

**ZESZYTY NAUKOWE
UNIwersytetu
PRZYRODNICZEGO
WE WROCŁAWIU**

NR 551

ROZPRAWY CCXLVI

KAZIMIERZ ĆMIELEWSKI

**ZASTOSOWANIE TECHNIK ŚWIATŁOWODOWYCH
I LASEROWYCH W PRECYZYJNYCH POMIARACH
KSZTAŁTU I DEFORMACJI OBIEKTÓW
INŻYNIERSKICH**

INSTYTUT GEODEZJI I GEOINFORMATYKI

WROCŁAW 2007

KAZIMIERZ ĆMIELEWSKI

**FIBRE OPTICS AND LASER TECHNOLOGY
IN HIGH PRECISION MEASUREMENTS OF SHAPES
AND DEFORMATIONS OF ENGINEERING OBJECTS**

INSTITUTE OF GEODESY AND GEOINFORMATICS

WROCLAW 2007

Opiniodawca

dr hab. inż. Bogdan Wolski

Redaktor merytoryczny

prof. dr hab. inż. Andrzej Świątkiewicz

Opracowanie redakcyjne i korekta

mgr Elżbieta Winiarska-Grabosz

Łamanie

mgr Wojciech Dach

Projekt okładki

Grażyna Kwiatkowska

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu,
Wrocław 2007

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany
za pomocą urządzeń elektronicznych, nagrywających i innych
bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich

ISSN 1897–208X

ISSN 1897–4732

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO WE WROCŁAWIU

Redaktor naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki

ul. Sopocka 23, 50–344 Wrocław, tel./fax 071 328–12–77

e-mail: wyd@ozi.ar.wroc.pl

Nakład: 100 + 16 egz. Ark. druk. 15,25

Druk i oprawa: „MarMar”

SPIS TREŚCI

1.	WPROWADZENIE	9
2.	CEL, ZAKRES I TEZY NAUKOWE PRACY	12
3.	UWARUNKOWANIA BADAŃ GEODEZYJNYCH NA OBIEKTACH INŻYNIERSKICH.....	14
3.1.	Wymiary i geometria przestrzeni obserwacyjnej.....	14
3.2.	Wymiary obiektu i powiązania technologiczne konstrukcji	14
3.3.	Środowiskowe warunki przebiegu celowej w inżynierskich pomiarach geodezyjnych.....	15
3.4.	Zjawiska wpływające na zmiany metrologiczne przyrządów pomiarowych i geometrię obiektu	15
3.5.	Warunki geometryczne związane z funkcjonowaniem obiektu inżynierskiego	16
3.6.	Niedogodności i ograniczenia występujące podczas pomiaru wielkości geometrycznych na obiektach inżynierskich	21
4.	CHARAKTERYSTYKA ZASTOSOWANYCH ELEMENTÓW TECHNIKI OPTOELEKTRONICZNEJ	26
4.1.	Światłowody	26
4.1.1.	Zasada działania i budowa światłowodów	27
4.1.2.	Zaburzenia propagacji fal optycznych w światłowodach.....	31
4.1.3.	Wyniki badań własnych elementów techniki światłowodowej	32
4.2.	Dioda laserowa	34
4.3.	Matryca CCD (Charge Coupled Device).....	36
5.	WYBRANE ROZWIĄZANIA TECHNICZNE I TECHNOLOGICZNE SYSTEMÓW I PRZYRZĄDÓW DO POZYSKIWANIA INFORMACJI POMIAROWYCH.....	38
5.1.	Przyrządy i systemy światłowodowe.....	38
5.1.1.	Sygnalizatory celu.....	38
5.1.1.1.	Punktowy światłowodowy sygnalizator celu	39
5.1.1.2.	Liniowy światłowodowy sygnalizator celu	42
5.1.1.3.	Przestrzenny światłowodowy sygnalizator PŚS celu	44
5.1.1.4.	Sygnalizatory aktywne	55
5.1.1.5.	Przystawka zwierciadłana	60
5.1.1.6.	Wielotubusowa luneta kolimacyjna	64

5.1.1.7.	Dwurefleksorowy przyrząd do pomiarów kątowych i odległościowych	68
5.1.1.8.	Zmodyfikowana luneta autokolimacyjna	71
5.1.1.9.	Charakterystyka sygnalizatorów światłowodowych w aspekcie ich zastosowań	72
5.1.2.	Systemy i przyrządy do pomiaru różnic wysokości, pochyleń, odchyleń od prostej odniesienia oraz zmian temperatury obiektu	75
5.1.2.1.	Libelle	75
5.1.2.2.	Tarcza autorefleksyjna	85
5.1.2.3.	Zestaw autokolimacyjny	91
5.1.2.4.	Optoelektroniczny pion światłowodowy	94
5.1.2.5.	Łata światłowodowa	99
5.1.2.6.	Pętla światłowodowa	106
5.1.2.7.	Charakterystyka systemów i przyrządów do pomiaru różnic wysokości, pochyleń, odchyleń od prostej odniesienia oraz zmian temperatury obiektu w aspekcie ich zastosowań	110
5.2.	Przyrządy i systemy laserowe	113
5.2.1.	Sygnalizatory celu	113
5.2.1.1.	Sygnalizator laserowy pojedynczy	113
5.2.1.2.	Sygnalizator laserowy podwójny	116
5.2.1.3.	Sygnalizator laserowy łamany	117
5.2.1.4.	Sygnalizator laserowy ramowy	118
5.2.1.5.	Laserowa tyczka sygnalizacyjna	119
5.2.1.6.	Charakterystyka sygnalizatorów laserowych w aspekcie ich zastosowań	122
5.2.2.	Systemy i przyrządy do pomiaru różnic wysokości, długości, pochyleń, odchyleń od prostej odniesienia oraz zmian temperatury środowiska	122
5.2.2.1.	Zestaw aliniometru laserowego do obserwacji wielopunktowych	122
5.2.2.2.	Zestaw pionu laserowego z układem fotodetekcyjnym	128
5.2.2.3.	Laserowa stopka sygnalizacyjna	137
5.2.2.4.	Przystawki laserowe do pomiaru odległości	146
5.2.2.5.	Profilograf laserowy	151
5.2.2.6.	Szczelinomierz laserowy	155
5.2.2.7.	Zintegrowany system laserowy	156
5.2.2.8.	Charakterystyka systemów i przyrządów do pomiaru różnic wysokości, pochyleń oraz odchyleń od prostej odniesienia	162

5.3.	Przyrządy i systemy mechaniczne	165
5.3.1.	Sygnalizatory celu	165
5.3.1.1.	Sygnalizator ramowy	165
5.3.1.2.	Sygnalizatory prętowe	171
5.3.1.3.	Przymiar zwierciadlany z reflektorem	174
5.3.1.4.	Charakterystyka sygnalizatorów celu	180
5.3.2.	Przyrządy i systemy do pomiaru różnic wysokości, długości, pochyleń oraz odchyłeń od prostej odniesienia	180
5.3.2.1.	Zestaw pomiarowy transformatorowych przetworników liniowych do wyznaczania zmian położenia drutu wahadła prostego	180
5.3.2.2.	Przystawka – statyw ekscentryczny	187
5.3.2.3.	Nasadki na instrumenty kątomiercze	189
5.3.2.4.	Stolik reperowy	190
5.3.2.5.	Charakterystyka przyrządów i systemów do pomiaru różnic wysokości, pochyłeń oraz odchyłeń od prostej odniesienia	192
5.4.	Laboratoryjne stanowiska kontroli parametrów pomiarowych i warunków geometrycznych instrumentów geodezyjnych	194
5.4.1.	Stanowisko do określenia dokładności pomiaru kątów poziomych	194
5.4.2.	Stanowisko do określenia dokładności pomiaru kątów pionowych	201
5.4.3.	Stanowisko kontrolno-pomiarowe do sprawdzania i rektyfikacji warunków geometrycznych instrumentów kątomierzczycy	202
5.4.4.	Stanowisko do sprawdzania i rektyfikacji pionowników w instrumentach geodezyjnych	204
5.4.5.	Charakterystyka laboratoryjnych stanowisk kontrolowania określonych parametrów pomiarowych i warunków geometrycznych instrumentów geodezyjnych	208
6.	PROPOZYCJE APLIKACJI WYBRANYCH ROZWIĄZAŃ W GEODEZYJNYCH BADANIACH OBRABIAREK – TOKAREK	210
6.1.	Budowa, zasada działania i warunki geometryczne tokarek	210
6.2.	Propozycje metod obserwacji i oprzyrządowania pomiarowego	215
6.2.1.	Metoda prostopadłego pomiaru liniowości	215
6.2.2.	Metody pomiaru ruchu obrotowego	220
6.2.2.1.	Metoda pomiaru ruchu obrotowego z zastosowaniem techniki laserowej	221
6.2.2.2.	Metoda pomiaru ruchu obrotowego z zastosowaniem techniki światłowodowej	222

6.2.3. Metoda pomiaru prostoliniowości przesuwu suportu w płaszczyźnie poziomej z zastosowaniem techniki światłowodowej.....	223
6.2.4. Metoda pomiaru prostoliniowości przesuwu suportu w płaszczyźnie poziomej z zastosowaniem techniki laserowej.....	225
6.2.5. Pomiary prostoliniowości w płaszczyźnie pionowej.....	226
7. PODSUMOWANIE	228
8. WNIOSKI KOŃCOWE.....	231
9. PIŚMIENNICTWO.....	232
10. PATENTY I WZORY UŻYTKOWE	241

1. WPROWADZENIE

Bardzo wysokie dokładności ustawienia geometrycznego zespołów aparatury i ich elementów na niektórych obiektach inżynierskich: akceleratory, turbogeneratory, hydrogeneratory, piece obrotowe, anteny, wymagają zastosowania specjalistycznych technik geodezyjnych (Janusz, 1975; Gocał, 1977, 2001; Gocał, Żak, 1985; Żak, 1981; Jambajew, 1978; Zaccarinnyj, 1976; Widujew, 1978; Fuss, Teskey, 1993; Caspery i wsp. 1993; Kahmen, Wunderlich, 1994; Kahmen, 1994, 1998; Mayoud, 1998; Levesque, 1998; Carosio, Ebnetter, 1998; Schwarz, 1991; Gillarduzzi i wsp., 1999; Smith, Mulder, 1996; Guangyun, Jihua, 1998; Czompo i wsp., 1991).

Tylko w przypadku pomiaru naturalnych obiektów, jakimi są np. płyty kontynentalne, platformy tektoniczne czy pasma górskie, zasadne i możliwe jest zastosowanie technologii i techniki satelitarnej GPS (Cacoń i wsp., 2004; Ashkenazi i wsp., 1994). Na obiektach inżynierskich, takich jak: zapory wodne, mosty, wiadukty, tunele, lotniska oraz konstrukcjach i urządzeniach przemysłowych, obserwacje wykonuje się technikami klasycznymi, z zastosowaniem nowoczesnego instrumentarium, zastosowanie technik satelitarnych GPS ma wciąż jeszcze badawczy, a nie rutynowy charakter (Backhausen i wsp., 2000; Oszczak i wsp., 2003; Kälber, Jäger, 1999; Retscher, 1996; Ayson, Lang, 1996; Hein, Riedl, 2003; Whitted, 1993; Teskey, Obidowski, 1998; Katowski, 1996; Niemeier, 1991; Wilkins i wsp., 2003; Chrzanowski i wsp., 1998; Whitaker i wsp., 1999; Ding i wsp., 1996; Kavvadas, 2003).

Przy obsłudze geodezyjnej obiektów inżynierskich, z uwagi na skomplikowaną konstrukcję oraz właściwości procesów technologicznych, często nie jest możliwe zastosowanie typowych instrumentów geodezyjnych lub standardowych systemów pomiarowych (Leica Heerbrugg AG; Wild. AG-Wild-Leitz; Nikon; Sokkisha Co. LTD; Zeiss C. (Oberkochen, Jena); Opton Feintechnik GmbH; Kern, 1980–2005; Deumlich, 1988; Pachuta, 1980; Szymoński, 1971, 1982; Kostecka, 2000; Kowalski, Klewski, 1995; Pelzer, 1988; Obidowski, Teskey, 1996; Radovanovic, Teskey, 2003; Shortis, Fraser, 1998). Ma to przykładowo miejsce w przypadku utrudnionego dostępu do punktów kontrolowanych umieszczonych na elementach konstrukcji, a także w przypadku szybkozmiennych i niejednorodnych rozkładów temperatur w obszarze oddziaływania środowiska obiektu (Bryś, 1996; Pałys i wsp., 2001; Hennes i wsp., 1998). Pojawia się w związku z tym potrzeba odpowiednich konstrukcji przyrządów i instrumentów, pozwalających osiągnąć założone efekty dokładnościowe oraz zapewnić ekonomię pomiarów (Anigacz, Ćmielewski, 2004). Bezpieczna i bezawaryjna eksploatacja budowli i urządzeń inżynierskich związana jest z zachowaniem geometrycznych warunków przestrzennego ich usytuowania zgodnie z założeniami projektowymi. W wyniku zachodzenia różnorodnych zjawisk pojawiają się odchylenia między stanem rzeczywistym – eksploatowanym obiektów a ich modelami teoretycznymi (założenia projektowe), ogólnie zwanymi odkształceniami i przemieszczeniami (Prószyński, Kwaśniak, 2006). Dla kontroli budowanych i eksploatowanych obiektów nieocenioną pomoc stanowią wyniki pomiarów przemieszczeń i odkształceń uzyskane metodą obserwacji geodezyjnych, najlepiej przez zastosowanie automatycznej rejestracji. Są to często obserwacje, jakich nie można uzyskać innymi metodami czy technologiami.

Podczas prowadzenia obsługi geodezyjnej maszyn i urządzeń przemysłowych szczególnego znaczenia nabiera określenie kształtu i położenia powierzchni podlegających pomiarom. Związane jest to z koniecznością zachowania projektowych tolerancji często poniżej 1 mm, w sytuacji gdy pomiar realizowany jest w niekorzystnych warunkach (drżania, niedoświetlenie, zapylenie itp.). Metody pomiarów geodezyjnych mają tę zaletę, że pozwalają określić wielkość zachodzących zmian w odniesieniu do przyjętego układu współrzędnych xyz, niezwiązanego z samą budowlą, bez względu na rozmiary przestrzenne budowli, w dowolnym czasie. Pomiar geodezyjne wykonywane na obiektach inżynierskich często są zróżnicowane dokładnościowo. Takim przykładem są segmenty obserwacyjne systemu kontrolno-pomiarowego do obserwacji deformacji górotworu na terenie KWB „Turów” (Cacoń, 2001). Dla segmentu I przy obserwacjach satelitarnych GPS oraz niwelacji precyzyjnej dokładność pomiarów przemieszczeń wynosi $\pm(0,5 \div 10)$ mm. W segmencie II przy obserwacjach jak wyżej wzbogaconych o stacje totalne dokładność pomiarów przemieszczeń wynosi $\pm(0,5 \div 2)$ mm. Natomiast w segmencie III klasyfikowanym jako pomiary względne przy obserwacjach wykonywanych pochyłomierzem, ekstensometrem, inklinometrem dokładność pomiarów przemieszczeń wynosi $\pm(0,01 \div 0,1)$ mm. Przy pomiarach przemieszczeń zastosowana metoda obserwacji geodezyjnej oraz użyte przyrządy uzależnione są m.in. od wymaganej dokładności wyznaczanego przemieszczenia. Przyjmuje się (Bryś, Przewłocki, 1998), że dla dużych obiektów, np. zapory wodne (duża sieć pomiarowa) osiągane są dokładności ok. 1 mm. Dla mniejszych obiektów, np. jazy, śluzy, elektrownie wodne (mała sieć pomiarowa) dokładności mogą być rzędu 0,1 do 1 mm. Natomiast przy badaniu deformacji obiektu, na podstawie obserwacji zmian: odległości punktów, wysokości punktów, nachylenia od płaszczyzny poziomej i odchylenia od linii pionu (przemieszczenia względne) za pomocą specjalistycznych przyrządów (szczelinomierzy, pochyłomierzy, wahadeł) osiągane są dokładności do kilku setnych milimetra. Uogólniony podział dokładności pomiarów geodezyjnych dla celów inżynierskich podał (Wolski, 2006). Pomiar podzielony są na precyzyjne, gdzie dokładność wyznaczenia współrzędnych wynosi ok. 1 mm i techniczne o dokładności wyznaczenia współrzędnych ok. 1 cm do kilku centymetrów. W budownictwie maszynowym i urządzeń przemysłowych dokładności pomiarowe kształtują się na poziomie submilimetrowym (Gocał, 1993), przy czym aby je spełnić, korzysta się z precyzyjnych instrumentów oferowanych przez firmy produkujące sprzęt geodezyjny (Leica Heerbrugg AG, Wild. AG.-Wild-Leitz, Nikon, Sokkisha Co. LTD, Zeiss C. (Oberkochen, Jena), Opton Feintechnik GmbH, Kern, 1980 ÷ 2005). Szczegółowe wymagania dokładnościowe na obiektach inżynierskich określone są na podstawie asortymentów prac geodezyjnych i zapisów zawartych w dokumentacji technicznej.

Nowoczesność w pracach badawczych, naukowych i rozwojowych związana jest nierozdzielnie z innowacyjnością technologiczną i techniczną (Ney, 2001). Innowacje w dużej części są wynikiem analizy oraz twórczej transformacji rozwiązań światowych. Innowacyjność rozwiązań technicznych i technologicznych stymulowana jest poziomem współczesnej wiedzy. Rozwój i konkurencyjność gospodarki narodowej w dużym stopniu związane są z zastosowaniem innowacyjnych technologii i technik pomiarowych, jak również dostosowywania polskich norm geodezyjnych do standardów unijnych. Do praktyki geodezyjnej w bardzo szybkim tempie wprowadzane są innowacyjne

rozwiązania technologiczne i techniczne oferowane przez producentów sprzętu geodezyjnego. Stosowane rozwiązania mimo wielu zalet nie są na tyle uniwersalne, by sprostać wszystkim zadaniom geodezyjnym formułowanym przez praktykę inżynierską. Efektem innowacyjności technologicznej i technicznej są wynalazki i wzory użytkowe. Jakkolwiek ich zalety użytkowe, ergonomiczne i ekonomiczne nie zawsze zostają od razu wykorzystywane, to stanowią one ważny etap w rozwoju nowoczesnych metod pomiarowych oraz wzbogacają instrumentarium geodezyjne.

Obecnie obserwuje się dynamiczny rozwój techniki światłowodowej i laserowej w wielu dziedzinach, między innymi takich jak: telekomunikacja, medycyna, branża kosmiczna, komputerowa, lotnicza czy samochodowa. Masowo produkowane są gotowe elementy i moduły światłowodowe oraz laserowe. Zaletą ich jest stosunkowo niska cena, powtarzalność parametrów technicznych, łatwość montażu oraz wysoka niezawodność przez wiele godzin pracy. Podzespoły techniki światłowodowej i laserowej stosowane są w niewielkim zakresie przez firmy produkujące sprzęt geodezyjny (wewnętrzne tory fali pomiarowej dalmierzy elektrooptycznych, np.: DI2002 firmy Leica, elementy prowadzące światło laserowe w okularach laserowych Wild GLO 1, czy DL 2 firmy Leica). Od końca lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku autor we współpracy z Wojskową Akademią Techniczną w Warszawie w badaniach doświadczalnych wykonywanych w laboratorium Katedry Geodezji i Fotogrametrii Akademii Rolniczej we Wrocławiu* zaczął stosować lasery helowo-neonowe, a w późniejszym okresie półprzewodnikowe oraz światłowody włókniste. Główna tematyka badań dotyczyła automatyzacji pomiarów w geodezji inżynierskiej, w szczególności przy określaniu linowości obiektów wydłużonych a także wykorzystania światłowodów włóknistych jako imitatorów odległości do testowania dalmierzy elektrooptycznych. Efektem wspomnianych zainteresowań było uczestnictwo autora w opracowaniu dwudziestu wynalazków i wzorów użytkowych oraz czterdziestu publikacji naukowych.

Prezentowana praca podsumowuje wieloletnie doświadczenia i rezultaty prac badawczych autora, dotyczących zastosowania w geodezji inżynierskiej technik: światłowodowej, laserowej, a w mniejszym zakresie także mechanicznej. Praca stanowi syntezę wyników wieloletnich badań autora nad opracowaniem nowatorskich prototypów konstrukcji aparatury oraz urządzeń pomiarowo-kontrolnych wspomagających proces pomiarowy w realizacji zadań geodezyjnych wymagających najwyższej precyzji.

Część pracy zawarta w rozdziale trzecim i czwartym stanowi omówienie zagadnień związanych z tematem rozprawy, natomiast w rozdziałach piątym i szóstym przedstawione zostały najważniejsze, oryginalne opracowania autora.

* Obecnie laboratorium Instytutu Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu

2. CEL, ZAKRES I TEZY NAUKOWE PRACY

Specyfika konstrukcji obiektów inżynierskich (kształty elementów składowych i ich ułożenie w przestrzeni) oraz panujących w ich otoczeniu warunków środowiskowych, w szczególności: niejednorodność optyczna atmosfery, turbulencja, refrakcja, zapylenie, zmienność oświetlenia, hałas i drgania ograniczają zastosowania standardowych technik pomiarowych. Konstrukcje obiektów inżynierskich stanowiących przedmiot pomiaru geodezyjnego charakteryzują się niejednokrotnie utrudnionym dostępem do punktów pomiarowych. Wynika to ze skomplikowanych powiązań technologicznych, właściwości procesów produkcyjnych oraz kształtów podzespołów i mechanizmów urządzeń. Współczesne instrumenty geodezyjne charakteryzują się dużą dokładnością, homogenicznością dokładności w przestrzeni obserwacji, niezawodnością, przystosowaniem do systemów informacji, potrzebą pomiaru wielkości niemetrycznych, zwłaszcza temperatury, a także możliwością wykorzystania różnych technik (światłowodowa, laserowa, mechaniczna). W praktyce, z uwagi na wspomniane ograniczenia, pełne wykorzystanie najwyższej klasy instrumentów jest możliwe przy zastosowaniu unikalnych urządzeń wspomagających. Dlatego w wielu przypadkach stosowana przez autora aparatura i oprzyrządowanie pomiarowe są rozwiązaniami oryginalnymi. Urządzenia wspomagające obserwacje oprócz właściwości metrologicznych powinny charakteryzować się takimi cechami, jak: miniaturyzacja, portatywność, ergonomiczność oraz przystosowanie do możliwości pomiarowych znanych instrumentów geodezyjnych.

W pracy starano się wykazać prawdziwość następujących tez:

- Urządzenia wspomagające warunkują i znacząco rozszerzają możliwości technologii geodezyjnych w badaniach obiektów inżynierskich, zwłaszcza urządzeń i maszyn o skomplikowanej geometrii.
- Przy konstrukcji urządzeń wspomagających dobre efekty dokładnościowe i niezawodnościowe daje wykorzystanie techniki światłowodowej i laserowej.
- Zaproponowane opracowania konstrukcyjne urządzeń wspomagających spełniają warunki najwyższych wymagań dokładnościowych stawianych obecnie w geodezji inżynierskiej.

Głównym celem pracy było opracowanie urządzeń pomiarowo-kontrolnych wspomagających precyzyjne pomiary deformacji i kształtu obiektów inżynierskich. Przedstawiono rozwiązania najkorzystniejsze pod względem ich wykonania, dokładności, jak i ich użytkowania. Ujednolicenie rozwiązań starano się uzyskać przez wprowadzenie elementów technik światłowodowej i laserowej. Przy opracowywaniu poszczególnych rozwiązań urządzeń wspomagających starano się uwzględnić następującą problematykę pomiarową:

- osiągnięcia dużych dokładności pomiarowych na poziomie submilimetrym (ok. 1 mm), wysokim (ok. 0,1 mm), a w niektórych przypadkach bardzo wysokim (setne części milimetra),
- polepszenia dostępności do punktów osnowy pomiarowej, czasowo niedostępnych z uwagi na przesłonięcia,

- polepszenia dostępności do punktów pomiarowych na obiekcie w miejscach o utrudnionym dostępie z uwagi na zabudowę lub powiązania układu konstrukcyjnego obiektu,
- pomiaru temperatury podłoża obiektu, a także jego otoczenia, w szczególności na celowych pomiarowych.

Jako podstawowe kryterium oceny dokładności poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych przyjęto wartości błędów średnich uzyskanych w procesie testowania w warunkach laboratoryjnych; przy czym ocena rezultatów niektórych badań ma postać opisową.

Postawiony cel starano się zrealizować w procesie badawczym na następujących poziomach:

- teoretyczne analizy zagadnień wykorzystania technik światłowodowej i laserowej, przy opracowaniu urządzeń wspomagających, podsumowane projektami,
- badania testowe w laboratorium przyrządów zbudowanych,
- aplikacje urządzeń wspomagających przy realizacji kompleksowych zadań pomiarowych.

Wyniki obserwacji geodezyjnych wykonanych zaproponowanymi urządzeniami wspomagającymi mogą być wykorzystane na różnych etapach prac geodezyjnych: w pomiarach realizacyjnych, inwentaryzacyjnych oraz w pomiarach okresowych obiektów eksploatowanych dla diagnostyki stanu geometrycznego.

3. UWARUNKOWANIA BADAŃ GEODEZYJNYCH NA OBIEKTACH INŻYNIERSKICH

Prawidłowa realizacja prac geodezyjnych na obiektach inżynierskich w dużym stopniu uzależniona jest od czynników kształtujących środowisko obserwacyjne, ich zmienności oraz właściwości przestrzeni obserwacyjnej (Gocał, 1993; Holejko, 1987; Janusz, 1975; Praca zbiorowa, 1990; Hennes i wsp., 1998; Rüeger, 1998). Warunki panujące podczas prowadzonych prac pomiarowych mogą obniżyć uzyskane dokładności nawet o kilka rzędów oraz uniemożliwić realizację prac zgodnie z projektem i przepisami technicznymi.

Środowisko i przestrzeń obserwacyjna kształtowana jest przez następujące czynniki:

- Wymiary i geometrię przestrzeni obserwacyjnej
- Wymiary obiektu i powiązania konstrukcyjne jego elementów
- Zjawiska występujące na drodze przebiegu celowej:
 - refrakcja i turbulencja
 - zapylenie, zadymienie
 - zmienne natężenie oświetlenia
- Zjawiska wpływające na właściwości metrologiczne przyrządów pomiarowych i geometrię obiektu:
 - temperatura,
 - wstrząsy i drgania.

3.1. Wymiary i geometria przestrzeni obserwacyjnej

Instrumenty geodezyjne oraz stosowane metody pomiaru wymagają określonej przestrzeni obserwacyjnej. Ograniczenie dostępności obserwacyjnej często utrudnia określenie współrzędnych punktów charakterystycznych, wyznaczających wymiary elementów składowych obiektu, lub punktów kontrolowanych z wymaganą dokładnością. Wymiary i geometria przestrzeni obserwacyjnej na obiektach inżynierskich są czynnikami istotnie wpływającymi na dobór metodyki pomiarów, instrumentów geodezyjnych oraz oprzyrządowania (Gocał, 1993; Janusz, 1975; Praca zbiorowa, 1990; Greening i wsp., 1993; Lukáč, Žák, 1999; Radovanovic, Teskey, 2003; Mayoud, 1998). Wymuszają poszukiwanie nowych rozwiązań technologicznych, które przy takich uwarunkowaniach są w stanie sprostać stawianym wymaganiom pomiarowym.

3.2. Wymiary obiektu i powiązania technologiczne konstrukcji

Konstrukcyjna złożoność urządzeń przemysłowych, linii technologicznych i obiektów inżynierskich oraz warunki określone przez wskaźniki ekonomiczne, wymagania dotyczące niezawodności i bezpieczeństwa pracy, mają bezpośredni wpływ na dokładność i ekonomię pomiarów geodezyjnych. Ograniczona dostępność elementów podlegających pomiarom wynikająca z zabudowy osłonami (np. frezarki, tokarki, strugarki) oraz

ułożenia obiektu w przestrzeni, np. maszyny papiernicze, turbogeneratory (Gillarduzzi i wsp., 1999; Sprent, Hudson, 1996), a także kształt wspomnianych elementów, np. walce, elementy obrotowe (Fuss, Teskey, 1993) stanowią bezpośrednie utrudnienia pomiarów wykonywanych znanymi instrumentami i oprzyrządowaniem geodezyjnym.

3.3. Środowiskowe warunki przebiegu celowej w inżynierskich pomiarach geodezyjnych

Warunki środowiskowe panujące na obiektach inżynierskich kształtowane są charakterem użytkowania (praca ciągła lub w cyklach), stopniem skomplikowania procesów technologicznych (ilość urządzeń, ich przeznaczenie i powiązania) oraz lokalizacją obiektu i jego otoczenia (przestrzeń zamknięta lub otwarta). Zmienne warunki środowiskowe mają duży wpływ na typ zmian gęstości optycznej atmosfery, w której wykonywane są obserwacje, co ma zasadniczy wpływ na kształt linii celowania. Odchylenie biegu promieni świetlnych od linii prostej przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego znane jest w literaturze jako zjawisko refrakcji. Zróżnicowany rozkład gęstości powietrza atmosferycznego na obiektach inżynierskich jest jednym z głównych źródeł błędów obserwacji geodezyjnych. O ile struktury ośrodków oraz długość fali są funkcyjnie powiązane z kątem odchylenia biegu promieni, to stopień zniekształcenia linii celowej zależy od temperatury, ciśnienia i prężności pary wodnej w powietrzu. W praktyce geodezyjnej ważną rolę odgrywa rozróżnienie refrakcji poziomej (bocznej) i refrakcji pionowej (Gocał, 1993; Holejko, 1987; Zacarinnyj, 1976; Hennes i wsp., 1998; Casaca, Henriques, 1994; Witte i wsp., 2000; Brunner, 1984; Bryś, 1996). Określenie wpływu obu typów refrakcji na rezultaty pomiarów pozwala na podniesienie wiarygodności wyników obserwacji kątowych i niwelacyjnych.

3.4. Zjawiska wpływające na zmiany metrologiczne przyrządów pomiarowych i geometrię obiektu

Pomiary inżynierskie skomplikowanych dużych obiektów inżynierskich, jak: chłodni hiperbolicznych, torów podsuwnicowych, maszyn papierniczych, turbogeneratorów, elementów nośnych maszyn górniczych oraz małych, wśród których można wymienić: walcarki, strugarki, frezarki, tokarki, często odbywają się w warunkach bardzo niedogodnych ze względu na występujące drgania, hałas oraz różnicę temperatur. (Gocał, 1993; Żak, 1981; Schwarz, 1991; Bryś, 2002). Jednym z podstawowych czynników wywołujących przemieszczenia przestrzenne lub/ oraz deformacje geometryczne elementów urządzeń technicznych oraz obiektów inżynierskich jest zmienna w czasie i przestrzeni temperatura powietrza w hali produkcyjnej, a tym samym materiału monitorowanego obiektu.

Pomiary powinny być rozpoczynane po wyrównaniu temperatury otoczenia i instrumentu pomiarowego. Zachowana jest wówczas równowaga stanów: pierwotnego, czyli temperatury otoczenia i wtórnego, czyli urządzenia pomiarowego. Podczas pomiarów terenowych instrument cały czas dostosowuje swoją temperaturę do

otoczenia. W przypadku gdy mierzony obiekt pozostaje częściowo na terenie otwartym a częściowo przykrytym, występują dość znaczne różnice temperatury wewnątrz i na zewnątrz obiektu. Z chwilą zmiany stanowiska i przejścia z jednego środowiska pomiarowego do drugiego, przy nieprzerwanym cyklu pomiarowym, należy się spodziewać obniżenia dokładności pomiarów.

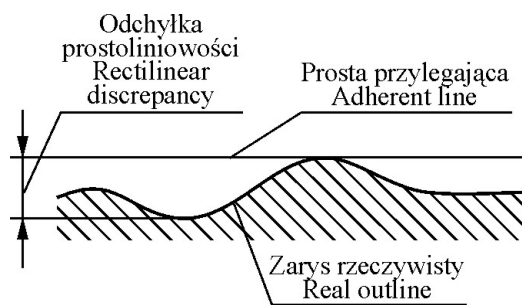
Oprócz niestabilnych warunków termalnych, na obiektach podlegających obserwacjom geodezyjnym, występują często drgania mechaniczne i akustyczne, których oddziaływanie w procesie pomiarowym powoduje zwiększenie niepewności wyniku obserwacji.

3.5. Warunki geometryczne związane z funkcjonowaniem obiektu inżynierskiego

W zagadnieniach geodezyjnych na obiektach inżynierskich podczas prac realizacyjnych związanych z tyczeniem, bieżącymi pomiarami kontrolnymi oraz powykonawczymi, a także przy pracach inwentaryzacyjnych w okresie eksploatacji obiektu, można się spotkać z występującymi uwarunkowaniami kształtu i położenia (Gocał, 1993; Jezierski, 2003). Do głównych warunków geometrycznych kształtu i położenia zalicza się: prostoliniowość, płaskość, kołowość, walcowość, zachowanie określonego kształtu linii lub powierzchni, równoległość, prostopadłość, nachylenie, współosiowość, rozstaw. Niespełnienie wymienionych warunków powoduje obniżenie funkcjonalności obiektu, przyczyniając się np. w przypadku maszyn przemysłowych do wzrostu wadliwie wytworzonych produktów, naruszenia zasad bhp itp. Miarą spełnienia warunków geometrycznych kształtu i położenia elementów obiektu są wartości odchyłek odnoszonych do idealnych geometrycznych odpowiedników powierzchni czy linii. Takimi odpowiednikami najczęściej są elementy przylegające (prosta, płaszczyzna, okrąg, walec przylegający).

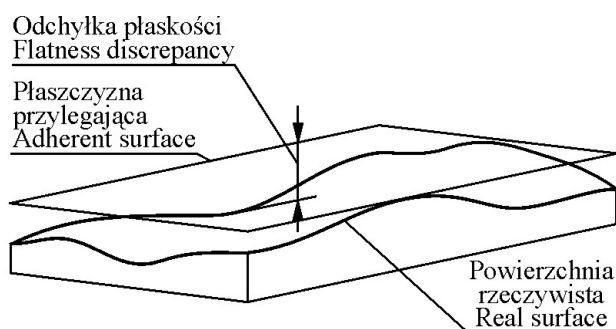
Odchyłki kształtu:

Odchyłka prostoliniowości (rys. 3.1) jest to największa odległość między zarysem rzeczywistym a przyjętą prostą przylegającą.



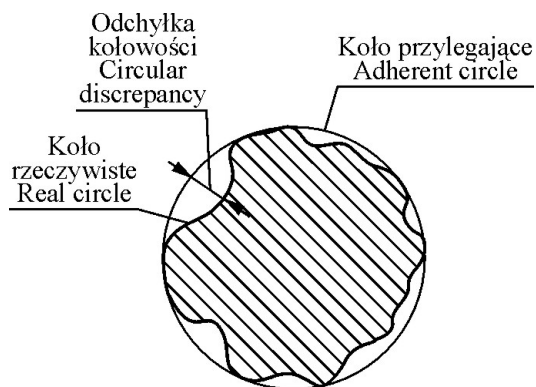
Rys. 3.1. Odchyłka prostoliniowości
Fig. 3.1. Rectilinear discrepancy

Odchyłka płaskości (rys. 3.2) jest to największa odległość między powierzchnią rzeczywistą a płaszczyzną przylegającą.



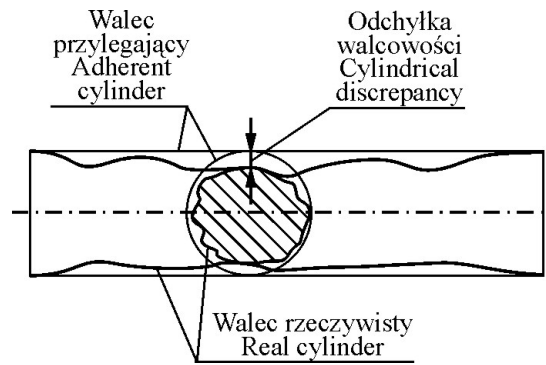
Rys. 3.2. Odchyłka płaskości
Fig. 3.2. Flatness discrepancy

Odchyłka kołowości (rys. 3.3) jest to największa odległość między kołem rzeczywistym a kołem przylegającym.



Rys. 3.3. Odchyłka kołowości (okrągłości)
Fig. 3.3. Circular discrepancy

Odchyłka walcowości (rys. 3.4) jest to największa odległość między walcem rzeczywistym a walcem przylegającym.

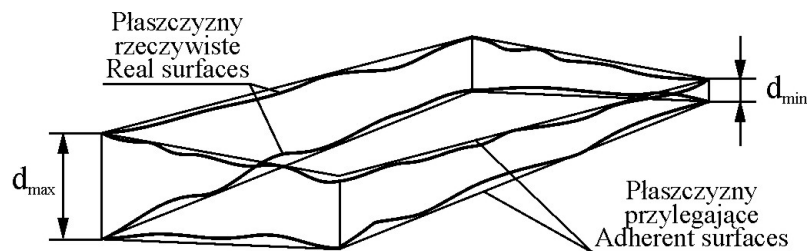


Rys. 3.4. Odchyłka walcowości
Fig. 3.4. Cylindrical discrepancy

Odchyłka kształtu wyznaczonego zarysu jest to największa odległość punktów zarysu rzeczywistego od zarysu nominalnego (przyjętego w projekcie).

Odchyłki położenia:

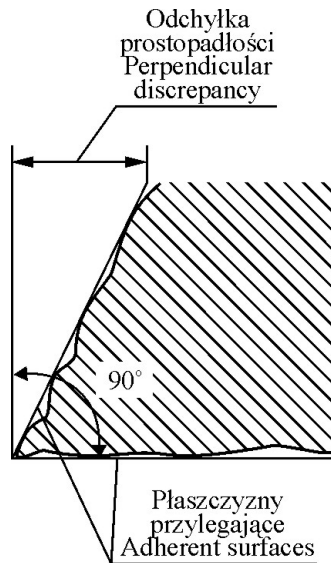
Odchyłka równoległości płaszczyzn (rys. 3.5) jest to różnica największej i najmniejszej odległości między płaszczyznami przylegającymi.



Rys. 3.5. Odchyłka równoległości płaszczyzn
Fig. 3.5. Parallel of surface discrepancy

Odchyłka równoległości osi jest odchyłką równoległości rzutów tych osi na wspólną płaszczyznę.

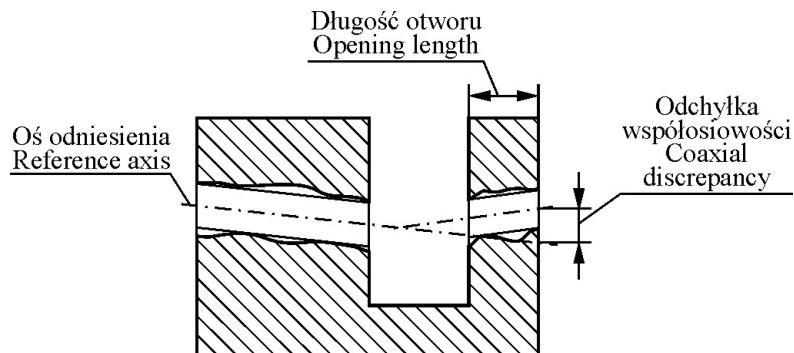
Odchyłka prostopadłości płaszczyzn (rys. 3.6) jest to różnica pomiędzy kątem prostym i zawartym pomiędzy płaszczyznami.



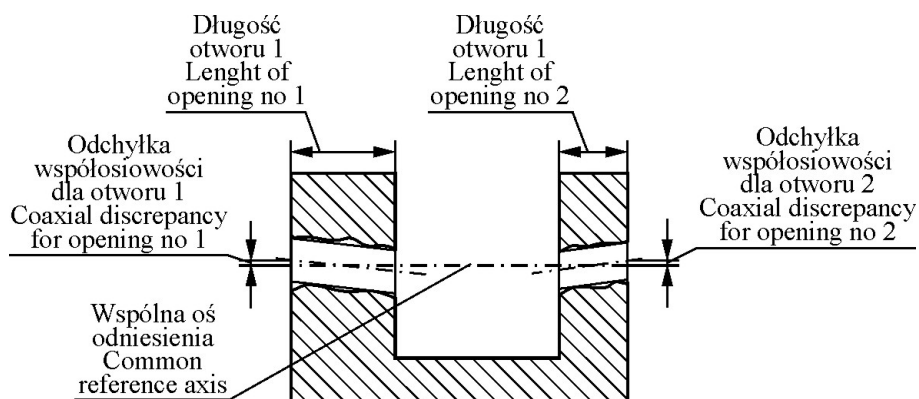
Rys. 3.6. Odchyłka prostopadłości
Fig. 3.6. Perpendicular discrepancy

Odchyłka nachylenia płaszczyzny względem płaszczyzny jest to różnica kąta nominalnego (przyjętego w projekcie) i kąta nachylenia płaszczyzny przylegającej wyrażona w jednostkach odchyłki na długość.

Odchyłka współosiowości jest określana względem osi elementu odniesienia (rys. 3.7) lub względem osi wspólnej (rys. 3.8).

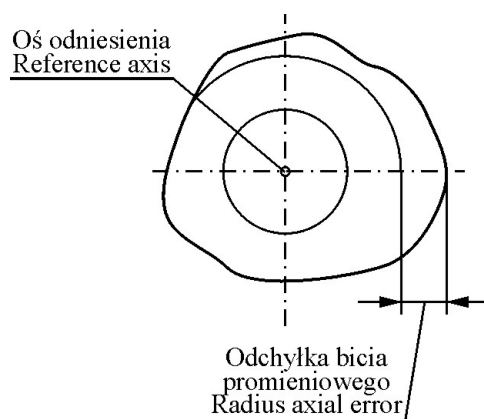


Rys. 3.7. Odchyłka współosiowości względem osi elementu odniesienia
Fig. 3.7. Coaxial discrepancy in relation to reference element



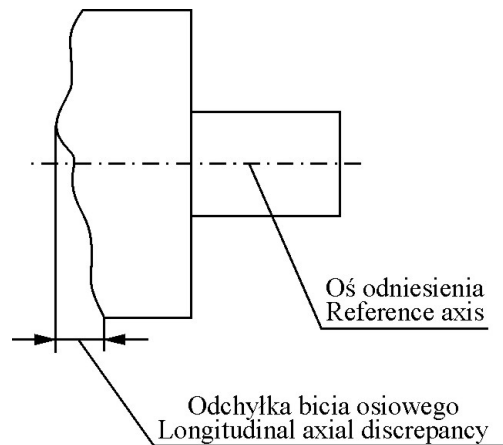
Rys. 3.8. Odchyłka współosiowości względem wspólnej osi odniesienia
 Fig. 3.8. Coaxial discrepancy in relation to common reference axis

Odchyłka bicia promieniowego (poprzecznego, rys. 3.9) jest to różnica największej i najmniejszej odległości punktów powierzchni rzeczywistej od osi odniesienia.



Rys. 3.9. Odchyłka bicia promieniowego
 Fig. 3.9. Radius axial error

Odchyłka bicia osiowego (wzdłużnego, rys. 3.10) jest to różnica największej i najmniejszej odległości punktów powierzchni czołowej rzeczywistej od płaszczyzny prostopadłej do osi odniesienia.



Rys. 3.10. Odchyłka bicia osiowego
Fig. 3.10. Longitudinal axial discrepancy

Opisane odchyłki zaobserwowane na obiekcie inżynierskim w trakcie pomiarów inwentaryzacyjnych pozwalają na wyznaczenie deformacji geometrycznych elementów konstrukcyjnych i budowli jako odstępstw od stanu modelowego (projektowego) (Przewłocki, 1998). Takim często spotykanym stanem projektowym może być prostoliniowość i poziomowość torów podsuwnicowych i prowadnic maszyn skrawających, pionowa oś budowli wysmukłej czy słupów nośnych w halach, określone funkcją matematyczną kształty elementów budowlanych lub konstrukcyjnych, np.: zbiorniki kuliste, walcowe, czasze anten, pokrycia dachowe.

3.6. Niedogodności i ograniczenia występujące podczas pomiaru wielkości geometrycznych na obiektach inżynierskich

Powiązania geometryczne elementów i podzespołów obiektów inżynierskich na etapie pomiarów realizacyjnych, a także pomiarów kontrolnych ustalane są pomiarami geodezyjnymi, w których występują wielkości liniowe, kątowe i wysokościowe. Obserwacje geodezyjne wykonywane są starannie zredukowanym sprzętem geodezyjnym (tab. 3.1), przy zachowaniu odpowiednich procedur pomiarowych, ze szczególnym uwzględnieniem uwarunkowań występujących na obiekcie.

Tabela 3.1

Table 3.1

Zestawienie przykładowych instrumentów i przyrządów stosowanych w pomiarach na obiektach inżynierskich

Table of instruments being used in measurements on engineering objects

Typ instrumentu Instrument type	Oprzyrządowanie Instrumentation	Dokładność pomiaru Measurement accuracy	Zasięg pomiaru Measurement range [m]		
Pomiary długości – dalmierze elektrooptyczne Distance measurement – electronic distance meter					
Nasadka DI 2002	teodolit, statyw, reflektor zwrotny	$\pm(1 + 1 \text{ ppm})$	1500		
ME-5000	statyw, reflektor zwrotny	$\pm(0,2 + 0,2 \text{ ppm})$	5000		
TC 2000	statyw, reflektor zwrotny	$\pm(0,5 + 2 \text{ ppm})$	2500		
TC 1800	statyw, reflektor zwrotny	$\pm(1 + 2 \text{ ppm})$	2500		
TDA 5005	statyw, reflektor zwrotny	$\pm 0,2 \text{ mm}$	<120		
Pomiary kątowe – teodolity, tachymetry Angle measurement – theodolites, tachymeters					
T 2	statyw, tarcza	0,3 mgon			
T 2000	statyw, tarcza	0,15 mgon			
Theo 010 B	statyw, tarcza	0,3 mgon			
Pomiary różnic wysokości niwelacją geometryczną Altitude difference measurement with direct levelling					
Ni 002	statyw, łąta kreskowa	$\pm 0,2 - 0,3 \text{ mm/km}$			
Ni 005 A	statyw, łąta kreskowa	$\pm 0,5 \text{ mm/km}$			
N 3	statyw, łąta kreskowa	$\pm 0,2 \text{ mm/km}$			
NA 3000	statyw, łąta kodowa	$\pm 0,3 \text{ mm/km}$			
Pomiary nachyleń – libelle elektroniczne Measurement of tilt – electronic level					
	Zakres Range [mm/m]		Wartość działki Value of division [mm/m]		Długość bazy Length of base [mm]
	min.	max.	min.	max.	
Talyvel	0,125	2,50	1	20	100
Niveltronic	0,150	0,05	2	10	200 x 200
Fotoelektryczny czujnik nachyleń (Gocał, 1993)	0,25	2,50	0,01		

Pomiary realizacyjne i kontrolne na obiektach inżynierskich wykonywane są z wykorzystaniem osnów poziomych i pionowych pozwalających określić współrzędne przestrzenne punktów obiektu. Najczęściej stosowane metody pomiarowe to metoda wcięć kątowych, liniowych i kątowo-liniowych oraz metoda biegunowa, a także metoda precyzyjnej niwelacji geometrycznej.

Typowym systemem pomiarowym jest zestaw co najmniej dwóch teodolitów elektronicznych połączonych z komputerem tworzących system pomiarowo-obliczeniowy, pozwalający metodą kątoowego wcięcia przestrzennego wprzód lub biegunową, na wyznaczenie współrzędnych punktów obiektu (Obidowski, Teskey, 1996; Smith, Mulder, 1996). Systemy takie stosowane dla celów przemysłowych znane są pod skrótową nazwą IMS (Industrial Measurement System) lub RMS (Remote Measurement System), a ostatnio przy zastosowaniu teodolitów zautomatyzowanych jako ATMS (Automatic Measurement System) (Płatek, 1995). Dokładności wyznaczenia współrzędnych punktów pomiarowych wspomnianymi systemami uzależnione są od: precyzji zastosowanych teodolitów, długości celowych oraz geometrii sieci obserwacyjnej. Według producentów (Leica Heerbrugg AG, Wild. AG-Wild-Leitz, Zeiss C., 1995 ÷ 2005), przy celowych do 10 m, błąd średni wyznaczenia współrzędnych punktu kształtuje się na poziomie $\pm 0,1$ mm.

Obecnie w pomiarach wielkości geometrycznych dla niewielkich odległości (0–40 m) coraz częściej stosuje się są trackery laserowe (LTD600, LTD800 firmy Leica), które są przenośnymi trójwspółrzędnościowymi instrumentami pomiarowymi, ustawianymi w polu pomiarowym. Głowica trackera emituje widoczną wiązkę laserową w kierunku celownika mającego postać kulki pomiarowej zaopatrzonej w mały reflektor. Współrzędne X, Y, Z, przemieszczanej ręcznie kulki są obliczane w czasie rzeczywistym. Niepewność pomiaru współrzędnych w trybie statycznym wynosi 0,01 mm/m, a w trybie dynamicznym od 0,2 do 0,4 mm/m. W pomiarach wykonywanych trackerami laserowymi jako celowniki mogą być również używane sondy T-Probe i T-Scan (Leica, 2005).

Wymienione w podrozdziałach 3.1 – 3.4 czynniki, tj. ograniczona przestrzeń obserwacyjna, skomplikowane powiązanie technologiczne podzespołów obiektu inżynierskiego oraz nieodpowiednie wymiary i konstrukcja oprzyrządowania geodezyjnego (statywy, spodarki, tarcze celownicze, reflektory zwrotne, łąty, itp.), w przypadku pomiarów bardzo dokładnych stanowią impuls lub wręcz wymuszają poszukiwanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Przy pomiarach wielkości geometrycznych na obiektach inżynierskich można spotkać się z niedogodnościami i ograniczeniami zastosowań tradycyjnych metod pomiarowych i sprzętu geodezyjnego, których listę przedstawiono w tabeli 3.2.

Tabela 3.2
Table 3.2

Uciążliwości w procesie pomiaru obiektów inżynierskich
Difficulty during engineering objects measurement process

Rodzaj pomiarów Type of measurements	Niedogodności i ograniczenia Inconveniences and restrictions
Kątowe Angular	<p>Środowisko:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pomieszczenie zamknięte o zróżnicowanej intensywności oświetlenia obiektu - duże nasycenie infrastrukturą techniczną obiektu (częściowe lub całkowite przesłonięcia celowych) - ograniczona przestrzeń obserwacyjna o zróżnicowanej termicznie i niejednorodnej optycznie atmosferze <p>Instrumenty:</p> <ul style="list-style-type: none"> - krótkie celowe powodujące obniżenie dokładności pomiarów na skutek znaczącego wpływu błędów centrowania sygnałów tarcz i teodolitów oraz błędów celowania - zróżnicowane długości celowych obniżające dokładność pomiarów na skutek błędu ogniskowania (zmiany położenia osi celowej lunety) - strome celowe obniżające dokładność pomiarów ze względu na szczytkową niepionowość osi obrotu instrumentu <p>Przyrządy:</p> <ul style="list-style-type: none"> - wymiary i kształt sygnałów oraz rysunku tarcz mających wpływ na błąd celu - wymiary i konstrukcja statywów
Długości Lengths	<p>Środowisko:</p> <ul style="list-style-type: none"> - przesłonięcia wiązek pomiarowych dalmierzy elektrooptycznych - niejednorodność optyczna atmosfery - zróżnicowana termicznie przestrzeń obserwacyjna wzdłuż celowej - drgania dynamiczne podłoża stanowiska pomiarowego <p>Instrumenty:</p> <ul style="list-style-type: none"> - niedokładność centrowania instrumentu i reflektora nad znakami pomiarowymi <p>Przyrządy:</p> <ul style="list-style-type: none"> - wymiary reflektora uniemożliwiające ustawienie nad znakiem pomiarowym ze względu na niewielką przestrzeń lokalną
Niwelacyjne Level	<p>Środowisko:</p> <ul style="list-style-type: none"> - utrudniony dostęp do punktów pomiarowych z uwagi na przesłonięcia lub lokalizacje w miejscach powiązań konstrukcyjnych <p>Instrumenty:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zróżnicowane długości celowych powodujących wpływ niepoziomości osi celowej na wyznaczane przewyższenia <p>Przyrządy:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zróżnicowane wysokości celowych i pojawienie się błędów pomiaru przewyższeń z uwagi na niepionowość łąt - wymiary i kształt łąt niedostosowane do warunków przestrzeni na obiekcie

Tabela 3.2 cd.
Table 3.2 cont.

Rodzaj pomiarów Type of measurements	Niedogodności i ograniczenia Inconveniences and restrictions
<p>Nachylenia (libelle, urządzenia fotoelektryczne, kolimatory, autokolimatory, autorefleksja) Grades (levels, photoelec- tric instruments, collimators, autocollimators, auto reflection)</p>	<p>Środowisko: – niejednorodne oświetlenie przestrzeni obserwacyjnej – usytuowanie punktów pomiarowych na elementach współpracujących w bliskich pionowych i poziomych odległościach – zróżnicowany wymiar przestrzeni obserwacyjnej (galerie, szyby, korytarze itp.)</p>

Podane w tabeli 3.2 uciążliwości pomiarowe nie wyczerpują wszystkich możliwych niedogodności i ograniczeń, z którymi można się spotkać podczas realnych obserwacji.

4. CHARAKTERYSTYKA ZASTOSOWANYCH ELEMENTÓW TECHNIKI OPTOELEKTRONICZNEJ

Współczesny rozwój technologii i technik pomiarowych w geodezji związany jest z osiągnięciami naukowymi i technicznymi w elektronice, mikroelektronice, optoelektronice, w mechanice precyzyjnej oraz w informatyce. Prezentowana praca w pełni wpisuje się w ten trend rozwoju. Propozycje sygnalizatorów celów, systemów i przyrządów do pomiaru różnic wysokości i pochyleń, odchyłeń od prostej odniesienia, laboratoryjnych stanowisk kontrolowania instrumentów geodezyjnych uwzględniają zarówno wyartykułowane w rozdziałach 3.1–3.5 uwarunkowania, jak i aktualne kierunki rozwoju aparatury pomiarowej. W przedstawionych w pracy rozwiązaniach technologicznych i konstrukcyjnych zastosowano następujące elementy techniki optoelektronicznej:

- światłowody ze złączami jako elementy sygnalizacyjne i podzespoły transmisji światła,
- diodę laserową, a zwłaszcza emitowaną w przestrzeni obserwacyjnej wiązkę laserową ukierunkowującą pomiary,
- matryce CCD do cyfrowej rejestracji obrazu.

Zastosowanie elementów technik: optoelektronicznej i komputerowej do opracowywania nowoczesnych metod pomiarowych stwarza praktyczne warunki osiągnięcia korzyści, tak w zakresie ekonomiki pomiarów jak i podniesienia dokładności wyników badań. Przyczynia się również do opracowania projektów i skonstruowania szeregu przenośnych przyrządów oraz urządzeń mogących wspomóc w czynnościach pomiarowych zespoły obserwacyjne.

Konstruując nowe urządzenia pomiarowe autor uwzględnił ogólne zasady i wymagania, jakie produkty te powinny spełniać. Dotyczy to funkcjonalności urządzeń, niezawodności i trwałości, sprawności, lekkości, taniości i dostępności materiałów konstrukcyjnych, właściwego układu przenoszenia obciążeń w urządzeniu, technologiczności wykonania części i zespołów, łatwości eksploatacji, ergonomiczności, zgodności z obowiązującymi normami i przepisami (Osiński, Wróbel, 1982).

4.1. Światłowody

Wyjątkowy rozwój techniki światłowodowej, jaki obserwujemy w ostatnim dwudziestolecu (Siuzdak, 1997; Midwinter, Guo, 1995; Szustakowski, 1992; Booth, Hill, 2001), zaowocował spektakularnie nie tylko w telekomunikacji, znaczące zastosowania odnotowano także w metrologii. Technikę tę wykorzystuje się do pomiarów: naprężeń mechanicznych, pól elektrycznych i magnetycznych, ruchu obrotowego, przyspieszenia, poziomu cieczy, ciśnienia, temperatury (Beaven i wsp., 1996). Światłowody charakteryzują się wieloma korzystnymi cechami. Są nimi: odporność na różnego rodzaju zakłócenia i naprężenia oraz długi okres niezmienności parametrów własnych. Jako dielek-

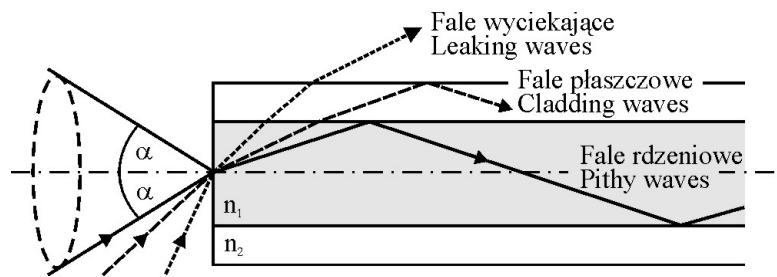
tryki mogą być użytkowane przy napięciach niebezpiecznych dla organizmów żywych. Istotne jest, że można je stosować w trudno dostępnych miejscach i w różnej konfiguracji.

W geodezyjnych przyrządach i systemach pomiarowych można wykorzystać najczęściej światłowody włókniste.

4.1.1. Zasada działania i budowa światłowódów

Światłowód jest konstrukcją optyczną do prowadzenia fali świetlnej. Jako optyczny ośrodek transmisyjny pozwala na propagację fal elektromagnetycznych z zakresu optycznego. Podstawowym zjawiskiem, jakie jest wykorzystywane do uzyskania efektu prowadzenia wiązki świetlnej, jest zjawisko pełnego wewnętrznego odbicia. Zasady fizyczne prowadzenia światła przez włókno optyczne można opisać rozpatrując prawa odbicia i załamania światła dla promienia świetlnego na granicy dwóch ośrodków o różnych gęstościach (Unger, 1977; Siuzdak, 1997; Midwinter, Guo, 1995; Szustakowski, 1992; Booth, Hill, 2001).

Wprowadzane do światłowodu fale optyczne mogą być propagowane w postaci fal: wyciekających do otaczającego ośrodka, własnych – płaszczka oraz własnych – rdzenia. Rodzaj propagowanych fal uzależniony jest od kąta, pod którym wprowadzana jest wiązka świetlna przez czołową płaszczyznę do wnętrza światłowodu (rys. 4.1).



Rys. 4.1. Rodzaje propagowanych fal w światłowodzie włóknistym
Fig. 4.1. Kind of propagated waves in optical fibre

Użyteczną częścią prowadzonego w światłowodzie promieniowania są fale rdzeniowe niesione z części promieniowania, która zawiera się w kącie bryłowym 2α nazywanym kątem akceptacji światłowodu. Wartość funkcji kąta akceptacji światłowodu określa aperturę numeryczną NA światłowodu (Booth, Hill, 2001; Szustakowski, 1992) według wzoru 4.1:

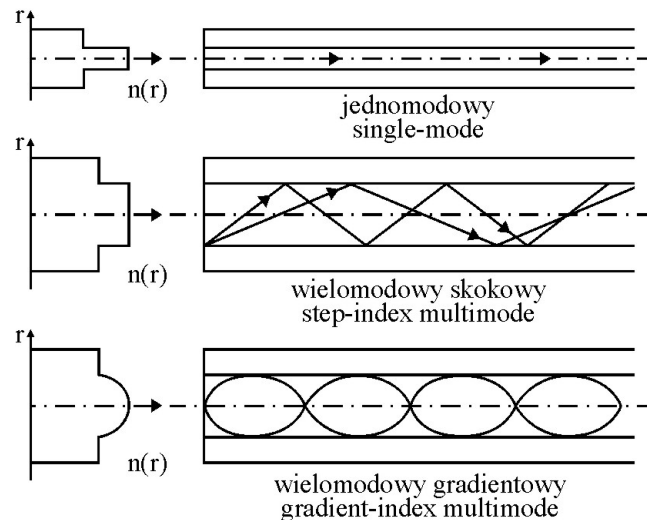
$$NA = \sin \alpha = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (4.1)$$

gdzie:

n_1 – współczynnik załamania materiału rdzenia,

n_2 – współczynnik załamania materiału płaszczka.

Wartość apertury numerycznej światłowodu umożliwia określenie efektywności sprzężenia światłowodów ze źródłami światła. Jeśli apertura numeryczna źródła światła wiązki wchodzącej do światłowodu jest większa niż apertura numeryczna światłowodu, to praktycznie w światłowodzie wielomodowym pobudzone są wszystkie fale własne (mody), co w efekcie daje prawie jednorodny rozkład natężenia światła w rdzeniu. W zależności od rozkładu współczynnika załamania rdzenia w płaszczyźnie przekroju poprzecznego włókna, a także od kąta padania promienia fali względem powierzchni styku rdzeń – płaszcz mogą wystąpić różne profile i tory promieni optycznych prowadzonych w światłowodach (Szustakowski, 1992) (rys. 4.2).



Rys. 4.2. Tory promieni optycznych oraz profile rozkładu współczynnika załamania światłowodów włóknistych
 Fig. 4.2. Paths of optical rays and layout profiles of optical fibre deflection ratios

Światłowody używane w telekomunikacji, sieciach informatycznych, a także w zastosowaniach przemysłowych dzielą się z uwagi na rodzaj użytego materiału – na polimerowe i szklane, ze względu na konstrukcję – na światłowody o skokowej i gradientowej zmianie współczynnika załamania światła oraz ze względu na własności optyczne – na jedno- i wielomodowe. O konkretnych aplikacjach światłowodów decyduje ich tłumienność oraz średnica rdzenia (jako wyróżnik własności optycznej światłowodu). Tłumienność światłowodu związana jest ze stratami transmisji światła w zależności od długości fali. Ma ona istotne znaczenie w telekomunikacji przy przesyłaniu informacji na większe odległości (Siuzdak, 1997; Midwinter, Guo, 1995; Szustakowski, 1992). Światłowody posiadają znormalizowane średnice rdzenia i płaszcz. Wybrane dane przedstawiono w tabeli 4.1 (Weinert, 1999).

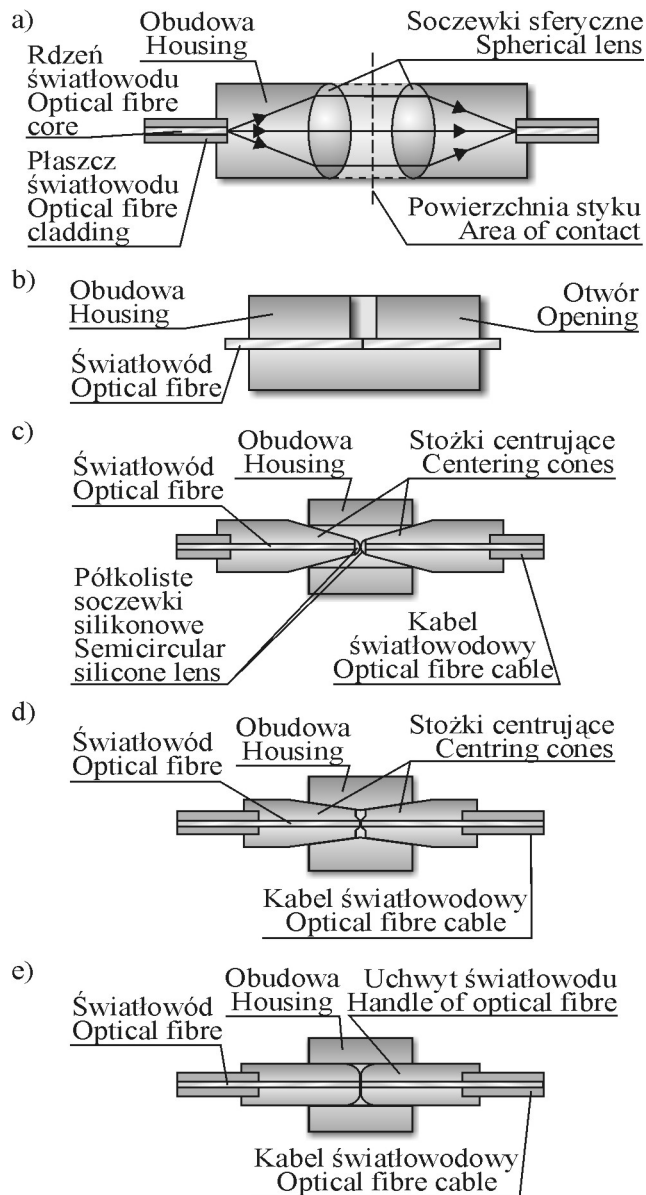
Tabela 4.1
Table 4.1

Zestawienie wybranych parametrów światłowodów szklanych i polimerowych
Table of major parameters for glass and polymer optical fibres

Rodzaj światłowodu Type of optical fibre	Polimerowy Polymer	Polimerowy Polymer	Szklany Glass	Szklany Glass	Szklany Glass
Materiał rdzenia Core material	plastik	szkło	szkło	szkło	szkło
Materiał płaszczka Cladding material	plastik	plastik	szkło	szkło	szkło
Średnica rdzenia/płaszczka Diameter of core/cladding [μm]	980/1000	200/230	62,5/125	50/125	9/125
Średnica zewnętrzna włókna Diameter of fibre [μm]	2200	500	250	250	250
Apertura numeryczna Numerical aperture	0,47	0,36	0,27	0,20	ok. 0,50
Tłumienność Transmission loss [dB/km]					
$\lambda = 660 \text{ nm}$	230	7	–	–	–
$\lambda = 850 \text{ nm}$	2000	6	<3,5	<3,0	–
$\lambda = 1300 \text{ nm}$	–	–	<0,8	<0,7	<0,4

Włókno światłowodowe ma pokrycie ochronne, którym najczęściej są gumy silikonowe.

Ponieważ światłowody i kable światłowodowe wytwarzane są w odcinkach o skończonych wymiarach, stąd przy budowaniu światłowodowej linii telekomunikacyjnej oraz aplikacjach przemysłowych niezbędne są elementy zwane złączami, które łączą poszczególne odcinki w dowolne długościowe konfiguracje linii (rys. 4.3) (Szustakowski, 1992; Siuzdak, 1997).

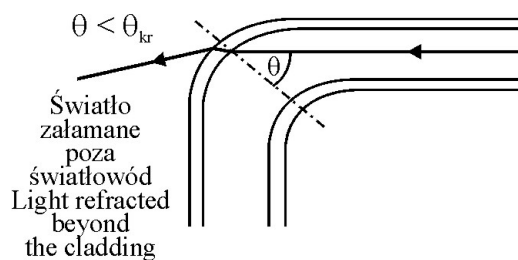


Rys. 4.3. Wybrane rodzaje sprzężeń optycznych rdzeni światłowodów: a) rozłączalne z kolimacją soczewkową, b) trwałe klejone, c) rozłączalne z centrowaniem stożkowym, d) rozłączalne kontaktowe z centrowaniem stożkowym, e) rozłączalne kontaktowe z centrowaniem tulejowym

Fig. 4.3. The major types of optical coupling of fibres: a) disconnected with lens collimation, b) fixed spliced, c) disconnected with cone centering, d) disconnected, contact with cone centering, e) disconnected, contact with cone sleeve centering

4.1.2. Zaburzenia propagacji fal optycznych w światłowodach

Podstawowymi źródłami zaburzeń propagacji fal optycznych w światłowodach włóknistych są: tłumienie, straty na zgięciach oraz straty na złączach (Siuzdak, 1997; Midwinter, Guo, 1995; Szustakowski, 1992; Booth, Hill, 2001). Przyczyną tłumienia fal optycznych w światłowodach są zjawiska pochłaniania i rozpraszania światła. W trakcie propagacji światła wzdłuż światłowodu niespełnienie warunków całkowitego wewnętrznego odbicia i zgodności z modem światłowodu lub jednego z nich powoduje zanik propagacji. Tłumienie światła przez rozproszenie może być również wywołane niewielkimi zmianami współczynnika załamania w szkle (niepełne wiązania molekularne, zmiany w rozmieszczeniu molekuł). Wystąpić może również absorpcja światła przez molekuly jonów OH^- , które mogą pojawić się w trakcie produkcji światłowodów. Zaburzenia transmisji światła występują również przy zgięciach światłowodu (rys. 4.4).



Rys. 4.4. Zaburzenia propagacji światła na zgięciu światłowodu
Fig. 4.4. Disturbances of light propagation on optical fibre bend

Połączenia odcinków światłowodów wykonywane są jako trwałe przez spawanie (złącza spawane) oraz złącza rozłączalne z centrowaniem stożkowym lub z kolimacją soczewkową. W złączach światłowodowych (Szustakowski, 1992; Booth, Hill, 2001) mogą wystąpić następujące rodzaje strat mocy optycznej:

- straty odbić fresnelowskich na nieciągłościach włókien w złączu (przerwa powietrzna),
- straty wynikłe z niedopasowania własności optycznych i struktury włókien (rozkładów współczynników załamania, apertur numerycznych, średnic rdzenia i płaszczu, niekoncentryczności położenia rdzenia w płaszczu, eliptyczność rdzenia)
- straty wynikłe z niedokładności geometrycznych położenia łączonych włókien (przesunięć radialnych i wzdłużnych, odchylen kątowych osi czół, niedokładnej odróbki płaszczu czół – prostopadłość do osi, płaskość, gładkość).

Straty odbicia wynikają z przyczyn fizycznych łączenia odcinków światłowodów. Straty niedopasowania własności optycznych i struktury włókien wynikają z niedokładnej

technologii wytwarzania światłowodów. Straty niedokładności geometrycznych są bezpośrednio uzależnione od technologii i dokładności wykonania złącz.

W światłowodach występuje dyspersja, czyli rozpraszanie impulsu świetlnego propagowanego wzdłuż światłowodu. Kształt impulsu na wejściu światłowodu wskutek dyspersji zmienia się w rozmyty czasowo i rozszerzony na wyjściu. W światłowodach gradientowych wartość dyspersji najczęściej określa producent.

4.1.3. Wyniki badań własnych elementów techniki światłowodowej

Poszukiwanie rozwiązań technicznych umożliwiających podniesienie dokładności pomiarów kątowych na niewielkich obiektach inżynierskich skłoniło autora do przeprowadzenia różnych doświadczeń m.in. z sygnalizacją światłowodową (Ćmielewski, 2002h). Jak wykazuje praktyka pomiarowa oraz badania opisane w pracy (Tatarczyk, 1973), najlepsze warunki obserwacji celu spełnione są, gdy realizowany jest warunek równości szerokości celu widzianego przez lunetę geodezyjną z grubością jej kresk krzyża nitek. Dla sprawdzenia możliwości zastosowania światłowodu do nacelowań kątowych autor wykonał światłowodowy sygnalizator celu, w formie sześcienniej kostki metalowej o wymiarach 15×15×15 mm z otworem w środku, w którym możliwe było osadzenie światłowodów szklanych: wielomodowego o średnicy rdzenia 50 μm, 62,5 μm, jednomodowego o średnicy rdzenia 9 μm oraz polimerowego o średnicy rdzenia 980 μm. Jako źródło światła zastosowano oświetlacz mikroskopowy zaopatrzone w filtr czerwony, żółty, zielony i niebieski. Jako instrumentu testującego użyto tachymetru elektronicznego TC1800 firmy Leica, charakteryzującego się standardowym błędem pomiaru kąta równym 1'' (3^{cc}). Wielokrotne badania przeprowadzono w latach 2002–2005 na laboratoryjnej bazie pomiarowej założonej w korytarzu przyziemia Katedry Geodezji i Fotogrametrii Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Celem badań i doświadczeń było wyznaczenie błędu średniego kierunku z wielokrotnych nacelowań (jedną serię testową stanowiło 10 obserwacji) dla zmiennej odległości tachymetru TC1800 od światłowodowego sygnalizatora celu. W doświadczeniach użyto krótkich odcinków światłowodów o długościach ok. 2 m. Wyniki doświadczeń przedstawiono w tabeli 4.2.

Tabela 4.2

Table 4.2

Zestawienie przedziałów błędów średnich pojedynczego kierunku poziomego
Table of mean errors' ranges of single horizontal direction

		Odległość – Distance [m]				
		D = 5	D = 10	D = 15	D = 30	D = 45
		Przedział błędów średnich kierunku Range of mean direction errors ["]				
Średnica rdzenia Diameter of core [μm]	9	1,9 – 2,2	3,1 – 4,0	7,0 – 11,0	niejednoznaczność celowania	niejednoznaczność celowania
	50	1,8 – 2,3	1,7 – 2,2	2,0 – 2,4	2,3 – 3,0	2,2 – 2,9
	62,5	2,0 – 2,5	1,9 – 2,3	2,1 – 2,4	2,2 – 2,8	2,1 – 2,8
	980	3,3 – 4,0	2,2 – 2,7	2,1 – 2,5	2,0 – 2,4	1,8 – 2,2

Przeprowadzone badania, a także spostrzeżenia w trakcie doświadczeń, pozwoliły autorowi na określenie rodzajów światłowodów mogących stanowić podstawy konstrukcyjne rozwiązań sygnalizatorów celu prezentowanych w pracy. Ustalono, że optymalnym rodzajem światłowodu jaki może być użyty, jest szklany światłowod o średnicy rdzenia 50 μm lub 62,5 μm . A w przypadku użytego światłowodu polimerowego o średnicy rdzenia 980 μm widoczne było polepszenie warunków celowania w przypadku zwiększania odległości obserwacji.

W światowej literaturze naukowo-technicznej w zagadnieniach telekomunikacyjnych nie podejmuje się problemu wpływu temperatury na światłowody z uwagi na jej mały wpływ podczas transmisji sygnałów. W latach 1997–1998 w KGiF AR we Wrocławiu we współpracy ze specjalistami z Instytutu Fizyki WAT powstała laboratoryjna baza światłowodowa, która wykorzystywała linie światłowodowe imitujące odcinki wzorcowe terenowych baz komparacyjnych. Baza światłowodowa jako urządzenie pomiarowe powinna była spełniać określone warunki techniczne. Przy opracowaniu założeń konstrukcyjnych i pracach przy wykonaniu bazy bardzo ważne było zachowanie własności metrologicznych w zakresie niezawodności eksploatacji urządzenia oraz powtarzalności dokładnościowej. Stwierdzono, że wyniki pomiarów testujących mogą być obciążone różnego rodzaju błędami, między innymi wpływem warunków otoczenia na własności transmisyjne światłowodu. W szczególności duży wpływ miała stabilizacja termiczna linii światłowodowych. Określono że linie światłowodowe powinny być przechowywane w komorze stabilizacyjnej, pozwalającej uzyskać w jej wnętrzu stabilizację temperaturową na poziomie poniżej $\pm 0,1$ $^{\circ}\text{C}$. Temperatura otoczenia światłowodu powoduje zmiany jego współczynnika załamania światła, przyjmującego najczęściej wartość 1,48 i wpływa na prędkość propagacji fali pomiarowej dalmierzy elektrooptycznych, a w efekcie końcowym na zmierzoną długość. Dla określenia zmian drogi transmisji sygnału pomiarowego dalmierza elektrooptycznego przy znacznych różnicach temperatury wykonano cykl doświadczeń z zastosowaniem dalmierza DI2002 (Ćmielewski, 2000). Badania obejmowały zmiany temperatury (od 25 $^{\circ}\text{C}$ do 35 $^{\circ}\text{C}$) otoczenia linii światłowodowych trzech odcinków (595 m, 348 m, 168 m). Dla różnicy 10 $^{\circ}\text{C}$ stwierdzono dodatni przyrost mierzonych długości dla poszczególnych odcinków, które wynosiły: 24,0 mm, 14,2 mm, 6,8 mm. Innym doświadczeniem było określenie wpływu wymiany złącz światłowodowych (rozłączalnych z centrowaniem stożkowym) na właściwości transmisyjne odcinków światłowodowych. Wykonane doświadczenia wykazały powtarzalność wyników pomiarów dla wybranych odcinków światłowodowych. Istotnym czynnikiem przy stosowaniu złącz rozłączalnych jest uzyskanie fizycznego styku światłowodów.

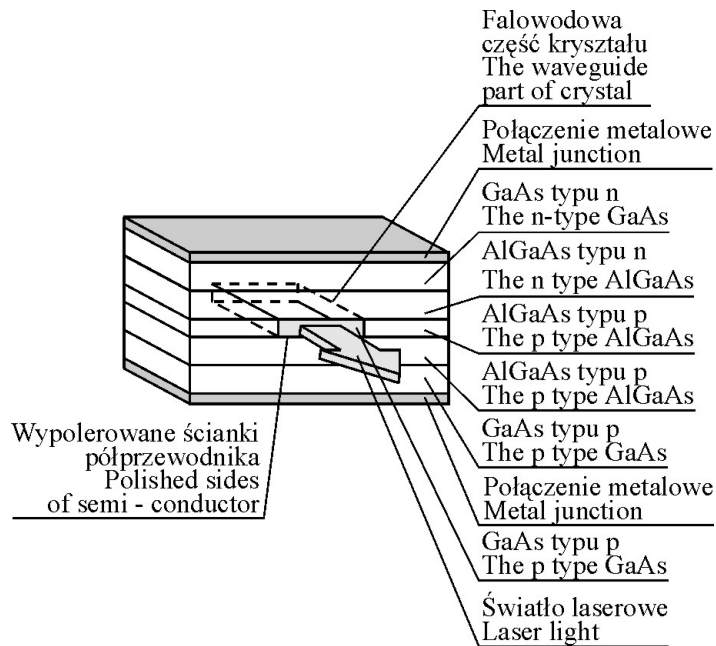
Zalety światłowodów, a w szczególności niewielkie średnice rdzenia rzędu setnych części milimetra rozszerzają ich zakres zastosowań w konstrukcjach przyrządów i systemów pomiarowych w szczególności dla potrzeb geodezji inżynierskiej oraz instrumentoznawstwa geodezyjnego.

W aplikacjach dla technologii i technik pomiarowych w geodezji najbardziej użyteczne mogą być krótkie odcinki linii światłowodowych oraz złącza rozłączalne z centrowaniem stożkowym i z kolimacją soczewkową. Pozwalają one na opracowanie sensorów, przyrządów i telemetrycznych systemów pomiarowych, sprawdzianów i testerów dokładności użytkowej instrumentów geodezyjnych, zminiaturyzowanych

tarcz i sygnałów geodezyjnych oraz ich zaktywizowanie poprzez wprowadzenie modulacji.

4.2. Dioda laserowa

Specyficzne cechy światła laserowego, a więc: monochromatyczność, koherentność, mała rozbieżność wiązki i moc (Shimoda, 1993; Booth, Hill, 2001), a także niewielkie rozmiary źródła światła laserowego przyczyniły się do powstania szeregu instrumentów laserowych (Dubik, 1991), w szczególności geodezyjnych (Pachuta, 1980). W początkowym okresie stosowanym źródłem światła były lasery He-Ne o mocy od 1 do 5 mW emitujące światło czerwone o długości fali 632,8 nm. Obecnie jako źródło światła wykorzystywane są coraz częściej i chętniej laserowe diody półprzewodnikowe (Jóźwik, 1995). Podstawą działania laserów jest wzmocnienie światła przez wymuszoną emisję promieniowania elektromagnetycznego, która zachodzi w układach molekuł, jonów i atomów będących w stanie inwersji obsadzeń odpowiednich poziomów energetycznych. Inwersje obsadzeń można uzyskać w tzw. procesie pompowania. Źródłami energii pompującej są procesy chemiczne, wyładowania elektryczne w gazach, prąd elektryczny. Na podstawie literatury (Watson, 2002) omówiono budowę fizyczną półprzewodnikowego lasera z arsenku galu (rys. 4.5).



