

Stanisław PACHUTA

WAT - WARSZAWA

## KLASYFIKACJA LASEROWYCH INSTRUMENTÓW I URZĄDZEŃ GEODEZYJNYCH

**Streszczenie.** W referacie podjęto próbę klasyfikacji laserowych instrumentów geodezyjnych. Przedstawiono rodzaje instrumentów oraz ich wyposażenie dodatkowe i uzupełniające.

W oddzielnych tabelach zaproponowano klasyfikację teodolitów laserowych, niwelatorów laserowych i pionowników laserowych. Ponadto przedstawiono charakterystykę nasadek laserowych oraz laserowych wskaźników kierunku.

Zestawiono również ilości warunków, jakie muszą spełniać laserowe instrumenty geodezyjne.

Technika laserowa znajduje obecnie coraz szersze zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i techniki.

Generowane w laserze promieniowanie różni się w sposób istotny od światła zwykłego. Zwykle światło powstaje dzięki spontanicznej emisji promieniowania, charakteryzującej się zupełną przypadkowością poszczególnych aktów emisyjnych i brakiem między nimi jakiegokolwiek powiązania fazowego. Światło rozchodzi się ze zwykłego źródła jako mieszanina bardzo krótkich ciągów fal, które się wzajemnie wzmacniają lub osłabiają w sposób chaotyczny, a obraz fali czołowej zmienia się ustawicznie od punktu i od chwili do chwili. Mówimy, że takie światło jest niespójne zarówno w ujęciu przestrzennym, jak i fazowym.

Zupełnie inaczej przedstawia się sytuacja w przypadku światła laserowego. Jest ono wytwarzane w sposób "zorganizowany", dzięki wykorzystaniu procesów wymuszonej emisji promieniowania.

Ich specyfikę stanowi to, że foton wymuszający emisję powoduje wypromieniowanie nowego fotonu o identycznych właściwościach. Ten z kolei wywołuje w procesie lawinowego narastania promieniowania powstanie nowych fotonów, również spełniających powyższy warunek. Otrzymuje się w rezultacie zbiór uporządkowanych i powiązanych ze sobą ciągów fal elektromagnetycznych, zgodnych w fazie i jednokierunkowych promieni, emitowanych przez poszczególne elementy ośrodka czynnego.

Laser wytwarza więc światło *spójne* (koherentne), *jednobarwne* (monochromatyczne) o wiązce *równoległej* (skolimowanej).

Koherentność, monochromatyczność i równoległość promieniowania laserowego to zalety, które predystynują ten rodzaj światła do wykorzystania go w budowie laserowych instrumentów geodezyjnych. Dzięki tym właściwościom promienia laserowego w latach 1970-1980 przystąpiono do konstrukcji i budowy laserowych instrumentów i urządzeń geodezyjnych.

Laserowe instrumenty geodezyjne zasadniczo emitują wiązkę laserową w widzialnej części widma, ze względu na wykorzystanie tu lasera helowo-neonowego (He-Ne) pracującego na fali 0,6328  $\mu\text{m}$ . Emitowaną przez te instrumenty wiązkę laserową można obserwować wizualnie lub elektronicznie i rejestrować wyniki pomiaru przez zapis ręczny (w dzienniku pomiarowym), analitycznie (odczyt cyfrowy) lub analogowo (wykres na taśmie).

Wytwarzana przez laserowy instrument geodezyjny wiązka światła może służyć jako "zmaterializowana" oś celowa, względem której określa się położenie obserwowanych lub wyznaczanych punktów. Przez obrót wiązki laserowej w dowolnej płaszczyźnie można otrzymać laserową płaszczyznę odniesienia, względem której można wykonywać wszelkiego rodzaju pomiary szczegółowe i realizacyjne.

Laserowe instrumenty geodezyjne emitują wiązkę lub płaszczyznę laserową stanowią nową grupę instrumentów, których podstawową cechą jest to, że przenoszą miejsce pomiaru od instrumentu do miejsca pomiaru (punktu celowania).

Powstanie laserowych instrumentów geodezyjnych dało początek nowemu kierunkowi rozwoju instrumentoznawstwa. Instrumenty te, już dziś to można stwierdzić, charakteryzują się wysoką efektywnością ich wykorzystania oraz pozwalają na automatyzację wielu prac geodezyjnych, co przy użyciu klasycznych instrumentów geodezyjnych było nie do pomyślenia.

Opracowane i zbudowane dotychczas laserowe instrumenty geodezyjne posiadają jednak ograniczoną żywotność, ze względu na zastosowanie laserów gazowych He-Ne mających określony czas pracy i zdolność emitowania wiązki. Prowadzone obecnie prace naukowo-badawcze mają na celu poprawę jakości oraz zwiększenie czasu pracy laserów gazowych (przede wszystkim He-Ne), pozwalają przypuszczać, że założone w tym zakresie zadania zostaną zrealizowane.

Mając na uwadze coraz większe zastosowanie techniki laserowej w konstrukcji instrumentów i urządzeń geodezyjnych, postanowiłem podjąć próbę klasyfikacji tych konstrukcji.

Tablica 1 przedstawia nam schematyczne zestawienie opracowanych, zbudowanych i wdrożonych laserowych instrumentów geodezyjnych oraz wyposażenia dodatkowego i uzupełniającego tychże instrumentów.

