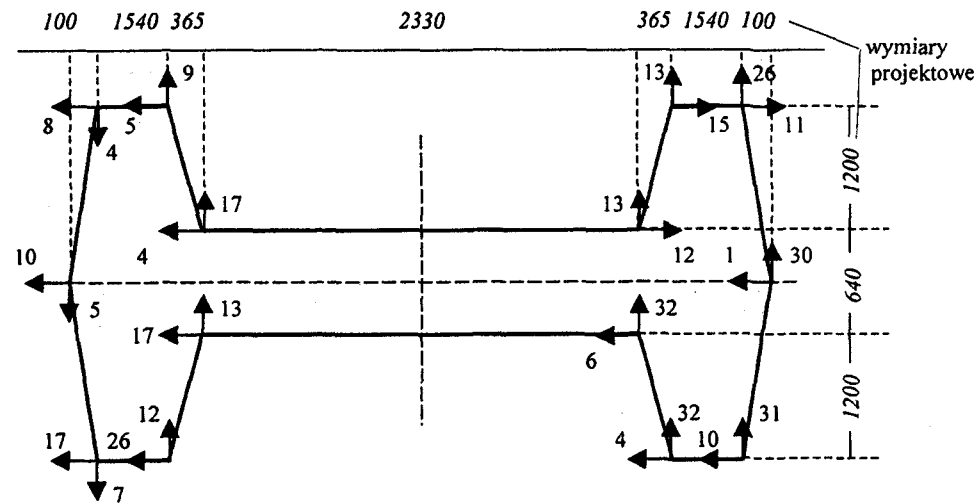
Po zakończeniu budowy podpory wykonuje się pomiary inwentaryzacyjne. Obejmują one sprawdzenie położenia dolnego i górnego przekroju podpory oraz ich wymiarów i kształtu względem danych projektowych, a także kontrolę prostoliniowości i położenia jej wybranych krawędzi. Przy wznoszeniu mostów o prostoliniowej osi podłużnej kontrolę położenia i kształtu wyżej wymienionych przekrojów najłatwiej wykonać względem projektowanych osi podpory (rys. 4.54) lub względem linii równoległych do tych osi.



Rys. 4.56. Inwentaryzacja dolnego przekroju podpory

Jeśli budowla mostowa realizowana jest w łuku, wówczas inwentaryzację przekroju dolnego można wykonać metodą biegunową w nawiązaniu do osnowy realizacyjnej (rys. 4.56). Położenie i kształt górnego przekroju wyznacza się, wykorzystując wyniki pomiarów przekroju dolnego oraz wyniki pomiarów odchyżeń punktów górnego przekroju od linii pionowych przechodzących przez punkty przekroju dolnego.

Do wyznaczenia kształtu przekroju górnego można też zastosować metodę biegunową z użyciem tachimetru bezzwierciadlanego. Końcowy efekt obliczeń przedstawiony w postaci odchylek górnego przekroju podpory od położenia projektowego ilustruje rysunek 4.57.

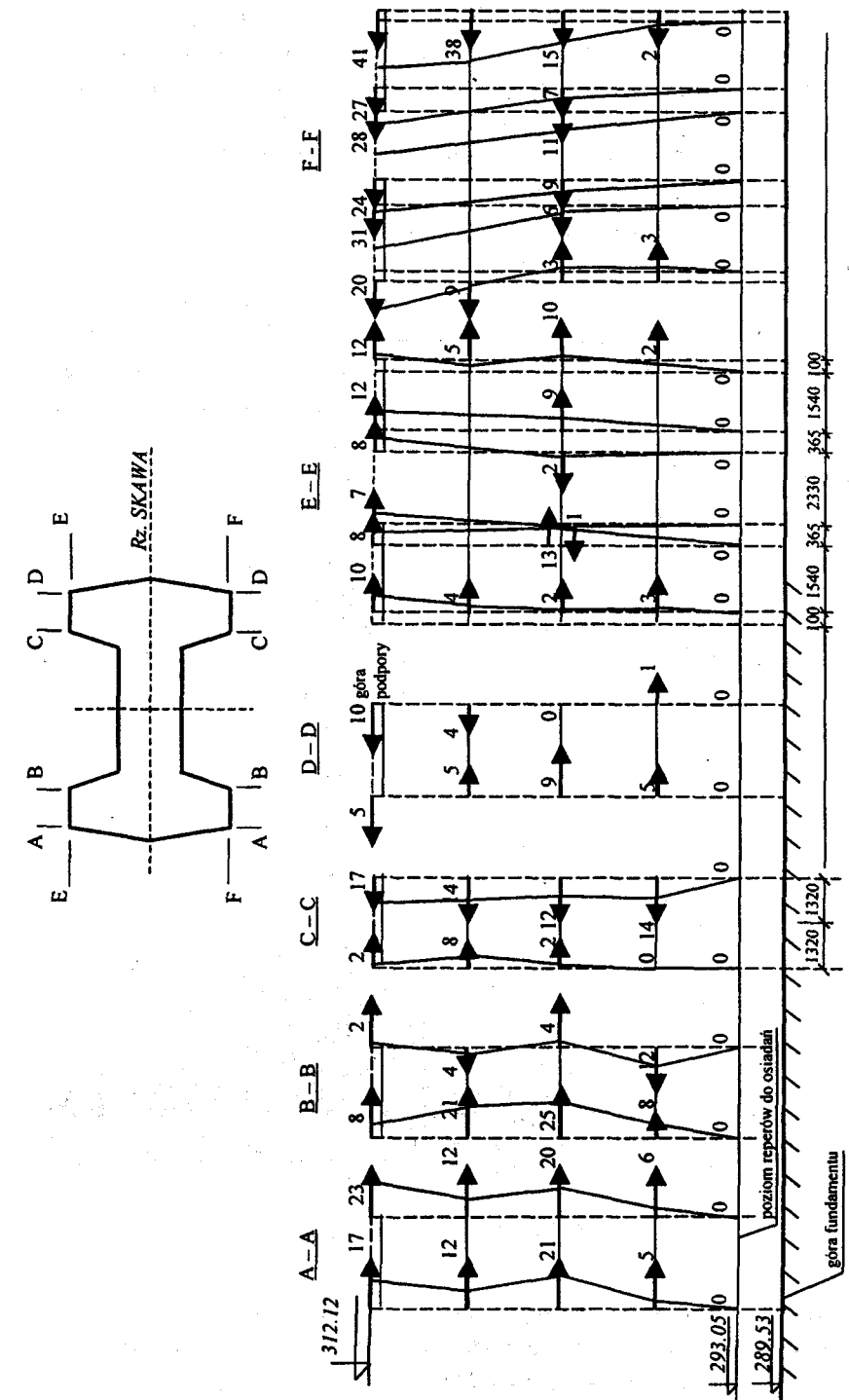


Rys. 4.57. Odchylenia punktów górnego przekroju podpory od położenia projektowego

W późniejszych pracach pomiarowych, związanych z ustawianiem łożysk mostowych i montażem pręseł, korzysta się z punktu będącego geometrycznym środkiem górnego przekroju wybudowanej podpory. Współrzędne takiego punktu w przypadku krzywoliniowej osi mostu uzyskuje się z przecięcia osi symetrii górnego przekroju tej podpory, wypośrodkowanych w oparciu o współrzędne punktów obrysu wyznaczone w pomiarach inwentaryzacyjnych opisanych powyżej. Współrzędne rzeczywistego środka geometrycznego górnego przekroju powinny być bliskie współrzędnym projektowym tego punktu. Jeśli odległości środków rzeczywistych od środków teoretycznych przekraczają tolerancje budowlane, wówczas oś mostu powinna zostać wpasowana w środki rzeczywiste. Współrzędne punktów wpasowanych w regularną krzywoliniową oś mostu wykorzystuje się do wytyczenia ostatecznych położenia środków górnych przekrojów podpór. Punkty takie tyczy się w nawiązaniu do punktów osnowy realizacyjnej.

Kontrolę kształtu i położenia krawędzi podpory można wykonać w sposób przedstawiony na rysunku 4.54 lub fotogrametrycznie. Wyniki pomiarów inwentaryzacyjnych wybudowanego filara przedstawiono w wybranych przekrojach na rysunku 4.58.

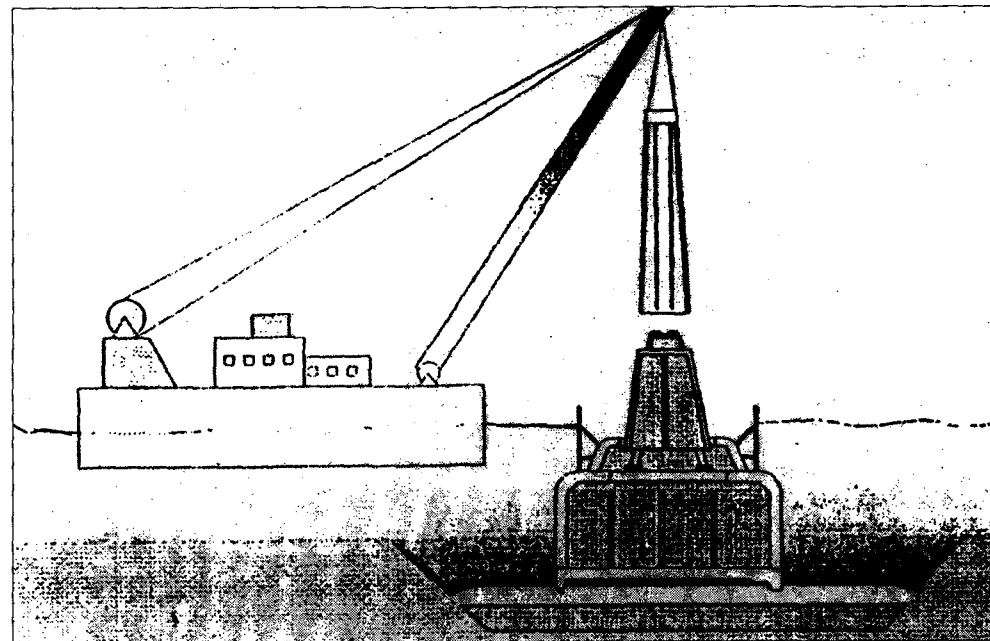
Ustawianie filarów lub pylonów prefabrykowanych na przygotowanych wcześniej fundamentach kesonowych wymaga wytyczenia w osi mostu i zaznaczenia na niej punktów osiowych poszczególnych podpór.



Rys. 4.58. Kontrola kształtu filara w wybranych przekrojach

W ustalonych w ten sposób miejscach ustawia się na kesonie płytę wyposażoną w podnośniki hydrauliczne, umożliwiające sytuacyjne i wysokościowe korygowanie położenia ustawianego elementu podpory. Na górnej powierzchni ustawianego elementu podpory można osadzić dwie tarcze do obserwacji laserowych.