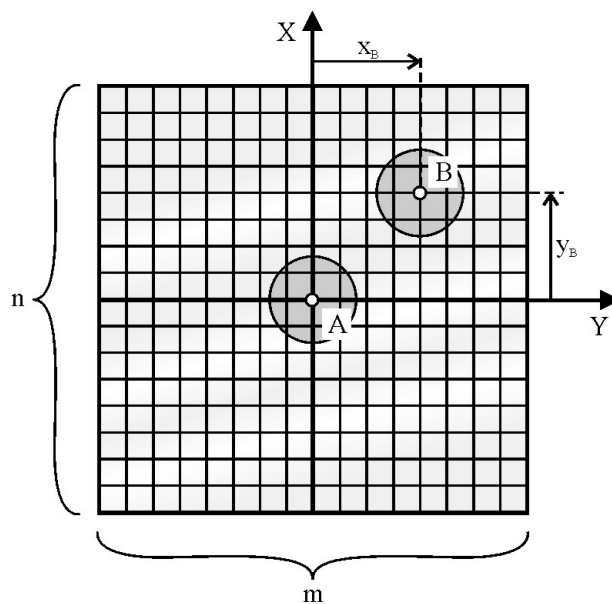
Rys. 4.5. Schemat diody laserowej z arsenku galu
 Fig. 4.5. Scheme of laser diode made of gallium arsenide

Doprowadzenie prądu wzbudzenia o wartości progowej do połączeń metalowych górnego i dolnego powoduje powstanie akcji laserowej. Światło wytwarzane jest w złączu $p-n$ (jak w diodzie elektroluminescencyjnej) i dociera do cienkiego paska (o wypolerowanych ściankach dokładnie płaskich i równoległych) z arsenku galu typu p umieszczonego w środkowej części diody (falowodowa część kryształu). Pasek charakteryzuje się większym współczynnikiem załamania niż materiał po jego obu stronach, co pozwala na występowanie zjawisk takich jak w światłowodach (wielokrotne odbicia światła wewnątrz paska). Przy odpowiedniej intensywności światła zaczynają się procesy laserowe. Fotony ulegają odbiciom w przód i tył wewnątrz paska kryształu, przy czym niektóre z nich zderzają się z elektronami w paśmie przewodzenia powodując uwalnianie się fotonów będących ze sobą w jednej fazie. Powstaje wówczas narastająca stymulowana emisja lawiny fotonów wydostających się przez jeden z boków kryształu w formie intensywnej wiązki światła o jednej częstotliwości. Wytworzona wiązka światła charakteryzuje się monochromatycznością, równoległością promieniowania i uporządkowaniem czasowo-przestrzennym emitowanej fali (koherencja przestrzenna i czasowa). Współczesne diody laserowe (lasery półprzewodnikowe) (Toshiba, 2004) emitują światło w zakresie promieniowania widzialnego 635–670 nm oraz w zakresie podczerwieni 800 nm i większym. Lasery półprzewodnikowe są małe i emitują światło w sposób ciągły w czasie od 3 do 10 tys. godzin. Ich wymiary przestrzenne są rzędu dziesiątych części milimetra ($0,1 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm} \times 0,3 \text{ mm}$), a powierzchnia złącza emisyjnego jest rzędu kilku setnych milimetra kwadratowego. Mogą być łatwo modulowane przez regulację prądu zasilającego oraz charakteryzują się małą mocą elektryczną w zakresie od mikrowatów do dziesiątek miliwatów. Wiązka laserowa emitowana z diody ma kształt eliptyczny (emisja z prostokątnego złącza), który opisuje się kątem rozbieżności podawanym w kierunku prostopadłym i równoległym do płaszczyzny złącza. Kąt w kierunku prostopadłym jest około czterech razy większy od kąta w kierunku równoległym. Wspomniana rozbieżność jest duża (około 7° dla kierunku równoległego i około 30° dla kierunku prostopadłego), stąd też emitowana wiązka laserowa najczęściej jest kolimowana za pomocą miniaturowych układów optycznych do wartości poniżej jednego miliradiana. Dla aplikacji technicznych lasery półprzewodnikowe dostępne są w cylindrycznych obudowanych modułach laserowych składających się z optyki kolimującej, diody laserowej oraz zasilania. Spotykane wymiary modułów laserowych wynoszą: średnica 10 do 25 mm, długość 15 do 60 mm. Moduły laserowe zasilane są napięciem stałym z przedziału 3 do 12 volt, wykazują niewielki pobór prądu, z przedziału od kilkunastu do kilkudziesięciu miliamper i mogą być zasilane z akumulatorów o niewielkich pojemnościach. Zakres standardowych temperatur pracy modułów laserowych wynosi od -10° do 40°C przy wilgotności do 90%. Ze względów bezpieczeństwa stosuje się moduły o mocy wyjściowej około 3 mW. Rozbieżność wiązki laserowej emitowanej przez moduł wynosi około 0,5 do 1 mrad. Natomiast rozmiary eliptycznego obrazu plamki od około dziesiątych części milimetra i więcej można regulować dla zasięgu obserwacji optycznym układem kolimującym. Współczesne dążenie do miniaturyzacji podzespołów optoelektronicznych przyczyniło się do powstania mikromodułów laserowych (NVG Inc., 2006) w obudowach cylindrycznych o średnicy 6,4 mm i długości 8,8 mm. Wykazują one podobne właściwości jak standardowe moduły laserowe. Na jednoznaczność i dokładność otrzymanych

wyników obserwacji w pomiarach optycznych duży wpływ ma atmosfera, a zwłaszcza jej stan fizyczny (temperatura, ciśnienie, wilgotność). Światło laserowe propagowane w przestrzeni obserwacji podlega tym samym prawom fizycznym co światło zwykłe. Zmienność temperatury powietrza wzdłuż celowej odgrywa zasadniczą rolę w kształtowaniu się gęstości optycznej atmosfery i powoduje powstawanie zmiennego współczynnika załamania powietrza. Niejednorodność optyczna atmosfery powoduje zakrzywienie promienia laserowego jak światła zwykłego. Opracowane zostały sposoby eliminacji lub częściowego ograniczenia negatywnego wpływu czynników kształtujących atmosferę na ostateczne rezultaty pomiarów geodezyjnych z celowaniem optycznym i laserowym (Holejko, 1987; Gocał, 1993; Bryś, 1996; Rüeger, 1998; Hennes, i wsp., 1998). Badania prowadzone w Instytucie Geodezji Górniczej i Przemysłowej AGH w Krakowie (Jarzymowski, 1982) wykazały, że na transmisję światła lasera mają zasadniczy wpływ zapylenia oraz para wodna w atmosferze, zaś turbulencja powietrza wpływa na wahania i drgania promienia światła mogąc ograniczyć zasięg obserwacji. Podstawowym źródłem emisji laserowej stosowanych w geodezji przyrządów laserowych do niedawna były lasery helowo-neonowe. Znaczące wymiary laserów He-Ne, a także zasilanie ze źródeł o dużej pojemności z uwagi na znaczny pobór prądu wpływały niekorzystnie na gabaryty urządzeń laserowych oraz ich ciężar. Obecnie coraz częściej diody laserowe są elementami składowymi instrumentów geodezyjnych (np.: źródła światła dalmierzy, pionów laserowe), (Gorham, 1998; Płatek, 1995) oraz samodzielnych przyrządów pomiarowych (Lasseur, 1993; Gordon i wsp., 2003). Dla celów budowy oprzyrządowania wspomagającego wykazują najlepsze możliwości diody laserowe. Ich zastosowanie pozwoli na wizualizację linii odniesienia przy automatyzacji pomiarów obiektów wydłużonych, sygnalizację punktów celu, przeniesienie miejsca pomiaru od instrumentu do punktu celu, wykonywanie obserwacji w warunkach złego oświetlenia oraz w nocy, a także jako źródło światła przy budowie geodezyjnego oprzyrządowania światłowodowego.

4.3. Matryca CCD (Charge Coupled Device)

Przy zastosowaniu techniki laserowej w geodezji istotna jest detekcja służąca do wyznaczenia współrzędnych środka wiązki laserowej. Rozróżniane są następujące metody określania środka wiązki laserowej: wizualna, w której położenie środka wiązki ustalana jest za pomocą wzroku obserwatora, fotoelektryczna, w której do określania środka wiązki wykorzystywane są fotodetektory (fotodiody, fototranzystory itp.) oraz przetworniki obrazu – czyli matryce CCD stosowane w różnych odmianach w fotogrametrii i teledetekcji (Sitek, 1992). Obrazy cyfrowe powstają, gdy odbite od obiektu światło pada na układ elementów fotoczułych tworzących liniową matrycę CCD, prostokątną lub okrągłą, przetwarzających światło na prąd elektryczny w układzie o sprzężeniu ładunkowym (Booth, Hill, 2001; Sitek, 1992). Układ elementów fotoczułych matrycy CCD najczęściej zestawiony jest w n wierszy i m kolumn tworząc macierz obrazową (rys. 4.6). Dowolny element wspomnianej macierzy można określić poprzez indeks j wiersza oraz indeks k kolumny, przy czym jest $j = 1, 2, \dots, n$, $k = 1, 2, \dots, m$ (Płatek, 1995).



Rys. 4.6. Widok układu elementów fotoczułych matrycy CCD
 Fig. 4.6. View of photosensitive elements arrangement of charge-coupled device matrix

Odbierany przetwornikiem CCD obraz jest podzielony na powierzchnie zwane pikselami obrazowymi o przyporządkowaniu wierszowym j i kolumnowym k . Każdemu z pikseli obrazowych można przypisać stopień szarości w cyfrowej 8-bitowej skali, gdzie wartości początkowej 0 odpowiada kolor czarny a wartości końcowej 255 kolor biały. Po detekcji wiązki laserowej matrycą CCD pomiar i określenie środka wiązki odbywa się w układzie współrzędnych pikseli matrycy na zasadzie całkowania pikseli, na których znajduje się plamka wiązki i dokonuje uśrednienia jej środka.

Powszechna dostępność przetworników CCD otwiera wiele możliwości ich aplikacji w geodezji (Płatek, 1995; Józwiak, Jaśkowski, 2003; Grafarend, Mader, 1991; Halim, Setan, Mohd Sharuddin Ibrahim, 2003; Pahnke, 1991; Kahmen, 1996, 1998; Haggren, 1993; Cosandier, Chapman, 1993; Azzoni i wsp., 1998). Stosowanie matryc CCD rozszerza możliwości prowadzenia obserwacji instrumentami geodezyjnymi w zakresie: automatycznego rozpoznawania celu, jednoczesnej obserwacji kilku celów, poszerzenia widma obserwacyjnego (np. bliska podczerwień), prowadzenia obserwacji kinematycznych.

5. WYBRANE ROZWIĄZANIA TECHNICZNE I TECHNOLOGICZNE SYSTEMÓW I PRZYRZĄDÓW DO POZYSKIWANIA INFORMACJI POMIAROWYCH

Na obiektach inżynierskich obserwacje prowadzone są metodami geodezyjnymi oraz fizycznymi. W metodach geodezyjnych, w zależności od realizowanych zadań geodezyjnych używane są niwelatory, teodolity, tachymetry, dalmierze, stacje GPS. Niezbędne jest także oprzyrządowanie wspomagające, służące do ustawienia instrumentów, ich poziomowania i centrowania, a także sygnalizowania punktów podlegających pomiarom w przestrzeni obserwacji.

Podstawowe oprzyrządowanie wspomagające wykorzystywane w metodach geodezyjnych stanowią sygnały. Wyróżnić wśród nich można tarcze, tyczki, reflektory i łąty. Jako uzupełniające metody geodezyjne, do pomiarów deformacji i względnych przemieszczeń obiektów inżynierskich, stosowane są specjalistyczne urządzenia pomiarowo-kontrolne. Służą one głównie do pomiarów liniowych zmian długości (szczelinomierze, ekstensometry), pochyleń (pochyłomierze, wahadła, pionowniki optyczne i laserowe, libelle elektroniczne, inklinometry) oraz przemieszczeń pionowych (niwelatory hydrostatyczne). Pozwalają one osiągnąć najwyższą dokładność pomiarową (rzędu kilku setnych milimetra) w niedużej przestrzeni obserwacji (Bryś, Przewłocki, 1998; Cacoń, 2001; Janusz, 1975).

Spotykana w praktyce specyfika obiektów inżynierskich stanowi często utrudnienie pomiarowe dla zastosowania klasycznych instrumentów pomiarowych z oprzyrządowaniem. Stąd też pojawia się zapotrzebowanie na przyrządy i systemy wspomagające obserwacje oraz podnoszące dokładności pomiarowe. W tym zakresie autor zaproponował następujące rozwiązania:

- przyrządy do sygnalizowania i oznaczania geodezyjnych punktów celu,
- urządzenia do pomiaru różnic wysokości, pochyleń oraz odchyleń od prostej odniesienia oraz zmian temperatury obiektu,
- aparatura do laboratoryjnego kontrolowania i testowania instrumentów geodezyjnych.

5.1. Przyrządy i systemy światłowodowe

5.1.1. Sygnalizatory celu

Podczas wykonywania geodezyjnych pomiarów kątowych, kierunkowych i odległościowych spełniony musi być warunek jednoznacznego sygnalizowania położenia punktu pomiarowego w przestrzeni obserwacyjnej zarówno na stanowisku instrumentu, jak i stanowisku celu. W pomiarach wykonywanych teodolitem lub tachimetrem elektronicznym występuje niewielki błąd przypadkowy zwany błędem celu, wynikający z niepokrywania się kierunku osi celowej z danym znakiem lub kształtem

celu. Wielkość błędu celu uzależniona jest od następujących czynników: czułości oka obserwatora, parametrów (cech) optycznych i konstrukcyjnych lunety, rodzaju znaku lub kształtu celu, środowiska pomiarowego. Istotne jest również oznaczenie punktu pomiarowego danym typem sygnału. Najczęściej jest nim tarcza celownicza (Leica Heerbrugg AG, Wild. AG-Wild-Leitz, Nikon, Sokkisha Co. LTD, Zeiss C. (Oberkochen, Jena), Opton Feintechnik GmbH, Kern, 1980 ÷ 2005) ustawiana na statywach i spodarkach, na których również mogą być mocowane instrumenty geodezyjne. Tarcze są poziomowane za pomocą libell oraz centrowane za pomocą pionów. Zastosowanie w geodezji znajdują tarcze o różnych kształtach, najczęściej kwadrat lub prostokąt i o wymiarach skrajnych od 40 do 300 mm. Tarcze posiadają rysunek i barwy pozwalające wykorzystywać podczas celowania zjawisko koincydencji, bisekcji i symetrii. Stosowane są również niewielkie kwadratowe odbłaskowe tarcze foliowe o wymiarach od 20 do 60 mm, które oprócz rysunku służącego do nacelowań kątowych umożliwiają wykonywanie pomiarów odległościowych do około 200 m. Oprócz wyżej opisanych rodzajów tarcz stosowane są również kwadratowe tarcze przyklejane: aluminiowe o rozmiarach od 60 do 100 mm, z tworzywa sztucznego okrągłe oraz kwadratowe o rozmiarach 30 do 40 mm. Tarcze mocowane są również za pomocą magnesu lub klamry. Wymiary spotykanych tarcz, sposób oznaczania punktu (najczęściej bezstykowy za pomocą pionu optycznego) oraz kształt znaku celowniczego tarczy, zwłaszcza przy krótkich celowych mają wpływ na dokładność pomiarów kątowych (Gocał, 1993; Janusz, 1975; Deumlich, 1988).

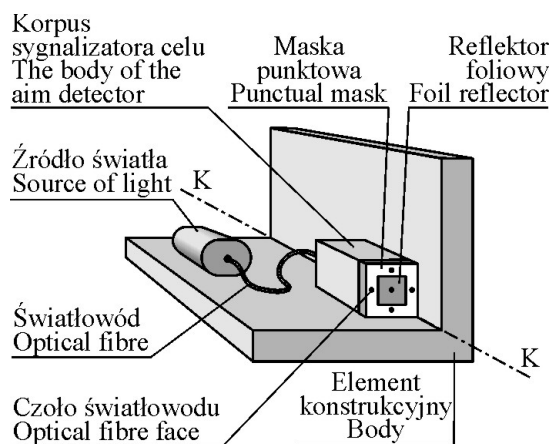
Proponowane światłowodowe sygnalizatory celu jako podstawowy element konstrukcyjny posiadają światłowód włóknisty, który w ułożeniu pojedynczym lub mnogim, w odpowiedniej konfiguracji pozwolił na opracowanie form:

- punktowych,
- liniowych,
- przestrzennych.

Części podzespołów obiektów inżynierskich można wyróżnić i opisać jako elementy, figury i bryły geometryczne, takie jak: punkt, prosta, płaszczyzna, okrąg, kula, walec, stożek itd. Wyróżnione elementy i figury geometryczne najefektywniej sygnalizować można wprowadzając różne typy sygnalizatorów.

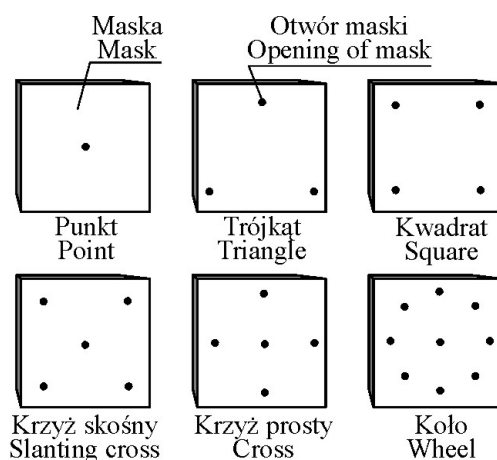
5.1.1.1. Punktowy światłowodowy sygnalizator celu

Na rysunku 5.1 przedstawiono schemat budowy i działania punktowego światłowodowego sygnalizatora celu (Ćmielewski, 2002a).



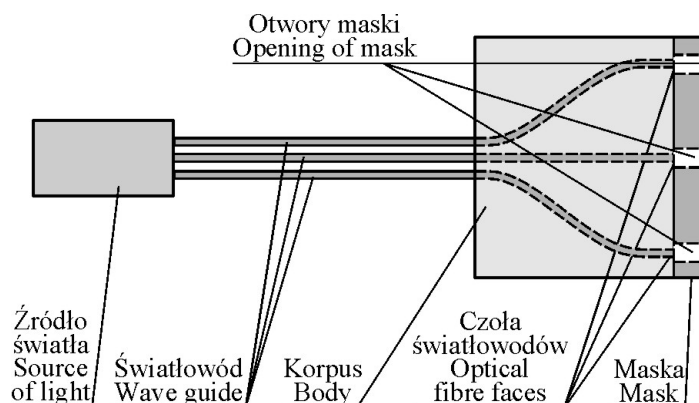
Rys. 5.1. Schemat działania światłowodowego sygnalizatora celu (SSC)
 Fig. 5.1. Operation scheme of optical fibre target indicator (SSC)

W przypadku wykonywania obserwacji kątowych, na przykład pomiarów krawędzi K–K, na elemencie konstrukcyjnym ustawia się korpus tak, aby jego boczne ścianki tworzyły wspomnianą krawędź K–K. Po włączeniu źródła światła – światło propagowane przez wiązkę światłowodową widziane jest na czołach światłowodów w przedniej ściance korpusu jako zbiór świecących punktów. W zależności od warunków obserwacji do przedniej ścianki korpusu można przymocować odpowiednią płytkę maskującą (rys. 5.2) z otworami tworzącymi figury: koła, krzyża, kwadratu, trójkąta i punktu. Wówczas obserwacje wykonuje się do świecących w otworach płytki maskującej czoł światłowodów przesuniętych względem krawędzi K–K o określone wielkości konstrukcyjne korpusu.



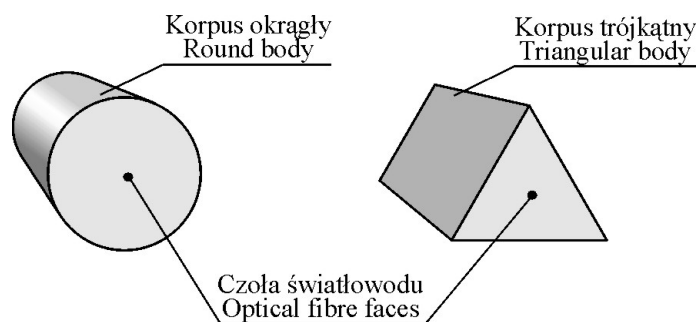
Rys. 5.2. Wzory płytek maskujących światłowodowego sygnalizatora celu
 Fig. 5.2. Masking plates exemplars of optical fibre target indicator

Na rysunku 5.3 przedstawiono sygnalizator celu w rzucie pionowym.



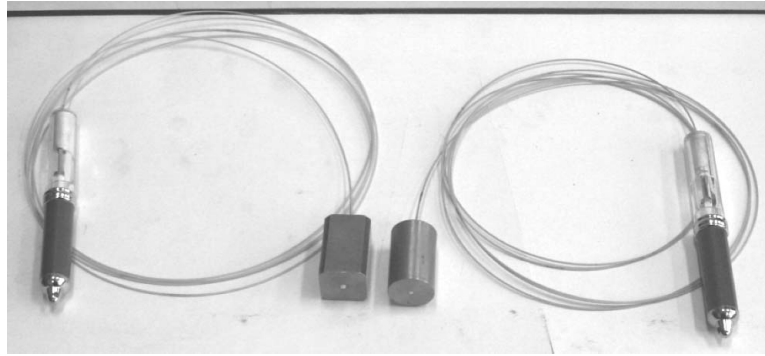
Rys. 5.3. Rzut pionowy światłowodowego sygnalizatora celu
Fig. 5.3. Vertical view of optical fibre target indicator

Podczas prowadzonych pomiarów na obiektach inżynierskich mogą być również stosowane wymiennie korpusy punktowego sygnalizatora celu w formach przedstawionych na rysunku 5.4.



Rys. 5.4. Przykłady korpusów punktowego światłowodowego sygnalizatora celu
Fig. 5.4. Body sample of point optical fibre target indicator

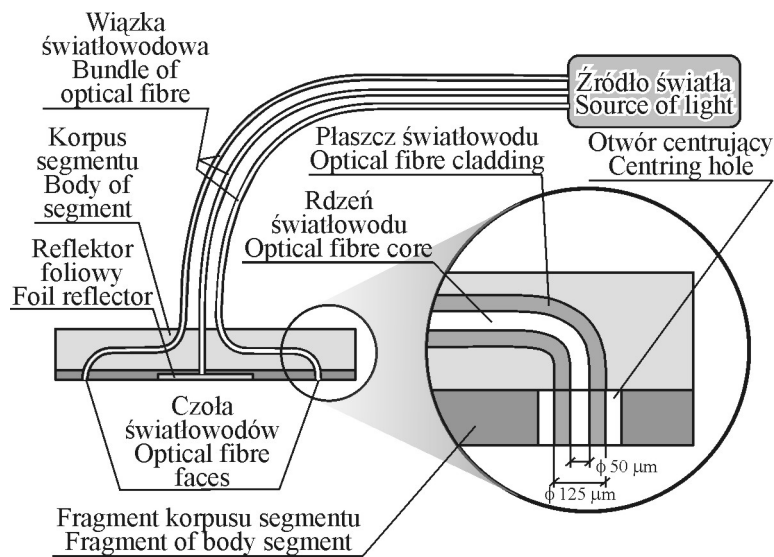
Na rysunku 5.5 zaprezentowano prototypy przykładowych form korpusów z punktowymi sygnalizatorami światłowodowymi, każdy o średnicy rdzenia 0,05 mm.



Rys. 5.5. Widok punktowych sygnalizatorów światłowodowych, z lewej strony w korpusie o przekroju kwadratowym, z prawej strony w korpusie o przekroju okrągłym
 Fig. 5.5. View of point optical fiber target indicator: square section body (left), round section body (right)

5.1.1.2. Liniowy światłowodowy sygnalizator celu

Punkty i linie pomiarowe zlokalizowane na zabudowanych elementach obiektów inżynierskich można sygnalizować nasadkowym segmentem światłowodowym NSS (Ćmielewski 2002d) przedstawionym schematycznie na rysunku 5.6.

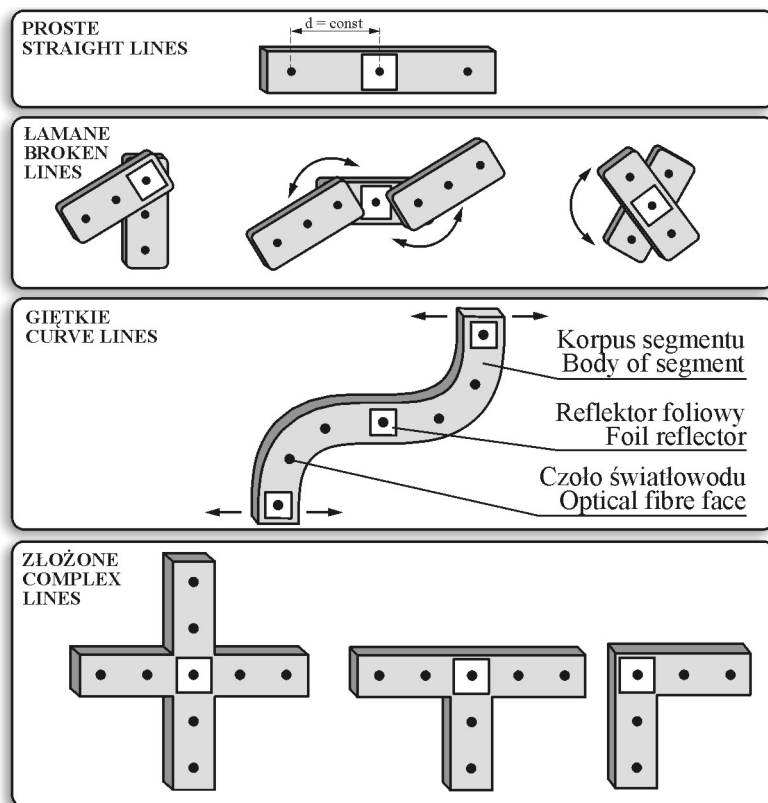


Rys. 5.6. Schemat budowy nasadkowego segmentu światłowodowego
 Fig. 5.6. Construction scheme of optical fibre attachment segment

W zależności od rodzaju badanego kształtu elementu inżynierskiego wyróżnić można następujące typy liniowych NSS:

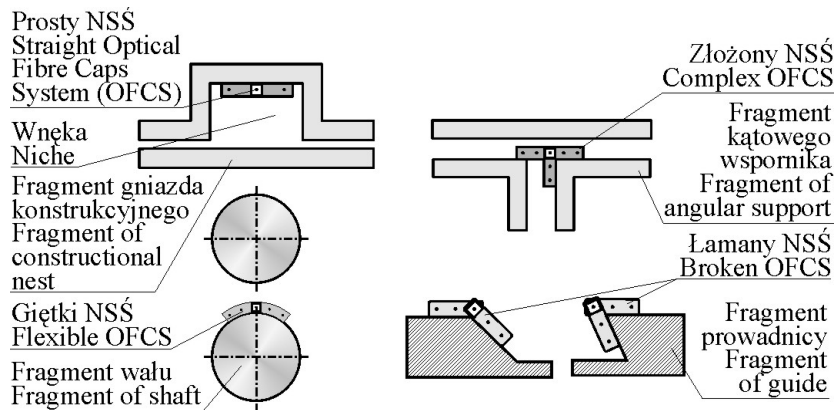
- proste,
- złożone,
- łamane,
- giętkie,

co zobrazowano na rysunku 5.7.



Rys. 5.7. Ilustracja typów liniowych nasadkowych systemów światłowodowych (NSS)
 Fig. 5.7. Illustration of optical fiber linear attachment systems types (NSS)

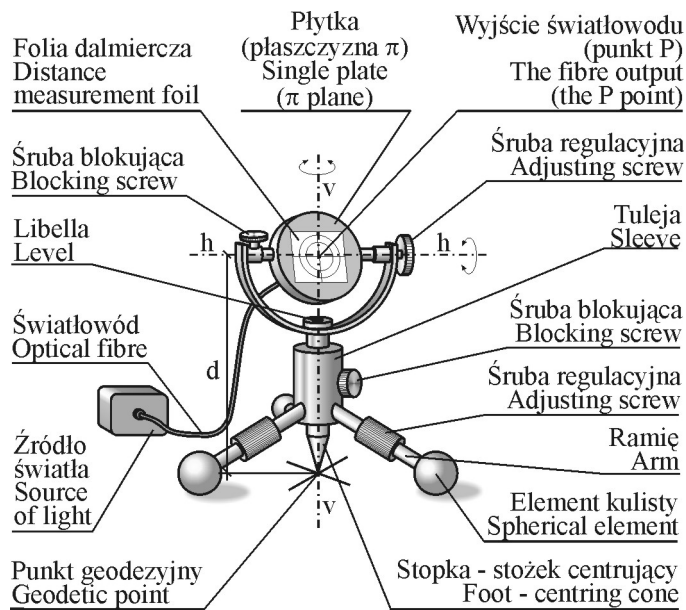
Podczas wykonywania pomiarów geodezyjnych na obiektach inżynierskich można zastosować nasadkowe segmenty światłowodowe NSS w przykładowych ujęciach jak na rysunku 5.8.



Rys. 5.8. Przykład markowania kształtów i elementów obiektów inżynierskich za pomocą NSS
 Fig. 5.8. Marking example of form and elements of engineering objects with the help of NSS

5.1.1.3. Przestrzenny światłowodowy sygnalizator PŚS celu

W przypadkach gdy elementy obiektów inżynierskich mają kształt nieliniowy, np. sferyczny, stosowanie typowych sygnalizatorów jest nieefektywne. Problem sygnalizacji dowolnego kształtu rozwiązuje opracowany przez autora przestrzenny światłowodowy sygnalizator celu (rys. 5.9).



Rys. 5.9. Schemat budowy przestrzennego światłowodowego sygnalizatora (projekt)
 Fig. 5.9. Structure scheme of three-dimensional optical fiber indicator (project)

W sygnalizatorze przedstawionym na rysunku 5.9 można wyróżnić następujące geometryczne elementy konstrukcyjne:

$v-v$ – pionowa oś obrotu sygnalizatora,

$h-h$ – pozioma oś obrotu płytki,

π – płaszczyzna płytki,

P – punkt celu,

d – stała odległość od stopki centrującej do punktu celu P .

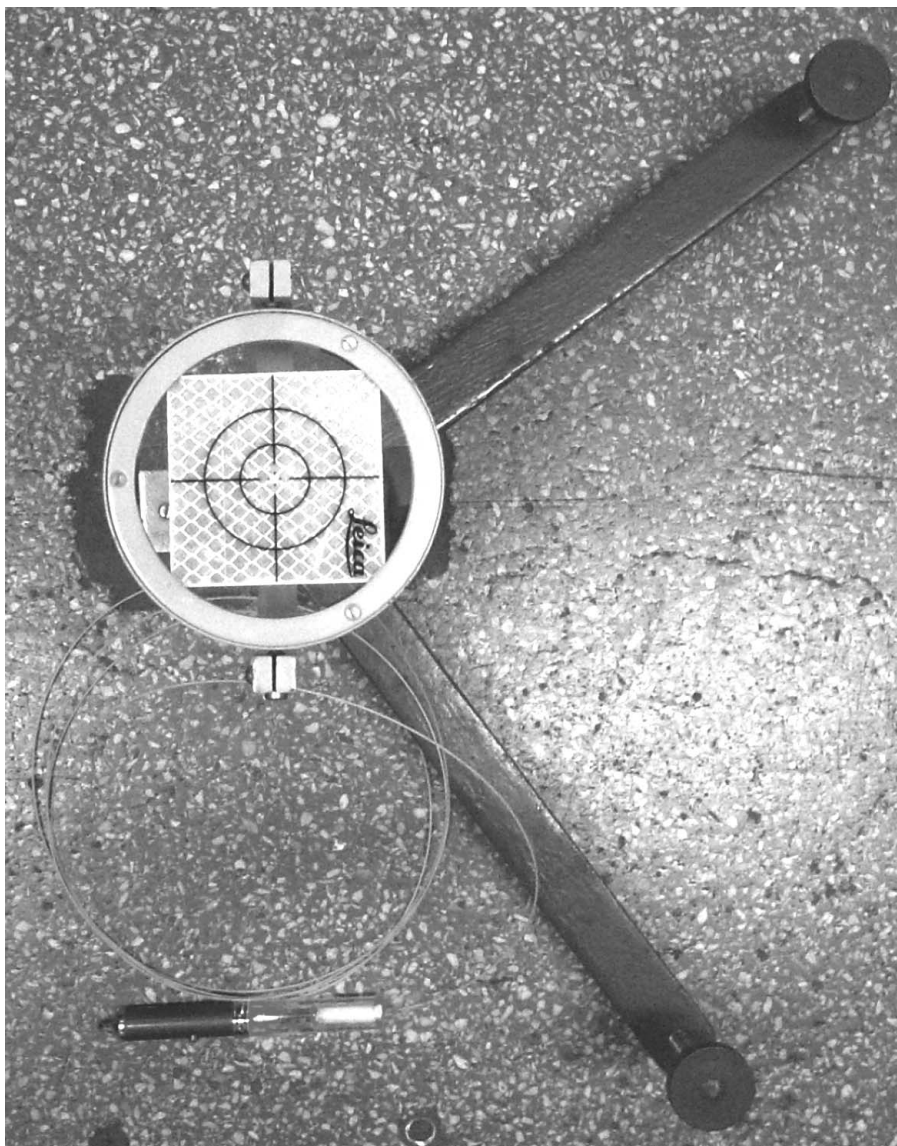
Wymienione elementy przestrzennego światłowodowego sygnalizatora podczas prowadzenia obserwacji geodezyjnych powinny spełniać określone warunki geometryczne. Pionowa oś obrotu sygnalizatora $v-v$ powinna pokrywać się z punktem geodezyjnym. Pozioma oś obrotu płytki $h-h$ powinna przecinać się w jednym punkcie celu P z pionową osią obrotu sygnalizatora $v-v$. Wspomniane osie obrotu, pozioma $h-h$ i pionowa $v-v$ powinny leżeć w płaszczyźnie płytki π . Punkt celu P winien zachowywać stałą odległość d względem stopki przestrzennego światłowodowego sygnalizatora.

Na rysunkach 5.10 i 5.11 przedstawiono skonstruowany przez autora prototyp PŚS.



Rys. 5.10. Przestrzenny sygnalizator światłowodowy w trakcie testowania; widok z przodu

Fig. 5.10. In the course of testing three-dimensional optical fibre indicator; front view



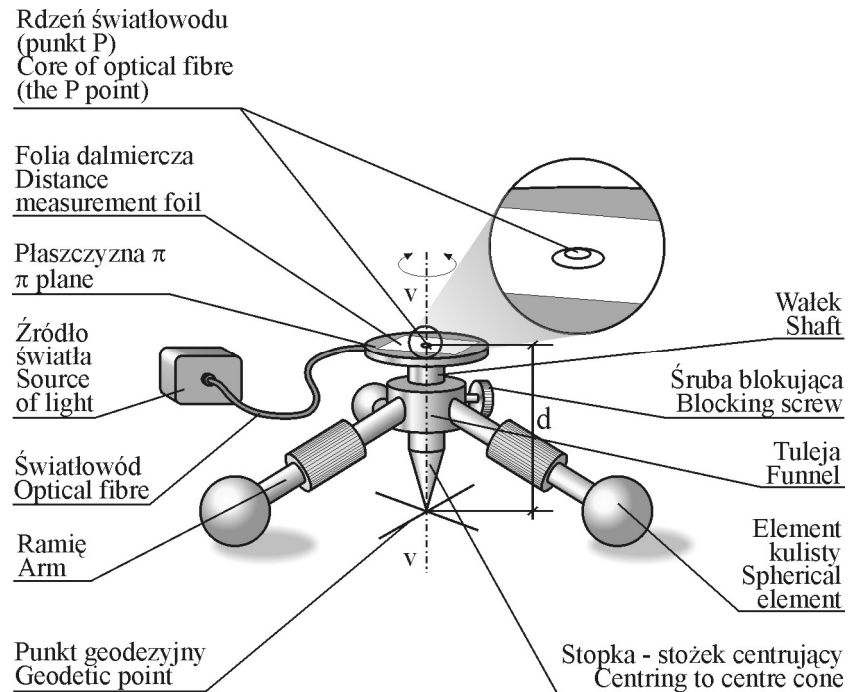
Rys. 5.11. Przestrzenny sygnalizator światłowodowy w trakcie testowania; widok z góry
Fig. 5.11. In the course of testing three-dimensional optical fibre indicator; top view

Inną formą użytkową uproszczonego przestrzennego światłowodowego sygnalizatora jest konstrukcja przedstawiona na rysunkach 5.12 i 5.13. Przez analogię do przestrzennego światłowodowego sygnalizatora w wersji pełnej (rys. 5.9) w uproszczonej

formie konstrukcyjnej sygnalizatora można wyróżnić następujące elementy geometryczne:

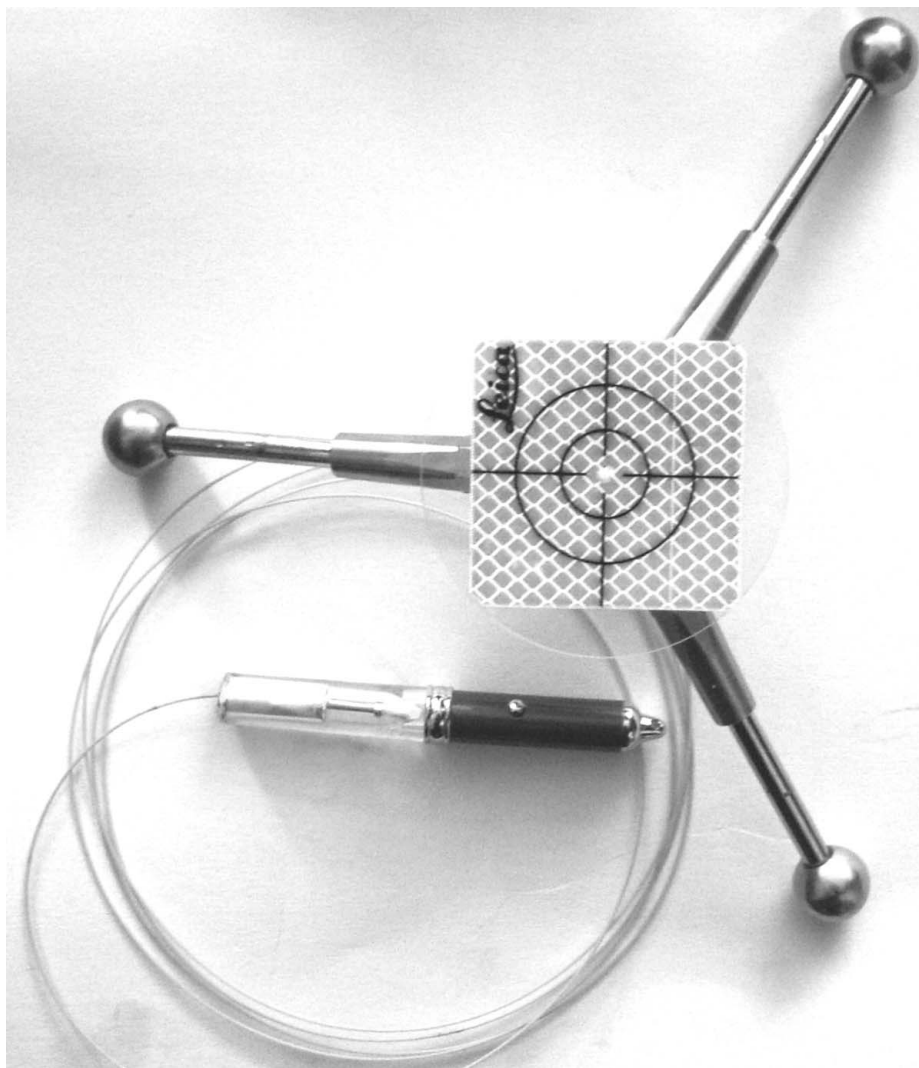
$v-v$ – pionowa oś sygnalizatora,

P – punkt celu.



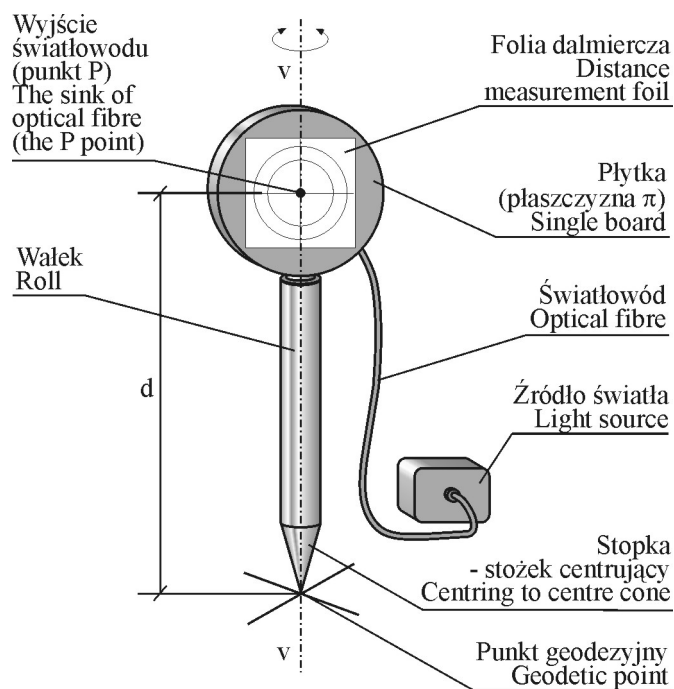
Rys. 5.12. Schemat budowy uproszczonego przestrzennego światłowodowego sygnalizatora (projekt)

Fig. 5.12. Structure scheme of simplified three-dimensional optical fibre indicator (project)



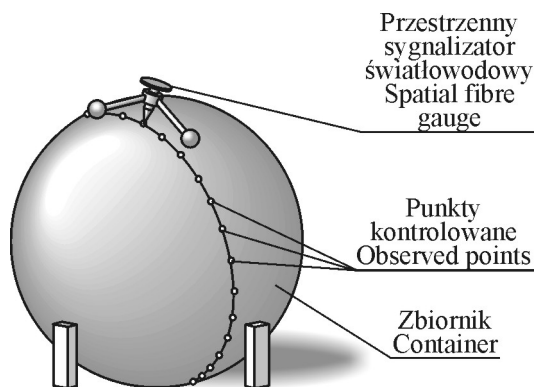
Rys. 5.13. Widok prototypu uproszczonego przestrzennego sygnalizatora światłowodowego
Fig. 5.13. Prototype of simplified three-dimensional optical fibre indicator

Najprostszą konstrukcję przestrzennego światłowodowego sygnalizatora przedstawiono na rysunku 5.14. Charakteryzuje się ona wyeliminowaniem jego stałego podzespołu podpierającego. W odniesieniu do występujących w sygnalizatorze prostym relacji geometrycznych jedyną różnicą w nawiązaniu do sygnalizatora uproszczonego omówionego na rysunku 5.12 jest spełnienie warunku pokrywania się płaszczyzny płytki z pionową osią sygnalizatora $v-v$.



Rys. 5.14. Schemat budowy prostego przestrzennego światłowodowego sygnalizatora (projekt)
 Fig. 5.14. Structure scheme of simple three-dimensional optical fibre indicator (project)

Przykładowe ustawienie pomiarowe przestrzennego światłowodowego sygnalizatora na elemencie konstrukcyjnym, charakteryzującym się powierzchnią drugiego stopnia, przedstawiono na rysunku 5.15.



Rys. 5.15. Przykład ustawień pomiarowych przestrzennego światłowodowego sygnalizatora
 Fig. 5.15. Examples of three-dimensional optical fiber indicator measuring setups

W celu określenia wstępnych dokładności pomiaru kierunków: poziomego i pionowego do sygnalizatorów światłowodowych, przy ich zastosowaniu do obserwacji kątowych na obiektach inżynierskich, wykonano badania na laboratoryjnej bazie długościowej zlokalizowanej w korytarzu przyziemia KGiF we Wrocławiu. Doświadczenia przeprowadzono dla zmiennej odległości tachymetru TC1800 od modelu światłowodowego sygnalizatora celu. Po ustawieniu na końcach wybranych odcinków testowych instrumentu oraz prototypu światłowodowego sygnału dokonywano dziesięciokrotnych nacełowań krzyżem nitki na świecącej rdzeń światłowodu sygnalizatora. Do badań użyto światłowodów o średnicy rdzenia 0,05 mm i 0,98 mm. Wyniki pomiarów doświadczalnych przedstawiono w tabelach 5.1 i 5.2 oraz na rysunkach 5.16 i 5.17.

Tabela 5.1

Table 5.1

Zestawienie błędów pomiaru kierunku dla światłowodu o średnicy rdzenia 0,05 mm
Table of direction measurement errors for optical fibre with core diameter of 0,05 mm

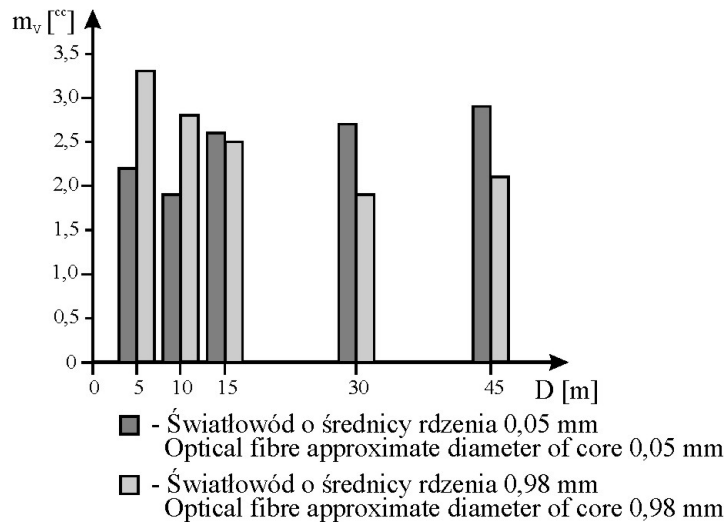
Odległość Distance [m]	5	10	15	30	45
Błąd kierunku poziomego Horizontal direction error [^{cc}]	2,1	2,0	2,4	3,0	2,8
Błąd kierunku pionowego Vertical direction error [^{cc}]	2,2	1,9	2,6	2,7	2,9

Tabela 5.2

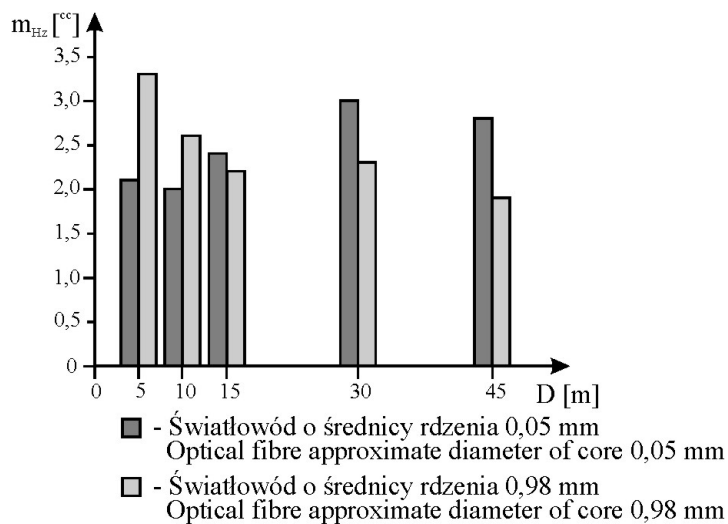
Table 5.2

Zestawienie błędów pomiaru kierunku dla światłowodu o średnicy rdzenia 0,98 mm
Table of direction measurement errors for optical fibre with core diameter of 0,98 mm

Odległość Distance [m]	5	10	15	30	45
Błąd kierunku poziomego Horizontal direction error [^{cc}]	3,3	2,6	2,2	2,3	1,9
Błąd kierunku pionowego Vertical direction error [^{cc}]	3,3	2,8	2,5	1,9	2,1

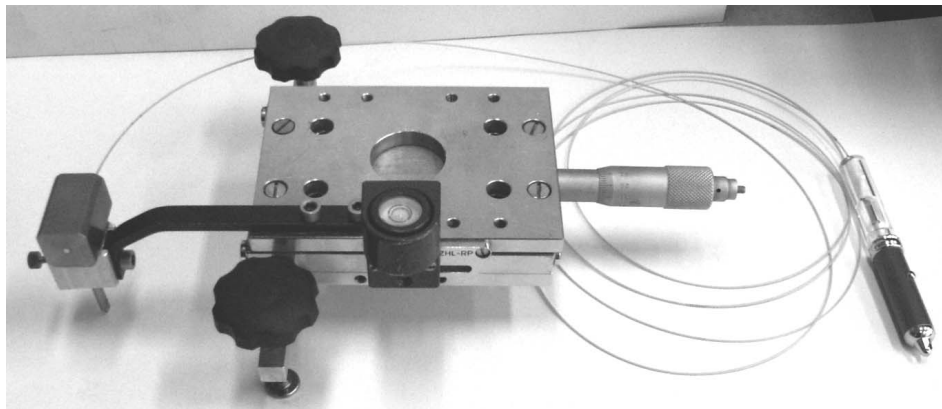


Rys. 5.16. Wykres błędów pomiaru kierunku pionowego dla światłowodów o średnicy rdzeni: 0,05 i 0,98 mm
 Fig. 5.16. Diagram of vertical direction measurement errors for optical fiber with diameter between 0,05 and 0,98 mm



Rys. 5.17. Wykres błędów pomiaru kierunku poziomego dla światłowodów o średnicy rdzeni: 0,05 i 0,98 mm
 Fig. 5.17. Diagram of horizontal direction measurement errors for optical fiber with diameter between 0,05 and 0,98 mm

Dla sprawdzenia możliwości zastosowania punktowych sygnalizatorów światłowodowych do pomiaru długości niewielkich odcinków wykonano na laboratoryjnej bazie długościowej KGiF we Wrocławiu serię pomiarów testowych z wykorzystaniem symulatora przesunięć mikrometrycznych (rys. 5.18).



Rys. 5.18. Mikrometryczny symulator przesunięć poziomych z prototypem punktowego sygnalizatora światłowodowego

Fig. 5.18. Micrometric horizontal displacement simulator with prototype of punctual optical fibre indicator

Dla oszacowania dokładności pomiaru długości danego odcinka przeprowadzono serię obserwacji przy wybranych odległościach pomiędzy stanowiskiem tachymetru TC1800 a mikrometrycznym symulatorem wyposażonym w punktowy sygnalizator światłowodowy. Obserwowanymi wielkościami były kąty poziome, których ramiona opierały się na końcach symulowanych odcinków. Wyniki eksperymentu dla wybranych odległości przedstawiono w tabelach od 5.3 do 5.7, a na rysunku 5.19 zaprezentowano przykładowy rozkład różnic długości odcinków dla symulowanej długości równej 5 mm.

Wartości uśrednionych odcinków d_{pi} z pomiarów kątowych do punktowego sygnalizatora światłowodowego każdorazowo obliczano na podstawie poniższego wzoru:

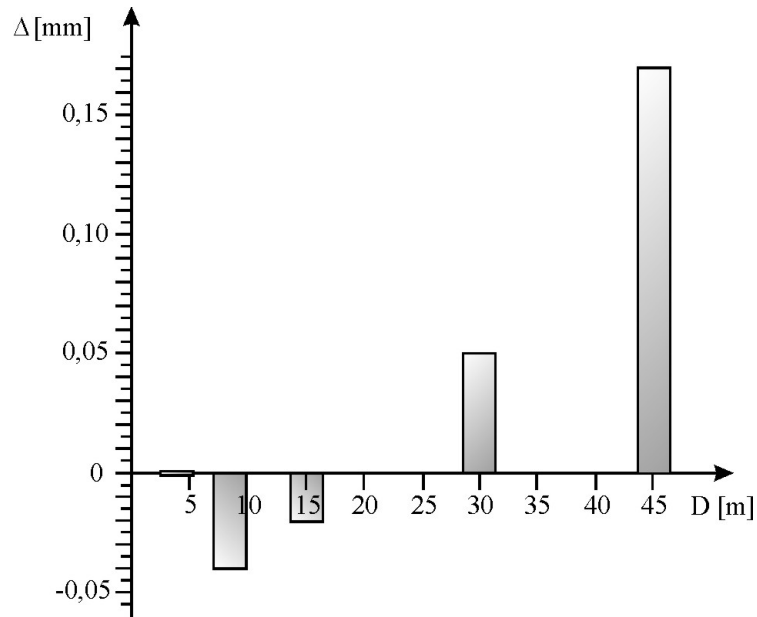
$$d_{pi} = \frac{\alpha_{pi}}{\rho} \cdot D_i \quad (5.1)$$

gdzie:

α_{pi} – uśredniony pomierzony kąt,

D_i – odległość pomiędzy stanowiskiem instrumentu a mikrometrycznym symulatorem przesunięć,

$\rho^{cc} = 636620^{cc}$.



Rys. 5.19. Wykres rozkładu różnic długości odcinków (wartość symulowana – wartość obserwowana)
 Fig. 5.19. Schedule diagram of segment length difference (simulated value – observed value)

Tabela 5.3
 Table 5.3

Zestawienie wyników pomiarów długości odcinka zadanego mikrometrycznym symulatorem z punktowym sygnalizatorem światłowodowym dla odległości $D = 4,021$ m
 Table of section length measurement results. The section was designated by means of micrometric simulator with optical fibre target indicator for distance $D = 4,021$ m

Lp.	Uśredniony pomierzony kąt poziomy Averaged horizontal angle α_{P_i} [grad]	Długość symulowanego odcinka Length of simulated section d_{S_i} [mm]	Uśredniona długość pomierzonego odcinka Averaged section length d_{P_i} [mm]	Różnica długości odcinków Section length difference $\Delta = d_{S_i} - d_{P_i}$ [mm]
1	0,0200	1,25	1,26	-0,01
2	0,0397	2,50	2,51	-0,01
3	0,0594	3,75	3,75	0,00
4	0,0792	5,00	5,00	0,00

Tabela 5.4

Table 5.4

Zestawienie wyników pomiarów długości odcinka zadanego mikrometrycznym symulatorem z punktowym sygnalizatorem światłowodowym dla odległości $D = 8,105$ m

Table of section length measurement results. The section was designated by means of micrometric simulator with optical fibre target indicator for distance $D = 8,105$ m

Lp.	Uśredniony pomierzony kąt poziomy Averaged horizontal angle α_{Pi} [grad]	Długość symulowanego odcinka Length of simulated section d_{Si} [mm]	Uśredniona długość pomierzonego odcinka Averaged section length d_{Pi} [mm]	Różnica długości odcinków Section length difference $\Delta = d_{Si} - d_{Pi}$ [mm]
1	0,0100	1,25	1,23	0,02
2	0,0197	2,50	2,51	-0,01
3	0,0296	3,75	3,73	0,02
4	0,0396	5,00	5,04	-0,04

Tabela 5.5

Table 5.5

Zestawienie wyników pomiarów długości odcinka zadanego mikrometrycznym symulatorem z punktowym sygnalizatorem światłowodowym dla odległości $D = 15,006$ m

Table of section length measurement results. The section was designated by means of micrometric simulator with optical fibre target indicator for distance $D = 15,006$ m

Lp.	Uśredniony pomierzony kąt poziomy Averaged horizontal angle α_{Pi} [grad]	Długość symulowanego odcinka Length of simulated section d_{Si} [mm]	Uśredniona długość pomierzonego odcinka Averaged section length d_{Pi} [mm]	Różnica długości odcinków Section length difference $\Delta = d_{Si} - d_{Pi}$ [mm]
1	0,0053	1,25	1,25	0,00
2	0,0107	2,50	2,53	-0,03
3	0,0158	3,75	3,72	0,03
4	0,0213	5,00	5,02	-0,02

Tabela 5.6

Table 5.6

Zestawienie wyników pomiarów długości odcinka zadanego mikrometrycznym symulatorem z punktowym sygnalizatorem światłowodowym dla odległości $D = 29,992$ m

Table of section length measurement results. The section was designated by means of micrometric simulator with optical fibre target indicator for distance $D = 29,992$ m

Lp.	Uśredniony pomierzony kąt poziomy Averaged horizontal angle α_{Pi} [grad]	Długość symulowanego odcinka Length of simulated section d_{Si} [mm]	Uśredniona długość pomierzonego odcinka Averaged section length d_{Pi} [mm]	Różnica długości odcinków Section length difference $\Delta = d_{Si} - d_{Pi}$ [mm]
1	0,0027	1,25	1,27	-0,02

2	0,0053	2,50	2,50	0,00
3	0,0080	3,75	3,77	-0,02
4	0,0105	5,00	4,95	0,05

Tabela 5.7
Table 5.7

Zestawienie wyników pomiarów długości odcinka zadanego mikrometrycznym symulatorem z punktowym sygnalizatorem światłowodowym dla odległości $D = 45,241$ m
Table of section length measurement results. The section was designated by means of micrometric simulator with optical fibre target indicator for distance $D = 45,241$ m

Lp.	Uśredniony pomierzony kąt poziomy Averaged horizontal angle α_{Pi} [grad]	Długość symulowanego odcinka Length of simulated section d_{Si} [mm]	Uśredniona długość pomierzonego odcinka Averaged section length d_{Pi} [mm]	Różnica długości odcinków Section length difference $\Delta = d_{Si} - d_{Pi}$ [mm]
1	0,0018	1,25	1,28	-0,03
2	0,0038	2,50	2,70	-0,20
3	0,0053	3,75	3,77	-0,02
4	0,0068	5,00	4,90	0,17

Dodatkowo dla oka nieuzbrojonego wyznaczono przybliżony kąt czołowego widzenia świecącego rdzenia światłowodu, przy propagacji światła czerwonego i białego. Wyniki badań zestawiono w tabeli 5.8.

Tabela 5.8
Table 5.8

Zestawienie wyników badań kąta widzenia świecącego rdzenia światłowodu w sygnalizatorze punktowym
Results table of optical fibre shining core sight angle tests in target indicator

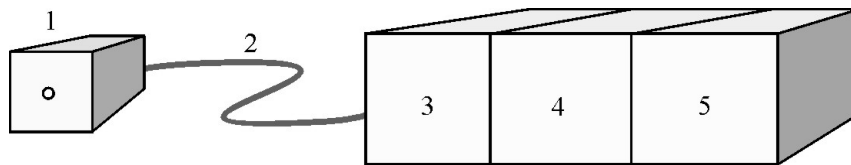
Średnica rdzenia światłowodu Diameter of optical fibre core [mm]	Kąt widzenia Angle of sight [°]	
	Światło białe White light	Światło czerwone Red light
0,05	77	72
0,98	149	146

5.1.1.4. Sygnalizatory aktywne

W klasycznych pomiarach geodezyjnych istotna jest reakcja oka na zjawisko koincydencji, bisekcji, szacowania oraz złudzenia optyczne (Tatarczyk, 1984). Oko ludzkie reaguje na szereg bodźców, które dostrzega, a następnie określa pod względem położenia, odległości kształtu i barwy (Zajac, 2003). Stąd też, dla podniesienia dokładności pomiarów kierunkowych i kątowych wzory stosowanych sygnałów oraz rysunków na tarczach nawiązują w swej istocie do wspomnianych reakcji.

Współczesne obiekty inżynierskie, oprócz skomplikowanego powiązania technologicznego podzespołów, charakteryzuje zazwyczaj duża liczba elementów na niewielkich przestrzeniach obserwacyjnych. Dodatkowo w otoczeniu elementów podlegających pomiarom występuje zróżnicowane niejednorodne oświetlenie powodujące zaburzenia reakcji oka podczas obserwacji tarcz i sygnałów ustawionych na punktach pomiarowych. Aby poprawić warunki pomiarów kątowych na wspomnianych obiektach, autor proponuje zaktywizowanie sygnałów i tarcz przez wprowadzenie w ich konstrukcję światłowodów wyposażonych w modulowane źródła światła. Pozwoli to na uzyskanie bardziej zróżnicowanego kontrastu pomiędzy sygnalizatorem a tłem obiektu.

Jakość widzenia oka, a więc to czy widzimy bardziej lub mniej wyraźnie, czy dostrzegamy drobne szczegóły, oraz czy je rozpoznajemy, związana jest między innymi z procesem detekcji światła, przesyłaniem sygnału od oka do mózgu oraz z procesami psychicznymi zachodzącymi w korze mózgowej. Istotnym elementem wpływającym na błąd kierunku jest czas ekspozycji celu (sygnał, tarcza). Analogiczne zjawisko występuje podczas wykonywania odczytów na systemach odczytowych instrumentów geodezyjnych. W wyniku przeprowadzonych badań doświadczalnych (Tatarczyk, 1973) stwierdzono, że optymalny czas trwania obserwacji, w trakcie pomiarów, powinien zawierać się w przedziale od 2,5 do 4,0 sekund. Przy obserwacjach trwających dłużej prawdopodobieństwo powstania błędnego celowania czy odczytu jest znacznie większe na skutek dekoncentracji i zmęczenia oczu obserwatora.

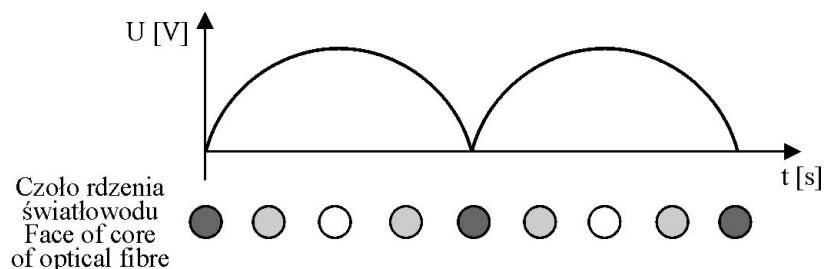


Rys. 5.20. Schemat aktywnego sygnalizatora światłowodowego; 1 – cel światłowodowy, 2 – linia światłowodowa, 3 – źródło światła, 4 – modulator, 5 – zasilacz

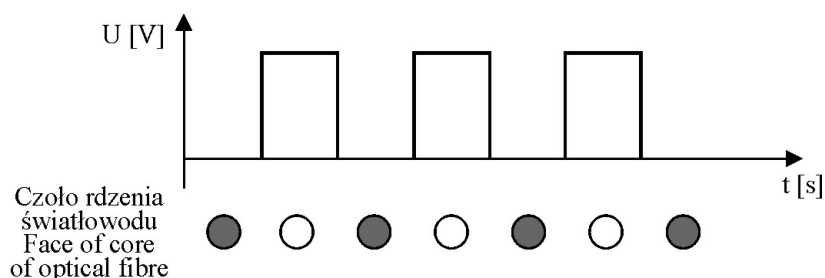
Fig. 5.20. Scheme of an active optical fibre indicator; 1 – optical fibre target, 2 – optical fibre line, 3 – light source, 4 – modulator, 5 – power supply

Na schemacie przedstawionym na rysunku 5.20 aktywnym celem jest punktowy sygnalizator światłowodowy świecący od czoła swoim rdzeniem. Źródłem światła jest dioda LED o dowolnie dobranej barwie. Podawane z zasilacza na diodę napięcie jest zmieniane funkcyjnie, co obserwowane jest na celu światłowodowym jako „migający” punkt. Celem światłowodowym może być jeden z rodzajów sygnalizatorów (punktowy, liniowy, itp.) opisanych w rozdziale 5.1.1.1 i 5.1.1.2. Zmiany napięcia podawanego na diodę można rozpatrywać w dwóch przypadkach (rys. 5.21 i 5.22). W pierwszym napięcie cyklicznie wolno rośnie osiągając maksimum, a następnie maleje osiągając minimum. Na świecącej diodzie obserwuje się wówczas podobną zależność zmian natężenia światła. W drugim przypadku zmiany podawanego napięcia mogą mieć charakter skokowy rozpatrywany w następującej zależno-

ści: 0 V – max. V – 0 V – max. V itd. Dioda zasilana takim rodzajem napięcia będzie wykazywała zerowe natężenie światła, maksymalne natężenie światła itd.



Rys. 5.21. Schemat ciągłych zmian natężenia światła emitowanego przez sygnalizator punktowy
Fig. 5.21. Scheme of continuous changes of light intensity emitted by punctual indicator



Rys. 5.22. Schemat skokowych zmian natężenia światła emitowanego przez sygnalizator punktowy
Fig. 5.22. Scheme of step changes of light intensity emitted by point indicator

W celu określenia wstępnych parametrów dokładnościowych i użytkowych sygnalizatorów aktywnych w pomiarach kątowych wykonano cykl doświadczalny pomiaru kierunku w laboratorium geodezyjnym KGiF we Wrocławiu. Doświadczenia przeprowadzono z wykorzystaniem tachymetru TC1800 oraz punktowego światłowodowego sygnalizatora celu. Jako źródło światła zastosowano o barwie czerwonej diodę LED, którą zasilano zmiennym napięciem przy skokach od 0 do 4,5 V i częstotliwości 2 Hz. Zestaw pomiarowy przedstawiono na rysunku 5.23.



Rys. 5.23. Punktowy światłowodowy sygnalizator z modulatorem światła
(prototyp umieszczony pod i nad głowicą statywu)
Fig. 5.23. Optical fiber point indicator with light's modulator
(prototype placed below and up head of tripod)

Po ustawieniu na słupach obserwacyjnych (odległych wzajemnie o 4,5 m) instrumentu oraz światłowodowego sygnału dokonywano w pięciu seriach dziesięciokrotnych nacelowań krzyżem nitek na „migający” świecący rdzeń światłowodu sygnalizatora. Do badań użyto światłowód o średnicy rdzenia 0,05 mm. Wyniki eksperymentu przedstawiono w tabeli 5.9.

Tabela 5.9
Table 5.9

Zestawienie błędów pomiaru kierunku dla aktywnego punktowego sygnalizatora światłowodowego o średnicy rdzenia 0,05 mm
Table of direction measurement error for active optical fibre target indicator with core diameter of 0,05 mm

Numer serii – Serial number	1	2	3	4	5
Błąd kierunku poziomego Horizontal direction error [^{CC}]	1,10	0,75	0,87	0,92	1,20

Przeprowadzono również prace doświadczalne przy 10 nacelowaniach dla zmierzających odległości tachymetru elektronicznego TC1800 od sygnalizatorów aktywnych wyposażonych w światłowody o średnicy rdzenia 0,05 mm i 0,98 mm. Wyniki zestawiono w tabelach 5.10. i 5.11.

Tabela 5.10
Table 5.10

Zestawienie błędów pomiaru kierunku dla aktywnego punktowego sygnalizatora światłowodowego o średnicy rdzenia 0,05 mm
Table of direction measurement error for active optical fibre target indicator with core diameter of 0,05 mm

Odległość – Distance [m]	5	10	15	30	45
Błąd kierunku poziomego Horizontal direction error [^{CC}]	1,7	1,9	2,3	2,7	2,8
Błąd kierunku pionowego Vertical direction error [^{CC}]	1,9	1,9	2,3	2,8	2,9

Tabela 5.11
Table 5.11

Zestawienie błędów pomiaru kierunku dla aktywnego punktowego sygnalizatora światłowodowego o średnicy rdzenia 0,98 mm
Table of direction measurement error for active optical fibre target indicator with core diameter of 0,98 mm

Odległość – Distance [m]	5	10	15	30	45
Błąd kierunku poziomego Horizontal direction error [^{CC}]	3,2	2,5	2,3	2,2	1,9
Błąd kierunku pionowego Vertical direction error [^{CC}]	3,3	2,7	2,3	2,0	2,0

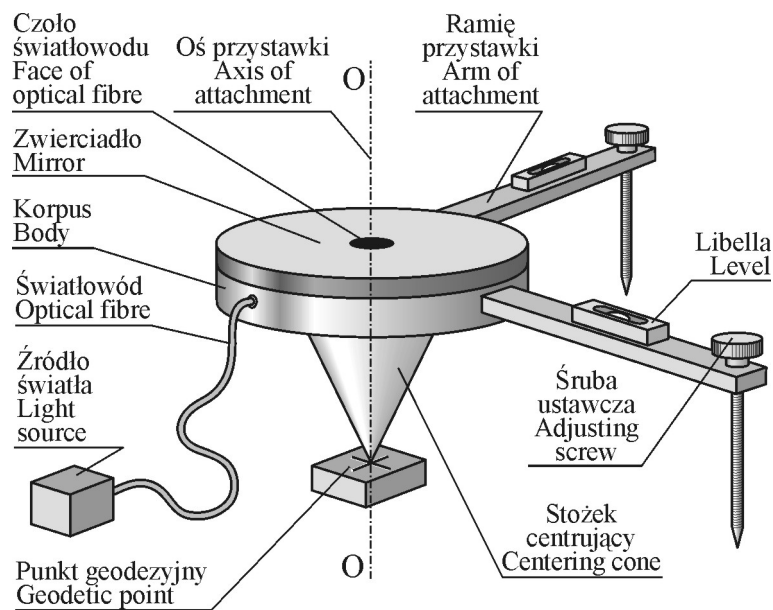
5.1.1.5. Przystawka zwierciadlana

Podczas wykonywania pomiarów kątowych, kierunkowych i odległościowych musi być spełniony warunek centrycznego (pionowego) ustawienia instrumentu pomiarowego oraz sygnału nad danymi punktami geodezyjnymi.

Na rezultat dobrego centrowania instrumentu pionem optycznym nad punktem geodezyjnym wpływa szereg czynników mających swe źródło w niedoskonałościach przyrządów ustawczych (statywy, spodarki) oraz szcążkowych błędów rektyfikacji warunków geometrycznych użytego pionownika (Szymoński, 1982).

Na dokładność pomiarów kątowych i odległościowych, zwłaszcza w pomiarach precyzyjnych, wpływa (oprócz rodzaju urządzenia centrującego) jednoznaczność identyfikacji punktu geodezyjnego, nad którym centrowany jest instrument. Zaprojektowana przez autora przystawka zwierciadlano-światłowodowa (Ćmielewski, 2002c, 2002e) może usprawnić i zwiększyć dokładność zadania centrowania.

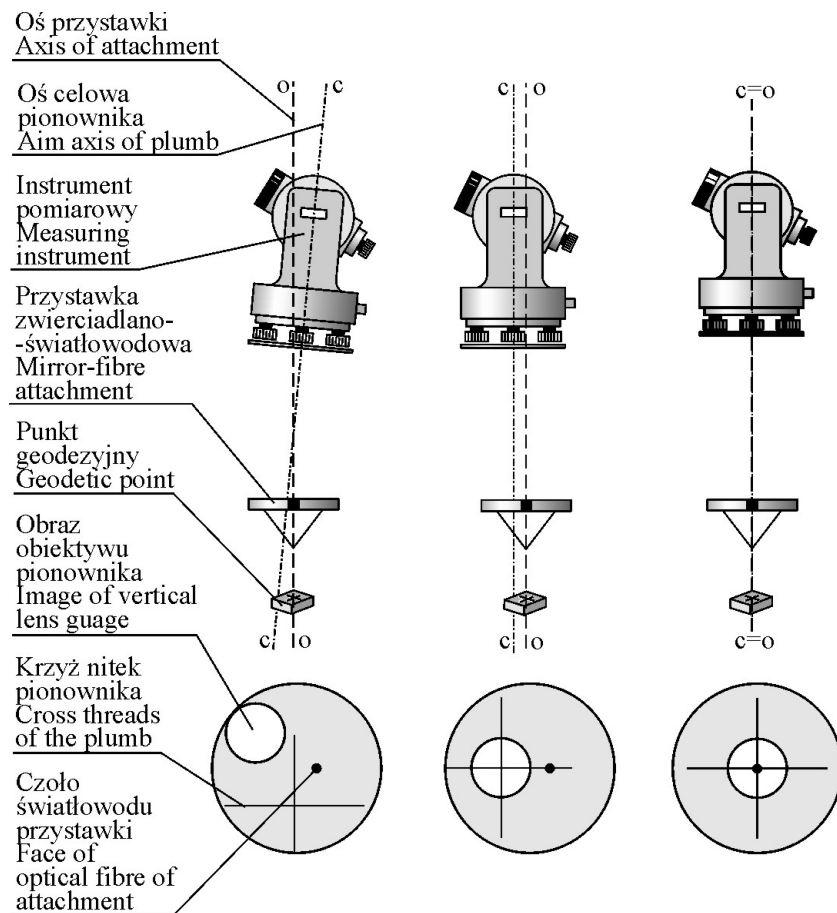
Zasada działania przystawki zwierciadlano-światłowodowej opiera się na metodzie autorefleksyjnej (Gocał, Żak, 1985). Projekt konstrukcji przystawki zwierciadlano-światłowodowej przedstawiono na rysunku 5.24.



Rys. 5.24. Schemat konstrukcyjny przystawki zwierciadlano-światłowodowej
Fig. 5.24. Constructional scheme of reflective optical fiber adapter

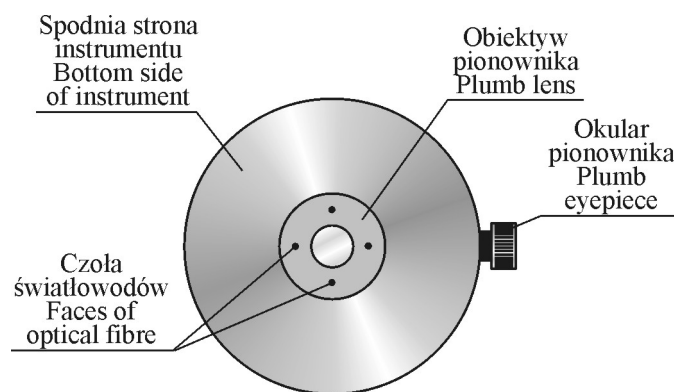
Przystawka składa się z korpusu posiadającego umieszczone w osi $o-o$ w dolnej części stożek lub inną wymienną stopkę o kształcie np.: czasowym, półkolistym, prętowym, natomiast w górnej części płaskie zwierciadło z centrycznie osadzonym końcem światłowodu. Do boku korpusu przymocowane są dwa ramiona tworzące wzajemnie kąt prosty. Na ramionach umieszczone są libelle rurkowe oraz śruby ustawcze.

W czasie wykonywania pomiarów przystawkę za pomocą stopki, np. stożkowej centruje się na danym punkcie geodezyjnym. Za pomocą śrub ustawczych oraz wskazań libelli rurkowych poziomuje się płaszczyznę czołową zwierciadła z końcem światłowodu, a następnie włącza się źródło światła, tak aby było widoczne świecące się czoło światłowodu. Nad tak zasygnalizowanym punktem geodezyjnym ustawia się instrument pomiarowy i wykonuje kolejne standardowe czynności związane z pionowaniem i centrowaniem za pomocą pionownika optycznego. Kolejne fazy wspomnianych czynności przedstawiono na rysunku 5.25. Moment ostatecznego scentrowania i spionowania instrumentu nad punktem geodezyjnym wystąpi, gdy krzyż pionownika oraz obraz obiektywu pionownika i obraz świecącego czoła światłowodu pokryją się centrycznie, a zarazem symetrycznie.



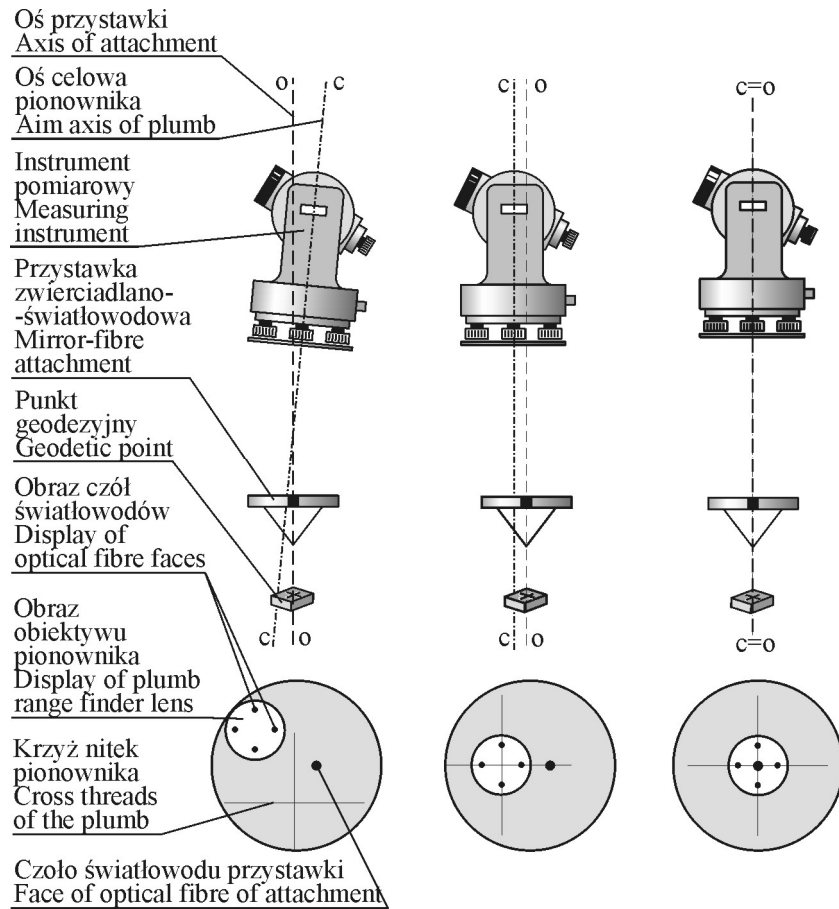
Rys. 5.25. Kolejne fazy pionowania i centrowania instrumentu nad punktem geodezyjnym
Fig. 5.25. Successive phases of plumbing and centering the instrument over geodetic point

W przypadku instrumentu pomiarowego o bezpośredniej dostępności obiektywu pionownika optycznego można w nim symetrycznie rozmieścić co najmniej cztery światłowody w taki sposób, aby od strony wspomnianego obiektywu były widoczne ich czoła. Wówczas światło propagowane przez światłowody widziane będzie jako świecące punkty. Przykładowy sposób rozmieszczenia końców światłowodów na obiektywie pionownika instrumentu pomiarowego przedstawiono na rysunku 5.26.



Rys. 5.26. Rozmieszczenie końców światłowodów na obiektywie pionownika
Fig. 5.26. Arrangement of optical fibre ends on plumb lens

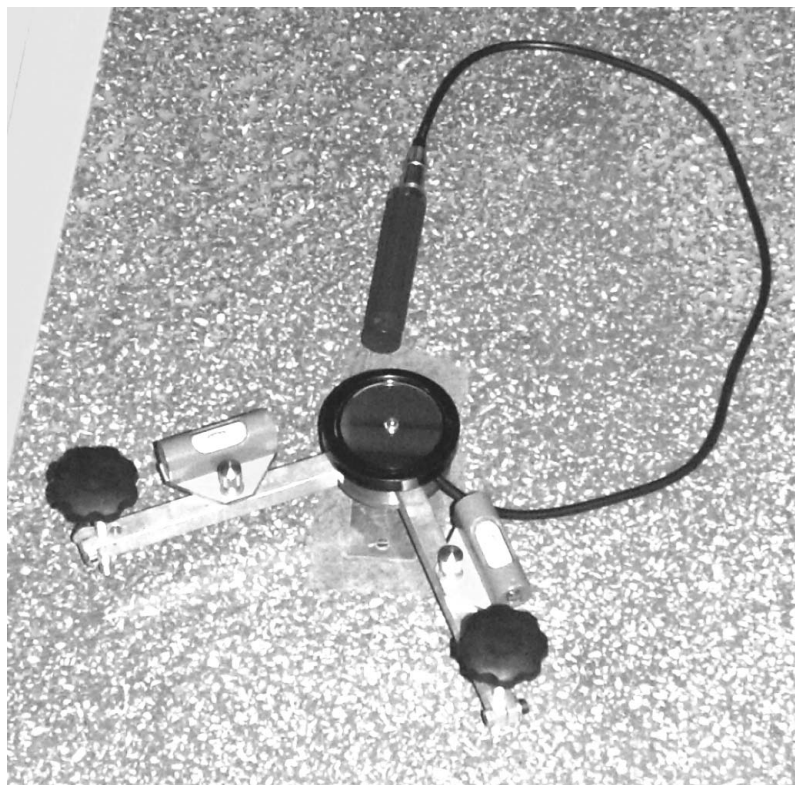
Czynności związane z pionowaniem i z centrowaniem w przypadku umieszczenia końców światłowodów w obiektywie pionownika przeprowadzane są analogicznie do czynności opisanych powyżej. Na rysunku 5.27 przedstawiono kolejne fazy pionowania i centrowania instrumentu pomiarowego.



Rys. 5.27. Kolejne fazy centrowania i pionowania instrumentu pomiarowego z pionownikiem wyposażonym w światłowody
 Fig. 5.27. Successive phases of plumbing and centering the measuring instrument with plumb equipped with optical fibre

Podobnie jak w pierwszym przypadku efektem ostatecznego scentrowania i spionowania jest zaobserwowanie centrycznego i symetrycznego pokrycia się krzyża nitek pionownika oraz obrazów czół świecących światłowodów obiektywu pionownika, a także czoła świecącego światłowodu przystawki.

Dla sprawdzenia i ewentualnego zweryfikowania założeń konstrukcyjnych przystawki wykonany został prototyp przedstawiony na rysunku 5.28.



Rys. 5.28. Prototyp przystawki zwierciadlano-światłowodowej na punkcie pomiarowym w trakcie pomiarów testujących

Fig. 5.28. The prototype of optical-mirror-fibre attachment set up on geodetic point during testing measurements

Dla oceny dokładności pomiarowej przyrządu wykonano cykl obserwacji związanych z centrowaniem nad przystawką osi optycznej pionownika tachymetru elektronicznego TC1800. Czynności pomiarowe sprowadzały się do wielokrotnego odchylenia osi optycznej pionownika i rejestrowania wskazań libelli elektronicznej tachymetru. Pomiar testujący wykonano dla odległości 1,00 m i 1,25 m tachymetru względem przystawki zwierciadlanej. Dokładność ustawienia osi optycznej tachymetru względem przystawki dla serii dziesięciokrotnych obserwacji wyniosła na odległości 1,00 m i 1,25 m w kierunku podłużnym $25,1^{\circ}$ (0,039 mm), $24,5^{\circ}$ (0,048 mm), a w kierunku poprzecznym $29,2^{\circ}$ (0,046 mm), $16,3^{\circ}$ (0,032 mm).