W tablicy 2 przedstawiono klasyfikację teodolitów laserowych.

Teodolitem laserowym nazywamy taki instrument, w którym równolegle do osi celowej lub wzdłuż tejże osi skierowano wiązkę laserową. Jako źródło promieniowania wykorzystywany jest laser gazowy helowo-neonowy, którego wiązka laserowa zastępuje oś celową lub jest do niej równoległą. W ten sposób zamiast klasyfikacji osi celowej powstaje w przestrzeni obserwacyjnej cienka, odpowiednio skierowana wiązka światła laserowego. Wskazania koła poziomego i pionowego teodolitu laserowego umożliwiają jednoznaczny orientację tej wiązki laserowej w przestrzeni.

Konstrukcje dotychczas zbudowanych teodolitów laserowych różnią się znacznie między sobą. Różnice w konstrukcji instrumentów wpływają na wybór metody pomiaru oraz sposób sprawdzenia i rektyfikacji teodolitu.

Uwzględniając sposób połączenia lunety celowej z głowicą laserową, różniamy teodolity laserowe:

- z lunetą celowniczą na głowicy laserowej;
- z głowicą laserową umieszczoną w miejscu lunety teodolitu.

Stosunkowo duże wymiary w większości produkowanych przez przemysł laserów stwarzają konieczność konstruowania teodolitów laserowych bez możliwości obracania lunety z głowicą laserową przez zenit. Istniejące lasery o mniejszych gabarytach posiadają jednak zbyt małą moc i nie mogą być wykorzystane w konstrukcji teodolitów laserowych. Dlatego też obok instrumentów z głowicą laserową obracaną przez zenit, spotykane są teodolity laserowe z głowicami przekładanymi w łożyskach oraz teodolity laserowe z głowicami nie obracanymi przez zenit i nie przekładanymi w łożyskach, czyli tzw. laserowe teodolity głuche.

Tablica 2 przedstawia więc klasyfikację teodolitów laserowych z podaniem przykładowo niektórych typowych dla poszczególnych 3 grup teodolitów laserowych, ze szczególnym uwzględnieniem instrumentów laserowych zbudowanych w Instytucie Geodezji i Meteorologii w Warszawie.

W tablicy 3 Autor artykułu przedstawia propozycję podziału niwelatorów laserowych. Zasada działania niwelatora laserowego polega na utworzeniu w płaszczyźnie pionowej lub skierowanej pod określonym kątem wiązki światła laserowego, w odniesieniu do której możliwe są bezpośrednie pomiary wysokościowe. Ogólnie możemy podzielić niwelatory laserowe na instrumenty wyposażone w libellę niwelacyjną, niwelatory laserowe - samopoziomujące (automatyczne) i niwelatory laserowe z płaszczyzną laserową.

W zależności od miejsca zamocowania libelli niwelacyjnej, niwelatory te możemy podzielić na niwelatory, w których libella jest umieszczona na głowicy laserowej i niwelatory z libellą niwelacyjną przy lunecie celowniczej instrumentu.



Laserowe niwelatory samopoziomujące mają różną konstrukcję. W jednym przypadku w układ nadawczy głowicy laserowej wstawiono kompensator automatycznie ustawiający w poziomie oś celową i oś emitowanej wiązki laserowej. W innych przypadkach jest to niwelator o małych gabarytach z automatycznie ustawiającą się poziomo osią celową, który wykorzystywany jest w charakterze nasadki, zakładanej na głowicę laserową niwelatora.

Zastępuje on wtedy lunetę nadawczą. Znane są również opracowania fotoelektrycznego niwelatora laserowego, w którym ustawienie w poziomym położeniu wiązki laserowej uzyskuje się za pomocą fotoelektrycznego detektora centrującego. Skonstruowano również wersję instrumentów niwelacyjnych, które skanując wiązkę laserową w płaszczyźnie poziomej, tworzą świetlną płaszczyznę poziomą, w odniesieniu do której odbywa się pomiar niwelacyjny na znacznej powierzchni z możliwością jednoczesnego wykorzystania dowolnej ilości łań niwelacyjnych.

Jednym z ważnych zagadnień geodezyjnych, a równocześnie najbardziej pracochłonnym i stwarzającym najwięcej trudności podczas pomiaru jest wyznaczenie kierunku pionu.

Kierunek pionu można uzyskać metodą mechaniczną lub optyczną i takim sposobem jest praktycznie w znakomitej większości przypadków do dnia dzisiejszego realizowana.

Wyznaczenie linii pionu za pomocą wiązki laserowej może być:

- 1) Metodą skierowania poziomej wiązki laserowej w kierunku pionowym (nadirowym lub zenitalnym) za pomocą kompensatora załamującego ją pod kątem prostym i automatycznie utrzymującego ją w tym położeniu.

- 2) Metodą autokolimacyjną przez doprowadzenie do koincydencji wyjściowego promienia laserowego z promieniem odbitym, np. od powierzchni rtęci, która służy jako grawitacyjne poziome zwierciadło odniesienia.

- 3) Metodą kardanowego lub nawet jednopunktowego podwieszenia układu laserowego i takiego wykalibrowania układu, by oś rzutowania promienia laserowego automatycznie ustawiła się w pionie na zasadzie wykorzystania działania siły ciężenia.

- 4) Metodą skierowania wiązki laserowej przez układ optyczny konwencjonalnych libellowych lub automatycznym pionowników optycznych.