Punkty, w których te tarcze zamocowano, powinny mieć określone współrzędne w układzie terenowym mostu. Punkty o wyznaczonych współrzędnych wytycza się z kolei na powierzchni kesonu i nad nimi centruje się pionowniki laserowe. Teraz położenie wstępnie ustawionego elementu podpory koryguje się w taki sposób, aby osie celowe pionowników laserowych trafiły na środki tarcz celowniczych. Można też zamiast tarcz celowniczych założyć pryzmaty dalmiercze i kontrolować ich kolejne położenia metodą precyzyjnej tachimetrii, aż do momentu uzyskania współrzędnych projektowych. W tego typu pracach powinna znaleźć zastosowanie również metoda RTK-GPS z dwiema antenami umieszczanymi na górnej powierzchni ustawianego elementu podpory.



Rys. 4.59. Montaż pylonu [1]

Po ustawieniu dolnego elementu podpory łączy się go z kesonem warstwą zbrojonego betonu. Kolejne wyższe elementy podpory nakłada się na element niższy, na przykład w sposób przedstawiony na rysunku 4.59.

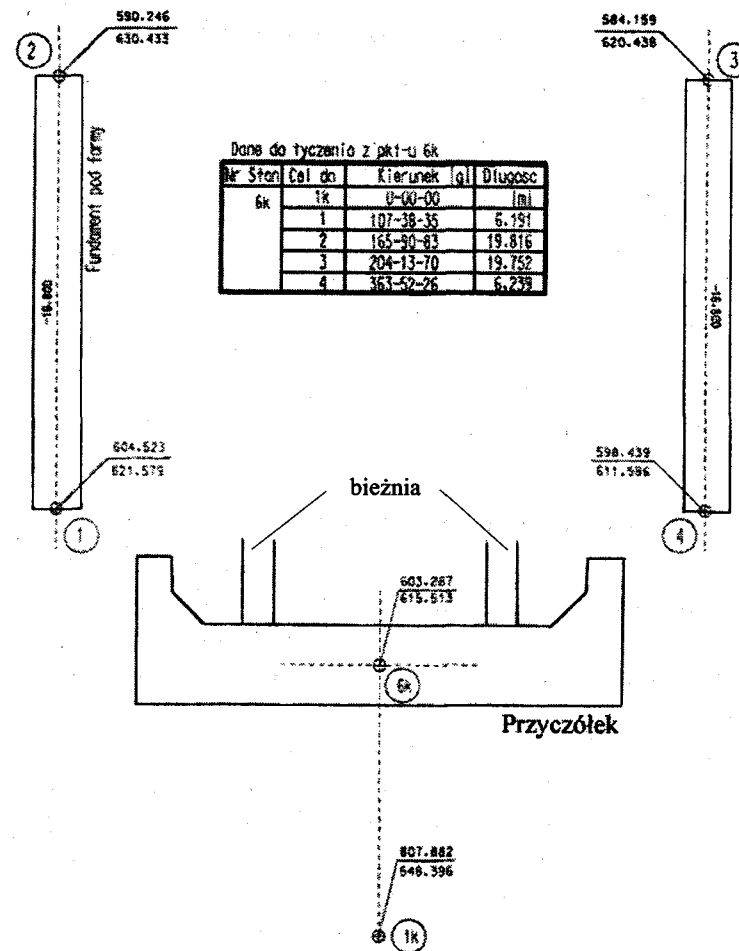
4.5. Geodezyjna obsługa budowy mostów metodą podłużnego nasuwania

Na podporach ustawia się przęsła mostowe prefabrykowane lub przygotowane bezpośrednio na placu budowy. Pierwsze z nich to gotowe segmenty składające się z elementów prefabrykowanych łączonych w rejonie budowy mostu. Drugą grupę stanowią przęsła, których technologię budowy przedstawiono w podrozdziale 4.1.3. Budowa tych przęseł i ich osadzanie na podporach prowadzone są pod ścisłym nadzorem geodezyjnym. Do najciekawszych spośród nich należy technologia podłużnego nasuwania na filary kolejnych segmentów (rys. 4.26) przygotowanych w wytwórni zbudowanej z jednej strony przeszkody na przedłużeniu osi mostu.

4.5.1. Obsługa wykonania segmentów

Wszystkie segmenty tworzące kolejne przęsła mostu przygotowuje się na specjalnym stanowisku, którego najistotniejszymi elementami są: fundamenty, wielotorowa bieżnia ślizgowa, formy kształtujące segment i urządzenia hydrauliczne do wypychania gotowego segmentu.

Wstępne prace geodezyjne polegają na wytyczeniu fundamentów oraz bieżni ślizgowej, która nadaje segmentowi zaprojektowany profil podłużny i umożliwia jego wysuwanie. Bieżnia wykonana jest z prostych konstrukcji metalowych (ceowniki, dwuteowniki, kątowniki) związanych z górną powierzchnią fundamentu za pomocą śrub nastawczych. Charakterystyczne punkty wyznaczające projektowany kształt bieżni (prostoliniowy lub kołowy) tyczone są najczęściej metodą biegunową. Po wstępnym ustawieniu bieżni prowadzone są pomiary inwentaryzacyjne, których wyniki wykorzystuje się do rektyfikacji sytuacyjnego i wysokościowego kształtu bieżni. Szczególnie dokładnie sprawdza się kształt linii profilowych bieżni w punktach wskazanych w projekcie, a usytuowanych z lewej i prawej strony każdej bieżni, w ściśle określonych odległościach, liczonych od osi poprzecznej przyczółka mostu. Po wyprofilowaniu bieżni szlifuje się ją, eliminując wszelkie nierówności, szczególnie w pobliżu łączenia elementów tworzących bieżnię. Wyniki kolejnego pomiaru inwentaryzacyjnego bieżni, wykonanego po zakończeniu szlifowania, stanowią podstawę do podjęcia decyzji o rozpoczęciu następnego etapu robót budowlanych. Tego typu pomiary inwentaryzacyjne prowadzi się również po każdym etapie nasuwania przęseł mostu. Ponadto, w trakcie przygotowywania kolejnych segmentów i ich nasuwania, prowadzone są pomiary pionowych przemieszczeń reperów utrwalonych w fundamentach stanowiska wytwórni. Wyniki pomiarów osiadań mogą zostać uwzględnione w kształtowaniu profilu bieżni.

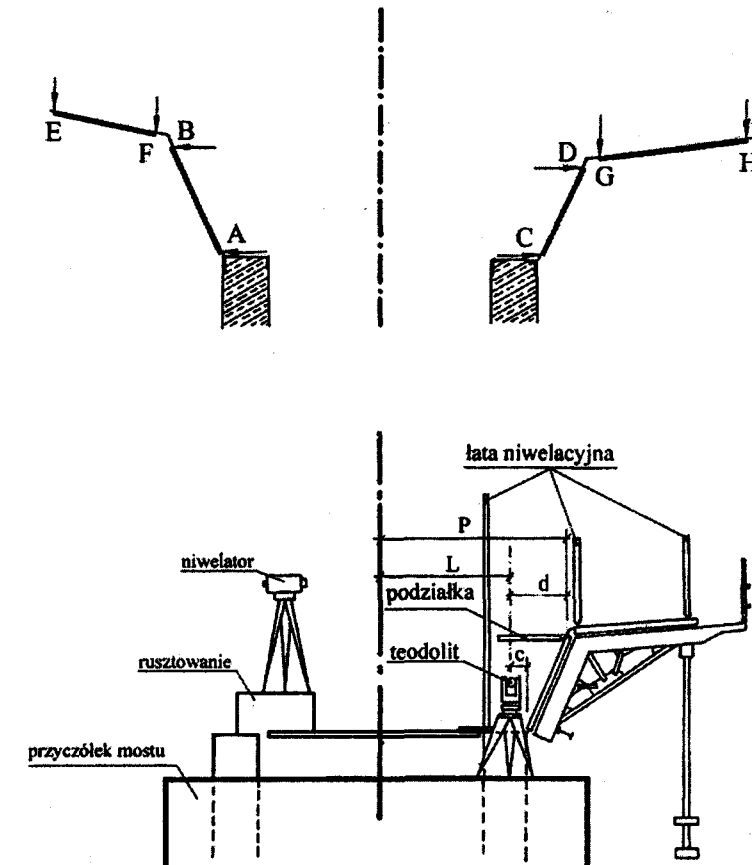


Rys. 4.60. Tyczenie osi fundamentu pod formy

Po przygotowaniu bieżni na równoległych do niej fundamentach (rys. 4.60) ustawia się formy boczne. Pozostałe formy ustawia się względem bieżni oraz wcześniej ustawionych form bocznych. Proces ustawiania form bocznych jest kontrolowany pomiarami inwentaryzacyjnymi (rys. 4.61). W ramach tych pomiarów sprawdza się sytuacyjne położenie punktów A, B, C, D względem osi mostu oraz różnice wysokości pomiędzy punktami E, F, G, H a bieżnią ślizgową. Pomiary przeprowadza się w przekrojach poprzecznych, usytuowanych w miejscach oparcia formy na ramach podporowych.

Jeśli oś mostu jest linią prostą lub wycinkiem kołowego łuku poziomego, to wszystkie produkowane segmenty mają jednakowy kształt. Natomiast gdy trasa budowlanej mostowej składa się z odcinków prostych, łuków kołowych o różnych promie-