5.1.1.6. Wielotubusowa luneta kolimacyjna

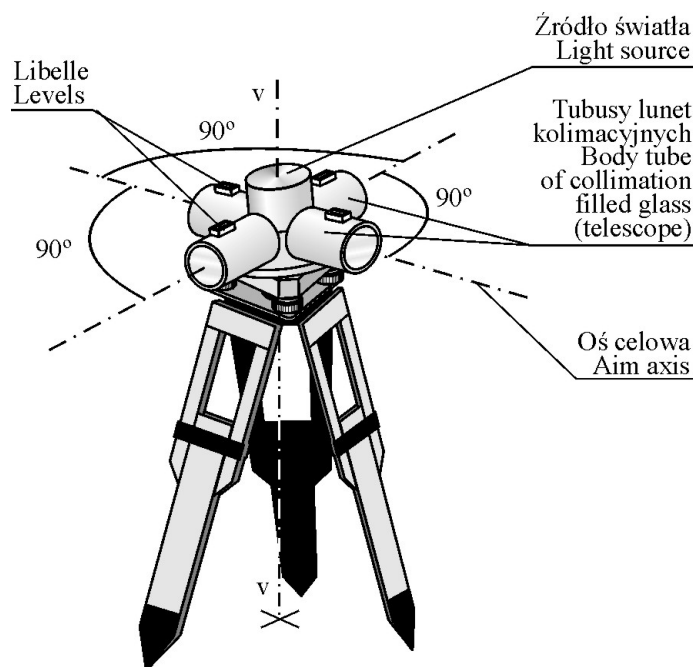
W przypadku gdy wzajemne położenie osi geometrycznych urządzeń przemysłowych określane jest z dokładnością dziesiętnych, a nawet setnych części milimetra, przy wykonywaniu obserwacji kątowych stosowane są kolimatory, okulary autokolimacyjne

i tarcze autorefleksyjne współdziałające z lustrami (Gocał, 1993; Deumlich, 1988; Zaccarini, 1976). Kolimatory, jako przyrządy optyczne, w geodezji są szeroko stosowane do badania, sprawdzania i rektyfikacji podstawowych instrumentów pomiarowych: teodolitów, niwelatorów, tachimetrów i dalmierzy optycznych. Powszechnie znany kolimator składa się z obiektywu, w którego ognisku przedmiotowym umieszczony jest krzyż kresek, a za nim źródło światła. Kolimator wysyła wiązkę promieni równoległych. Stąd też krzyż kresek kolimatora oglądany za pomocą innej lunety od strony obiektywu imituje znak celu w nieskończoności (Tatarczyk, 1985).

Kolimatory powinny imitować wyraźny krzyż nitek. W przypadku nawiązań wielostronnych kolimator każdorazowo musi być dostosowany geometrycznie do nowego kierunku nawiązania pomiarowego. Niemożliwe natomiast jest wykonanie jednoczesnego nawiązania pomiarowego z kilku punktów, kilkoma instrumentami.

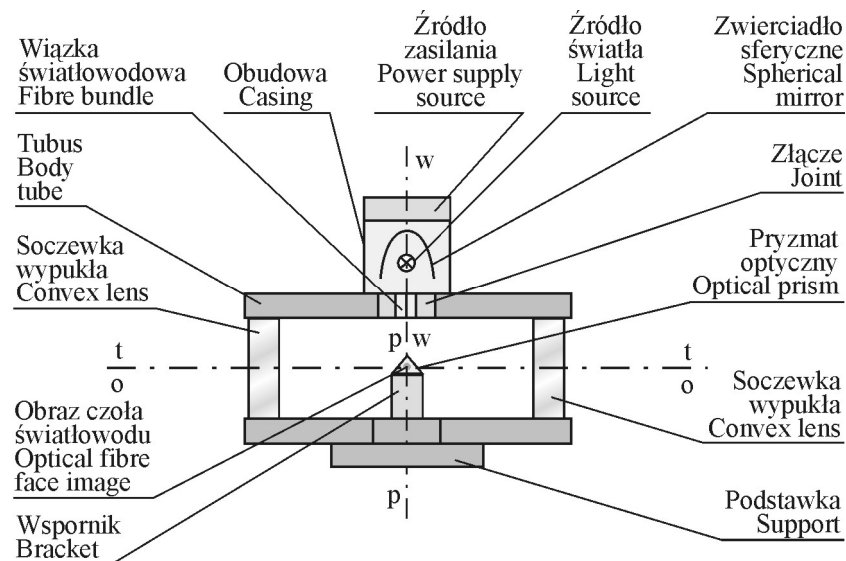
Dla uzupełnienia typowych geodezyjnych zestawów pomiarowych kolimacyjnych stosowanych podczas prowadzenia obserwacji kątowych opracowano lunetę kolimacyjną wielotubusową umożliwiającą jednoczesną współpracę pomiarową z kilkoma instrumentami (Ćmielewski, 2004a).

Lunetę przedstawiono w ustawieniu obserwacyjnym na rysunku 5.29, a szczegóły jej budowy w przekroju pionowym na rysunku 5.30.



Rys. 5.29. Wielotubusowa luneta geodezyjna na stanowisku obserwacyjnym punktu odniesienia (projekt)

Fig. 5.29. Multitube geodetic telescope on observational position reference point (project)



Rys. 5.30. Luneta wielotubusowa w przekroju pionowym
 Fig. 5.30. Multitube telescope in vertical section

Zgodnie z projektem luneta posiada cztery wydłużone tubusy umocowane pod kątem prostym względem siebie, ustawione na podstawie. W przedniej części tubusu osadzone są soczewki wypukłe. Na podstawie między tubusami usytuowany jest wspornik z pryzmatem optycznym, na którym umieszczone jest złącze z wiązką światłowodów. Nad wiązką światłowodów, która osadzona jest na tubusach, znajduje się źródło światła usytuowane w osi optycznej wewnątrz sferycznego zwierciadła parabolicznego, obudowanego osłoną z zamocowanym źródłem zasilania.

W przypadku prowadzenia pomiarów o submilimetrowych dokładnościach, na obiektach gdzie istnieje potrzeba wykonania wielostronnych nawiązań kątowych, lunetę kolimacyjną ustawia się podstawką na spoziomowanym elemencie, np. spodarce. Na stanowisku pomiarowym, w ustalone projektem położenie osi celowej instrumentu, wprowadza się lunetę kolimacyjną włączając źródło światła. W polu widzenia lunety instrumentu pomiarowego, podczas wspomnianych czynności, obserwuje się świecący obraz czoła rdzenia światłowodu. Czynności wprowadzające lunetę kolimacyjną kończy się w momencie doprowadzenia obrazu czoła jednego z wiązki światłowodów w środek krzyża nitek instrumentu obserwacyjnego. O ile zachodzi konieczność wykonania nawiązania prostopadłego do przyjętej projektem osi odniesienia, w której znajduje się oś optyczna instrumentu obserwacyjnego, wówczas po przestawieniu instrumentu obserwacyjnego na stanowisko przed obiektyw tubusu usytuowanego pod kątem prostym do poprzedniego wykonuje się standardowe instrumentalne czynności poziomo-ustawcze, do momentu uzyskania pokrycia się obrazu czoła rdzenia światłowodowego z krzyżem nitek instrumentu obserwacyjnego. Tak przeprowadzone czynności

ustawcze pozwalają na utworzenie prostej odniesienia, realizowanej osią celową i wykonywanie założonych pomiarów realizacyjnych bądź inwentaryzacyjnych obiektu.

W celu weryfikacji założeń konstrukcyjnych i pomiarowych lunety wykonano prototyp z zastosowaniem światłowodu o średnicy rdzenia 0,05 mm, przedstawiony na rysunku 5.31 oraz cykl wstępnych badań doświadczalnych. W wykonanym prototypie obserwowana wielkość świeżącego rdzenia światłowodu wynosiła 0,68 mm.



Rys. 5.31. Widok prototypu lunety jednotubusowej na słupie obserwacyjnym
Fig. 5.31. Prototype view of single tube telescope on observational pillar

Badania eksperymentalne przeprowadzono w laboratorium geodezyjnym na stanowiskach obserwacyjnych wykonywanych w odległościach $D_1 = 4,5$ m i $D_2 = 8,0$ m. Celem badań była ocena dokładności pomiarowej prototypu, dla czterech cykli pomiarowych każdorazowo przy dziesięciokrotnych nacelowaniach instrumentem TC1800 (tab. 5.12 i 5.13).

Tabela 5.12

Table 5.12

Zestawienie uzyskanych błędów średnich pomiaru kierunku na bazie testowej o długości $D_1 = 4,5$ m dla prototypu lunety jednotubusowej
 Table of mean direction measurement errors on test base of length $D_1 = 4,5$ m for single tube telescope

Cykle pomiarowe Measurement cycles	1	2	3	4
Błąd średni kierunku poziomego Mean horizontal direction error [^{cc}]	1,2	0,7	0,8	0,9
Błąd średni kierunku pionowego Mean vertical direction error [^{cc}]	1,3	1,0	0,9	1,1

Tabela 5.13

Table 5.13

Zestawienie uzyskanych błędów średnich pomiaru kierunku na bazie testowej o długości $D_2 = 8,0$ m dla prototypu lunety jednotubusowej
 Table of mean direction measurement errors on test base of length $D_2 = 8,0$ m for single tube telescope

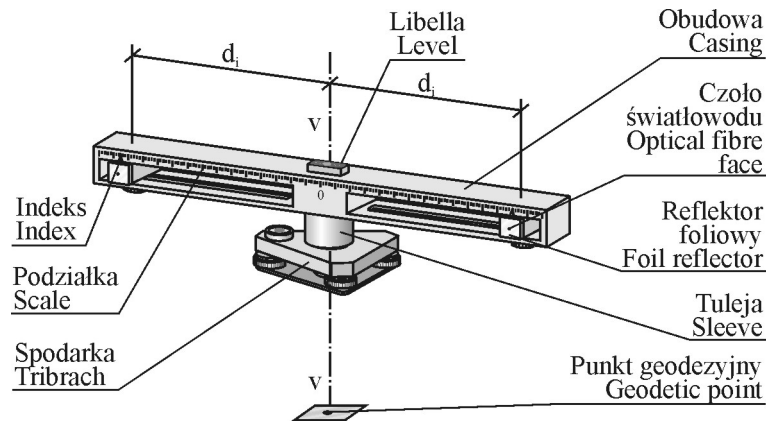
Cykle pomiarowe Measurement cycles	1	2	3	4
Błąd średni kierunku poziomego Mean horizontal direction error [^{cc}]	1,4	2,2	1,8	2,1
Błąd średni kierunku pionowego Mean vertical direction error [^{cc}]	1,5	1,7	2,1	2,0

Wykonano również cykl dziesięciu obserwacji dla dwóch długości bazy testowej 15 m i 45 m. Dla pierwszej odległości testowej błąd średni kierunku poziomego wyniósł $2,4^{\text{cc}}$, a pionowego $2,6^{\text{cc}}$. W przypadku odległości 45 m błąd średni kierunku poziomego wyniósł $1,7^{\text{cc}}$, a dla pionowego $1,9^{\text{cc}}$.

5.1.1.7. Dwurefleksyjowy przyrząd do pomiarów kątowych i odległościowych

Podczas modernizacji, remontów bądź modyfikacji technologicznych w halach przemysłowych niektóre boki osnowy pomiarowej mogą być całkowicie lub okresowo niedostępne dla obserwacji kątowych i odległościowych. Dla niewielkich wymiarowo (słup, podpora, rusztowanie, itd.) przesłonek celowych występujących na bokach poziomej osnowy geodezyjnej opracowany został przyrząd pozwalający wykonać obserwacje kierunku i odległości (Ćmielewski, Kowalski, 2004).

Na rysunku 5.32 przedstawiono budowę przyrządu wspomagającego pomiary w przypadku celowych przesłonek.



Rys. 5.32. Ogólny widok projektu dwurefleksyjnego przyrządu do pomiaru kątowych i odległościowych na punktach przesłoniętych

Fig. 5.32. General view of project of double reflector instrument for angle and range measurements in obscured points

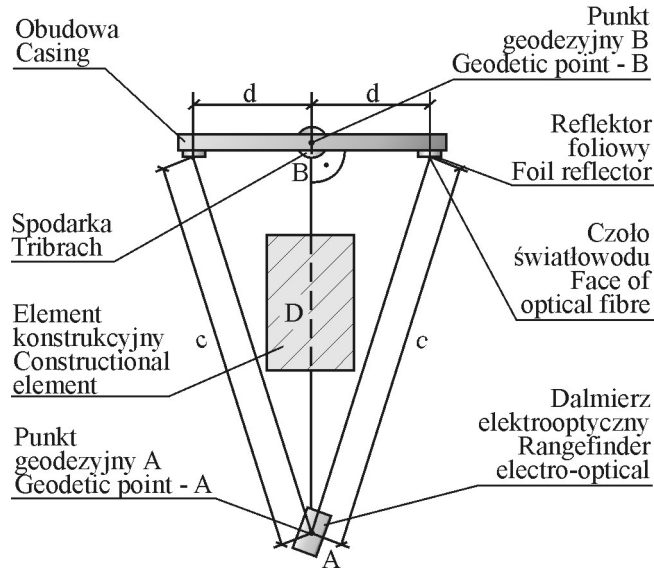
Podstawowym elementem konstrukcyjnym przyrządu jest łąta posiadająca w środkowej części tuleję, pozwalającą na sprzęgnięcie ze spodarką oraz libellą. Łąta od strony obserwatora obustronnie i symetrycznie wyposażona jest w podziałki oraz otwory wzdłużne, w których przesuwnie mocowane są bliźniaczo zaopatrzone w indeksy sygnalizatory z reflektorami foliowymi lub reflektorami pryzmatycznymi. Sygnalizatory wyposażone są w światłowody w ułożeniu pojedynczym lub mnogim, czołem do strony obserwacji. W czasie wykonywania procedur pomiarowych po włączeniu źródła światła wspomniane czoła światłowodów stają się świecącymi punktami do nacelowań. Na rysunku 5.33 przedstawiono autorski prototyp dwurefleksyjnego przyrządu do pomiarów kątowych i odległościowych.



Rys. 5.33. Widok prototypu dwurefleksyjnego przyrządu do pomiaru kątowych i odległościowych na punktach przesłoniętych

Fig. 5.33. Prototype of double reflector instrument for angle and range measurements in obscured points

Na rysunku 5.34 przedstawiono zasadę pomiaru dla wyznaczenia odległości „D” na celowej przesłoniętej. Podczas pomiarów wykonywane są niewielkie ruchy obrotowe łąką przyrządu wokół jej osi obrotu v-v. Wspomnianą czynność przerywa się w momencie zaobserwowania jednakowych wskazań odległości „c” mierzonych w stosunku do równo-odległościowo rozstawionych reflektorów foliowych lub pryzmatycznych.



Rys. 5.34. Schemat zasady pomiaru odległości na celowej przesłoniętej
 Fig. 5.34. Scheme of range measuring method at obscured target

Odległość „D” na celowej przesłoniętej wyznacza się ze wzoru:

$$D = \sqrt{c^2 - d^2} \quad (5.2)$$

gdzie:

c – pomierzona odległość dalmierzem elektrooptycznym na celowej odkrytej,

d – odległość od początku podziałki (środek łąki) do aktualnego położenia sygnalizatora odczytywanego indeksem na podziałce.

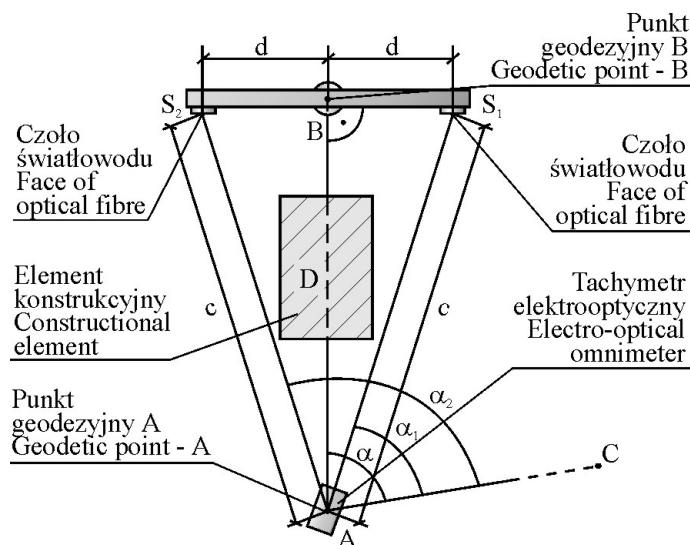
W przypadku wykonywania pomiarów kątowych, po uzyskaniu równych odległości *c* przy dokładnym nacelowaniu na czoła świecących światłowodów, wyznacza się położenia kierunków na sygnalizator pierwszy *S*₁ i drugi *S*₂, a następnie określa stosowne kąty α_1 i α_2 w nawiązaniu do kierunku wyjściowego na punkt *C*. Na rysunku 5.35 przedstawiono schematycznie pomiar kąta na celowej przesłoniętej. Kąt α z celową na przesłonięty element konstrukcyjnym punkt *B* wyznacza się jako kąt uśredniony z zależności:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \quad (5.3)$$

gdzie:

α_1 – kąt pomierzony na punkcie A przy nawiązaniach na punkt C i sygnalizator pierwszy S_1 ,

α_2 – kąt pomierzony na punkcie A przy nawiązaniach na punkt C i sygnalizator drugi S_2 .



Rys. 5.35. Schemat zasady pomiaru kąta z przesłoniętą celową
 Fig. 5.35. Scheme of angle measuring method at obscured target

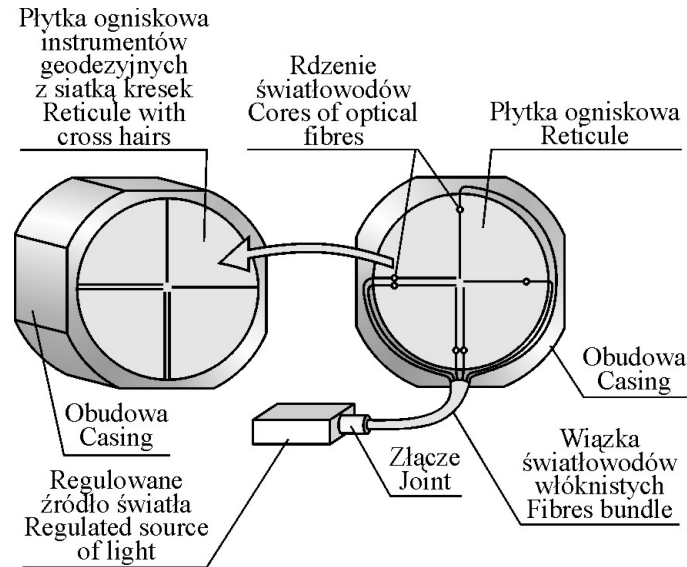
Ponieważ w przedstawionym schemacie nawiązanie kątowe na celowej przesłoniętej występuje dwukrotnie, stąd też można przyjąć, że błąd pomiaru kierunku przesłoniętego, na podstawie błędu funkcji, przy założeniu równości błędów pomiarów kierunków do sygnalizatorów punktowych S_1 i S_2 , przyjmie wartość błędu pojedynczego pomiaru kierunku powiększonego o pierwiastek z dwóch. Natomiast z analizy wzoru na odległość przesłoniętą (5.2), korzystając z prawa przenoszenia błędów średniego, można zauważyć, że dla niewielkich odległości „ d ” rzędu 1 m (rys. 5.34) pomierzonych z dokładnością około 0,1 mm błąd wyznaczenia odległości „ D ” będzie mieścił się w granicach błędu pomiaru odległości „ c ” wnoszonego przez użyty dalmierz elektrooptyczny.

5.1.1.8. Zmodyfikowana luneta autokolimacyjna

Wykonanie obserwacji kątowych metodą autokolimacji realizowane jest zestawem pomiarowym składającym się z autokolimatora oraz wysokiej jakości zwierciadła (Gocał, 1993; Gocał, Zak, 1985; Jambajew, 1978). Każda luneta teodolitu, tachimetru, niwelatora lub aliniometru może zostać zaadaptowana jako autokolimator, jeżeli istnieje możliwość oświetlenia krzyża kresek lunety i prowadzenia obserwacji optycznej. W metodzie autokolimacyjnej na wartość błędów średniego obserwacji kierunku wpływają właściwości obserwatora, instrumentalne oraz środowiskowe panujące w przestrzeni obserwacyjnej. Wśród instrumentalnych wyróżnić można:

- pogorszenie się jakości obrazu powracającego wraz ze wzrostem zasięgu obserwacyjnego,
- jakość oświetlenia w okularze autokolimacyjnym wpływająca na wyrazistość i jaskrawość powracającego obrazu siatki kresek,
- rodzaj płytki ogniskowej z siatką kresek (m.in. jakość i rodzaj kresek).

Dla usprawnienia obserwacji autokolimacyjnych autor proponuje wprowadzenie zmodyfikowanej siatki kresek z wykorzystaniem światłowodów włóknistych, jak na rysunku 5.36.



Rys. 5.36. Schemat zmodyfikowanej siatki kresek za pomocą światłowodów włóknistych
Fig. 5.36. Scheme of modification of cross hairs with use of optical fibre

W specjalnych wersjach światłowodów włóknistych średnica rdzenia wynosi około tysięcznej części milimetra. Pozwala to na dodatkowe wprowadzenie w klasyczne płytki ogniskowe włókien światłowodowych, których rdzenie umieszczone byłyby na obrzeżu krzyża nitek i skierowane w kierunku obiektywu lunety. Wprowadzenie regulowanego źródła światła pozwala dostosowywać jaskrawość i wyrazistość punktowo świecących rdzeni do warunków środowiskowych obiektu podczas wykonywanych pomiarów, a także na lepsze wyróżnienie obrazu krzyża powracającego do lunety po odbiciu od lustra.

5.1.1.9. Charakterystyka sygnalizatorów światłowodowych w aspekcie ich zastosowań

Charakterystykę przedstawiono w tabeli 5.14.

W przedstawionym zestawieniu nie uwzględniono analizy kosztów sygnalizatorów. Należy jednak podkreślić, że w każdym z wymienionych rodzajów poniesione koszty na budowę są niewielkie.

Tabela 5.14
Table 5.14

Zbioreza charakterystyka proponowanych rozwiązań technicznych
Collective profile of presented technical solutions

Rodzaj sygnalizatora Type of indicator	Główne elementy Main elements	Dokładność pomiaru Accuracy of measurement	Zasięg pomiaru Measuring range	Zastosowania Application	Ograniczenia Limitations
Punktowy	Światłowod szklany o średnicy rdzenia 0,05 mm	Kierunku poziomego 2,1-2,8 Kierunku pionowego 2,2-2,9	45 m	Metoda aliniometryczna, biegunowa, wieńc kątowych do pomiaru deformacji oraz odchyłek kształtu i położenia elementów obiektu, a w szczególności prostoliniowość, płaskość, wyznaczanego zarysu, równoległości płaszczyzn, prostopadłości płaszczyzn, nachylenia płaszczyzny, współosiowości	Zmniejszenie dokładności pomiaru w warunkach zapylenia, zadymienia, wibracji, zbyt dużego natężenia oświetlenia obiektu, konieczność styku sygnału z mierzonym elementem
	Światłowod polimerowy o średnicy rdzenia 0,98 mm	Kierunku poziomego 1,9-3,3 Kierunku pionowego 2,1-3,3	45 m		
Liniiowy	j.w.	j.w.	j.w.	Jak wyżej, a w szczególności okragłości, walcowości, równoległości płaszczyzn, prostopadłości płaszczyzn, nachylenia płaszczyzn, bicia promieniowego	j.w.
Przestrzenny	j.w.	j.w.	j.w.	Jak wyżej, a w szczególności wyznaczonego zarysu powierzchni (np. sfera kuli)	j.w.

Tabela 5.14 cd.
Table 5.14 cont.

Rodzaj sygnalizatora Type of indicator	Główne elementy Main elements	Dokładność pomiaru Accuracy of measurement	Zasięg pomiaru Measuring range	Zastosowania Application	Ograniczenia Limitations
Aktywny	Światłowod szklany o średnicy rdzenia 0,05 mm	Kierunku poziomego 1,7–2,8 Kierunku pionowego 1,9–2,9	45 m	j.w. zwłaszcza w warunkach dużego nasycenia elementów obiektu infrastrukturą techniczną (lepsze wydzielenie sygnału z dostosowaniem do cech psychomotorycznych obserwatora	j.w.
	Światłowod polimerowy o średnicy rdzenia 0,98 mm	Kierunku poziomego 1,9–3,2 Kierunku pionowego 2,0–3,3			
Przystawka zwierciadlana	Światłowod polimerowy o średnicy rdzenia 0,98 mm	Średni błąd centrowania 0,05 mm	1,25 m	Oznaczenie punktów osnowy pomiarowej, kontrola stabilności centrowania instrumentu pomiarowego w pomiarach kształtu i deformacji	j.w.
Wielotubusowa luneta kolimacyjna	Światłowod szklany o średnicy rdzenia 0,05 mm	Kierunku poziomego 0,7–2,2 Kierunku pionowego 0,9–2,1	8 m	Nawiązania wielokierunkowe w pomiarach aliniometrycznych, możliwość dostosowania jasności świecącego rdzenia do warunków panujących na obiekcie	Jak wyżej oraz konieczność ustawienia instrumentu pomiarowego i lunety kolimacyjnej na jednym poziomie
Przyrząd dwurefleksyjny	Światłowod szklany o średnicy rdzenia 0,05 mm	Kierunku poziomego $\sqrt{2}$ (2,1–2,8) Kierunku pionowego $\sqrt{2}$ (2,2–2,9)		Realizacja nawiązań kątowych i odległościowych na celowych przesłoniętych w pomiarach aliniometrycznych i wcięć kątowych	Jak dla sygnalizatorów punktowych
Zmodyfikowana luneta autokolimacyjna	Światłowod szklany o średnicy rdzenia 0,009 mm	Jak dla zestawów typowych Zeiss, Wild, Leica	Jak dla zestawów typowych Zeiss, Wild, Leica	Pomiary kątowe, nachyleń, polepszenie warunków obserwacyjnych	Jak dla zestawów typowych Zeiss, Wild, Leica

5.1.2. Systemy i przyrządy do pomiaru różnic wysokości, pochyleń, odchyleń od prostej odniesienia oraz zmian temperatury obiektu

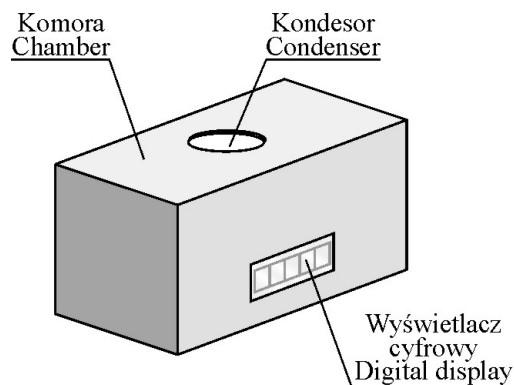
5.1.2.1. Libelle

Rozwój elektroniki, mechaniki precyzyjnej i optoelektroniki przyniosły w ostatnich latach wiele nowych rozwiązań technicznych przyrządów przeznaczonych do wyznaczenia kierunku poziomego, wychyleń kierunku z tego położenia i określenia ich wartości. W przyrządach tych systemy pomiarowe najczęściej bazują na właściwościach wahadła swobodnego, którego położenie przetwarzane jest na odpowiednie wielkości elektryczne, a następnie na wielkości kątowe (Pelzer, 1988). Powstały między innymi elektroniczne libelle pojemnościowe, indukcyjne, fotoelektryczne (Gocał, 1993; Zaccarini, 1976). W libellach elektronicznych wyróżnić można dwie zasadnicze części: zespół pomiarowy i rejestrujący. Libelle elektroniczne z uwagi na wysoką dokładność pomiarową kąta znalazły szerokie zastosowanie w szeregu zadaniach pomiarowych wchodzących w zakres geodezji inżynierskiej. Spotykane są również przyrządy do poziomowania, w których zastosowano rtęć w charakterze samopoziomującego zwierciadła, zastępując w ten sposób wahadło swobodne.

Właściwości światłowodów włóknistych (mała średnica rdzenia – punktowe źródło światła) autor wykorzystał dla opracowania koncepcji optoelektronicznych libelli światłowodowych w wersjach: mechanicznej i cieczowej.

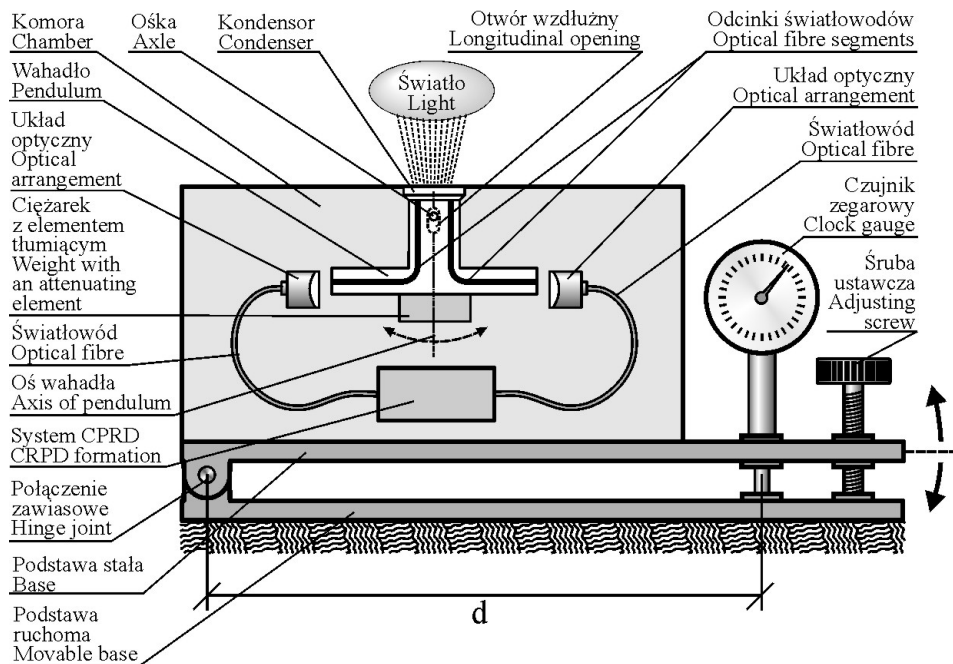
Libella optoelektroniczna – mechaniczna

Ogólny widok projektu libelli przedstawiono na rysunku 5.37 (Ćmielewski, 2002b).



Rys. 5.37. Widok libelli optoelektronicznej w wersji mechanicznej
Fig. 5.37. Mechanical version of optical-electronic level

Podstawą konstrukcyjną libelli jest zawieszenie swobodne wahadła wyposażonego w odcinki światłowodów, których końce optycznie współpracują z systemem centralnej rejestracji i przetwarzania danych obrazowych pozyskiwanych przetwornikiem CCD. Na rysunku 5.38 przedstawiono schematycznie budowę wnętrza optoelektronicznej libelli w wersji mechanicznej.

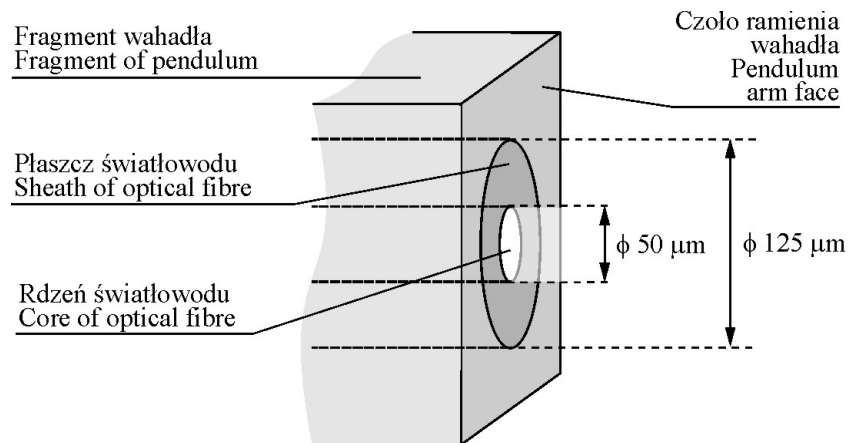


Rys. 5.38. Budowa optoelektronicznej libelli światłowodowej w wersji mechanicznej na podstawie pomiarowej (projekt)

Fig. 5.38. Structure of optical-electronic level in mechanical version on measuring holder (project)

Optoelektroniczną libellę światłowodową w wersji mechanicznej stanowi zamknięta w górnej części kondensorem optycznym komora, wewnątrz której za pomocą osadzonej w pionowym otworze wzdłużnym regulowanej ośki zamocowane jest dwuramienne wahadło obciążone ciężarkiem. W ramionach wahadła osadzone są symetrycznie dwa odcinki światłowodów. W niewielkiej odległości od każdego z ramion wahadła naprzeciwległe do końca każdego z odcinków światłowodów wahadła umieszczone są po jednym układzie optycznym zaopatrzone w światłowody sprzęgnięte z systemem centralnej rejestracji i przetwarzania danych (CRPD). Otwór wzdłużny służy do przesunięcia pionowego wahadła powodując zejście odcinków światłowodów z osi układów optycznych. Konstrukcyjne przesunięcie wahadła pozwala w czasie pracy libelli optoelektronicznej określić kierunek mierzonego pochylenia.

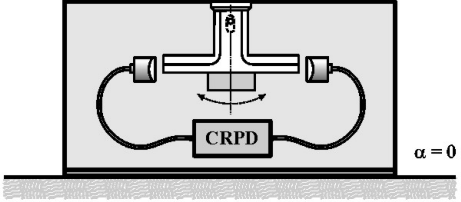
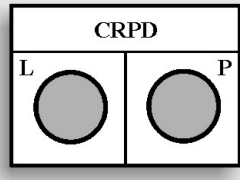
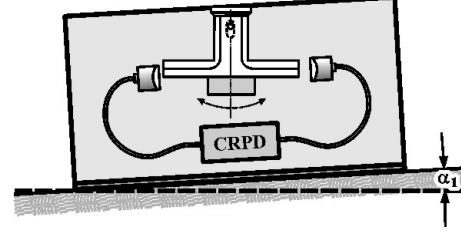
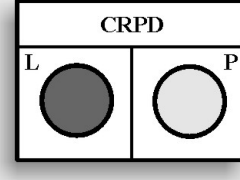
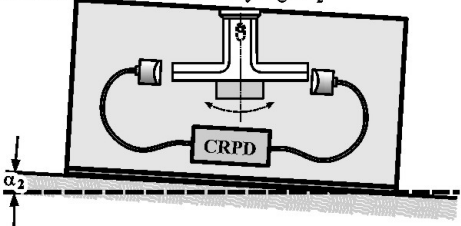
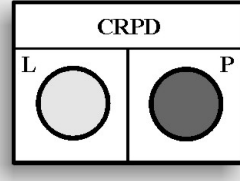
Na rysunku 5.39 przedstawiono sposób przykładowego osadzenia światłowodu w ramieniu wahadła.



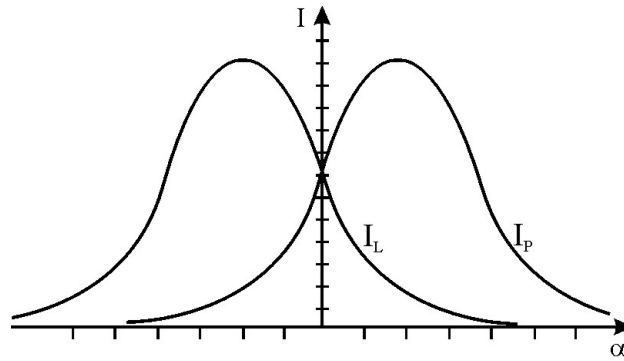
Rys. 5.39. Sposób osadzenia światłowodu w ramieniu wahadła libelli
 Fig. 5.39. Method of mounting the optical fibre in arm of level pendulum

Propagowane przez optyczny kondensator światło jest transmitowane przez odcinki światłowodów w wahadle do układów optycznych sprzęgniętych za pomocą światłowodów z systemem centralnej rejestracji i przetwarzania danych (CRPD). System ten spełnia funkcję analizatora ilości światła propagowanego w światłowodach libelli, a następnie zamienia je na szukany kąt pochylenia obiektu „ α ” (dla libelli skalibrowanej). Jednakowy rozkład natężenia światła w światłowodach występuje przy poziomym ustawieniu libelli. Ewentualne pochylenia badanego obiektu powodują kątowne odchylenia ramion wahadła od położenia zerowego i zmiany ilości światła poddawanego analizie systemem CRPD.

Podczas wykonywania pomiarów geodezyjnych związanych z określeniem pochylenia obiektów mogą wystąpić sytuacje analizy obrazów dla ramienia lewego L i prawego P, zilustrowane na rysunku 5.40. Natomiast funkcyjne zmiany analizowanego natężenia światła dla ramienia lewego i prawego będą przebiegać jak na wykresie 5.41.

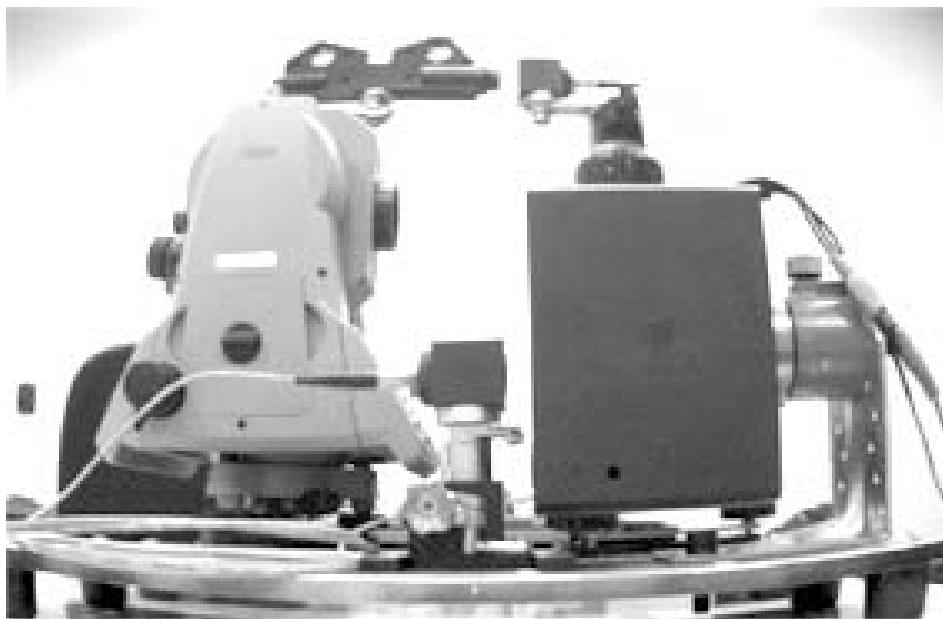
<p>Możliwe sytuacje pomiarowe podczas prowadzenia obserwacji pochylenia obiektu optoelektroniczną libellą światłowodową Possible measuring cases during inclination observations of object by means of optical-electronic level</p>	<p>Widok analizowanego obrazu dla ramienia lewego (L) i prawego (P) View of analysed image for left (L) and right (P) arm</p>
<p>przypadek pierwszy: pochylenie obiektu $\alpha = 0$ first case: object's inclination $\alpha = 0$</p>  <p style="text-align: right;">$\alpha = 0$</p>	
<p>przypadek drugi: pochylenie obiektu o kąt α_1 second case: object's inclination by angle α_1</p>  <p style="text-align: right;">α_1</p>	
<p>przypadek trzeci: pochylenie obiektu o kąt α_2 third case: object's inclination by angle α_2</p>  <p style="text-align: right;">α_2</p>	

Rys. 5.40. Przypadki analizowanego obrazu optoelektronicznej libelli światłowodowej
Fig. 5.40. Cases of analyzed images of optical-electronic optical fibre level



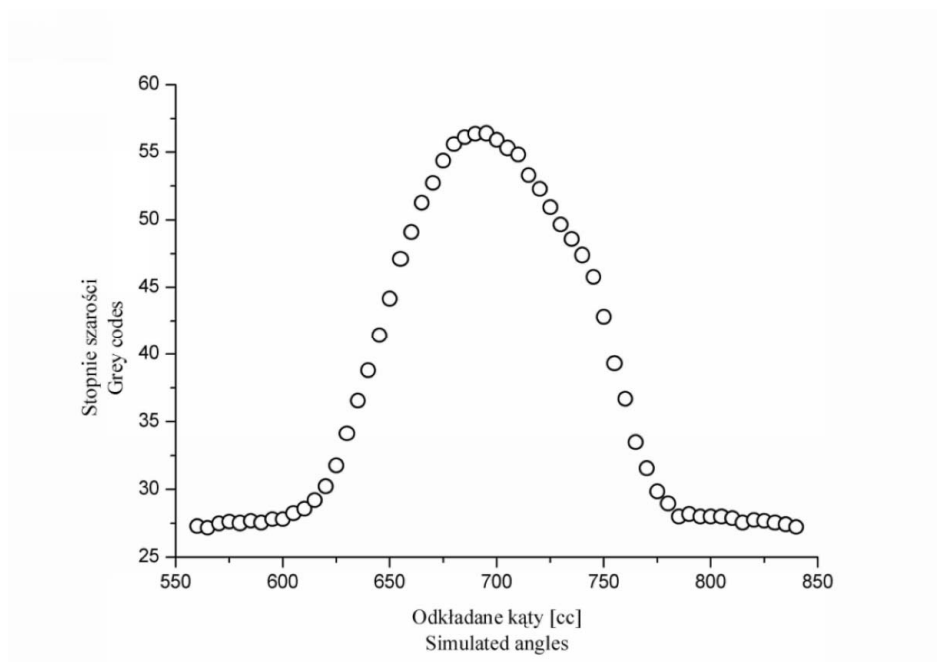
Rys. 5.41. Rozkład zmian natężenia światła dla lewego i prawego ramienia wahadła
 Fig. 5.41. Change schedule of light intensity for left and right arm of pendulum

Założenia projektowe libelli sprawdzono na modelu (rys. 5.42), w którym rolę wahadła spełniała luneta tachymetru TC1800 z zamontowaną diodą laserową jako źródło światła wprowadzanego, natomiast część stałą projektowanej libelli stanowił optyczny układ kolimujący zaopatrzony w odcinek światłowodu (o średnicy rdzenia 0,05 mm) zakończony również układem kolimującym skierowanym na przetwornik CCD połączony z komputerem.



Rys. 5.42. Badanie modelowe pochylenia ramienia wahadła libelli
 Fig. 5.42. Inclination testing of level pendulum arm

W czasie badań odchylano wiązkę światła laserowego o wartość 50° względem stałego układu kolimacyjnego i rejestrowano obraz wychodzącej wiązki. Dla każdego obrazu obliczono stopień szarości w skali od 0 (kolor czarny) do 255 (kolor biały). Wyniki obserwacji przedstawiono na wykresie (rys. 5.43).



Rys. 5.43. Rozkład stopnia szarości (zmian natężenia światła) względem kąta wprowadzenia światła do układu

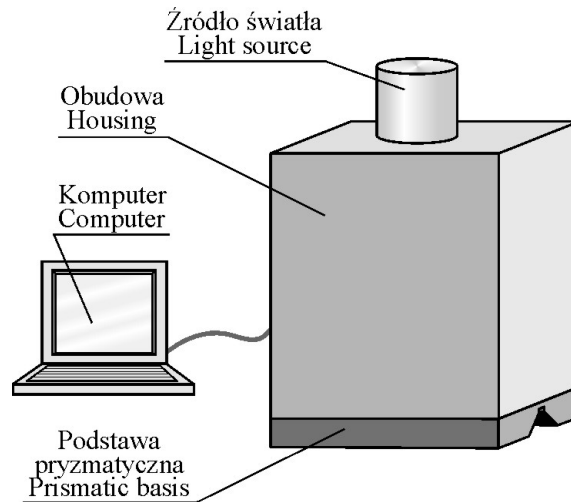
Fig. 5.43. Grey codes distribution (changes of light intensity) with reference to angle of light emitted in optical system

Wykonano również badania doświadczalne powtarzalności stopnia szarości dla minimalnych wartości rozkładu szarości (skrajne wartości kąta odchylenia światła) i dla maksymalnej wartości stopnia szarości. Przy dziesięciokrotnych naprowadzeniach na ustalone wartości katowe wprowadzenia światła odchylenia standardowe szarości zawierały się w granicach od 0,15 do 0,17.

Dla zwiększenia zakresu pomiarowego libelli jej dolną część zaopatruje się w podstawę uchylną z śrubą ustawczą i czujnikiem mikrometrycznym (rysunek 5.38). Wskazania czujnika zegarowego, dla stałego ramienia „d” pozwalają określić wartość występującego pochylenia.

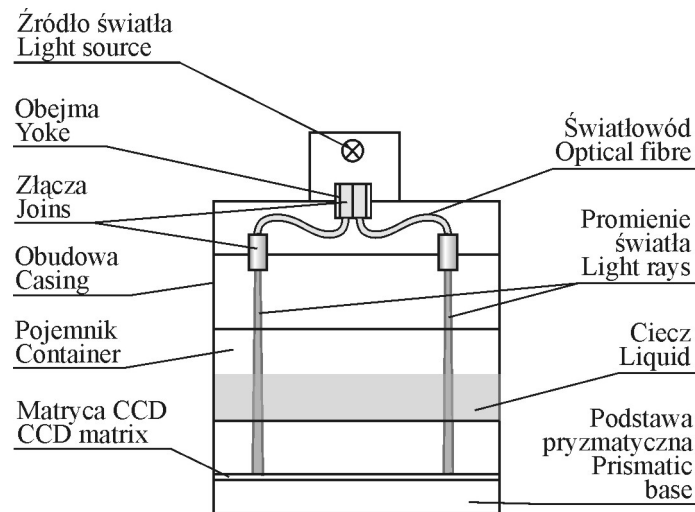
Libella optoelektroniczna – cieczowa

Projekt libelli przedstawiono na rysunku 5.44.



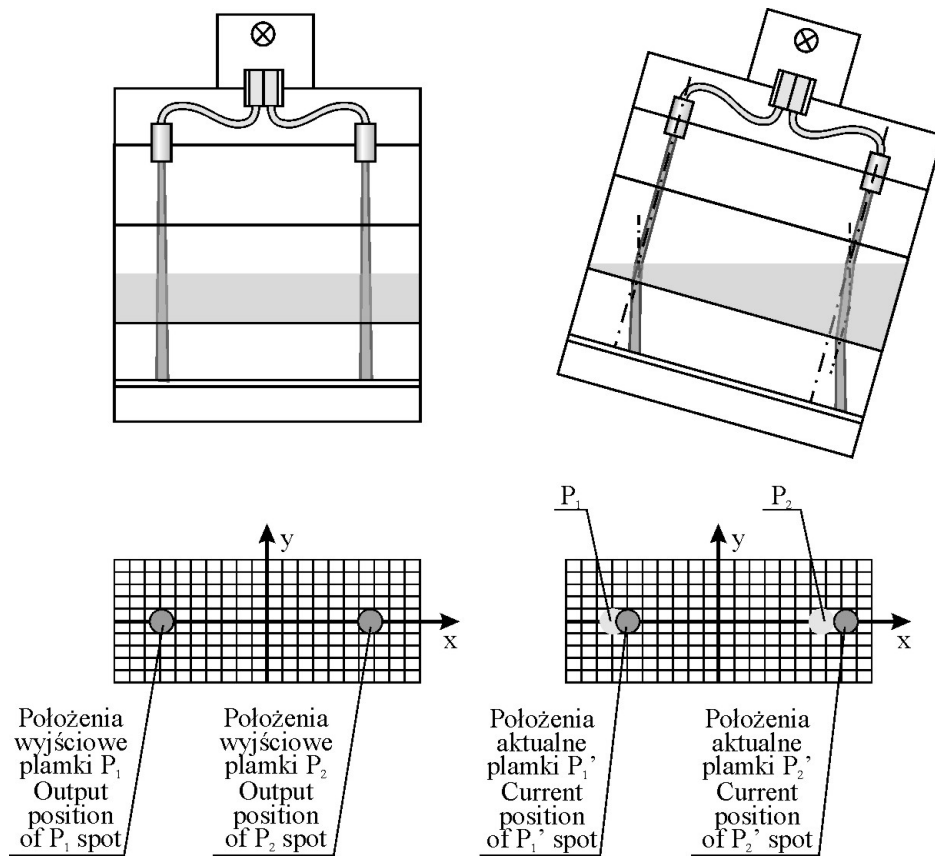
Rys. 5.44. Widok libelli optoelektronicznej w wersji cieczerwrej
 Fig. 5.44. View of optical-electronic level in liquid version

Istotą konstrukcyjną rozwiązania jest pomiar zmiany emitowanego przez końce wiązki światłowodów biegu promieni świetlnych w cieczy swobodnej znajdującej się w pojemniku pochylonym o dowolny kąt α . Funkcyjne pochylenia pojemnika przypisane jest odczytom dokonywanym matrycą przetwornika CCD dla położenia obrazów biegu promieni świetlnych jak na rysunku 5.45.

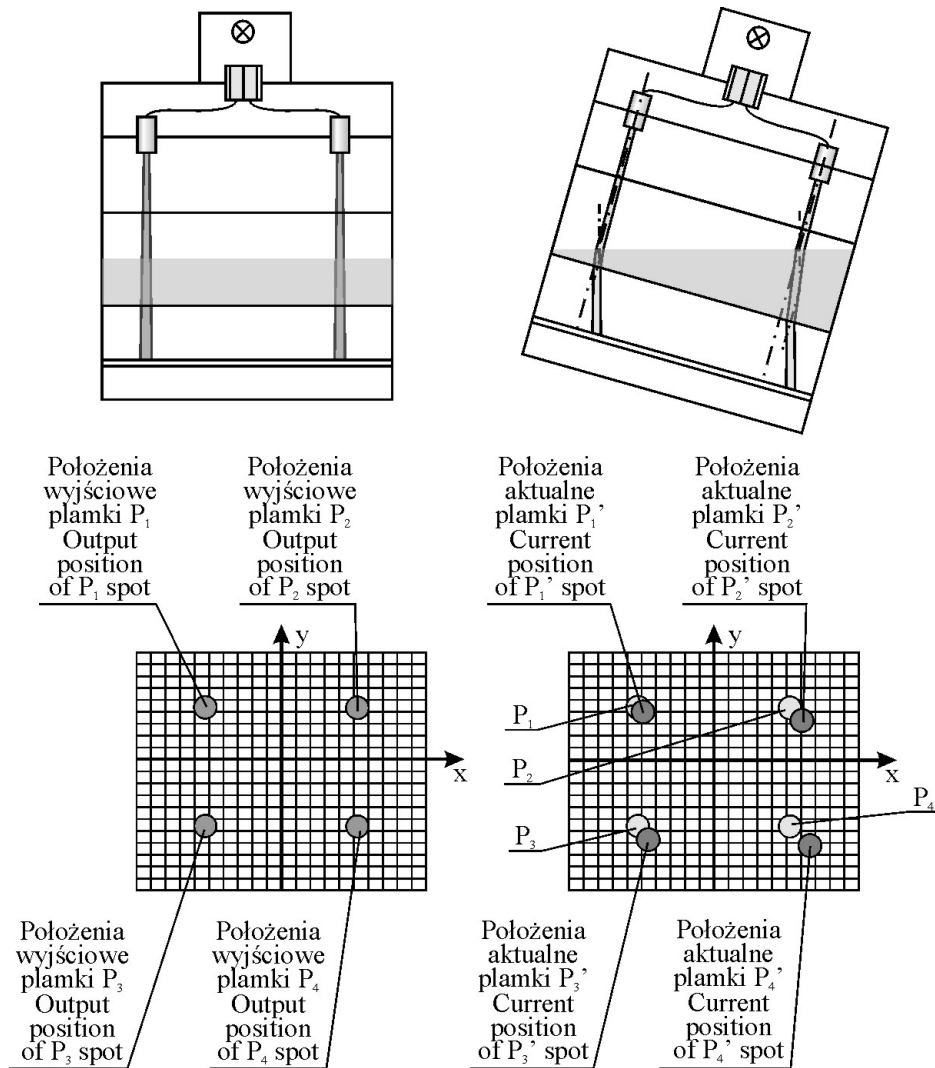


Rys. 5.45. Schemat budowy libelli optoelektronicznej w wersji cieczerwrej
 Fig. 5.45. Structure scheme of optical-electronic level in liquid version

Optoelektroniczna libella światłowodowa w wersji ciekowej w zależności od liczby światłowodów i ich rozmieszczenia nad pojemnikiem z cieczą może być typu liniowego, gdy zaopatrzona jest w dwa światłowody lub typu płaszczyznowego dla czterech światłowodów. Na rysunkach 5.46 i 5.47 przedstawiono działanie libelli optoelektronicznej dla typu liniowego i płaszczyznowego.



Rys. 5.46. Schemat optoelektronicznej libelli światłowodowej ciekowej z przypadkami pomiarowymi dla typu liniowego
 Fig. 5.46. Scheme with linear type measuring cases of optical-electronic level in liquid version



Rys. 5.47. Schemat optoelektronicznej libelli światłowodowej cieczowej z przypadkami pomiarowymi dla typu płaszczyznowego

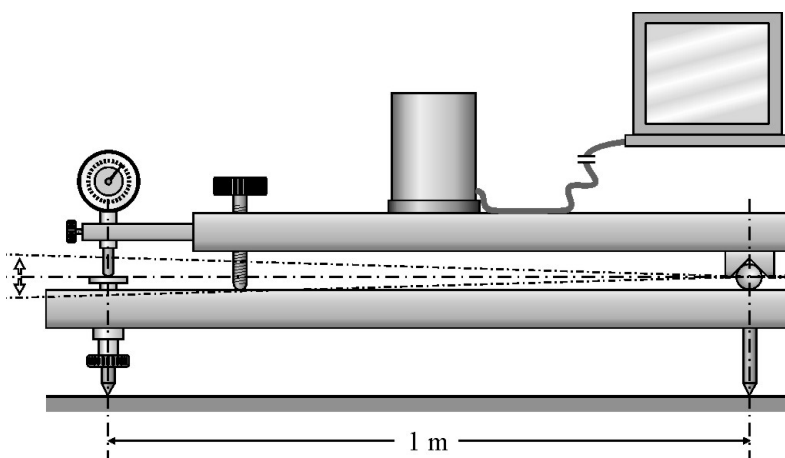
Fig. 5.47. Scheme with plane type measuring cases of optical-electronic level in liquid version

Obrazy plamek, promieni światła emitowanego przez światłowody po przejściu przez pojemnik z cieczą są przetwarzane, rejestrowane i analizowane w układzie współrzędnych prostokątnych za pomocą matrycy przetwornika CCD i przenośnego komputera.

Dla wyznaczenia parametrów dokładnościowych wykonano prototyp libelli typu liniowego (rys. 5.48), a cykl obserwacji testowych przeprowadzono na egzaminatorze uchylnym przedstawionym na rysunku 5.49, przy czym aktywny był jeden światłowód.



Rys. 5.48. Prototyp libelli optoelektronicznej typu liniowego
Fig. 5.48. The prototype of optical-electronic level in liquid version



Rys. 5.49. Egzaminator uchylny z ustawioną libellą optoelektroniczną typu liniowego
Fig. 5.49. The level tester with optical-electronic level in linear type

Testy polegały na symulowaniu wielokrotnych pochyleń co 1 mm w zakresie 10 mm na egzaminatorze uchylnym. Wyniki przedstawiono w tabeli 5.15. Podczas prac testowych identyfikacji środka geometrycznego plamki P_1 dla jednego aktywnego światłowodu dokonywano poprzez uśrednienie współrzędnych pikseli obrazu rejestrowanego przez przetwornik CCD.

Tabela 5.15

Table 5.15

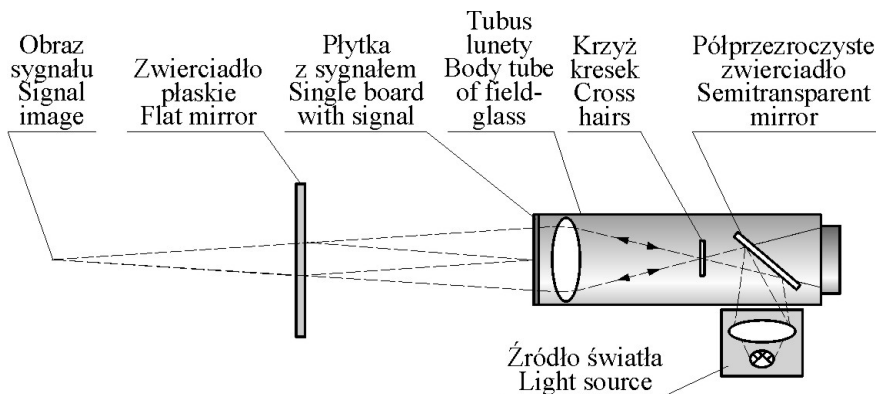
Zestawienie wyników pomiarów przy symulowanych przewyższeniach o wartości co 1 mm/m
Table of height differences measurements simulated of 1 mm/m interval

Lp.	Wartość symulowana Simulated value d_s [mm]	Współrzędne środka plamki pomiarowej Coordinates of middle of measuring spot y_i [mm]	Przemieszczenie plamki pomiarowej P_1 w skali obrazu Displacement of P_1 measuring spot in image scale $d_0 = y_{i+1} - y_1$ [mm]	Wartość pomierzona pochylenia Measured value of inclination $D = d_0 \cdot k$ [mm]	$\Delta = D - d_s$ [mm]
1	0	8,867	-	-	-
2	1	8,913	0,046	1,011	0,011
3	2	8,956	0,089	1,956	-0,044
4	3	9,002	0,135	2,967	-0,033
5	4	9,048	0,181	3,978	-0,022
6	5	9,093	0,226	4,967	-0,033
7	6	9,143	0,276	6,066	0,066
8	7	9,189	0,322	7,077	0,077
9	8	9,232	0,365	8,022	0,022
10	9	9,275	0,408	8,967	-0,033
11	10	9,323	0,456	10,022	0,022
Błąd pojedynczego spostrzeżenia Error of single observation					0,029
					6,02''

Występujący w tabeli 5.15 współczynnik k jest stałą mnożną wyznaczaną w procesie kalibracji. Współczynnik k jest uzależniony od konkretnej konstrukcji prototypu libelli.

5.1.2.2. Tarcza autorefleksyjna

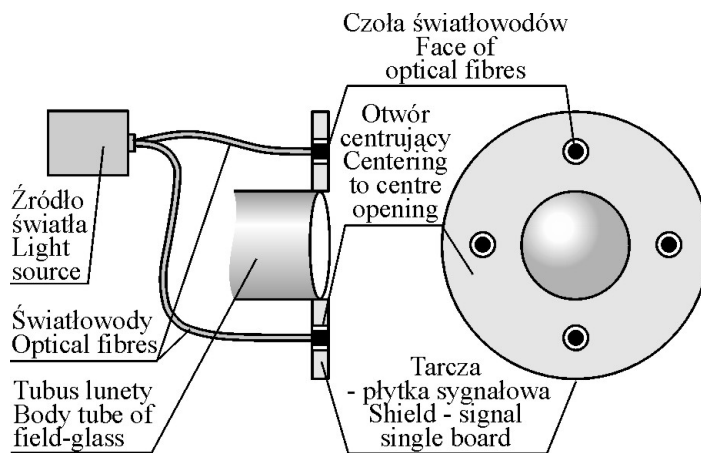
Autorefleksja (Gocał, 1993; Widujew, 1978; Zaccarinnyj, 1976) jest aktualnie jedną z najdokładniejszych metod pomiarów kątów oraz sprawdzania prostokątności elementów obiektów inżynierskich. W zakresie dokładności pomiarowej ustępuje miejsca jedynie autokolimacji i kolimacji. Zasięg pomiarowy metody autorefleksyjnej jest niewielki i kształtuje się na poziomie kilkudziesięciu metrów. Natomiast dokładność pomiaru kąta jest w dużym stopniu związana z kształtem sygnału sprzęganego z lunetą pomiarową i osiąga poziom pojedynczych sekund. Zasada działania autorefleksji jest podobna do autokolimacji. W metodzie autorefleksyjnej najczęściej z tubusem obiektywu lunety sprzęgnięta jest płytka sygnałowa, której obraz podczas pomiarów jest obserwowany za pomocą wspomnianej lunety w zwierciadle ustawionym na badanym elemencie. Na rysunku 5.50 przedstawiono schemat zasady pomiaru metodą autorefleksyjną.



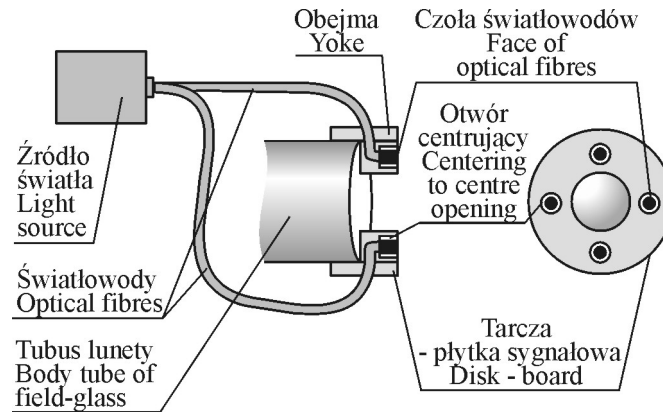
Rys. 5.50. Zasada pomiaru metodą autorefleksyjną
 Fig. 5.50. Auto-reflective measuring method

Z tubusem obiektywu lunety połączona jest przezroczysta płytka płaskorównoległa z naniesionym rysunkiem sygnału, którym mogą być: krzyż kreszek z podziałką, współcentryczne okręgi lub symetrycznie rozmieszczone znaczki. Wspomniane płytki w spotykanych rozwiązaniach lunet autorefleksyjnych są na stałe umieszczone w lunecie lub sprzęgane z tubusem lunety przy obiektywie za pomocą specjalnych nasadek.

Znikome wymiary średnic światłowodów włóknistych pozwoliły autorowi opracować projekty światłowodowych tarcz autorefleksyjnych przedstawionych na rysunkach 5.51 i 5.52 w wersjach umieszczenia płytki sygnałowej na tubusie (Ćmielewski, 2002f) oraz w tubusie.

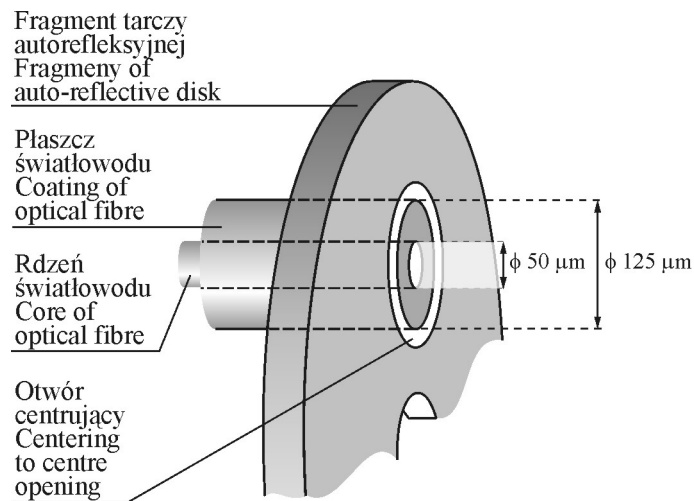


Rys. 5.51. Światłowodowa tarcza autorefleksyjna na tubusie lunety
 Fig. 5.51. Optical fiber auto-reflective fixed target on tube of telescope



Rys. 5.52. Światłowodowa tarcza autorefleksyjna w tubusie lunety
 Fig. 5.52. Optical fiber auto-reflective fixed target in tube of telescope

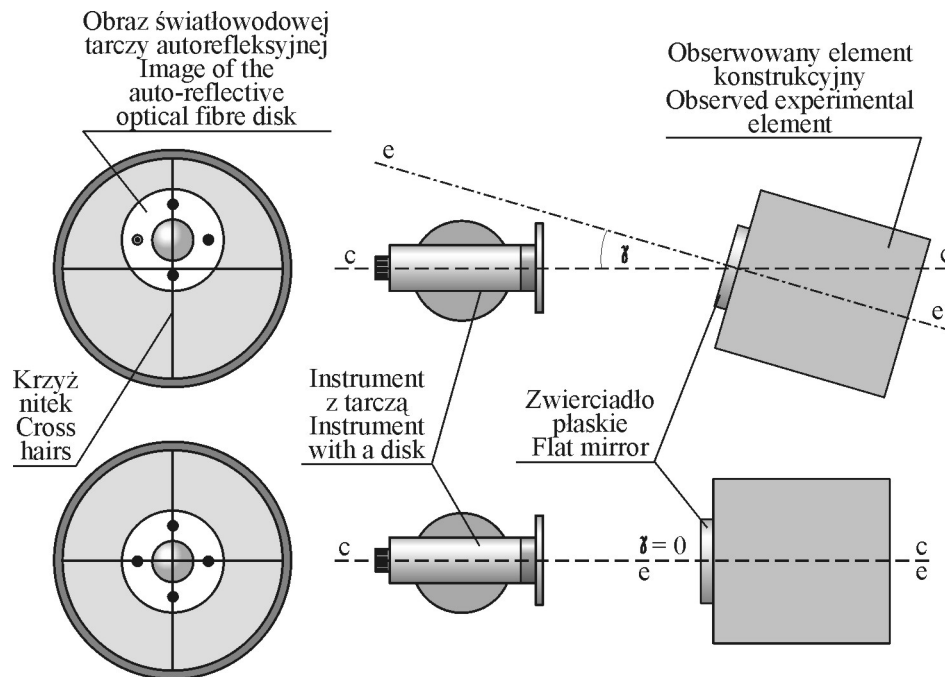
Światłowodową tarczę autorefleksyjną stanowi krążek płytki sygnałowej sprzęgany na okres pomiarów z tubusem obiektywu lunety. W krążku zamiast rysunku sygnału proponuje się symetryczne rozmieszczenie co najmniej czterech światłowodów w taki sposób, aby od strony obiektywu były widoczne ich czola. Po włączeniu źródła światła światło propagowane przez światłowody widziane jest jako punkty na ich czołach (świejące kołowo rdzenie). Sposób osadzenia światłowodu w tarczy przedstawiono na rysunku 5.53.



Rys 5.53. Sposób osadzenia światłowodu w tarczy – płytce sygnałowej
 Fig. 5.53. Method of mounting the optical fibre in fixed target-signal plate

Zaprezentowane wersje tarcz światłowodowych mogą polepszyć warunki obserwacji: wersja tarczy na tubusie zwiększa zasięg obserwacji, natomiast wersja tarczy w tubusie jest wygodniejsza przy obserwacjach bliskiego zasięgu dla krótkich celowych. Również wymiary użytych zwierciadeł mogą być zoptymalizowane do wymiarów stosowanych typów tarcz. Pozwala to również na użycie lepszych jakościowo zwierciadeł (płaskość). Przykładowe zastosowanie pomiarowe tarczy światłowodowej na tubusie lunety przedstawiono na rysunku 5.54.

Podczas wykonywania precyzyjnych pomiarów kątowych na badanych elementach ustawiane jest zwierciadło, na które dokonuje się nacelowań lunetą instrumentu zaopatrzonego w autorefleksyjną tarczę światłowodową.



Rys. 5.54. Przykłady nacelowań wykonane światłowodową tarczą autorefleksyjną
Fig. 5.54. Aiming examples made with optical fiber auto-reflective fixed target

W przypadku gdy oś elementu (e-e) jest odchylana w stosunku do osi celowej (c-c) będącej prostą odniesienia, w luncie instrumentu obserwowane jest niepokrywanie się świecących czoł światłowodów z nitkami krzyża kresek. Jeśli natomiast oś elementu (e-e) jest równoległa bądź pokrywa się ze wspomnianą osią celową (c-c), wówczas następuje pokrycie krzyża nitkami ze świecącymi czołami światłowodów.

Na rysunku 5.55 przedstawiono prototyp tarczy autorefleksyjnej z pojedynczym światłowodem o średnicy rdzenia 0,05 mm. Dla wstępnej oceny dokładności pomiarowej modelu tarczy wykonano serię pomiarów testujących. Do badań użyto teodolitu Wild T2 z podziałem gradowym, wyposażony w mikrometr optyczny o najmniejszym interwale działki 1^{cc} pozwalający na wykonywanie odczytów z dokładnością do 0,2^{cc}. Na ramionach alidady teodolitu Wild T2 umocowane zostało lustro autokolimacyjne Zeissa. Teodolit z lustrem posłużył do symulowania poziomych skręceń kątowych. Podczas badań za pomocą prototypu tarczy autorefleksyjnej sprzęgniętej z teodolitem Theo 010B wykonywano pomiary kątowe skręceń, przy wzajemnej odległości równej 4,550 m pomiędzy instrumentem symulacyjnym a obserwacyjnym.

Tabela 5.16

Table 5.16

Zestawienie różnic kątowych pomiędzy kątami symulowanymi a obserwowanymi dla serii testowej prototypu tarczy autorefleksyjnej
 Table of angular differences between simulated and observed angels for test batch of auto-reflective prototype disk

Numer obserwacji Observation number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Wartość przeciętna Mean value
Różnica pomiędzy kątem skręcenia symulowanym, a obserwowanym Difference between simulated and observed torsion angle [^{cc}]	4	2	-5	3	5	-5	2	-4	2	-4	3,6

Na podstawie różnic kątowych pomiędzy kątami symulowanymi a obserwowanymi z par spostrzeżeń obliczono błąd pojedynczego pomiaru, którego wartość kątowa wyniosła 2,7^{cc}, a odpowiadająca mu wartość liniowa 0,02 mm.

Wykonano również serię pomiarów testowych tarczy autorefleksyjnej sprzęgniętej z lunetą tachymetru TC1800. Wyniki przedstawiono w tabeli 5.17.



Rys. 5.55. Tachymetr TC1800 z prototypem światłowodowej tarczy autorefleksyjnej
 Fig. 5.55. TC1800 tachymeter with prototype of optical fibre auto-reflective fixed target

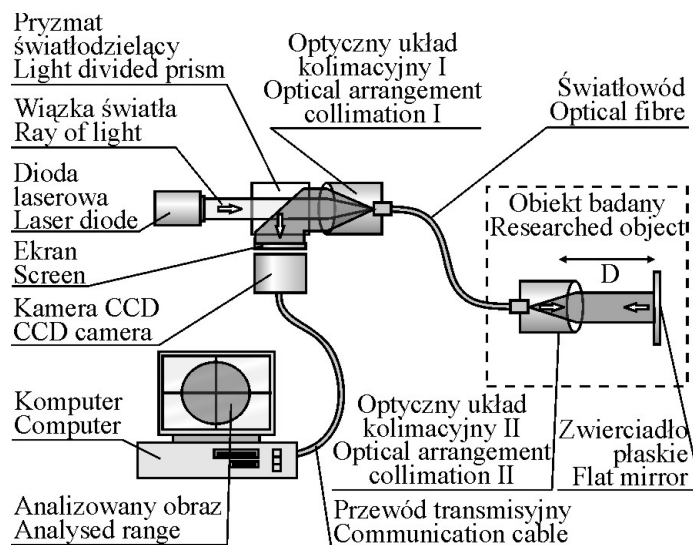
Tabela 5.17
 Table 5.17

Zestawienie błędów pomiaru kierunku dla tarczy autorefleksyjnej zaopatrzonej w światłowód o średnicy rdzenia 0,98 mm
 Table of direction measurement errors for optical fibre auto-reflective fixed target equipped with optical fibre with core diameter of 0,98 mm

Odległość Distance [m]	1	5	10	15	25	50
Błąd kierunku poziomego Horizontal direction error [^{CC}]	1,2	1,0	1,2	1,6	1,2	2,1
Błąd kierunku pionowego Vertical direction error [^{CC}]	2,5	1,0	2,8	2,9	2,7	3,1

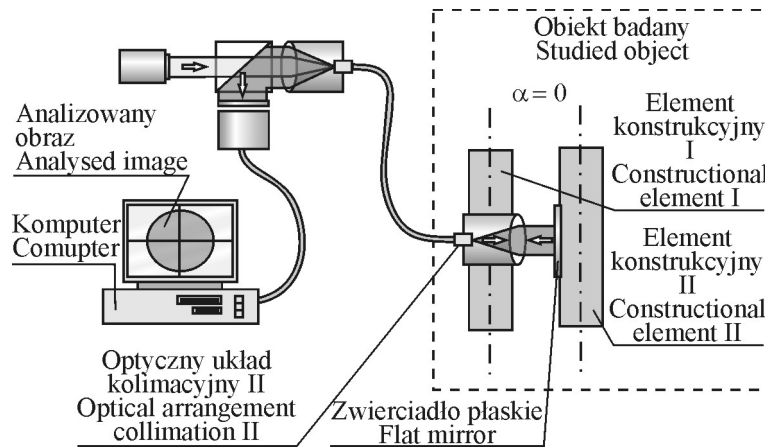
5.1.2.3. Zestaw autokolimacyjny

Metoda autokolimacyjna stosowana w geodezji inżynierskiej do pomiaru skręceń elementów maszyn, pomiaru prostoliniowości prowadnic, ustalania położenia osi wałów względem siebie, badania kształtu podzespołów maszyn pozwala na osiągnięcie największych dokładności pomiarowych (Gocał, 1993; Żak, 1977; Zacarinnyj, 1976). Światłowody włókniste pozwalające prowadzić światło dowolną drogą obligowaną ułożeniem światłowodu, przetworniki CCD jako wysoce wyspecjalizowane detektory światła oraz diody laserowe jako miniaturowe źródła spójnego i monochromatycznego światła umożliwiły autorowi zaprojektowanie zintegrowanego zestawu systemu autokolimacyjnego (ZSA) dla obserwacji skręceń osi elementów konstrukcyjnych pozostających w niedużej odległości „D” względem siebie jak na rysunku 5.56.



Rys. 5.56. Projekt zestawu systemu autokolimacyjnego (ZSA)
Fig. 5.56. Project of set of auto-collimation system (ZSA)

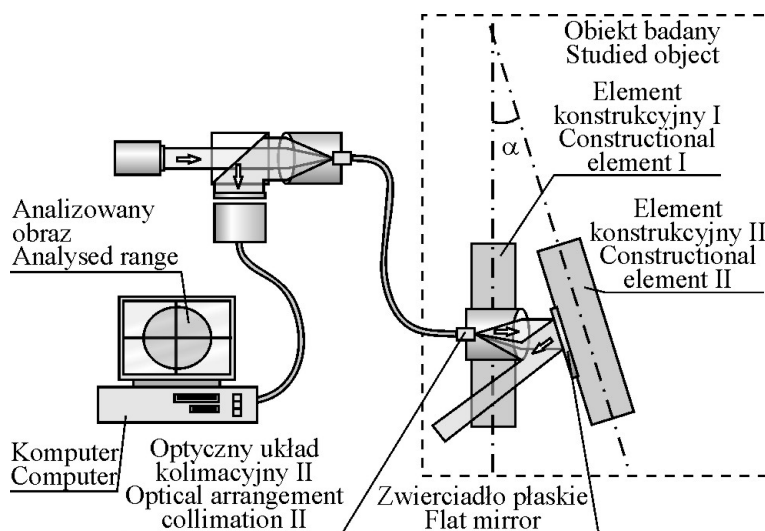
Zestaw składa się z diody laserowej, której światło wprowadzane jest przez pryzmat światłodziący do optycznego układu kolimacyjnego I na rdzeń światłowodu. Prowadzona światłowodem wiązka światła ze stanowiska obserwacyjnego do obiektu badanego, na którym poprzez optyczny układ kolimacyjny II jest wyprowadzana na zwierciadło płaskie. O ile płaszczyzna zwierciadła płaskiego jest prostopadła do osi optycznej układu kolimacyjnego II, następuje całkowita retransmisja wiązki światła do wspomnianego światłowodu i układu kolimacyjnego I, a następnie w kostce światłodziącej następuje odbicie w kierunku ekranu. Powstały obraz retransmitowanej wiązki światła na ekranie jest odbierany kamerą CCD, a następnie poprzez przewód transmisyjny przekazywany do komputera. Zarejestrowany obraz można analizować oraz przetwarzać w ustalonych algorytmach i procedurach. Na rysunkach 5.57, 5.58 i 5.59 przedstawiono wybrane przypadki obserwacyjne uzyskane Zestawem Systemu Autokolimacyjnego.



Rys. 5.57. Schemat obserwacji zestawem autokolimacyjnym (ZSA) skręcenia elementów konstrukcyjnych I i II przy kącie $\alpha = 0$

Fig. 5.57. Scheme of observation of the I and II construction element torsion for angle $\alpha = 0$ made with auto-collimation set (ZSA)

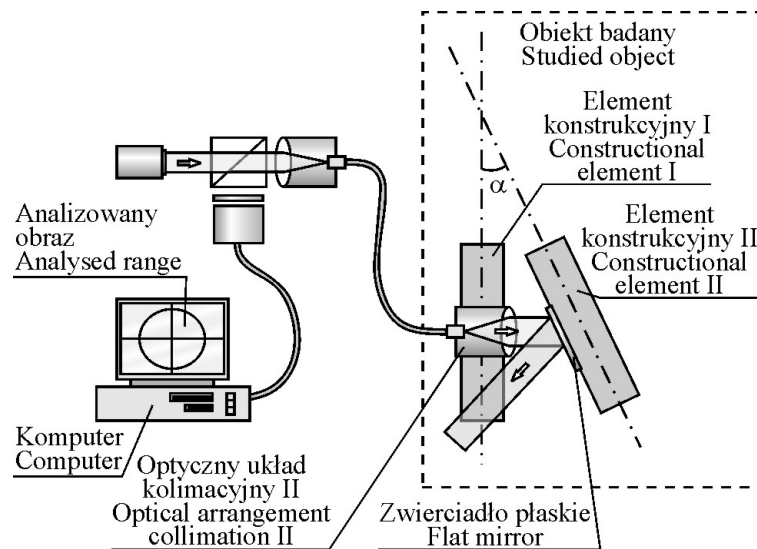
Przy skręceniu elementów konstrukcyjnych I i II o kąt $\alpha = 0$ analizowany obraz wykazuje pełną intensywność.



Rys. 5.58. Schemat obserwacji zestawem autokolimacyjnym (ZSA) skręcenia elementów konstrukcyjnych I i II przy kącie $\alpha \neq 0$, nie większym od ustalonego konstrukcyjnie zakresu pomiarowego zestawu

Fig. 5.58. Scheme of observation of the I and II construction elements torsion for angle $\alpha \neq 0$ not greater than settled measuring range of the set made with auto-collimation set (ZSA)

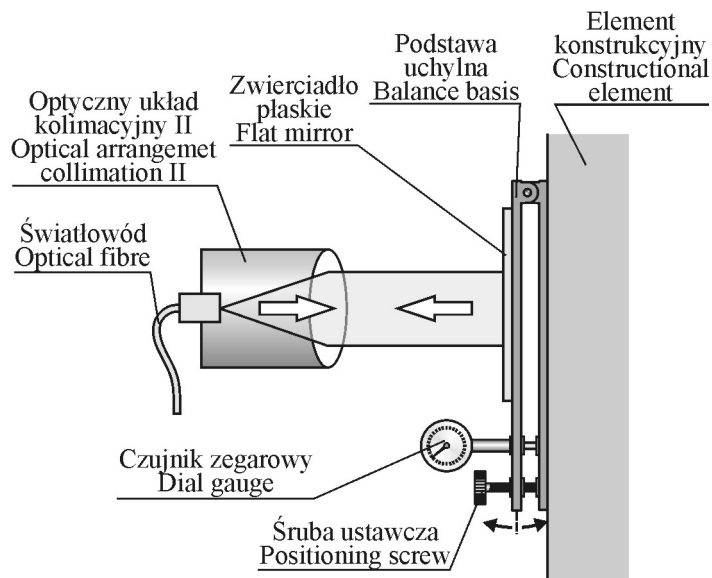
Przy niedużym skręceniu elementów konstrukcyjnych I i II obejmującym zakres obserwacyjny zestawu analizowany obraz wykazuje mniejszą intensywność.



Rys. 5.59. Schemat obserwacji zestawem autokolimacyjnym (ZSA) skręcenia elementów konstrukcyjnych I i II przy kącie α większym od ustalonego konstrukcyjnie zakresu pomiarowego zestawu

Fig. 5.59. Scheme of observation of the I and II construction elements torsion for angle α greater than settled measuring range of the set made with auto-collimation set (ZSA)

Przy obserwacjach skręceń elementów konstrukcyjnych większych od ustalonego konstrukcyjnie zakresu obserwacyjnego dla zestawu występuje brak obrazu, który podlegałby analizie i przetwarzaniu. Przy badaniu skręceń elementów konstrukcyjnych można rozpatrzeć dwa warianty ustawczo-pomiarowe zestawu systemu autokolimacyjnego. W pierwszym wariantcie, na podstawie analizy maksymalnej intensywności obrazu, zestaw może być wykorzystany w celach ustawczych, przy montażu elementów konstrukcji obiektu, z warunkami ich wzajemnej równoległości lub prostokątności. W drugim wariantcie zwierciadło wyposażone jest w podstawę uchylną z śrubą ustawczą i czujnikiem zegarowym mikrometrycznym (rys. 5.60).



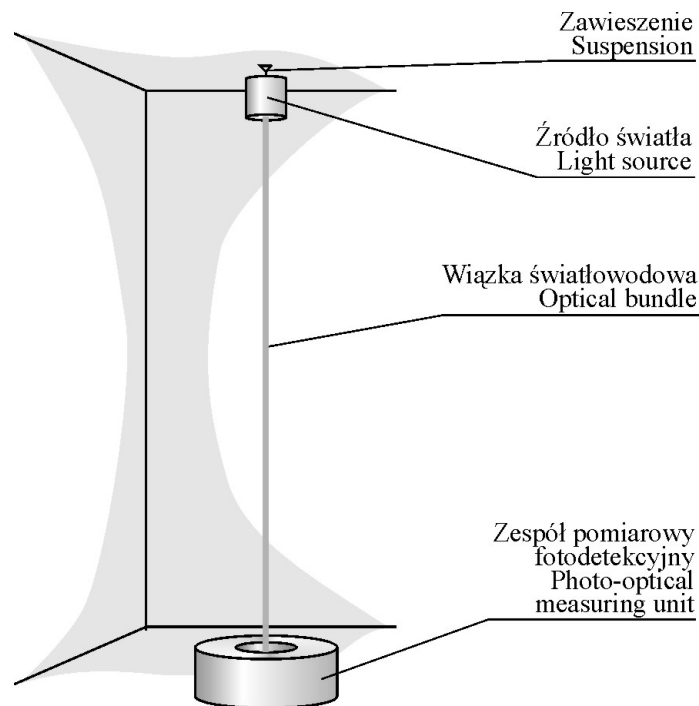
Rys. 5.60. Widok zwierciadła wyposażonego w podstawę uchylną
 Fig. 5.60. View of the mirror equipped with inclined bedplate

Zestaw zwierciadła z podstawą uchylną ustawiony na elemencie konstrukcyjnym pozwala dla stałego ramienia określić wartość aktualnego skrócenia przy występującej maksymalnej intensywności analizowanego obrazu.