Pionowniki laserowe można klasyfikować dowolnie w zależności od przyjętego kryterium klasyfikacji. Kryteriami takimi mogą być:

- usytuowanie lasera w stosunku do samego pionownika (laser jest konstrukcyjnie związany z pionownikiem lub stanowi odrębną i niezależną część);

- sposób kontroli pionowego ustawienia wiązki laserowej (sam pionownik pozwala na przeprowadzenie kontroli lub wymagane jest posłużenie się dodatkowym sprzętem);
- wielkość liniowa, wzdłuż której dokonuje się ustawienia wiązki laserowej w pionie.

Coraz szerzej stosuje się nasadki pryzmatyczne, zakładane na niwelatory w celu zmiany pionowego kierunku wiązki laserowej na kierunek pionowy zorientowany w górę lub w dół (zenit - nadir). Nasadki te mogą współpracować z niwelatorami libellowymi i samopoziomującymi.

Tablica 4 dzieli pionowniki laserowe na 5 grup:

- pionowniki laserowe libellowe;
- pionowniki laserowe automatyczne;
- pionowniki laserowe autokolimacyjne;
- pionowniki laserowe fotoelektryczne;
- pionowniki laserowe z nasadkami pryzmatycznymi.

Wydaje się, że racjonalną drogą do lepszego wykorzystania klasycznych teodolitów i niwelatorów byłoby wdrożenie nasadek laserowych. Nasadki te wykonywane są przeważnie w postaci niezależnych przyrządów, które można mocować na wspomnianych instrumentach geodezyjnych.

Istnieją nasadki, w których osie wiązki laserowej i oś celowa pokrywają się wzajemnie. W takich instrumentach wiązka laserowa wychodząca z nasadki jest kierowana do lunety instrumentu, która spełnia rolę lunety nadawczej. Podstawowy warunek geometryczny, stawiany nasadkom laserowym, polega na tym, aby oś wiązki laserowej przechodziła przez środek krzyża nitek i środek obiektywu lunety celowniczej instrumentu geodezyjnego.

W niektórych modelach zapewnienie zgodności tych osi jest osiąganie za pomocą układu pryzmatów, kierujących wiązkę laserową do okularu lunety. W innych modelach stosowane są elastyczne światłowody, a wówczas laser może być zamocowany na statywie teodolitu. Inne rozwiązanie przewiduje stosowanie nasadki laserowej bez zachowania zgodności wymienionych wyżej osi. Zazwyczaj nasadki te umieszczone są na lunecie instrumentu i wyposażone są we własne układy kolimujące (lunetę nadawczą). Oś wiązki laserowej w takich nasadkach przechodzi zazwyczaj powyżej osi celowej lunety i stawiany jest warunek, by oś wiązki laserowej wychodzącej z lunety nadawczej i oś celowa lunety instrumentu były równoległe i leżały w jednej płaszczyźnie pionowej.

W tablicy 5 pokazano podział nasadek laserowych i próbę ich podporządkowania do wyżej wymienionych grup.

Do laserowych instrumentów geodezyjnych mogą być zaliczane również proste przykłady, które otrzymały nazwę laserowych wskaźników kierunków. Patrz tablica 6.