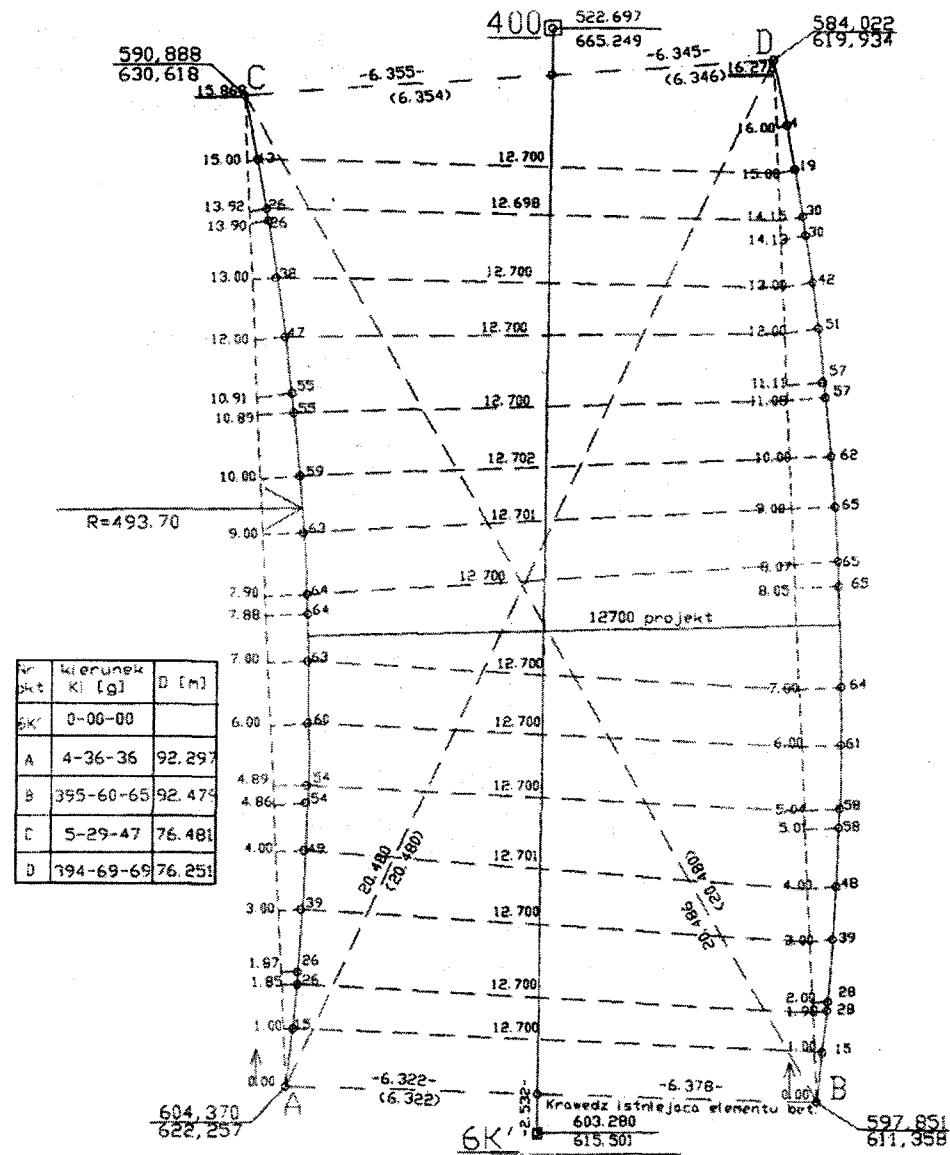
niach i krzywych przejściowych, każdy segment musi być ukształtowany oddzielnie, a segmenty będą miały różne szerokości i różne krzywizny. Zmiany kształtu wprowadza się na górnej płycie mostu, natomiast dolna płyta skrzynki mostu i jej boki zawsze są położone na jednym łuku.



P - odległość mierzonego punktu od osi mostu
 L - odległość instrumentu od osi mostu
 c, d - odczyty na łatach przykładanych do punktów C, D

Rys. 4.61. Pomiar kontrolny ustawienia form bocznych

Aby wprowadzić zmiany kształtu, na wysokości płyty górnej tyczy się oś mostu oraz przekroje radialne, na których wyznacza się punkty skrajne (rys. 4.62). Przekroje radialne (poprzeczne) powinny być usytuowane z taką gęstością, aby wiernie zrealizować projektowany kształt krawędzi płyty górnej (np. co 1 m).

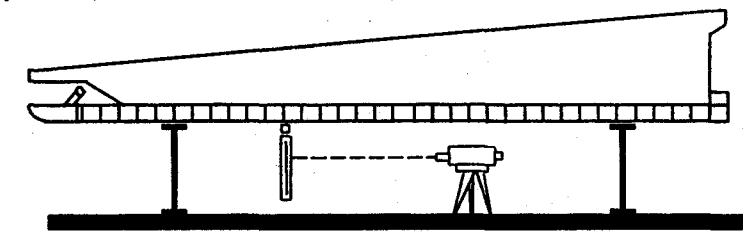


Rys. 4.62. Tyczenie krawędzi zewnętrznych płyty górnej mostu drogowego

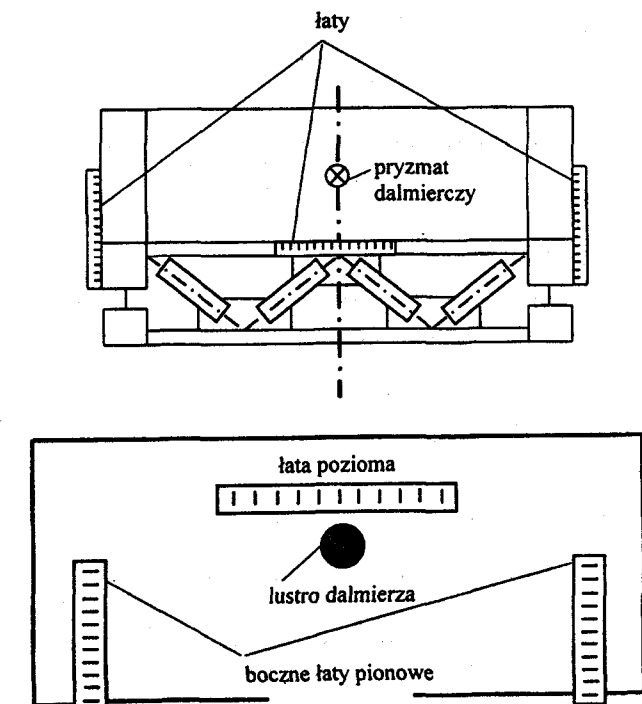
4.5.2. Obsługa montażu awanbeku

Awanbek przywożony jest zazwyczaj na plac budowy w postaci prefabrykowanych elementów; po zmontowaniu ich w jedną całość sprawdza się kształt jego dolnego pasa. Kontrola taka jest niezbędna, gdyż awanbek będzie się opierał na łożyskach ślizgowych zamontowanych na stałych i tymczasowych (montażowych) podporach

mostowych i kształt pasa dolnego będzie miał znaczący wpływ na przebieg procesu nasuwania. Ponadto, profil dolnego pasa awanbeku musi być zgodny z profilem budowanego mostu. Ustalenie różnic między rzeczywistym a projektowanym profilem dolnego pasa jest możliwe przy wykorzystaniu wyników pomiarów niwelacyjnych. Pomiarami obejmuje się punkty reprezentujące powierzchnię pasa, stykającą się w trakcie przesuwania segmentów z łożyskami spoczywającymi na podporach. W celu wykonania pomiarów kontrolnych, awanbek umieszcza się na specjalnych podporach na takiej wysokości, aby pomiary niwelacyjne można było prowadzić pod kontrolowaną konstrukcją (rys. 4.63).



Rys. 4.63. Pomiar kontrolny dolnego pasa awanbeku

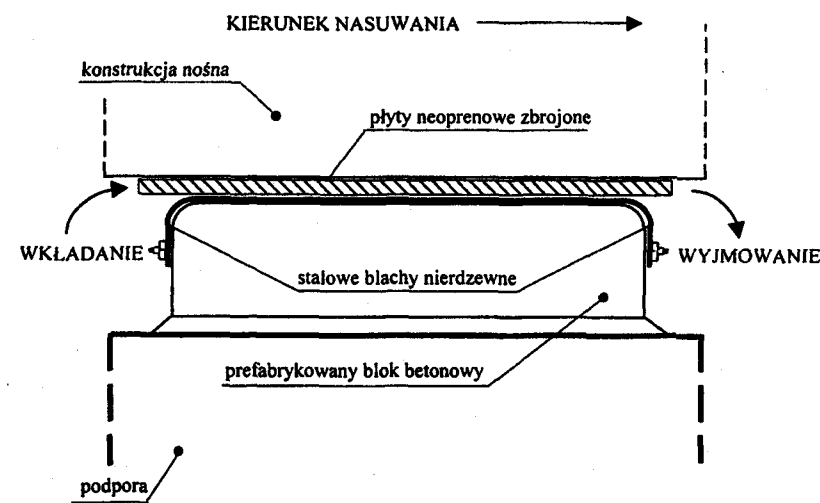


Rys. 4.64. Urządzenia pomiarowe na czołowej powierzchni awanbeku

Kontrola tego typu może też być wykonana łącznie z ustawieniem awanbeku w położeniu projektowym, czyli takim jego połączeniu z pierwszym wykonanym segmentem, aby był ustawiony symetrycznie względem osi mostu oraz w ściśle określonej odległości pionowej zawartej pomiędzy bieżnią wytwórni a pasem dolnym. Odpowiednio prowadzone pomiary z użyciem teodolitu, niwelatora i łat niwelacyjnych umożliwiają ustawienie awanbeku w pozycji projektowej. Następnie na przedniej części awanbeku mocuje się trzy łaty pomiarowe (jedną poziomo i dwie pionowo) oraz przyrząd dalmierczy (rys. 4.64). Przymocowane łaty pomiarowe powinny mieć wyznaczone miejsca zerowe, czyli odczyty na łatach pionowych, wykonane względem reperu i odczyt na łacie poziomej wykonany względem osi mostu.