5.1.2.4. Optoelektroniczny pion światłowodowy

Jednym z celów współczesnej geodezji jest automatyzacja technologii pomiarowych stosowanych w badaniach obiektów w czasie rzeczywistym. W tym zakresie współczesny rozwój elektroniki oraz mechaniki precyzyjnej daje możliwość efektywnej modyfikacji tradycyjnych metod pomiarowych. Do podstawowych metod kontrolno-pomiarowych na zaporach wodnych należy metoda pionowania za pomocą wahadeł fizycznych (Bryś, Przewłocki, 1998; Bryś, Mirek, 2005; Pelzer, 1988).

Wykorzystanie linii światłowodowej, diody laserowej oraz przetwornika CCD pozwala zaprojektować pion światłowodowy (Ćmielewski, 2003b) jak na rysunku 5.61.

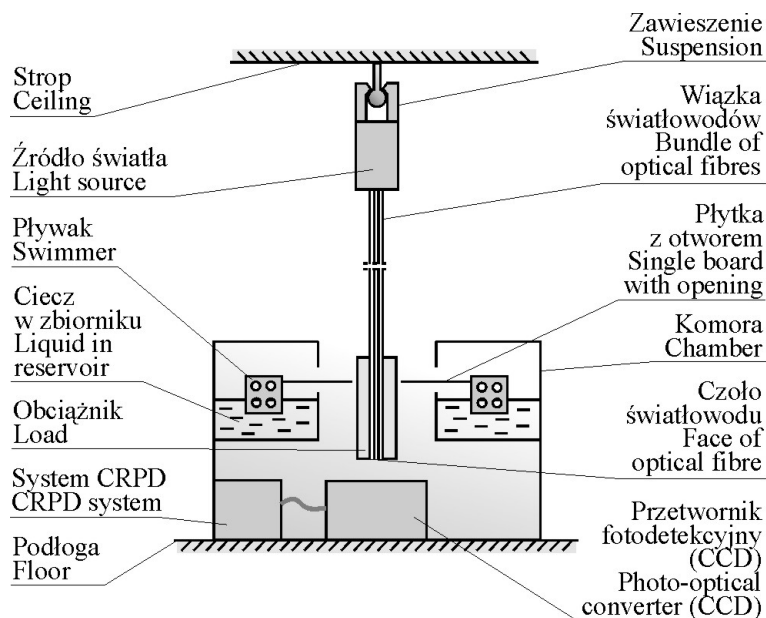


Rys. 5.61. Widok pionu światłowodowego
 Fig. 5.61. View of optical fibre plummet

Na rysunku 5.62 przedstawiono budowę i zasadę działania pionu światłowodowego. Pion posiada źródło światła w górnej części, zawieszony do stropu, a w dolnej połączony z wiązką światłowodów wprowadzonych do wnętrza komory zespołu pomiarowo-fotodetekcyjnego. Koniec światłowodów w pobliżu ich czół wyposażony jest w obciążnik współpracujący suwliwie z otworem płytki, posiadającej na swych końcach płytki ażurowe zanurzone w cieczy zbiornika. Naprzeciwko czół światłowodów umieszczony jest przetwornik fotodetekcyjny (CCD) połączony przewodem transmisyjnym z systemem centralnej rejestracji i przetwarzania danych (CRPD).

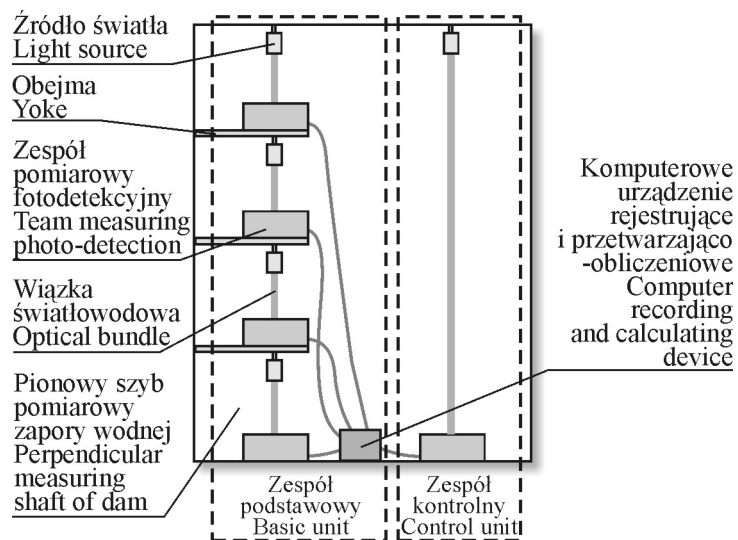
W przypadku monitorowania stanu bezpieczeństwa np. zapory wodnej w betonowym szybie pomiarowym rozwiesza się źródło światła z wiązką światłowodów i obciążnikiem. Na fundamencie ustawia się komorę zespołu pomiarowo-fotodetekcyjnego w taki sposób, aby obciążnik mógł współpracować z otworem płytki pływakowej. Następnie włącza się źródło światła, które propaguje falę świetlną poprzez wiązkę światłowodów do czół obserwowanych za pomocą przetwornika fotoelektrycznego (CCD). Obserwowany obraz rejestrowany jest poprzez system centralnej rejestracji i przetwarzania danych (CRPD) jako pomiar wyjściowy. Układ elementów fotoczułych matrycy przetwornika fotoelektrycznego (CCD) zestawiony jest w n wierszy i m kolumn tworząc macierz obrazową pikseli rozpatrywanych w kartezjańskim układzie

współrzędnych prostokątnych xy . Dowolny element wspomnianej macierzy obrazowej można określić poprzez współrzędne x i y . Stąd też zarejestrowany pierwszy pomiar wyjściowy, a także pomiary w kolejnych odstępach czasowych, mogą być rozpatrywane jako współrzędne x i y , a ich różnice stanowią informację o względnych zmianach odległości położenia wahadła, a dalej o zachowaniu badanej zapory wodnej. Ruchy zawieszanej wiązki światłowodów tłumią się w cieczy zbiornika za pomocą pływaków przymocowanych do płytki.



Rys. 5.62. Schemat budowy pionu światłowodowego
Fig. 5.62. Structure scheme of optical fibre plummet

Wprowadzając na obiekcie inżynierskim w szybie pomiarowym zapory wodnej łańcuch zestawów pomiarowych jak na przykładowym rysunku 5.63, można z obserwacji prowadzonych na danych poziomach obserwacyjnych wyznaczyć linię wygięcia muru zapory wykorzystując formuły wzorów 5.10 i 5.11 zapisanych w rozdziale 5.2.2.2 dla zestawów pomiarowych nadajników laserowych i układów fotodetekcyjno-rejestrujących.

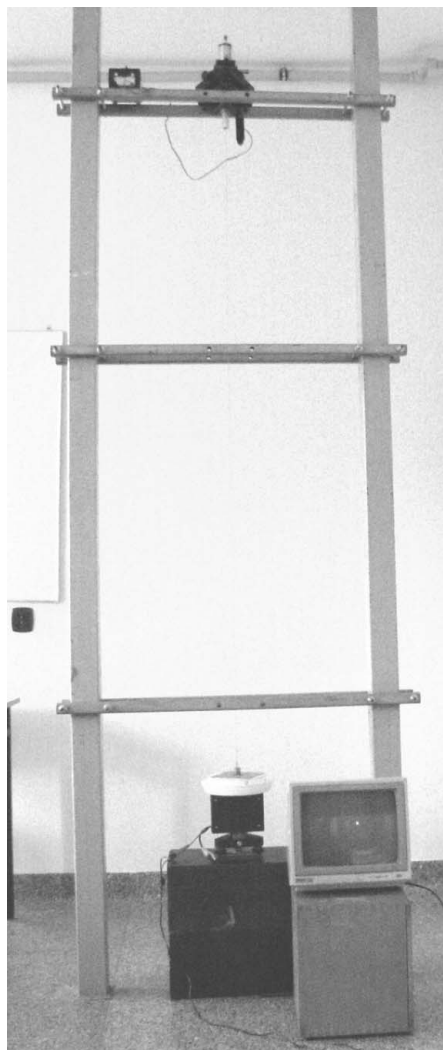


Rys. 5.63. Łańcuch zestawów pionów światłowodowych z układami fotodetekcyjnymi
 Fig. 5.63. Chain of optical fibre plummet sets with photo-detective system

Dla sprawdzenia założeń projektowych wykonano prototyp pionu światłowodowego przedstawionego na rysunku 5.65. Do budowy pionu użyto światłowód włóknisty o średnicy rdzenia 0,05 mm i długości 2 m. Na rysunku 5.64 przedstawiono pion światłowodowy z zespołem fotodetekcyjnym.



Rys. 5.64. Zespół fotodetekcyjny pionu światłowodowego w trakcie pomiarów testujących
 Fig. 5.64. Photo-detection unit of optical fibre plummet during testing



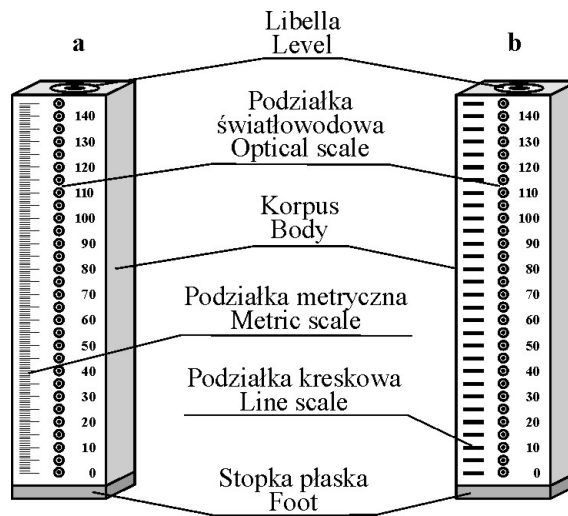
Rys. 5.65. Pion światłowodowy na ramie wsporczej w trakcie testowania
Fig. 5.65. Optical fibre plummet during testing situated on a frame

W górnej części ramy pion został przymocowany do mikrometrycznego symulatora pozwalającego na zadawanie określonych przesunięć z dokładnością do 0,01 mm. Wykonano cykl symulowanych przesunięć pionu co pół milimetra w zakresie od 0 do 9,5 mm. Zadane przesunięcia rejestrowano za pomocą przetwornika CCD sprzęgniętego z komputerem. Maksymalna różnica pomiędzy przesunięciem symulowanym a odczytanym wynosiła 0,04 mm, a błąd pojedynczego spostrzeżenia obliczony dla 20 przesunięć wyniósł $\pm 0,025$ mm.

5.1.2.5. Łata światłowodowa

Obiekty inżynierskie i występujące na nich podzespoły podlegające pomiarom wysokościowym charakteryzują się często w punktach pomiarów niewielkimi przewyższeniami (np.: tory jezdni podsuwnicowych, różnego rodzaju tokarki, frezarki, walcarki i inne tego typu urządzenia i budowle). Do obserwacji wysokościowych na wspomnianych obiektach wykorzystuje się najczęściej metodę niwelacji geometrycznej (Gocał, 1993). W dotychczasowej praktyce niwelacyjne obserwacje instrumentalne, przy pomiarach geodezyjnych, wykonywane są na łatach geodezyjnych ustawianych do pomiaru na punktach pomiarowych. Znane łaty niwelacyjne (Kern, Leica Heerbrugg AG, Nikon, Sokkisha Co. LTD, Zeiss C. (Oberkochen, Jena), Wild. AG-Wild-Leitz, Opton Feintechnik GmbH, 1980 ÷ 2005) mają postać monolitycznych odcinków jedno-, dwu-, trzy- lub czterometrowych. Opracowana została również mocowana do łaty matryca fototranzystorów, którą stanowią uszeregowane w jeden lub dwa pionowe rzędy układów światłoczułych elementów półprzewodnikowych o średnicy 0,7 mm (Wanic, 1992). Matryca współdziała z płaszczyzną laserową. Położenie środka śladu płaszczyzny laserowej na matrycy analizowane jest układem logicznym, a następnie jako odczyt odległości od początku łaty (stopki) z dokładnością do 0,1 mm ukazuje się w formie cyfrowej na wyświetlaczu. Posługiwanie się znanymi rozwiązaniami łat może być utrudnione na przykład przy punktach wysokościowych zabudowanych lub przysłoniętych. Stąd też opracowano projekt łaty niwelacyjnej z podziałem światłowodowym (Ćmielewski, 2003c, 2003e).

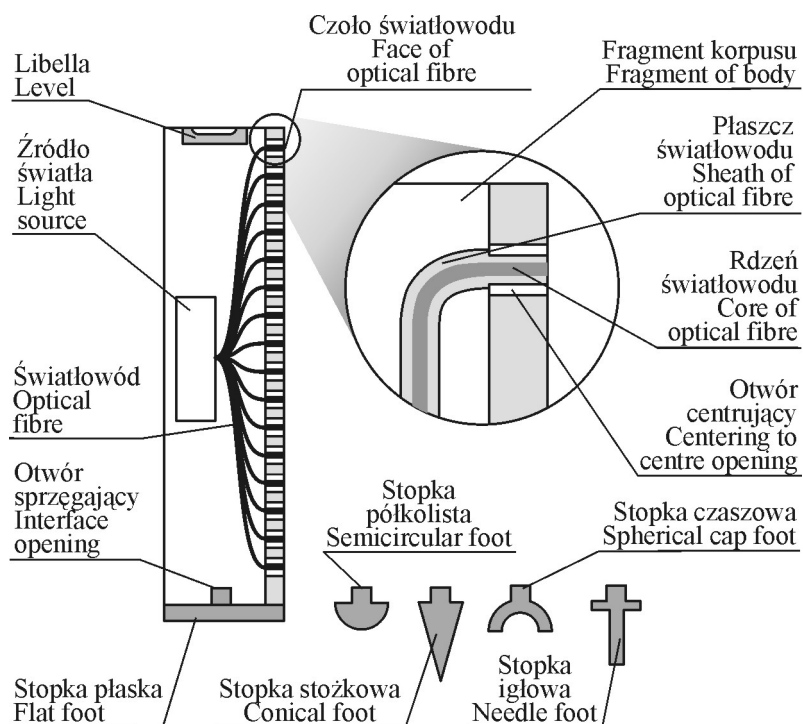
Łatę niwelacyjną przedstawiono na rysunku 5.66. Zbudowana jest z wydłużonego monolitycznego odcinka korpusu zakończony w górnej części libellą, a w dolnej stopką. Podziałka łaty została dodatkowo wyposażona w zestaw równomiernie rozmieszczonych wyjść światłowodowych świecących światłem doprowadzanym ze źródła.



Rys. 5.66. Widok z przodu łaty niwelacyjnej, a) wariant z podziałką milimetrową, b) wariant z podziałką kreskową

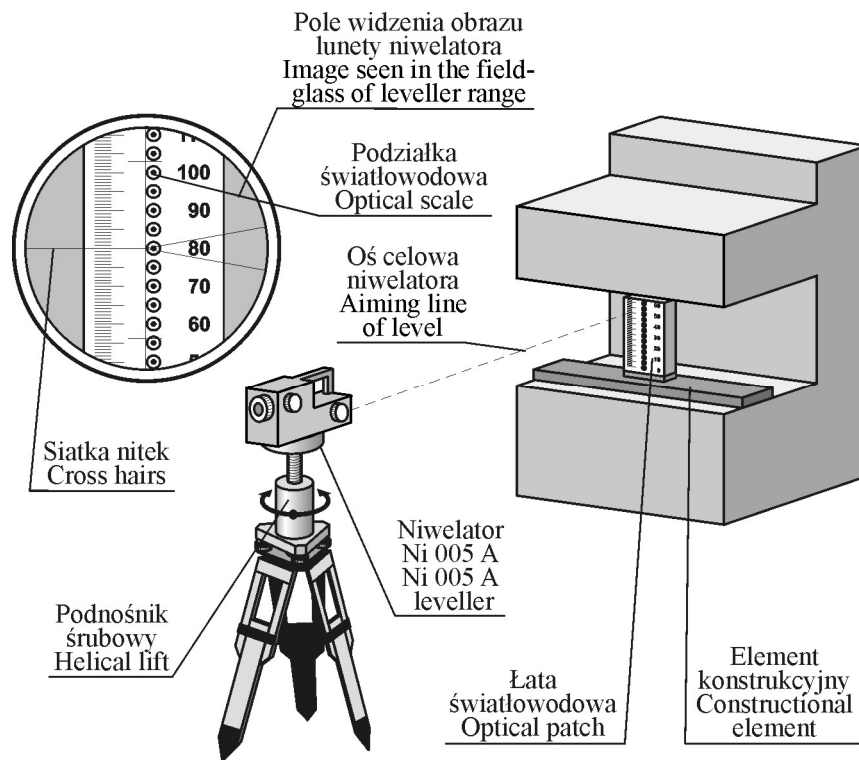
Fig. 5.66. Front view of rod, a) milimetric scale version, b) line graduation version

Na rysunku 5.67 przedstawiono w przekroju szczegółowy schemat budowy łąty niwelacyjnej wraz z zestawem wymiennych stopiek montowanych do łąty w zależności od typu punktu pomiarowego



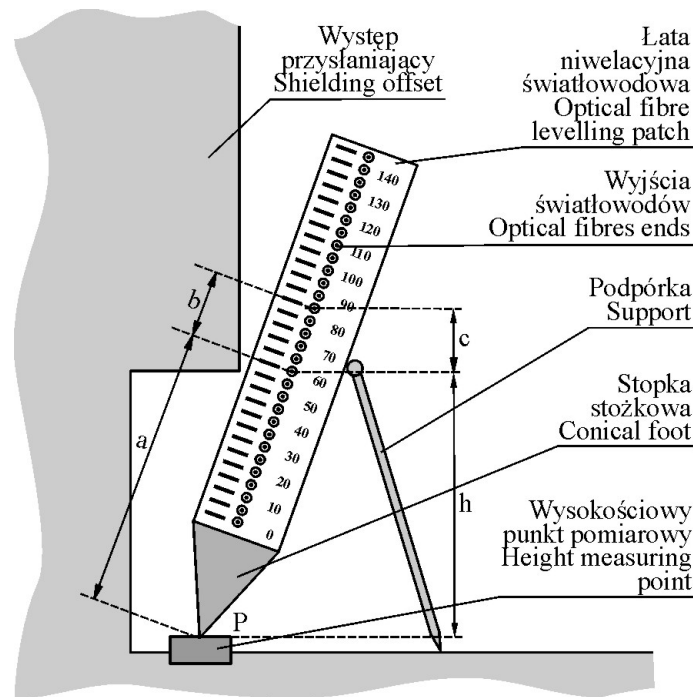
Rys. 5.67. Schemat budowy łąty niwelacyjnej światłowodowej
 Fig. 5.67. Structure scheme of optical fibre level rod

Przy wykonywaniu pomiarów geodezyjnych na obiektach inżynierskich z utrudnionym dostępem do punktów pomiarowych i niedostatecznym oświetleniem, procedury obserwacyjne można usprawnić stosując proponowaną łątę niwelacyjną jak na rysunku 5.68.



Rys. 5.68. Ilustracja procesu pomiarowego z zastosowaniem łaty niwelacyjnej światłowodowej
 Fig. 5.68. Illustration of measuring process with use of optical fiber level rod

Niektóre z punktów pomiarowych obserwowanych metodą niwelacji geometrycznej mogą ulec zabudowie bądź przysłonięciu uniemożliwiającym pionowe ustawienie klasycznych łat. Zastosowanie łaty niwelacyjnej światłowodowej, a zwłaszcza podziałki światłowodowej pozwala na wykonywanie obserwacji przy łacie wychylonej od pionu, omijającej przesłonięcie punktu, co przedstawiono na rysunku 5.69.



Rys. 5.69. Przykład pomiaru łatą niwelacyjno-światłowodową przysłoniętego punktu wysokościowego

Fig. 5.69. Measuring example of height point made with optical fibre level rod

Pomiar w tym przypadku, po wymuszonym ustawieniu niepionowym łaty na punkcie, sprowadza się do wyznaczenia zmiennej, pojedynczej lub będącej wielokrotnością odległości „c” i wnioskowaniu o skali podziałki światłowodowej oraz o wartości odczytu na łacie niepochylonej, co opisuje prosta zależność:

$$h = \frac{c}{b} \cdot a \quad (5.4)$$

gdzie:

a – odległość od stopy łaty do określonego wyjścia światłowodu,

b – odległość pomiędzy wyjściami światłowodów,

c – odległość pomierzona za pomocą mikrometru niwelatora precyzyjnego,

h – pionowa odległość rozpatrywana od punktu pomiarowego do osi celowej niwelatora.

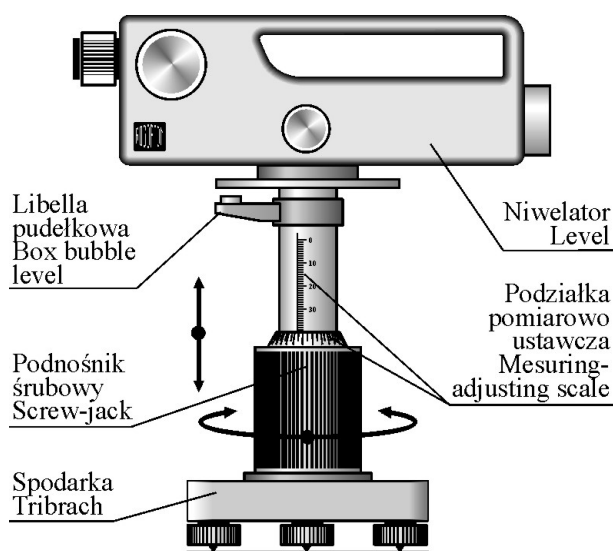
Wysokość ostateczną punktu pomiarowego po wyżej wykonanych czynnościach pomiarowych i obliczeniowych określa się za pomocą wzoru:

$$H_p = H_s + O_w - h \quad (5.5)$$

gdzie:

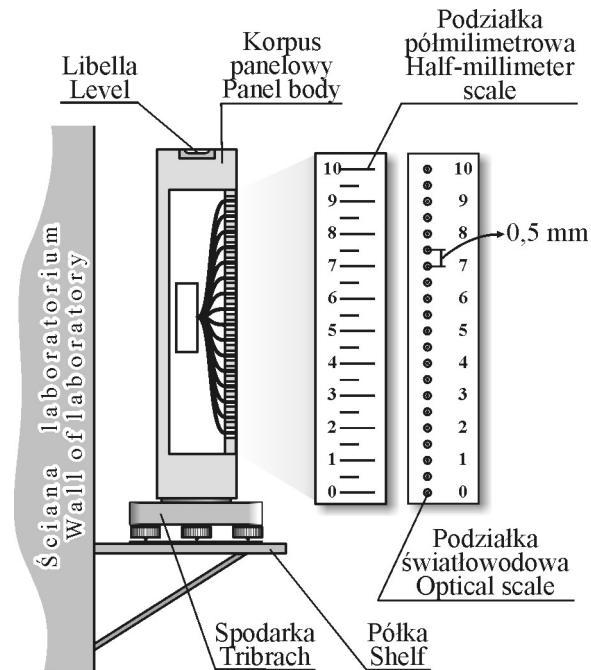
O_W – odczyt wstecz położenia osi celowej niwelatora na łacie niwelacyjnej ustawionej na punkcie „ H_s ” o znanej wysokości.

Wspomnianą pionową odległość „ c ” dla podniesienia dokładności wyznaczenia wielkości „ h ” (rys. 5.69, wzór 5.4) można pomierzyć z wykorzystaniem podnośnika śrubowego, co zobrazowano na rysunku 5.70.



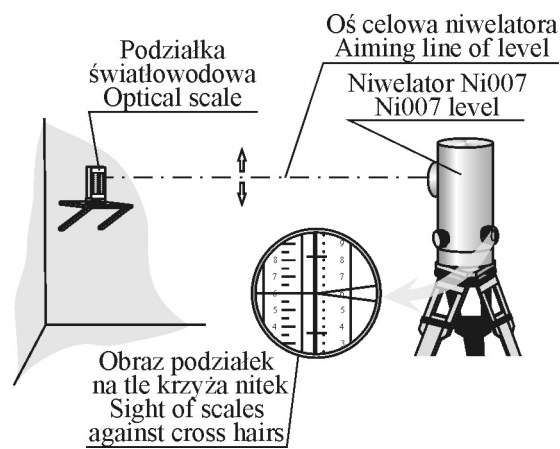
Rys. 5.70. Widok podnośnika śrubowego w ustawieniu pomiarowym
Fig. 5.70. View of screw-jack in measuring position

Pomiary wysokościowe elementów obiektów inżynierskich z uwagi na wymaganą dokładność oraz bardzo częste wyznaczanie różnic wysokości w niewielkim zakresie (kilku milimetrów) w złych warunkach oświetleniowych, uniemożliwiających zastosowanie niwelatorów kodowych, wykonywane są z użyciem sprzętu do wykonywania optycznej niwelacji precyzyjnej. Przed pomiarami na obiekcie wymagane jest sprawdzenie poprawności metrologicznej mikrometru optycznego niwelatora precyzyjnego. Badania mikrometru optycznego niwelatora precyzyjnego związane są z określeniem wartości jednej działki mikrometru oraz wyznaczeniem jego ruchu martwego. Badania takie przeprowadza się w warunkach kameralnych z użyciem dokładnej podziałki o podziale najczęściej półmilimetrowym. W czasie badań lunetę spoziomowanego niwelatora kieruje się na pionową podziałkę ustawioną w odległości około 5 metrów od instrumentu. Na podstawie odczytów mikrometru optycznego przy kolejnych nacieleniach i naprowadzeniu krzyża nitek niwelatora na kreski podziałki dokonuje się oszacowania wartości jednej działki mikrometru. Dla usprawnienia czynności nacielenia i naprowadzania proponuje się zastosowanie podziałki światłowodowej przedstawionej na rysunku 5.71.



Rys. 5.71. Widok podziałki światłowodowej w przekroju i w pozycji pionowej
Fig. 5.71. View of optical fibre scale in section and in vertical position

Na rysunku 5.72 przedstawiono ustawienie niwelatora Ni007 oraz podziałki światłowodowej podczas wyznaczania błędu mikrometru optycznego.



Rys. 5.72. Ustawienie niwelatora i podziałki światłowodowej w pozycji pomiarowej
Fig. 5.72. The set up of level and the optical fibre scale in measuring position

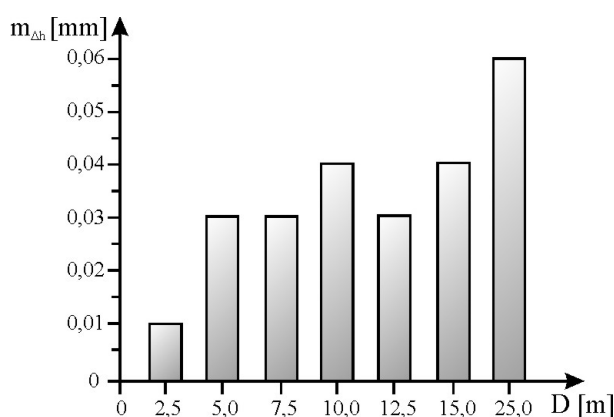
Dla weryfikacji założeń projektowych niwelacyjnej łąty światłowodowej wykonano badania testowe modelu punktowej łąty światłowodowej, którą imitował punktowy sygnalizator światłowodowy (średnica rdzenia 0,05 mm) przymocowany do podnośnika śrubowego wyposażonego w wycechowaną podziałkę pomiarowo-ustawczą (najmniejsza działka 0,5 mm). Badania przeprowadzono z wykorzystaniem niwelatora Ni007 (Carl Zeiss Jena) dla określonych długości celowych przy wpasowaniach krzyża nitek niwelatora w obraz świecącego rdzenia sygnalizatora światłowodowego. Obserwacje wykonywane były dla ustawienia modelu punktowej łąty światłowodowej na poziomie zerowym, przyjętym jako wyjściowy, a następnie na poziomie aktualnym zasymulowanym przesunięciem pionowym modelu o 0,5 mm. Pomiary wykonywano w cyklach po dziesięć obserwacji wyznaczanego symulowanego przewyższenia. Wyniki zaobserwowanych przewyższeń oraz średni błąd wyznaczenia przewyższenia, dla kolejnych odległości celowych, zestawiono w tabeli 5.18 oraz zaprezentowano na rysunku 5.73.

Tabela 5.18

Table 5.18

Zestawienie wyników zaobserwowanych przewyższeń modelem punktowej łąty światłowodowej
Table of excedance differences during optical fibre level rod model observations

Długość celowej Length of target line [m]	Zaobserwowane średnie przewyższenie Average excedance difference [mm]	Błąd średni przewyższenia Average excedance difference error [mm]
2,5	0,504	0,01
5,0	0,501	0,03
7,5	0,498	0,03
10,0	0,499	0,04
12,5	0,500	0,03
15,0	0,528	0,04
25,0	0,475	0,06



Rys. 5.73. Wykres średnich błędów przewyższenia uzyskanych w pomiarach niwelacyjnych z wykorzystaniem łąty światłowodowej

Fig. 5.73. Diagram of mean excedance errors gained in leveling measurements with optical fibre level rod

5.1.2.6. *Pętla światłowodowa*

Wyniki pomiarów przemieszczeń różnych obiektów względem siebie (pomiar względny) lub względem ich otoczenia (pomiar bezwzględny) mają decydujący wpływ na podejmowanie decyzji odnośnie lokalizacji w terenie nowych obiektów, a także na opracowanie orzeczeń i opinii dotyczących stanu bezpieczeństwa budowli już istniejących.

Na wielu istniejących obiektach inżynierskich można się spotkać z występowaniem znacznych różnic wysokości między punktami kontrolowanymi położonymi na różnych fragmentach oddzielonych dylatacjami, a także z występowaniem w otoczeniu badanego obiektu specyficznego mikroklimatu charakteryzującego się nierównomiernym rozkładem temperatury i jej gradientów, dużą wilgotnością powietrza itp. Warunki takie utrudniają a okresowo całkowicie uniemożliwiają prowadzenie optycznych obserwacji geodezyjnych. Skutkiem nierównomiernych rozkładów temperatury jest rozszerzanie i kurczenie się materiału, z którego zbudowany jest obiekt, a w efekcie – zmiany położenia osadzonych w nim punktów geodezyjnych (Żak, 1981; Bryś, 2002).

Obecnie stosowane przyrządy do pomiaru temperatury można podzielić na wymagające bezpośredniego kontaktu z powierzchnią badanego ciała i są to termoelementy i termistory oraz bezdotykowe pozwalające na zdalny pomiar temperatury obiektu – termowizyjne (Gocał, 1993).

Współczesne tachymetry elektroniczne charakteryzują się coraz lepszymi parametrami dokładnościowymi pomiaru odległości i kątów (Płatek, 1995). W przypadku pomiarów długości dalmierzem w otwartej atmosferze ostateczną odległość wyznaczamy ze wzoru:

$$D = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{n} \cdot t \quad (5.6)$$

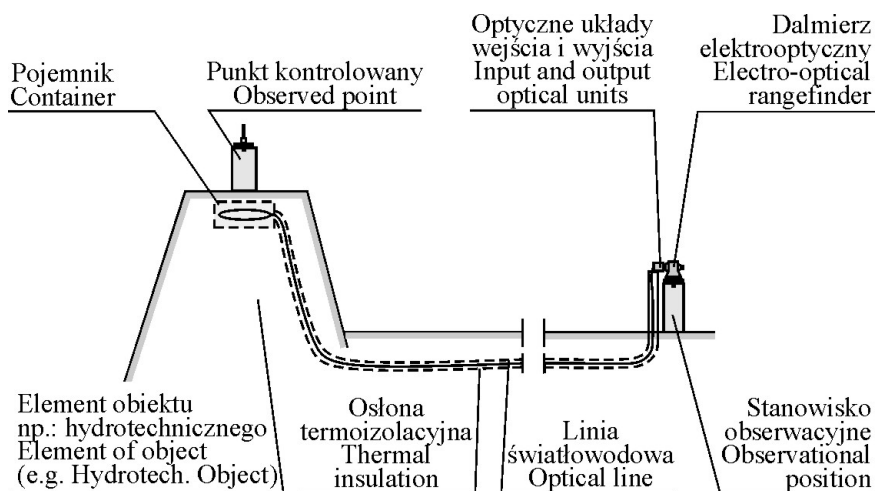
gdzie:

- c – prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w próżni,
- n – współczynnik załamania fali świetlnej w ośrodku pomiarowym,
- t – czas przebiegu sygnału pomiarowego na drodze pomiaru.

Występujący we wzorze współczynnik załamania fal elektromagnetycznych w atmosferze – n określany jest na podstawie pomiarów ciśnienia atmosferycznego, prężności pary wodnej w powietrzu i temperatury powietrza. Światłowód jako przewodnik światła charakteryzuje się również pewnym współczynnikiem załamania światła przyjmującym dla światłowodu najczęściej wartość 1,48. Wspomniany współczynnik ulega zmianom zależnym od wartości temperatury otaczającego środowiska. Występujące zjawisko fizyczne zmiany odległości mierzonej dalmierzem elektrooptycznym od współczynnika załamania fali w powietrzu oraz zmienność temperaturowa współczynnika załamania światła w światłowodzie skłoniły autora do opracowania projektu zdalnego pomiaru temperatury pętłą światłowodową za pomocą dalmierza elektrooptycznego (Ćmielewski, 2003d).

Budowa i zasada posługiwania się pętlą światłowodową

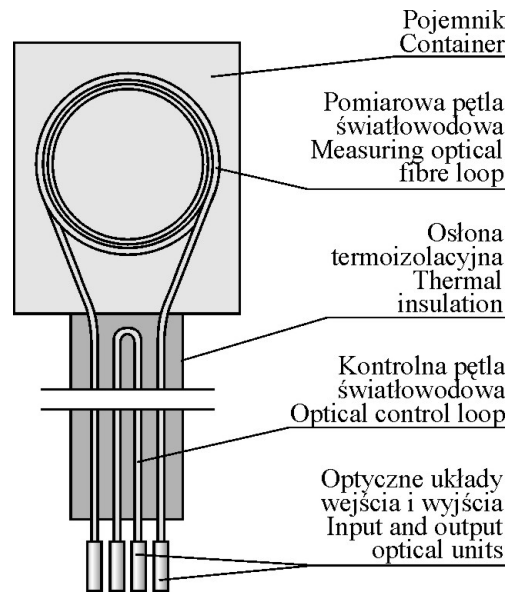
Na rysunku 5.74 przedstawiono zastosowanie linii światłowodowej z pętlą na badanym obiekcie (Ćmielewski, 2003d).



Rys. 5.74. Schemat zastosowania linii światłowodowej z pętlą do zdalnego pomiaru temperatury na badanym obiekcie

Fig. 5.74. Application scheme of optical fibre line with loop for remote temperature measuring on researched object

Pętla światłowodowa w pojemniku umieszczona jest w pobliżu danego punktu kontrolowanego, natomiast przy słupie bądź stanowisku obserwacyjnym umieszcza się optyczne układy: wejściowy i wyjściowy z końcówkami odcinków światłowodów znajdujących się w osłonie i połączonych z pętlą światłowodową. Podczas pomiaru temperatury dalmierz elektrooptyczny emituje falę pomiarową, która za pomocą optycznego układu wejściowego wprowadzana jest do jednego końca odcinka światłowodu i propagowana jest poprzez pętlę światłowodową do drugiego końca odcinka światłowodu, a dalej wyprowadzana do dalmierza przez optyczny układ wyjściowy. Wynik pomiaru odległości mierzonej w pętli, na podstawie formuły matematycznej uzyskanej z pomiaru kalibracyjnego, pozwala określić aktualną temperaturę występującą w podłożu otoczenia punktu kontrolowanego. Przedstawiona na rysunku 5.74 linia światłowodowa biegnąca od stanowiska obserwacyjnego do pojemnika ze zwojem światłowodowym, mimo osłony termoizolacyjnej, nie jest uwolniona od wpływów temperatury podłoża obiektu. Dla ustalenia efektu ilościowego występującego zjawiska opisana pętla światłowodowa wyposażona jest dodatkowo w kontrolną pętlę światłowodową, jak na rysunku 5.75. Umieszczona jest ona w osłonie termoizolacyjnej w bezpośrednim sąsiedztwie linii pomiarowej pętli światłowodowej i dochodzi do pojemnika. Wyznaczona temperatura w kontrolnej pętli światłowodowej pozwala zredukować wyznaczoną temperaturę w pętli podstawowej do temperatury panującej w otoczeniu pojemnika.



Rys. 5.75. Schemat budowy pętli światłowodowej
Fig. 5.75. Structure of optical fiber loop

Przykład wyznaczenia empirycznej zależności zmiany temperatury otoczenia pętli światłowodowej przy skokowych zmianach długości drogi transmisji sygnału pomiarowego dalmierza TC1800

Dla określenia zależności pomiędzy przyrostem temperatury a przyrostem mierzonej długości ustawiono na podstawie bazy światłowodowej tachymetr TC 1800, a w komorze termicznej umieszczono pętle światłowodową o długości 595 m (rys. 5.76 i 5.77). Podczas pomiarów temperaturę w komorze termicznej zmieniano w zakresie od 22,6°C do 30,2°C ze skokiem 0,1°C w odstępach 10-minutowych. Dla każdego skoku temperatury przeprowadzono dziesięciokrotny pomiar odległości dalmierzem elektrooptycznym w pętli światłowodowej. Wspomniane pomiary odległości uśredniono, a następnie każdej wartości przypisano temperaturę pętli światłowodowej panującą w komorze termicznej (Ćmielewski, 2003d).

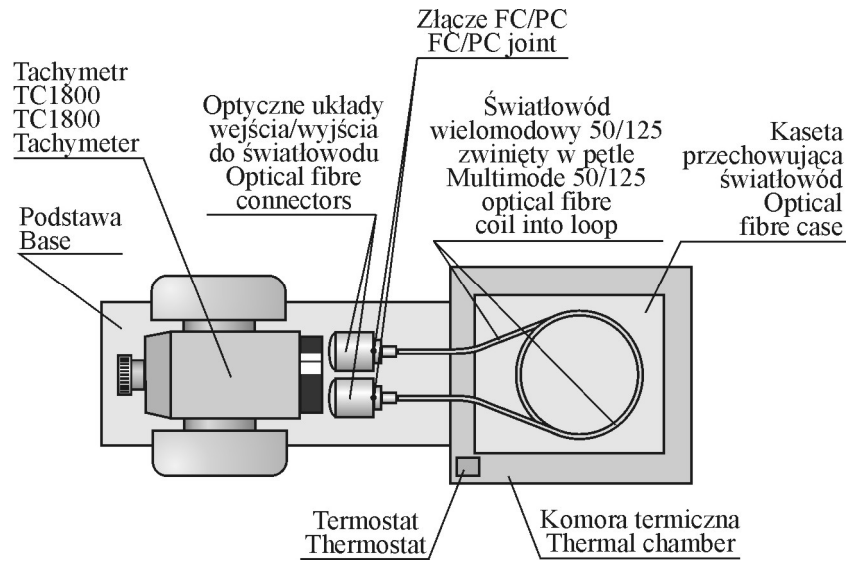
W celu opisanía zależności funkcyjnej pomiędzy wzrostem temperatury i pomierzoną długością szukano takiej funkcji matematycznej, która by najlepiej odzwierciedlała rozkład otrzymanych wartości empirycznych. Za najbardziej zbliżoną została przyjęta funkcja o postaci parabolicznej. Wyznaczona funkcja dla danych empirycznych przedstawionych w pracy (Ćmielewski, 2003d) wyraża się wzorem:

$$T = -21100 \cdot D^2 + 18742335,39932 \cdot D - 4162027649,53591 \quad (5.7)$$

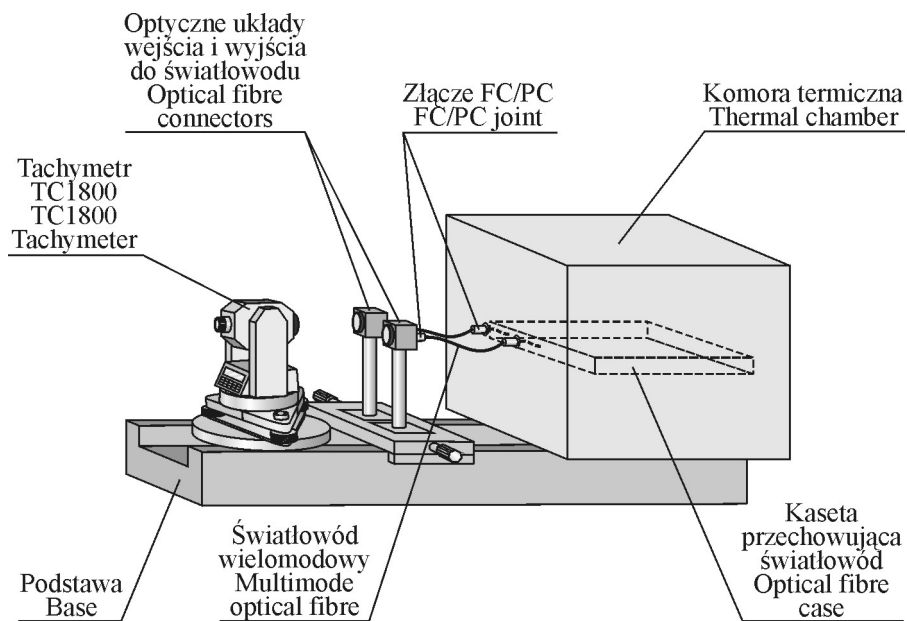
gdzie:

T – temperatura otoczenia pętli światłowodowej,

D – mierzona odległość w pętli światłowodowej.

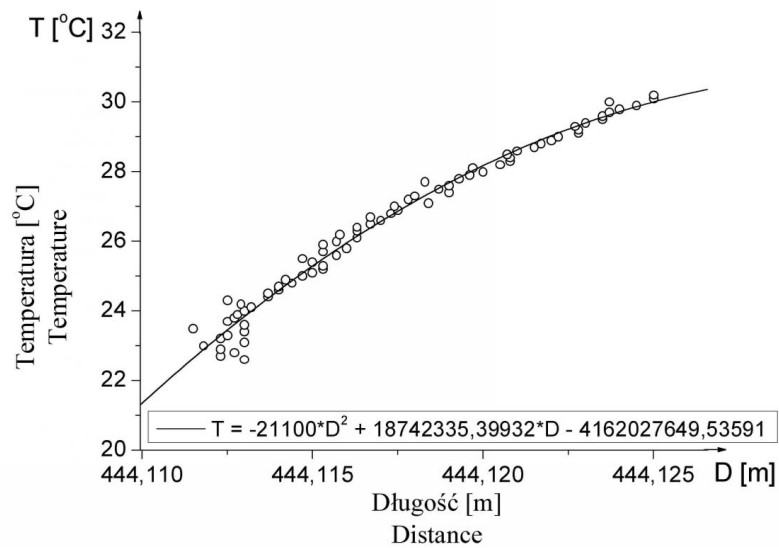


Rys. 5.76. Schemat rozmieszczenia aparatury pomiarowej podczas wykonywania doświadczeń
 Fig. 5.76. Scheme of arrangement of measuring equipment during experiments



Rys. 5.77. Widok aparatury pomiarowej w trakcie doświadczeń
 Fig. 5.77. View of measuring equipment during experiments

Wykres funkcji przedstawiono na rysunku 5.78.



Rys. 5.78. Graficzne przedstawienie wyników pomiarów i wpasowanej krzywej
 Fig. 5.78. Graphic presentation of measurement and fitted curve results

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów doświadczalnych niepewność pomiarowa określenia temperatury wyniosła $\sigma = |0.3|^\circ \text{C}$. Krzywa przedstawiona na wykresie (rys. 5.78) dotyczy indywidualnego przypadku (konkretnie użyty w doświadczeniu światłowod) i nie jest miarodajna dla opisanej metody. Wyznaczona w sposób testowy funkcja dotyczy użytego rodzaju światłowodu i jego długości. Przed zainstalowaniem na obiekcie innego rodzaju pętli światłowodowej należałoby ustalić zależność funkcyjną temperatury względem mierzonej długości. Powyższą czynność można przeprowadzić sposobem opisanym powyżej.

5.1.2.7. Charakterystyka systemów i przyrządów do pomiaru różnic wysokości, pochyleń, odchyleń od prostej odniesienia oraz zmian temperatury obiektu w aspekcie ich zastosowań

Charakterystykę przedstawiono w tabeli 5.19.

Tabela 5.19
Table 5.19

Zbioreza charakterystyka proponowanych rozwiązań technicznych
Collective profile of presented technical solutions

Rodzaj Type	Główne elementy Main elements	Dokładność pomiaru Accuracy of measurement	Zasięg pomiaru Measuring range	Zastosowania Application	Ograniczenia Limitations
Libella optoelektroniczna – mechaniczna	Światłowód szklany o średnicy rdzenia 0,05 mm			Wyznaczanie nachyleń, mikro-niwelacja,	Drgania,
Libella optoelektroniczna – cieczowa	Światłowód polimerowy o średnicy rdzenia 0,98 mm	6"	10°	Wyznaczanie nachyleń, mikro-niwelacja,	Drgania
Tarcza autorefleksyjna	Światłowód polimerowy o średnicy rdzenia 0,98 mm	Kierunku poziomego 1,0-2,1 Kierunku pionowego 1,0-3,1	50 m	Pomiary kątowe, wyznaczanie odchyłek nachylenia, równoległości, prostopadłości	Drgania, zapylenie, niejednorodność optyczna atmosfery, zbyt silne oświetlenie przestrzeni obserwacji
Zestaw autokolimacyjny	Światłowody polimerowy i szklany o średnicy rdzenia 0,98 i 0,05 mm			Pomiary kątowe, wyznaczanie odchyłek nachylenia, równoległości, prostopadłości	Drgania, zapylenie, niejednorodność optyczna atmosfery, zbyt silne oświetlenie przestrzeni obserwacji
Optoelektroniczny pion światłowodowy	Światłowody polimerowy i szklany o średnicy rdzenia 0,98 i 0,05 mm	Błąd pomiaru przesunięcia 0,025 mm	2 m	Wyznaczanie wychylenia, wygięcia, skręcenia wysokich obiektów, a w pomiarach cyklicznych deformacji, pomiary telemetryczne w miejscach o utrudnionym dostępie	Drgania, stosowanie osłon, zasilanie źródła światła energią elektryczną (baterie)

Tabela 5.19 cd.
Table 5.19 cont.

Rodzaj Type	Główne elementy Main elements	Dokładność pomiaru Accuracy of measurement	Zasięg pomiaru Measuring range	Zastosowania Application	Ograniczenia Limitations
Łata światłowodowa	Światłowód szklany o średnicy rdzenia 0,05 mm	Błąd przewyższenia 0,01 – 0,06 mm	25 m	Wyznaczanie odchyłek prostoliniowości w płaszczyźnie poziomej, kształtu wyznaczonego zarysu, równoległości płaszczyzn, osi, współosiowości w płaszczyźnie pionowej, nachylenia, pomiar w miejscach częściowo niedostępnych z niedostatecznym oświetleniem	Drgania, zasilenie źródła światła energią elektryczną (baterie),
Pętla światłowodowa	Światłowód szklany o średnicy rdzenia 0,05 mm	Błąd określenia temperatury 0,3°C	około kilometra	Zdalne pomiary temperatury podłoża obiektów w szczególności w otoczeniu geodezyjnych punktów pomiarowych, pomiary przemieszczeń obiektu, lokalizacja w trudno dostępnych miejscach	Kalibracja każdej zastosowanej pętli światłowodowej

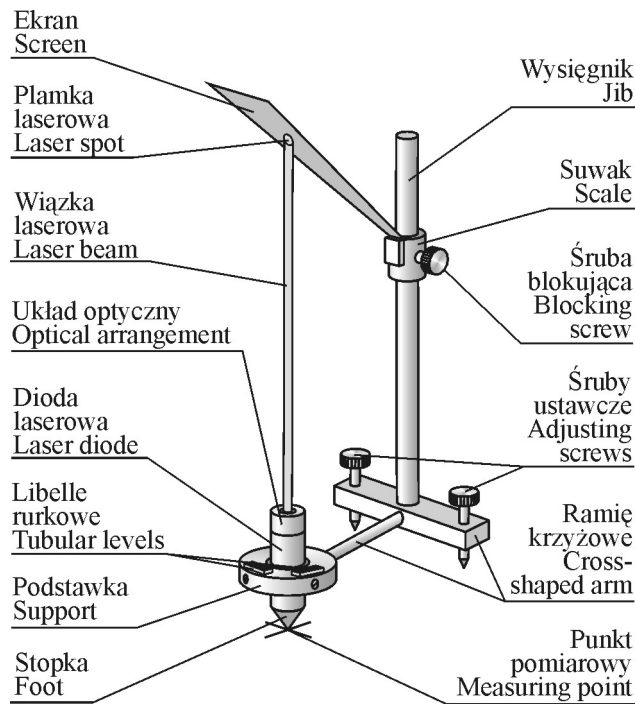
5.2. Przyrządy i systemy laserowe

5.2.1. Sygnalizatory celu

W czasie eksploatacji, a szczególnie w fazie budowy obiektu inżynierskiego, oddalenie osnowy od punktów kontrolowanych jako sposób na zapewnienie wizur nie wystarcza w każdym przypadku. Obserwacje uniemożliwia często częściowe lub całkowite przesłonięcie celowych. Niekiedy źródłem podobnych problemów okazuje się technologia budowy, gdy np. konstrukcje wykonywane dla prac montażowych lub remontowych zasłaniają znaki pomiarowe. Ponieważ kontrole i wielostronne nawiązania są nieodzownym warunkiem poprawnie wykonanych obserwacji geodezyjnych, autor proponuje by w takich przypadkach stosować specjalne konstrukcje sygnalizatorów. W pracy zamieszczono cztery rozwiązania sygnalizatorów laserowych, a mianowicie: pojedynczego, podwójnego, łamanego i ramowego.

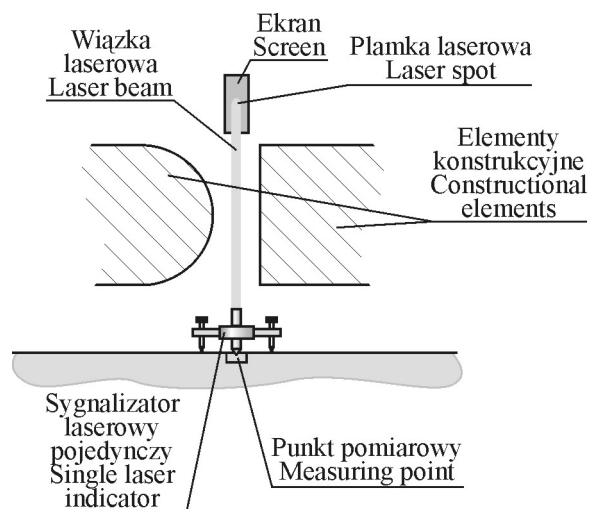
5.2.1.1. Sygnalizator laserowy pojedynczy

W przypadku gdy znak pomiarowy osnowy poziomej jest widoczny, a zarazem niedostępny dla klasycznych rozwiązań sygnalizacyjnych, proponuje się zastosowanie sygnalizatora laserowego pojedynczego przedstawionego na rysunku 5.79.



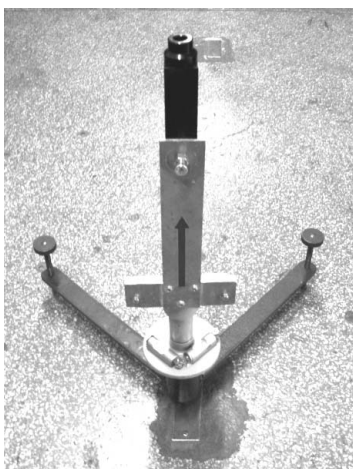
Rys. 5.79. Budowa sygnalizatora laserowego pojedynczego (projekt)
Fig. 5.79. Structure of single laser indicator (project)

Przyrząd ten za pomocą scentrowanej i spionowanej wiązki laserowej umożliwia materializację kierunku linii pionu z przynależnym do niej punktem pomiarowym oraz wizualizację punktu pomiarowego w formie plamki laserowej powstałej z projekcji na ekranie, jak na rysunku 5.80.



Rys. 5.80. Zasada laserowej projekcji punktu pomiarowego
Fig. 5.80. Principle of laser projection of survey point

Na rysunku 5.81 przedstawiono prototyp sygnalizatora laserowego pojedynczego na punkcie pomiarowym. Prototyp wyposażony został w libelle o przewodzie 30".



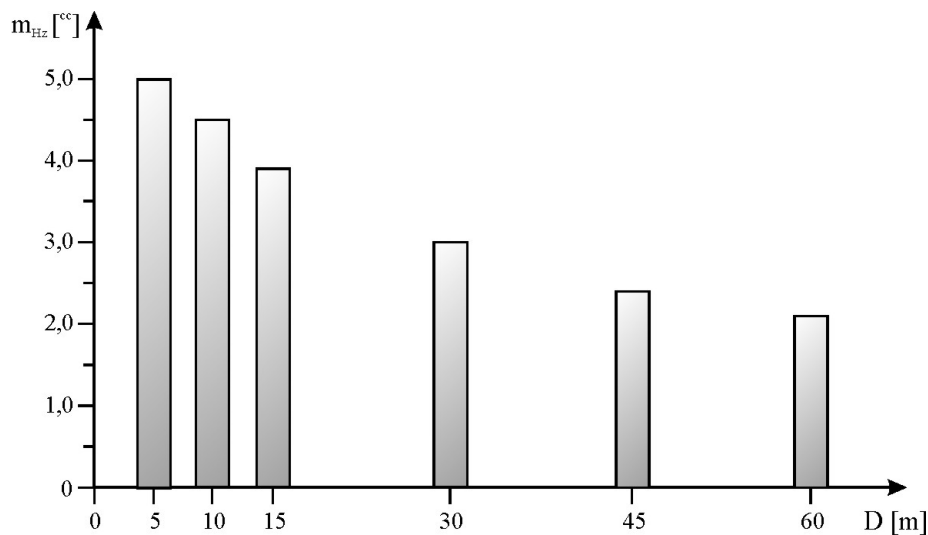
Rys. 5.81. Widok sygnalizatora laserowego pojedynczego
Fig. 5.81. View of single laser indicator

Przy wykorzystaniu wykonanego prototypu przeprowadzono serie pomiarów testujących związanych z oszacowaniem dokładności nacelowań na plamkę laserową o średnicy 4 mm, powstałą z projekcji na ekran usytuowany w odległości 1 m od sygnalizatora. Badania wykonano dla zmiennej odległości instrumentu – teodolitu Wild T2 od modelu sygnalizatora. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 5.20 i na rysunku 5.82.

Tabela 5.20
Table 5.20

Zestawienie wyników badań dokładności nacelowań na plamkę laserową sygnalizatora pojedynczego
Table of results of tests of aiming accuracy on single indicator laser spot

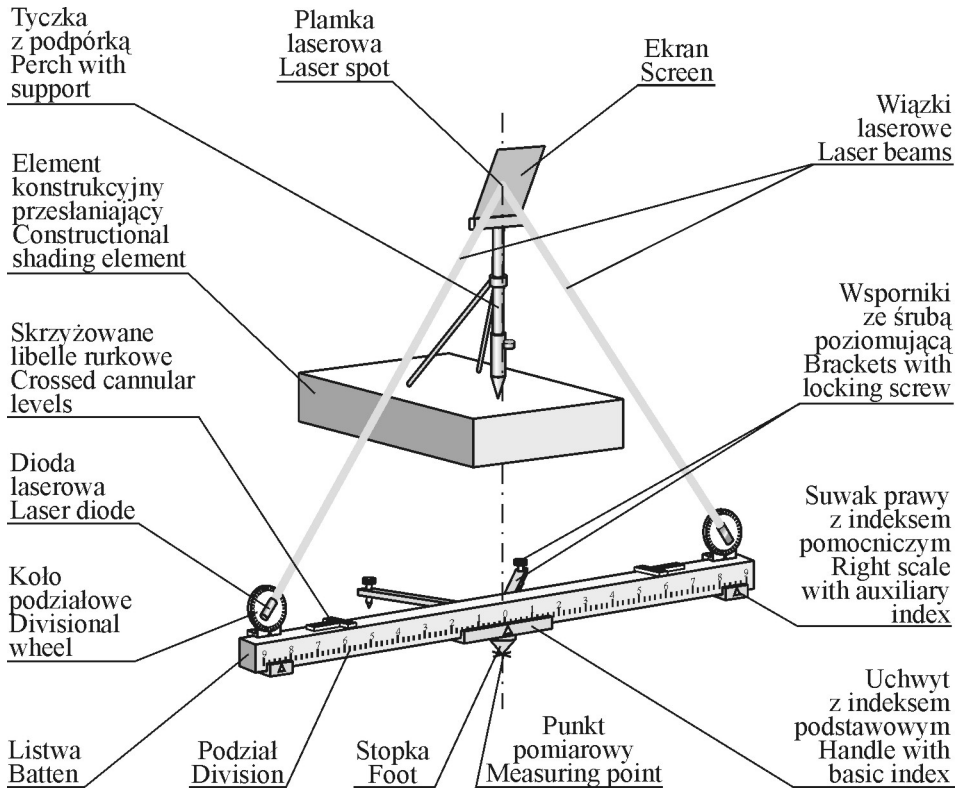
Odległość Distance [m]	5	10	15	30	45	60
Błąd pomiaru kierunku poziomego Horizontal direction measurement error [^{cc}]	5,0	4,5	3,9	3,0	2,4	2,1
Błąd liniowy kierunku poziomego Vertical direction measurement error [mm]	0,04	0,07	0,09	0,14	0,17	0,20



Rys. 5.82. Wykres błędu pomiaru kierunku poziomego dla nacelowań na plamkę laserową sygnalizatora pojedynczego w funkcji odległości
Fig. 5.82. Diagram of horizontal direction measurement errors for aiming on laser spot of single indicator in function of distance

5.2.1.2. Sygnalizator laserowy podwójny

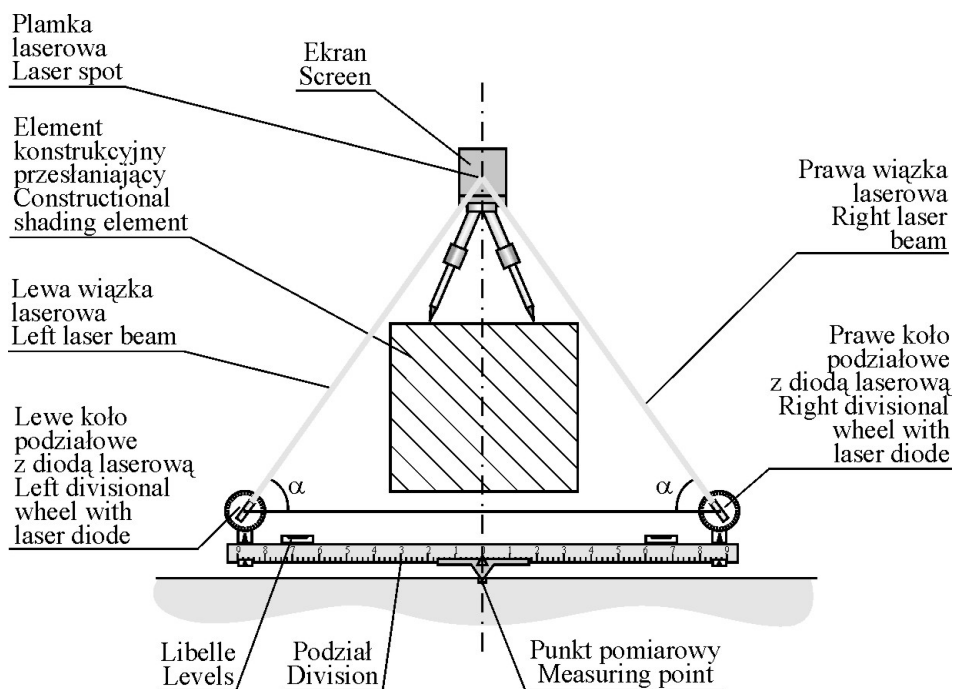
W przypadku jeżeli punkty pomiarowe wykazują całkowite zasłonięcie niedużymi elementami konstrukcyjnymi z boczną wielostronną dostępnością, sygnalizację punktu osnowy można wykonać za pomocą laserowego sygnalizatora podwójnego przedstawionego na rysunku 5.83.



Rys. 5.83. Budowa laserowego sygnalizatora podwójnego (projekt)

Fig. 5.83. Structure of double laser indicator (project)

Przeniesienie zasłoniętego punktu pomiarowego i jego wizualizacja wykonywana jest metodą wcięcia kąowego o równych kątach wcinających z poziomej bazy, w połowie swej długości wyposażonej w stopkę opierającą się o punkt pomiarowy. Wcięcie kątowe realizowane jest wiązkami laserowymi. Punkt przecięcia, w formie postaci plamki laserowej na ekranie, stanowi cel sygnalizujący punkt pomiarowy osnowy (rys. 5.84).

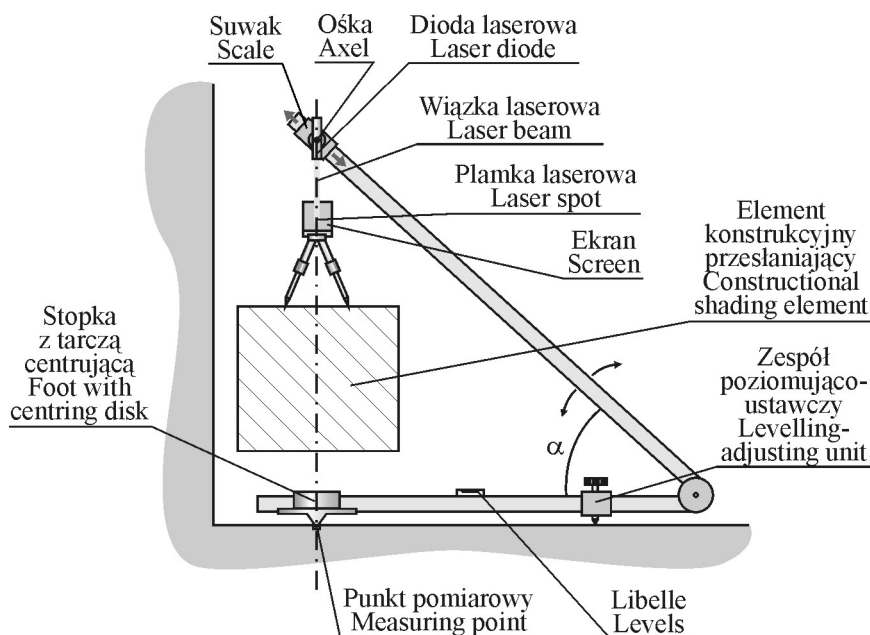


Rys. 5.84. Zasada sygnalizacji zasłoniętego punktu pomiarowego
 Fig. 5.84. Principle of signalling obscured survey point

Plamka laserowa na nieruchomym ekranie obserwowana instrumentem z innego stanowiska pozwala na wykonanie nawiązań kierunkowych i kątowych. Dokładność ustawienia plamki na ekranie w wersji prototypowej przyrządu uzależniona będzie od precyzji nastawień kątowych wiązek laserowych.

5.2.1.3. Sygnalizator laserowy łamany

Znaki punktów pomiarowych zlokalizowane blisko ścian obiektu, nierzadko przy zasłonięciu elementami konstrukcyjnymi, są często dostępne z jednej strony. Wówczas sygnalizacja punktu pomiarowego może być dokonana za pomocą sygnalizatora laserowego łamanego, jak na rysunku 5.85.

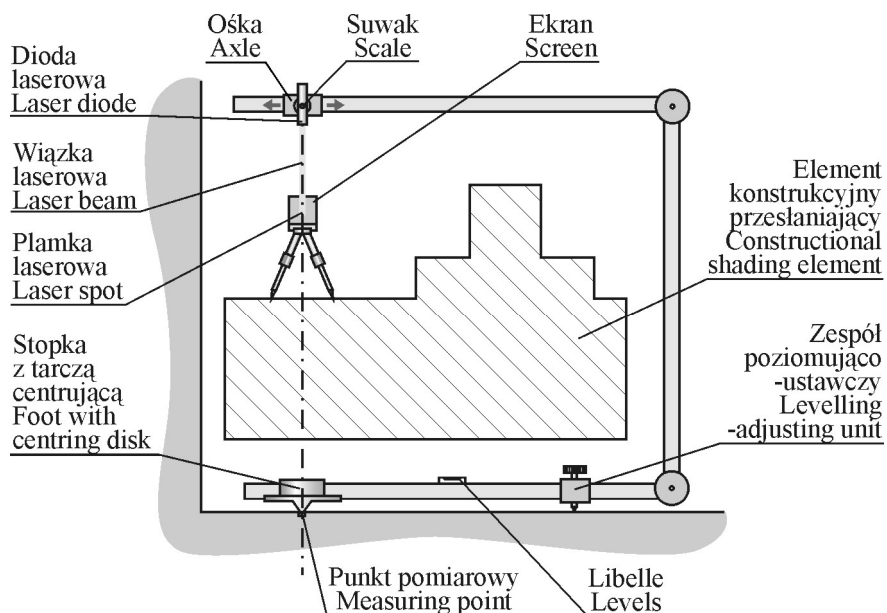


Rys. 5.85. Budowa i zasada działania sygnalizatora laserowego łamanego (projekt)
 Fig. 5.85. Structure and principle of broken laser indicator (project)

Sygnalizator posiada dwa ramiona, z których jedno jest stałe, a drugie ruchome. Dolne stałe ramię wyposażone jest w stopkę opierającą się w czasie pomiarów o centr znak pomiarowych oraz zespół poziomująco-ustawczy, który stanowią śruby poziomujące we wsporniku oraz libelle. Górne ruchome ramię ma suwak oraz osadzoną na nim obrotowo diodę laserową. Przed zastosowaniem sygnalizatora dobiera się w pierwszej kolejności kąt rozwarcia jego ramion tak, aby ramię ruchome było widoczne ponad elementem przesłaniającym. Następnie – poza obiektem – diodę nacelowuje się na środek tarczy centrującej stopki. Po wykonaniu tych czynności sygnalizator ustawia się na zasłoniętym punkcie pomiarowym jak na rysunku 5.85 i poziomuje za pomocą dwóch libelli. Przesłaniając emitowaną wiązkę laserową ekranem uzyskuje się plamkę laserową, która obserwowana ze stanowiska instrumentu pozwala na wykonanie niezbędnych nawiązań pomiarowych. Ponieważ w praktyce element przesłaniający może mieć różne wymiary, od kilku do kilkudziesięciu centymetrów i więcej, stąd przyrząd w wersji prototypowej nie będzie miał jednego standardowego wymiaru.

5.2.1.4. Sygnalizator laserowy ramowy

Zróżnicowane wymiary i kształt elementów konstrukcyjnych mogących przesłonić znaki punktów pomiarowych mogą stanowić ograniczenie zastosowania sygnalizatorów laserowych podwójnego i łamanego. Korzystna wówczas może być sygnalizacja punktu pomiarowego za pomocą sygnalizatora laserowego ramowego, jak na rysunku 5.86.



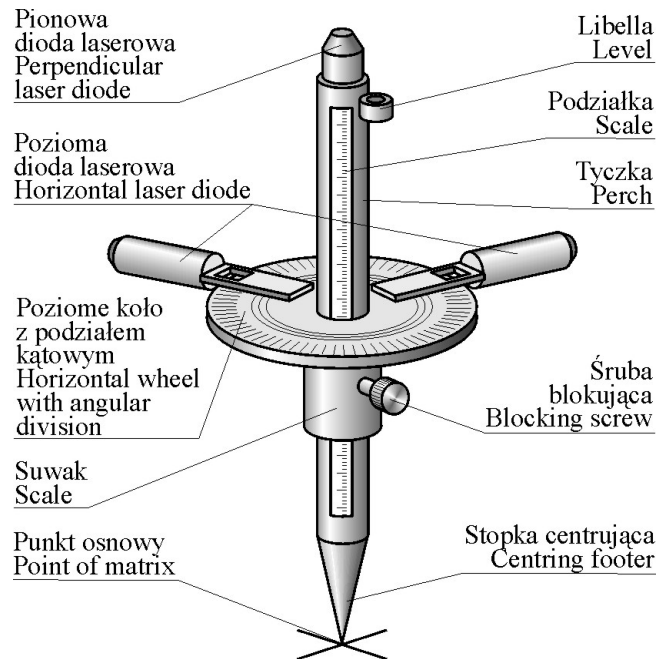
Rys. 5.86. Budowa i zasada działania sygnalizatora laserowego ramowego (projekt)
 Fig. 5.86. Structure and principle of framed laser indicator (project)

Sygnalizator wyposażony jest w trzy ramiona, jedno stałe oraz dwa ruchome. Zasada działania jest podobna jak w omówionym sygnalizatorze laserowym łamanym. Wprowadzenie drugiego ramienia ruchomego pozwala dostosować sygnalizator do kształtu i wymiarów elementu przesłaniającego.

5.2.1.5. Laserowa tyczka sygnalizacyjna

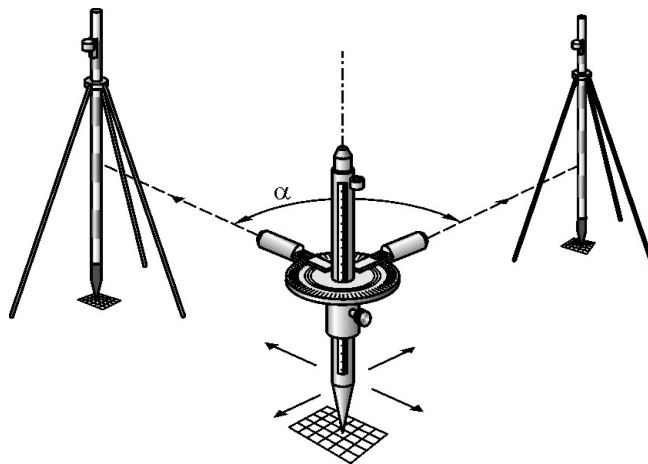
Roboty budowlane często powodują po utrwaleniu punktów osnowy sytuacyjnej ich częściową lub całkowitą niedostępność. Prawidłowość obsługi geodezyjnej obiektu nierzadko wymaga wznowienia punktów lub ich zaprojektowania. Dla wyznaczenia nowych punktów osnowy opracowana została przez autora laserowa tyczka sygnalizacyjna przedstawiona na rysunku 5.87. Służy ona do markowania punktu geodezyjnego, zwłaszcza w przypadkach ograniczonej przestrzeni obserwacyjnej.

Podstawą konstrukcyjną laserowej tyczki sygnalizacyjnej jest materializacja przestrzennego układu współrzędnych XYZ za pomocą wiązek laserowych diod: pionowej oraz dwóch poziomych. Za pomocą tyczki sygnalizacyjnej istnieje możliwość ustalenia dowolnego kąta poziomego pomiędzy diodami laserowymi i jego realizacji na obiekcie.



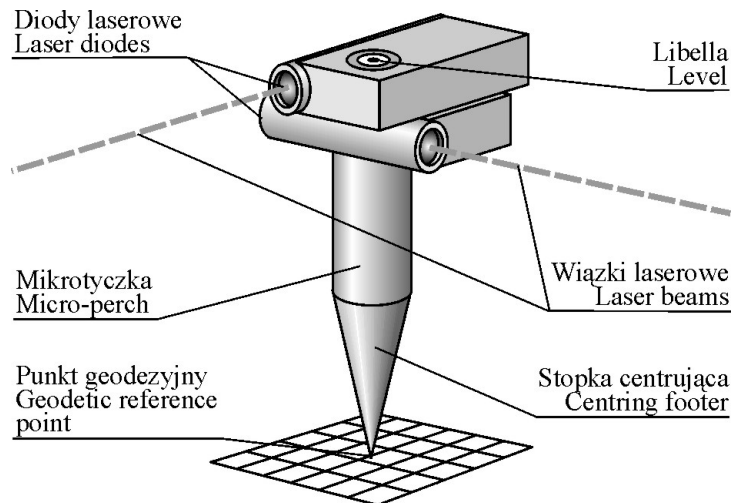
Rys. 5.87. Laserowa tyczka sygnalizacyjna (projekt)
 Fig. 5.87. Laser indicating rod (project)

Na rysunku 5.88 przedstawiono sposób markowania punktu geodezyjnego w nawiązaniu do punktów istniejącej osnowy.



Rys. 5.88. Wyznaczanie przybliżonego położenia punktu osnowy sytuacyjnej
 Fig. 5.88. Valuation of approximate position of geodetic structure point

Na rysunku 5.89 przedstawiono uproszczoną konstrukcyjnie wersję laserowej mikrotyczki sygnalizacyjnej, w której konstrukcyjnie ustalono stałe katowe położenie emitowanych wiązek laserowych (np. 100°). Znacznie pomniejszone wymiary laserowej mikrotyczki sygnalizacyjnej powinny przyczynić się do zastosowania jej przy tyczeniu punktów kontrolowanych na elementach konstrukcyjnych lub na samym obiekcie.



Rys. 5.89. Uproszczona wersja laserowej mikrotyczki sygnalizacyjnej (projekt)
 Fig. 5.89. Simplified version of laser indicating micro-rod (project)

Możliwość ustalania zmiennego kąta α pomiędzy poziomymi diodami (rys. 5.88) pozwala na przybliżone zakładanie niewielkich osnów geodezyjnych o stałym ustalonym kącie pomiędzy bokami osnowy (np. 30° , 60° , 90° , 120° , itp.). Zastosowanie trzeciej diody pionowej umożliwia wykorzystanie laserowej tyczki sygnalizacyjnej do przybliżonego tyczenia lokalizującego punkty osnowy przestrzennej. Ustawienie poziomych diod względem siebie pod kątem 200° pozwala dodatkowo wykorzystać laserową tyczkę sygnalizacyjną do wtyczania się na punkty leżące na bokach osnowy geodezyjnej (punkty posiłkowe).

5.2.1.6. Charakterystyka sygnalizatorów laserowych w aspekcie ich zastosowań

Charakterystykę przedstawiono w tabeli 5.21.

Tabela 5.21

Table 5.21

Zbiorcza charakterystyka proponowanych rozwiązań technicznych
Collective profile of presented technical solutions

Rodzaj sygnalizatora Type of indicator	Główne elementy Main elements	Dokładność Accuracy	Zasięg pomiaru Measuring range	Zastosowania Application	Ograniczenia Limitations
Sygnalizator laserowy pojedynczy	Moduł diody laserowej	Pomiaru kierunku poziomego na plamkę laserową 2,1 – 5,0 ^{cc}	60 m	Pomiary kątowe, sygnalizacja punktów pomiarowych o utrudnionym dostępie	Drgania, zapylenie, zadymienie, konieczność stosowania ekranów przesłaniających, zasilenie źródeł laserowych energią elektryczną (baterie)
Sygnalizator laserowy podwójny				Pomiary kątowe, sygnalizacja przesłoniętych punktów pomiarowych	
Sygnalizator laserowy łamany					
Sygnalizator laserowy ramowy					
Laserowa tyczka sygnalizacyjna		kilka minut	kilkadziesiąt metrów	Wstępne tyczenie punktów osnowy w miejscach o utrudnionym dostępie	Drgania, zapylenie, zadymienie, zasilenie źródeł laserowych energią elektryczną (baterie)

5.2.2. Systemy i przyrządy do pomiaru różnic wysokości, długości, pochyłeń, odchyleń od prostej odniesienia oraz zmian temperatury środowiska

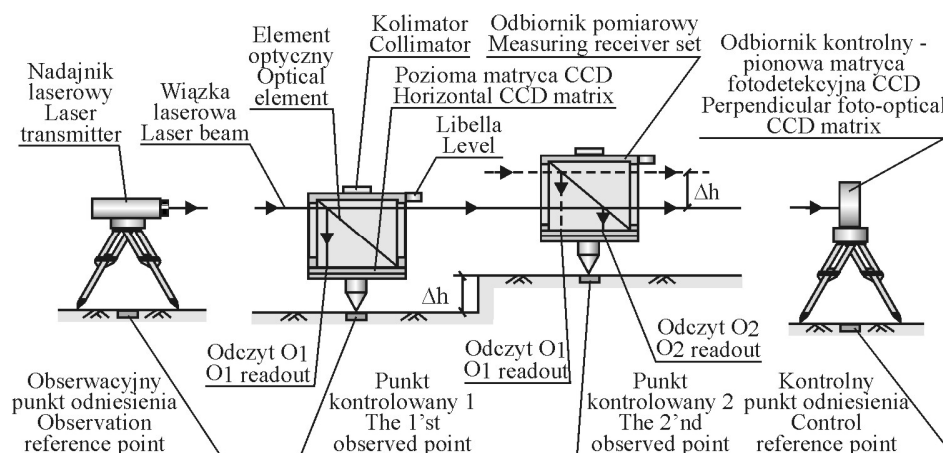
5.2.2.1. Zestaw aliniometru laserowego do obserwacji wielopunktowych

W wielu zagadnieniach geodezji inżynierskiej podstawową metodą obserwacji przemieszczeń poziomych i pionowych jest klasyczna metoda prostej odniesienia. Metoda aliniometryczna jest powszechnie stosowana w obserwacjach o dużej dokładności podczas prac realizacyjnych, inwentaryzacyjnych i eksploatacyjnych. Spośród typowych zastosowań wyróżnić można: okresowe pomiary kontrolne obiektów hydrotechnicznych, określenie geometrii torów podsuwnicowych, pomiary przemieszczeń murów oporowych, monitorowanie osuwisk, osiowanie elementów maszyn produkcyjnych. W ujęciu klasycznym przy wykorzystaniu teodolitów i tachimetrów pomiar wspomnianą metodą nie jest skomplikowany i pozwala uzyskać wysoką dokładność obserwacji. Ograniczeniem dla metody stałej prostej w ujęciu klasycznym są: zasięg oraz nieciągły pomiar punktowy (obserwacja punktu bieżącego, a następnie kolejnego). Automatyzację pomiarów przemieszczeń poziomych i pionowych umożliwiło zastosowanie techniki laserowej (Pachuta, 1980). Takim przykładem był opracowany w Wojskowej

Akademii Technicznej w Warszawie Laserowy Zestaw Pomiarowy „Wisła-1” (Pachuta, Pachuta, 1993). Zadaniem LZP „Wisła-1” była permanentna obserwacja przemieszczeń poziomych zapór wodnych z dokładnością ± 1 mm przy wykorzystaniu pionowej laserowej płaszczyzny odniesienia o szerokości 30 mm współpracującej z rozstawionymi na koronie dwoma odbiornikami kontrolnymi oraz piętnastoma odbiornikami pomiarowymi sygnalizującymi punkty badane. Zasięg pracy zestawu wynosił 1000 m. Dla celów pomiarowych wymagane było ustawienie nadajnika na pewnej wysokości nad odbiornikami, tak aby pomiędzy nimi była wzajemna wizura. Dla celów wielopunktowych pomiarów liniowości obiektów wydłużonych oraz przemieszczeń poziomych i pionowych autor opracował zminiaturyzowany zestaw aliniometru laserowego.

Budowa i zasada działania zestawu aliniometru laserowego

Zasadę działania z rozmieszczeniem podzespołów zestawu aliniometru laserowego, w przykładzie pomiarów niwelacyjnych, przedstawiono na rysunku 5.90.

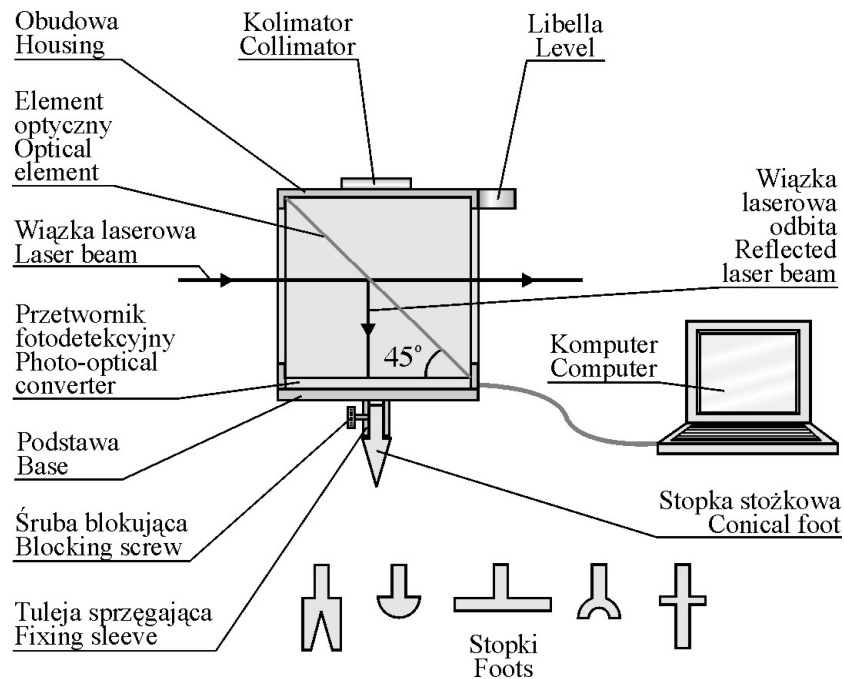


Rys. 5.90. Schemat rozmieszczenia podzespołów zestawu aliniometru laserowego na obiekcie
Fig. 5.90. Scheme of arrangement of laser alignmentmeter elements on object

Podczas pomiarów niwelacyjnych linią odniesienia jest pozioma wiązka laserowa emitowana przez nadajnik laserowy, usytuowany na stałe, na obserwacyjnym stanowisku odniesienia. Położenie wiązki śledzone jest w sposób ciągły i wprowadzane przez kontrolny odbiornik fotodetekcyjny (pionowa matryca CCD), ustawiony na kontrolnym punkcie odniesienia. Na pomiarowych punktach kontrolowanych ustawione są identyczne pomiarowe odbiorniki fotodetekcyjne wyposażone w poziome matryce CCD. Różnice położenia wiązki odczytywane na poziomych matrycach CCD pozwalają określić występujące przewyższenia Δh na badanym obiekcie, ze wzoru.

$$\Delta h = O_2 - O_1 \quad (5.8)$$

Na rysunku 5.91 przedstawiono budowę i zasadę działania odbiornika pomiarowego zestawu aliniometru laserowego.