Tablica 1

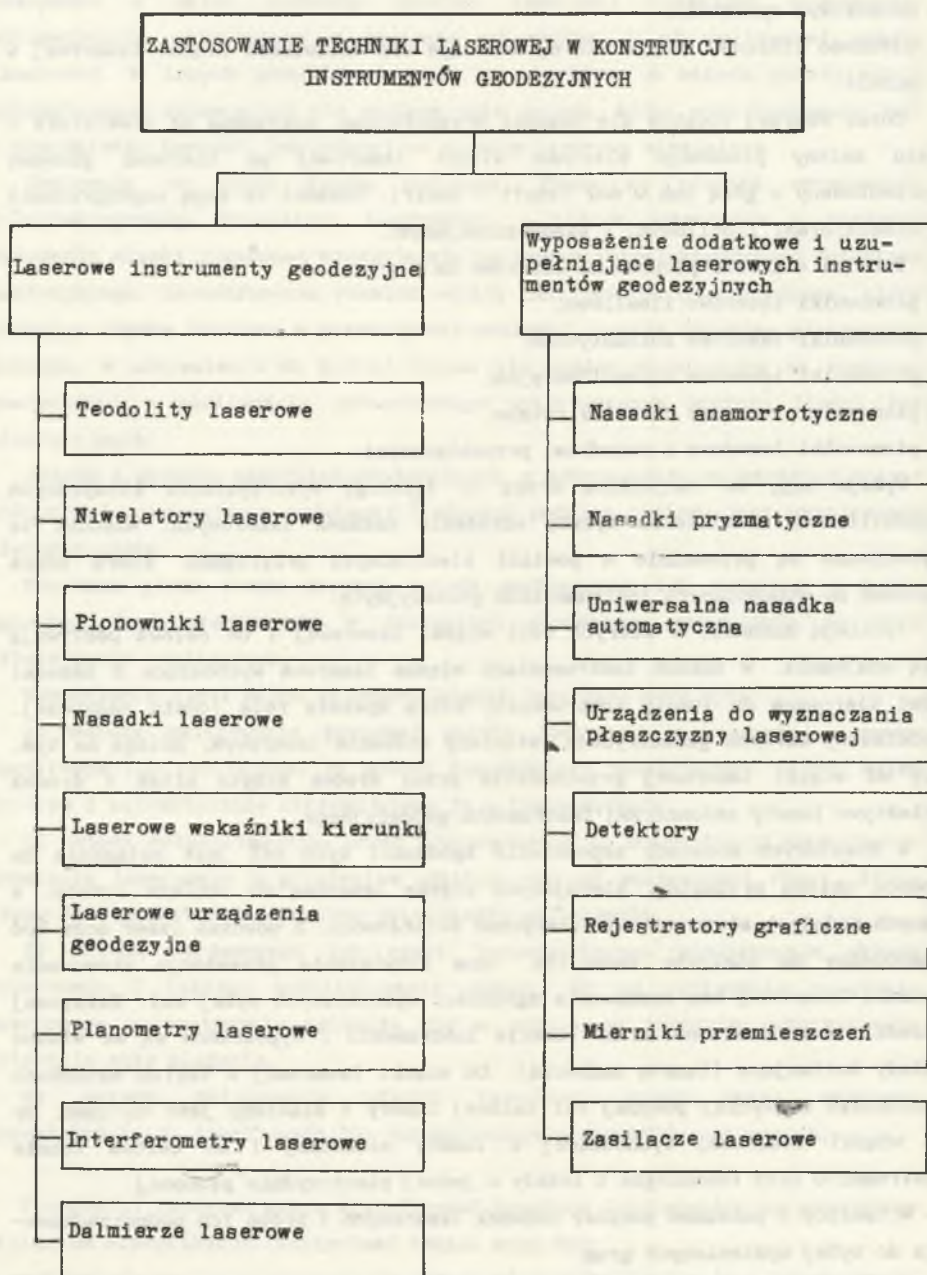
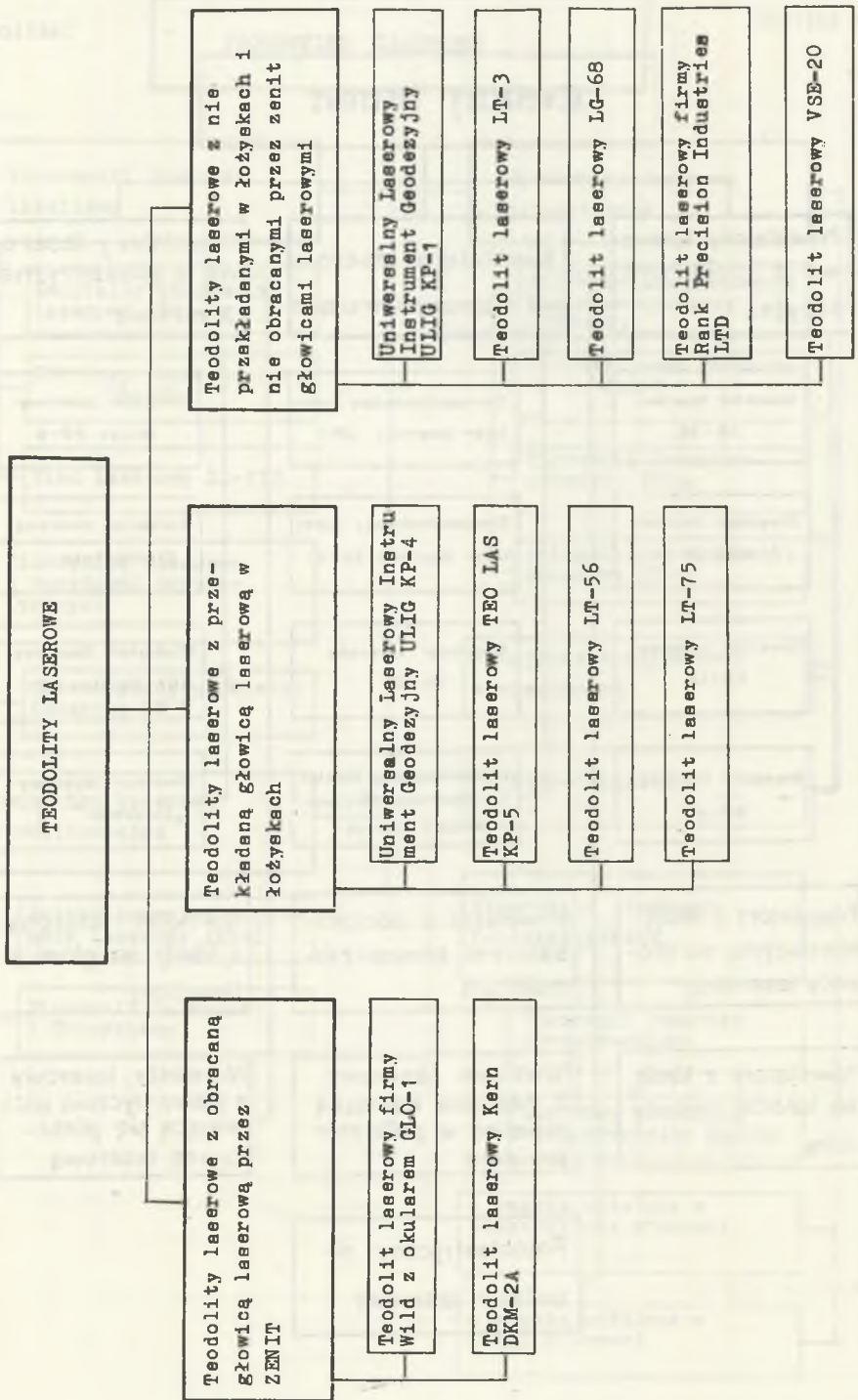