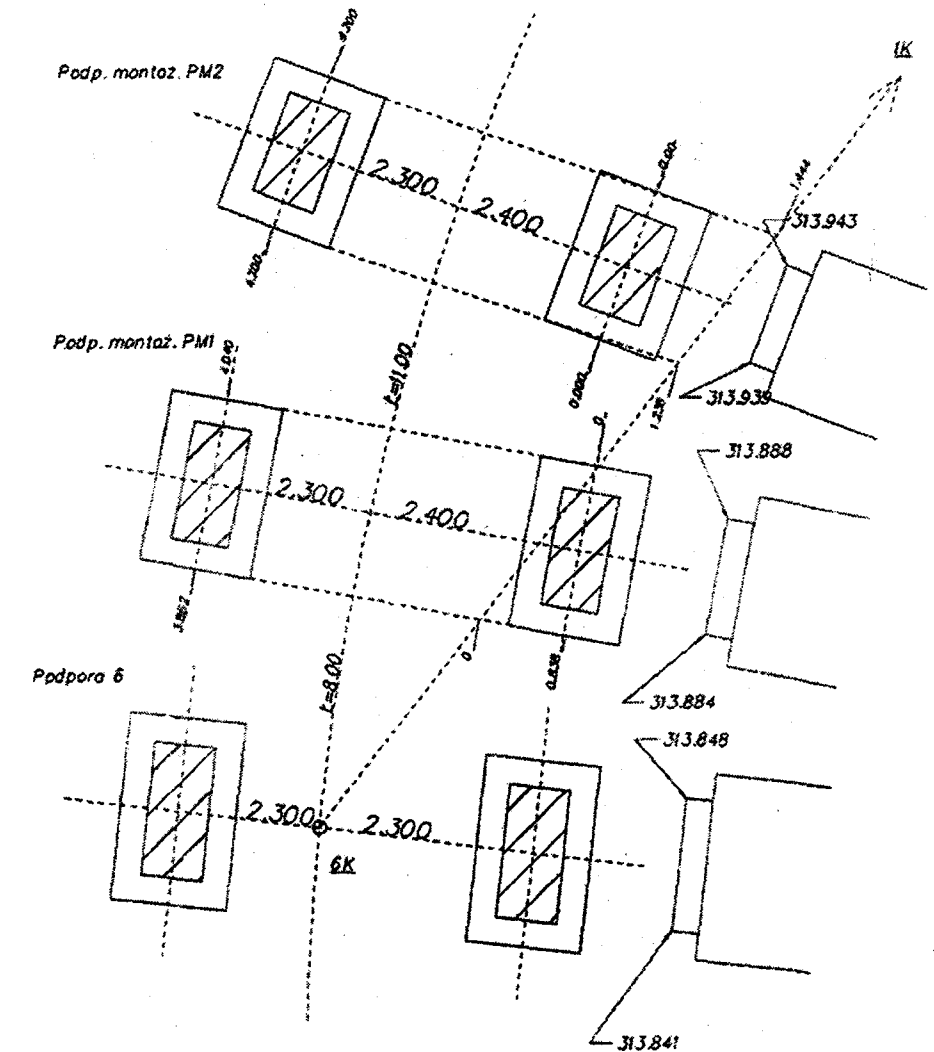
4.5.3. Tyczenie łożysk ślizgowych

Sukcesywnie produkowane i łączone ze sobą segmenty są przepychane na kolejne podpory mostowe. Przesuwanie ustroju nośnego mostu umożliwiają łożyska ślizgowe, występujące w postaci bloków wykonanych z betonu pokrytego polerowaną płytą ze stali nierdzewnej. Pomiedzy spodem konstrukcji nośnej mostu a płytą stalową łożyska wprowadza się podczas nasuwania płytę o grubości 12–15 mm, wykonaną z neoprenu zbrojonego stalą i pokrytą warstwą teflonu (rys. 4.65).



Rys. 4.65. Przesuwanie segmentu na łożyskach ślizgowych

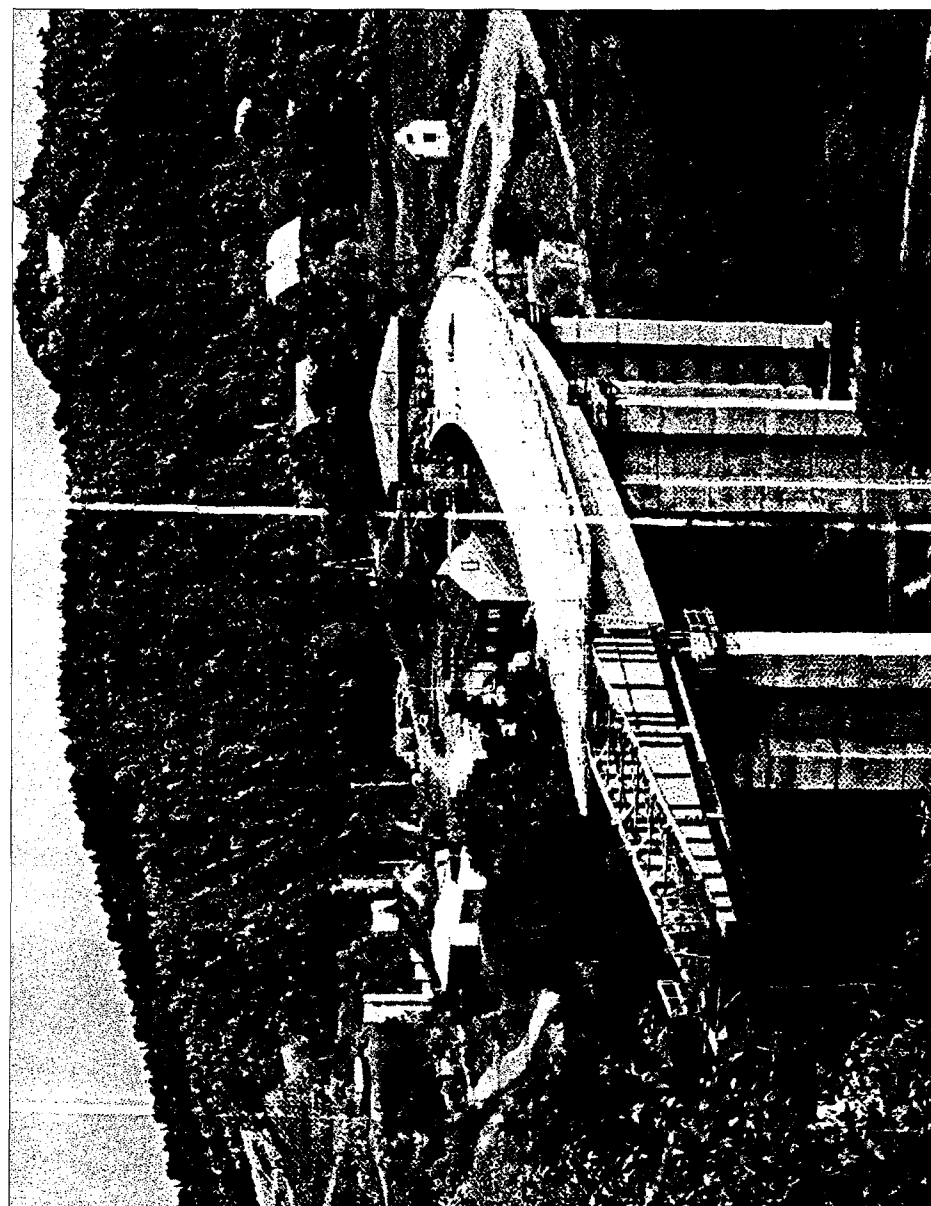
Łożyska ślizgowe osadza się na ciosach podłożyskowych spoczywających na podporach. Położenie ciosów ustala się względem osi drogi, z wykorzystaniem punktów osnowy geodezyjnej. Następnie na ciosach ustawia się łożyska, doprowadzając je do położenia projektowych przy wykorzystaniu wyników wykonanych pomiarów inwentaryzacyjnych (rys. 4.66). W procesie ustawiania szczególną uwagę przywiązuje się do dokładnego zrealizowania ustalonych w projekcie rzędnych górnych powierzchni łożysk, poprzez regulowanie ich wysokości za pomocą podkładek klinowych.



Rys. 4.66. Ustawienie łożysk ślizgowych

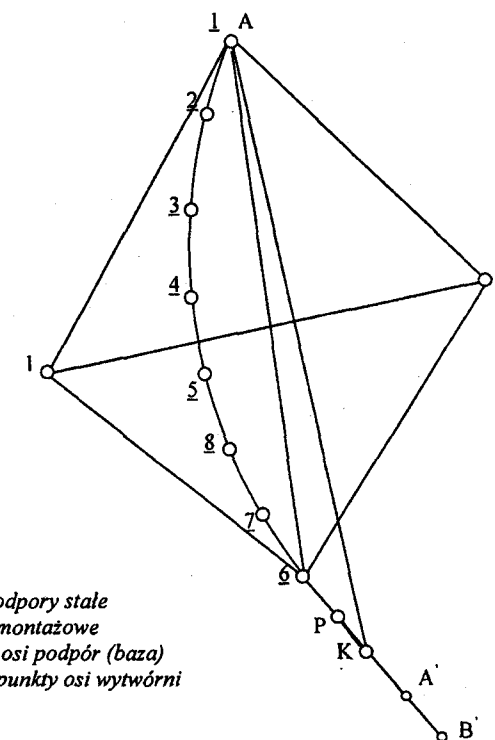
4.5.4. Prace geodezyjne podczas nasuwania segmentów

Każdy kolejny przesuw segmentów na filary (rys. 4.67), wynikający z zakresu działania pras hydraulicznych, jest kontrolowany przez geodetów. Ponieważ prasy hydrauliczne ustawione po obydwu stronach wysuwanego ustroju nośnego mają możliwość sterowania nasuwaniem z dokładnością $\pm 1-2$ mm w zakresie ± 20 mm, ocenia się, że dokładność geodezyjnych pomiarów kontrolnych nie powinna być mniejsza niż ± 2 mm. Uzyskanie tak wysokiej dokładności jest możliwe wówczas, gdy obserwacje geodezyjne prowadzi się w dowiązaniu do specjalnej osnowy realizacyjnej o najwyższej precyzji.



Rys. 4.67. Widok mostu w trakcie nasuwania

Przykładową osnowę geodezyjną wykorzystaną podczas nasuwania mostu usytuowanego w łuku przedstawiono na rysunku 4.68. Stanowią ją: punkty bazowe A i B usytuowane na przyczółkach 1 i 6, punkty A', B', P, K osi wytwórni, punkty osiowe na filarach, a także punkty osnowy realizacyjnej założonej wcześniej dla potrzeb geodezyjnej obsługi budowy mostu.



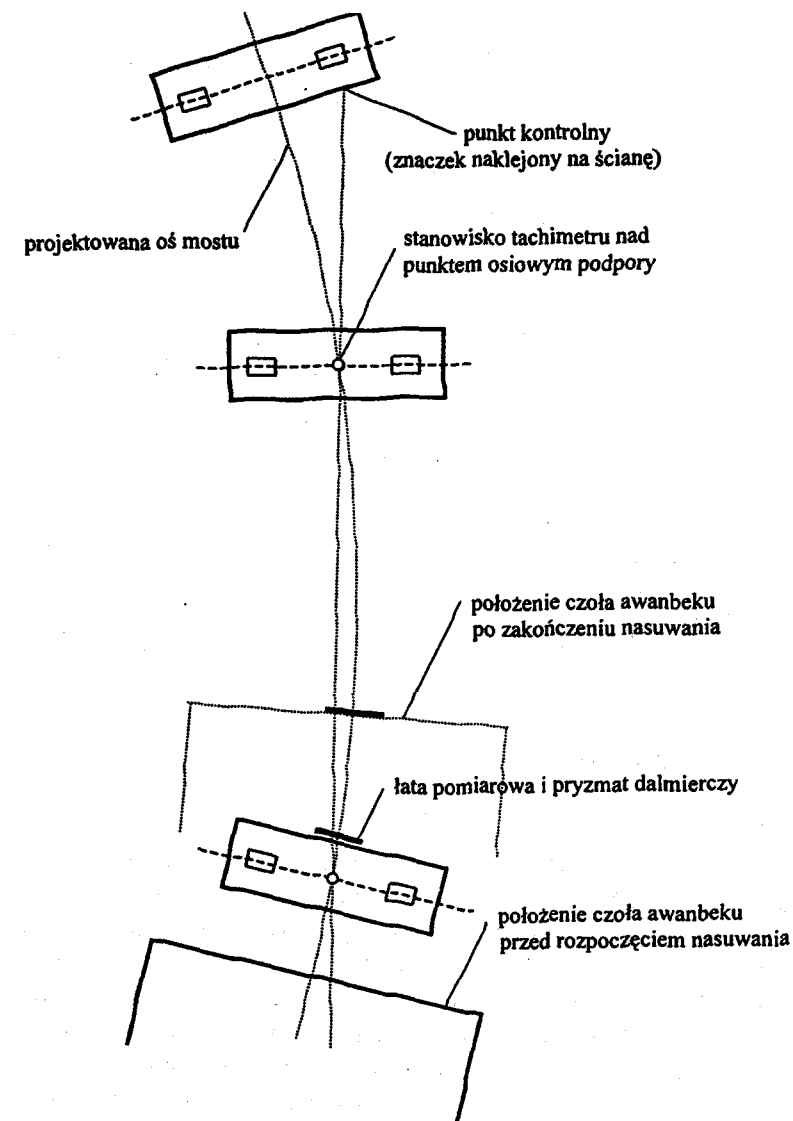
1, 2, 3, 4, 5, 6 – podpory stałe
 7, 8 – podpory montażowe
 A i B – punkty osi podpór (baza)
 A', B', P, K – punkty osi wytwórni

Rys. 4.68. Osnowa realizacyjna przy nasuwaniu mostu

Osnowę wysokościową stanowią repery odniesienia, założone w pobliżu budowanego mostu z taką gęstością, aby w trakcie nasuwania był możliwy pomiar z bezpośrednim dowiązaniem do repery, bez stosowania ciągów doprowadzających.