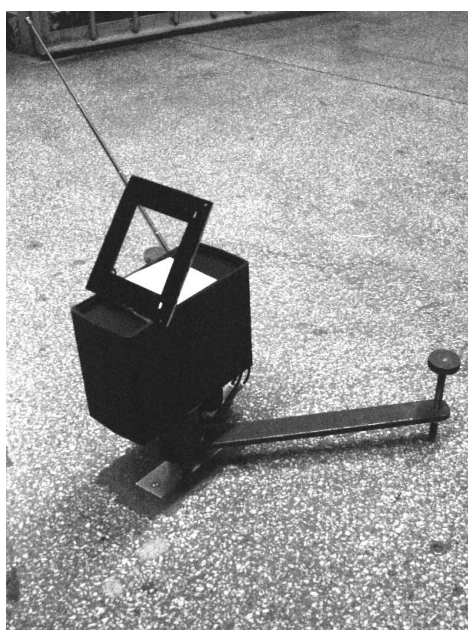
Rys. 5.91. Schemat poglądowy odbiornika pomiarowego z wymiennymi stopkami dostosowanymi do różnych form znaków geodezyjnych
 Fig. 5.91. Scheme of measuring receiver with replaceable footers which are adjusted to different geodetic sign

Zastosowany w odbiorniku element optyczny odbijająco-przepuszczający stanowi płytka płaskorównoległa o znikomej grubości, wykonana np. ze szkła lub przezroczystego tworzywa sztucznego (pleksi – szkło organiczne). Podczas przejścia światła przez elementy optyczne następują straty światła wynikłe z odbić na powierzchniach załamujących oraz pochłaniania energii świetlnej przez masę szkła, a także wad szkła optycznego. Wynoszą one dla pojedynczego elementu 4%, (Tatarczyk, 1984). Straty światła na płytkach płaskorównoległych powodują ograniczenie liczebności odbiorników pomiarowych w proponowanym systemie laserowo-fotodetekcyjnym.

Na rysunkach 5.92, 5.93, 5.94 i 5.95 przedstawiono wykonany przez autora prototyp zestawu aliniometru laserowego.



Rys. 5.92. Nadajnik na punkcie odniesienia bazy testowej
Fig. 5.92. Transmitter on test base reference point



Rys. 5.93. Odbiornik pomiarowy na punkcie kontrolowanym bazy testowej
Fig. 5.93. Measuring receiver on test base check point



Rys. 5.94. Odbiornik kontrolny na punkcie odniesienia
Fig. 5.94. Check receiver on reference check point



Rys. 5.95. System podczas prowadzonych badań
Fig. 5.95. System during research

Dla wyznaczenia dokładności odbiornika pomiarowego wykonano cykl obserwacji testowych. Polegały one na symulowaniu podnośnikiem śrubowym i stolikiem mikrometrycznym półmilimetrycznych przemieszczeń pionowych i poziomych w zakresie 20 mm i 10 mm. Przykładowe wyniki dla zakresu 10-milimetrowego przedstawiono w tabeli. 5.22.

Tabela 5.22

Table 5.22

Zestawienie wyników obserwacji testowych odbiornika pomiarowego
Table of test results of measuring receiver

Lp.	Zarejestrowane odbiornikiem pomiarowym przesunięcie pionowe Vertical displacement recorded by means of measuring receiver [mm]	Różnice pomiędzy symulowanym a zarejestrowanym przesunięciem pionowym Differences between simulated and recorded vertical displacement [mm]	Zarejestrowane odbiornikiem pomiarowym przesunięcie poziome Horizontal displacement recorded by means of measuring receiver [mm]	Różnice pomiędzy symulowanym a zarejestrowanym przesunięciem poziomym Differences between simulated and recorded horizontal displacement [mm]
1	0,46	-0,04	0,37	-0,13
2	0,54	0,04	0,45	-0,05
3	0,57	0,07	0,34	-0,16
4	0,52	0,02	0,43	-0,07
5	0,55	0,05	0,52	0,02
6	0,47	-0,03	0,59	0,09
7	0,47	-0,03	0,65	0,15
8	0,44	-0,06	0,54	0,04
9	0,49	-0,01	0,50	0,00
10	0,49	-0,01	0,40	-0,10
11	0,45	-0,05	0,40	-0,10
12	0,39	-0,11	0,41	-0,09
13	0,48	-0,02	0,36	-0,14
14	0,50	0,00	0,37	-0,13
15	0,49	-0,01	0,46	-0,04
16	0,56	0,06	0,51	0,01
17	0,58	0,08	0,56	0,06
18	0,55	0,05	0,55	0,05
19	0,51	0,01	0,50	0,00
20	0,51	0,01	0,58	0,08
	Błąd pojedynczego spostrzeżenia Error of single observation	0,033	Błąd pojedynczego spostrzeżenia Error of single observation	0,064

Oprócz wyznaczania przewyższeń Δh system aliniometryczny laserowo-fotodetekcyjny może służyć przy obserwacjach permanentnych (ciągłych, długookresowych) do badania niewielkich przemieszczeń pionowych i poziomych elementów budowli inżynierskich. Obserwowane na poziomych matrycach CCD zmiany położenia obrazu wiązki są miarą występujących przemieszczeń pionowych i poziomych.

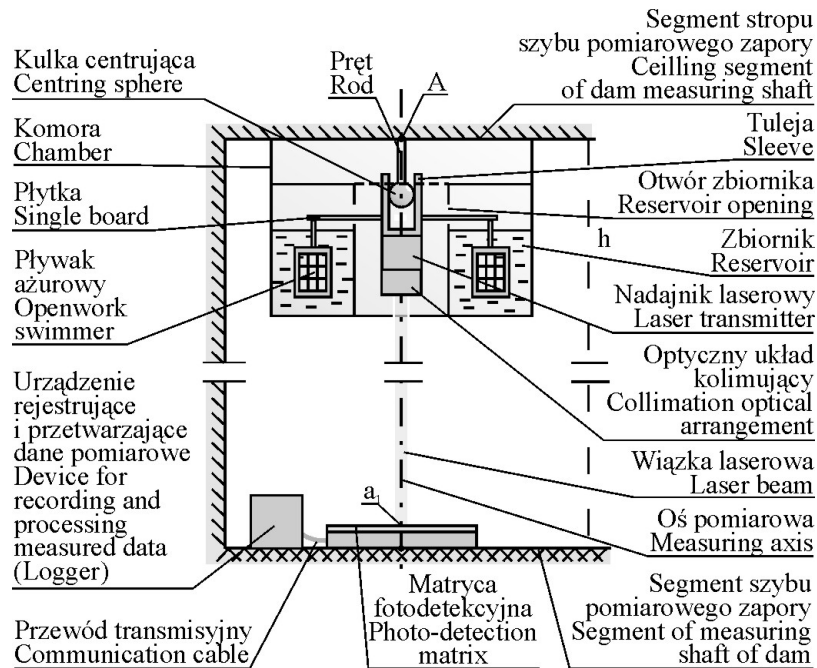
5.2.2.2. Zestaw pionu laserowego z układem fotodetekcyjnym

Obiekty wysmukłe oraz wysokie budowle inżynierskie, jak np.: zapory wodne, wieże, kominy – wskutek oddziaływania różnorodnych i zmiennych w czasie procesów fizycznych i środowiskowych ulegają mikroruchom, których wielkość stanowi podstawowe kryterium bezpieczeństwa (Lazzarini, 1977). Obiekty wysmukłe i wysokie budowle inżynierskie są monitorowane celem pozyskania informacji o ich stanie geometrycznym oraz zjawiskach i procesach wpływających na ich bezpieczeństwo. Przykładowo podstawowe kryteria stabilności obiektu hydrotechnicznego stanowią:

- wielkość wygięcia ściany obiektu oraz największa wartość przemieszczenia najwyżej usytuowanego punktu kontrolowanego na koronie.
- ilość wody infiltracyjnej w galeriach iniekcyjnych oraz pomiarowo-kontrolnych.

Podzespoły optoelektroniki (światłowodowy, lasery półprzewodnikowe oraz przetworniki CCD) pozwalają na modyfikację tradycyjnych metod pomiarowych i opracowanie zestawów pomiarowych zbudowanych w postaci pojedynczych i łańcuchów laserowych pionów z układami fotodetekcyjno-rejestrującymi (Bryś, Ćmielewski, 2004).

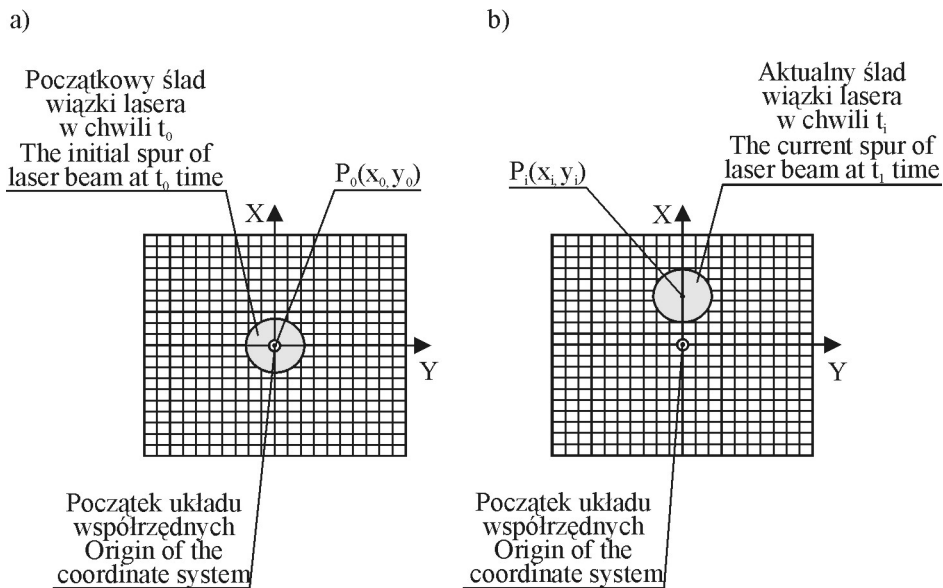
Szczególne właściwości promieniowania świetlnego emitowanego przez diodę laserową, do których można zaliczyć monochromatyczność, spójność (koherencja czasowa i przestrzenna) i równoległość wiązki, umożliwiają zastąpienie pionu mechanicznego wiązką skolimowanego światła laserowego w pionowym szybiku zapory wodnej, co przedstawiono schematycznie na rysunku 5.96.



Rys. 5.96. Zestaw pomiarowy w rzucie pionowym
Fig. 5.96. Measuring set in vertical view

Przedstawiony zestaw pomiarowy, alternatywny w stosunku do wahadła fizycznego, składa się z zespołu nadawczego, którym jest dioda laserowa z optycznym układem kolimującym, umieszczony jest on w środkowej części komory i przymocowany w szybie pomiarowym zapory. Nad diodą laserową znajduje się tuleja umożliwiająca scentrowanie wiązki laserowej względem osadzonego w stropie pręta zakończony kulką. Wiązka laserowa wychyla się wraz z murem zapory i związana jest ze zmianą poziomu położenia cieczy i ażurowych pływaków połączonych mechanicznie z tuleją i nadajnikiem laserowym. Położenie wiązki laserowej jest odczytywane za pomocą zespołu odbiorczego składającego się z matrycy fotodetekcyjnej (przetwornika CCD), urządzenia rejestrująco-przetwarzającego oraz z komputera. Pływaki o ażurowym kształcie oraz odpowiednia ciecz, np. olej kompensują drgania obiektu stabilizując ustawienie osi wiązki laserowej.

Obrazy śladu wiązki laserowej rejestrowane za pomocą układu fotodetekcyjnego (przetwornik CCD) przedstawiono na rysunku 5.97.

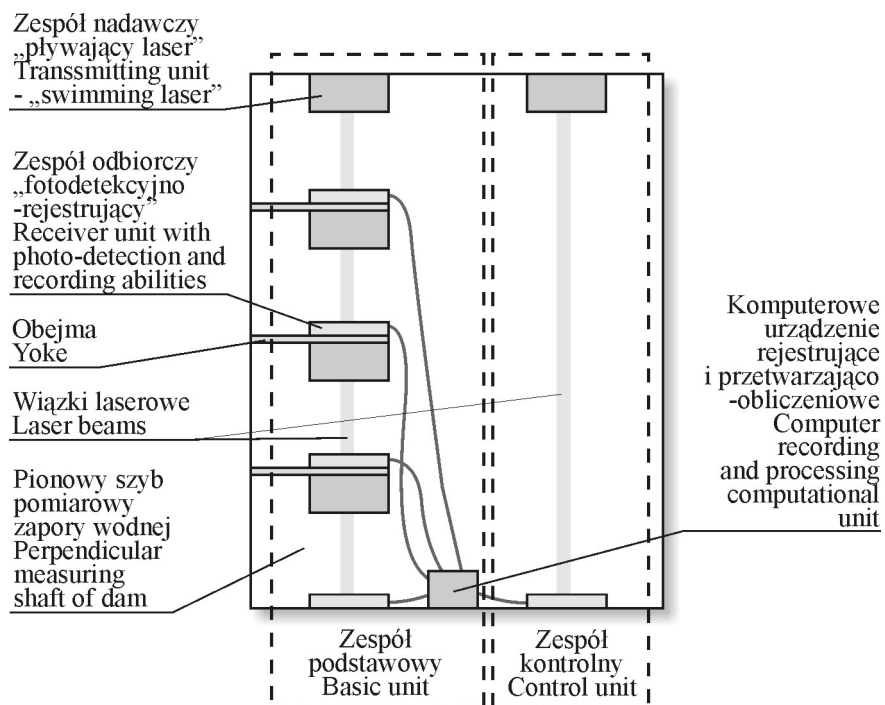


Rys. 5.97. Widok położenia obrazów wiązki laserowej w chwili t_0 oraz t_i
Fig. 5.97. View of laser beam image position in moment t_0 and t_i

Zestaw pomiarowy w aplikacji do monitoringu odkształceń na zaporze wodnej może być rozpatrywany w następujących wariantach:

- I. Pojedynczy zestaw pomiarowy (jeden nadajnik i zespół odbiorczy).
- II. Zamknięty układ zestawów pomiarowych (dwa i więcej nadajników i zespołów odbiorczych).

Wariant pierwszy opisano i przedstawiono na rysunku 5.96. Wariant drugi stanowi zamknięty układ przynajmniej dwóch zestawów pomiarowych umieszczonych w jednym pionowym ustawieniu jak na rysunku 5.98. Pozwala on na wyznaczenie linii wygięcia muru zapory z obserwacji na danych poziomach obserwacyjnych.

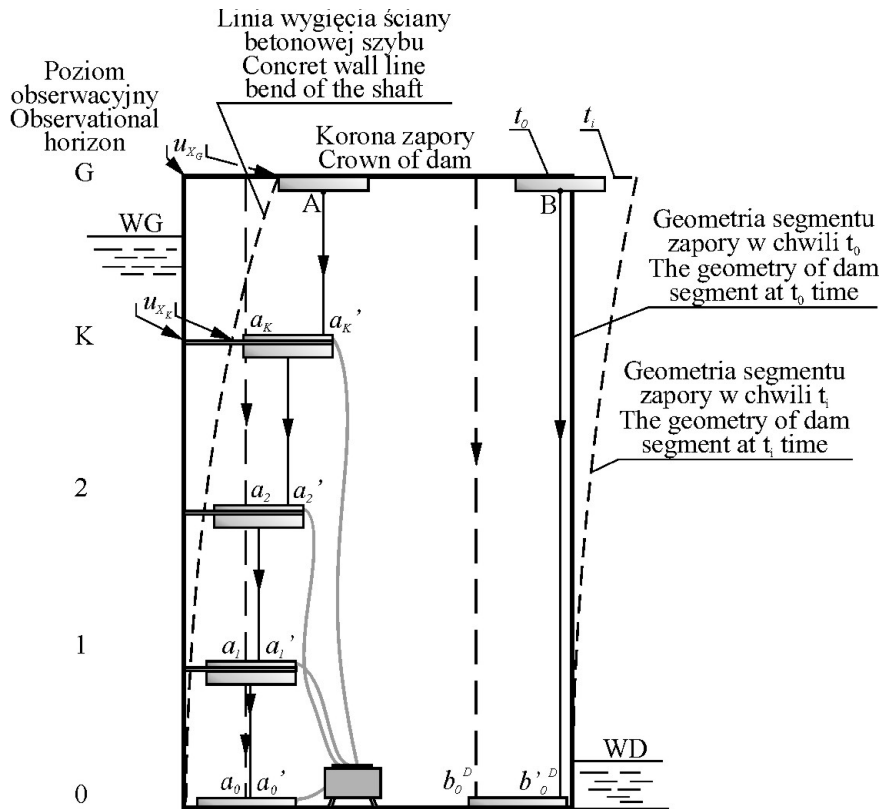


Rys. 5.98. Zamknięty układ zestawów nadajników laserowych z zespołami odbiorczymi
 Fig. 5.98. Closed system of laser transmitter sets with receiving units

Wariant drugi umożliwia powiązanie poszczególnych obserwacji dokonanych na poziomach badawczych i ich porównanie z wynikami obserwacji wykonanych niezależnym zestawem kontrolnym (rys. 5.98).

Wyznaczenie wektorów przemieszczeń poziomych oraz deformacji segmentu budowli hydrotechnicznej

Podczas piętrzenia wody w zbiorniku oraz wskutek oddziaływań termicznych sekcja betonowa doznaje deformacji – wygięcia – przedstawionego schematycznie na rysunku 5.99.



Rys. 5.99. Deformacja ściany segmentu zapory wskutek oddziaływania sił zewnętrznych i wewnętrznych
 Fig. 5.99. Deformation of dam wall segment in consequence of interaction of external and internal forces

W efekcie oddziaływania sił zewnętrznych i wewnętrznych w czasie $\Delta t = t_1 - t_0$ najwyższy położony punkt na koronie zapory przemieści się o wartość:

$$u_{x_g} = b_0'^D - b_0^D \quad (5.9)$$

Zamocowane na wybranych poziomach obserwacyjnych w szybiku pomiarowym elementy systemu pomiarowego: zespół nadawczy i odbiorczy pozwalają na ciągłe i synchroniczne obserwacje przemieszczeń punktów poziomów obserwacyjnych w kierunku X (strona odwodna – strona odpowietrzna), kierunku Y (wzdłuż osi podłużnej zapory) oraz w każdym innym zawartym pomiędzy kierunkami X i Y.

Wartości wektorów przemieszczeń u_{x_x} na poziomach obserwacyjnych wyznaczamy ze wzorów:

$$\begin{aligned}
u_{x_1} &= \Delta a_0 \\
u_{x_2} &= (\Delta a_1 + \Delta a_0) = \sum_{i=0}^{i=1} \Delta a_i \\
u_{x_3} &= (\Delta a_2 + \Delta a_1 + \Delta a_0) = \sum_{i=0}^{i=2} \Delta a_i \\
&\vdots \\
u_{x_k} &= (\Delta a_{k-1} + \Delta a_{k-2} + \dots + \Delta a_0) = \sum_{i=0}^{i=k-1} \Delta a_i
\end{aligned} \tag{5.10}$$

Zespół kontrolny układu pomiarowego pozwala na synchroniczne wyznaczanie przemieszczenia punktu B:

$$\Delta b_0^D = \Delta a_0 + \Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_{G-1} = \sum_{i=0}^{i=G-1} \Delta a_i = b'_0{}^D - b_0^D \tag{5.11}$$

W powyższych wzorach:
dla zespołu podstawowego (rys. 5.99):

$$\Delta a_i = a'_i - a_i,$$

a_0 – odczyt w chwili t_0 ,

a'_i – odczyt w chwili t_i ,

dla zespołu kontrolnego (rys. 5.99):

b_0^D – odczyt w chwili t_0 ,

$b'_0{}^D$ – odczyt w chwili t_i ,

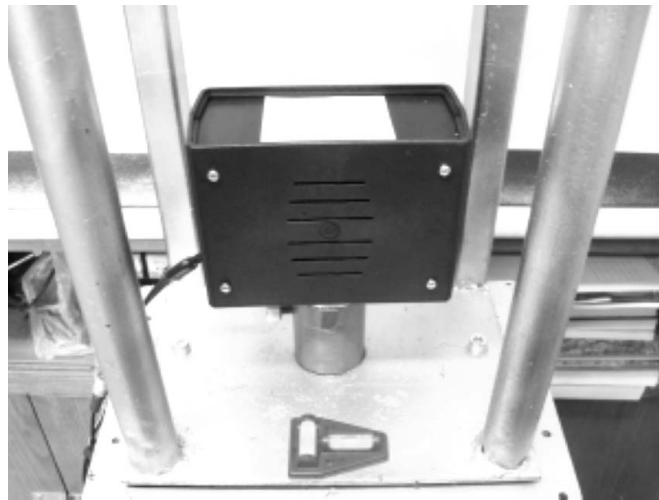
Δb_0^D – przemieszczenie punktu B wyznaczone na poziomie dna szybu.

Badania eksperymentalne modelu segmentu szybiku za pomocą pojedynczego zestawu pomiarowego

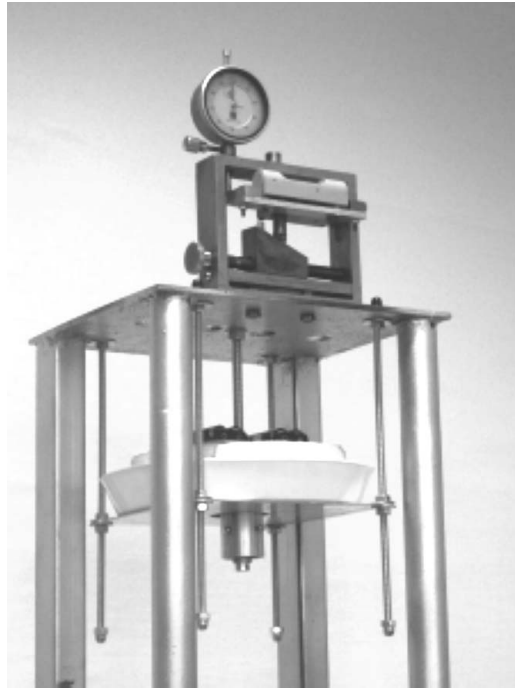
Na rysunkach 5.100–5.103 przedstawiono widok modelu segmentu szybiku o długości 1,00 m z zainstalowanym zestawem pomiarowym, na którym wykonano wybrane cząstkowe badania eksperymentalne.



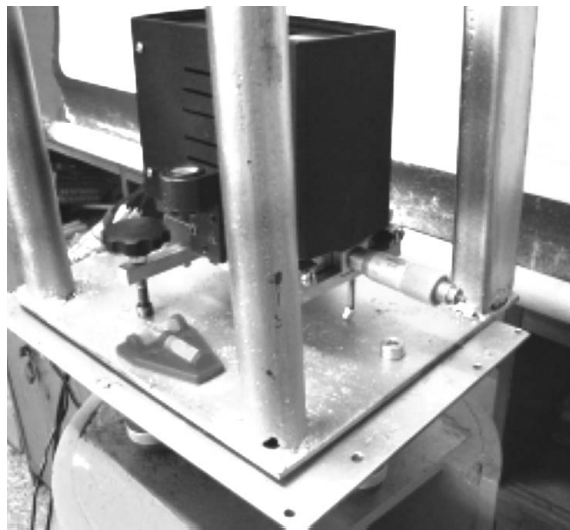
Rys. 5.100. Model zestawu pomiarowego na stanowisku testowym w widoku z przodu
Fig. 5.100. Model of measuring set on test position in front view



Rys. 5.101. Widok zespołu odbiorczo-fotodetekcyjnego zamontowanego w dolnej części modelu segmentu
Fig. 5.101. View of receiving photo-detective set mounted in the bottom of segment model



Rys. 5.102. Widok zespołu nadawczego – pływający laser, zamontowanego w górnej części modelu segmentu
Fig. 5.102. View of transmitter set – floating laser, mounted at the top of segment model



Rys. 5.103. Widok zespołu odbiorczego-fotodetekcyjnego w czasie wykonywania prac testujących
Fig. 5.103. View of receiving photo-detective set during tests

Celem badań eksperymentalnych modelu segmentu szybiku było określenie dokładności pomiarowej dla konstruowanego zestawu oraz weryfikacji jego założeń projektowych.

Do badań wykorzystano stolik mikrometryczny o zakresie przesunięcia 25 mm z dokładnością 0,01 mm oraz zaprojektowany symulator wychyleń pozwalający na zadawanie dla modelu segmentu szybiku pomiarowego określonych wychyleń w zakresie kilku stopni. Jako nadajnik laserowy użyto diodę laserową, a zespół fotodetekcyjny stanowił współpracujący z komputerem przetwornik CCD JK-309B o czułości 0,3 luksa.

Badania eksperymentalne przeprowadzono w laboratorium geodezyjnym zlokalizowanym w przyziemiu Katedry Geodezji i Fotogrametrii Akademii Rolniczej we Wrocławiu.

Badania modelu zestawu pomiarowego w szybiku dotyczyły określenia:

- dokładności naprowadzania wiązki laserowej emitowanej przez nadajnik laserowy przy symulowanych wyprowadzeniach z położenia wyjściowego;
- dokładności pomiaru przesunięcia poziomego układu fotodetekcyjnego;
- dokładności pomiaru przesunięcia wiązki laserowej układu nadawczego na układzie fotodetekcyjnym przy wychyleniu modelu segmentu szybiku o zadaną wartość.

Wielokrotne wyprowadzanie układu nadawczego z pozycji roboczej przyjętej po spionowaniu modelu szybiku pozwoliło na określenie dokładności powrotu wiązki laserowej do pozycji wyjściowej. Wyznaczone samonaprowadzanie układu nadawczego z pomiarów testowych przyjęło wartość $\pm 0,02$ mm.

Wyniki badania dokładności pomiaru symulowanego przesunięcia poziomego co 0,50 mm układu fotodetekcyjnego przedstawiono w tabeli 5.23.

Tabela 5.23

Table 5.23

Zestawienie wyników eksperymentu dotyczącego oceny działania układu fotodetekcyjnego
Table of experiment results concerning evaluation of photo-detective set working

Lp.	Zarejestrowane przesunięcie wiązki laserowej zestawu pomiarowego Recorded laser beam displacement of measuring set [mm]	Różnice pomiędzy symulowanym a zarejestrowanym przesunięciem układu fotodetekcyjnego Difference between simulated and observed displacement of photo-detective system [mm]
1	0,50	0,00
2	0,50	0,00
3	0,49	-0,01
4	0,50	0,00
5	0,53	0,03
6	0,51	0,01
7	0,50	0,00
8	0,45	-0,05
9	0,52	0,02

Tabela 5.23 cd.
Table 5.23 cont.

Lp.	Zarejestrowane przesunięcie wiązki laserowej zestawu pomiarowego Recorded laser beam displacement of measuring set [mm]	Różnice pomiędzy symulowanym a zarejestrowanym przesunięciem układu fotodetekcyjnego Difference between simulated and observed displacement of photo-detective system [mm]
10	0,49	-0,01
11	0,48	-0,02
12	0,56	0,06
13	0,51	0,01
14	0,47	-0,03
15	0,49	-0,01
16	0,51	0,01
17	0,50	0,00
18	0,55	0,05
19	0,47	-0,03
20	0,47	-0,03
21	0,55	0,05
22	0,50	0,00
Błąd pojedynczego spostrzeżenia Single observation error		0,02

Wyniki badania dokładności pomiaru przesunięcia wiązki laserowej na układzie fotodetekcyjnym przy wychyleniu modelu segmentu szybiku o zadaną wartość symulatorem nachyleń przedstawiono w tabeli 5.24. Przyjęta odległość pomiędzy układem nadawczym a układem fotodetekcyjnym dla badanego modelu wynosiła $L = 0,400$ m.

Opisane zestawy pomiarowe w przypadku zapór wodnych mogą być stosowane po zakończeniu budowy obiektu, w czasie piętrzeń próbnych oraz w okresie dalszej, wieloletniej eksploatacji budowli, dostarczając cennych obserwacji dla wyznaczenia składowych przemieszczeń względnych. Podczas zrzutu wody powstające drgania mogą być przyczyną zniekształceń wyników pomiarowych.

Po okresie stabilizacji położenia segmentu zapory obserwowane zostają z reguły składowe przemieszczenia u_x w rocznie powtarzających się cyklach oraz nieznaczne wahania dobowe.

Zaprezentowany zestaw pomiarowy, dla zwiększenia niezawodności procesu pomiarowego oraz dla kontroli, połączony może być z zainstalowaną na koronie zapory anteną GPS, dając tym samym możliwość powiązania lokalnego układu pomiarowego z zewnętrznym układem bezwzględny.

Tabela 5.24

Table 5.24

Zestawienie danych pomiarowych dla modelu szybiku z zestawem pomiarowym uzyskanych z pomiarów podczas symulowanych nachyleń

Table of measure data received from measurements with simulated tilts for small shaft model with measuring set

Lp.	Symulowane wartości nachyleń w mierze kątowej Simulated tilt value in angular measure α_i [°]	Symulowane wartości nachyleń w mierze liniowej Simulated tilt value in linear measure s_i [mm]	Różnice symulowanych wartości nachyleń Differences of simulated tilt value $\Delta s = s_{i+1} - s_i$ [mm]	Różnice odczytów wykonanych układem fotodetekcyjnym Reading differences made with photo-detective system $\Delta a_i = a_{i+1} - a_i$ [mm]	Różnice różnic pomiędzy wartościami odczytanymi fotodetekcyjnie a symulowanymi Differences of differences between simulated and photo-detective read values $\Delta a_i - \Delta s$ [mm]
1	0°00''	0,00			
2	6°52''	0,80	0,80	0,72	-0,08
3	13°45''	1,60	0,80	0,84	0,04
4	20°37''	2,40	0,80	0,86	0,06
5	27°30''	3,20	0,80	0,76	-0,04
6	34°22''	4,00	0,80	0,85	0,05
Błąd pojedynczego spostrzeżenia Single observation error					0,04

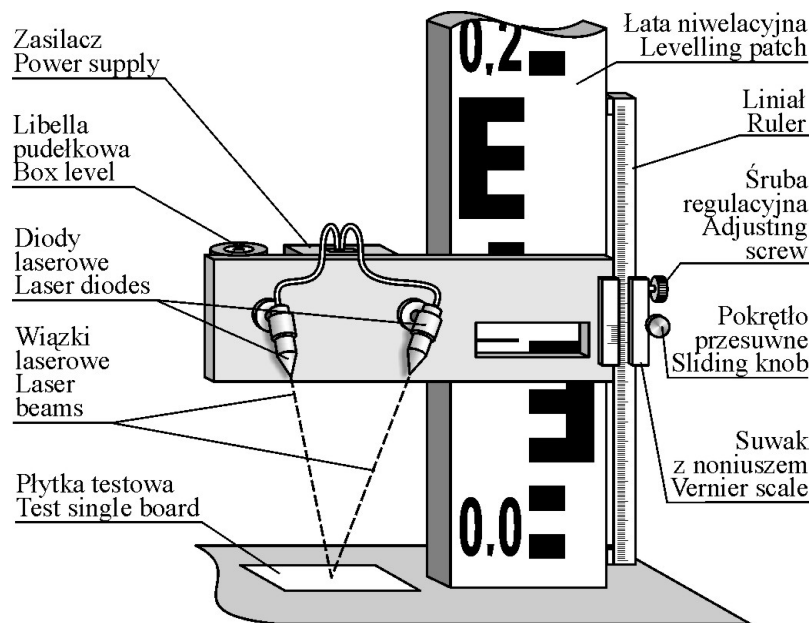
5.2.2.3. Laserowa stopka sygnalizacyjna

Wzajemne ułożenie elementów obiektów inżynierskich w płaszczyźnie pionowej wyznaczone i realizowane jest najczęściej metodą niwelacji, przede wszystkim metodą niwelacji geometrycznej. W metodzie tej stosowane są laserowe i optyczne niwelatory oraz łąty z podziałem metrycznym bądź kodowym.

Złożoność konstrukcyjna obiektów, wymagania technologiczne montażu, a także różnorodność podzespołów i ich wzajemne usytuowanie przestrzenne ograniczają dostęp do punktów wysokościowych. Dla usprawnienia obserwacji niwelacyjnych punktów kontrolowanych o ograniczonej dostępności stosować można laserową stopkę (Bryś, Ćmielewski, 2001) współpracującą z typową łątą geodezyjną.

Budowa Laserowej Stopki Sygnalizacyjnej (LSS)

Zadaniem Laserowej Stopki Sygnalizacyjnej jest realizacja, ze stałej bazy za pomocą dwóch wiązek promieni laserowych, miniaturowego wcięcia kąтового na punkt kontrolowany podlegający pomiarowi i przeniesienia jego poziomu na łątę niwelacyjną (rys. 5.104).

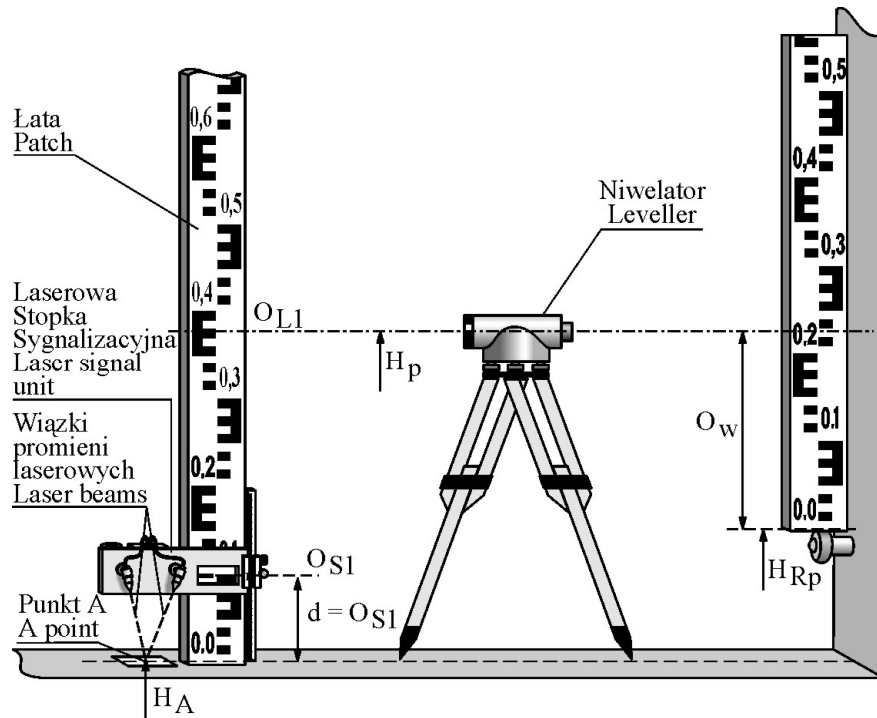


Rys. 5.104. Projekt Laserowej Stopki Sygnalizacyjnej (LSS)
 Fig. 5.104. Project of Laser Indicating Footer (LSS)

Laserowa Stopka Sygnalizacyjna składa się z pionowej płytki przymocowanej do suwaka liniału przytwierdzonego do łaty niwelacyjnej. Na wspomnianej płytce osadzone są w części środkowej, w stałej odległości, dwie obrotowe diody laserowe. Natomiast w górnej części libella oraz zasilacz.

Zasada działania Laserowej Stopki Sygnalizacyjnej (LSS)

Przed pomiarami niwelacyjnymi trudno dostępnych punktów kontrolowanych na obiektach inżynierskich boczna, dolną część łaty niwelacyjnej za pomocą liniału sprzęga się z Laserową Stopką Sygnalizacyjną w taki sposób, aby zero liniału pokryło się z zerem łaty (rys. 5.104). Następnie wykonuje się wstępne czynności regulacyjne przygotowujące Laserową Stopkę Sygnalizacyjną do pomiaru. Pierwszą czynnością jest doprowadzenie zera noniusza suwaka na okrągłą wartość odczytu liniału, np. 100,00 mm. Jest to wartość stała (d) Laserowej Stopki Sygnalizacyjnej. Następnie na wybranym elemencie obiektu charakteryzującym się równą płaszczyzną ustawia się pionowo łatę z ustalonym uprzednio położeniem stopki (stała d) i włącza diody laserowe. Ruchy obrotowe diod doprowadzają do zbieżności wiązki laserowe, co będzie obserwowane jako jedna plamka na płytce testowej. Po wspomnianej czynności można przystąpić do właściwych pomiarów. Usytuowanie wysokościowe wyznaczanego niwelacyjnie punktu kontrolowanego A warunkuje stosowanie następujących warunków pomiarów LSS przedstawionych na rysunku 5.105.



Rys. 5.105. Pomiar wysokości punktu kontrolowanego znajdującego się na jednej wysokości ze stopką łąty niwelacyjnej

Fig. 5.105. Measurement of altitudes of check point located on the same height as level rod footer

Wyznaczenie wysokości punktu znajdującego się na jednej wysokości ze stopką łąty niwelacyjnej (rys. 5.105) opisane jest wzorem (5.12) i (5.13).

$$H_p = H_{Rp} + O_w \quad (5.12)$$

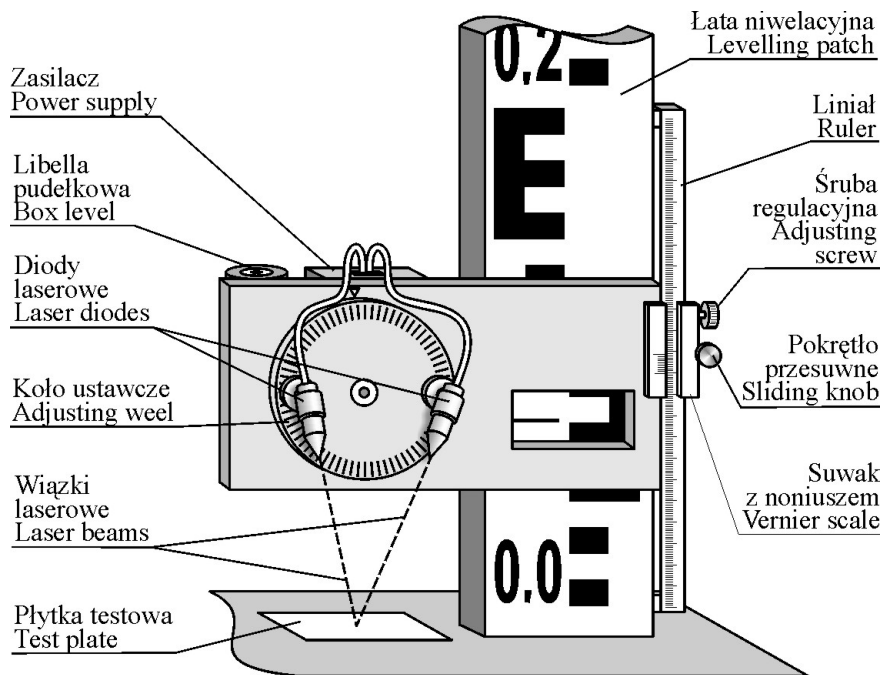
$$H_A = H_p - O_{L1} + O_{S1} - d \quad (5.13)$$

gdzie:

- H_A – wysokość punktu kontrolowanego,
- H_{Rp} – wysokość rezero,
- O_w – odczyt na łącie wstecz,
- H_p – wysokość osi celowej niwelatora,
- O_{L1} – odczyt w przód na łącie sprzęgniętej z LSS,
- O_{S1} – odczyt suwaka na liniale,
- d – stała LSS równa O_{S1} .

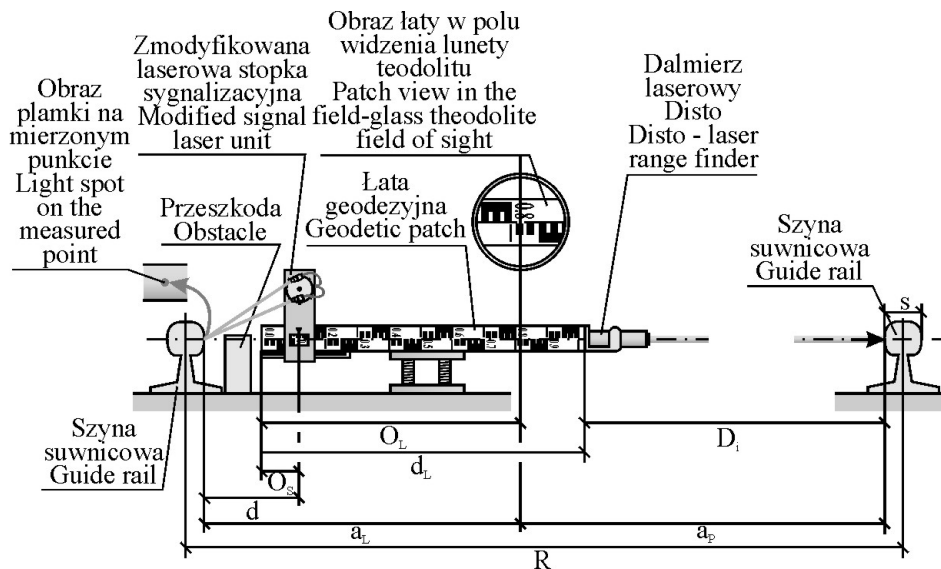
Wyznaczenie wysokości punktu znajdującego się poniżej lub powyżej powierzchni, o którą opiera się stopka łąty niwelacyjnej, wykonywane jest analogicznie jak dla przypadku pomiaru wysokości punktu kontrolowanego leżącego na powierzchni, o którą opiera się stopka łąty niwelacyjnej (rys. 5.105, wzór 5.13).

Wprowadzenie dla układu diod laserowych ruchu obrotowego za pomocą koła ustawczego (rys. 5.106) pozwala na rozszerzenie zakresu zastosowań na inne rodzaje pomiarów. Laserowa stopka sygnalizacyjna może być wykorzystywana do pomiaru prostoliniowości i rozpiętości torów podsownicowych, jak na rysunku 5.107.



Rys. 5.106. Zmodyfikowana laserowa stopka sygnalizacyjna
Fig. 5.106. Modified laser indicating footer

Koło ustawcze ze stałym układem diod można obracać o dowolny kąt.



Rys. 5.107. Przykład pomiaru przekroju toru podsunicowego laserową stopką sygnalizacyjną
 Fig. 5.107. Example of measurement of suspended crane beam cross-section by means of laser indicating footer

W przedstawionym schemacie pomiarowym dokonując z końca „główki” łąty obserwacji dalmierzem laserowym Disto do przeciwległej szyny podsunicowej możliwa staje się inwentaryzacja toru podsunicowego w miejscach o utrudnionym dostępie. Przez analogie do klasycznych pomiarów torów suwnicowych mierzone wielkości można zestawzić w odpowiednie formuły określając: odchyłkę od prostoliniowości szyny lewej a_L (wzór 5.14), odchyłkę od prostoliniowości szyny prawej a_p (wzór 5.15) i rozpiętość toru R (wzór 5.16):

$$a_{L_i} = O_{L_i} - O_{S_i} + d \quad (5.14)$$

$$a_{p_i} = d_L - O_{L_i} + D_i \quad (5.15)$$

$$R_i = a_{L_i} + a_{p_i} + s_i \quad (5.16)$$

gdzie:

O_{L_i} – odczyt na łącie wykonany np. teodolitem,

O_{S_i} – odczyt suwaka na liniale,

d – stała LSS,

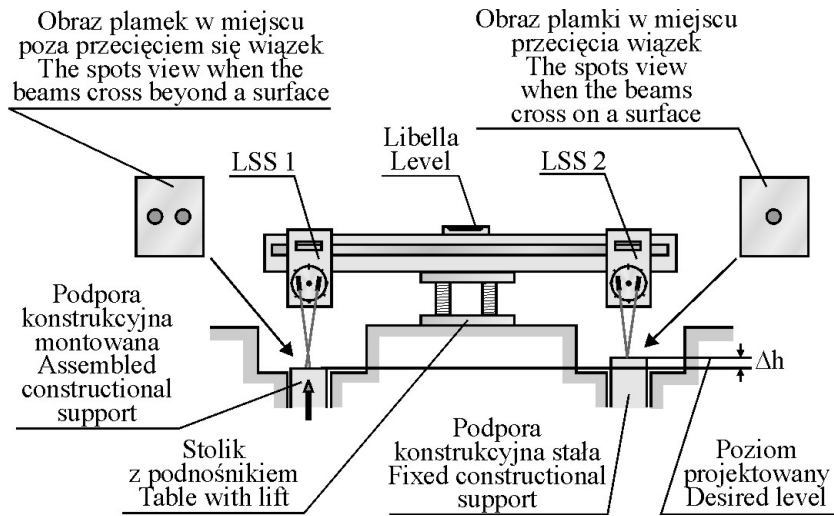
D_i – odległość pomierzona dalmierzem laserowym Disto,

s_i – szerokość główki szyny toru,

d_L – długość łąty.

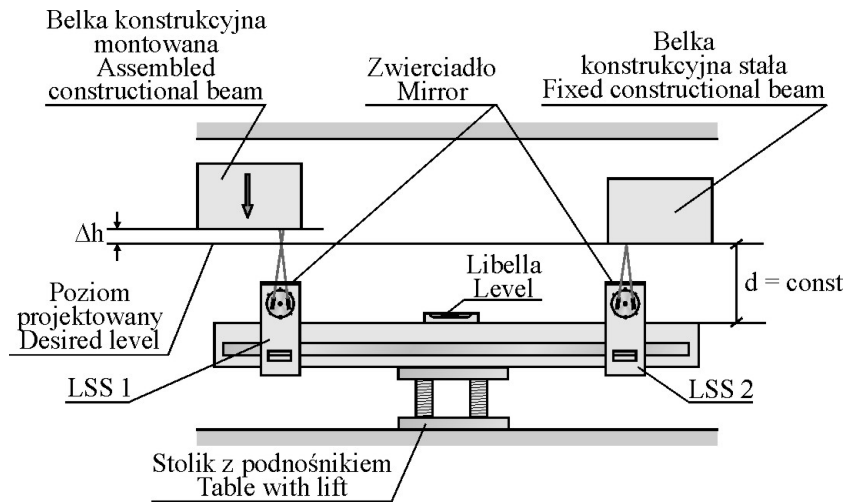
W przypadku torów podsunicowych wyniesionych estakadą bądź słupami nad posadzkę placu lub hali i jednostronnym podestem toru zaprezentowany sposób pozwala wykonać obserwacje, a następnie opracować jak dla metody jednoetapowej opisanej w pracy (Krzeszowski i wsp. 1987).

Modyfikacja laserowej stopki sygnalizacyjnej w wersji sprzęgnięcia na łacie w określonej odległości dwóch stopek o identycznych stałych d pozwala na uzyskanie bezстыkowej poziomicz „wagi” niwelacyjnej. Przykłady zastosowań dla miejsc obserwacji o utrudnionym dostępie przedstawiono na rysunku 5.108 i 5.109.



Rys. 5.108. Realizacja poziomu projektowanego montowanej podpory z wykorzystaniem zespołu laserowych stopek sygnalizacyjnych

Fig. 5.108. Realization of designed level of assembled support with laser indicating footer set



Rys. 5.109. Realizacja poziomu projektowanego montowanej belki z wykorzystaniem zespołu laserowych stopek sygnalizacyjnych

Fig. 5.109. Realization of designed level of assembled beam with laser indicating footer set

Przy poziomowaniu elementów konstrukcyjnych i dostępności ich spodniej części obserwacje plamek laserowych emitowanych przez zestaw zmodyfikowanych laserowych stopek sygnalizacyjnych wykonywane są za pomocą zwierciadeł usytuowanych na LSS od strony obserwatora. Przewyższenia pomiędzy elementami konstrukcyjnymi są równe zero i dostosowane do istniejących poziomów projektowych, gdy zaobserwować można dla obu LSS pojedyncze plamki (miejsce przecięcia się wiązek laserowych emitowanych przez układy diod).

Badania weryfikacyjne prototypu Laserowej Stopki Sygnalizacyjnej (LSS)

Dla ustalenia przypuszczalnych głównych źródeł błędów oraz oceny wpływu oświetlenia w przestrzeni pomiarowej na wyniki pomiarów LSS przeprowadzono cząstkowe badania eksperymentalne. Zakres badań obejmował określenie:

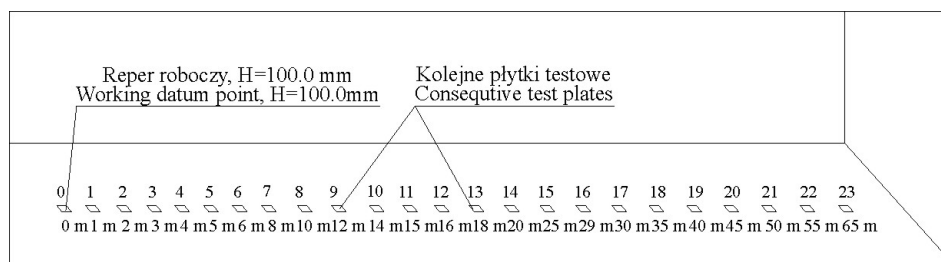
- wpływu niejednoznacznej koincydencji plamek laserowych przy naprowadzeniu na powierzchni rozpatrywanego punktu,
- wpływu niepionowości łąty niwelacyjnej na wynik odczytu (O_S) położenia LSS,
- wpływu oświetlenia zewnętrznego na dokładność jednoznacznego pokrywania się plamek laserowych przy naprowadzeniu na powierzchni mierzonego punktu.

Dla oceny dokładności koincydencji plamek na punkcie podlegającym obserwacji przeprowadzono serię pomiarów testowych z użyciem wykonanego modelu LSS przedstawionego na rysunku 5.110.



Rys. 5.110. Laserowa Stopka Sygnalizacyjna (prototyp)
Fig. 5.110. Laser Indicating footer (prototype)

Wielokrotne ($n = 10$) obserwacje testowe przeprowadzono na płytkach (gładka powierzchnia) bazy testowej (rysunek 5.111). Odchylenia standardowe pomiarów na płytkach zawierały się w granicach od 0,12 do 0,30 mm.



Baza testowa (korytarz przyziemia Katedry Geodezji i Fotogrametrii AR)
Testing base (corridor of mundane in Department of Geodesy and Photogrammetry Agricultural University)

Rys. 5.111. Rozmieszczenie płytek testowych

Fig. 5.111. Arrangement of testing plates

Przy pomiarze niwelacyjnym LSS punktów o utrudnionym dostępie może mieć wpływ na wynik obserwacji wychylenie od pionu łąty niwelacyjnej sprzęgniętej z LSS. Dla określenia wpływu tego błędu wykonano badania doświadczalne z symulowanym odchyleniem dwumetrowej łąty od pionu w zakresie $10'$ (przewaga libelli pudełkowej łąty). Stwierdzono, że wychylenia łąty powodują powstanie różnic odczytów O_s nieprzekraczających wartości 0,7 mm.

Obraz plamek laserowych emitowanych przez LSS może wykazywać pewne zmiany w swej intensywności oraz kształcie. Zmienność obrazu plamek odbieranych przez wzrok obserwatora wynika z rodzaju oświetlenia występującego w przestrzeni obserwacyjnej (oświetlenie dzienne, sztuczne, intensywne, słabe), faktury powierzchni punktu pomiarowego (gładka, chropowata) oraz jej barwy. Dla ustalenia wpływu natężenia oświetlenia w przestrzeni obserwacyjnej na dokładność pomiaru LSS wykonano cykl badań doświadczalnych związanych z wyznaczeniem położenia Laserowej Stopki Sygnalizacyjnej na pionowej łącie przy zmiennym natężeniu oświetlenia zewnętrznego w zakresie od 10 do 900 luksów dla pięciu wybranych punktów charakteryzujących się jednolitą barwą i gładką powierzchnią (punkty bazy testowej). Odchylenia standardowe średniego odczytu O_s położenia LSS zawierały się w granicach od 0,12 do 0,23 mm.

Dla oszacowania faktycznej dokładności wyznaczenia rzędnych za pomocą Laserowej Stopki Sygnalizacyjnej wykonano pomiar przewyższeń pomiędzy płytkami testowymi rozmieszczonymi w korytarzu przyziemia KGiF jak na rysunku 5.111. Następnie przyjmując płytkę zerową jako reper odniesienia o rzędnej $H = 100.00$ mm obliczono rzędne kolejnych płytek testowych. Pomiar przewyższeń wykonano niwelacją precyzyjną przy zastosowaniu niwelatora precyzyjnego Ni 002 (Carl Zeiss Jena). Następnie wysokości wspomnianych płytek wyznaczono z wykorzystaniem Laserowej Stopki Sygnalizacyjnej. W tabeli 5.25 zestawiono wysokości płytek testowych uzyskane z pomiaru niwelacją precyzyjną i Laserową Stopką Sygnalizacyjną (LSS).

Tabela 5.25
Table 5.25

Zestawienie wyników porównawczych pomiarów niwelacyjnych
Table of levelling comparative results

Numer punktu Point number	Wysokość z niwelacji precyzyjnej Height from precise leveling [mm] (H _p)	Seria I I series		Seria II II series	
		Wysokość uzyskana przy użyciu LSS Height obtained with use of LSS [mm] (H _{LSS})	Różnica Difference [mm] H _p – H _{LSS}	Wysokość uzyskana przy użyciu LSS Height obtained with use of LSS [mm] (H _{LSS})	Różnica Difference [mm] H _p – H _{LSS}
1	94,78	94,25	0,53	94,46	0,32
2	94,93	94,82	0,11	95,00	-0,07
3	88,13	88,09	0,04	87,75	0,38
4	83,32	83,62	-0,3	82,96	0,36
5	90,71	90,83	-0,12	90,86	-0,15
6	95,61	95,92	-0,31	95,82	-0,21
7	91,37	90,95	0,42	91,42	-0,05
8	87,14	87,06	0,08	87,07	0,07
9	82,49	82,64	-0,15	82,76	-0,27
10	80,38	79,84	0,54	80,59	-0,21
11	78,80	78,38	0,42	78,61	0,19
12	77,41	77,36	0,05	77,66	-0,25
13	69,18	69,45	-0,27	69,36	-0,18
14	65,47	66,07	-0,6	65,15	0,32
15	72,03	72,18	-0,15	71,94	0,09
16	85,43	85,31	0,12	85,67	-0,24
17	91,76	92,07	-0,31	91,60	0,16
18	98,61	98,76	-0,15	98,82	-0,21
19	105,14	105,36	-0,22	105,39	-0,25
20	103,14	103,22	-0,08	103,03	0,11
21	105,89	106,01	-0,12	105,67	0,22
22	106,63	106,45	0,18	106,94	-0,31
23	101,58	101,33	0,25	101,34	0,24

Przyjmując wyznaczone metodą niwelacji precyzyjnej wysokości płytek testowych jako wysokości odniesienia dla wysokości uzyskanych z pomiarów laserową stopką, można z par spostrzeżeń oszacować przybliżoną dokładność pomiarową prototypu LSS według wzoru (5.17) na średni błąd pojedynczego pomiaru m_0 .

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \quad (5.17)$$

gdzie:

d – różnica wysokości,
n – ilość par spostrzeżeń.

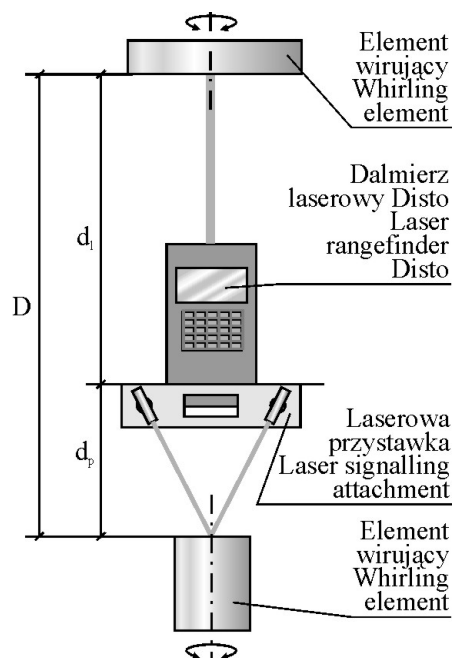
Dla wyników zestawionych w tabeli 5.25 średni błąd pojedynczego spostrzeżenia uzyskany prototypem LSS dla serii pierwszej przyjął wartość $\pm 0,20$ mm, a dla serii drugiej $\pm 0,16$ mm. Uzyskane wartości dotyczyły warunków laboratoryjnych przy obserwacjach wykonywanych na płytkach o jednolitych, gładkich powierzchniach.

5.2.2.4. Przystawki laserowe do pomiaru odległości

Inne możliwości opracowanych przez autora zastosowań miniaturowego laserowego wcięcia kąowego „w przód” (opisanego w laserowej stopce sygnalizacyjnej, rozdział 5.2.2.3) przedstawiono w przykładach kolejnych przyrządów w wariantach pojedynczych i mnogich jako:

- przystawka do laserowego dalmierza Disto,
- przystawka do reflektora pryzmatycznego,
- przystawka do reflektora pryzmatycznego z sygnalizacją linii celowania,
- przystawka z przymiarem sztywnym.

Przystawka laserowa przy obserwacji okiem nieuzbrojonym plamki laserowej umożliwia uzyskanie dokładności pomiaru (badania laserowej stopki sygnalizacyjnej, rozdział 5.2.2.3, tab. 5.25) na poziomie około $\pm 0,2$ mm. Na rysunku 5.112 przedstawiono zastosowanie przystawki w pomiarach z dalmierzem Disto.

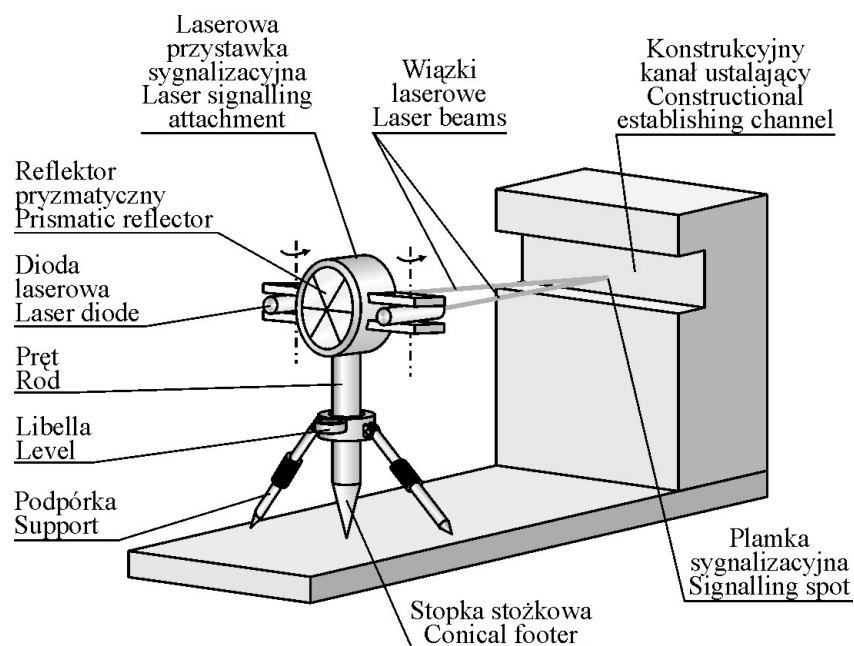


Rys. 5.112. Schemat pomiaru odległości pomiędzy elementami wirującymi z wykorzystaniem dalmierza laserowego Disto sprzęgniętego z laserową przystawką sygnalizacyjną w rzucie poziomym

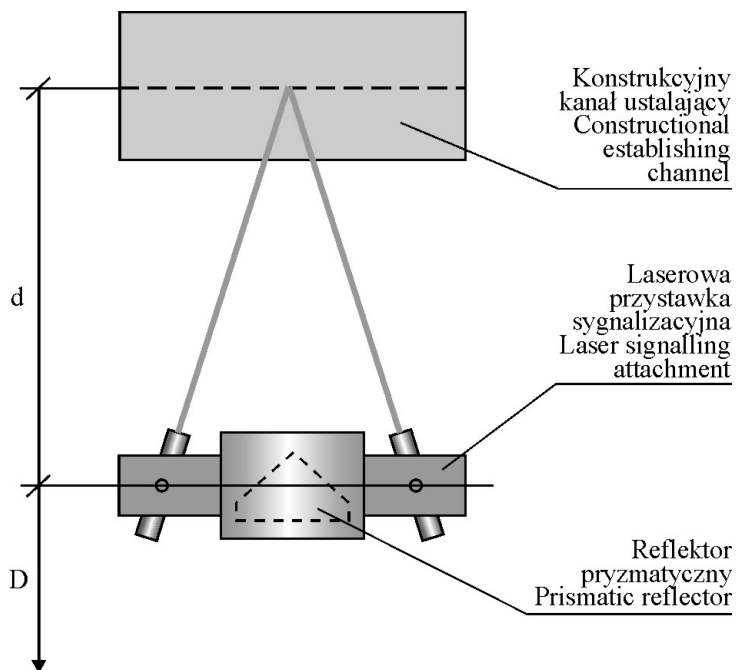
Fig. 5.112. Scheme of distance measurement between rotary elements with Disto laser distancemeter coupled with laser indicating adapter in horizontal view

Dokładność przedstawionego pomiaru odległości D jako zależność funkcyjna dokładności przykładowego dalmierza Disto ($m_d = 1,50 \text{ mm}$) i dokładności przystawki laserowej ($m_{pl} = \pm 0,20 \text{ mm}$) obliczona z funkcji błędów przyjmie wartość $m_D = 1,51 \text{ mm}$. Przystawka laserowa z dalmierzem Disto może być wykorzystywana zwłaszcza przy pomiarach odległości do elementów konstrukcji inżynierskich wirujących. Podczas obserwacji dla ograniczenia błędów pomiaru wskazanym jest, aby dalmierz z przystawką był podparty.

Na rysunku 5.113 przedstawiono zastosowanie przystawki w pomiarach odległości dalmierzami elektrooptycznymi z zastosowaniem reflektorów szklanych.

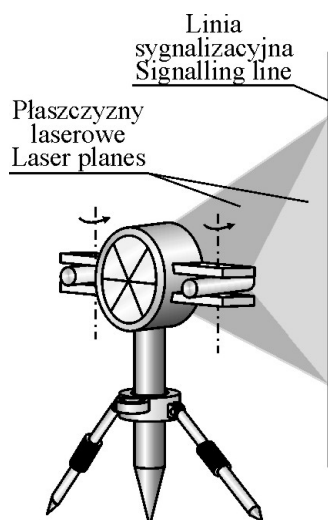


Rys. 5.113. Pomiar odległości do niedostępnego punktu na elemencie konstrukcyjnym z wykorzystaniem reflektora pryzmatycznego sprzęgniętego z laserową przystawką
 Fig. 5.113. Distance measurement to inaccessible point based on construction element with prismatic reflector coupled with laser indicating adapter



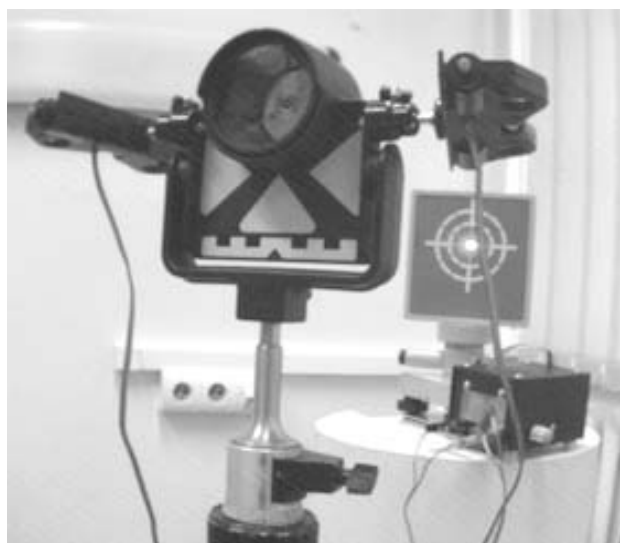
Rys. 5.114. Pomiar odległości przy wykorzystaniu reflektora pryzmatycznego sprzęgniętego z laserową przystawką w rzucie poziomym
 Fig. 5.114. Distance measurement with prismatic reflector coupled with laser indicating adapter in horizontal view

Mierzona odległość ze stanowiska obserwacyjnego do elementu konstrukcyjnego jest sumą odległości pomierzonej dalmierzem elektrooptycznym oraz odległości określonej laserową przystawką, jak na rysunku 5.114. Dokładność mierzonej odległości będzie wynikała z błędów odległości mierzonej dalmierzem elektrooptycznym do reflektora oraz dokładności przystawki laserowej. W diodach laserowych przystawki laserowej można wprowadzić niewielkie elementy optyczne (np. soczewki walcowe), które pozwalają na rozwinięcie wiązek laserowych w fragmenty płaszczyzn laserowych. Uzyskuje się w ten sposób, w punkcie przecięcia, zamiast pojedynczej plamki linię sygnalizacyjną oznaczającą miejsce pomiaru (rys. 5.115).



Rys. 5.115. Reflektor pryzmatyczny sprzężony z laserową przystawką wyposażoną w układ diod laserowych emitujących płaszczyzny laserowe
 Fig. 5.115. Prismatic reflector coupled with laser indicating adapter equipped with system of laser diodes that give laser surfaces

Na rysunku 5.116 przedstawiono prototyp, na którym przeprowadzono prace eksperymentalne związane z wyznaczeniem dokładności pomiaru odległości.

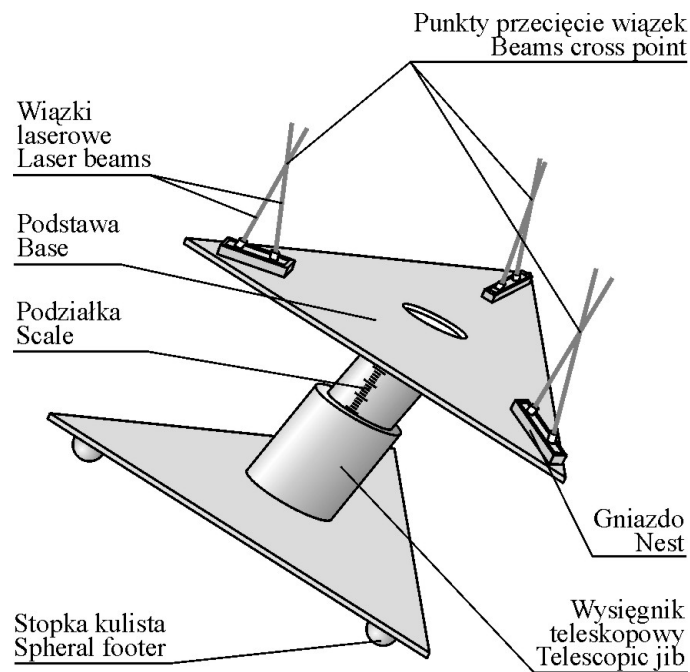


Rys. 5.116. Prototyp reflektora zwrotnego sprzężonego z przystawką laserową
 Fig. 5.116. Prototype of reflector coupled with laser indicating adapter

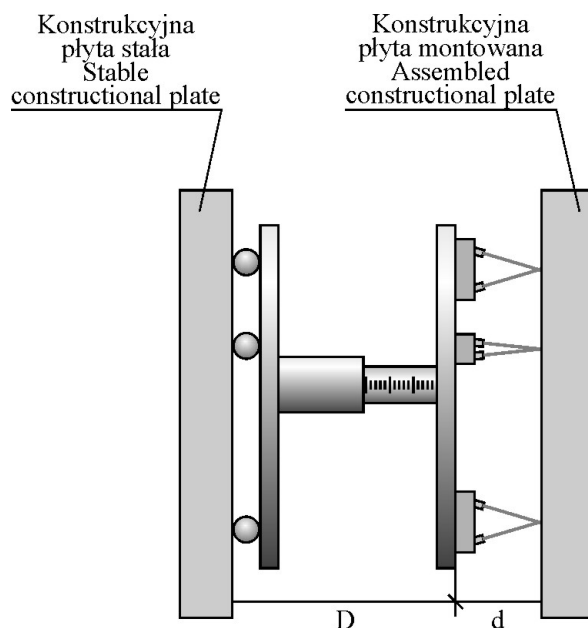
Obserwacje wykonano na odcinku podzielonym na dwie części. W pierwszej części odcinka dokonano pomiarów odległości bezpośrednio tachymetrem TC1800, natomiast druga część odcinka była wyznaczana na podstawie obserwacji pokrycia się plamek wiązek laserowych emitowanych z ustalonego układu diod przystawki (jak w laserowej stopce sygnalizacyjnej, rozdział 5.2.2.3). Realizowana przez przystawkę laserową odległość wynosiła 0,475 m (wyznaczona z 20-krotnych obserwacji pokrycia plamek, okiem uzbrojonym w lupę) z dokładnością $\pm 0,06$ mm. Natomiast odległość mierzona do reflektora wynosiła 4,1079 m i nie wykazywała zmian w trakcie obserwacji.

Opisana przystawka wraz z dalmierzem elektrooptycznym może mieć wykorzystanie w pracach pomiarowych wielkogabarytowych maszyn i urządzeń przemysłowych.

Dla pomiaru niewielkich odległości pomiędzy elementami konstrukcyjnymi opracowana została przystawka laserowa współpracująca z przyziarnem sztywnym umieszczonym w wysięgniku teleskopowym (rys. 5.117 i 5.118).



Rys. 5.117. Laserowa przystawka z przyziarnem sztywnym w wysięgniku teleskopowym
Fig. 5.117. Laser indicating adapter with rigid role in telescopic jib



Rys. 5.118. Kontrola równoległości elementów konstrukcyjnych z zastosowaniem laserowej przystawki z przymiarem sztywnym

Fig. 5.118. Inspection of parallelism of construction elements with laser indicating plane adapter

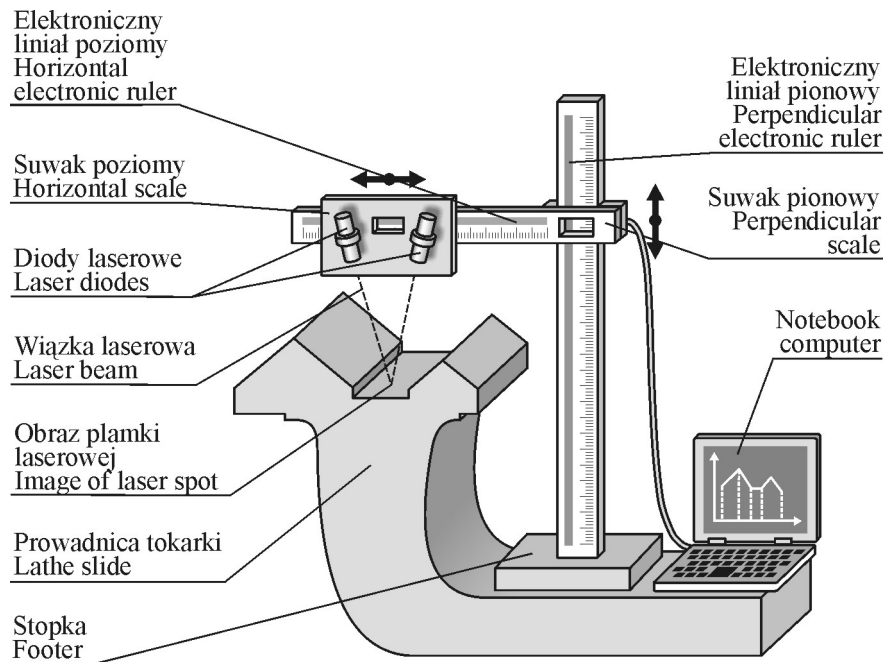
W tym wariancie mierzone odległości mają stosunkowo niewielki zasięg (maksymalnie około 2 m), wymuszony długością przymiaru osadzonego w wysięgniku teleskopowym. Oprócz typowych liniałów kreskowych z podziałką milimetrową (dokładność pomiaru od 0,1 do 0,02 mm) mogą być zastosowane liniały elektroniczne o dokładności pomiaru około 0,01 mm. Ponieważ dokładność pomiarowa przystawki z przymiarem jest funkcją złożoną obu dokładności, stąd też z błędu funkcji – dokładność jakiej można się spodziewać, wyniesie około 0,2 mm. Przystawka z przymiarem może służyć w pracach montażowych elementów konstrukcyjnych usytuowanych w niewielkich odległościach względem siebie.

Zastosowanie miniaturowego wcięcia w przód za pomocą wiązek laserowych pozwala tworzyć wiele innych konstrukcji przyrządów i sprawdzianów pomiarowych mogących wspomóc procedury pomiarowe stosowane w badaniach współczesnych obiektów inżynierskich.

5.2.2.5. Profilograf laserowy

W trakcie eksploatacji obiektów inżynierskich następuje stopniowe zużywanie się podzespołów i elementów konstrukcyjnych obiektów. W budownictwie maszynowym do określania kształtu niedużych elementów w płaszczyźnie pionowej stosowane są mikroniwelatory, liniały z czujnikami oraz profilometry i profilografy pojemnościowe (Gocał, 1993).

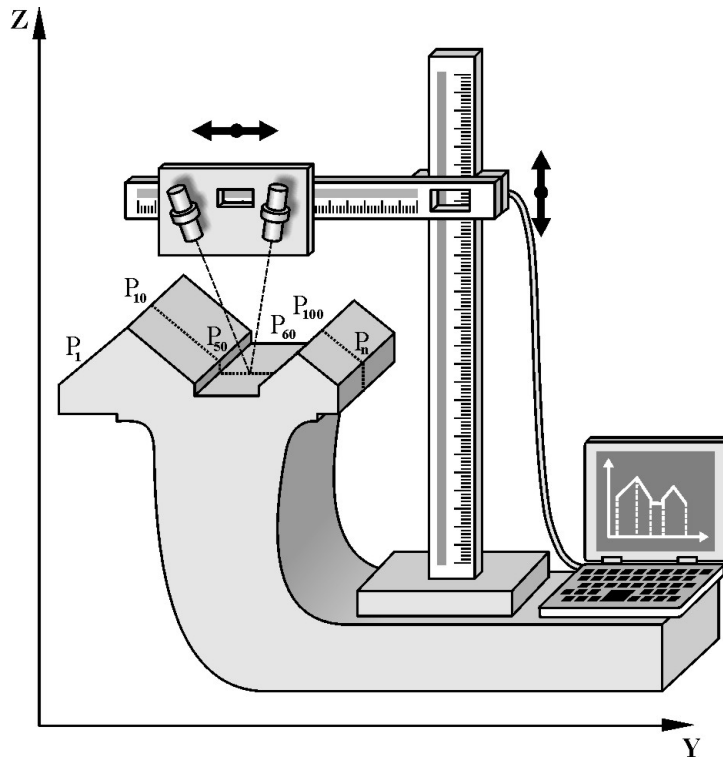
Dla oceny ich stanu geometrycznego przydatny może być opracowany przez autora profilograf laserowy przedstawiony na rysunku 5.119, bazujący w swej konstrukcji na Laserowej Stopce Sygnalizacyjnej.



Rys. 5.119. Profilograf laserowy (projekt)
Fig. 5.119. Laser section-graph (project)

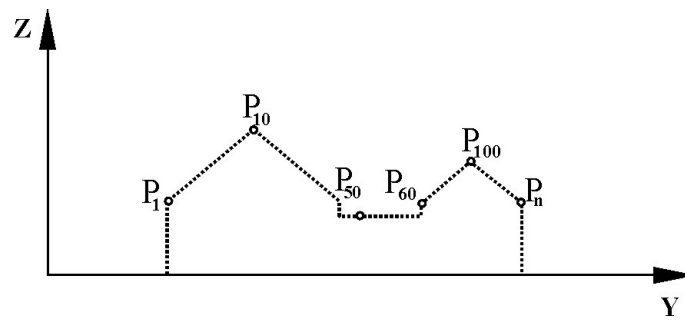
Profilograf laserowy stanowi układ dwóch liniałów elektronicznych połączonych suwliwie względem siebie pod kątem prostym, tak aby tworzyły kartezjański układ współrzędnych prostokątnych. Pionowy liniał przyporządkowany jest do osi OZ, a poziomy liniał do osi OY. Pomiary wykonuje się poprzez pionowe i poziome przesunięcia układu diod realizujących ustalone jak w przypadku Laserowej Stopki Sygnalizacyjnej stałe przestrzenne wcięcie kątowe. Obserwowane na mierzonym elemencie jednoznaczne pokrycie się plamek laserowych jest odczytywane za pomocą liniałów elektronicznych i rejestrowane w przenośnym komputerze typu notebook. Uzyskany tym sposobem profil służy do oceny stanu technicznego, na przykład prowadnic tokarek, frezarek, strugarek i innych maszyn przemysłowych.

Na rysunku 5.120 przedstawiono przykładowy pomiar profilu prowadnicy tokarki ciężkiej.



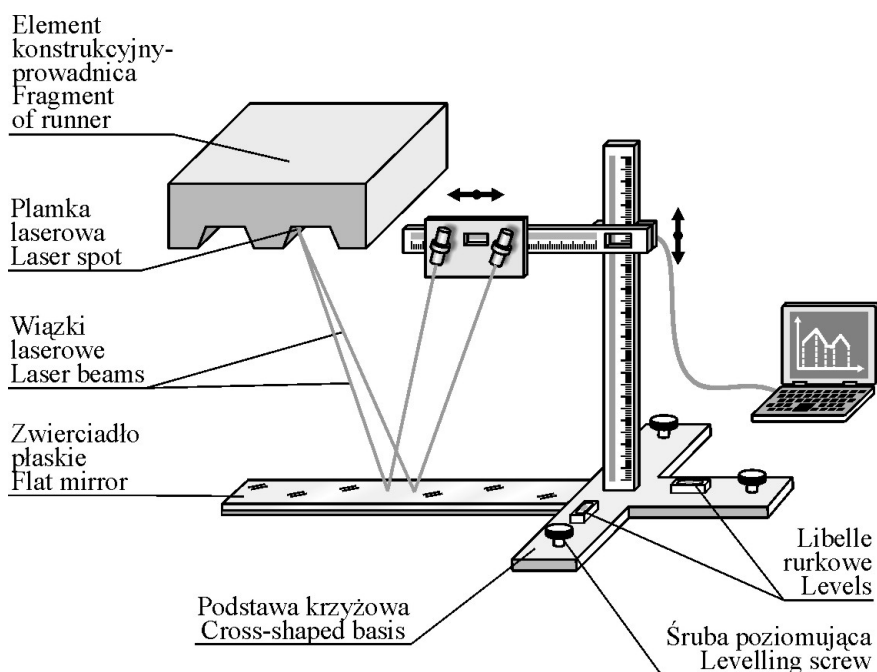
Rys. 5.120. Profilograf podczas pomiaru profilu elementu konstrukcyjnego (prowadnica tokarki)
 Fig. 5.120. Section-graph during measuring section of construction element (turning lathe slide)

Profile elementu konstrukcyjnego przedstawione w formie analitycznej w tabeli i graficznej, jak na rysunku 5.121, stanowią podstawę do oceny technicznego zużycia prowadnic.



Rys. 5.121. Wykres profilu poprzecznego prowadnicy tokarki w rzucie pionowym
 Fig. 5.121. Diagram of cross-section turning lathe slide in vertical view

W przypadku konieczności pomiaru profilu elementu o utrudnionej dostępności (np. prowadnica wewnętrzna) do obserwacji można wykorzystać zmodyfikowany profilograf laserowy zaopatrzony w zwierciadło płaskie, jak na rysunku 5.122.