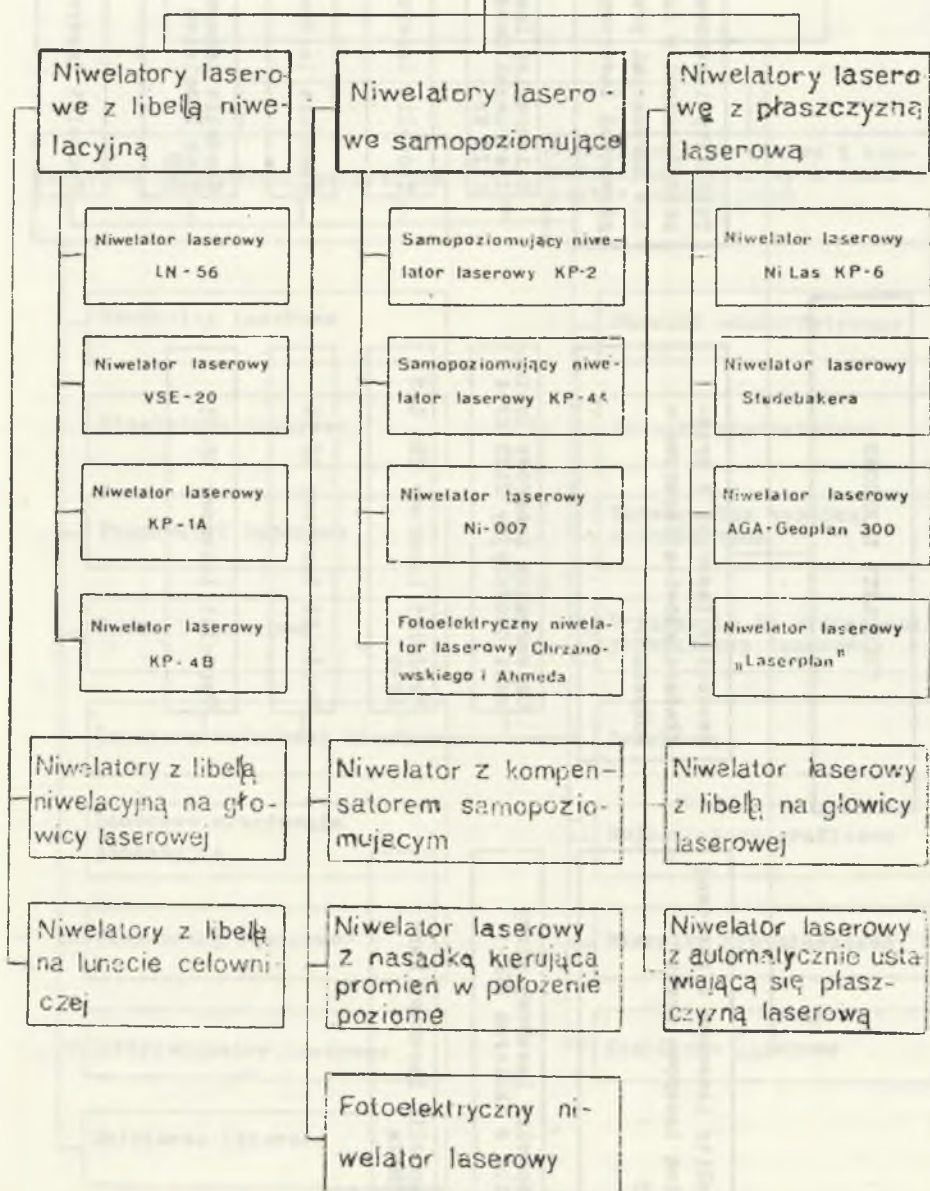


Tabela 2



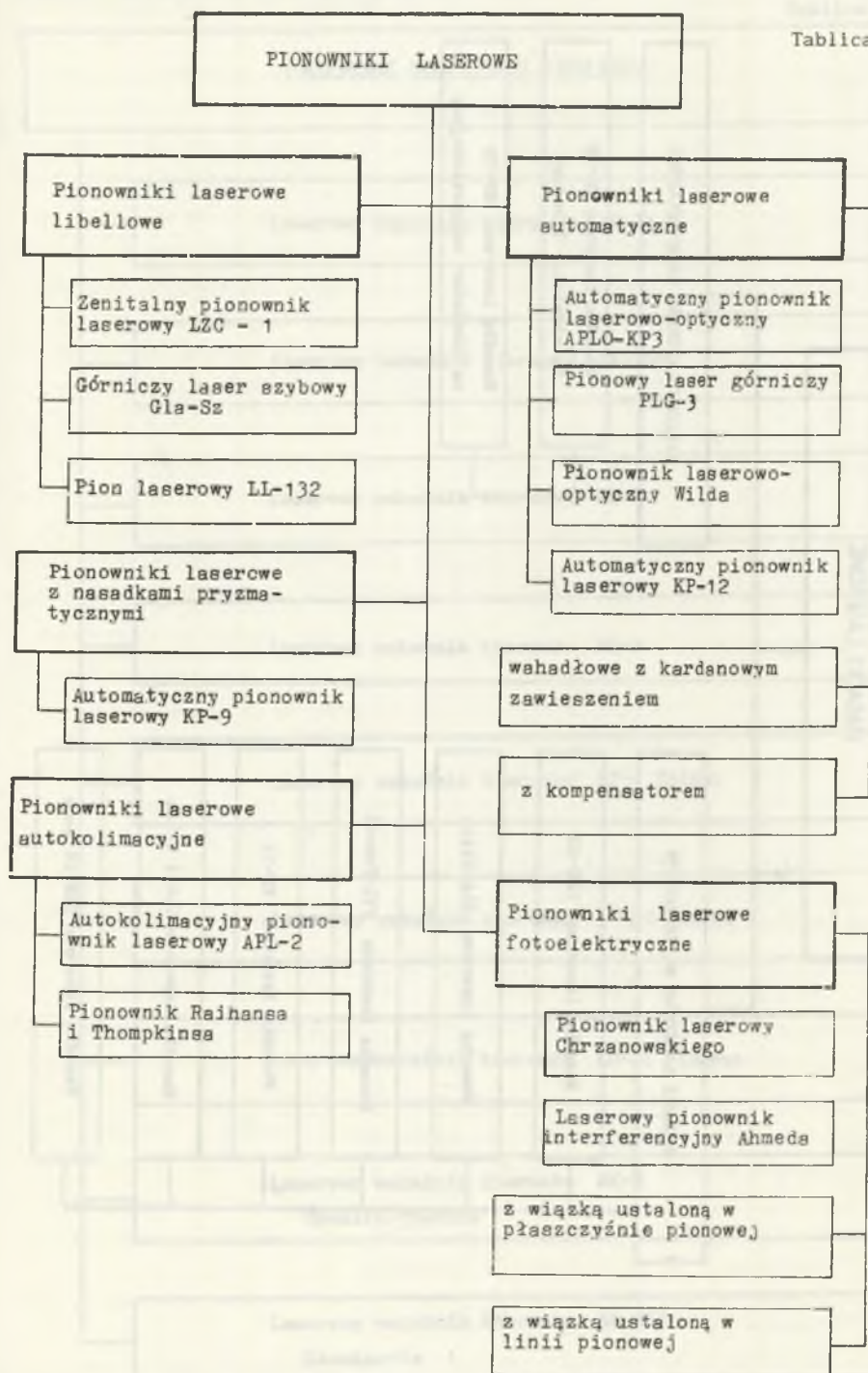
Tablica 3

## Niwelatory laserowe

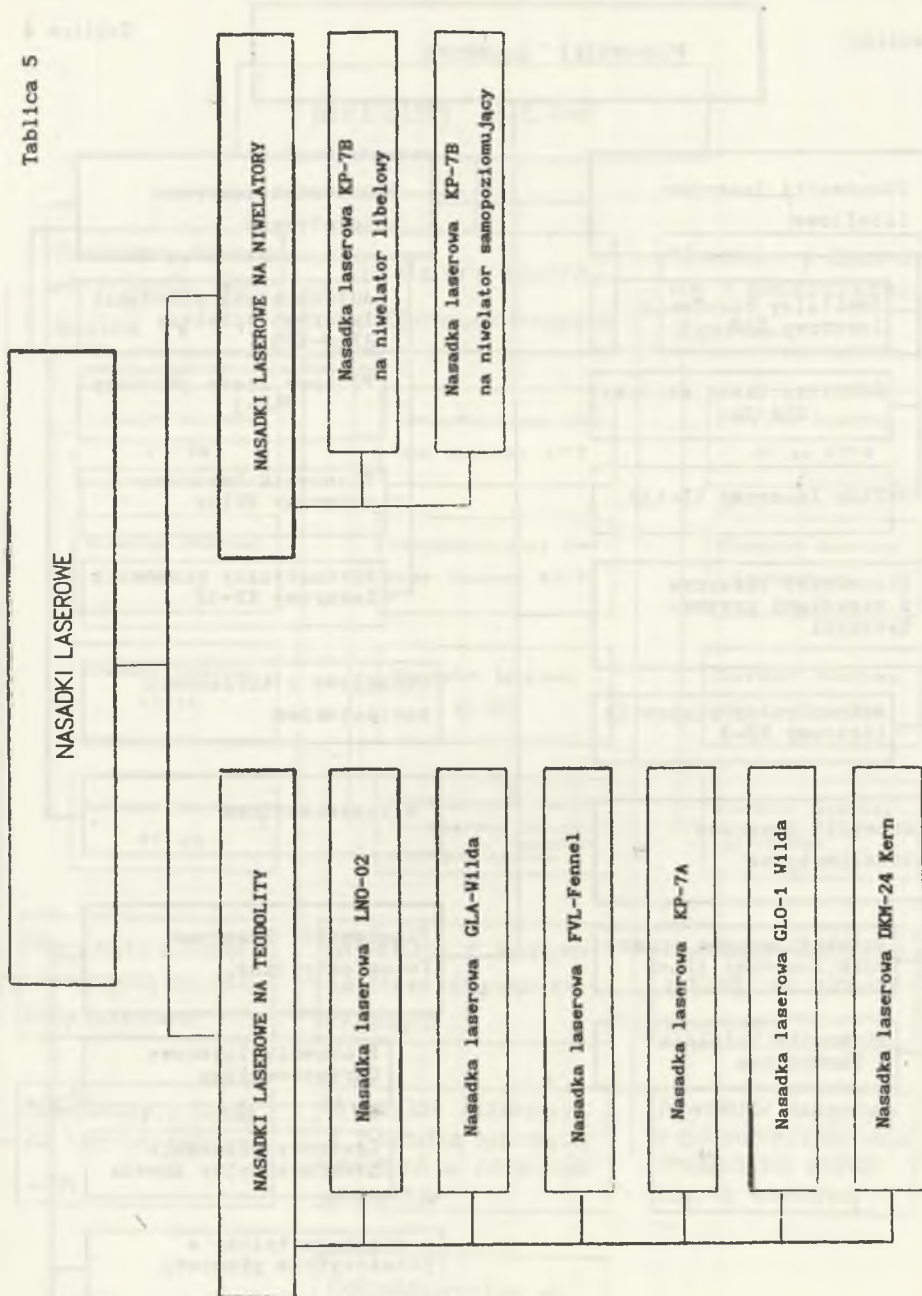