Stanowiska pomiarowe usytuowane są nad punktami osiowymi podpór mostu oraz z tyłu wytwórni. Punkty osiowe stabilizowane są na wybudowanych podporach już w trakcie tyczenia osi drogi, jako punkty przecięcia tej osi i osi poprzecznej podpory. Do prowadzenia obserwacji kontrolujących proces nasuwania najlepiej używać tachimetru elektronicznego. Tachimetr ustawia się nad punktem osiowym jednej podpory i orientuje się jego oś celową na punkt osiowy poprzedniej podpory lub punkt zaznaczony na ścianie przeciwległej dalszej podpory, jako punkt usytuowany na przedłużeniu poprzednio zdefiniowanej osi celowej (rys. 4.69). Tak zrealizowana baza pomiarowa

służy do kontroli poprzecznych ruchów punktu zerowego powierzchni czołowej awanboku. Wyniki obserwacji kolejnych położenia punktu zerowego awanboku w mostach usytuowanych w łuku powinny być poprawione o wielkość strzałki zawartej pomiędzy cięciwą łuku (celowa) a linią łuku (osią mostu). Położenia punktów obserwowanych wzdłuż osi mostu ustala się na podstawie pomierzonych tachimetrem odległości od pryzmatu dalmierczego umieszczonego na powierzchni czołowej awanboku.



Rys. 4.69. Kontrola nasuwania mostu

4.6. Pomiary przemieszczeń i odkształceń mostów

4.6.1. Informacje wstępne

Mosty są obiektami inżynierskimi narażonymi na wpływy różnego typu obciążeń, tzn. działań fizycznych, wywołujących przestrzenne przemieszczenia i odkształcenia prawie wszystkich elementów konstrukcyjnych.

Do podstawowych obciążeń długotrwałych i krótkotrwałych zalicza się:

- ciężar własny konstrukcji i elementów wyposażenia,
- obciążenie użytkowe,
- parcie gruntu,
- parcie hydrostatyczne,
- wpływy reologiczne,
- zmiany temperatur,
- parcie wiatru, a także parcie lodu, deformacje terenu na skutek eksploatacji górniczej i wiele innych obciążeń, głównie krótkotrwałych, wynikających z warunków użytkowania mostu.

Obciążenia mostów można podzielić na statyczne i dynamiczne, występujące w czasie ich budowy i eksploatacji, z wyodrębnieniem obciążeń próbnych stosowanych przy odbiorach mostów nowych i kontroli wytrzymałości mostów starych.

Każdy rodzaj obciążenia wywołuje zmiany kształtu i położenia elementów konstrukcyjnych mostu, co w skrajnych przypadkach może prowadzić do osłabienia konstrukcji i zagrożenia bezpieczeństwa użytkowników.

Do wykrycia i zlokalizowania takich zagrożeń potrzebny jest zbiór informacji o aktualnych parametrach geometrycznych badanej konstrukcji i ich zmianach ustalanych w odniesieniu do wielkości założonych w projekcie. Wszelkie zmiany kształtu i położenia konstrukcji mostowych wyznacza się metodami geodezyjnymi i fizykalnymi. Celem tych pomiarów jest wykrycie wpływów obciążeń statycznych i dynamicznych na geometrię mostu. Analiza uzyskanych z pomiarów wyników umożliwi kontrolę założeń projektowych oraz ocenę skutków działania obciążeń statycznych i dynamicznych, objawiających się przemieszczeniami i odkształceniami konstrukcji nośnej mostu.

4.6.2. Zakres pomiarów przemieszczeń

Pomiary przemieszczeń pionowych rozpoczyna się już w fazie budowy fundamentów i ustawiania na nich prefabrykowanych lub wykonywanych tradycyjnie podpór mostowych (przyczółków, filarów). Celem tych pomiarów jest wyznaczenie osiadania gruntu pod fundamentami, wywołanego zwiększającym się ciężarem wznoszonej podpory, dodatkowo obciążonej rusztowaniami, formami i urządzeniami budowlanymi. Częstotliwość takich obserwacji jest dostosowywana do postępu robót budowlanych, a także do tempa osiadań. Aby wykonać obserwację, fundament lub dolny trzon podpo-

ry wyposaża się w znaczki pomiarowe (repery), których wysokości są każdorazowo wyznaczane metodą niwelacji precyzyjnej w dowiązaniu do reperów odniesienia uznanych za stałe. Wskazane jest, by podpora posiadała co najmniej trzy repery, gdyż wówczas oprócz osiadania każdego reperu wyznaczyć można osiadanie punktu symetrii przekroju dolnego podpory oraz jej wychylenie od pionu. Wyznaczanie wychyleń podpory w oparciu o znane osiadania prowadzone jest przy założeniu, że podpora spełnia wymogi bryły sztywnej. Wychylenia podpór mogą być również wyznaczane przy użyciu pionownika optycznego z okularem zwykłym lub laserowym, a także przy użyciu teodolitu (rys. 4.54) lub pochylomierza.

Wyniki pomiarów przemieszczeń prowadzonych w czasie budowy podpór umożliwią weryfikację założeń projektowych (osiadań oczekiwanych) i pozwolą na zapobieganie nierównomiernym osiadaniami przez wykonanie odpowiednich wzmocnień podłoża gruntowego. Takie pomiary są szczególnie potrzebne wówczas, gdy fundamenty spoczywają na podłożu mało stabilnym.

Podobne pomiary są prowadzone także w czasie eksploatacji mostu oraz bezpośrednio przed remontem i po remoncie generalnym. Z uwagi na potrzebę uzyskiwania najwyższych dokładności wyznaczania przemieszczeń, należy dostosować technologię prowadzenia pomiarów do konkretnych warunków terenowych. Szczególnie duże utrudnienia w prowadzeniu obserwacji występować będą dla pylonów, wysokich filarów oraz filarów usytuowanych w wodzie (rzeka, jezioro, morze).

Ważnym elementem konstrukcyjnym mostu są przęsła oparte na podporach lub podwieszane na linach (mosty wantowe i wiszące).

W pierwszym przypadku istotnym segmentem przęsła są różnego typu dźwigary, często zespolone przy użyciu betonu z pozostałymi elementami stężającymi i pomostem. Przęsła przenoszą obciążenia własne i użytkowe na podpory poprzez łożyska. Przed oddaniem mostu do eksploatacji przeprowadza się obciążenia próbne, wprowadzając na most samochody z ciężkim ładunkiem. Obciążone przęsło ulega deformacjom poziomym i pionowym. Najistotniejsze są deformacje występujące w płaszczyznach pionowych usytuowanych wzdłuż dźwigarów. Wyznaczenie tych deformacji polega na wyznaczeniu wysokości punktów utrwalonych w nawierzchni przed obciążeniem i po obciążeniu mostu. Pomiary prowadzi się w tym przypadku metodą niwelacji geometrycznej z dowiązaniem do punktów stałych usytuowanych poza mostem. Niwelator ustawiany jest na przyczółkach, filarach lub poza mostem. Podobne obserwacje prowadzi się również w czasie późniejszej eksploatacji mostu.

Niekiedy prowadzi się badania deformacji sprężystych, wywołanych zmiennym obciążeniem mostu, na przykład przejeżdżającymi samochodami lub podmuchami wiatru. W tym przypadku można do obserwacji wykorzystać instrument laserowy emitujący wiązkę światła, względem której rejestrowane są wahania przęsła w miejscu ustawienia odbiornika wyposażonego w kamerę CCD. Nadajnik światła laserowego ustawiany jest poza mostem, zaś odbiornik przemieszcza się razem z konstrukcją mostu. Tego typu pomiary prowadzi się także przy użyciu czujników mechanicznych i elektrycznych rejestrujących drgania i niewielkie przemieszczenia.

W pomiarach okresowych wyznacza się ponadto przemieszczenia punktów reprezentujących dźwigary nośne. Punkty te usytuowane są w dolnym pasie dźwigara, tak by wyznaczane przemieszczenia umożliwiały określenie strzałki ugięcia dźwigara.

Punkty reprezentujące wybrane do pomiarów fragmenty mostu powinny być utrwalane znakami zachowującymi długotrwałą żywotność. Niektóre z nich mogą być przystosowane do wymuszonego centrowania instrumentów i sygnałów. Położenie utrwalonych punktów przedstawia się na szkicach i opisach topograficznych w sposób zapewniający ich łatwe odszukanie i identyfikację w kolejnych pomiarach okresowych.