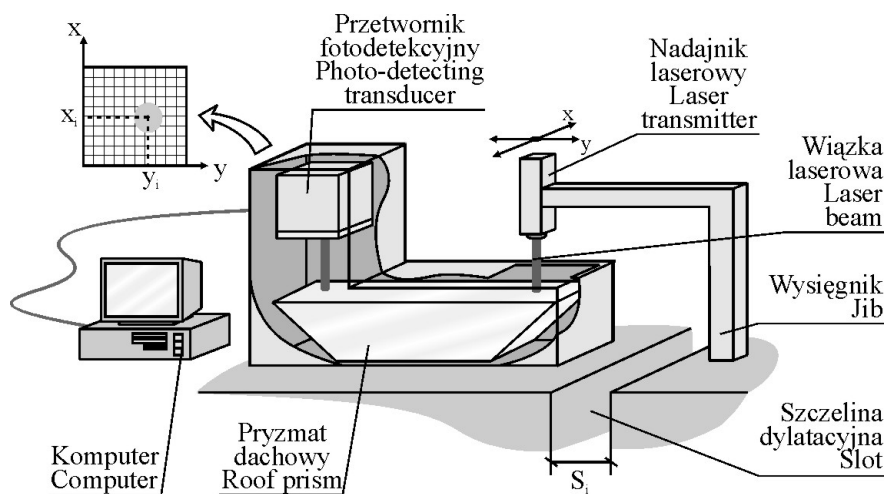
Rys. 5.122. Zmodyfikowany profilograf laserowy zaopatrzony w zwierciadło płaskie
Fig. 5.122. Modified laser section-graph equipped with flat mirror

W czasie wykonywania obserwacji zmodyfikowanym profilografem laserowym wiązka laserowa poprzez odbicie w płaskim zwierciadle usytuowanym na podstawie krzyżowej w dolnej części konstrukcji kierowana jest do mierzonego punktu. Naprowadzenie wiązki na dany punkt pomiarowy oraz odczyty położenia suwaków poziomego i pionowego odbywają się analogicznie jak w profilografie laserowym.

Zasięg pomiarowy profilografu laserowego uzależniony jest od długości zastosowanych liniałów elektronicznych (w standardowym wykonaniu do 1 m). Dokładność pomiarowa profilografu uzależniona jest od dokładności użytych liniałów i w wersji standardowej wynosi około 0,01 mm. Stąd też błąd pomiaru profilografem jest wielkością funkcjonalną złożoną z błędów pomiaru liniałami oraz błędów uzyskania pojedynczej plamki z układu laserowego około $\pm 0,2$ mm (rozdział 5.2.2.3, laserowa stopka sygnalizacyjna). Profilograf podczas pomiarów powinien zajmować w przestrzeni położenie stabilne przy wyłączonych urządzeniach powodujących wibracje.

5.2.2.6. Szczelinomierz laserowy

Obiekty inżynierskie budowane są z elementów, pomiędzy którymi występują technologiczne szczeliny dylatacyjne. Wartości liczbowe odchyłek i przemieszczeń szczelin pozyskiwane są geodezyjnymi metodami klasycznymi, a także specjalnymi urządzeniami pomiarowymi i sprawdzianami. Można tu wyróżnić m.in. szczelinomierze mechaniczne stałe i przenośne o zakresie pomiarowym do 20 mm i dokładności pomiaru $\pm 0,01$ mm (Janusz i wsp., 1973), szczelinomierze indukcyjno-transformatorowe o zakresie pomiarowym do kilkudziesięciu milimetrów i błędzie pomiaru około 0,5% maksymalnego zakresu pracy, przy dokładności do 0,02 mm, szczelinomierze strunowe o zakresie pracy do 50 mm i dokładności pomiaru ok. 0,02 mm dla przemieszczeń o wartości 5 mm (Bryś, Przewłocki, 1998; Pelzer, 1988). Technika laserowa oraz obrazowa z zastosowaniem przetworników CCD umożliwiła opracowanie przez autora szczelinomierza laserowego przedstawionego na rysunku 5.123.



Rys. 5.123. Budowa i zasada działania szczelinomierza laserowego (projekt)
Fig. 5.123. Structure and principle of laser feeler gauge

W przypadku konieczności prowadzenia pomiarów monitorujących wzajemne przemieszczanie się elementów budowli inżynierskiej (np. segmentów zapory wodnej) w miejscu połączenia, nad szczeliną dylatacyjną, umieszcza się szczelinomierz laserowy. Na jednym elemencie budowli osadza się wysięgnik z nadajnikiem laserowym, a na drugim zespół fotodetekcyjny połączony przewodem transmisyjnym z komputerem. W czasie permanentnych obserwacji – zmiany rozwartości szczeliny dylatacyjnej związane z przemieszczaniem się elementów obiektu jako zmiany położenia wiązki laserowej są odczytywane na matrycy CCD w układzie współrzędnych prostokątnych XY. Występujące różnice szerokości szczeliny dylatacyjnej wynoszą:

$$\Delta S = S'_1 - S_1 \quad (5.18)$$

gdzie:

S'_i – szerokość szczeliny dylatacyjnej pomierzona w chwili t_0 ,

S_i – szerokość szczeliny dylatacyjnej pomierzona w chwili t_i .

Dla sprawdzenia założeń projektowych szczelinomierza wykonano cykl pomiarów testujących na zbudowanym modelu szczelinomierza. Zmiany szerokości szczeliny symulowano poprzez przesuw przetwornika CCD umocowanego na stoliku mikrometrycznym względem nieruchomego nadajnika laserowego. W doświadczeniach przyjęto następujące szerokości szczelin: 1 mm, 5 mm i 10 mm. Obserwacje wykonano dziesięciokrotnie dla każdego rodzaju szczeliny. Wyniki przedstawiono w tabeli 5.26.

Tabela 5.26

Table 5.26

Zestawienie wyników pomiarów szerokości szczeliny
Table of measurement's results of slope width crack

Symulowana wielkość szerokości szczeliny Simulated value of crack width [mm]	Wartości skrajne zaobserwowanej szerokości szczeliny Extreme values of crack width [mm]	Wartość średnia zaobserwowanej szerokości szczeliny Average values of crack width [mm]	Błąd pojedynczego spostrzeżenia Single observation error [mm]
1,00	0,994 – 0,998	0,996	0,003
5,00	5,019 – 5,042	5,032	0,023
10,00	10,005 – 10,036	10,020	0,016

Na obiektach wykazujących zwiększoną wilgotność, zapylenie itp. szczelinomierz w wersji prototypowej powinien być osłonięty.

5.2.2.7. Zintegrowany system laserowy

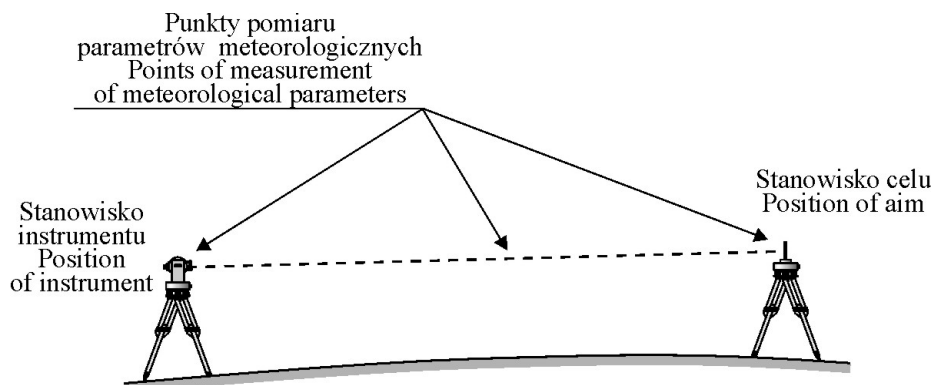
Rezultaty pomiarów geodezyjnych obarczone są wpływem niedokładności „wewnętrznej” instrumentu pomiarowego oraz trudnego do uchwycenia wpływu niejednorodnego ośrodka pomiarowego wzdłuż linii celowej, to jest niepewności „zewnętrznej” pomiarów optycznych.

Stan środowiska pomiarowego kształtowany jest przez wiele meteoparametrów, z których największe oddziaływanie ma temperatura powietrza atmosferycznego oraz jej gradient. W bogatej literaturze przedmiotu oraz w instrukcjach firmowych znajdujemy gotowe formuły oraz diagramy, pozwalające na obliczenie odpowiednich korekt do wyników obserwacji niwelacyjnych, odległościowych lub kątowych (Bahnert, 1982; Bryś, 1996; Holejko, 1987; Gocał, 1993; Kwiecień, 1984).

Opracowane zostały również sposoby eliminacji lub częściowego ograniczenia negatywnego wpływu czynników zewnętrznych na ostateczne rezultaty pomiarów geodezyjnych z celowaniem optycznym, jednakże całkowite wyeliminowanie wpływu temperatury powietrza na propagację fali elektromagnetycznej oraz na deformację refrakcyjną celowej jest w praktyce bardzo trudne. Dla zmniejszenia wspomnianych niedogodności budowane są współcześnie instrumenty pomiarowe, jak np. dalmierze

elektrooptyczne dwufalowe (Terramet LDM2, Georan), w których jako nośniki sygnałów pomiarowych zastosowano dwie odrębne wiązki świetlne o różnych długościach fal. W dalmierzach tych realizowana jest dyspersyjna metoda wyznaczania średniego współczynnika załamania oraz jego automatyczne uwzględnianie w wynikach pomiaru odległości (Płatek, 1995; Holejko, 1987).

Zmienność temperatury powietrza wzdłuż celowej odgrywa zasadniczą rolę w kształtowaniu się gęstości optycznej atmosfery i powoduje powstawanie zmiennego współczynnika załamania powietrza. Dla potrzeb określenia współczynnika załamania powietrza wykonuje się najczęściej punktowe pomiary temperatury, ciśnienia i wilgotności powietrza, a także gradientu temperatury (rys. 5.124).



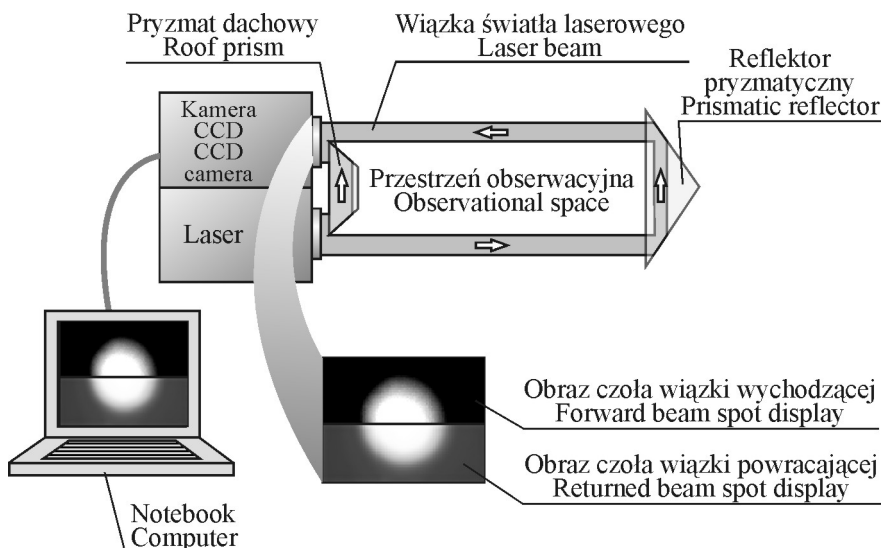
Rys. 5.124. Miejsca pomiaru parametrów meteorologicznych (T, p, e)
Fig. 5.124. Measuring places of meteorological parameters (T, p, e)

Pomiary te wykonuje się z zastosowaniem termometrów cieczowych, elektronicznych oraz mierników gradientu temperatury w odniesieniu do temperatury, psychrometrów Assmanna i specjalnych czujników elektronicznych – dla określenia wilgotności, oraz precyzyjnego aneroidu – dla wyznaczenia ciśnienia atmosferycznego. Zmienność parametrów meteorologicznych wzdłuż celowej może być znaczna, dlatego nawet zastosowanie reprezentatywnych wyznaczeń wielopunktowych z podziałem mierzonego odcinka na części odpowiadające jednorodnemu pokryciu terenu lub wysokości celowej nad terenem nie zapewnia wprowadzenia wystarczająco precyzyjnych korekt meteoroparametrów (Dąbrowska, Dąbrowski, 1991).

Ilość informacji przenoszonych światłem w przyrodzie uzależniona jest od ośrodka propagacji. Na propagację światła z zakresu widzialnego, ze wspomnianych parametrów meteorologicznych, największy wpływ ma temperatura. Jest ona również głównym czynnikiem determinującym gęstość powietrza atmosferycznego, a tym samym wartości współczynnika załamania – n .

System do zdalnego pomiaru średniej temperatury wzdłuż celowej instrumentów geodezyjnych

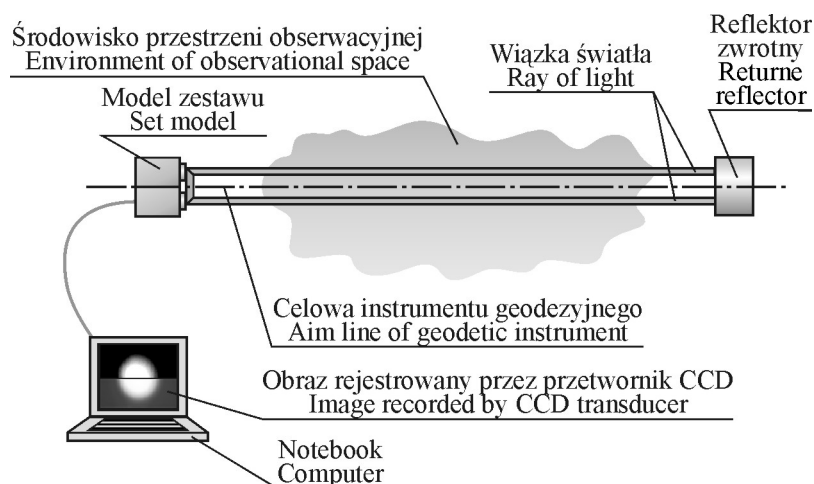
W prezentowanym projekcie systemu (rys. 5.125) zakłada się, że wiązka światła, np. laserowego, propagowana w przestrzeni ulega wpływom środowiska niosąc ze sobą między innymi informację o temperaturze panującej w ośrodku przestrzeni obserwacyjnej (Ćmielewski, Kowalski, 2001; Ćmielewski, 2002g).



Rys. 5.125. Systemu zdalnego pomiaru średniej temperatury w przestrzeni obserwacyjnej (projekt)
 Fig. 5.125. System of remote measurement of average temperature in observation space (project)

Dane zawarte w strukturze wiązki światła odczytuje się poprzez rejestrację i przetwarzanie stopnia szarości obrazu za pomocą przetwornika CCD. Ocenę szarości otrzymuje się poprzez analizę macierzy pikseli obrazu rejestrowanego w 8-bitowej skali szarości (piksele przyjmują wartości od 0 – kolor czarny do 255 – biały). W celu wyeliminowania wpływu błędów powstałych na skutek fluktuacji źródła światła dokonuje się rejestracji i uśrednienia obrazów czoł wiązki wychodzących ze źródła i powracających z przestrzeni. Z tak otrzymanych wartości wyznacza się średni różnicowy stopień szarości obrazu czoła wiązki światła laserowego, pozwalających obliczyć średnią temperaturę panującą na drodze wiązki światła. W tym celu wykorzystuje się funkcję (5.19) opisującą zależność średniej temperatury (T) od średniego różnicowego stopnia szarości obrazu (S_o):

$$T = F(S_o) \quad (5.19)$$

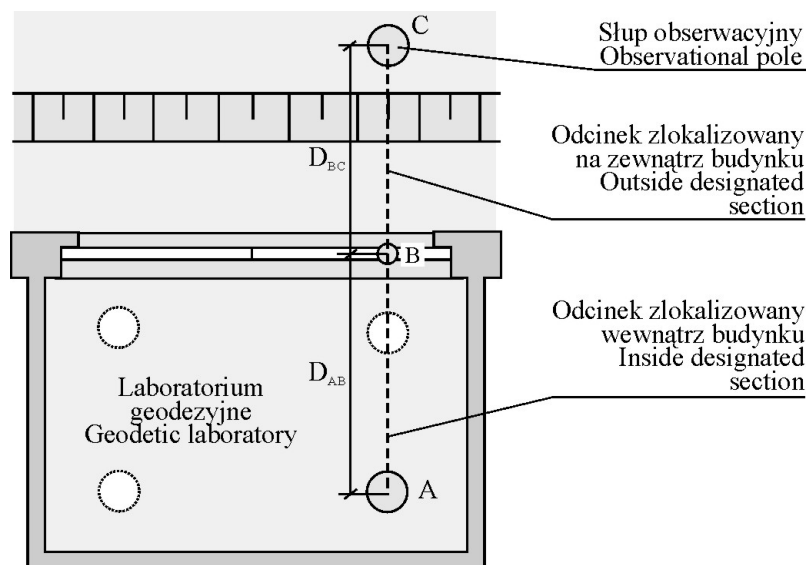


Rys. 5.126. Schemat zastosowania systemu na badanym obiekcie
 Fig. 5.126. Application scheme of system on researched object

Podczas pomiaru wiązka laserowa kierowana jest wzdłuż celowej instrumentu geodezyjnego (rys. 5.126). Ulega odbiciu od reflektora pryzmatycznego ustawionego na punkcie celu, po czym powraca do przyrządu pomiarowego będącego częścią systemu. Obraz czoł wiązek światła powracającego z przestrzeni pomiarowej oraz bezpośrednio ze źródła, po rejestracji, przesyłany jest do przenośnego komputera, w którym dane są gromadzone oraz przetwarzane. Wynikiem analizy obrazów jest średnia wartość temperatury na drodze promienia pomiarowego, czyli celowej instrumentu. Otrzymaną w ten sposób wartość temperatury wykorzystuje się do określenia stanu atmosfery, a następnie wyznaczenia poprawek do wyników obserwacji.

Opis testu modelu systemu zdalnego pomiaru średniej temperatury

Badanie modelu systemu przeprowadzono na specjalnie przygotowanej bazie temperaturowej, meteorologicznej przedstawionej na rysunku 5.127. Baza składa się z dwóch części, jedna jest w laboratorium geodezyjnym Katedry Geodezji i Fotogrametrii Akademii Rolniczej we Wrocławiu, druga zlokalizowana jest na zewnątrz budynku. Celem badań było zweryfikowanie założeń przedstawionej koncepcji oraz przetestowanie modelu systemu. Badania przeprowadzono na trzech odcinkach pomiarowych zróżnicowanych pod względem warunków temperaturowych. Na odcinku A–B ($D_{AB} = 5,5$ m) wewnątrz laboratorium temperatura wynosiła około 22°C , na zewnątrz (odcinek B–C, $D_{BC} = 7$ m) około 4°C . Temperaturę na odcinku A–C przyjęto jako średnią wartość z jednoczesnych pomiarów wykonywanych na odcinku A–B i B–C. Pozostałe parametry meteorologiczne atmosfery wynosiły w czasie doświadczenia: ciśnienie – 1003 hPa, wilgotność – od 28% (wilgotność względna) wewnątrz laboratorium do 36% na zewnątrz. Pomiarów wszystkich parametrów dokonano za pomocą zestawu elektronicznych czujników temperatury Logger model SF12. Zapewniły one możliwość pomiaru temperatury z dokładnością $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ oraz rozdzielczością $0,1^{\circ}\text{C}$.



Rys. 5.127. Szkic usytuowania bazy temperaturowej
Fig. 5.127. Situating sketch of temperature base

Na trzech wyróżnionych odcinkach w 12-minutowych odstępach pomierzono jednocześnie temperaturę oraz przyporządkowaną jej średnią różnicową szarość obrazu z częstotliwością 3 sekund, rejestrując po 240 obserwacje. W tabeli 5.27 przedstawiono uśrednione obserwacje, a na rysunku 5.128 naniesiono na wykres uśrednione wartości średniego różnicowego stopnia szarości obrazu (S_o) oraz temperatury z poszczególnych odcinków bazy. W powstałe punkty wpasowano prostą regresji.

Tabela 5.27
Table 5.27

Zestawienie uśrednionych (co minutę) wyników pomiarów na bazie temperaturowej dla 12 minut obserwacji (co 3 sekundy)

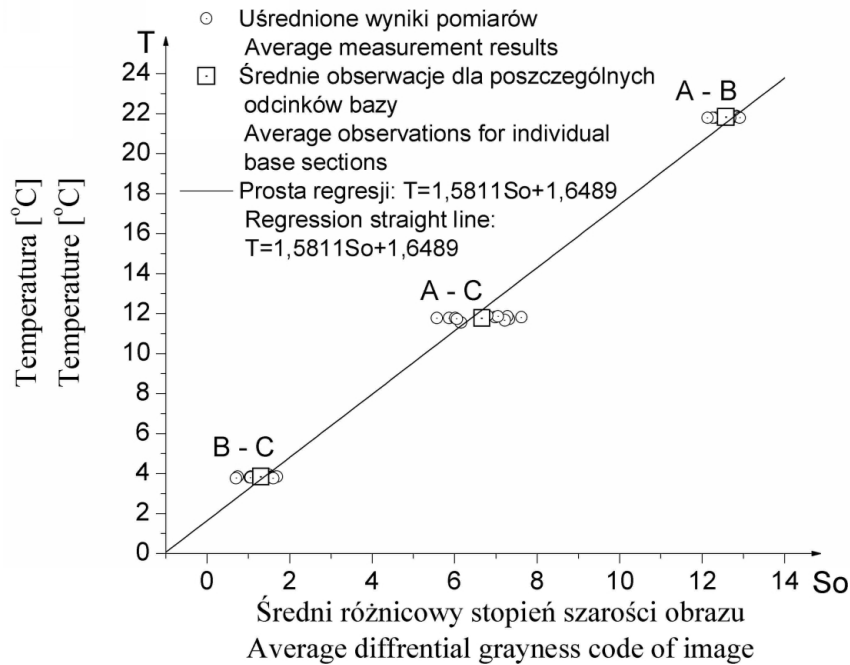
Table of averaged (every minute) measurement results at temperature base for 12 minutes observation (at intervals of 3 seconds)

Lp.	Odcinki bazy temperaturowej Sections of temperature base					
	A – B		A – C		B – C	
	T [°C]	ΔS_o	T [°C]	ΔS_o	T [°C]	ΔS_o
1	21,85	12,76	11,72	7,33	3,95	1,51
2	21,87	12,69	11,84	7,28	3,84	1,06
3	21,88	12,83	11,83	6,98	3,86	0,75
4	21,87	12,84	11,80	7,62	3,86	1,56
5	21,82	12,85	11,57	6,15	3,83	1,67
6	21,80	12,92	11,67	7,21	3,80	1,03

Tabela 5.27 cd.
Table 5.27 cont.

Lp.	Odcinki bazy temperaturowej Sections of temperature base					
	A - B		A - C		B - C	
	T [°C]	ΔSo	T [°C]	ΔSo	T [°C]	ΔSo
7	21,80	12,69	11,77	5,87	3,85	1,40
8	21,78	12,39	11,78	6,01	3,84	1,69
9	21,80	12,26	11,73	6,05	3,78	0,71
10	21,80	12,32	11,76	5,57	3,79	1,05
11	21,78	12,26	11,86	7,06	3,79	1,52
12	21,79	12,13	11,90	6,79	3,76	1,60
Średnia: Mean:	21,82	12,58	11,77	6,66	3,83	1,30

T – wartość mierzonej temperatury; value of measured temperature,
ΔSo – wartość średniego różnicowego stopnia szarości obrazu; average differential value of gray codes



Rys. 5.128. Wykres obserwowanych zależności temperatury (T) względem różnicy średnich szarości obrazów (ΔSo), na poszczególnych odcinkach bazy temperaturowej
Fig. 5.128. Diagram of observed dependence of temperature (T) in respect to difference of average image grayness (ΔSo), on individual periods of temperature base

Zależność średniej temperatury ośrodka pomiarowego wzdłuż wiązki pomiarowej od średniego różnicowego stopnia szarości obrazu wiązki (dla danych z tab. 5.27) opisuje liniowy związek:

$$T = 1,5811 \cdot \Delta S_o + 1,6489 \quad (5.20)$$

gdzie:

T – temperatura,

ΔS_o – średni różnicowy stopień szarości obrazu.

Wartość współczynnika korelacji $R = 0,9946$ świadczy o bardzo silnym związku pomiędzy temperaturą środowiska optycznego na drodze wiązki laserowej a średnim różnicowym stopniem szarości obrazu czoła wiązki. W prezentowanych badaniach niepewność pomiarowa temperatury kształtowała się na poziomie $\sigma_T = 0,77$ °C.

5.2.2.8. Charakterystyka systemów i przyrządów do pomiaru różnic wysokości, pochyleń oraz odchyłeń od prostej odniesienia

Charakterystykę przedstawiono w tabeli 5.28.

Tabela 5.28
Table 5.28

Zbioreza charakterystyka proponowanych rozwiązań technicznych
Collective profile of presented technical solutions

Rodzaj Type	Główne elementy Main elements	Dokładność pomiaru Measuring accuracy	Zasięg pomiaru Measuring range	Zastosowania Applications	Ograniczenia Limitations
Zestaw aliniome- tru laserowego do obserwacji wielopunktowych	Moduł diody laserowej i przetwornik CCD	Przesunięcia pionowe 0,03 mm, przesunięcia poziome 0,06 mm	Kilkadziesiąt metrów	Telemetryczne, automatyczne, wielopunktowe pomiary alimimetryczne, pomiary przemieszczeń poziomych i przemieszczeń pionowych	Oslabienie widoczności wiązki laserowej w świetle dziennym, liczba odbiorników do kilku- dziesiąt, drgania, zakres pomiaru kilkadziesiąt milime- trów
Zestaw pionu laserowego z układem fotode- tekcyjnym	Moduł diody laserowej i przetwornik CCD	Na modelu dla długości 0,4 m: poziome prze- mieszczenia 0,02 mm, nachy- lenia 0,04 mm	Kilkadziesiąt metrów	Telemetryczne automatyczne wielopunktowe pomiary poziomych przemieszczeń względnych, deformacje ścian obiektów wysokich	Oslabienie wiązki laserowej w świetle dziennym, drgania, zakres pomiaru kilkadziesiąt milimetrów
Laserowa stopka sygnalizacyjna	Zespół modułów diod laserowych	0,2 mm	Okolo 1 m	Pomiary różnic wysokości w warunkach ograniczonej dostępności do punktów kontrolowanych, pomiary realizacyjne, pomiary kontrol- ne równoległości linii, płasz- czyzn, pomiary bezstykowe	Oslabienie widoczności wiązki laserowej w świetle dziennym, zmmniejszenie dokładności pomiaru na punktach o nierównej powierzchni, drgania, zapylenia

Tabela 5.28 cd.
Table 5.28 cont.

Rodzaj Type	Główne elementy Main elements	Dokładność pomiaru Measuring accuracy	Zasięg pomiaru Measuring range	Zastosowania Applications	Ograniczenia Limitations
Przystawki laserowe do pomiaru odległości	Zespół modułów diod laserowych	0,2 mm dla oka nieuzbrojonego, 0,06 mm dla oka uzbrojonego	Okolo 1 m	Pomiary odległości do punktów bezpośrednio niedostępnych (np. zlokalizowanych na wirujących elementach konstrukcyjnych), pomiary realizacyjne związane z tyczeniem, pomiary kontrolne, równoległości linii, płaszczyczyn, pomiary bezstykowe	Drgania, zapylenia, zmniejszenie dokładności pomiaru na punktach o nierównej powierzchni, osłabienie widoczności wiązki laserowej w świetle dziennym
Profilograf laserowy	Zespół modułów diod laserowych	0,2 mm	Okolo 1 m	Pomiary nierówności powierzchni elementów konstrukcyjnych dla oceny stanu technicznego w miejscach trudnodostępnych, pomiary bezstykowe	Drgania, zapylenia, zmniejszenie dokładności pomiaru na punktach o nierównej powierzchni, osłabienie widoczności wiązki laserowej w świetle dziennym
Szczelinomierz laserowy	Moduł diody laserowej i przetwornik CCD	Na modelu dla szczeliny o szerokości 10 mm, 0,016 mm	Kilkadziesiąt milimetrów	Pomiary względne odległości, wyznaczania zmian szerokości szczelin na obiektach technicznych z dylatacjami oraz z zarysowaniami i pęknięciami	Stosowanie osłon w warunkach dużej wilgotności i zapylenia
Zintegrowany system laserowy	Moduł diody laserowej i przetwornik CCD	0,77 °C	Kilkadziesiąt metrów	Pomiary odległości dalmierzami elektrooptycznymi, określenie średniej temperatury na celowej pomiarowej	Oslabienie widoczności wiązki laserowej w świetle dziennym, zapylenie, zamglenie, drgania obiektu

5.3. Przyrządy i systemy mechaniczne

5.3.1. Sygnalizatory celu

W pomiarach maszyn i urządzeń korzystnie jest wspomóc (lub zastąpić) systemy światłowodowe i laserowe rozwiązaniami będącymi konstrukcjami mechanicznymi.

Z kilku autorskich opracowań sygnalizatorów mechanicznych wszystkie niżej wymienione zbudowane są na zasadzie stykowego przyłożenia do mierzonego elementu. W pomiarach kątowych zastosowanie mają:

- sygnalizatory ramowe,
- sygnalizatory prętowe,

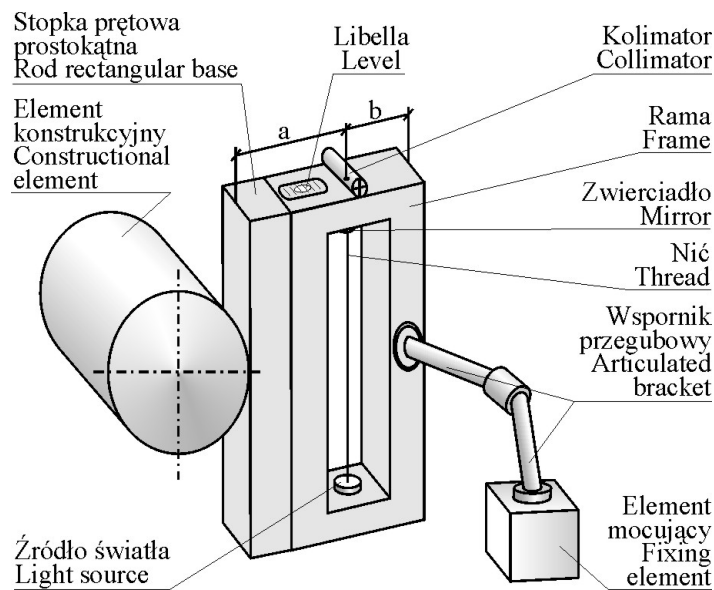
a dla pomiarów odległościowych

- przymiary zwierciadlane.

Ich zastosowanie eliminuje wiele błędów instrumentalnych przyrządu lub urządzenia celowniczego, wpływających na niejednoznaczność położenia sygnalizowanego punktu bądź elementu pomiarowego.

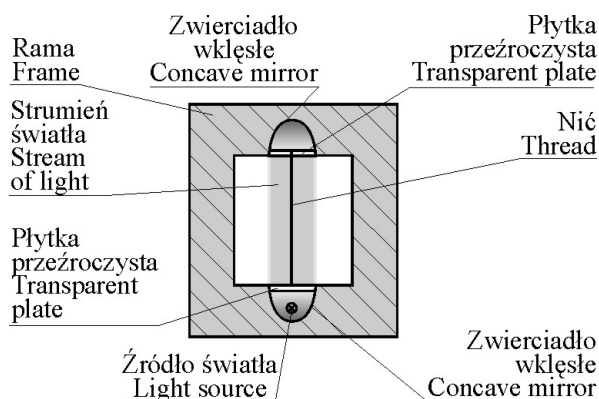
5.3.1.1. Sygnalizator ramowy

Stosowane w praktyce geodezyjnej sygnały i tarcze celownicze charakteryzują ograniczony horyzont obserwacyjny oraz brak możliwości stykowego liniowego sygnalizowania mierzonych elementów konstrukcyjnych. Te niedogodności eliminuje opracowany przez autora sygnalizator ramowy z ekscentrem celu (nici) przedstawiony na rysunku 5.129.



Rys. 5.129. Sygnalizator ramowy prostokątny (projekt)
Fig. 5.129. Rectangular frame indicator (project)

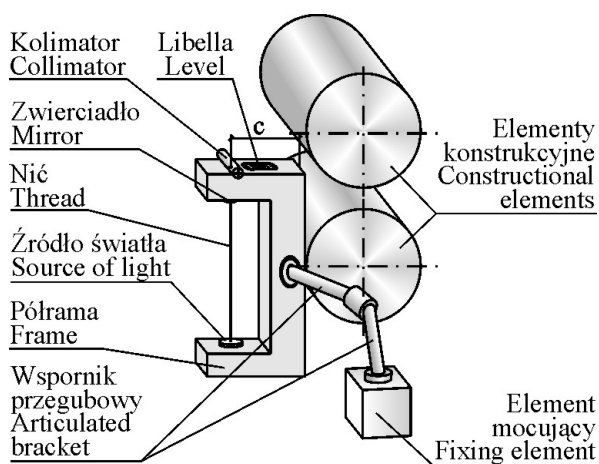
Przy ograniczonej kubaturze przestrzeni pomiarowej w otoczeniu punktu lub krawędzi pomiarowej do mierzonego elementu sygnalizator ramowy przystawiany jest wybraną stopką, np. prętową o przekroju: prostokątnym, trójkątnym lub półkolistym. Następnie sygnalizator ramowy pionowany jest za pomocą libelli i blokowany za pomocą wspornika przegubowego oraz elementu mocującego. Jako cel obserwacyjny wykorzystywana jest nić podświetlana strumieniem światła jak na rysunku 5.130.



Rys. 5.130. Schemat podświetlenia celu – nici (projekt)
Fig. 5.130. Aim (threads) illuminating scheme (project)

Najlepsze, bo równomierne oświetlenie obwiedni obserwowanej nici uzyskuje się stosując zwierciadła wklęsłe, np. paraboliczne.

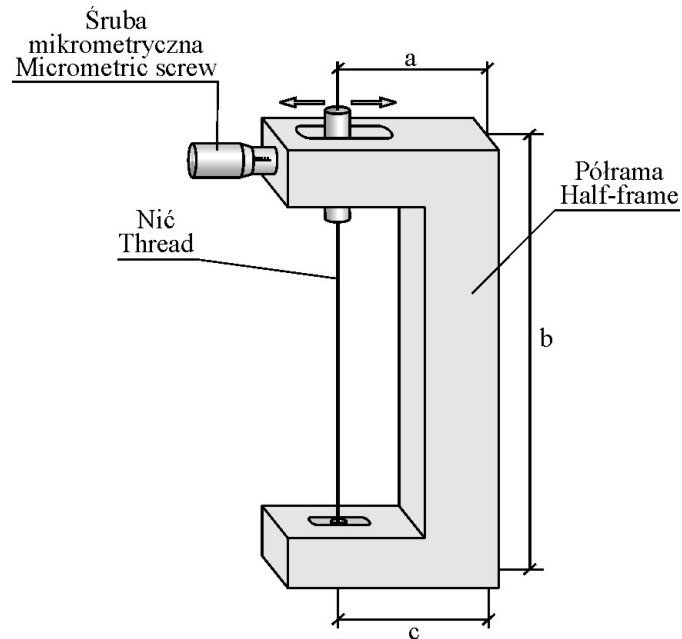
Wariantem sygnalizatora ramowego jest sygnalizator półramowy z ekscentrem celu przedstawiony na rysunku 5.131.



Rys. 5.131. Budowa sygnalizatora półramowego (projekt)
Fig. 5.131. Structure of half frame indicator (project)

Powyższe rozwiązanie w stosunku do sygnalizatora ramowego pozwala zwiększyć horyzont obserwacyjny dla celowych instrumentów kątomierzczych.

W sygnalizatorze półramowym po zastosowaniu mikrometrycznego przesuwu nici na jednym z ramion istnieje możliwość określenia kąta odchylenia elementu obiektu od pionowej płaszczyzny kolimacyjnej wyznaczonej przez instrument kątomierzczy. Taką wersję sygnalizatora półramowego przedstawiono na rysunku 5.132.



Rys. 5.132. Sygnalizator półramowy z mikrometrycznym przesuwem nici (projekt)
Fig. 5.132. Half frame indicator with micrometric pass of threads (project)

Kątowe odchylenie α od położenia pionowego wyznaczane jest ze wzoru:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a - c}{b} = \frac{\Delta}{b} \quad (5.21)$$

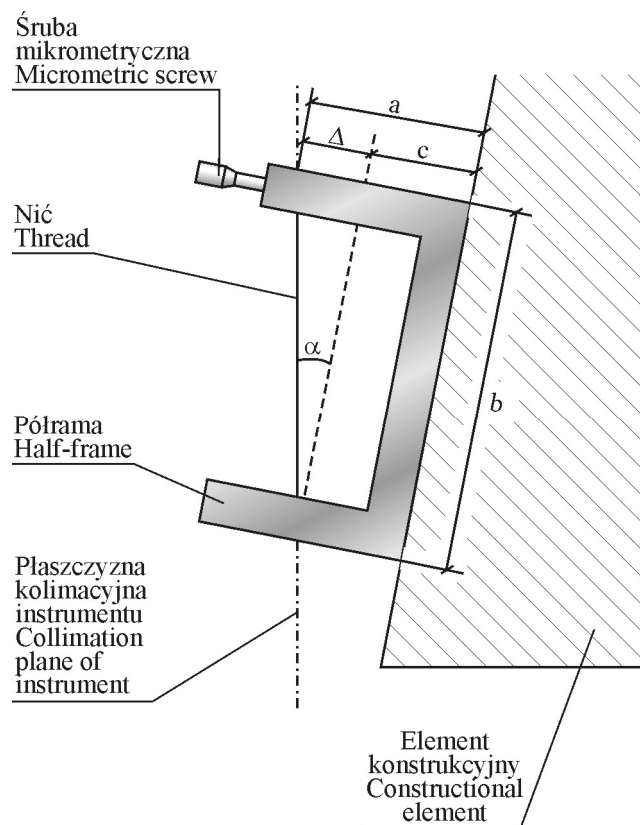
gdzie:

a – pomierzona odległość położenia nici względem położenia wyjściowego ($a = c$),

b – rozstaw zewnętrznych ramion sygnalizatora,

c – stała wartość zaczepienia nici na ramieniu.

Na rysunku 5.133 przedstawiono sygnalizator w położeniu pomiarowym na mierzo-
nym elemencie konstrukcyjnym.

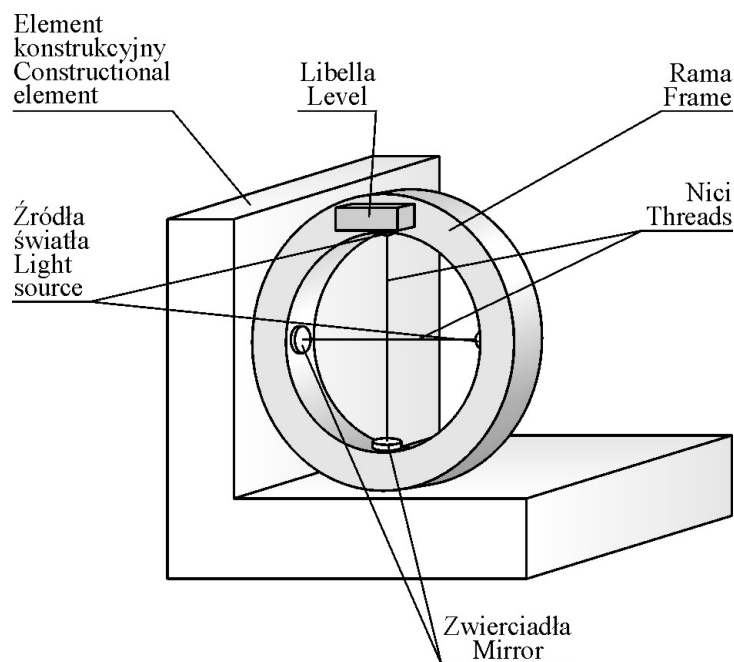


Rys. 5.133. Położenie pomiarowe sygnalizatora półramowego z mikrometrycznym przesuwem nici

Fig. 5.133. Measurement position of half frame indicator with micrometric pass of threads

W przykładzie na rysunku 5.133 nić przesuwana jest mikrometrem do momentu zgrania z pionową płaszczyzną kolimacyjną instrumentu. Zmierzona mikrometrem wartość przesunięcia nici przedstawiona na rysunku jako Δ może przyjmować wartości dodatnie i ujemne. Zasada działania i zastosowanie jest identyczne jak w przypadku pochyłomierzy i inklinometrów (Bryś, Przewłocki, 1998; Pelzer, 1988). Prezentowany przyrząd różni się od wymienionych dokładnością (większą) i wymiarami (mniejszymi).

Jeśli przedstawione sygnalizatory prostokątne okazują się nieprzydatne, wówczas można zastosować rozwiązanie sygnalizatora kołowego przedstawione na rysunku 5.134.



Rys. 5.134. Sygnalizator ramowy kołowy (projekt)
 Fig. 5.134. Circular frame indicator (project)

Wprowadzenie w kołową ramę skrzyżowanych nici pozwala na uzyskiwanie informacji o położeniu i kształcie badanego elementu konstrukcyjnego w przestrzeni dwuwymiarowej.

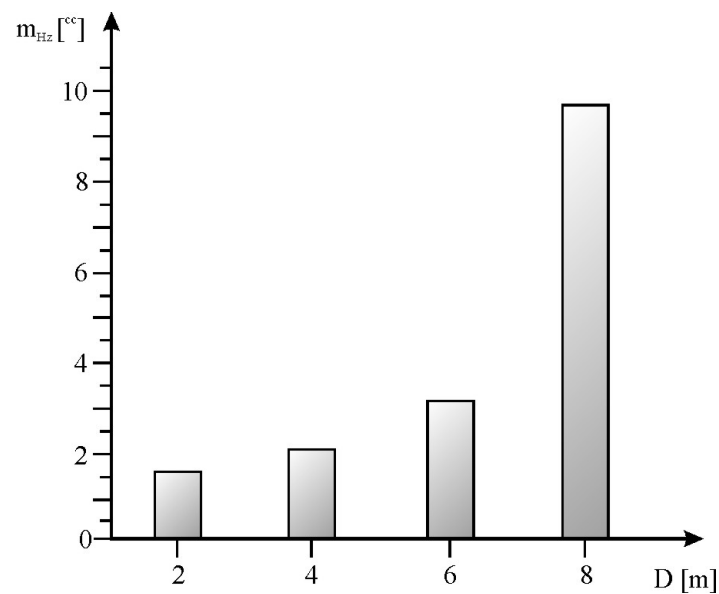
Dla sprawdzenia dokładności sygnalizatorów ramowych wykonano cykl nacełowań testowych na nić metalową. Jako instrument testujący zastosowano tachymetr elektroniczny firmy Leica TC1800 charakteryzujący się standardowym błędem pomiaru kierunku równym $1'' \approx 3^{\circ}$. Badania przeprowadzono na laboratoryjnej bazie pomiarowej Katedry Geodezji i Fotogrametrii Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Celem badań eksperymentalnych było wyznaczenie błędu średniego kierunku dla zmiennej odległości tachymetru TC1800 od pionu wyposażonego w nić metalową o średnicy 0,04 mm. Po ustawieniu na końcach odcinka testowego instrumentu TC1800 oraz pionu dokonano dziesięciokrotnych nacełowań krzyżem nitki na pion celowniczy.

Zaobserwowane wartości błędów średnich kierunków dla kolejnych wybranych odległości testowych D_1, D_2, D_3, D_4 wraz z obliczonymi średnimi błędami liniowymi zestawiono w tabeli 5.29 oraz przedstawiono graficznie na rysunku 5.135.

Tabela 5.29
Table 5.29

Błędy średnie pomiaru kierunku oraz błędy liniowe uzyskane przy nacelowaniu na pion z nicią metalową o średnicy 0,04 mm
Average direction measurement errors and linear errors received at pointing on plumb line with metal thread dia 0,04 mm

Odległość Distance [m]	D ₁ = 2,000	D ₂ = 4,000	D ₃ = 6,000	D ₄ = 8,000
Błąd średni kierunku Average direction error [°]	1,6	2,1	3,2	9,7
Błąd średni liniowy Linear average direction error [mm]	0,005	0,013	0,030	0,122



Rys. 5.135. Wykres błędów średnich wyznaczenia kierunku dla modelu pionu
Fig. 5.135. Diagram of average direction determination error for plummet model

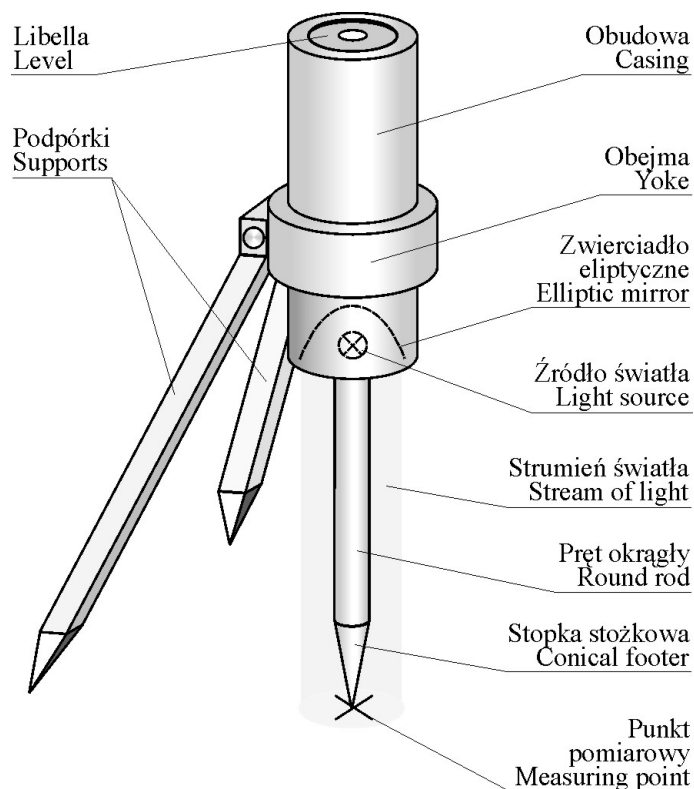
Podczas badań eksperymentalnych dla celowych powyżej 8 m zauważono znaczny spadek dokładności pomiaru kierunku wynikający z niejednoznaczności identyfikacji obrazu celu. Natomiast powyżej 10 m zaobserwowano zanik obrazu celu. Niedogodność tę można usunąć stosując dla dłuższych celowych nić o większej średnicy.

5.3.1.2. Sygnalizatory prętowe

W przypadku konieczności stosowania krótkich celowych pojedyncze punkty pomiarowe na elementach konstrukcyjnych mogą być sygnalizowane, (opracowanymi przez autora) sygnałami prętowymi mającymi kształt:

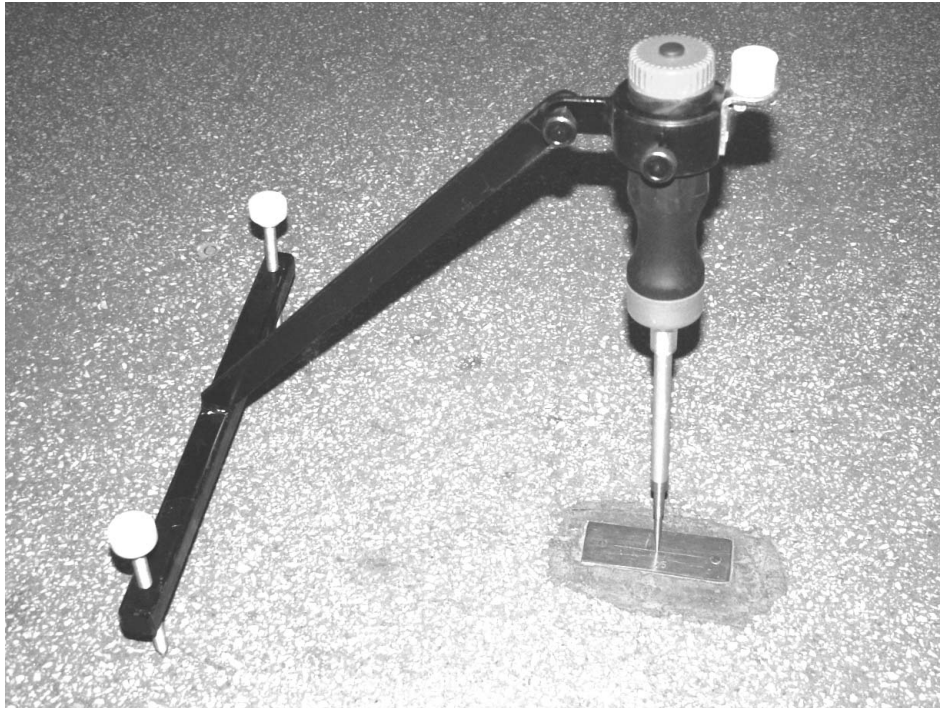
- prosty,
- palisadowy,
- kołowy.

Na rysunku 5.136 przedstawiono sygnalizator prętowy prosty w widoku położenia pomiarowego (Ćmielewski, 2001).



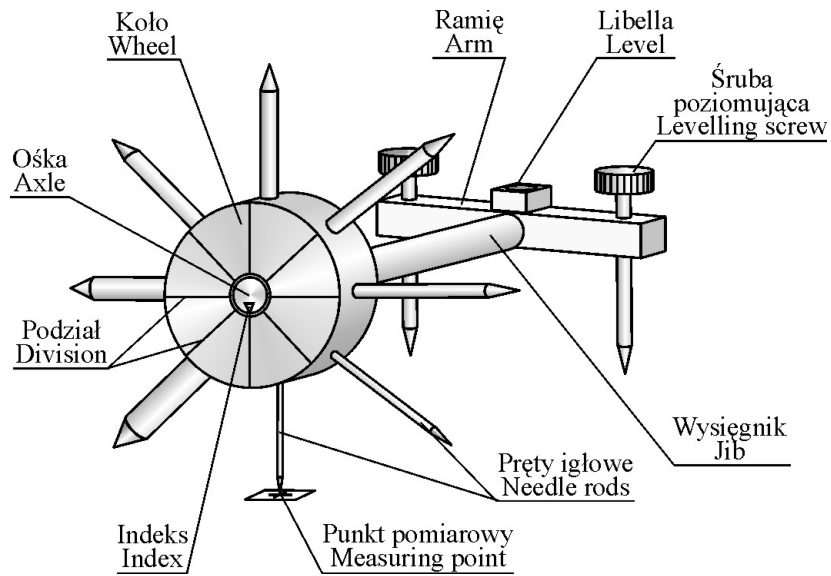
Rys. 5.136. Sygnalizator prętowy prosty (projekt)
Fig. 5.136. Straight rod indicator

Sygnalizator prętowy prosty posiada obudowę w kształcie tulei w górnej części wyposażoną w libelle. W dolnej części tulei mocowany jest pręt okrągły zakończony wymienną stopką (rys. 5.137).

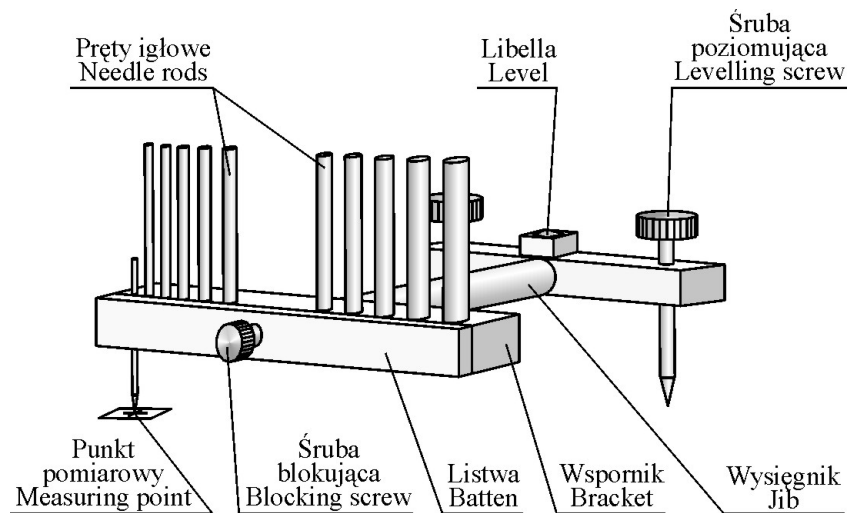


Rys. 5.137. Prototyp sygnalizatora prętowego prostego
Fig. 5.137. Prototype of straight rod indicator

Umieszczone w obudowie nad okrągłym prętem źródło światła ze zwierciadłem eliptrycznym umożliwia jednorodne oświetlenie konturu pręta i stopki w pełnym zakresie horyzontu obserwacyjnego, tj. 360°. Wymienne stożkowe, czaszowe i kuliste stopki umożliwiają jednoznaczne centrowanie sygnalizatora na znakach geodezyjnych punktów pomiarowych najczęściej spotykanych na obiektach inżynierskich. Ograniczenie błędu celowania, wynikłego z niedopasowania szerokości celu obserwowanego w polu widzenia lunety instrumentu w stosunku do grubości nitek krzyża instrumentu, można uzyskać stosując sygnalizatory prętowe: kołowe (rys. 5.138) i palisadowe (rys. 5.139), wyposażone w zbiór celów igłowych o zmiennej średnicy. W zależności od długości celowej oraz warunków oświetleniowych możliwy jest dobór najlepszej optycznej wielkości celu dla wzroku obserwatora.



Rys. 5.138. Sygnalizator prętowy kołowy w czasie sygnalizowania punktu pomiarowego (projekt)
 Fig. 5.138. Circular rod indicator while indicating the survey point (project)



Rys. 5.139. Widok sygnalizatora prętowego palisadowego w czasie sygnalizowania punktu pomiarowego (projekt)
 Fig. 5.139. View of palisade rod indicator while indicating the survey point

Sygnalizatory kołowe i palisadowe, po dostosowaniu najlepszego celu dla danej długości celowej, są ustawiane dobranym prętem igłowym na punkcie pomiarowym, a następnie poziomowane za pomocą śrub poziomujących i wskazań libelli. Po doprowadzeniu do pionowej pozycji sygnalizacyjnej pręt igłowy wyznacza kierunek obserwacji.

Dla sprawdzenia założeń konstrukcyjnych i dokładnościowych sygnalizatorów prętowych wykonano badania testowe wykorzystując w tym celu prototyp sygnalizatora prętowego prostego (rys. 5.137) oraz tachimetr elektroniczny firmy Leica TC1800. Badania przeprowadzono w laboratorium Katedry Geodezji i Fotogrametrii Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Celem badań było wyznaczenie błędu średniego kierunku z dziesięciu nacełowań dla zmiennej odległości modelu sygnalizatora prętowego prostego od stanowiska tachymetru TC1800.

Zaobserwowane wartości błędów średnich kierunków dla kolejnych wybranych odległości testowych D_1 , D_2 , D_3 , D_4 wraz z obliczonymi średnimi błędami liniowymi zestawiono w tabeli 5.30.

Tabela 5.30

Table 5.30

Zestawienie uzyskanych na bazie testowej błędów średnich kierunku oraz błędów liniowych dla sygnalizatora prętowego

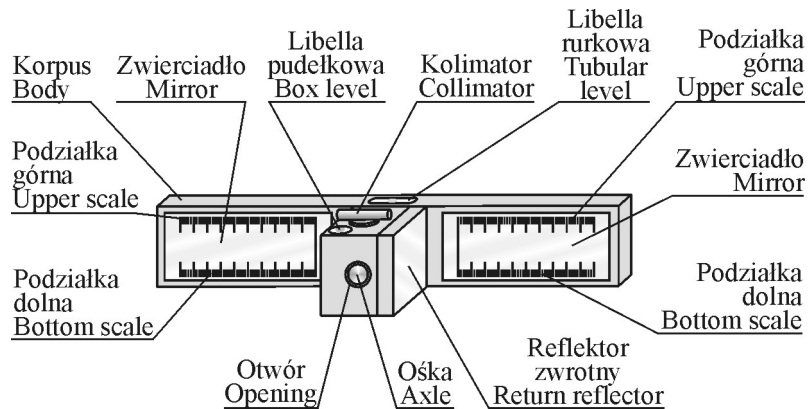
Table of average direction errors and linear errors received at test base for rod indicator

Odległość Distance [m]	$D_1 = 5,000$	$D_2 = 15,000$	$D_3 = 30,000$	$D_4 = 50,000$
Błąd średni kierunku Average direction error [$^{\circ}$]	5,9	4,5	3,3	4,1
Błąd średni liniowy Average linear error [mm]	0,046	0,106	0,156	0,322

Wszystkie pomiary wykonano przy podświetleniu stopki stożkowej. Brak takiej możliwości wykluczał uzyskanie dokładności podanych w tabeli 5.30.

5.3.1.3. Przymiar zwierciadlany z reflektorem

W przypadku pomiarów dalmierzami elektrooptycznymi punkty sygnalizowane są zwykle reflektorami zwrotnymi (pryzmatycznym oraz foliowym) (Płatek, 1991). W niektórych jednak przypadkach, gdy przestrzeń obserwacyjna jest ograniczona, a wymagania dokładnościowe wysokie, określenie odległości przy zastosowaniu firmowych reflektorów zwrotnych jest trudne, a nawet niemożliwe. Stąd też dla pomiarów niewielkich odległości do punktów lub celów sygnalizacyjnych korygujących pomiar geodezyjny opracowano przymiar zwierciadlany z reflektorem (Ćmielewski, 2003a). Na rysunku 5.140 przedstawiono konstrukcję przymiaru zwierciadlanego z reflektorem zwrotnym.

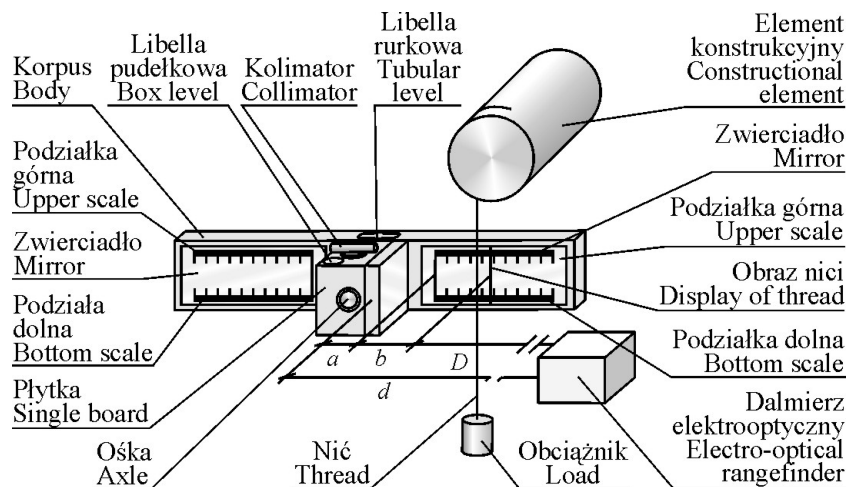


Rys. 5.140. Przymiar zwierciadlany z reflektorem zwrotnym z przodu w widoku aksonometrycznym (projekt)

Fig. 5.140. Reflective measure with returnable reflector at the front in axonometric view

Przymiar posiada wydłużony korpus wyposażony w górnej ścianie w libellę rurkową. W środkowej części przymiaru znajduje się ośka sprzęgnięta za pomocą otworu z płytką posiadającą w górnej części libellę pudełkową oraz kolimator. Przymiar na bocznej ścianie posiada reflektor zwrotny. Do korpusu, symetrycznie względem ośki, przymiar ma przymocowane dwa zwierciadła, z których każde posiada dwie identyczne podziałki: górną i dolną.

Na rysunku 5.141 przedstawiono przymiar w trakcie pomiaru odległości do elementu konstrukcyjnego (walca).



Rys. 5.141. Przymiar zwierciadlany w widoku aksonometrycznym z przodu w trakcie pomiaru

Fig. 5.141. Reflective measure in axonometric front view during measurements

W przypadku wykonywania pomiarów odległościowych (rys. 5.141) do elementów konstrukcyjnych, których nie można zasygnalizować standardowymi reflektorami zwrotnymi, do elementu konstrukcji przymocowuje się pion w postaci nici z obciążnikiem, a w pewnej odległości przystawia się przymiar. Następnie przymiar poziomuje się za pomocą libelli pudełkowej i rurkowej i ukierunkowuje na stanowisko dalmierza elektrooptycznego za pomocą kolimatora. Po wykonaniu pomiaru odległości d od stanowiska dalmierza do reflektora, nie zmieniając położenia przyrządu, wykorzystując zjawisko paralaksy, na zwierciadle obserwuje się nić oraz jej obraz i w momencie pokrycia dokonuje się odczytu wartości b na obu podziałkach: górnej i dolnej. Odległość D od nici do stanowiska dalmierza jako różnicę wyznacza się ze wzoru:

$$D = d - (a + b), \quad (5.22)$$

gdzie:

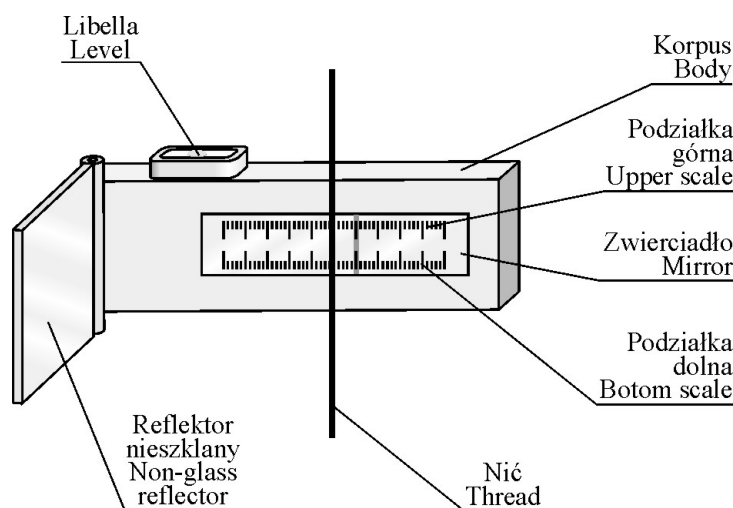
a – stała odległość od środka reflektora zwrotnego do początku podziałek górnej i dolnej,

b – zmienna odległość od początku podziałek górnej i dolnej do położenia przestrzennego nici,

d – odległość mierzona dalmierzem od stanowiska do reflektora zwrotnego.

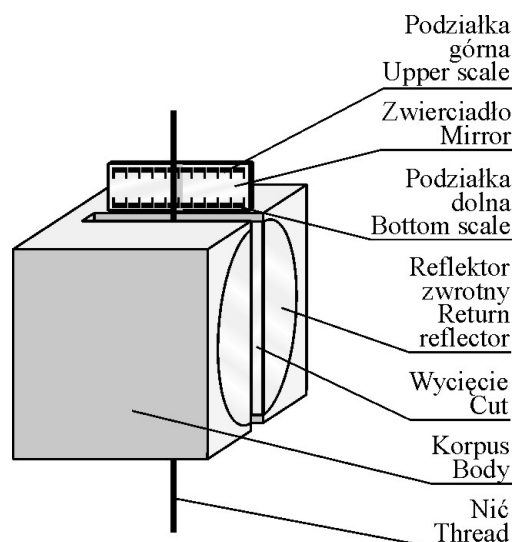
W przypadku pomiaru odległości do kilku stanowisk reflektor zwrotny ustawiany jest na kolejnych kierunkach celowych odległościowych poprzez obroty płytki na ośce korpusu.

Uproszczonym wariantem wspomnianego przymiaru zwierciadlanego jest przymiar z reflektorem nieszklanym przedstawiony na rysunku 5.142.



Rys. 5.142. Przymiar z reflektorem nieszklanym (projekt)
Fig. 5.142. Measure with non-glass reflector (project)

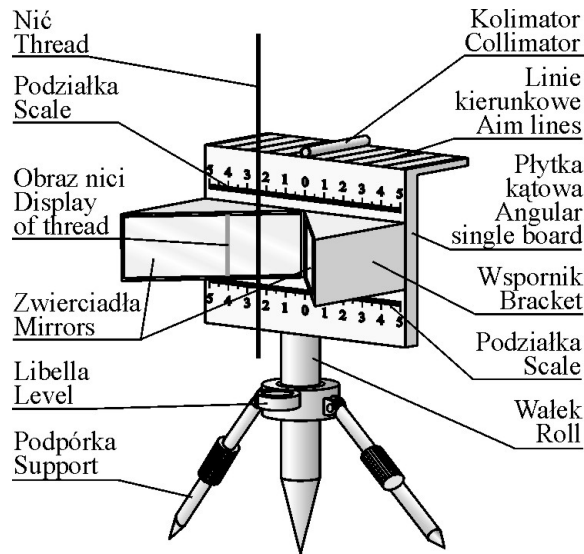
W wersji prostszej (miniaturyzowanej) przyrząd wyposażony jest w jedną podziałkę zwierciadlaną oraz reflektor nieszkłany – „folia dalmiercza odbłaskowa”. Płaszczyzny reflektora nieszkłanego i zwierciadła tworzą kąt prosty. Podczas pomiarów przyrząd kierowany jest na stanowisko dalmierza krawędzią podziałki, a pozostałe czynności ustawczo-pomiarowe wykonywane są jak dla przymiaru zwierciadlanego. W przypadku bardzo ograniczonej przestrzeni pomiarowej proponuje się zastosowanie zmodyfikowanej formy reflektora pryzmatycznego, jak na rysunku 5.143.



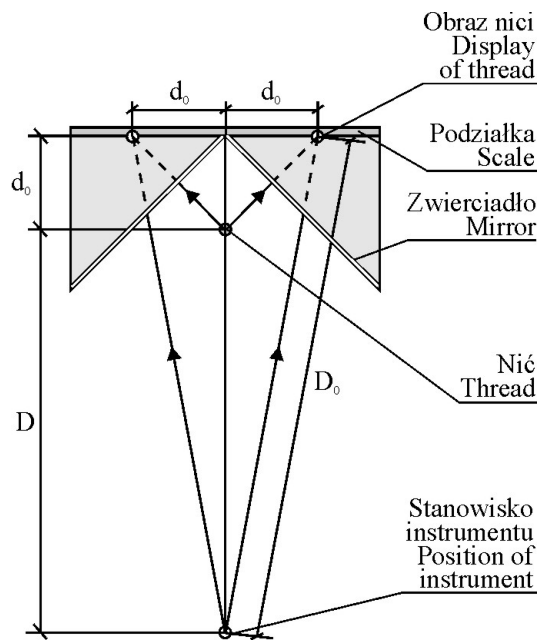
Rys. 5.143. Zmodyfikowany reflektor zwrotny pryzmatyczny (projekt)
Fig. 5.143. Modified prismatic returnable reflector (project)

Osadzony w korpusie zwrotny reflektor pryzmatyczny posiada centralne wycięcie kanałowe, nad którego górną krawędzią osadzone jest zwierciadło z podziałką i z oznaczonym centrem geometrycznym reflektora pryzmatycznego. Dla wyznaczenia odległości od nici sygnalizującej mierzony element do stanowiska obserwacyjnego zmodyfikowany reflektor kieruje się na instrument pomiarowy, a następnie wykonuje pomiar odległości i odczytuje się położenie nici sygnalizacyjnej na podziałce (paralaktycznie). Odczytana na podziałce odległość od nici do oznaczonego centra geometrycznego reflektora, zsumowana z odległością pomierzoną dalmierzem, określa odległość od nici do stanowiska obserwacyjnego.

Coraz powszechniej spotykane są dalmierze elektrooptyczne (tzw. bezreflektorowe) pozwalające bez użycia reflektorów wykonać obserwacje odległości do punktów pomiarowych. O ile sygnalizacja punktów pomiarowych wykonywana jest pionami mechanicznymi (o niewielkiej średnicy), to wyznaczenie odległości od stanowiska obserwacyjnego do pionu można wykonać dalmierzem bezreflektorowym z użyciem sygnalizatora jak na rysunku 5.144 i 5.145.



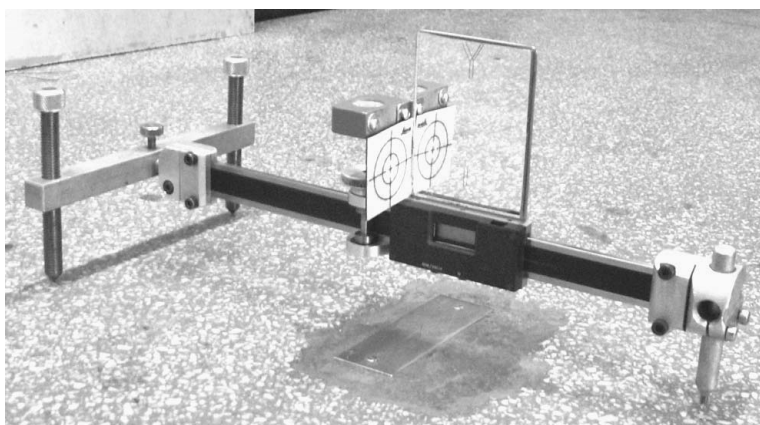
Rys. 5.144. Przymiar zwierciadlany kątowy bezreflektorowy (projekt)
 Fig. 5.144. Reflective angle without reflector measure (project)



Rys. 5.145. Schemat pomiaru odległości z zastosowaniem przymiaru zwierciadlanego kątowego
 Fig. 5.145. Scheme of distance measurement with reflective angle measure

Na rysunku 5.146 przedstawiono prototyp przymiaru zwierciadlanego z reflektorem nieszklnym.

W przymiarach zwierciadlanych głównym źródłem błędu pomiaru odległości do nici sygnalizującej mierzony niedostępny element obiektu jest niedokładność obserwacji jej położenia na zwierciadle. Ponieważ metoda obserwacji nici w przyjętych rozwiązaniach oparta jest na zjawisku paralaksy, przeprowadzono na wykonanym prototypie (rys. 5.146) serie pomiarów wpasowania umieszczonego przesuwnie na liniale elektronicznym o dokładności odczytu 0,01 mm zwierciadła z wytrawionymi znaczkami w rozwieszony, nieruchomy pion o średnicy 0,3 mm. Odczyty przeprowadzono dziesięciokrotnie dla czterech wybranych odległości pomiędzy rozwieszoną nicią a powierzchnią zwierciadła, okiem nieuzbrojonym, odległym od nici o 0,25 m. Każdorazowo po wpasowaniu nici metodą paralaksy i koincydencji, na znaczkach zwierciadła wykonywano odczyt położenia suwaka liniału elektronicznego. Uzyskane wyniki z przeprowadzonego pomiaru eksperymentalnego zestawiono w tabeli 5.31.



Rys. 5.146. Prototyp przymiaru zwierciadlanego z reflektorem nieszklnym
Fig. 5.146. Prototype of reflective measure with non-glass reflector

Tabela 5.31

Table 5.31

Zestawienie uśrednionych wyników wpasowania zwierciadła w rozwieszoną nić dla oka nieuzbrojonego, przy obserwacji nici z odległości 0,25 m

Table of averaged results of mirror fitting in spread thread for naked-eye, at thread observation from the distance 0,25 m

Odległość nici od powierzchni zwierciadła Distance of thread from mirror surface [m]	Średni błąd pojedynczego pomiaru położenia nici Average single measure error of thread location [mm]
0,01	0,03
0,02	0,04
0,04	0,06
0,08	0,11

5.3.1.4. Charakterystyka sygnalizatorów celu

Charakterystykę przedstawiono w tabeli 5.32.

Tabela 5.32

Table 5.32

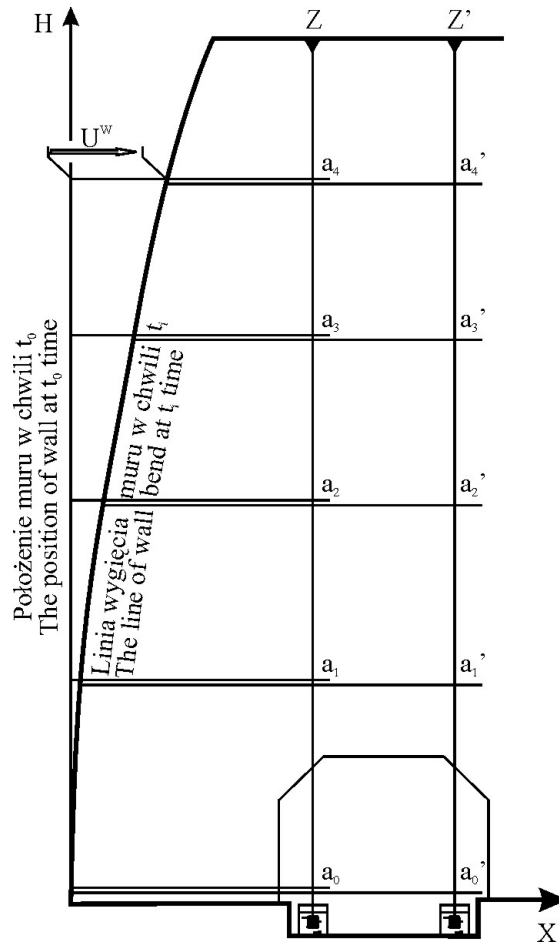
Zbiorcza charakterystyka proponowanych rozwiązań technicznych
Collective profile of presented technical solutions

Rodzaj sygnalizatora Type of indicator	Główne elementy Main elements	Dokładność pomiaru Measuring accuracy	Zasięg pomiaru Measuring range	Zastosowania Applications	Ograniczenia Limitations
Sygnalizatory ramowe	Niść metalowa o średnicy 0,04 mm	Kierunku 1,6 – 3,2 ^{cc}	2 – 6 m	Pomiary kątowe, sygnalizacja elementów konstrukcyjnych o utrudnionym dostępie, sygnalizacja stykowa na punkcie	Drgania, zapylenia, niejednorodne warunki oświetleniowe przestrzeni obserwacji
Sygnalizatory prętowe	Pręty metalowe	4,1 – 5,9 ^{cc}	50 m	Pomiary kątowe, sygnalizacja elementów konstrukcyjnych o utrudnionym dostępie, sygnalizacja stykowa na punkcie	Drgania, zapylenia, niejednorodne warunki oświetleniowe przestrzeni obserwacji
Przymiar zwierciadlany z reflektorem	Niść metalowa o średnicy 0,3 mm, zwierciadło	0,03 – 0,11 mm	1 – 8 cm	Pomiary odległości w ograniczonej przestrzeni i częściowej niedostępności elementów mierzonych, sygnalizacja stykowa na punkcie	Drgania, zapylenia, niejednorodne warunki oświetleniowe przestrzeni obserwacji

5.3.2. Przyrządy i systemy do pomiaru różnic wysokości, długości, pochyłeń oraz odchyleń od prostej odniesienia

5.3.2.1. Zestaw pomiarowy transformatorowych przetworników liniowych do wyznaczania zmian położenia drutu wahadła prostego

Przy wyznaczaniu odkształceń ściany zapory zastosowanie mogą znaleźć transformatorowe przetworniki liniowe (Wolski, 1996; Sydenham i wsp., 1990) wykorzystywane do telemetrycznego określania zmian położenia drutu wahadła fizycznego (Bryś, Ćmielewski, 2003), jak na rysunku 5.147.



Rys. 5.147. Zasada wyznaczania linii wygięcia muru szybiku z zastosowaniem zestawu transformatorowych przetworników oraz pionu zwykłego
 Fig. 5.147. Principle of shaft wall deflection line assignment with multi-sensor measuring control system WSKP and common plummet

Wartość aktualnych przemieszczeń na poszczególnych poziomach pomiarowych U_i^w wyznaczamy ze wzoru (5.23):

$$U_i^w = \Delta a_0 - \Delta a_i \quad (5.23)$$

gdzie:

$$\Delta a_0 = a_0' - a_0,$$

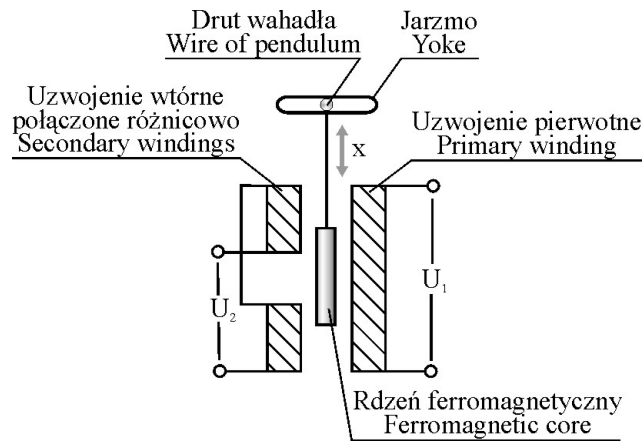
$$\Delta a_i = a_i' - a_i,$$

$a_0, a_1, a_2, \dots, a_i$ – odczyty przetworników transformatorowych w chwili t_0 ,

$a_0', a_1', a_2', \dots, a_i'$ – odczyty przetworników transformatorowych w chwili t_1 .

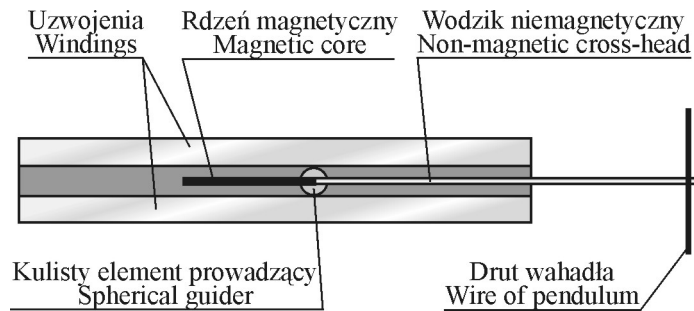
Zasada działania indukcyjnościowego przetwornika transformatorowego

Czujniki transformatorowe są rodzajem czujników indukcyjnościowych. Zasada pracy czujników transformatorowych polega na zmianie ich indukcyjności wzajemnej pod wpływem mierzonego przemieszczenia liniowego (rys. 5.148). Zmiana położenia rdzenia ferromagnetycznego powoduje zmianę sprzężenia magnetycznego pomiędzy uzwojeniem pierwotnym (zasilającym napięciem U_1) oraz dwoma uzwojeniami wtórnymi, połączonymi przeciwobnie. Sprężenie strumienia pierwotnego z uzwojeniami wtórnymi jest funkcją przesunięcia „ x ” rdzenia w stosunku do położenia symetrycznego, przy którym napięcie wtórne $U_2 = 0$.



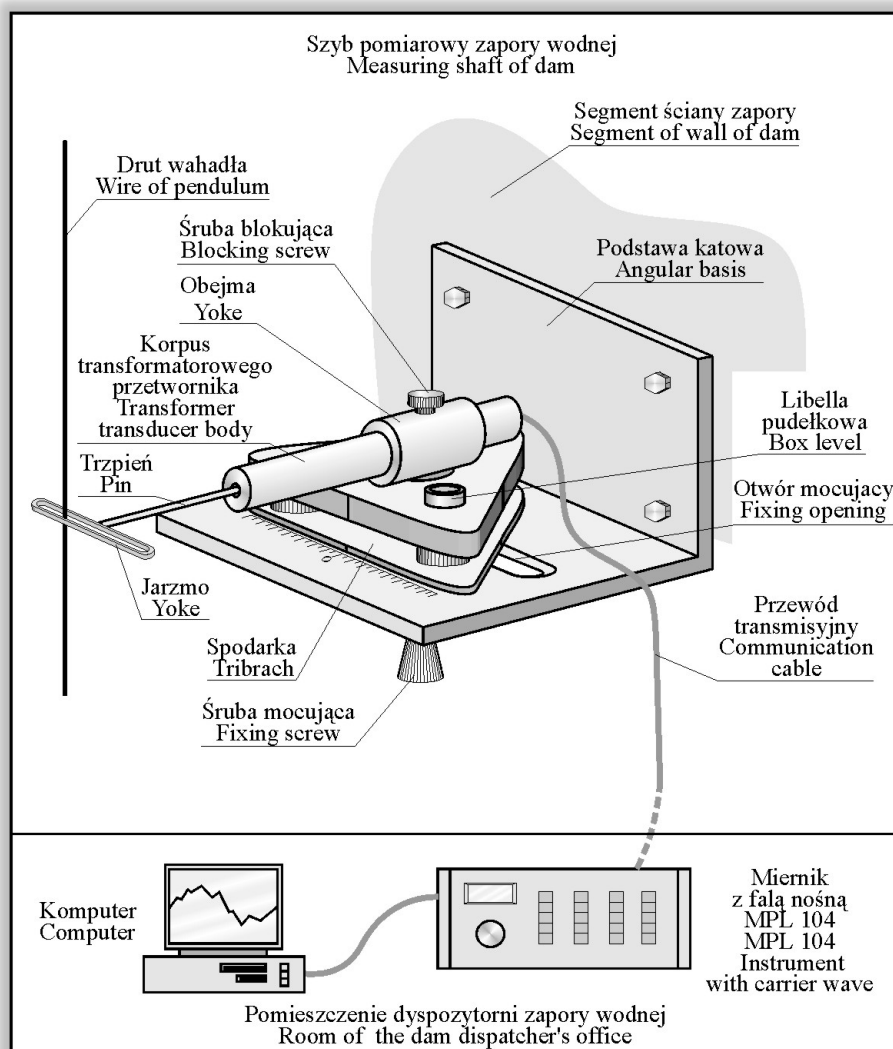
Rys. 5.148. Schemat budowy czujnika transformatorowego
Fig. 5.148. Structure scheme of transformer sensor

Przetworniki transformatorowe posiadają rdzenie, które podczas przesunięć są hamowane przez występujące siły tarcia. Ma to znaczenie dla współpracy przetwornika z drutem wahadła (pomiar i jego dokładność). Stąd też przez wprowadzenie elementu kulistego zmodyfikowano budowę czujnika transformatorowego, jak na rysunku 5.149.