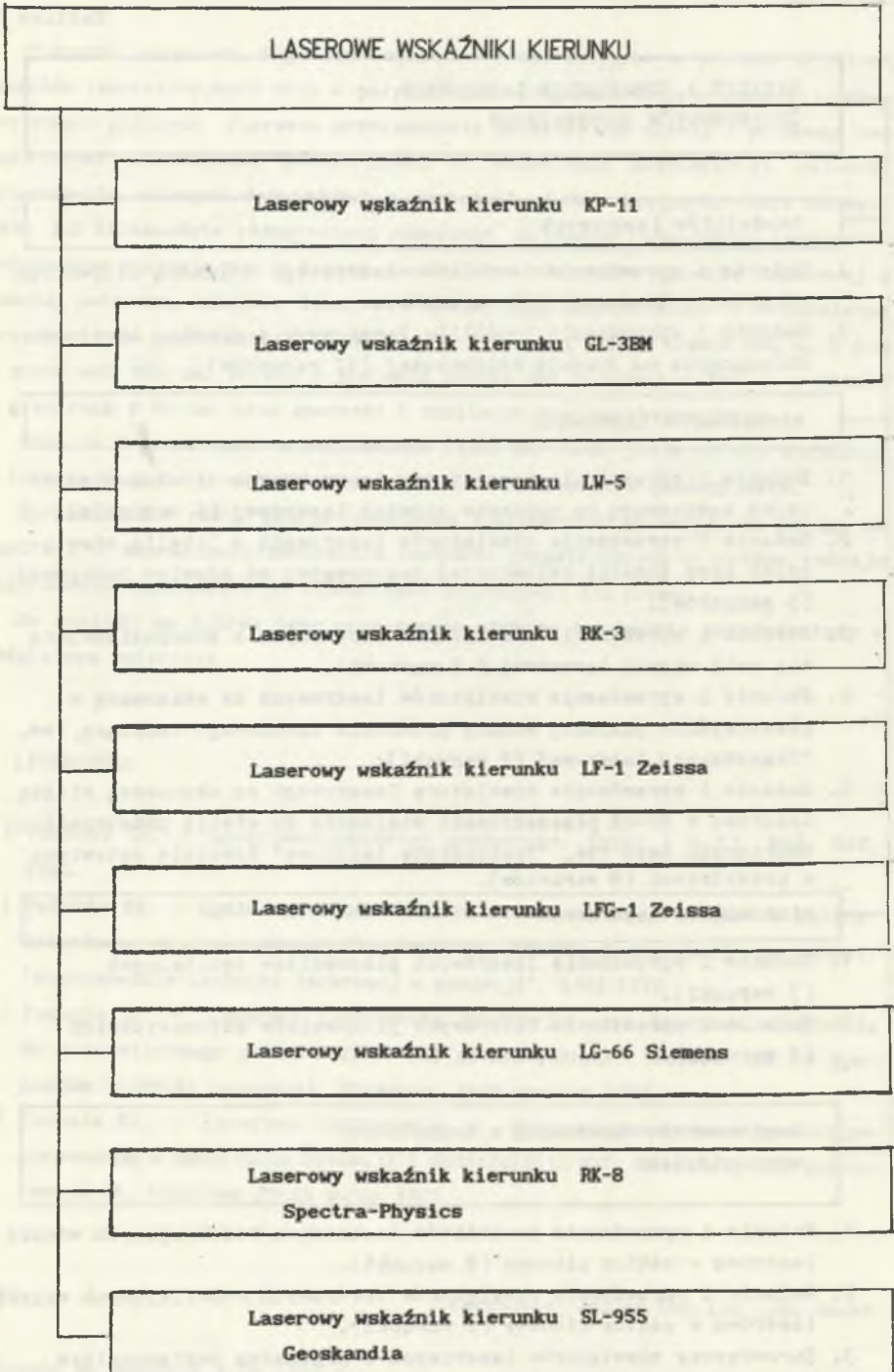
Tablica 4



Tablica 5



Tablica 6





Tablica 7

BADANIE I SPRAWDZENIE LASEROWYCH  
INSTRUMENTÓW GEODEZYJNYCH

teodolitów laserowych

1. Badanie i sprawdzenie teodolitu laserowego z lunetą celowniczą na głowicy laserowej (13 warunków).
2. Badanie i sprawdzenie teodolitu laserowego z głowicą laserową umieszczoną na lunecie celowniczej (12 warunków)