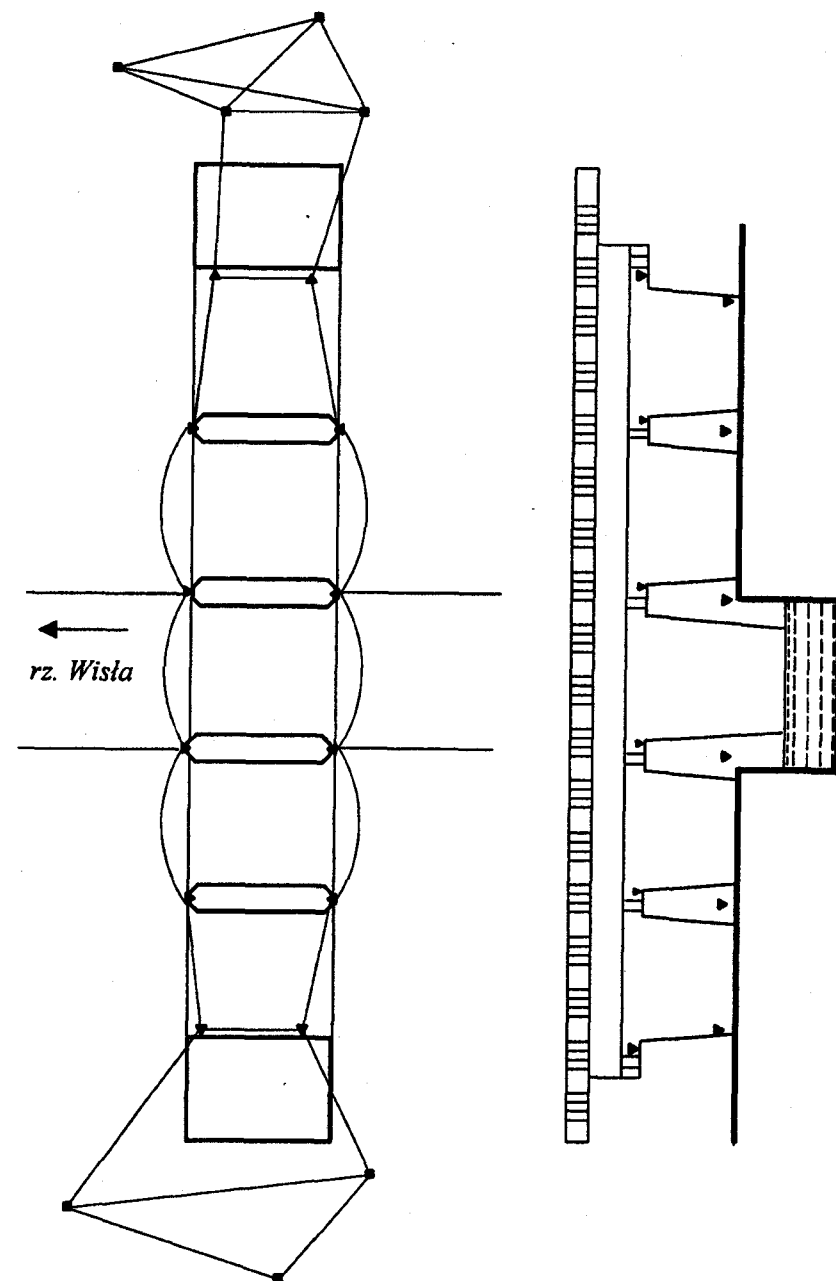
Przemieszczenia poziome i pionowe można określić w układach względnych związanych z mostem oraz w układach bezwzględnych określonych przez grupę punktów odniesienia zachowujących swoją stałość w kolejnych pomiarach okresowych. Punkty utrwalające bezwzględny układ odniesienia powinny być posadowione na gruntach stabilnych z dala od mostu, w liczbie zapewniającej możliwość przeprowadzenia oceny ich stałości.

Oprócz zestawienia wyników pomiarów przemieszczeń (w tabelach i na wykresach), opisuje się również warunki, w jakich wykonano analizowane pomiary okresowe. Szczególnie ważne jest w trakcie prowadzonych obserwacji podawanie temperatury powietrza i temperatury elementów konstrukcyjnych mostu w częściach nasłonecznionej i zacienionej. Takie informacje można wykorzystać do poprawienia uzyskanych przemieszczeń o wartości zmian położenia punktów reprezentujących badaną konstrukcję, wynikających z różnic temperatur występujących w porównywanych pomiarach okresowych. Tym samym można by uzyskane wyniki pomiarów odnieść do jednolitych termicznie warunków obserwacji, co niewątpliwie pozwoliłoby na uściślenie analiz prowadzonych przez specjalistów oceniających stan techniczny mostu i jego bezpieczeństwo. Jeśli nawet nie uda się wprowadzić takich poprawek termicznych, to i tak informacje o warunkach obserwacji (nasłonecznienie, wiatr, drgania konstrukcji) oraz informacje o uzyskanych dokładnościach podawanych wyników będą niezbędne do prowadzenia dalszych analiz geometrycznych i wytrzymałościowych.

4.6.3. Procedury pomiarowe

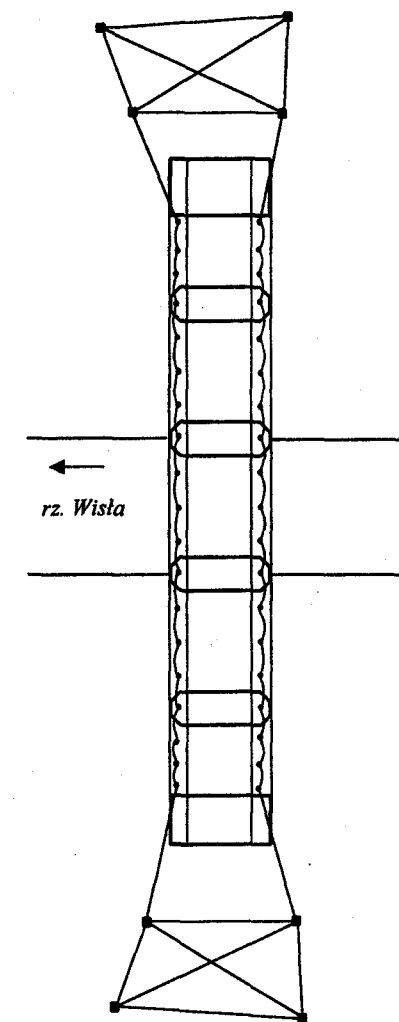
4.6.3.1. Wyznaczanie przemieszczeń pionowych podpór i przęseł mostowych

Pomiarami wysokościowymi obejmuje się sieć obserwacyjną, w skład której wchodzi punkty reprezentujące podpory i przęsła oraz punkty utrwalające bezwzględny układ odniesienia. Repery kontrolne można zakładać na przyczółkach i filarach (rys. 4.70) bezpośrednio nad terenem lub na górnych powierzchniach podpór, najczęściej po dwa na każdej podporze. Przęsła reprezentują w badaniach repery założone w nawierzchni (rys. 4.71) lub punkty usytuowane w węzłach konstrukcji nośnej (rys. 4.72). Repery odniesienia sytuowane są poza rejonem mostu w liczbie trzech lub czterech po każdej stronie rzeki. Taka ilość reperów umożliwia kontrolowanie stałości przyjętego układu odniesienia dla pomiarów wysokościowych.

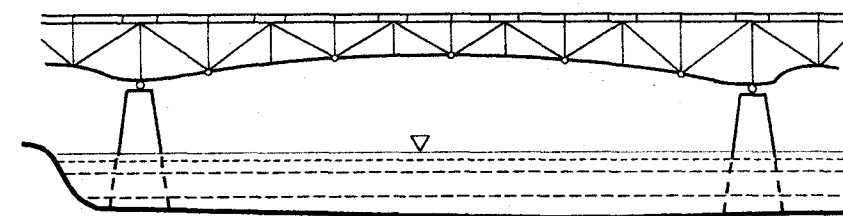


■ - repery odniesienia
 ▼ - repery kontrolne

Rys. 4.70. Rozmieszczenie reperów na filarach i przyczółkach



Rys. 4.71. Rozmieszczenie reperów na płytach przęseł mostowych



Rys. 4.72. Punkty konstrukcyjne mostu

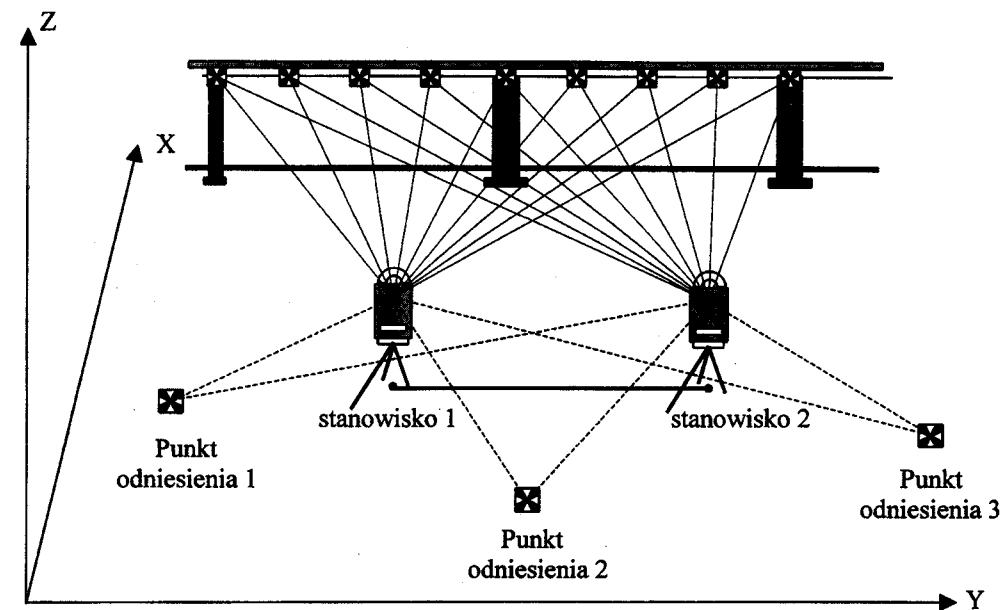
Obserwacje wszystkich reperów tworzących sieć obserwacyjną prowadzi się metodą precyzyjnej niwelacji geometrycznej. Sieć ta podlega ścisłemu wyrównaniu po każdym pomiarze okresowym, po uprzednim ustaleniu stałości reperów odniesienia. Uzyskane z tych wyrównań wysokości wykorzystuje się do obliczenia przemieszczeń pionowych punktów reprezentujących konstrukcję mostu według wzorów:

$$\Delta H_i^{n,0} = H_i^n - H_i^0 \quad (4.4)$$

$$\Delta H_i^{n,n-1} = H_i^n - H_i^{n-1} \quad (4.5)$$

gdzie:

- n – numer pomiaru okresowego,
- i – numer punktu.



Rys. 4.73. Wyznaczanie wysokości punktów metodą niwelacji trygonometrycznej

Do pomiarów wysokościowych wykorzystuje się niekiedy metodę niwelacji trygonometrycznej (rys. 4.73). Może się ona okazać szczególnie przydatna, gdy obserwowane punkty znajdują się w trudno dostępnych miejscach, na przykład w węzłach konstrukcji nośnej (rys. 4.72) lub w dolnym pasie dźwigara usytuowanego nad wodą. Obserwacje można prowadzić metodą wcięcia kąowego w przód z dwóch stanowisk bazy o znanej długości, dowiązanych wysokościowo do reperów odniesienia usytuowanych poza mostem lub na jego podporach – jeśli wyznacza się przemieszczenia względne.

