

**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

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