Rys. 5.149. Schemat budowy zmodyfikowanego czujnika transformatorowego
Fig. 5.149. Structure scheme of modified transformer sensor

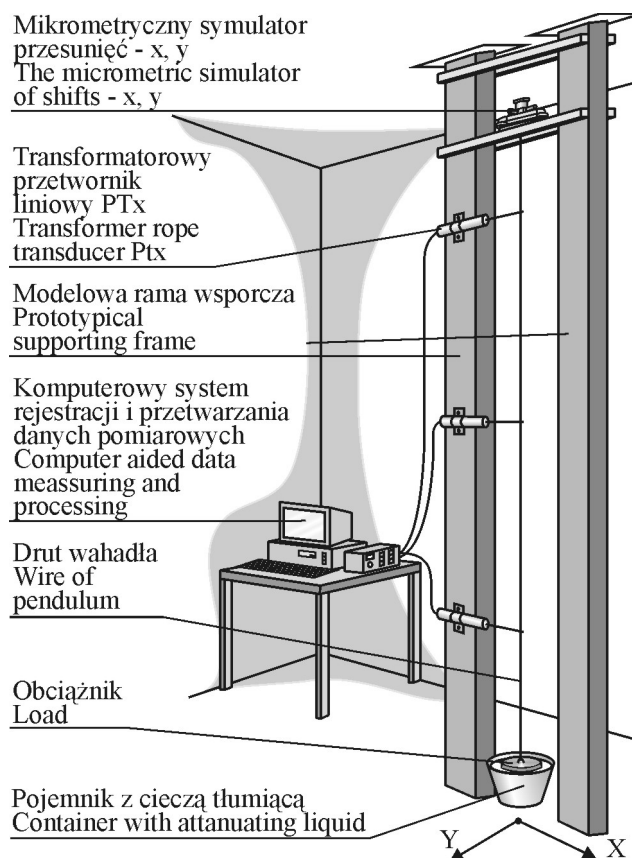
Szczegółowy projekt zastosowania transformatorowego przetwornika PTx firmy Peltron do obserwacji zmian położenia drutu wahadła fizycznego przedstawiono na rysunku 5.150.



Rys. 5.150. Ustawienie pomiarowe sensora w szybie pionowym zapory wodnej
 Fig. 5.150. Measurement set-up of sensor in vertical shaft of the dam

Badania eksperymentalne nad zastosowaniem sensorów PTx do obserwacji symulowanych zmian położenia drutu wahadła fizycznego

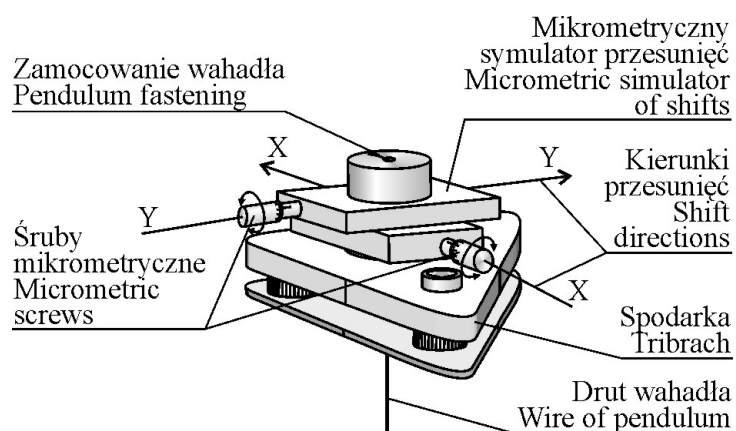
Doświadczenia przeprowadzono w laboratorium geodezyjnym Katedry Geodezji i Fotogrametrii we Wrocławiu. Do doświadczeń wykorzystano dostępny zestaw trzech transformatorowych przetworników PTx 100 o następujących danych technicznych: zakres pomiarowy ± 50 mm, napięcie zasilania 2 V, prąd zasilania 15 mA, częstotliwość zasilania 5000 Hz, napięcie wyjściowe 1 V, błąd liniowości od 0,2% do 1%, impedancja obciążenia 50k Ω , temperatura pracy od -20°C do 80°C . Jako przyrząd sterujący pracą przetworników zastosowano panelowy, trzyzakresowy miernik z falą nośną MPL 104 wyposażony w cztery kanały pomiarowe. Usytuowanie aparatury pomiarowej i kontrolnej podczas testowania w pomieszczeniu laboratorium geodezyjnego przedstawiono na rysunku 5.151.



Rys. 5.151. Schemat rozmieszczenia aparatury pomiarowej i kontrolnej do badań testowych wielosensorowego systemu monitoringu deformacji ściany zapory wodnej

Fig. 5.151. Arrangement scheme of measuring and controlling equipment for research tests of multi-sensor system for dam deformations monitoring

Mocowanie oraz przesunięcia drutu wahadła wzdłuż osi x lub y podczas badań doświadczalnych przeprowadzane było za pomocą mikrometrycznego symulatora przesunięć – x, y, przedstawionego na rysunkach 5.152 i 5.153.



Rys. 5.152. Schemat budowy mikrometrycznego symulatora przesunięć
 Fig. 5.152. Structure scheme of micrometric displacement simulator



Rys. 5.153. Widok mikrometrycznego symulatora przesunięć w położeniu roboczym
 Fig. 5.153. View of micrometric displacement simulator in working position

W tabeli 5.33 przedstawiono wyniki pomiarów doświadczalnych na trzech poziomach obserwacyjnych odległych względem siebie o 650 mm.

Tabela 5.33

Table 5.33

Zestawienie danych pomiarowych uzyskanych z obserwacji symulowanych i zaobserwowanych przesunięć

Table of measured data received from observations of simulated and observed displacements

L.p.	MS [mm]	Poziom 1 The 1'st Level		Poziom 2 The 2'nd level		Poziom 3 The 3'rd level	
		Ptx-1 [mm]	Różnica Difference (MS – Ptx-1) [mm]	Ptx-2 [mm]	Różnica Difference (MS – Ptx-2) [mm]	Ptx-3 [mm]	Różnica Difference (MS – Ptx-3) [mm]
1	0,00	-0,01	0,01	0,02	-0,02	0,01	-0,01
2	0,50	0,50	0,00	0,52	-0,02	0,51	-0,01
3	1,00	1,03	-0,03	1,02	-0,02	1,01	-0,01
4	1,50	1,53	-0,03	1,50	0,00	1,50	0,00
5	2,00	2,00	0,00	1,99	0,01	2,01	-0,01
6	2,50	2,50	0,00	2,50	0,00	2,51	-0,01
7	3,00	3,01	-0,01	2,99	0,01	3,01	-0,01
8	3,50	3,49	0,01	3,49	0,01	3,49	0,01
9	4,00	4,00	0,00	3,99	0,01	4,00	0,00
10	4,50	4,49	0,01	4,48	0,02	4,49	0,01
11	5,00	4,96	0,04	4,98	0,02	4,98	0,02
12	5,50	5,49	0,01	5,47	0,03	5,46	0,04
13	6,00	5,98	0,02	5,99	0,01	5,96	0,04
14	6,50	6,51	-0,01	6,49	0,01	6,49	0,01
15	7,00	7,03	-0,03	7,01	-0,01	7,00	0,00
16	7,50	7,52	-0,02	7,52	-0,02	7,51	-0,01
17	8,00	8,00	0,00	8,02	-0,02	8,01	-0,01
18	8,50	8,51	-0,01	8,49	0,01	8,53	-0,03
19	9,00	8,96	0,04	9,01	-0,01	9,01	-0,01
20	9,50	9,48	0,02	9,52	-0,02	9,52	-0,02
Błąd pojedynczego sposrzeżenia Single observation error			0,014		0,012		0,012

Oznaczenia: MS – mikrometryczny symulator, Ptx – przetwornik transformatorowy

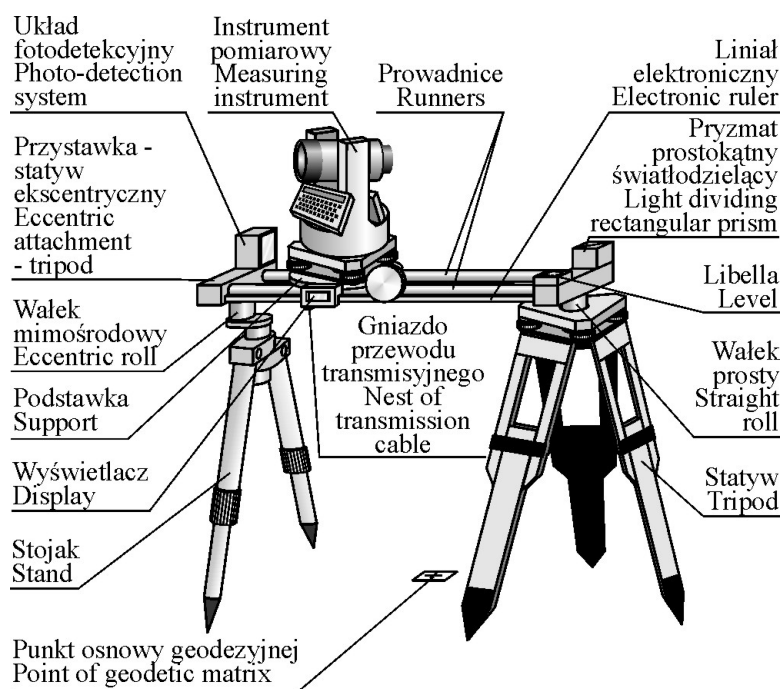
Designations: MS – micrometric simulator, Ptx – transformer converter

Wyniki wstępnych badań laboratoryjnych pozwoliły na wyznaczenie maksymalnego odchylenia standardowego wektora przemieszczenia, wynoszącego $\sigma_{\Delta x, \Delta y} = |0,014|$ mm.

Dokładność powyższa uzyskana w warunkach laboratoryjnych, a więc bez kurzu, zróżnicowań temperaturowych oraz w przeciętnych warunkach wilgotności środowiska, spełnia wymagania stawiane fizykalnym pomiarom dla wyznaczenia aktualnego stanu geometrii obiektu piętrzącego w dowolnej chwili t . Badania na modelowej ramie przeprowadzono w celu określenia realnej dokładności systemu dla opracowanej modyfikacji budowy czujników transformatorowych i ich połączeń z drutem wahadła. W warunkach pomiarów terenowych na zaporze przetworniki transformatorowe powinny być umieszczone w specjalnej obudowie zapobiegającej osadzeniu się pyłów oraz uderzeniom małych kawałków betonu, kamyków, kropli wody itp. Zaproponowana modyfikacja budowy przetwornika z kulistym elementem przewodzącym nie jest wolna od niedoskonałości i wymaga okresowych konserwacji (oczyszczenie, naoliwienie itp.), których częstotliwość można ustalić dla danego obiektu.

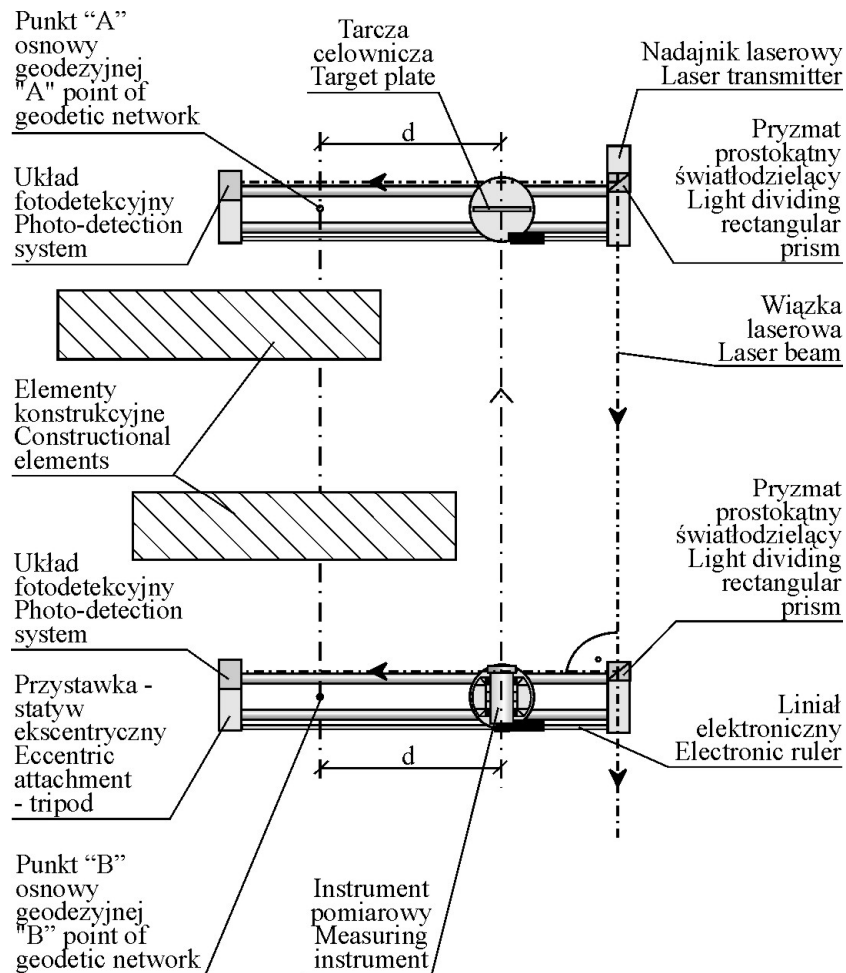
5.3.2.2. Przystawka – statyw ekscentryczny

Na obiektach inżynierskich często występującą niedogodnością jest konieczność pomiaru ekscentrycznego. Niedogodność ta nabiera szczególnego znaczenia podczas prowadzenia obserwacji liniowych. Stosując np. metodę prostej odniesienia konieczne jest wówczas równoległe przesunięcie celowej instrumentu pomiarowego. Dla polepszenia możliwości obserwacyjnych metodą prostej odniesienia skonstruowano przystawkę – statyw ekscentryczny, przedstawiony na rysunku 5.154.



Rys. 5.154. Widok przystawki – statywu ekscentrycznego
Fig. 5.154. View of adapter – eccentric tripod

Przystawka po sprzęgnięciu ze statywem geodezyjnym umożliwia w zakresie konstrukcyjnym przyrządu przesunięcie instrumentu pomiarowego nad punktem osnowy geodezyjnej. Przesunięcia są na bieżąco rejestrowane linią elektroniczną i wyświetlane, a także mogą być przesyłane przewodem transmisyjnym do komputera, a następnie przetwarzane i gromadzone w pamięci PC. Przed pomiarami, po ustawieniu przystawki, instrument jest centrowany i poziomowany nad punktem według standardowych procedur. O ile w trakcie obserwacji występuje przesłonięcie wizury, instrument jest przesuwany o wartość d , o którą również przesuwana jest tarcza kierunkowa, ustawiona na bliźniaczej przystawce nad drugim punktem geodezyjnym (rys. 5.155).

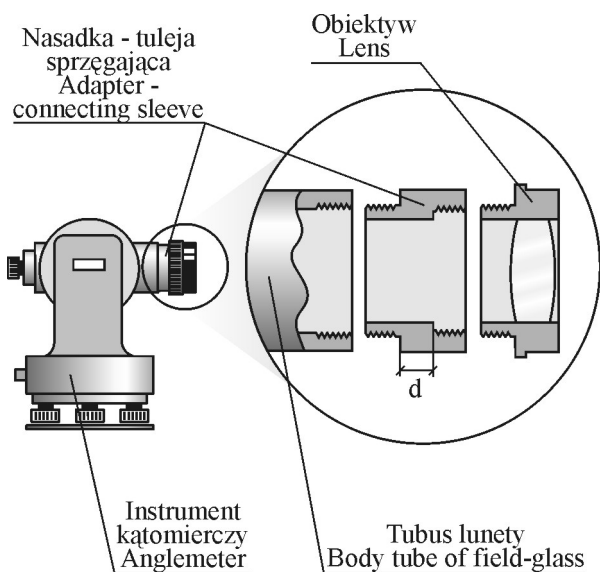


Rys. 5.155. Zasada działania i wykonywania pomiarów przystawką – statywem ekscentrycznym
 Fig. 5.155. Principle of operation and measuring with adapter – eccentric tripod

Dla uzyskania równoległości przesunięcia celowej z prostej odniesienia na dowolną następną celową konieczne jest wzajemne równoległe ustawienie względem siebie przystawek zaopatrzonych w instrument oraz tarczę kierunkową. Wspomnianą równoległość przystawek realizuje przedstawiony w rozmieszczeniu jak na rysunku 5.155 system laserowo-fotodetekcyjny oraz zestaw pryzmatów prostokątnych światłodziących.

5.3.2.3. Nasadki na instrumenty kątomiercze

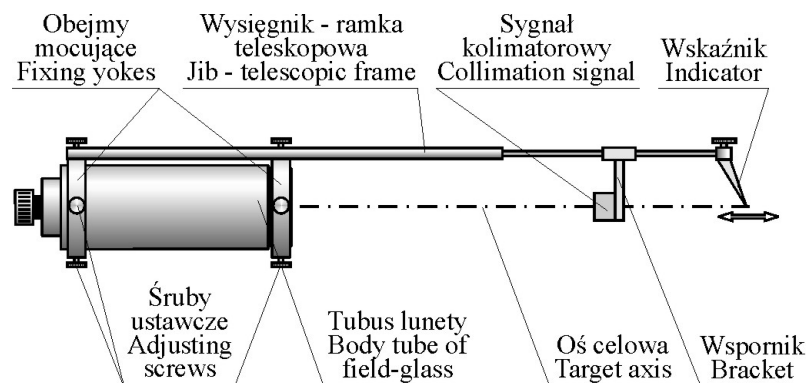
Dla zwiększenia zakresu kątowych możliwości pomiarowych (Ćmielewski, Kowalski, 2005) proponuje się nasadkę – tuleję sprzęgającą oraz nasadkę – wysięgnik, pozwalające na prowadzenie obserwacji kątowych do celów poniżej zakresu najkrótszej celowej lunety instrumentu (rys. 5.156).



Rys. 5.156. Widok instrumentu kątomierczego z nasadką – tuleją sprzęgającą
Fig. 5.156. View of anglemeter with mounted adapter – coupling sleeve

Nasadka – tuleja sprzęgająca przestawia geometrycznie ognisko obiektywu zmieniając optyczny zakres działania teleobiektywu i pozwala na wytwarzanie obrazów na płycie krzyża nitek przedmiotów (sygnałów) blisko umieszczonych przed lunetą instrumentu. W zależności od długości d nasadki sprzęgającej możliwe jest uzyskiwanie ogniskowania przedmiotów zlokalizowanych przy obiektywie, do pewnej odległości nie będącej nieskończonością.

Innym wariantem jest nasadka – wysięgnik przedstawiona na rysunku 5.157.

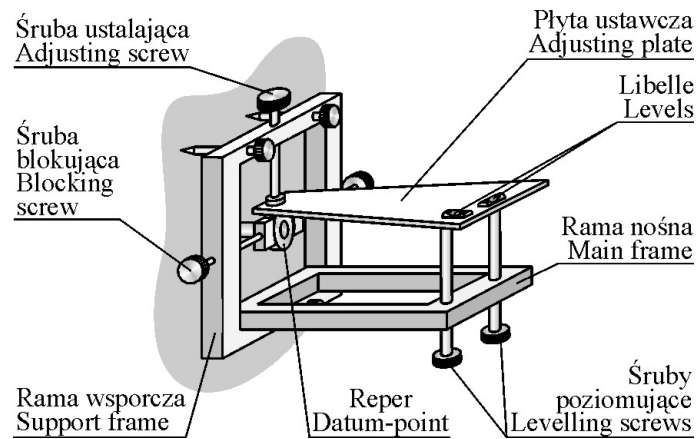


Rys. 5.157. Widok lunety instrumentu z zamocowaną nasadką – wysięgnikiem
 Rys. 5.157. View of instrument telescope with mounted adapter – outrigger

Po sprzęgnięciu nasadki – wysięgnika z tubusem lunety jako pierwszą czynność wykonuje się nacelowanie optyczne na punkt osnowy pomiarowej, a następnie poprzez ruchy pokręteł śruby ogniskującej lunety obserwuje położenie sygnału kolimatorowego. Osadzony na wsporniku ramki teleskopowej sygnał kolimatorowy służy do uzyskiwania współliniowości osi celowej instrumentu z „mechaniczną osią celową” (linia prosta wyznaczona przez punkty będące środkami obejm oraz koniec wskaźnika). W przypadku niepokrywania się siatki nitek instrumentu z rysunkiem sygnału kolimatorowego koryguje się położenie obrazu wspomnianego sygnału względem osi celowej za pomocą śrub ustawczych obejm. Tak przygotowany instrument z nasadką – wysięgnikiem pozwala na precyzyjne wycelowanie w trakcie procesu pomiarowego. W zależności od odległości istniejącego lub realizowanego punktu pomiarowego leżącego na danym kierunku wysuwa się ramkę teleskopową do momentu zetknięcia jej wskaźnika z punktem pomiarowym bądź z miejscem, w którym punkt ma być realizowany.

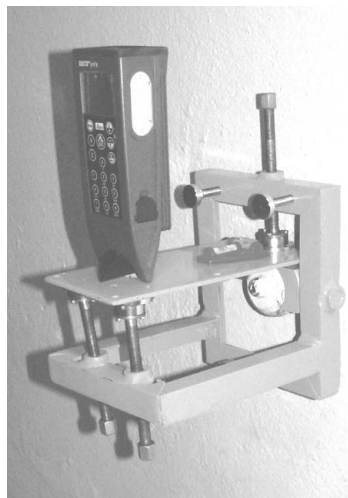
5.3.2.4. *Stolik reperowy*

Uwarunkowania przestrzeni obserwacyjnej na obiektach powodują często ograniczenia w stosowaniu znanych technik przeniesienia wysokości. Występują bowiem problemy związane z rozmieszczeniem stanowisk instrumentów i łąt oraz rozwieszeniem taśmy mierniczej czy dostępności wizur przy nacelowaniach kątowych. Ponadto panujące warunki oświetleniowe na wspomnianych obiektach są dodatkowym czynnikiem utrudniającym osiągnięcie właściwych dokładności. Znana jest z literatury metoda do precyzyjnego pomiaru różnic wysokości opisana w pracy (Janusz, 1978). W metodzie tej oprócz standardowej łąty inwarowej i niwelatora precyzyjnego wykorzystuje się dodatkowe urządzenie odczytowe, tzw. mikroniwelator służący do wykonywania odczytów na łątach usytuowanych kolejno na reperach w pionowym ciągu niwelacyjnym (na ścianie obiektu). Wspomniana metoda cechuje się dużą dokładnością oraz prędkością. Dla wyeliminowania przedstawionych uciążliwości obserwacyjnych na obiektach, gdzie stosowane jest przeniesienie wysokości, opracowano stół reperowy (Ćmielewski, 1990) oraz jego modyfikację (Ćmielewski, Kowalski, 2003). Na rysunku 5.158 przedstawiono widok stołu reperowego.



Rys. 5.158. Widok stolika reperowego
Fig. 5.158. View of mark table

Stolik składa się z następujących powiązanych ze sobą funkcjonalnie i konstrukcyjnie elementów: ramy wsporczej służącej do ustawienia stolika i zablokowania za pomocą śruby na mierzonym reperze, ramy nośnej wyposażonej w śruby poziomujące płytę ustawczą dociskaną do górnej powierzchni reperu za pomocą śruby ustalającej. Poziomą płytę ustawczą obserwuje się za pomocą dwóch krzyżowo ustawionych libelli rurkowych. Na płycie ustawczej w zależności od rodzaju wariantu pomiarowego instaluje się: niwelator, dalmierz laserowy Disto (rys. 5.159), samodzielny precyzyjny dalmierz elektrooptyczny (DI 2002) lub tachymetr elektroniczny (TC 2002).



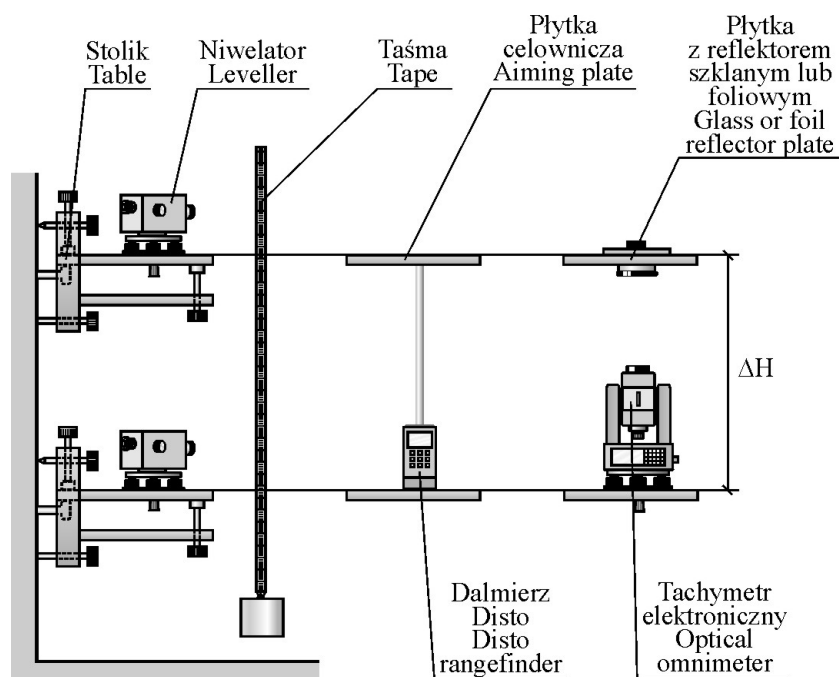
Rys. 5.159. Widok prototypu stolika reperowego w trakcie pomiaru dalmierzem Disto
Fig. 5.159. View of prototype mark table during measurements with DISTO distancemeter

Podczas pomiaru różnicy wysokości najczęściej konfiguracją pomiarową stanowią dwa bliźniacze stoliki przymocowane do dolnego i górnego reperu.

W zależności od konfiguracji sprzętu pomiarowego pomiar różnicy wysokości z zastosowaniem zestawu dwóch stolików reperowych można wykonać w jednym z trzech następujących wariantów:

1. Przeniesienie wysokości z zastosowaniem taśmy mierniczej z podziałem milimetrowym i niwelatora wyposażonego w mikrometr optyczny.
2. Przeniesienie wysokości z użyciem dalmierza laserowego Disto.
3. Przeniesienie wysokości z użyciem tachymetru elektronicznego (np. TC2002).

Na rysunku 5.160 przedstawiono zbiorcze zestawienie możliwości pomiarowych przeniesienia wysokości z wykorzystaniem stolików reperowych.



Rys. 5.160. Warianty pomiarów przeniesienia wysokości z zastosowaniem stolików reperowych
Fig. 5.160. Types of measurements transfer of a height with mark tables

5.3.2.5. Charakterystyka przyrządów i systemów do pomiaru różnic wysokości, pochyleń oraz odchyleń od prostej odniesienia

Charakterystykę przedstawiono w tabeli 5.34.

Tabela 5.34
Table 5.34

Zbiorecza charakterystyka proponowanych rozwiązań technicznych
Collective profile of presented technical solutions

Rodzaj Type	Główne elementy Main elements	Dokładność pomiaru Measuring accuracy	Zasięg pomiaru Measuring range	Zastosowania Applications	Ograniczenia Limitations
Zestaw pomiarowy transformatorowych przetworników liniowych do wyznaczenia zmian położenia drutu wahała prostego	Pion, transformatorowy przetwornik liniowy	0,014 mm	100 mm	Pomiary względne odchylen od prostej odniesienia, monitoring deformacji ściany budowlanej wysokiej (np. zapory)	Wilgotność, kurz, drgania, konieczność okresowej konserwacji, stosowanie osłon
Przystawka – statyw ekscentryczny	Moduł diody laserowej, przetwornik CCD, prowadnice z liniałem elektronicznym	Serie części milimetra wynikające z użytego liniału elektronicznego	Okolo 1 m	Pomiary ekscentryczne, aliniometryczne pomiary odchyłek kształtu, prostoliniowości, płaskości	Drgania
Nasadki na instrumenty kątomiercze	Tuleja, wysięgnik teleskopowy z kolimatorem,	Wynika z zastosowanego instrumentu pomiarowego	Okolo 2 m	Pomiary kątowe w bardzo ograniczonej przestrzeni obserwacji	Drgania, niejednorodność oświetlenia
Stolik reperowy	Podstawka	Wynika z zastosowanego instrumentu pomiarowego	Kilkadziesiąt metrów	Przeniesienie wysokości w bardzo ograniczonej przestrzeni obserwacji	Drgania, niejednorodność oświetlenia,

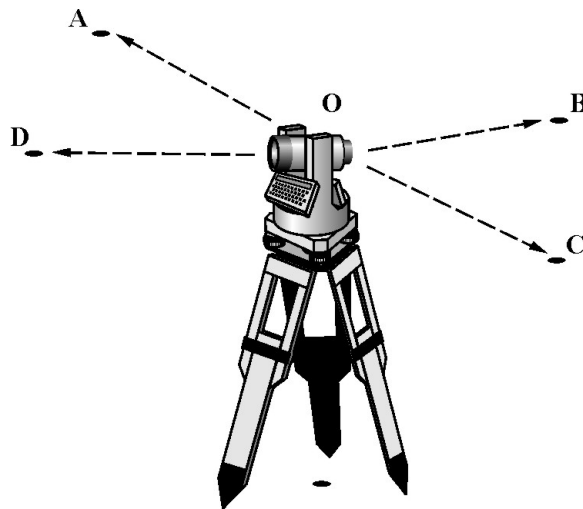
5.4. Laboratoryjne stanowiska kontroli parametrów pomiarowych i warunków geometrycznych instrumentów geodezyjnych

Wzajemna zgodność i wymagana dokładność wyników pomiarów oraz ich powiązanie z międzynarodowym systemem miar zapewniają geodezyjne przyrządy pomiarowe spełniające wymagania techniczne i metrologiczne zapisane w odpowiednich przepisach technicznych (Pawłowski, 2005). Podane w nich procedury testowe nawiązują do stanowisk lokalizowanych w terenie otwartym przy znaczących długościach celowych (około 50 m i więcej). Elementy optoelektroniczne (światłowody, przetworniki CCD) oraz mechaniczne (druciki o średnicy rzędu setnych części milimetra) pozwalają przenieść stanowiska kontrolne instrumentów do warunków kameralnych – laboratoryjnych i usprawnić procedury pomiarowe umożliwiając wykonanie testowań o każdej porze roku i warunkach meteorologicznych.

5.4.1. Stanowisko do określenia dokładności pomiaru kątów poziomych

W części pt. „Teodolity” wspomnianych przepisów (Pawłowski, 2005) procedura uproszczona określająca dokładność użytkową kąta poziomego stosowanego instrumentu kątomierczego ma następujący przebieg:

1. Zasygnalizowanie czterech punktów A, B, C i D usytuowanych w możliwie największym kącie poziomym (pełny horyzont) w odległościach od stanowiska teodolitu w przybliżeniu zgodnych z przewidywanymi na obiekcie.
2. Wykonanie pomiaru testującego składającego się z czterech oddzielnych serii odczytów kierunków OA, OB, OC i OD, (rysunek 5.161) przy kole lewym i prawym z przesunięciem koła poziomego po każdej wykonanej serii, a następnie powtórzenie pomiaru testowego w innym dniu.



Rys. 5.161. Stanowisko z punktami celowania
Fig. 5.161. Station with aiming points

Uzyskane odczyty kierunków należy zredukować w każdej serii do odczytu kierunku OA, przyjętego jako 0^s dla obu kół. Następnie oblicza się kolejno odchylenia standardowe (przy użyciu wartości średnich) kierunku dla dwóch położenia lunety i na ich podstawie ogólne odchylenie standardowe kierunku oraz odchylenie standardowe kąta poziomego. Zgodnie z przepisami technicznymi badanie dokładności kątowych instrumentów geodezyjnych odbywać się może według procedur uproszczonych (cztery punkty obserwowane) lub pełnych (pięć punktów obserwowanych). Dla instrumentów precyzyjnych stosuje się procedury pełne. Stanowisko testowe badanych teodolitów bądź tachymetrów elektronicznych obiera się wówczas na słupie betonowym posiadającym tuleję z wymuszonym centrowaniem. Jako cele obserwowane są stałe punkty terenowe z umieszczonymi reflektorami zwrotnymi. Punkty takie stanowią stałą część bazy testowej. Badane instrumenty przed testowaniem sprawdza się pod kątem występowania błędów kolimacji i inklinacji. Jako rozwiązania alternatywne do stosowanej sygnalizacji (tarcze) celów w warunkach terenowych autor opracował laboratoryjne przenośne zestawy sygnalizacyjne i pionów celowniczych z drutu o średnicy 0,04 mm lub celów światłowodowych (Ćmielewski, 2004b).

Budowa i zasada działania zestawu sygnalizacyjnych pionów celowniczych

W warunkach terenowych na bazie testowej do sygnalizowania mierzonych kierunków celów stosuje się tarcze i sygnały znane z literatury oraz prospektów firm produkujących sprzęt geodezyjny (Kern, Leica Heerbrugg AG, Nikon, Sokkisha Co. LTD, Zeiss C. (Oberkochen, Jena), Wild. AG-Wild-Leitz, Opton Feintechnik GmbH, 1980–2005). W warunkach laboratoryjnych, jako cel kierunku, proponuje się zastosowanie sygnalizacyjnego pionu celowniczego lub światłowodowego celu punktowego przedstawionego na rysunku 5.162 oraz w formie prototypu na rysunku 5.163.

W przypadku bezpośrednich pomiarów optycznych ważna jest prawidłowa reakcja oka obserwatora na zjawiska koincydencji i bisekcji, które istotnie wpływają na dokładność pomiarów (Tatarczyk, 1984). Grubość kreski siatki ogniskowej w geodezyjnych instrumentach kątomierzonych zawarta jest w granicach od 3'' do 5'' (Gocał, 1993), stąd też, aby podczas celowania wykorzystać wspomniane zjawiska reakcji oka, należy szerokość celu tak dobrać, aby obserwowany cel przy odległości rzędu kilku metrów swą szerokością kątową odpowiadał szerokości kątowej krzyża nitek (rys. 5.164). Wspomnianym celem może być drucik nierdzewny chromonikielinowy o średnicy 0,04 mm. Obliczona według wzoru 5.24 wartość kątowa szerokości celu dla danej odległości obserwacji wynosi:

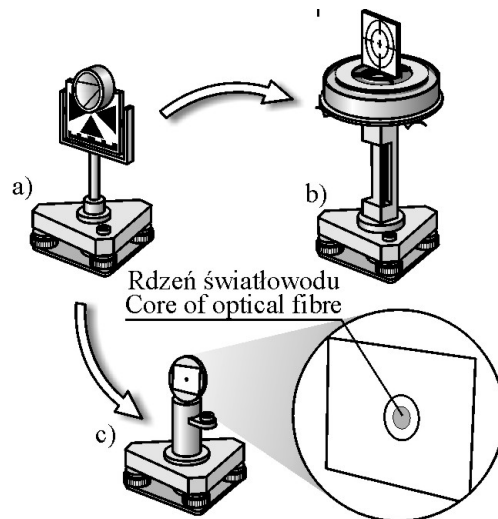
$$\alpha = \frac{d}{D} \cdot \rho'' \quad (5.24)$$

gdzie:

d – szerokość celu (średnica drucika),

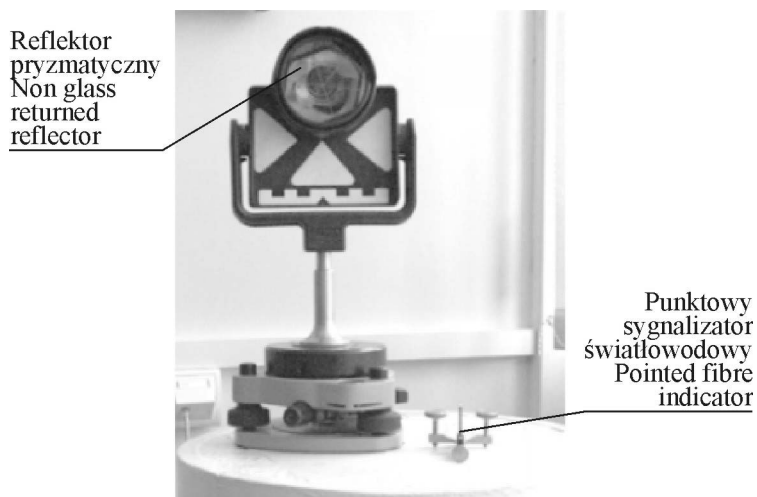
D – odległość obserwacji,

Zależność opisana wzorem 5.24 pozwala na zaprojektowanie odległości stanowiska obserwacyjnego do stanowiska celu. W tabeli 5.35 dla wymiarów przyjętego celu – drucika chromonikielinowego przedstawiono przykładowe zależności pomiędzy odległościami obserwacji a wartościami kątowymi szerokości celu.



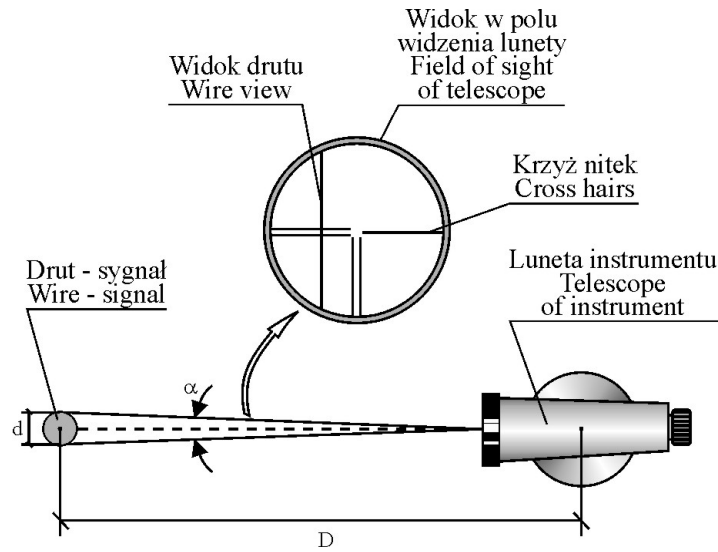
Rys. 5.162. Sygnalizacja celów przy badaniu dokładności pomiaru kierunków poziomych
 a) wersja tradycyjnego celu (tarcza z reflektorem pryzmatycznym szklanym); b) wersja proponowanego pionu celowniczego (z reflektorem nieszklnym) (projekt); c) wersja światłowodowego celu punktowego (projekt)

Fig. 5.162. Aim indication during horizontal direction measure preciseness studying
 a) traditional version of target (target with reflector); b) suggested version of aiming plummet (with non glass reflector); c) version of optical fiber point target



Rys. 5.163. Zestawienie prototypu punktowego sygnalizatora światłowodowego ze stosowaną sygnalizacją (tarcza firmy Leica wyposażona w reflektor pryzmatyczny szklany)

Fig. 5.163. Combination of pointed fibre indicator with traditional signalization (Leica's target equipped with non glass returned reflector)



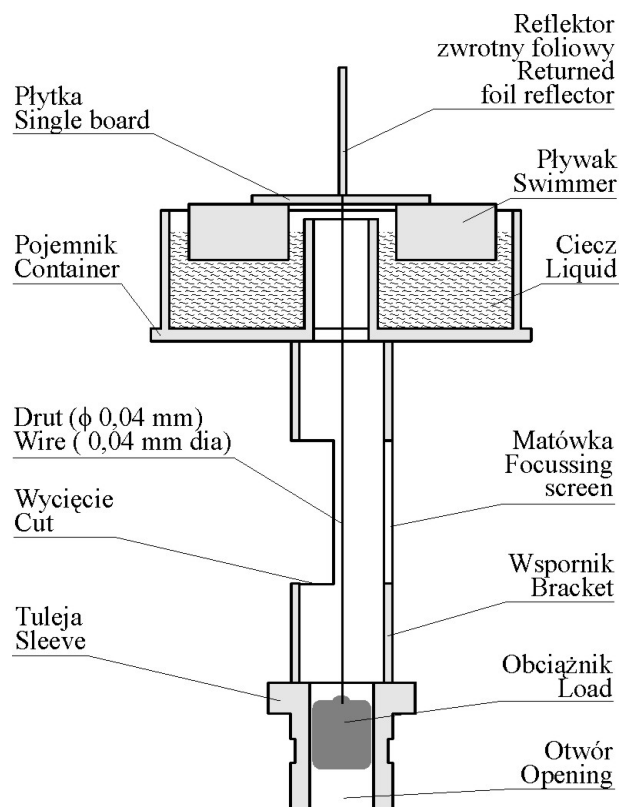
Rys. 5.164. Zastosowanie sygnału celowniczego o minimalnej szerokości w pomiarach lunetowych
 Fig. 5.164. Adoption of aiming signal with minimal width in telescope measurements

Tabela 5.35
 Table 5.35

Zestawienie wartości kątowej szerokości celu – drucik o średnicy 0,04 mm dla przyjętych odległości obserwacyjnych
 Table of aim width angular value – filament with diameter 0,04 mm for established observation distances

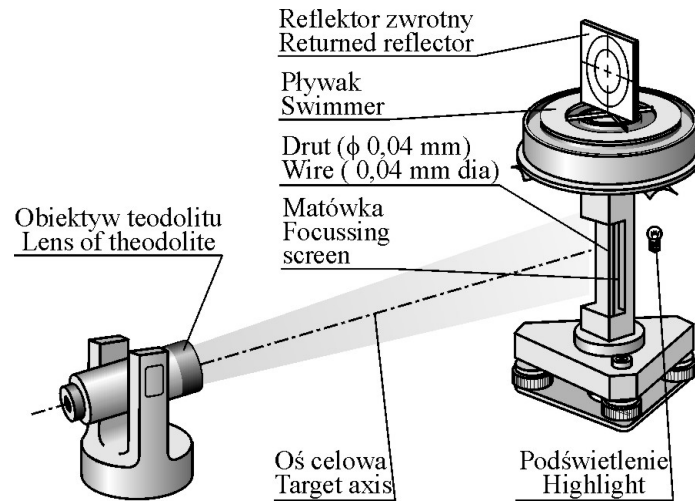
Odległość obserwacji – D Observation distance – D [m]	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000
Wartość kątowa szerokości celu – α Aim width angular value – α ["]	8,2	4,1	2,8	2,0	1,6

Szczegółową budowę pionu celowniczego (nawiązanego konstrukcyjnie do opracowanego rewersyjnego pionu celowniczego; Anigacz, Ćmielewski, 2002) przedstawiono na rysunku 5.165.



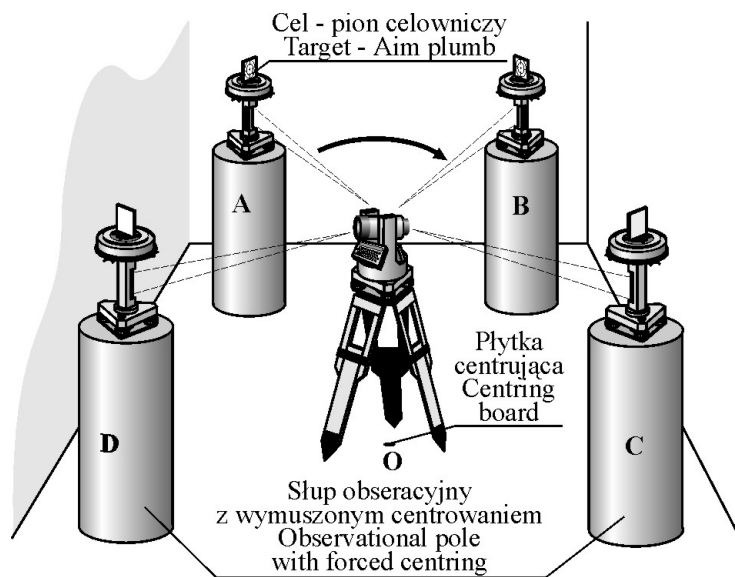
Rys. 5.165. Schemat budowy pionu celowniczego w przekroju (projekt)
 Fig. 5.165. Structure scheme of aiming plummet in section

Pion celowniczy w swej budowie stanowi wspornik, w dolnej części wyposażony w tuleję, a w górnej części w pojemnik z cieczą, w której umieszczony jest pływak zakończony reflektorem zwrotnym. Do pływaka w dolnej części przymocowany jest drut o średnicy 0,04 mm zwieszony pionowo we wsporniku i zaopatrzony w dolnej części w obciążnik osadzony suwliwie w otworze tulei. Po sprzęgnięciu pionu celowniczego poprzez tuleję z otworem standardowej spodarki, uprzednio spoziomowanej, obserwacje celu kierunkowego prowadzi się poprzez wycięcie wspornika na drut (ϕ 0,04 mm) widoczny na tle matówki możliwej do podświetlenia w zależności od warunków prowadzonych obserwacji (rys. 5.166).



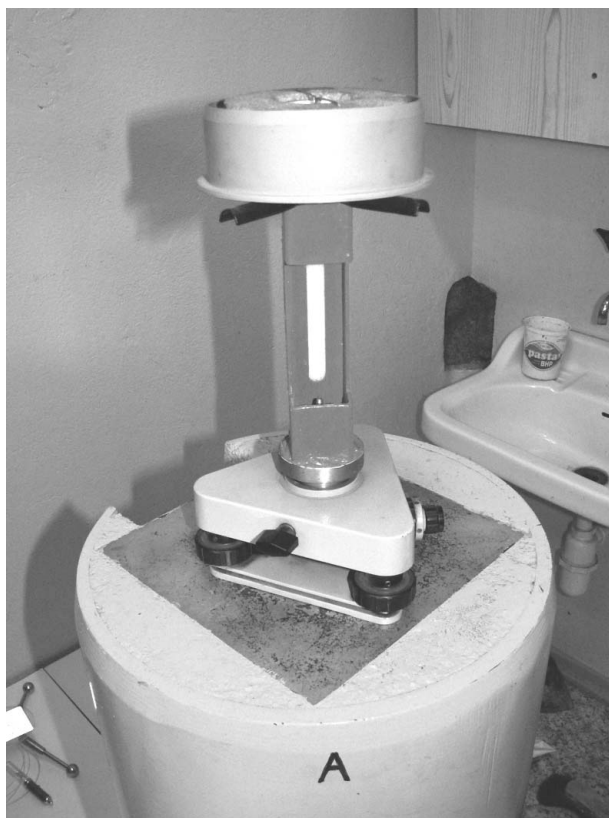
Rys. 5.166. Przykład nacełowania lunetą teodolitu na pion celowniczy (projekt)
 Fig. 5.166. Example of aiming with theodolite telescope at aiming plummet (project)

W warunkach laboratoryjnych propozycje rozmieszczenia zestawu sygnalizacyjnych pionów celowniczych przedstawiono na rysunku 5.167.



Rys. 5.167. Przykładowe ustawienie zestawu pionów celowniczych i teodolitu podczas badań testujących (projekt)
 Fig. 5.167. Exemplary arrangement of aiming plummet set and theodolite during research tests

Rezultaty pomiarów na przedstawionej bazie po opracowaniu analitycznym według podanej przez przepisy techniczne procedury stanowią podstawę do określenia dokładności użytkowej pomiaru kątów poziomych testowanego teodolitu. Dla sprawdzenia założeń konstrukcyjno-dokładnościowych opracowanego stanowiska w laboratorium KGiF AR we Wrocławiu zbudowano stanowisko prototypowe przedstawione na rysunku 5.168.

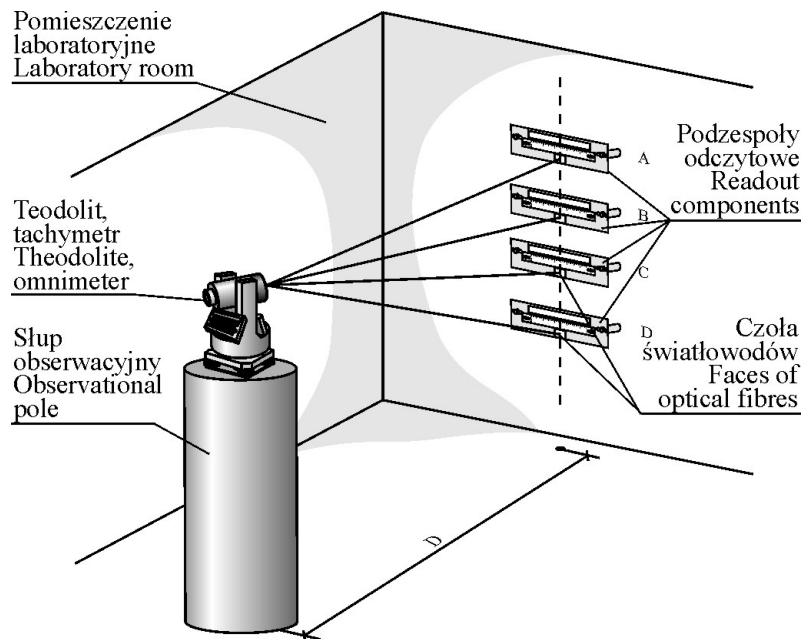


Rys. 5.168. Pion celowniczy na stanowisku obserwowanym A (prototyp)
Fig. 5.168. Aiming plummet at measuring station A (prototype)

Badanie polegało na obserwacji czterech stanowisk za pomocą instrumentu postawionego pośrodku. Wykonano dwie serie pomiarów eksperymentalnych za pomocą tachymetru TC1800 Leica o dokładności standardowej pomiaru kąta poziomego wynoszącej $1''$ (3°). Cykl obserwacji pomiarów kątowych wykonano do czterech pionów celowniczych rozmieszczonych równomiernie w płaszczyźnie horyzontu (w przybliżeniu co 100 gradów kąta poziomego) oraz znajdujących się w odległości ok. $2,5$ m od instrumentu. Uzyskane wyniki obserwacji pozwoliły na wyznaczenie dwóch niezależnych dokładności pomiaru kąta poziomego, tj. $|0,70^{\circ}|$ i $|0,72^{\circ}|$.

5.4.2. Stanowisko do określenia dokładności pomiaru kątów pionowych

Dla przeprowadzenia badania dokładności pomiarów kątów pionowych w nawiązaniu do przepisów technicznych (Pawłowski, 2005) wymagana jest odpowiednia baza testowa. Stanowią ją cztery obrane punkty testowe na różnych wysokościach i w odległościach od stanowiska instrumentu kątomierczego takich, aby przy ich obserwacji nie przekraczać zakresu $33,3^{\circ}$ kąta pionowego. Dla procedury uproszczonej przyjmuje się jeden cykl obserwacji a dla pełnej cztery. W każdym cyklu wykonywane są trzy serie obserwacji kąta pionowego do czterech wspomnianych punktów testowych. W warunkach laboratoryjnych, zdaniem autora, pole testowe mogą tworzyć jednoznacznie identyfikowalne punkty w postaci czół świecących światłowodów (średnice rdzenia od 0,009 mm do 0,063 mm), rozłożone w jednej linii pionowej na różnych wysokościach, jak na rysunku 5.169.



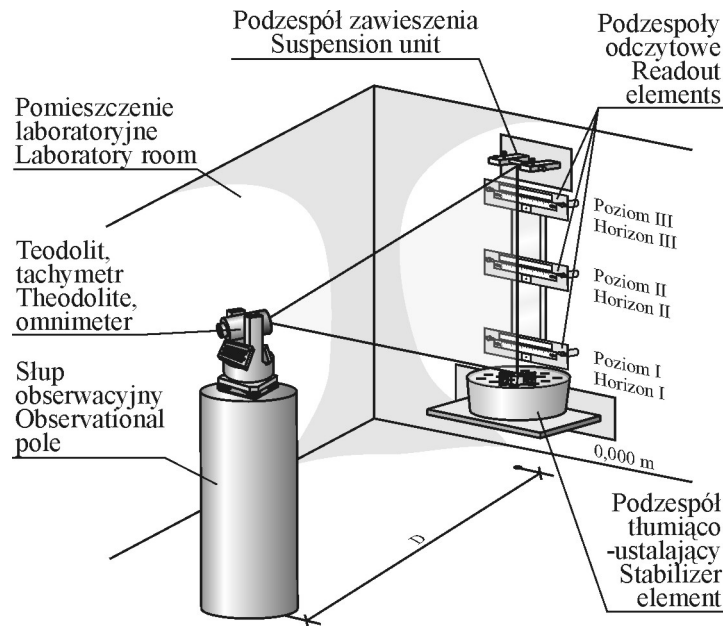
Rys. 5.169. Widok stanowiska do określenia dokładności użytkowej pomiaru kątów pionowych instrumentów kątomierzczycch w warunkach laboratoryjnych (projekt)

Fig. 5.169. View of station to define usable preciseness of vertical angle measurement of the anglemeters at laboratory conditions

Badania instrumentu kątomierczego polegają na nacelowaniu lunetą na kolejne punkty testowe A, B, C, D (świecące czola światłowodów) i rejestracji odczytów koła pionowego. Na podstawie wyników pomiarów oblicza się odchylenia standardowe kąta pionowego obserwowanego w dwóch położeniach lunety oraz odchylenie standardowe stanowiące wynik końcowy testu dokładnościowego.

5.4.3. Stanowisko kontrolno-pomiarowe do sprawdzania i rektyfikacji warunków geometrycznych instrumentów kątomierzowych

Negatywny wpływ na sprawność instrumentu w okresie eksploatacji mają czynniki zewnętrzne, takie jak np.: niewłaściwe magazynowanie, wilgoć, nieumiejętna obsługa, transport (wstrząsy), a także niekorzystne oddziaływania środowiska podczas pomiaru (zmiennie warunki meteorologiczne). Dla usprawnienia procedur sprawdzenia i rektyfikacji wybranych warunków geometrycznych instrumentów kątomierzowych autor opracował stanowisko kontrolno-pomiarowe przedstawione na rysunku 5.170.

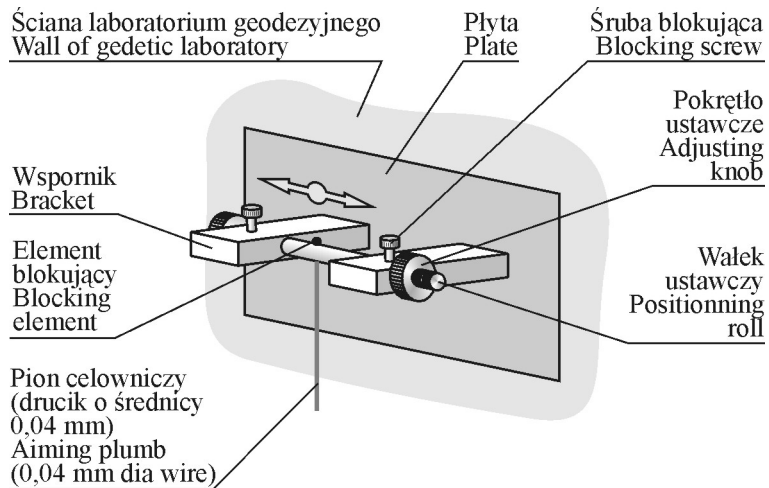


Rys. 5.170. Stanowisko kontrolno-pomiarowe instrumentów kątomierzowych (projekt)
Fig. 5.170. Measure-control station of anglemeters (project)

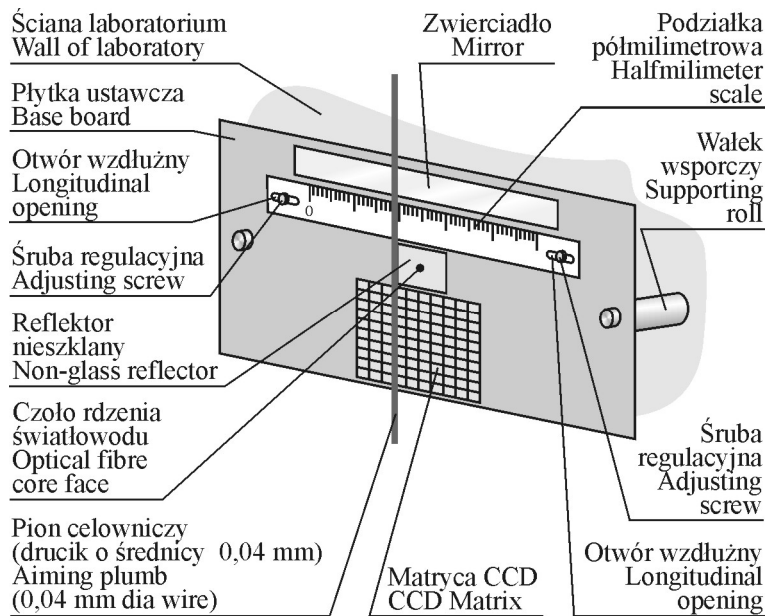
Podzespoły stanowiska przedstawiono na rysunkach 5.171, 5.172 i 5.173. Na stanowisku można sprawdzić, a następnie zredukować następujące warunki instrumentów kątomierzowych:

- prostopadłość poziomej kreski siatki krzyża do osi głównej instrumentu,
- błąd kolimacji,
- błąd inklinacji,
- błąd miejsca zera indeksu.

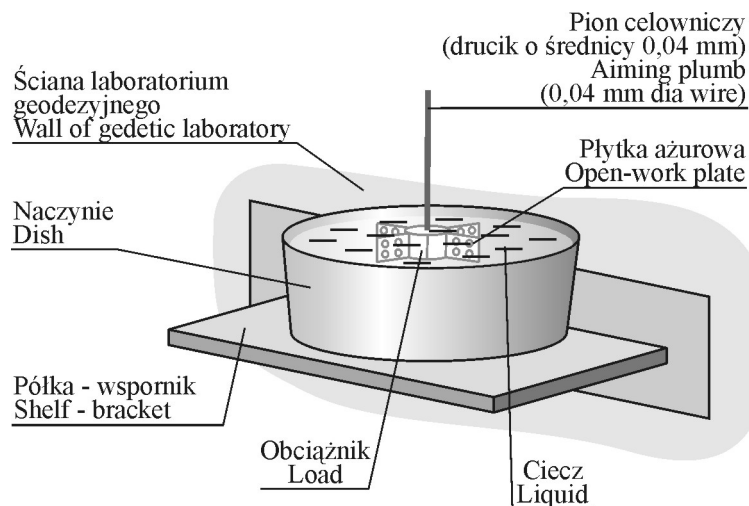
Sprawdzenie i rektyfikację wymienionych warunków wykonuje się według procedur znanych z literatury.



Rys. 5.171. Widok podzespołu zawieszenia (projekt)
Fig. 5.171. View of suspension element (project)



Rys. 5.172. Widok podzespołu odczytowego (projekt)
Fig. 5.172. View of reading element (project)



Rys. 5.173. Podzespół stabilizujący (projekt)
Fig. 5.173. Stabilizer element (project)

Zastosowanie jako celu pionu w postaci nici o znikomej średnicy (0,04 mm) poprawia warunki celowania dzięki dostosowaniu grubości kresek siatki krzyża do grubości celu, a przez to wykorzystania zalet koincydencji i bisekcji.

Zaopatrzenie obciążnika pionu w płytki ażurowe rozłożone symetrycznie i radialnie na obwodzie ograniczają wahania pionu i przyspieszają jego stabilizację.

Poziome usytuowanie na różnych wysokościach niedużych łatek z dokładnym podziałem milimetrowym, nad którymi znajdują się zwierciadła płaskie, pozwala na efektywniejsze wykonywanie odczytów położenia pionu oraz położenia osi celowej instrumentów podczas wykonywania prac kontrolno-pomiarowych.

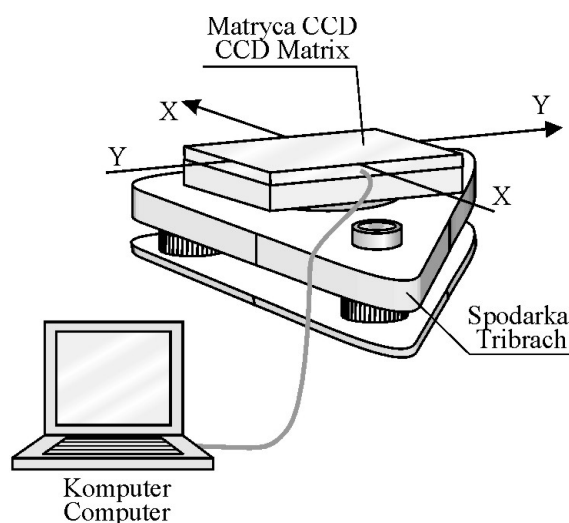
Regulacja przesunięcia pionu w zespole zawieszenia umożliwia dostosowanie położenia pionu do warunków i charakteru prowadzonych prac obserwacyjnych.

5.4.4. Stanowisko do sprawdzania i rektyfikacji pionowników w instrumentach geodezyjnych

Tachimetry i teodolity optyczne i elektroniczne wyposażone są w swej dolnej części w pionu optyczne i laserowe (Kern, Leica Heerbrugg AG, Nikon, Sokkisha Co. LTD, Zeiss C. (Oberkochen, Jena), Wild. AG-Wild-Leitz, Opton Feintechnik GmbH, 1980 ÷ 2005). Piony nie spełniające warunków geometrycznych instrumentu są źródłem błędów podczas pomiaru kierunków i kątów (ekscentr stanowiska). Dla pionów optycznych i laserowych, w które wyposażone są instrumenty, istotne jest, by pionowa część osi celowej pionu optycznego lub wiązki laserowej pokrywała się z pionową osią obrotu instrumentu, a podczas obrotu pionu o 400^s przebiegała dowolną płaszczyznę w jednym punkcie.

Podczas sprawdzenia pionu optycznego i laserowego instrumentu pod statywem umieszcza się kartkę papieru, na której zaznaczany jest punkt S (jako ślad pionowej części celowej pionu optycznego). Następnie dokonywany jest obrót alidady instrumentu o 200° i zaznaczany analogicznie punkt S'. Niepokrywanie się punktów S z S' świadczy o niespełnieniu warunku geometrycznego pionu. Rektyfikację pionu przeprowadza się przez naprowadzenie osi celowej bądź wiązki laserowej na środek odcinka S–S', przy czym czynności rektyfikacyjne mogą przebiegać różnie, w zależności od konstrukcji elementów pionów. Usprawnienie czynności sprawdzenia, a także rektyfikacji można przeprowadzić przy wykorzystaniu opracowanych przez autora wariantów przyrządów kontrolno-pomiarowych. Dla pionów laserowych – system kontrolny z matrycą CCD, a dla pionów optycznych – przystawka kontrolna z sygnalizacją świetłowodową.

Na rysunku 5.174 przedstawiono budowę systemu kontrolnego z matrycą CCD.

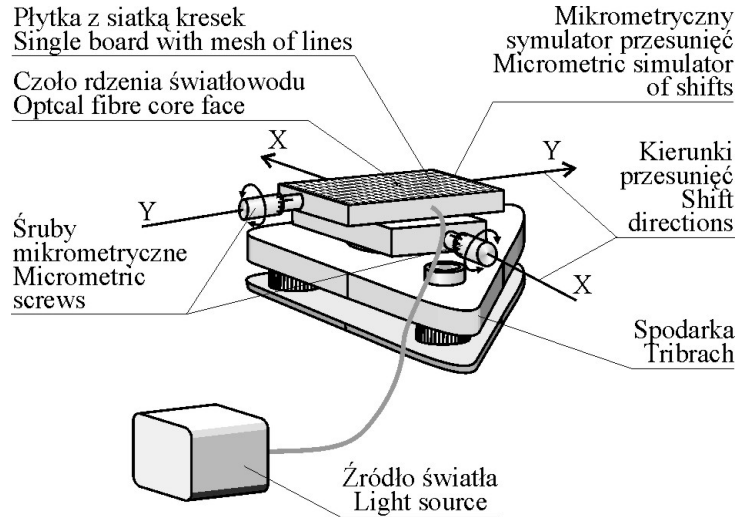


Rys. 5.174. Budowa systemu kontrolnego z matrycą CCD (projekt)
 Fig. 5.174. Structure of control system with charge-coupled device (project)

Propagowana przez pionownik laserowy wiązka padając na matrycę CCD jest rejestrowana (obraz plamki – P1) w układzie współrzędnych płaskich XY, jak na rysunku 5.174. Następnie, po obrocie alidady tachymetru o 200° wiązka laserowa, o ile nie jest spełniony wymieniony na wstępie warunek, tworzy obraz plamki – P2 w innym miejscu matrycy CCD. Obliczona odległość pomiędzy zarejestrowanymi obrazami plamek P1 i P2 jest miarą błędu pionownika laserowego. W przypadku konieczności rektyfikacji pionownika stosując przewidziane dla tej czynności śrubki doprowadza się wiązkę laserową na środek odcinka P1–P2. W procesie rektyfikacji położenie wiązki, jako

obraz plamki na matrycy CCD, obserwuje się w czasie rzeczywistym na monitorze oraz określa jej bieżące współrzędne XY.

Na rysunku 5.175 przedstawiono budowę przystawki kontrolnej z sygnalizacją światłowodową.



Rys. 5.175. Budowa przystawki kontrolnej z sygnalizacją światłowodową
Fig. 5.175. Structure of control adapter with optical fibre indication

Podstawowym elementem przystawki jest płytkę z siatką kresek i osadzonym w niej centralnie czołem rdzenia światłowodu. Płytkę z siatką kresek za pomocą śrub mikrometrycznych ma możliwość ruchu poziomego w dwóch prostopadłych kierunkach zgodnych z przyjętym układem współrzędnych prostokątnych XY. Po ustawieniu przystawki kontrolnej pod statywem, na którym umieszczony jest sprawdzany pionownik optyczny, ruchami śrub mikrometrycznych wzdłuż osi OX i OY, wprowadzane jest w oś optyczną pionownika świecące czoło światłowodu. Następnie na podziałkach śrub mikrometrycznych wykonywane są odczyty i rejestrowane jako położenie wyjściowe osi optycznej pionownika. Po obrocie pionu o 200° jego celowa, o ile jest spełniony wspomniany warunek geometryczny, pokrywa się ze świecącym czołem światłowodu. W przypadku niespełnienia warunku, wykorzystując naprowadzenia mikrometryczne, doprowadza się do współpokrywania wspomnianej osi z czołem światłowodu, a następnie wykonuje odczyty na podziałkach śrub mikrometrycznych i rejestruje. Z różnicy odczytów na śrubach mikrometrycznych przypisanych położeniom czoła światłowodu wyznacza się odcinek, którego środek stanowi punkt odniesienia do wykonania czynności rektyfikacyjnych. Punkt odniesienia zaznaczany jest świecącym czołem światłowodu po stosownych przesunięciach płytki.

Na rysunku 5.176 przedstawiono prototyp systemu kontrolnego z przetwornikiem CCD do sprawdzania i rektyfikacji pionowników laserowych kątomierczych instrumentów geodezyjnych.



Rys. 5.176. Prototyp systemu kontrolnego z przetwornikiem CCD
Fig. 176. Prototype of control system with CCD transducer

Dla sprawdzenia poprawności działania systemu i wyznaczenia dokładności określenia położenia plamki laserowej pionownika laserowego systemem kontrolnym ustawiono na wysokości 1,5 m tachymetr TC 407 Leica i wykonano cykl symulowanych mikrometrycznych przesunięć układu fotodetekcyjnego prototypu systemu o wartość 0,5 mm.

Tabela 5.36

Table 5.36

Zestawienie danych pomiarowych uzyskanych z obserwacji symulowanych mikrometrycznych przesunięć co 0,5 mm układu fotodetekcyjnego

Table of measured data received from observations of simulated micrometric displacements at photo-detective system intervals of 0,5 mm

Lp.	Zarejestrowane przesunięcie wiązki laserowej Recorded laser beam displacement [mm]	Różnice pomiędzy symulowanym a zarejestrowanym przesunięciem układu fotodetekcyjnego Differences between simulated and recorded photo-detective system displacement [mm]
1	0,52	0,02
2	0,54	0,04
3	0,53	0,03
4	0,53	0,03
5	0,50	0,00
6	0,52	0,02
7	0,53	0,03
8	0,57	0,07
9	0,51	0,01
10	0,53	0,03
11	0,56	0,06
12	0,47	-0,03
13	0,52	0,02
14	0,55	0,05
15	0,54	0,04
16	0,52	0,02
17	0,52	0,02
18	0,49	-0,01
19	0,56	0,06
20	0,55	0,05
Błąd pojedynczego spostrzeżenia Single observation error		0,03

Wyniki wielokrotnych symulowanych przesunięć układu fotodetekcyjnego względem wiązki laserowej pionownika tachymetru TC407 pozwoliły określić błąd pozycjonowania plamki laserowej na układzie fotodetekcyjnym, który wyniósł |0,03| mm.

5.4.5. Charakterystyka laboratoryjnych stanowisk kontrolowania określonych parametrów pomiarowych i warunków geometrycznych instrumentów geodezyjnych

Charakterystykę przedstawiono w tabeli 5.37.

Tabela 5.37
Table 5.37

Zbioreza charakterystyka proponowanych rozwiązań technicznych
Collective profile of presented technical solutions

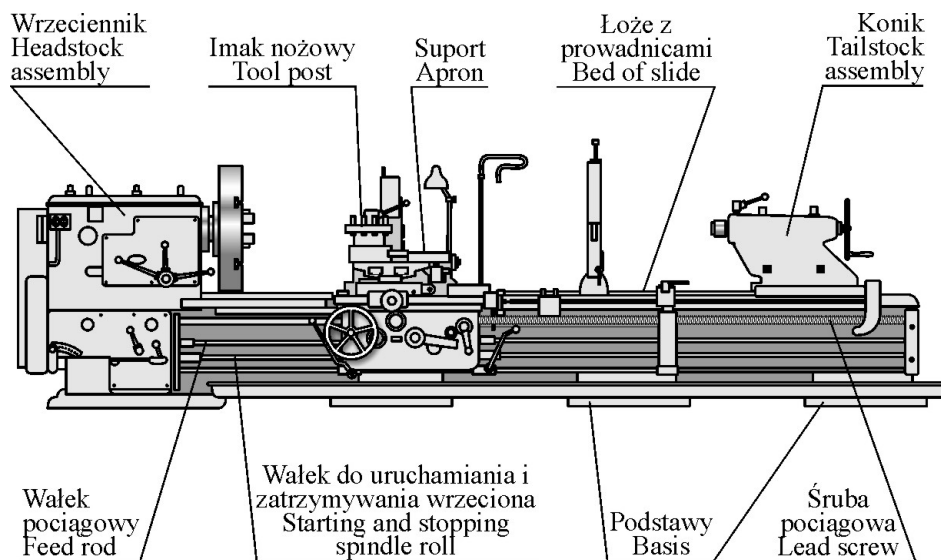
Rodzaj Type	Główne elementy Main elements	Dokładność pomiaru Measuring accuracy	Zasięg pomiaru Measuring range	Zastosowania Applications	Ograniczenia Limitations
Stanowisko do określania dokładności pomiaru kątów poziomych	Drucik (nić) metalowy o średnicy 0,04 mm, rdzeń światłowodowy o średnicy 0,05 mm	Kąta poziomego 0,72 ^{sc} dla TC 1800	2,5 m	W warunkach kameralnych kontrola dokładności użytkowej kąta poziomego dla teodolitów i tachymetrów, sygnalizator celu (element stanowiska) w pomiarach realizacyjnych przy tyczeniu i pracach kontrolnych oraz w pomiarach inwentaryzacyjnych niedużych obiektów technicznych	Drgania, ograniczony zasięg obserwacji
Stanowisko do określania dokładności pomiaru kątów pionowych	Rdzenie światłowodów: 0,009 mm, 0,050 mm, 0,063 mm	Kąta pionowego jak dla sygnalizatorów punktowych (rozdział 5.1.)	Kilka metrów	Kontrola dokładności użytkowej kąta pionowego w warunkach kameralnych	jw.
Stanowisko kontrolno-pomiarowe do sprawdzania i rektyfikacji warunków geometrycznych instrumentów kątowych	Drucik (nić) metalowy o średnicy 0,04 mm, przetwornik CCD, rdzenie światłowodów: 0,009 mm, 0,050 mm, 0,063 mm		Kilka metrów	Sprawdzenie i rektyfikacja głównych warunków geometrycznych instrumentów kątomierznych	jw.
Stanowisko do sprawdzania i rektyfikacji pionowników w instrumentach geodezyjnych	Przetwornik CCD, rdzenie światłowodów: 0,009 mm, 0,050 mm, 0,063 mm	Pomiaru pozycji plamki laserowej 0,03 mm dla laserowego pionownika tachymetru TC 407	1,5 m	Sprawdzenie i rektyfikacja pionowników optycznych i laserowych jako samodzielnych bądź wbudowanych w spodarke lub alidade instrumentu	jw.

6. PROPOZYCJE APLIKACJI WYBRANYCH ROZWIĄZAŃ W GEODEZYJNYCH BADANIACH OBRABIAREK – TOKAREK

6.1. Budowa, zasada działania i warunki geometryczne tokarek

Przy projektowaniu, konstruowaniu, a następnie wytwarzaniu maszyn, narzędzi i przyrządów największe znaczenie mają elementy i części o przekroju kołowym, w większości wykonywane na obrabiarkach – tokarkach (Dudik, 1985). Stanowią one około 50% wszystkich obrabiarek w kraju.

Na rysunku 6.1 przedstawiono schemat budowy najczęściej stosowanej uniwersalnej tokarki pociągowej.



Rys. 6.1. Schemat budowy uniwersalnej tokarki pociągowej
Fig. 6.1. Structure scheme of universal turning lathe

W uniwersalnej tokarce pociągowej wymienione główne podzespoły spełniają następujące określone funkcje:

Wrzeciennik – przeznaczony jest do mocowania i nadawania poprzez wrzeciono toczonym elementom ruchu obrotowego.

Łoże – przeznaczone jest do ustawienia i zamocowania wszystkich podzespołów tokarki.

Konik – przeznaczony jest do podtrzymywania długich przedmiotów podczas toczenia, a także do wiercenia, pogłębiania, gwintowania, rozwiercania i innych czynności obróbczych.

Suport – przeznaczony jest do prowadzenia noża skrawającego podczas toczenia.

W procesie wytwarzania tokarek wszystkie części tokarki są starannie sprawdzane. Po montażu tokarkę poddaje się próbie przed dopuszczeniem do eksploatacji.

Podczas obróbki – niedokładności w układzie geometrycznym tokarki są przenoszone na obrabiany przedmiot. Za dobrze wykonany uważa się przedmiot, który odpowiada założeniom podanym na rysunku wykonawczym, dotyczącym: wymiarów, kształtu oraz chropowatości obrobionej powierzchni.

Obróbka skrawaniem we współczesnej technice wytwarzania zajmuje wiodącą pozycję wynikającą z możliwości osiągnięcia bardzo dużej dokładności wykonania podzespołów i części urządzeń. Dokładność obróbki skrawaniem w zakresie uzyskiwanych wymiarów kształtuje się na poziomie mikrometrów. Stosowanie obróbki skrawaniem pozwala również uzyskać wysoką jakość powierzchni, wpływającą w maszynach, narzędziach i przyrządach na trwałość połączeń i zużywalność powierzchni współpracujących, wytrzymałość zmęczeniową części maszyn, odporność na korozję, bezszemrowość pracy mechanizmów oraz zużycie energii.

W procesie produkcyjnym następuje stopniowe zużycie obrabiarek. Objawy zużycia tokarki mogą być różne:

- bicie wrzeciona,
- stuk lub zgrzyty w mechanizmach napędu i sterowania,
- niezgodność osi tulei konika i wrzeciona,
- luzy w podzespołach mechanicznych.

Podstawowy wpływ na dokładność obróbki ma precyzja obrabiarki. Stąd nowo wyprodukowane tokarki podlegają sprawdzeniu pod względem:

- dokładności wykonania części oraz ich ułożenia geometrycznego,
- jakości stosowanych materiałów,
- ogólnej sprawności działania.

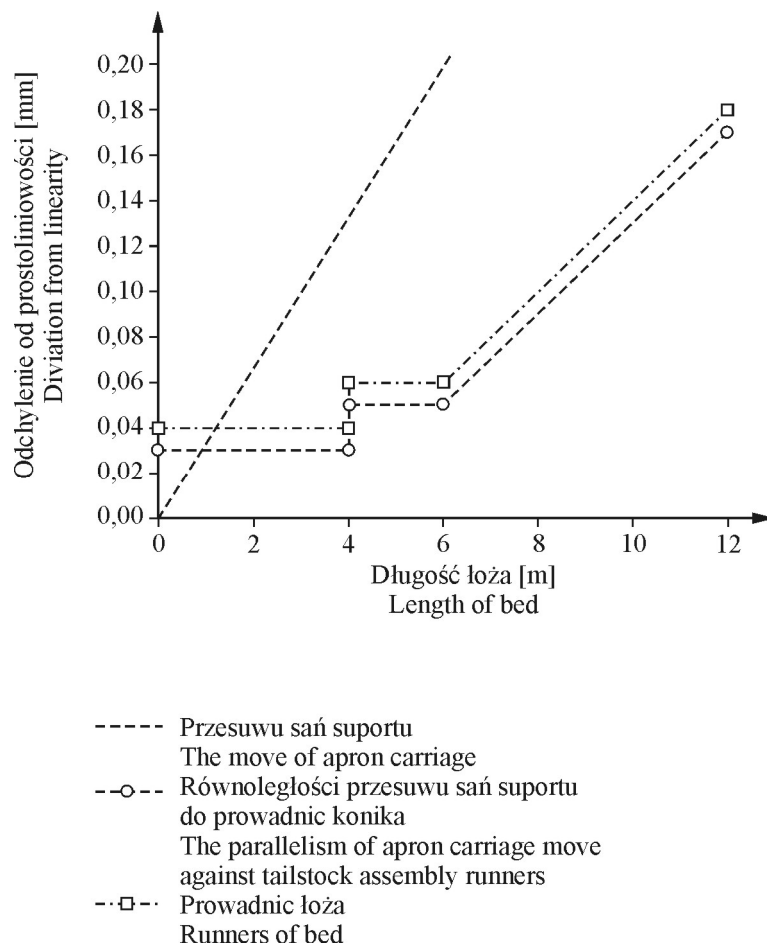
Określenie dokładności wykonania tokarki polega na proceduralnym sprawdzeniu prawidłowości geometrycznych części tokarki, które nadają przedmiotowi obrabianemu i narzędziu wzajemne położenie i ruch. Części te są pod względem geometrycznym prawidłowe, o ile błędy ich kształtu geometrycznego:

- płaskość,
- prostoliniowość,

oraz błędy wzajemnego położenia:

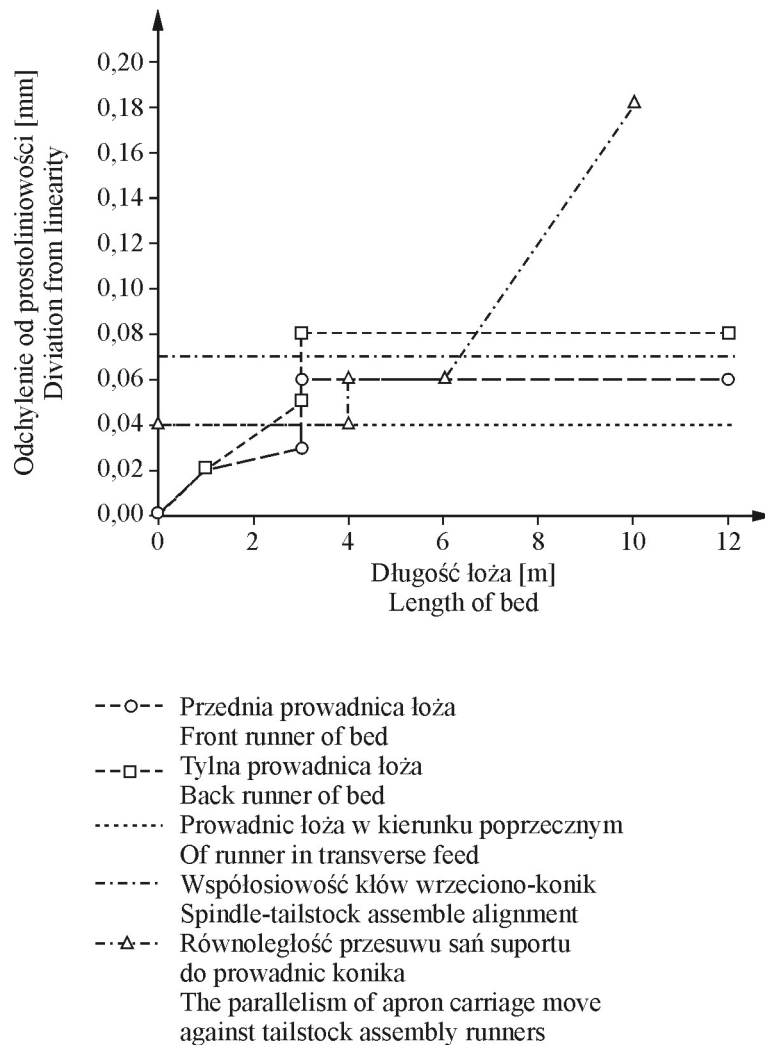
- równoległość,
- współosiowość,

nie przekraczają dopuszczalnych wartości ujętych w (Polskie Normy, 1994, 1998). Przykładowy rozkład najważniejszych dopuszczalnych odchyłek dla tokarek kłowych o średnicy przelotu nad łóżem do 1000 mm zilustrowano dla rzutu poziomego na rysunku 6.2, a dla rzutu pionowego na rysunku 6.3.



Rys. 6.2. Rozkład dopuszczalnych odchyłek geometrycznych w rzucie poziomym
Fig. 6.2. Schedule of allowed geometric mistake in horizontal section

Podczas sprawdzania tokarki używane są najczęściej następujące, znane z metrologii warsztatowej, narzędzia i przyrządy pomiarowe: liniały powierzchniowe uźebrowane i trójkątne, czujniki zegarowe, szczelinomierze o stopniowanych płytkach, poziomnice ramowe, wałki kontrolne, trzpienie kontrolne z uchwytyami stożkowymi lub z nakiełkami oraz inne przyrządy (Polskie Normy, 1994, 1998; Jakubiec, Malinowski, 1996).