Ze stanowisk tych mierzy się kąty poziome i pionowe do sygnalizowanych punktów konstrukcji. Na podstawie znanej długości bazy i pomierzonych kątów poziomych oblicza się długości celowych, a następnie, wykorzystując pomierzone kąty pionowe, oblicza się dwukrotnie wysokości każdego obserwowanego punktu, stosując każdorazowo wzór

$$H_i = H_{st} + d_i \operatorname{tg} \varphi_i \quad (4.6)$$

gdzie:

- H_{st} – wysokość poziomej osi obrotu lunety na danym stanowisku,
- d_i – długość celowej do punktu i ,
- φ_i – kąt pionowy do punktu i .

Wysokości punktów konstrukcji mostowej można również wyznaczyć metodą biegunową, z pojedynczych stanowisk (swobodnych stanowisk) dowiązanych wysokościowo do przyjętych reperów odniesienia. W tym przypadku punkty obserwowane powinny być sygnalizowane przy użyciu folii odblaskowej, z naniesionym na nią rysunkiem znaku utrwalającego punkt obserwowany. Obserwacje prowadzi się przy użyciu precyzyjnego tachimetru elektronicznego, dokonując bezpośredniego pomiaru długości celowych. Do wykonania okresowych pomiarów można też użyć tachimetrów bezzwierciadlanych i wówczas punktami obserwowanymi mogą być naturalne szczegóły konstrukcji lub zaznaczone na niej znaki ułatwiające identyfikację punktów w kolejnych pomiarach okresowych, w których wyznacza się długości celowych i kąty pionowe.

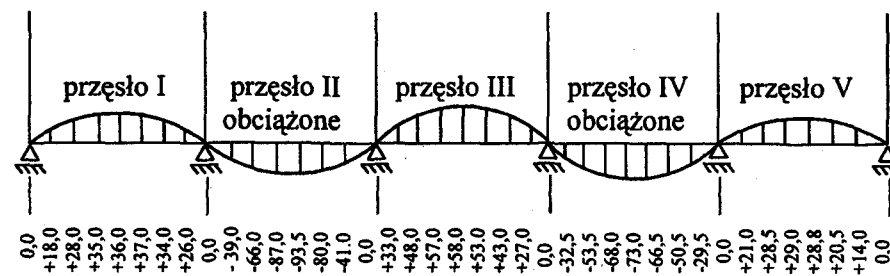
Błąd średni pojedynczego wyznaczenia wysokości dowolnego punktu metodą niwelacji trygonometrycznej oblicza się ze wzoru

$$m_H^2 = m_{H_{st}}^2 + m_d^2 \operatorname{tg}^2 \varphi + \left(\frac{d \cdot m_\varphi}{\rho \cdot \cos^2 \varphi} \right)^2 \quad (4.7)$$

w którym największe znaczenie ma trzeci człon, przyjmujący wartości rosnące proporcjonalnie do długości celowej d i błędu średniego m_φ pomiaru kąta pionowego. Wzór (4.7) pozwala ustalić dopuszczalne długości celowych, przy założonej wartości φ oraz m_φ dla konkretnych warunków obserwacyjnych występujących w rejonie badanego mostu.

Podczas próbnych obciążeń mostów wyznacza się strzałki ugięcia poszczególnych przęseł. Stosowne pomiary wykonuje się metodą precyzyjnej niwelacji geometrycznej, obejmując nimi punkty reprezentujące dźwigary nośne. Punkty te obiera się zazwyczaj wzdłuż dwóch linii równoległych do osi mostu usytuowanych w pobliżu bocznych krawędzi płyty mostowej, od strony wody górnej i dolnej. Obserwacje prowadzi się przed i po każdym kolejnym obciążeniu mostu. Wysokości w każdym pomiarze oblicza się

względem punktów usytuowanych nad podporami, traktując je jako stałe punkty odniesienia. Różnice tak obliczonych wysokości punktów są przemieszczeniami pionowymi przęsła, wywołanymi kolejno przykładanymi obciążeniami. Na rysunku 4.74 przedstawiono przykładowy rozkład przemieszczeń pionowych punktów usytuowanych wzdłuż jednej linii obserwacyjnej, które wystąpiły po obciążeniu przęseł II i IV.



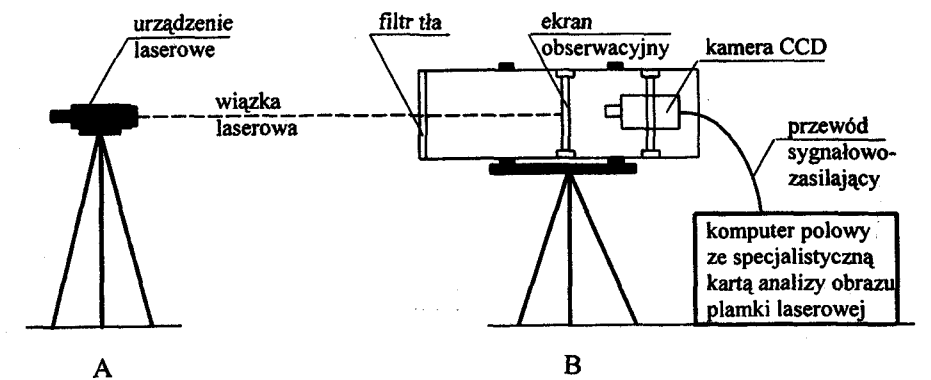
Rys. 4.74. Rozkład przemieszczeń pionowych przęseł nierównomiernie obciążonych

4.6.3.2. Badanie odkształceń konstrukcji mostowych wywołanych obciążeniami dynamicznymi

Odształcenia konstrukcji mostowych poddanych obciążeniom dynamicznym kształtowane są przez bardzo wiele czynników, zależnych od konstrukcji mostu oraz jego obciążenia stałego i zmiennego (ruch pojazdów, podmuchy wiatru, nasłonecznienie). Wielkości tego typu odkształceń na ogół bardzo trudno określić w ramach analiz teoretycznych prowadzonych przy projektowaniu mostów. Wyniki pomiarów doświadczalnych są więc w tym zakresie pożądane, gdyż pozwalają na bardziej precyzyjną ocenę stopnia bezpieczeństwa konkretnej konstrukcji mostowej.

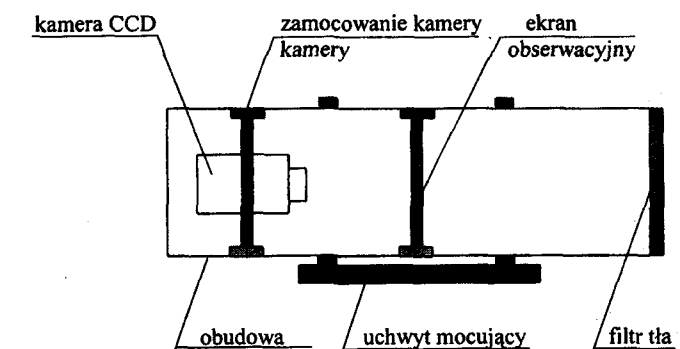
Do badania dynamicznych odkształceń konstrukcji mostowych używa się mechanicznych, elektrycznych i elektronicznych przyrządów pomiarowych. Pierwsze z nich są proste w obsłudze, dlatego też są częściej stosowane. W grupie tej wymienia się wibrograf Geigera, który umożliwia pomiar przemieszczeń i drgań w dowolnej płaszczyźnie. Sercem tego urządzenia jest zawieszony na spiralnej sprężynie ciężar w kształcie wycinka pierścienia kołowego. Podczas pomiaru obudowę przyrządu zespała się z obiektem badanym i wówczas ich wspólne drgania są zapisywane na przesuwającej się taśmie pomiarowej. Przemieszczenia i drgania rejestrowane są na wykresie z podstawą czasu w skalach: 15:1, 30:1, 45:1. Przed pomiarem aparat Geigera powinien być wyskalowany za pomocą czujników zegarowych.

Spośród czujników elektronicznych popularne są tensometry oporowe. Tensometry mocuje się w tych punktach konstrukcji, w których występują odkształcenia. Odkształcenia są rejestrowane jako zmiany długości tensometrów, którym odpowiadają proporcjonalne zmiany napięcia prądu płynącego przez tensometr.



Rys. 4.75. System laserowy do prowadzenia ciągłych pomiarów przemieszczeń [12]

W grupie urządzeń, umożliwiających rejestrację przemieszczeń wybranych punktów konstrukcji mostowej, prowadzoną podczas dynamicznego obciążenia mostu, wymienić można laserowo-komputerowy system opracowany w ramach grantu KBN 9 T12 E 02617 i przedstawiony w publikacji [12]. System (rys. 4.75) składa się z rzutnika światła laserowego (np. niwelatory i teodolity laserowe) ustawionego w punkcie A, usytuowanym poza strefą przemieszczeń i drgań mostu, oraz z odbiornika ustawionego w badanym punkcie B konstrukcji mostu. Odbiornik (rys. 4.76) składa się z filtra tła, ekranu obserwacyjnego, kamery CCD, przewodu zasilającego i komputera polewy z autorską kartą analizy obrazu plamki laserowej.



Rys. 4.76. Odbiornik rejestrujący przemieszczenia konstrukcji mostowej względem wiązki światła laserowego [12]

Pomiar przy użyciu tego systemu polega na skierowaniu wiązki światła laserowego emitowanego przez teodolit lub niwelator laserowy na ustawiony w punkcie B odbiornik. Wiązka światła materializuje prostą odniesienia, względem której wyznaczane będą drobne przemieszczenia odbiornika B. Odbiornik przemieszcza się wraz z obciążeniami.

żaną konstrukcją mostu, wywołując tym samym zmianę położenia plamki laserowej na ekranie obserwacyjnym. Kolejne położenia plamki laserowej są rejestrowane za pomocą kamery cyfrowej i karty analizującej obraz plamki. Prototypowy odbiornik umożliwia wyznaczenie współrzędnych środka plamki laserowej (x, z) w układzie matrycy CCD z jednoczesną ich rejestracją na dysku z częstotliwością do 60 Hz, co oznacza rejestrację 60 par współrzędnych (x, z) w ciągu jednej sekundy. Jest to zatem rejestracja pozwalająca na prawie ciągły pomiar przemieszczeń wybranego punktu konstrukcji. Autorzy wykazują, w oparciu o wyniki badań doświadczalnych, że błędy wyznaczenia współrzędnych (x, z) plamki laserowej są liniowo zależne od zakresu pomiarów przemieszczeń i na przykład dla przemieszczeń dochodzących do 75 mm uzyskuje się dokładność 0,3 mm, zaś dla przemieszczeń 7,5 mm uzyskuje się $\pm 0,03$ mm.

Omawiany system pomiarowy, po pewnych modernizacjach, zastosowano do wyznaczania przemieszczeń mostu Zwierzynieckiego i mostu Kotlarskiego w Krakowie wywołanych próbnymi obciążeniami. W obydwu przypadkach potwierdzono pełną przydatność użytkową prototypowego zestawu pomiarowego do wyznaczania przemieszczeń pionowych i poziomych wybranych punktów konstrukcji mostowej. Wartości wyznaczonych na mostach przemieszczeń pionowych były w pełni zgodne z wynikami uzyskiwanymi przy użyciu precyzyjnej niwelacji geometrycznej.

4.6.3.3. Wyznaczanie wychyleń podpór

Wychylenia podpór między dwoma pomiarami okresowymi można wyznaczyć na podstawie znanych przemieszczeń zastabilizowanych w tych podporach reperów. Jeśli podpory reprezentują co najmniej trzy repery, to dla każdego z nich (rys. 4.77) układa się równania obserwacyjne typu

$$v_i = x_i e_x + y_i e_y + \Delta_0 - \Delta z_i \quad (4.8)$$

gdzie:

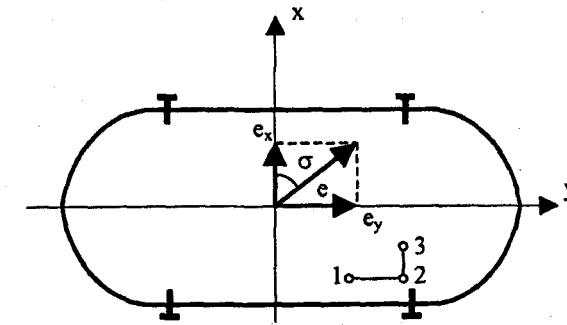
- x_i, y_i – współrzędne reperów w układzie lokalnym, którego początek znajduje się w środku symetrii przekroju poprzecznego podpory,
- Δz_i – przemieszczenia pionowe reperów,
- e_x, e_y – składowe wychyleń podpory,
- Δ_0 – przemieszczenie pionowe środka symetrii przekroju podpory.

Po przejściu do równań normalnych i ich rozwiązaniu otrzymuje się szukane nieznane e_x, e_y, Δ_0 , a następnie oblicza się wychylenie wypadkowe

$$e = \sqrt{e_x^2 + e_y^2} \quad (4.9)$$

oraz kierunek tego wychylenia

$$\sigma = \arctg \frac{e_y}{e_x} \quad (4.10)$$



Rys. 4.77. Wyznaczanie wychyleń podpory na podstawie znanych przemieszczeń pionowych podpory
Objaśnienia w tekście

Jeśli na podporze utrwalone są tylko dwa repery (rys. 4.70), jeden od strony wody górnej, drugi od strony wody dolnej, wówczas można wyznaczyć tylko jedną składową wychylenia z zależności

$$e_y = \frac{\Delta_L - \Delta_P}{d_{LP}} \quad (4.11)$$

gdzie:

- Δ_L, Δ_P – przemieszczenia pionowe reperów,
- d_{LP} – odległość między reperami.

Okresowe zmiany wychyleń e_x, e_y można wyznaczyć przy użyciu specjalnych pochyłomierzy nasadkowych, o stałej długości bazy (np. 1 m). Podstawowym elementem pochyłomierza są: metalowa baza nakładana na bolce utrwalone w podporze, precyzyjna libela rurkowa i śruba mikrometryczna lub czujnik zegarowy i pokrętło do nachylenia libeli. W pomiarze aktualnym pochyłomierz ustawia się kolejno na bolcach 1–2 oraz 2–3, utrwalonych na górnych powierzchniach podpór (rys. 4.77). Pomiar polega na nałożeniu pochyłomierza na bolce (np. 1–2) i doprowadzeniu pęcherzyka libeli do górowania, oraz wykonaniu odczytów na śrubie mikrometrycznej, przy ustawieniu pochyłomierza najpierw w pierwszym położeniu L , a następnie w drugim położeniu P , różnym od poprzedniego o 180° .

Pochylenia podpory w kierunku osi x i y w pomiarze wyjściowym oblicza się z zależności:

$$u_x^0 = \frac{L_{2-3}^0 - P_{2-3}^0}{2} \quad (4.12)$$

$$u_y^0 = \frac{L_{1-2}^0 - P_{1-2}^0}{2}$$

natomiast zmiany pochyłeń podpory pomiędzy dwoma pomiarami okresowymi wyznacza się z zależności:

$$e_x = u'_x - u_x^0 \quad (4.13)$$

$$e_y = u'_y - u_y^0$$

gdzie:

u_x^0, u_y^0 – pierwotne pochylenia podpór reprezentowane pochyleniami pomiędzy bolcami 1–2 i 2–3,

u'_x, u'_y – aktualne pochylenia podpór.

4.6.3.4. Wyznaczanie przemieszczeń poziomych mostu

Wyznaczenie przemieszczeń poziomych podpór i przęseł mostowych jest szczególnie istotne w rejonach występowania wpływów eksploatacji górniczej. Wpływy te wywołują nie tylko znaczące osiadania i wychylenia podpór, ale również ich skręcanie i nierównomierne przemieszczanie w poprzek osi mostu. Skręcanie oraz różnica poprzecznych przemieszczeń podpór prowadzą do zwiększania naprężenia w konstrukcji nośnej mostu. Natomiast skutki przemieszczenia podpór wzdłuż osi podłużnej mostu można kompensować przez stosowanie łożysk ruchomych i pozostawianie odpowiednio szerokich szczelin dylatacyjnych między częścią nadłożyskową przyczółków a konstrukcją przęseł oraz między czołami przęseł na tych filarach, które są wyposażone w łożyska przesuwne.

Okresowe wyznaczanie szerokości szczelin polega na pomiarze odległości między znakami utrwalonymi w przylegających do siebie przęsłach, zazwyczaj od strony wody górnej i dolnej. Również wzdłuż dwóch krawędzi mostu (od strony wody górnej i dolnej) można wyznaczyć zmiany odległości pomiędzy punktami utrwalonymi w podporach. Natomiast przemieszczenia poprzeczne (względem osi mostu) podpór i płyt mostowych wyznacza się metodą prostej odniesienia. Punkty obserwowane i stanowiska mogą niekiedy być utrwalone znakami umożliwiającymi mechaniczne centrowanie sygnałów i instrumentów, podobnie jak to ma miejsce przy wyznaczaniu przemieszczeń korony zapory. Taki sposób centrowania wyraźnie zwiększa dokładność wyznaczania przemieszczeń poziomych. W najogólniejszym przypadku punkty reprezentujące konstrukcję nośną mostu oraz punkty utrwalające układ odniesienia i położenie stanowisk instrumentu mogą utworzyć przestrzenną sieć obserwacyjną, poddawaną pomiarom okresowym. Na podstawie takich pomiarów, prowadzonych z użyciem precyzyjnych tachimetrów elektronicznych i odbiorników satelitarnych, można będzie badać stabilność punktów utrwalających bezwzględny układ odniesienia i wyznaczać zarówno poziome, jak i wysokościowe zmiany położenia elementów konstrukcyjnych mostu.

Literatura

- [1] Bartel P.: *Placing of prefabricated bridge elements in the bridge line at Great Belt East Bridge*. FIG – Symposium: Surveying of Large Bridge and Tunnel Projects, Copenhagen, Denmark, June 2–5 1997
- [2] Barzyk K.: *Realizacja mostu nad kanałem Oresund*. Kraków, AGH 2001 (praca dyplomowa, promotor A. Wodyński)
- [3] Barycz St., Fuksa M., Wodyński A.: *Badanie odporności mostów stalowych na wpływy podziemnej eksploatacji górniczej*. Ochrona Terenów Górniczych, nr 55, 1981
- [4] Barycz St., Kocot W., Wodyński A.: *Zagrożenia dla konstrukcji mostów na terenach górniczych*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 1 (9), 1994
- [5] Boesen M., Johanson K.: *Survey program for deformation surveys of large bridges in the operational phase*. FIG – Symposium: Surveying of Large Bridge and Tunnel Projects, Copenhagen, Denmark, June 2–5 1997
- [6] Bryś H., Przewłocki S.: *Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli*. Warszawa, PWN 1998
- [7] Czudek H., Radomski W.: *Podstawy mostownictwa*. Warszawa, PWN 1974
- [8] Czudek H., Jaworowska B., Pisarczyk S., Radomski W.: *Budowa mostów, cz. 1*. Podręcznik dla technikum, wydanie drugie, Warszawa, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne 1993
- [9] Furtak K.: *Wprowadzenie do projektowania mostów*. Kraków, Politechnika Krakowska 1999
- [10] Furtak K.: *Mosty zespolone*. Warszawa, PWN 1999
- [11] Holledig L.: *Quality control of survey work at construction of the substructure of the Great Belt East Bridge*. FIG – Symposium: Surveying of Large Bridge and Tunnel Projects, Copenhagen, Denmark, June 2–5 1997
- [12] Józwiak M., Jaśkowski W.: *Laserowo-komputerowy system ciągłych pomiarów przemieszczeń pionowych i poziomych wybranych punktów konstrukcji mostów*. Warszawa, Wydawnictwo VI, KNT nt. „Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej” 2003
- [13] Karpierz Z., Kopacz G.: *Geodezyjna obsługa budowy i montażu mostu struno-betonowego w technologii nasuwania podłużnego*. Kraków, AGH 1997 (praca dyplomowa, promotor J. Gocał)
- [14] Krumphanz V., Michalcak O.: *Inżynierska Geodesy*. Praha, 1975
- [15] Lennartz-Johansen H.: *Break through and bridge construction*. FIG – Symposium: Surveying of Large Bridge and Tunnel Projects, Copenhagen, Denmark, June 2–5 1997
- [16] Lennartz-Johansen H.: *Analyzing Europe's Largest Suspension Bridge*. FIG – Symposium: Surveying of Large Bridge and Tunnel Projects, Copenhagen, Denmark, June 2–5 1997

- [17] *Mosty „Co i jak”, tom 14*
- [18] O'Meagher B.: *Caisson, bridge truss & tunnel section positioning using real time kinematic GPS and target: structures software*. FIG – Symposium: Surveying of Large Bridge and Tunnel Projects, Copenhagen, Denmark, June 2–5 1997
- [19] Osada E.: *Geodezja*. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2001
- [20] Praca zbiorowa: *Geodezja inżynierska, tom II*. Wydanie 2 zmienione, Warszawa, PPWK 1994
- [21] Rola F. (red.): *Geodezja inżyniersko-przemysłowa. Wykłady, część 2*. Kraków, AGH 1991
- [22] Wadowski S., Wcisło R.: *Geodezyjna obsługa budowy mostu metodą nasuwania podłużnego*. Kraków, AGH 1998 (praca dyplomowa, promotor J. Gocał)
- [23] Żurowski A.: *Pomiary geodezyjne w budowie dróg, lotnisk i mostów*. Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 1981