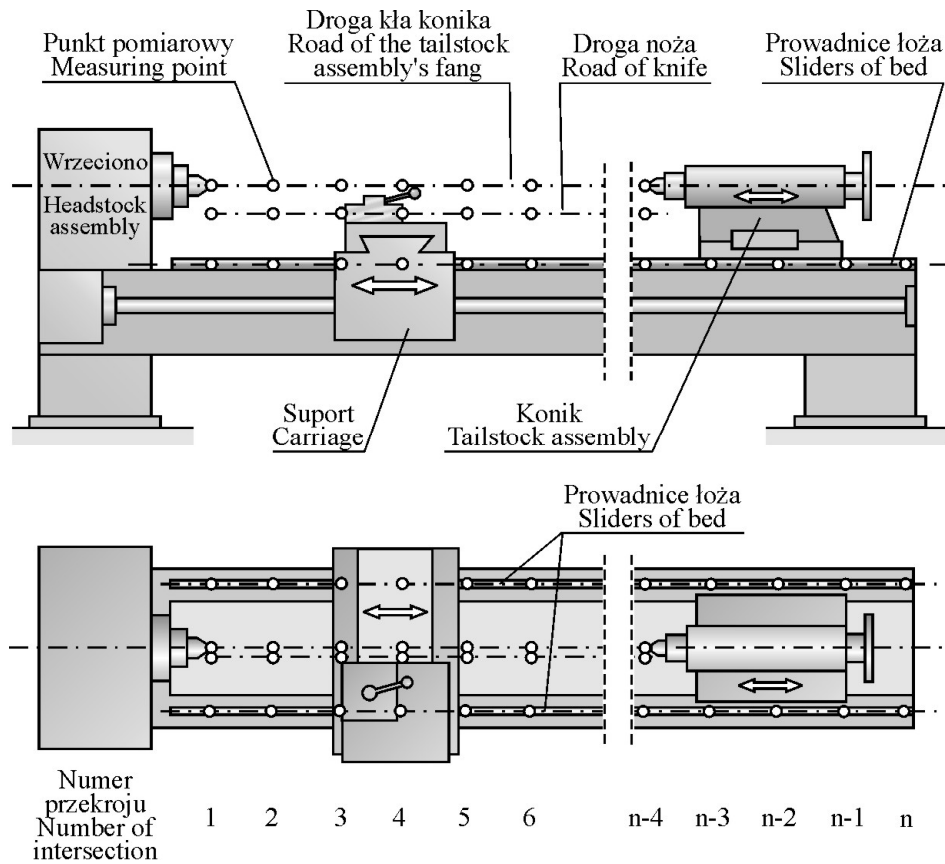
Rys. 6.3. Rozkład dopuszczalnych odchyłek geometrycznych w rzucie pionowym
Fig. 6.3. Schedule of allowed geometric mistakes in vertical section

Każda tokarka ustawiona na fundamencie, przed eksploatacją, zgodnie z przepisami technicznymi, poddawana jest kontroli szeregu parametrów geometrycznych, z których najważniejsze to:

- odchylenie od poziomu prowadnic łoża w kierunku podłużnym i poprzecznym,
- prostoliniowość prowadnic łoża w płaszczyźnie poziomej,

- prostoliniowość przesuwu sań suportu w płaszczyźnie poziomej,
- współosiowość kłów w płaszczyźnie pionowej,
- równoległość podłużnego przesuwu sań suportu do osi wrzeciona w płaszczyźnie pionowej i poziomej,
- równoległość przesuwu sań suportu do prowadnic konika w płaszczyźnie pionowej i poziomej,
- równoległość osi stożka konika do przesuwu sań suportu w płaszczyźnie pionowej i poziomej.

Zastosowanie geodezyjnych metod do pomiarów tokarki, w nawiązaniu do wyżej przytoczonych norm, wymaga rozmieszczenia i lokalizacji punktów kontrolowanych, co przedstawiono na rysunku 6.4.



Rys. 6.4. Rzut pionowy i poziomy tokarki uniwersalnej
Fig. 6.4. Vertical and horizontal section of universal turning lathe

Rezultaty pomiarów wykonanych za pomocą narzędzi i przyrządów pomiarowych używanych w metrologii warsztatowej mają charakter względny i wymagają znaczącego nakładu pracy pomiarowej, dla spełnienia dokładności opisanych w normach. Dla dużych elementów mechanicznych, ze wzrostem ich długości, szerokości lub wysokości, uzyskanie wymaganej dokładności pomiaru metodami warsztatowymi staje się problematyczne z uwagi na narastanie błędów systematycznych wnoszonych przez zastosowane warsztatowe urządzenia pomiarowe.

6.2. Propozycje metod obserwacji i oprzyrządowania pomiarowego

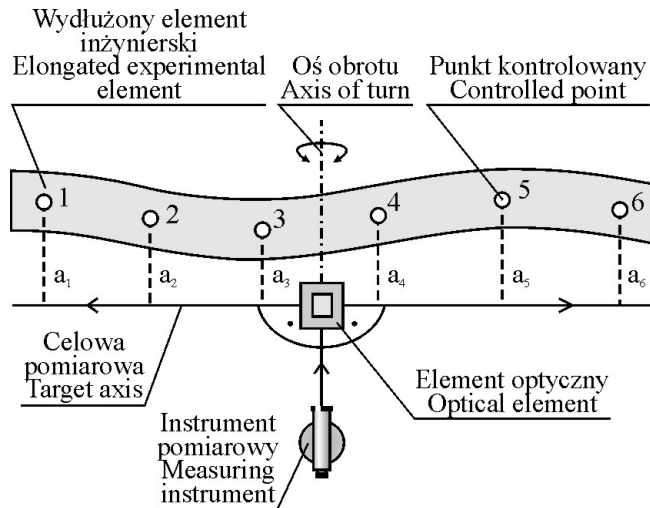
Wysokie wymagania dokładnościowe pomiarów, a także ograniczona dostępność elementów tokarki skłoniły autora do opracowania metod i oprzyrządowania pomocniczego poprawiającego warunki obserwacji. Można tu wyróżnić metody:

- prostopadłego pomiaru liniowości,
- pomiaru ruchu obrotowego z zastosowaniem techniki laserowej,
- pomiaru ruchu obrotowego z zastosowaniem techniki światłowodowej,
- pomiaru prostoliniowości przesuwu suportu w płaszczyźnie poziomej z zastosowaniem techniki światłowodowej,
- pomiaru prostoliniowości przesuwu suportu w płaszczyźnie poziomej z zastosowaniem techniki laserowej.

Dodatkowo dla pomiarów niwelacyjnych opracowano elektroniczną łąkę niwelacyjną z sygnalizatorami światłowodowymi.

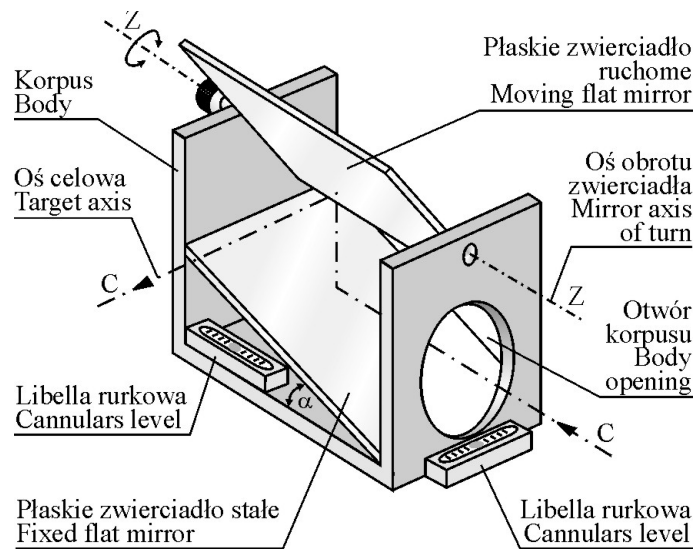
6.2.1. Metoda prostopadłego pomiaru liniowości

Pomiary prostoliniowości wydłużonych elementów inżynierskich najczęściej wykonuje się metodą stałej prostej realizowanej za pomocą pionowej płaszczyzny teodolitu, rozpiętej struny lub ukierunkowanej wiązki laserowej. W przypadku stosowania urządzeń laserowych dokonywane są odczyty położenia plamki na skali łąki odczytowej, a w przypadku rozpiętej struny – przez szacowanie położenia wspomnianej struny i jej obrazu na skali łąki wyposażonej w zwierciadło. Zaobserwowane na łąkach różnice odczytów $a_{i+1} - a_i = \Delta a$ są wielkościami odchylenia punktów kontrolowanych obiektu od danej prostej odniesienia. Z uwagi na ograniczoną dostępność obserwowanych elementów tokarki oraz mogące wystąpić przesłonięcia celowych pomiarowych opracowano metodę prostopadłego pomiaru liniowości zilustrowaną na rysunku 6.5.



Rys. 6.5. Schemat metody prostopadłego pomiaru liniowości
Fig. 6.5. Scheme of method of perpendicular linearity measure

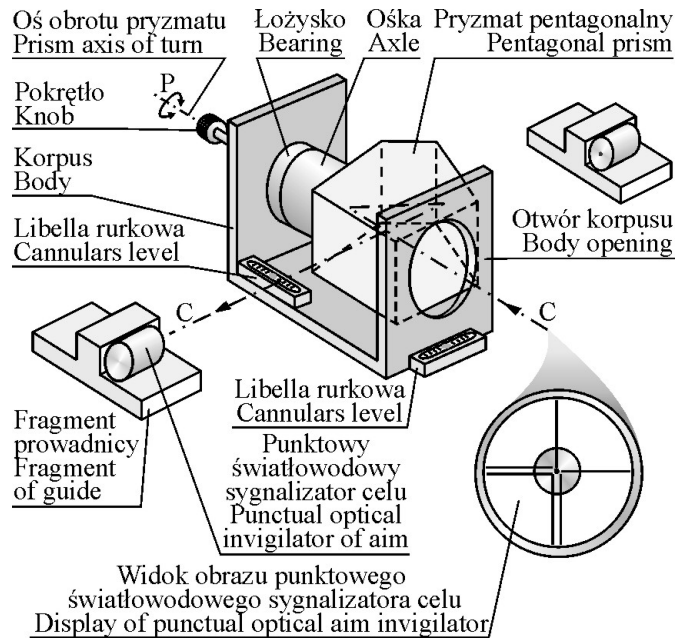
W przedstawionym na rysunku 6.5 schemacie instrumentem pomiarowym jest geodezyjny instrument optyczny lub laserowy. Natomiast elementem optycznym może być obrotowy pryzmat pentagonalny lub zestaw zwierciadeł (Ćmielewski i wsp., 1994). Na rysunku 6.6 zilustrowano element optyczny w wersji zestawu zwierciadeł.



Rys. 6.6. Schemat przyrządu zestawu zwierciadeł do realizacji prostopadłej celowej pomiarowej
Fig. 6.6. Scheme of mirror set instrument for realization perpendicular measure target line

Zestaw zwierciadeł przedstawiony na rysunku składa się z dwóch zwierciadeł płaskich, z których dolne jest na stałe zamocowane pod kątem $\alpha = 45^\circ$ do korpusu, a górne zwierciadło jest zamocowane obrotowo. Dodatkowo korpus zestawu wyposażony jest w dwie libelle rurkowe. Celowa pomiarowa, przez otwór w korpusie, skierowana jest na stałe lustro, gdzie następuje jej załamanie i skierowanie na zwierciadło ruchome kierujące promień celowej do punktu kontrolowanego. Obroty zwierciadła ruchomego wokół jego osi pozwalają uzyskać pionową płaszczyznę odniesienia, względem której dokonywane są pomiary.

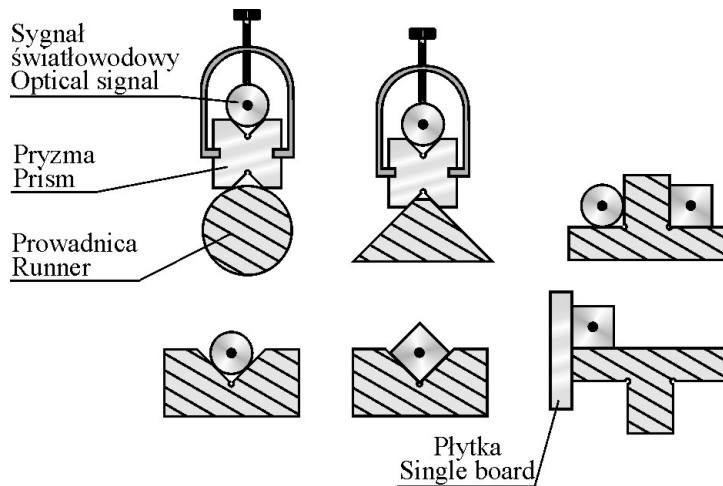
Na podobnej zasadzie działania elementu optycznego, tzn. zestawu lusterek, opracowano samodzielny obrotowy pryzmat pentagonalny przedstawiony na rysunku 6.7. Oś obrotu pryzmatu pentagonalnego w ustawieniu pomiarowym powinna być równoległa do celowej pomiarowej realizowanej przez instrument pomiarowy.



Rys. 6.7. Schemat zastosowania przyrządu pryzmatu pentagonalnego do realizacji prostopadłej celowej pomiarowej

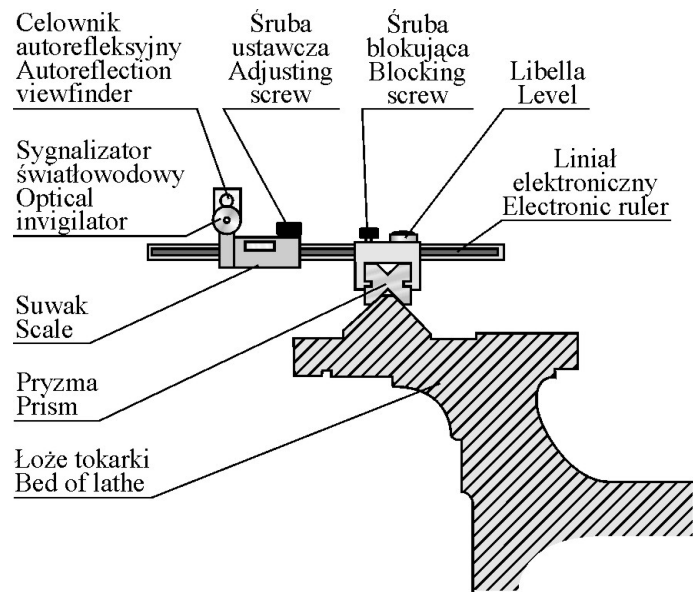
Fig. 6.7. Application scheme of pentagonal prism instrument for realization perpendicular measure target line

Celowa pomiarowa przez otwór w korpusie wprowadzana jest do pryzmatu pentagonalnego, gdzie załamana jest pod kątem prostym, a następnie poprzez obrót pryzmatu kierowana do punktowego światłowodowego sygnalizatora celu. Ruchy obrotowe pryzmatu pozwalają na dokonywanie nacelowań na punkty pomiarowe elementów tokarki. W zależności od kształtu przewodnic sygnał światłowodowy (rozdział 5.1.1) może być przykładany do przewodnicy samodzielnie lub przez pryzmę jednym z następujących sposobów, jak na rysunku 6.8.



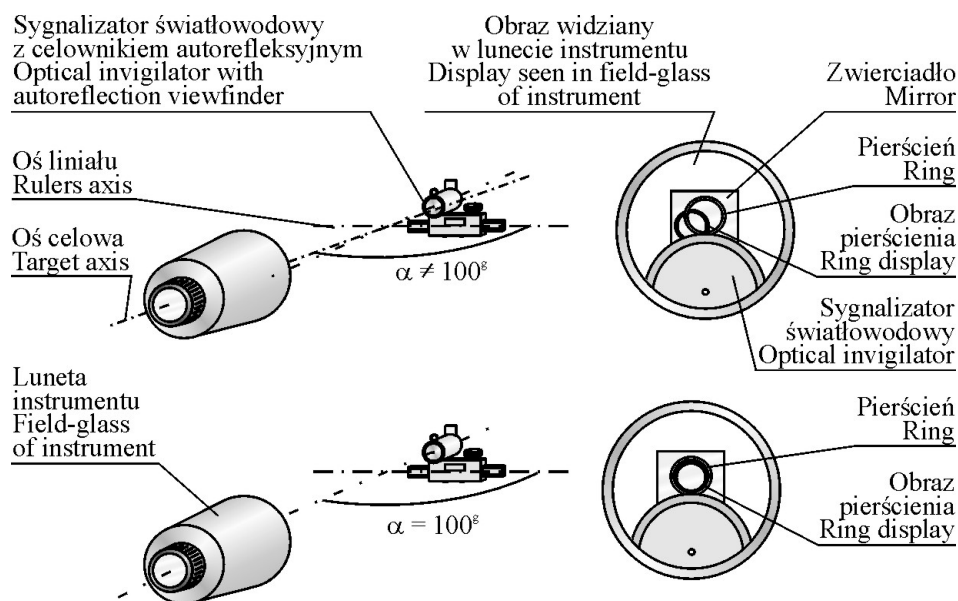
Rys. 6.8. Przykłady ustawienia sygnalizatorów światłowodowych na różnych typach prowadnic
 Fig. 6.8. Examples of set-up optical fibre indicator on different types of slide

W warunkach eksploatacji mogą wystąpić przesłonięcia celu światłowodowego ustawionego na prowadnicy. Wówczas niezbędne jest odsunięcie sygnalizatora światłowodowego o znaną wartość za pomocą liniału elektronicznego, jak na rysunku 6.9.



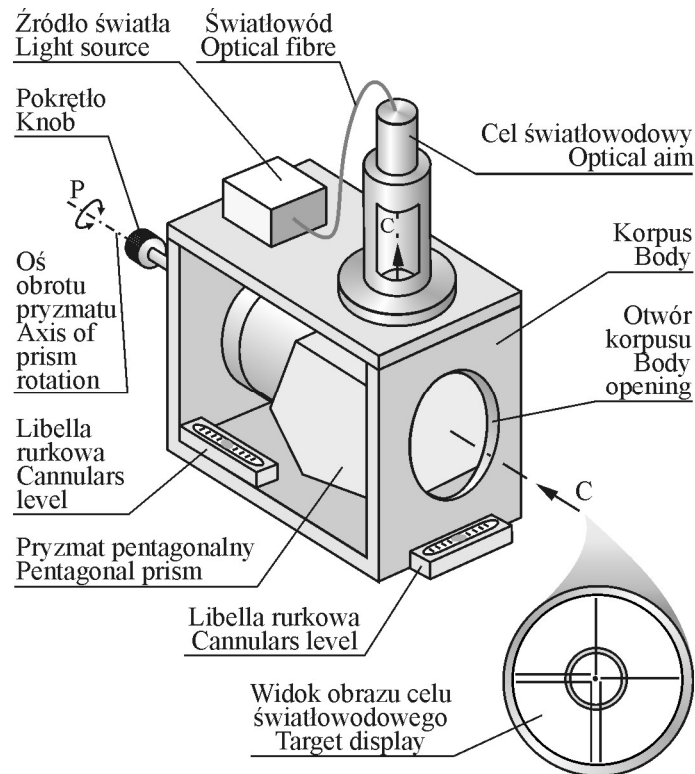
Rys. 6.9. Widok odsuniętego sygnalizatora światłowodowego w trakcie pomiarów
 Fig. 6.9. View of retreated optical fibre indicator during measurements

Podczas kontroli warunku liniowości obiektów istotne jest, aby obserwacje prowadzone na łątach bądź liniałach, nie były obciążone błędem nieprostokątności przymiaru do prostej odniesienia. Stąd też dla ograniczenia wpływu błędu nieprostokątności przymiaru, na liniale elektronicznym z sygnalizatorem światłowodowym, umieszczono celownik autorefleksyjny, którego działanie przedstawiono na rysunku 6.10.



Rys. 6.10. Zasada działania celownika autorefleksyjnego (projekt)
 Fig. 6.10. Principle of auto-reflective viewfinder operation (project)

Dla uzyskania stałego punktu odniesienia służącego do kontroli położenia osi celowej instrumentu pomiarowego zaopatrzono dodatkowo korpus pryzmatu pentagonalnego w stały cel światłowodowy, jak na rysunku 6.11.



Rys. 6.11. Budowa przyrządu pryzmatu pentagonalnego ze stałym celem światłowodowym
 Fig. 6.11. Structure of pentagonal prism instrument with constant optical fibre target

W trakcie prowadzenia obserwacji stały cel światłowodowy pozwala ocenić stabilność położenia celowej pomiarowej, co ma istotne znaczenie w pomiarach precyzyjnych.

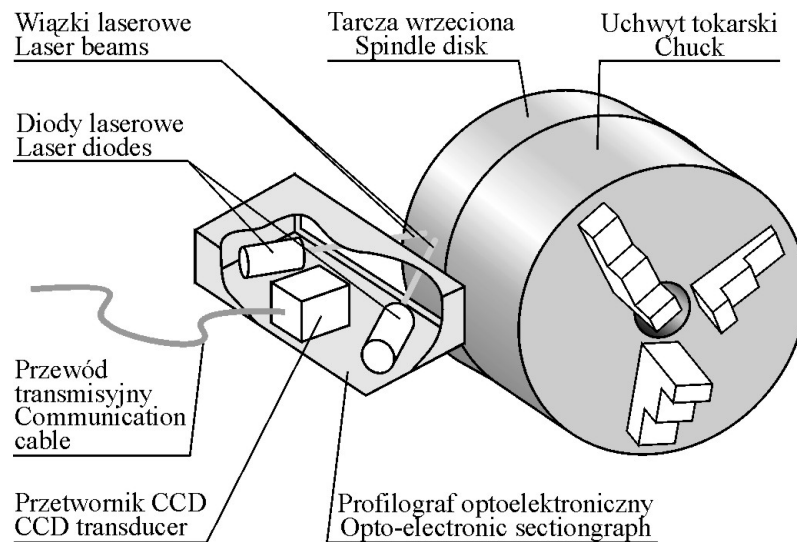
6.2.2. Metody pomiaru ruchu obrotowego

Elementy konstrukcyjne tokarek pracujące w ruchu obrotowym sprawdzane są w odniesieniu do istniejących wad związanych z owalnością, biciem promieniowym osi w danym punkcie (niepokrywanie się osi geometrycznej części z jej osią obrotu), nieprostokątnością powierzchni płaskich do osi obrotu oraz okresowych przesunięć w dodatkowym ruchu posuwisto-zwrotnym.

Podzespoły techniki światłowodowej i laserowej umożliwiły opracowanie bezstykowych metod pomiaru ruchu obrotowego przy zastosowaniu profilografu optoelektronicznego oraz sygnalizatora światłowodowego z przetwornikiem CCD i przenośnym komputerem.

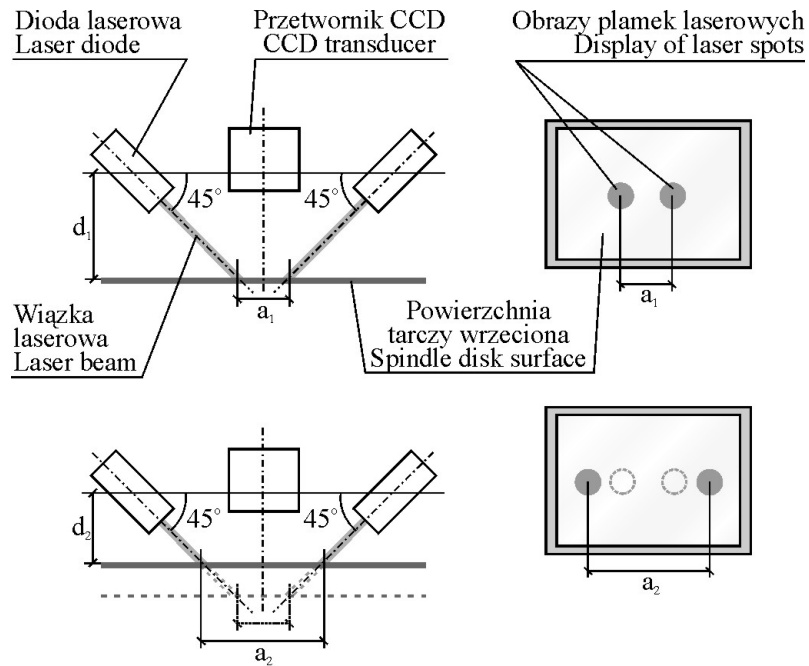
6.2.2.1. Metoda pomiaru ruchu obrotowego z zastosowaniem techniki laserowej

Sposób pomiaru bazuje na obserwacji przetwornikiem CCD z rejestracją komputerową przecinających się wiązek laserowych emitowanych przez diody laserowe na element obrotowy obrabiarki (np. tarcza wrzeciona). Następnie z analizy obrazowej rozstępu plamek laserowych widocznych na wspomnianym elemencie obrotowym określa się występujące wady ruchu obrotowego. Na rysunku 6.12 przedstawiono profilograf optoelektroniczny w trakcie obserwacji tarczy wrzeciona tokarki.



Rys. 6.12. Widok profilografu optoelektronicznego w trakcie obserwacji
Fig. 6.12. View of optoelectronic sectioning graph during observation

Na rysunku 6.13 przedstawiono zasadę działania i wyznaczania wartości odchyłek ruchu obrotowego elementów wirujących obrabiarek.

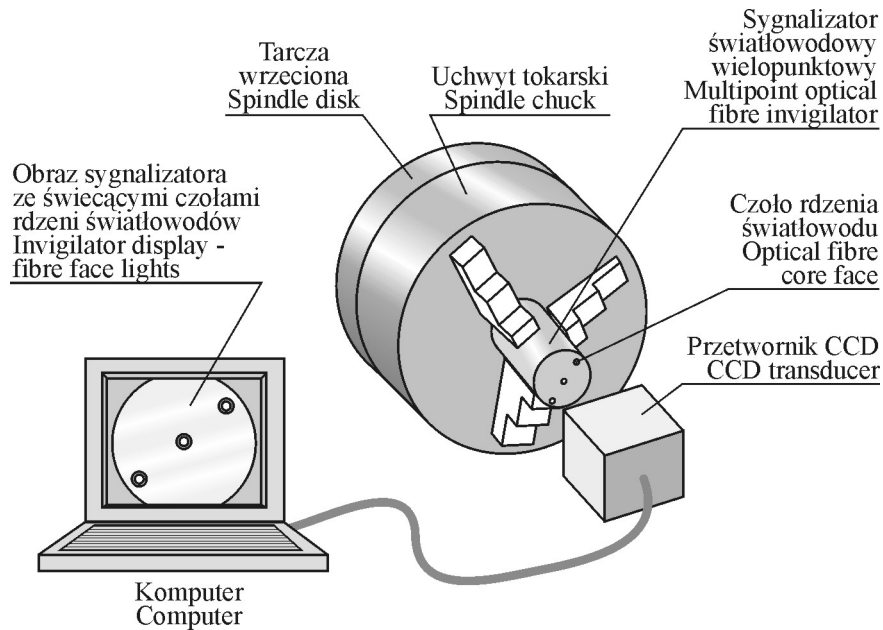


Rys. 6.13. Zasada działania i wyznaczania odchyłek podczas ruchu obrotowego
 Fig. 6.13. Principle of operation and establishing of mistakes during rotary movement

Przy konstrukcyjnym ustawieniu przecięcia się wiązek laserowych profilografu optoelektronicznego pod kątem – przesunięcie równoległe powierzchni tarczy wrzeciona tokarki o pewną wartość odpowiada występującemu rozstępowi pomiędzy plamkami obserwowanymi przetwornikiem CCD na powierzchni tarczy. Stąd też rejestrując obrazy plamek w kolejnych fazach obrotu elementu wirującego (tarczy), można na podstawie analizy obrazu w przenośnym komputerze określić wartości mierzonych odchyłek.

6.2.2.2. Metoda pomiaru ruchu obrotowego z zastosowaniem techniki światłowodowej

Innym rozwiązaniem pomiaru odchyłek ruchu obrotowego może być umieszczenie wielopunktowego sygnalizatora światłowodowego w elemencie obrotowym (np. uchwyt tokarski) i jego obserwacja przetwornikiem CCD oraz analiza obrazów świecących czół rdzeni światłowodów w kolejnych fazach ruchu obrotowego. Na rysunku 6.14 przedstawiono usytuowanie sygnalizatora oraz przetwornika CCD w trakcie pomiarów.

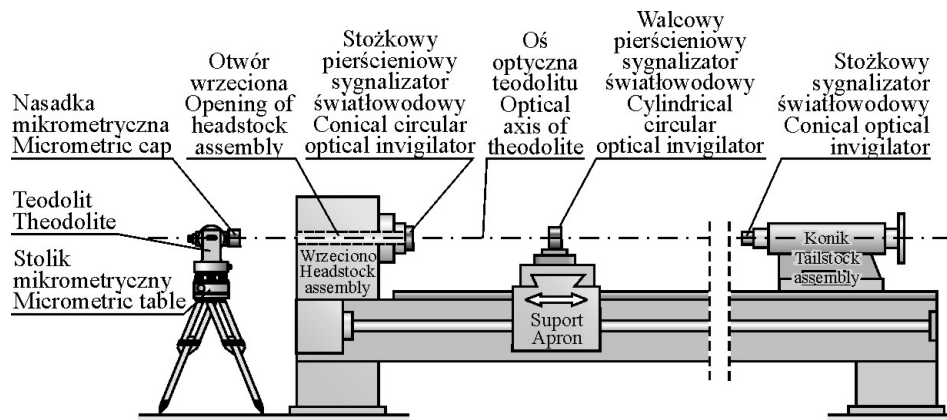


Rys. 6.14. Widok wielopunktowego sygnalizatora oraz przetwornika CCD w czasie obserwacji odchyłek ruchu obrotowego
 Fig. 6.14. View of multipoint indicator and charge-coupled device converter during observation of rotary movement closure

W czasie pomiarów istnieje możliwość wprowadzenia kombinacji (jeden, dwa, trzy lub więcej) obserwacji świecących czół światłowodów, uzyskując tym samym zwiększenie wiarygodności pomiarów.

6.2.3. Metoda pomiaru prostoliniowości przesuwu suportu w płaszczyźnie poziomej z zastosowaniem techniki światłowodowej

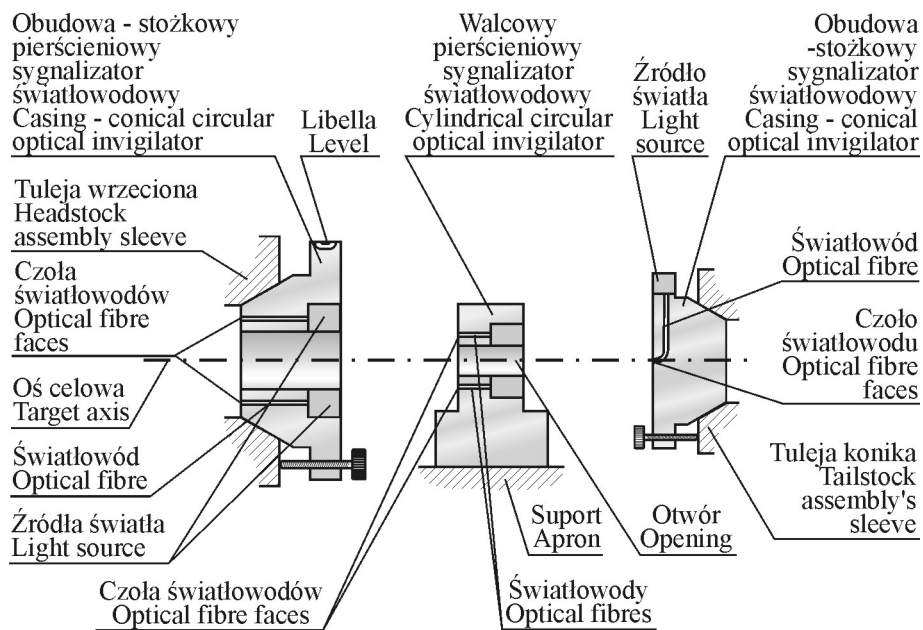
Prostoliniowość przesuwu suportu tokarek w płaszczyźnie poziomej (Polska Norma, 1994) jest jednym z głównych warunków geometrycznych mających wpływ na dokładność obróbki w procesach produkcyjnych. Sygnalizatory światłowodowe osadzone w odpowiednich obudowach pozwalają na sprawdzenie wspomnianego warunku metodą optyczną z zastosowaniem teodolitu, jak na rysunku 6.15.



Rys. 6.15. Schemat sprawdzenia warunku prostoliniowości przesuwu suportu tokarek w płaszczyźnie poziomej

Fig. 6.15. Scheme of verification of rectilinear clause of turning lathe movement in horizontal plane

Promień celowej przechodzącej przez otwór wrzeciona tokarki – przed pomiarem wtyczany jest w oś rozstawu kłów, których teoretyczne położenie sygnalizują osadzone w tulei wrzeciona i konika obudowy z sygnalizatorami światłowodowymi, jak na rysunku 6.16.



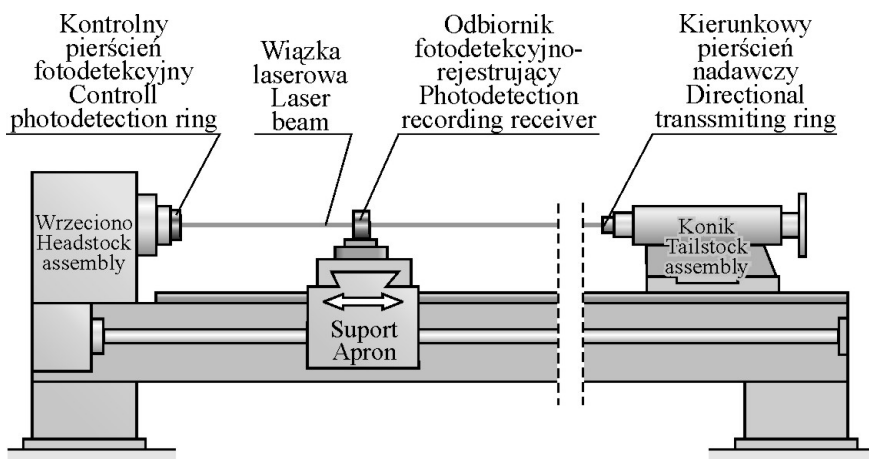
Rys. 6.16. Widok w przekroju ustawienia sygnalizatorów światłowodowych w czasie obserwacji

Fig. 6.16. Section view of optical fibre indicators setup during observations

Płaszczyzna kolimacyjna wyznaczona przez oś celową teodolitu w czasie obserwacji stanowi odniesienie do wyznaczania odchyłek od prostoliniowości przesuwu suportu. Wielkości odchyłek wyznaczone są za pomocą stolika mikrometrycznego, na którym ustawiony jest instrument, bądź nasadki mikrometrycznej założonej na przednią część obiektywu.

6.2.4. Metoda pomiaru prostoliniowości przesuwu suportu w płaszczyźnie poziomej z zastosowaniem techniki laserowej

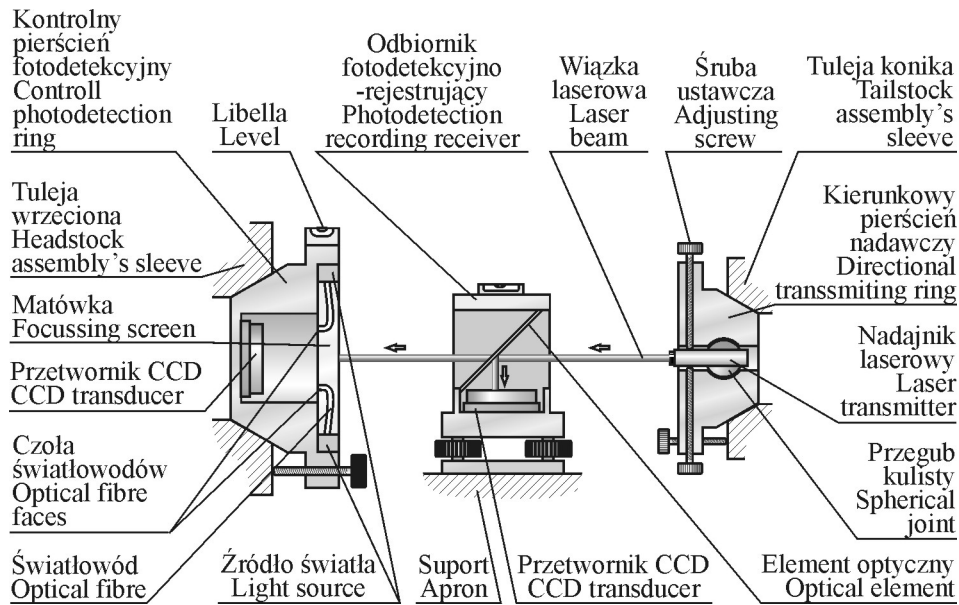
Opisany w podrozdziale 5.2.2.1 odbiornik pomiarowy zintegrowanego zestawu aliniometru laserowego do obserwacji wielopunktowych można zastosować do pomiaru prostoliniowości przesuwu suportu w ustawieniu jak na rysunku 6.17.



Rys. 6.17. Schemat ustawienia na tokarce zestawu laserowego z odbiornikiem kontrolnym i pomiarowym

Fig. 6.17. Set-up scheme of laser set with control and measure receiver on turning lathe

Stanowi on wówczas odbiornik fotodetekcyjno-rejestrujący występujących odchyłek przesuwu suportu od prostoliniowości. W teoretycznej osi rozstawu kłów konika i wrzeciona umieszczona jest wiązka laserowa emitowana z kierunkowego pierścienia nadawczego osadzonego w koniku do kontrolnego pierścienia fotodetekcyjnego umieszczonego w tulei wrzeciona. Ukierunkowana wiązka laserowa stanowi odniesienie wykonywanych obserwacji. Na rysunku 6.18 przedstawiono w przekroju rozmieszczenie z powiązaniem funkcjonalnym poszczególnych elementów zestawu pomiarowego.

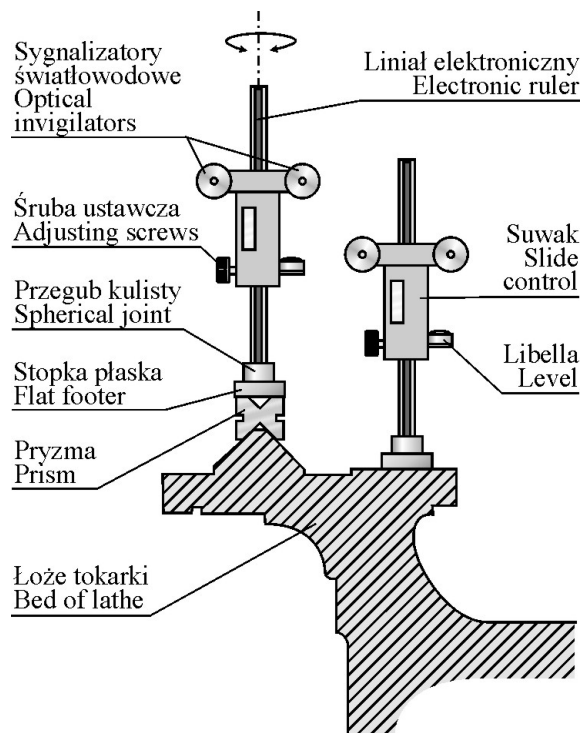


Rys. 6.18. Widok rozmieszczenia funkcjonalnego laserowego zestawu pomiarowego
 Fig. 6.18. View of arrangement of functional laser measure set

Położenie wiązki laserowej podczas badań prostoliniowości kontrolowane jest za pomocą pierścienia fotodetekcyjnego. Wyposażony jest on w przedniej części w ekran matówkę z osadzonymi symetrycznie kilkoma światłowodami (np. cztery), stanowiącymi odniesienie położenia rzutowanej wiązki.

6.2.5. Pomiary prostoliniowości w płaszczyźnie pionowej

Elementy tokarek podlegające pomiarom prostoliniowości w płaszczyźnie pionowej usytuowane są w niewielkich odstępach pionowych. Jednakże ich wzajemne położenie wyznaczone jest z dużą dokładnością (Polskie Normy, 1994). Liniąły elektroniczne pozwalające wykonywać pomiary długości z dokładnościami rzędu setnych części milimetra, po wyposażeniu w sygnalizatory światłowodowe, mogą w ustawieniu pionowym stanowić „łaty niwelacyjne” (rys. 6.19).



Rys. 6.19. Schemat ustawienia liniałów elektronicznych z sygnalizatorami światłowodowymi „łaty niwelacyjne” na fragmencie prowadnic łoża tokarki
 Fig. 6.19. Set-up scheme of electronic ruler with optical fibre indicators “level rod” on fragment of trail turning lathe slide

Po ustawieniu liniału elektronicznego z sygnalizatorem światłowodowym na badanym punkcie pomiarowym w pionowym ustawieniu – wykonuje się naprowadzenia sygnalizatorów światłowodowych w oś celową niwelatora, a następnie na wyświetlaczu suwaka odczytywana jest bieżąca pionowa odległość od stopki łąty. Występujące na punktach pomiarowych różnice odległości pionowych pozwalają określić odchyłki od prostoliniowości w płaszczyźnie pionowej i porównać je z odchyłkami podanymi dozwolonymi normami branżowymi (Polskie Normy, 1994).

7. PODSUMOWANIE

Obiekty oraz konstrukcje inżynierskie zarówno na etapie budowy, jak również w trakcie eksploatacji wymagają specjalistycznych pomiarów geodezyjnych sprawdzających wymogi projektowe oraz dostarczających danych geometrycznych dla oceny stanu budowli. Także typowe zagadnienia pomiarowe na współczesnych obiektach coraz częściej rozwiązywane muszą być w sposób szczególny, uwarunkowane są bowiem przez: wymiary i ograniczenia przestrzeni obserwacyjnej, powiązania technologiczne podzespołów konstrukcji oraz zjawiska fizyczne, które oddziałują zarówno na promień celowej instrumentów geodezyjnych, jak i na geometrię obiektu oraz przyrządy pomiarowe. Tworzenie nowych oraz ulepszanie stosowanych technik i technologii pomiarowych stanowi z jednej strony odpowiedź na aktualne potrzeby, z drugiej pozwala osiągnąć coraz lepsze efekty dokładnościowe i ekonomiczne z uwzględnieniem czasochłonności i ergonomii.

Taki cel mają przedstawione w rozprawie rozwiązania konstrukcyjno-technologiczne aparatury geodezyjnej dotyczące:

- sygnalizacji geodezyjnych punktów pomiarowych;
- pomiaru różnic wysokości, pochyłeń oraz odchyłeń od prostej odniesienia;
- kontrolowania wybranych parametrów pomiarowych i warunków geometrycznych instrumentów geodezyjnych.

Podstawy konstrukcyjne zaprezentowanych projektowych przyrządów i systemów oparto na technice optoelektronicznej wykorzystując w szczególności: laser półprzewodnikowy, matrycę CCD oraz światłowody. Wszystkie przedstawione w rozprawie rozwiązania są nowatorskimi propozycjami autorskimi lub współautorskimi. Ich aplikacja w geodezji inżynierskiej i instrumentoznawstwie geodezyjnym pozwoli na podniesienie jakości uzyskanych informacji pomiarowych oraz na optymalizację procesu ich pozyskiwania. Ma to szczególne znaczenie dla obiektów i ich elementów konstrukcyjnych, które z uwagi na kształt geometryczny lub powiązania technologiczne są częściowo lub całkowicie niedostępne dla tradycyjnych technik pomiarowych.

Proponowane konstrukcje przyrządów i systemów pomiarowych prezentowane są w postaci projektów lub prototypów, które testowano w laboratorium geodezyjnym Katedry Geodezji i Fotogrametrii Akademii Rolniczej we Wrocławiu.

Główne efekty zastosowania proponowanych w pracy rozwiązań konstrukcyjnych i metodycznych to:

1. Rozszerzenie zakresu obsługi geodezyjnej obiektu inżynierskiego na miejsca niedostępne, czasowo niedostępne lub o utrudnionej dostępności dla tradycyjnych technik pomiarowych przez aplikacje: światłowodowych sygnalizatorów celu (rozdział 5.1.1), laserowych sygnalizatorów celu (rozdział 5.2.1), laserowej stopki sygnalizacyjnej (rozdział 5.2.2.3), łąty światłowodowej (rozdział 5.1.2.5), dwurefleksyjnego przyrządu (rozdział 5.1.1.7), mechanicznych sygnalizatorów celu (rozdział 5.3.1).

2. Zwiększenie wiarygodności wyników pomiarów przez wykonywanie zautomatyzowanych, wielopunktowych obserwacji telemetrycznych obiektu za pomocą: optoelektronicznego pionu światłowodowego (rozdział 5.1.2.4), zintegrowanego zestawu aliniometru do obserwacji wielopunktowych (rozdział 5.2.2.1), systemu do pomiaru odchyłeń od prostej odniesienia (rozdział 5.3.2.1), pętli światłowodowej (rozdział 5.1.2.6), zintegrowanego systemu laserowego (rozdział 5.2.2.7), a także stykowej sygnalizacji punktów pomiarowych za pomocą sygnalizatorów światłowodowych (rozdział 5.1.1) i mechanicznych (rozdział 5.3.1).
3. Polepszenie ergonomiczności pomiarów przez zminiaturyzowanie sygnalizacji punktów pomiarowych celów za pomocą światłowodu, wiązki laserowej, znikomej grubości nici, opisanych w pracy jako: światłowodowe sygnalizatory celu (rozdział 5.1.1), laserowe sygnalizatory celu (rozdział 5.2.1), mechaniczne sygnalizatory celu (rozdział 5.3.1), a także zastosowanie portatywnych stanowisk ekscentrycznych i reperowych: przystawka – statyw ekscentryczny (rozdział 5.3.2.2), stół reperowy (rozdział 5.3.2.4).
4. Poprawa efektywności procedur sprawdzenia i rektyfikacji wybranych parametrów instrumentów geodezyjnych przez opracowanie kameralnych stanowisk kontrolnych do: określenia dokładności pomiaru kątów poziomych (rozdział 5.4.1) oraz pionowych (rozdział 5.4.2), sprawdzenia i rektyfikacji warunków geometrycznych instrumentów kątomierzcznych (rozdział 5.4.3), sprawdzenia i rektyfikacji pionowników instrumentów geodezyjnych (rozdział 5.4.4).
5. Zwiększenie bezpieczeństwa i higieny pracy przez ograniczenie czynności ustawczych przy sygnalizowaniu punktów pomiarowych oraz zmniejszenie ilości sprzętu pomiarowego, co osiągnięto przez opracowanie: światłowodowych sygnalizatorów celu (rozdział 5.1.1), laserowych sygnalizatorów celu (rozdział 5.2.1), mechanicznych sygnalizatorów celu (rozdział 5.3.1).

Przeprowadzone badania testowe wybranych prototypów pozwoliły również na określenie ich dokładności pomiarowej (tab. 7.1).

Tabela 7.1

Table 7.1

Wyniki testowania wybranych ważniejszych przyrządów i systemów pomiarowych opracowanych i skonstruowanych przez autora

Test results for the major instruments and measurements systems designed and constructed by author

Systemy i przyrządy Systems and instruments	Testowana wielkość Tested value		Dokładność pomiaru (odczytu) Accuracy of measurement	Długość testowa [m] Test length	
				Minimalna Minimum	Maksymalna Maximum
Światłowodowe sygnalizatory celu (o średnicy rdzenia 0,05 mm)	kierunek	poziomy	2,0 – 3,0 ^{cc}	5,0	45,0
		pionowy	1,9 – 2,9 ^{cc}		
Tarcza autorefleksyjna (średnica rdzenia 0,98 mm)	ką t	poziomy	1,0 ^{cc} – 2,1 ^{cc}	1,0	50,0
		pionowy	1,0 ^{cc} – 3,1 ^{cc}		
Łata światłowodowa	przewyższenie		0,01 – 0,06 mm	2,5	25,0
Sygnalizator laserowy pojedynczy	kierunek poziomy		2,1 – 5,0 ^{cc}	5,0	60,0
Zestaw pionu laserowego	nachylenie		0,04 mm	0,4	
Laserowa stopka sygnalizacyjna	wysokość punktu		0,16 – 0,20 mm		
Sygnalizator ramowy (nić metalowa o średnicy 0,04 mm)	kierunek poziomy		1,6 – 9,7 ^{cc}	2,0	8,0
Sygnalizator prętowy	kierunek poziomy		4,1 – 5,9 ^{cc}	5,0	50,0
Stanowisko do określania dokładności pomiaru kątów poziomych	kierunek poziomy (TC 1800 o dokładności standardowej pomiaru kierunku poziomego 3 ^{cc})		0,70 – 0,72 ^{cc}	2,5	
Stanowisko do sprawdzania i rektyfikacji pionowników instrumentów geodezyjnych	przesunięcie wiązki laserowej (TC 407)		0,03 mm	1,5	

Przedstawione rozwiązania konstrukcyjne posiadają również ograniczenia mające wpływ na dokładność pomiarową oraz zakres aplikacji. Są to ograniczenia środowiskowe, a w szczególności drgania, niejednorodność atmosfery (turbulencja, refrakcja), przejrzystość atmosfery (zapylenie, zadymienie, para wodna), ograniczenia obserwacyjne wynikłe w szczególności z niedużego zasięgu przestrzeni obserwacji.

8. WNIOSKI KOŃCOWE

- Przedstawione w pracy systemy i przyrządy pomiarowe mogą współpracować z klasycznymi instrumentami geodezyjnymi (tachymetrem, teodolitem, niwelatorami, pionownikami, aliniometrami).
- Testy porównujące zaprezentowane systemy i przyrządy pomiarowe z klasycznymi metodami pomiarowymi dały wyniki, które pod względem dokładności są co najmniej porównywalne.
- Proponowane przyrządy i systemy (optoelektroniczny pion światłowodowy, pętla światłowodowa, zintegrowany zestaw aliniometru laserowego, zestaw pionu laserowego, system do pomiaru odchyleń od prostej odniesienia) mogą być stosowane w monitoringu obiektu inżynierskiego.
- Przedstawione w pracy rozwiązania systemów i przyrządów mogą być wykorzystane do zwiększenia wiarygodności prowadzenia prac naukowych związanych z badaniem przyczyn przemieszczeń, odkształceń i deformacji obiektów inżynierskich.
- Zaprezentowane konstrukcje przyrządów i systemów mogą znaleźć zastosowanie w geodezji inżynierskiej w pracach inwentaryzacyjnych obiektów technicznych (zbiorniki, suwnice, itp.) oraz w pracach realizacyjnych i kontrolno-pomiarowych przy obsłudze dużych maszyn i urządzeń mechanicznych (tokarki, frezarki, walcarki itp.).
- Wizualizacja geodezyjnych celów sygnalizatorami światłowodowymi stwarza możliwości poprawienia warunków celowania w przestrzeni obserwacyjnej poprzez dostosowanie natężenia światła do indywidualnych cech psychomotorycznych obserwatora.
- Wykonanie zaprezentowanych w pracy prototypów przyrządów jest możliwe wobec powszechnej dostępności zunifikowanych elementów i podzespołów optoelektronicznych.
- Z badań i analiz przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych wynika, że dokładność pomiarowa przyrządów wspomagających zależy od założonego rozwiązania konstrukcyjnego oraz zastosowanych w prototypie lub modelu części mechanicznych i optoelektronicznych.

9. PIŚMIENNICTWO

- Anigacz W., Ćmielewski K.**, 2004. Autokolimacyjna metoda badania warunków osiowych ustawiania walcarki typu „Sendzimir” ZR. *Przegląd Geodezyjny* nr 11, Warszawa, 12–15.
- Ashkenazi V., Beamson G., Bingley R., Dodson A., Dumville M.**, 1994. Monitoring absolute changes in mean sea level. *Proceedings of 1st Turkish International Symposium on Deformations, Istanbul (Turkey), 5–9 September*, pp. 40–45.
- Ayson I. J., Lang C.**, 1996. Survey monitoring and instrumentation techniques adopted during the construction of Hong Kong’s new airport at Chek Lap Kok. *Proceedings of 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Hung Hom (Hong Kong), 25–28 June*, pp. 405–419.
- Azzoni A., Giussani A., Mazzà G., Scaioni M., Vassena G.**, 1998. Tests and analysis of the automatic collimator ISAC 5000 for dam monitoring. *Proceedings of XXI Congress FIG, Commission 6, Brighton (United Kingdom), 19–25 July*, pp. 429–442.
- Backhausen D., Bäumker M., Fitzen H.-P.**, 2000: Hochgenaue Überwachung von Bauwerken mit fest installierten Real-Time-GPS-Systemem. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 11/2000, 369–376.
- Bahnert G.**, 1982. Die Bestimmung der terrestrischen Refraktion aus der Dispersion des Lichtes. *Vermessungstechnik* nr 30, Berlin, z. 2, 52–55.
- Beaven G., Boutruche J. P., Geisler J.**, 1996. *Optical fibres*. EPO Applied Technology. Series Volumes. Pergamon Press, Oxford–New York, Toronto–Sydney–Frankfurt.
- Booth K., Hill S.**, 2001. *Optoelektronika*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Brunner F. K.**, 1984. Modeling of atmospheric effects on terrestrial geodetic measurements. In: *Geodetic Refraction*. Springer Verlag, Berlin.
- Bryś H.**, 1996. Verallgemeinertes Modell der Fluchtlinienrefraktion mit streckenweise wirkendem Temperaturfeld in geschlossenen Räumen. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, nr 11–12/1996, 421–427.
- Bryś H.**, 2002. Modelltheoretische Bestimmung von temperaturinduzierten Deformationen bei statischen Belastungsproben von Stahlbrücken. *Flächenmanagement und Bodenordnung*, Heft 4, August 2002, 192–196.
- Bryś H., Ćmielewski K.**, 2003. System pomiarowy do telemetrycznego wyznaczenia zmian położenia drutu wahadła. VI Konferencja Naukowo-Techniczna pt.: „Problemy Automatyzacji w Geodezji Inżynieryjnej”, Warszawa–Białobrzegi, 31–40.
- Bryś H., Mirek G.**, 2005. Vollautomatisches Multi-Sensoren-Messsystem MSM zum Bestimmen der vertikalen Biegelinie von Staumauern. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, nr 5/2005, 182–187.
- Bryś H., Przewłocki S.**, 1998. *Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- Cacoń S.**, 2001. Problem wiarygodności geodezyjnych pomiarów deformacji obiektów inżynierskich w relacji obiekt–górotwór. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*, Warszawa, t. 48, zeszyt 102, 131–142.
- Cacoń S., Švábenský O., Kontny B., Wiegel J., Jamroz O., Ćmielewski K., Bosy J., Kaplon J., Machotka R.**, 2004. Deformation analysis of the upper part of the earth crust in the Sněžnik Massif (polish and czech sides between 1993 and 2003). *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Formerly *Acta Montana*, Vol. 1, No. 3 (135), 59–67. Prague.
- Carosio A., Ebnetter F.**, 1998. Geodetic methods, mathematical models and quality management for underground surveying in the Swiss AlpTransit project. *Proceedings of XXI Congress FIG, Commission 6, Brighton (United Kingdom)*, 19–25 July, pp. 407–426.
- Casaca J., Henriques M. J.**, 1994. Numerical modeling of atmospheric refraction. *Proceedings of 1st Turkish International Symposium on Deformations, Istanbul (Turkey)*, 5–9 September, pp. 116–125.
- Caspery W., Heister H., Sutor Th.**, 1993. An alignment system based on diffraction. *Proceedings of 7th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Banff (Alberta)*, 3–5 May, pp. 187–192.
- Chrzanowski A., Szostak-Chrzanowski A., Bastin G., Lutes J.**, 1998. Ground subsidence studies in potash mines. *Proceedings of XXI International Congress FIG, Commission 6, Brighton (United Kingdom)*, 19–25 July, pp. 202–216.
- Cosandier D. D., Chapman M. A.**, 1993. High precision target location for industrial metrology. *Proceedings of 7th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Banff (Alberta)*, 3–5 May, pp. 258–269.
- Czompo J., Schwarz K. P., Martell H. E., Sideris M. G.**, 1991. A unified alignment model for rotating machinery. *International Association of Geodesy Symposia, Symposium No. 108 Stuttgart, (Germany)*, 13–17 May, pp. 114–125.
- Ćmielewski K.**, 2000. Uwarunkowania geometryczno-fizyczne zastosowania światłowodów do testowania dalmierzy elektrooptycznych. *Zesz. Nauk. AR, Geodezja i Urządzenia Rolne XVII*, nr 394, Wrocław, 109–166.
- Ćmielewski K.**, 2002d. Markowanie punktów geodezyjnych na elementach obiektów inżynierskich nasadkowym segmentem światłowodowym. *Zesz. Nauk. AR, Geodezja i Urządzenia Rolne XIX*, nr 450, Wrocław, 23–28.
- Ćmielewski K.**, 2002e. Propozycja optycznego centrowania instrumentów geodezyjnych z zastosowaniem przystawki zwierciadlano-światłowodowej. *Zesz. Nauk. AR, Geodezja i Urządzenia Rolne XIX*, nr 450, Wrocław, 29–35.
- Ćmielewski K.**, 2002f. Projekt światłowodowej tarczy autorefleksyjnej. *Zesz. Nauk. AR Geodezja i Urządzenia Rolne XIX*, nr 450, Wrocław, 43–48.
- Ćmielewski K.**, 2002g. A concept of a method of remote determination of the air temperature along a sight line of surveying instruments. *Geodezja i Kartografia*, Warszawa, t. LI, z. 3, 133–139.
- Ćmielewski K.**, 2002h. Koncepcja światłowodowej sygnalizacji celu w geodezyjnych pomiarach kątowych na niedużych obiektach inżynierskich. *Acta Scientiarum Polonorum* nr 1(1–2)/2002, Wrocław, 45–49.

- Ćmielewski K.**, 2003d. Lichtleiter-Schleife zur telemetrischen Temperaturbestimmung mit elektrooptischen Distanzmesser. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, nr 10, Heidelberg, 335–339.
- Ćmielewski K.**, 2003e. Światłowodowa łąta niwelacyjna do pomiaru wysokości punktów niedostępnych. *Acta Scientiarum Polonorum* nr 2(1–2)/2003, Wrocław, 81–88.
- Ćmielewski K.**, 2004b. Laboratoryjne stanowisko do empirycznego określania dokładności pomiarów kątowych teodolitów i tachymetrów. *Acta Scientiarum Polonorum, Geodezia at Descriptio Terrarum*, nr 3(1–2), Wrocław, 49–56.
- Ćmielewski K., Kowalski K.**, 2003. Testowanie zestawu pomiarowego do wyznaczania różnic wysokości pomiędzy reperami. *Acta Scientiarum Polonorum, Geodezia at Descriptio Terrarum*, nr 2(1–2), Wrocław, 89–95.
- Ćmielewski K., Kowalski K.**, 2004. Wybrane warianty przyrządów do pomiaru odległości na celowych przesłoniętych. *Zesz. Nauk. AR, Geodezja i Urządzenia Rolne XXII Nr 500*, Wrocław, 7–14.
- Ćmielewski K., Kowalski K.**, 2005. Realizacja pomiarów kątowych w warunkach niewidoczności obrazu celu. *Acta Scientiarum Polonorum, Geodezia at Descriptio Terrarum*, nr 4(1–2), Wrocław, 79–85.
- Dąbrowska D., Dąbrowski W.**, 1991. Sposób wyznaczania reprezentatywnej wartości temperatury i współczynnika załamania powietrza wzdłuż celowej na potrzeby elektromagnetycznego pomiaru odległości. *Przegląd Geodezyjny* nr 12, Warszawa.
- Deumlich F.**, 1988. *Instrumentenkunde der Vermessungstechnik*. Berlin VEB. Verlag für Bauwesen.
- Ding X., Ren D., Su B., Swindells C., Montgomery B., Jewell R.**, 1996. An intelligent data acquisition and management system for open pit slop deformation monitoring. *Proceedings of 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Hung Hom (Hong Kong), 25–28 June*, pp. 339–344.
- Dubik A.**, 1991. *Zastosowanie laserów*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Dudik K.**, 1985. *Poradnik tokarza*. WNT, Warszawa.
- Fuss B. C., Teskey W. F.**, 1993. New and existing techniques for the alignment of rotating machinery. *Proceedings of 7th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Banff (Alberta), 3–5 May*, pp. 172–186.
- Gillarduzzi K., Grimm-Pitzinger A., Weinold T.**, 1999. Indirect surveying in mechanical engineering. *Proceedings of 9th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Olsztyn (Poland), 27–30 September*, pp. 181–188.
- Gocał J.**, 1977. Geodezyjne metody realizacji i kontroli geometrycznych warunków pracy maszyn i urządzeń przemysłowych. *Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej. Geodezja* z. 47, Kraków.
- Gocał J.**, 1993. Metody i instrumenty geodezyjne w precyzyjnych pomiarach maszyn i urządzeń mechanicznych. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- Gocał J.**, 2001. Wybrane technologie pomiarów inżynierskich oparte na wykorzystaniu instrumentów elektronicznych. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, Warszawa*, t. 48, z. 102, 87–104.

- Gocal J., Żak M.**, 1985. Prace geodezyjne w budownictwie maszynowym. Skrypt uczelniany nr 965, AGH Kraków.
- Gordon S., Lichti D., Stewart M., Franke J.**, 2003. Structural deformation measurement using terrestrial laser scanners. Proceedings of 11th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Santorini (Greece), 25–38 May, pp. 185–192.
- Gorham B.**, 1998. A novel single-beam automatic laser theodolite. Proceedings of XXI Congress FIG, Commission 5, Brighton (United Kingdom), 19–25 July, pp. 133–143.
- Grafarend E. W., Mader A.**, 1991. Robot vision based on an exact solution of the three-dimensional resection-intersection. International Association of Geodesy Symposia, Symposium No. 108 Stuttgart, (Germany), 13–17 May, pp. 376–388.
- Greening W. J. T., Robbinson J. S., Chrzanowski A., Ruland R. E.**, 1993. Control surveys for tunneling at the Superconducting Super Collider. Proceedings of 7th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Banff (Alberta), 3–5 May, pp. 2–13.
- Guangyun L., Jihua C.**, 1998. The metrology calibration and measurement data processing of antennas. Proceedings of XXI Congress FIG, Commission 6, Brighton (United Kingdom), 19–25 July, pp. 320–326.
- Haggren H.**, 1993. Industrial metrology applications of photogrammetric stations. Proceedings of 7th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Banff (Alberta), 3–5 May, pp. 250–257.
- Halim Setan, Mohd Sharuddin Ibrahim.**, 2003. Precise measurement and 3D modelling for industrial applications. Proceedings of 11th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Santorini (Greece), 25–38 May, pp. 529–536.
- Hein G. W., Riedl B.**, 2003. Real-time monitoring of highway bridge using „DREAMS“. Proceedings of 11th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Santorini (Greece), 25–38 May, pp. 201–208.
- Hennes M., Böckem B., Flach P.**, 1998. Recent developments for refraction-free optical measurement. Proceedings of XXI Congress FIG, Commission 5, Brighton (United Kingdom), 19–25 July, pp. 116–132.
- Holejko K.**, 1987. Precyzyjne elektroniczne pomiary odległości i kątów. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Jakubiec W., Malinowski J.**, 1996. Metrologia wielkości geometrycznych. Wydanie II zmienione, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Jambajew H. K.**, 1978. Wysokotocznyje stwornyje izmierienija. Niedra, Moskwa.
- Janusz W., Smólka M., Kołodziejczyk M.**, 1973. Katalog znaków i urządzeń pomiarowo-kontrolnych do pomiaru przemieszczeń i odkształceń budowli. IGiK, zeszyt A, Warszawa.
- Janusz W.**, 1975. Obsługa geodezyjna budowli i konstrukcji. PPWK, Warszawa.
- Janusz W.**, 1978. Methods of precision measurements of horizontal and vertical distances. FIG, Commission 6: Engineering Surveys, II International Symposium on deformation measurements by geodetic methods, Bonn.

- Jarzymowski A.**, 1982. Badania nad zastosowaniem laserów w geodezji. Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja z. 73, Kraków.
- Jezierski J.**, 2003. Analiza tolerancji i niedokładności pomiarów w budowie maszyn. Wydanie 3, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Jóźwik M.**, 1995. Minilasery do sygnalizowania punktów celu i wizualizacji osi celowej instrumentów geodezyjnych. II Konferencja Naukowo-Techniczna pt.: „Problemy Automatyzacji w Geodezji Inżynierskiej”, Warszawa.
- Jóźwik M., Jaśkowski W.**, 2003. Laserowo-komputerowy system ciągłych pomiarów przemieszczeń pionowych i poziomych wybranych punktów konstrukcji mostów. VI Konferencja Naukowo-Techniczna pt.: „Problemy Automatyzacji w Geodezji Inżynierskiej”, Warszawa–Białobrzegi.
- Kahmen H.**, 1994. Deformation measurement, deformation analysis and quality control for large shell-type structures, bridges and tunnels. Proceedings of 1st Turkish International Symposium on Deformations, Istanbul (Turkey), 5–9 September, pp. 1047–1061.
- Kahmen H.**, 1996. New development in instrumentation for precise engineering and deformation surveys. Proceedings of 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Hung Hom (Hong Kong), 25–28 June, pp. 77–83.
- Kahmen H.**, 1998. Advances in metrology with a new generation of measurement robots. Proceedings of XXI International Congress FIG, Commission 6, Brighton (United Kingdom), 19–25 July, pp. 8–17.
- Kahmen H., Wunderlich T. A.**, 1994. On characteristic deformations of conical shells. Proceedings of 1st Turkish International Symposium on Deformations, Istanbul (Turkey), 5–9 September, pp. 1031–1038.
- Katowski O.**, 1996. Machine guidance and deformation monitoring with automatic theodolite system. Proceedings of 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Hung Hom (Hong Kong), 25–28 June, pp. 85–90.
- Kavvas M. J.**, 2003. Monitoring and modelling ground deformations during tunnelling. Proceedings of 11th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Santorini (Greece), 25–31 May, pp. 371–389.
- Kälber S., Jäger R.**, 1999. Realization of a GPS-based online control and alarm system (GOCA) and preview on system analysis models appropriate for an online monitoring. Proceedings of 9th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Olsztyn (Poland), 27–30 September, pp. 98–117.
- Kern and Co. AG, Aarau:** Katalogi i prospekty firmowe.
- Kostecka Y. M.**, 2000. Geodeziczni prilady. Część II, Lwów.
- Kowalski H., Klewski A.**, 1995. Realizacja sprzętowa zintegrowanego systemu kontroli obiektów inżynierskich. Geodezja i Kartografia t. XLIV, z. 4, 455–467, Warszawa.
- Krzyszowski M., Ćmielewski K., Kuchmister J.**, 1987. Jednoetapowa metoda pomiaru prostoliniowości i rozpiętości osi szyn podsuwnicowych. Przegląd Geodezyjny nr 9, Warszawa.
- Kwiecień J.**, 1984. Przydatność lasera do wyznaczania i kontrolowania poziomych punktów za pomocą prostej odniesienia w pomieszczeniach zamkniętych. Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej, Geodezja z. 83, Kraków.

- Lasseur C.**, 1993. Geometrical approach of monitoring for very large physics. Proceedings of 7th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Banff (Alberta), 3–5 May, pp. 233–249.
- Lazzarini T.**, 1977. Geodezyjne pomiary przemieszczeń budowli i ich otoczenia. PPWK, Warszawa.
- Leica Heerbrugg AG:** Katalogi i prospekty firmowe.
- Leica, 2005.** T-Probe, T-Scan. Prospekty firmowe.
- Levesque P.**, 1998. Height monitoring of a turbogenerator for predictive maintenance. Proceedings of XXI Congress FIG, Commission 6, Brighton (United Kingdom), 19–25 July, pp. 307–319.
- Lukáč S., Žák M.**, 1999. Monitoring of deformation processes of the nuclear power plant J. Bohunice. Proceedings of 9th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Olsztyn (Poland), 27–30 September, pp. 348–353.
- Midwinter J. E., Guo Y. L.**, 1995. Optoelektronika i technika światłowodowa. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Mayoud M.**, 1998. Specific aspect of the geodetic metrology of the large particle acceleration. Proceedings of XXI Congress FIG, Commission 6, Brighton (United Kingdom), 19–25 July, pp. 259–271.
- Ney B.**, 2001. Zaawansowane techniki szansą cywilizacyjnego rozwoju Polski. XXIII Kongres Techników Polskich, Warszawa.
- Niemeier W. W.**, 1991. Concept for a new monitoring system for arch dam Esch/Sauer. International Association of Geodesy Symposia, Symposium No. 108 Stuttgart, (Germany), 13–17 May, pp. 140–156.
- Nikon (Japonia):** Katalogi i prospekty firmowe.
- NVG Inc.**, 2006. Micro-Lasers Modules, www.nvginc.com
- Obidowski R. M., Teskey W. F.**, 1996. Precise survey techniques for machinery alignment. Proceedings of 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Hung Hom (Hong Kong), 25–28 June, pp. 135–141.
- Opton Feintechnik GmbH, Oberkochen:** Katalogi i prospekty firmowe.
- Osiński Z., Wróbel J.**, 1982. Teoria konstrukcji maszyn. Wydanie 10, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Oszczak S., Wasilewski A., Rzepecka Z., Szostak-Chrzanowski A., Chrzanowski A.**, 2003. Ten years of deformation study and proposed research program for the area of Polish Copper Baswsp. Proceedings of 11th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Santorini (Greece), 25–38 May, pp. 327–333.
- Pachuta St.**, 1980. Instrumentoznawstwo geodezyjne – Zastosowanie techniki laserowej w geodezji. Część I i II, Skrypt Wojskowej Akademii Technicznej, Warszawa.
- Pachuta A., Pachuta St.**, 1993. Geodezyjne systemy laserowo-elektroniczne zbudowane w Polsce. Sympozjum naukowe pt. „Stan i kierunki rozwoju aparatury geodezyjnej i monitoringu środowiska”, Turawa.
- Pahnke U.**, 1991. Special measurement methods to determination of the dynamic parameters in bridge system. International Association of Geodesy Symposia, Symposium No. 108 Stuttgart, (Germany), 13–17 May, pp. 389–395.

- Palys M., Bielecki J., Korpus L., Antosz M.,** 2001. Pomiary instrumentami laserowymi w realnej atmosferze. V Konferencja Naukowo-Techniczna pt.: „Problemy Automatyzacji w Geodezji Inżynierskiej”, Warszawa.
- Pawłowski W.,** 2005. Procedury terenowe oceny dokładności instrumentów geodezyjnych według standardów ISO. VII Konferencja Naukowo-Techniczna pt.: „Aktualne Problemy Geodezji Inżynierskiej”, Warszawa.
- Pelzer H.,** 1988. Ingenieurvermessung – Deformationsmessungen – Massenberechnung. Ergebnisse des Arbeitskreises 6 des Deutschen Vereins für Vermessungswesen (DVW) e.V. Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart.
- Platek A.,** 1995. Elektroniczna technika pomiarowa w geodezji. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- Platek A.,** 1991. Geodezyjne dalmierze elektromagnetyczne i tachymetry elektroniczne. Część I, PPWK, Warszawa.
- Polska Norma,** 1994, PN-M-55651. Warunki odbioru tokarek kłowych. Badanie dokładności. PKN.
- Polska Norma,** 1998, PN-ISO 230-1. Przepisy badania obrabiarek. PKN.
- Praca zbiorowa,** 1990. Geodezja inżynierska. Tom I. PPWK, Warszawa.
- Prószyński W., Kwaśniak M.,** 2006. Podstawy geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń. Pojęcia i elementy metodyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Przewłocki S.,** 1998. Istota metrologii cech geometrycznych w budownictwie. XXX Międzynarodowa Konferencja Metrologów, Międzyzdroje.
- Radovanovic R., Teskey W. F.,** 2003. A novel method of high precision height determination for industrial applications. Proceedings of 11th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Santorini (Greece), 25–38 May, pp. 193–200.
- Retscher G.,** 1996. Deformation measurements for the construction and maintenance of high speed railway lines. Proceedings of 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Hung Hom (Hong Kong), 25–28 June, pp. 395–404.
- Rieger J. M.,** 1998. Refractive index formulae for electro-optical distance measurement. Proceedings of XXI Congress FIG, Commission 5, Brighton (United Kingdom), 19–25 July, pp. 191–208.
- Schwarz W.,** 1991. Applied geodesy for particle accelerators. International Association of Geodesy Symposia, Symposium No. 108 Stuttgart, (Germany), 13–17 May, pp. 215–226.
- Shimoda K.,** 1993. Wstęp do fizyki laserów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Shortis M. R., Fraser C. S.,** 1998. State of the art of 3D measurement systems for industrial and engineering applications. Proceedings of XXI Congress FIG, Commission 6, Brighton (United Kingdom), 19–25 July, pp. 272–290.
- Sitek Z.,** 1992. Zarys teledetekcji lotniczej i satelitarnej. Część I – pozyskiwanie danych, Część II – przetwarzanie danych. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- Siuzdak J.,** 1997. Wstęp do współczesnej telekomunikacji światłowodowej. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.

- Smith G. J., Mulder J. E. V.**, 1996. Real-time monitoring of rotor expansion in a hydro generator. Proceedings of 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Hung Hom (Hong Kong), 25–28 June, pp. 97–102.
- Sokkisha Co. LTD**: Katalogi i prospekty firmowe.
- Sprent A., Hudson A. J.**, 1996. Paper mill alignment survey. Proceedings of 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Hung Hom (Hong Kong), 25–28 June, pp. 91–96.
- Sydenham P. H., i wsp.**, 1990. Podręcznik metrologii. Podstawy praktyczne. Tom 2. WKŁ, Warszawa.
- Szustakowski M.**, 1992. Elementy techniki światłowodowej. Fizyka dla przemysłu, WNT, Warszawa.
- Schwarz W.**, 1991. Applied geodesy for particle accelerators. International Association of Geodesy Symposia, Symposium No. 108 Stuttgart, (Germany), 13–17 May, pp. 215–226.
- Szymoński J.**, 1971. Instrumentoznawstwo geodezyjne. Część II, wydanie II poprawione i uzupełnione, PPWK, Warszawa.
- Szymoński J.**, 1982. Instrumentoznawstwo geodezyjne. Część I, wydanie III poprawione i uzupełnione, PPWK, Warszawa.
- Tatańczyk J.**, 1973. Analiza geodezyjnego procesu pomiarowego w aspekcie wpływu czynnika osobowego. ZN AGH nr 27, Kraków.
- Tatańczyk J.**, 1984. Elementy optyki instrumentalnej i fizjologicznej. Skrypt AGH nr 940, Kraków.
- Tatańczyk J.**, 1985. Wybrane zagadnienia z instrumentoznawstwa geodezyjnego. Skrypt AGH, Kraków.
- Teskey W. F., Obidowski R. M.**, 1998. Deformation monitoring of a large bridge. Proceedings of XXI Congress FIG, Commission 6, Brighton (United Kingdom), 19–25 July, pp. 352–359.
- Toshiba**, 2004. Visible laser diodes. Product guide.
- Unger H. G.**, 1977. Planar optical wave guides and fibres. Clarendon Press Oxford.
- Wanic A.**, 1992. Automatyzacja niwelacyjnych systemów pomiarowych z wykorzystaniem układów fotodetekcyjnych. Acta Academiae Agricult. Ac. Techn. Olsztyn (430), Gedaesia et Ruris Regulatio 21, Supplementum Wydawn. ART.
- Watson J.**, 2002. Elektronika. Wydanie II, WKŁ, Warszawa.
- Weinert A.**, 1999. Plastic Optical Fiber. Publicis MCD Verlag, Erlangen and Munich.
- Whitaker C., Duffy M. A., Chrzanowski A.**, 1999. Installation of a continuous monitoring scheme for eastside reservoir project in California. Proceedings, 9th International FIG Symposium on Deformation Measurements, Olsztyn.
- Whitted N. C.**, 1993. The Sokkia MONMOS system for tunnel deformation and bridge construction measurement. Proceedings of 7th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Banff (Alberta), 3–5 May, pp. 461–468.
- Wild. AG-Wild-Leitz**: Katalogi, prospekty firmowe i instrukcje obsługi.
- Widujew H. G.**, 1978. Sprawozdanie po inżynirnoej geodezji. Kijów.
- Wilkins R., Bastin G., Chrzanowski A.**, 2003. ALERT: a fully automated real time monitoring system. Proceedings of 11th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Santorini (Greece), 25–38 May, pp. 209–216.

- Witte B., Deussen D., Casott N., 2000.** Současne metody pro urceni geodeticke refrakce pri pozemnich presnych merenich. Geodeticky a kartograficky obzor, Praga, 46/88, cislo 1.
- Wolski B., 1996.** Zestaw do pomiaru przemieszczeń liniowych, deformacji sprężystych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 82, Gliwice.
- Wolski B., 2006.** Monitoring metrologiczny obiektów geotechnicznych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- Zajac M., 2003.** Optyka okularowa. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław.
- Zacarinnyj A. V., 1976.** Avtomatizacija vysokotočnych inženerno-geodezičeskich izmerenij. Nedra, Moskwa.
- Zeiss C. (Oberkochen, Jena):** Katalogi i prospekty firmowe.
- Żak M., 1977.** Metody optyczne w budownictwie i montażu maszyn. Konferencja Naukowo-Techniczna, pt.: „Geodezyjna obsługa budownictwa przemysłowego”, Katowice.
- Żak M., 1981.** Aliniometryczna metoda osiowania elementów ustrojów wirujących. Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej, Geodezja z. 64, Kraków.

10. PATENTY I WZORY UŻYTKOWE

- Anigacz W., Ćmielewski K.,** 2002. Rewersyjny pion celowniczy. Zgłoszenie wynalazku do Urzędu Patentowego RP nr P-353378.
- Bryś H., Ćmielewski K.,** 2001. Przyrząd do pomiarów wysokościowych elementów konstrukcyjnych budowli inżynierskich. Zgłoszenie wynalazku do Urzędu Patentowego RP nr P-345935.
- Bryś H., Ćmielewski K.,** 2004. Urządzenie do wyznaczania zmian linii wygięcia wysokich obiektów inżynierskich. Zgłoszenie wynalazku do Urzędu Patentowego RP nr P-370045.
- Ćmielewski K.,** 1990. Zestaw do pomiaru pionowych odległości, zwłaszcza pomiędzy reperami. Prawo ochronne na wzór użytkowy nr Y1-46996, Urząd Patentowy RP, Warszawa.
- Ćmielewski K.,** 2001. Przyrząd do sygnalizowania punktów geodezyjnych. Prawo ochronne na wzór użytkowy Y1-61452, Urząd Patentowy RP, Warszawa.
- Ćmielewski K.,** 2002a. Sygnalizator celu punktu geodezyjnego. Zgłoszenie wynalazku do Urzędu Patentowego RP nr P-357485.
- Ćmielewski K.,** 2002b. Libella optoelektroniczna. Zgłoszenie wynalazku do Urzędu Patentowego RP nr P-357917.
- Ćmielewski K.,** 2002c. Przystawka do punktów geodezyjnych. Zgłoszenie wynalazku do Urzędu Patentowego RP nr P-357956.
- Ćmielewski K.,** 2003a. Geodezyjny przyrząd do pomiaru odległości. Zgłoszenie wynalazku do Urzędu Patentowego RP nr P-363939.
- Ćmielewski K.,** 2003b. Przyrząd do pomiaru zmian odchyleń budowli inżynierskich, zwłaszcza zapór wodnych. Zgłoszenie wynalazku do Urzędu Patentowego RP nr P-364150.
- Ćmielewski K.,** 2003c. Łata geodezyjna. Zgłoszenie wynalazku do Urzędu Patentowego RP nr P-363411.
- Ćmielewski K.,** 2004a. Luneta kolimacyjna. Zgłoszenie wynalazku do Urzędu Patentowego RP nr P-371985.
- Ćmielewski K., Kowalski K.,** 2001. Zestaw do pomiaru parametrów meteorologicznych atmosfery. Zgłoszenie wynalazku do Urzędu Patentowego RP nr P-349652.
- Ćmielewski K., Kuchmister J., Pachuta St.,** 1994. Nasadka na niwelator. Patent RP nr 173201, Urząd Patentowy RP, Warszawa.

FIBRE OPTICS AND LASER TECHNOLOGY IN HIGH PRECISION MEASUREMENTS OF SHAPES AND DEFORMATIONS OF ENGINEERING OBJECTS

S u m m a r y

The present study presents constructional and technology solutions of the geodesy apparatus applied for measuring and monitoring technical objects. Using optoelectronic technology elements (fibre optics, laser diode, CCD matrix), the author designed novel systems and the measuring instruments in order to improve the quality of measurement information, including their reliability, length of observations time and data collection under difficult conditions. The constructional solutions and measurement methods presented in the study were divided into the following systems and groups of instruments:

- devices for designating and discovering geodetic points,
- devices for measuring the differences in altitude, slopes, and deviations from reference line,
- devices for monitoring designated measurement parameters and geometrical conditions of the geodetic instruments.

Individual designs and technologies in each group were discussed extensively, with special focus on mechanical construction, principles of operation and the ways of use for measurements in real conditions.

For some designs and measuring techniques, the experiments were carried out to determine measurement accuracy, technical and exploitation usefulness.

Furthermore, a system and instrument thematic group was presented for further applications in applied geodesy.

The prototypes of selected systems and instruments used in the study allowed for verification of basic project and constructional concepts of the novel solutions suggested in the study and their usefulness and possible applications in applied geodesy.

The results obtained in the study and the models presented show that the proposed measurement techniques can be used for observations and the accuracy of the results will be comparable with that required from modern measuring methods.