niwelatorów laserowych

1. Badanie i sprawdzenie niwelatorów laserowych z libellą niwelacyjną zamocowaną na obudowie głowicy laserowej (5 warunków).
2. Badanie i sprawdzenie niwelatorów laserowych z libellą niwelacyjną przy lunecie celowniczej zamocowanej na głowicy laserowej (5 warunków).
3. Badanie i sprawdzenie niwelatorów laserowych z samopoziomującą się osią wiązki laserowej ( 2 warunki).
4. Badanie i sprawdzenie niwelatorów laserowych ze skanowaną w płaszczyźnie poziomej wiązką promienia laserowego tworzącą tzw. "Płaszczyznę laserową" (2 warunki).
5. Badanie i sprawdzenie niwelatora laserowego ze skanowaną wiązką laserową w dwóch płaszczyznach wzajemnie do siebie prostopadłych tworzących dwie tzw. "Płaszczyzny laserowe" dowolnie ustawione w przestrzeni (9 warunków).

pionowników laserowych

1. Badanie i sprawdzenie laserowych pionowników zenitalnych (3 warunki).
2. Badanie i sprawdzenie laserowych pionowników automatycznych (3 warunki).

instrumentów laserowych z dodatkowym  
wyposażeniem

1. Badanie i sprawdzenie teodolitów laserowych rozwijających wiązkę laserową w sektor pionowy (2 warunki).
2. Badanie i sprawdzenie niwelatorów laserowych rozwijających wiązkę laserową w sektor pionowy (2 warunki).
3. Sprawdzenie niwelatorów laserowych z pryzmatem pentagonalnym załamującym wiązkę laserową w kierunku pionowym (3 warunki).

Pierwsze przyrządy tego typu wykonane konstrukcyjnie w postaci prostych układów laboratoryjnych były w małym stopniu przydatne do prac geodezyjnych w warunkach polowych. Pierwsze doświadczenia wykazały ich zalety i przewagę nad optycznymi przyrządami geodezyjnymi, a jednocześnie potwierdziły celowość prowadzenia dalszych doświadczeń i opracowań konstrukcyjnych. Dziś znanych jest już kilkanaście różnorodnych rozwiązań. Najnowsze rozwiązania laserowych wskaźników składają się z trzech zasadniczych elementów: głowicy laserowej z lunetą nadawczą, zespołu laserowo-regulacyjnego wyposażonego w mechaniczne urządzenie do przemieszczania osi wiązki laserowej wzdłuż trzech osi x, y i z w granicach  $\pm 20$  cm, obrotu w poziomie dokoła osi pionowej o  $360^{\circ}$  i w pionie w granicach  $\pm 50$  cm, oraz spodarki i zasilacza sieciowo-bateryjnego.

Tablica 7 przedstawia schematycznie ilość warunków, jakie należy sprawdzić w trakcie badania i rektyfikacji laserowych instrumentów geodezyjnych.

Sprawdzenie i rektyfikacja laserowych instrumentów geodezyjnych polega na kontroli i zapewnieniu zachowania warunków geometrycznych w każdym rodzaju instrumentu niezbędnych do zapewnienia prawidłowej ich pracy.

Ze względu na zakres tego opracowania problem ten będzie przedstawiony w oddzielnym referacie.

#### LITERATURA

- [1] Pachuta St. - Instrumentoznawstwo geodezyjne. Część I i II. Wyd. WAT, 1980.
- [2] Pachuta St. - Ogólne problemy rozwoju laserowych instrumentów w Polsce. Materiały międzynarodowej konferencji naukowo-technicznej na temat: "Zastosowanie techniki laserowej w geodezji". Łódź 1977.
- [3] Pachuta St. - "Laserowe instrumenty geodezyjne oraz laserowe urządzenia do automatycznego pomiaru wielkości geometrycznych". Referat na II Sympozjum Techniki Laserowej. Szczecin, 7-10 wresień 1987.
- [4] Pachuta St. - "Laserowe instrumenty i zintegrowane systemy geodezyjne opracowane w Instytucie Geodezji i Meteorologii WAT. Materiały III Konferencji nt. Warszawa 25-25 marca 1987.

Recenzent: Doc.dr hab.inż. Jan Gocał

## **CLASSIFICATION OF LASER SURVEYING INSTRUMENTS AND THEIR ATTACHEMENTS**

### **S u m m a r y**

The paper attempts to classify the surveying laser instruments and presents their supplementary and additional equipment.

Also the characteristics of laser direction Indicators and laser attachment are given.

## **KLASSIFIZIERUNG DER LASERINSTRUMENTE UND GEODÄSISCHER AUSRÜSTUNGEN**

### **Z u s a m m e n f a s s u n g**

In diesem Vortrag wurde das Problem - Klassifizierung der geodäsischen Laserinstrumente angesprochen. Es wurden Artender Instrumente, wie auch derer zusätzlichen Ausrüstungen und Ergänzungen vorgestellt.

In einzelnen Tafeln wurde eine Klassifizierung der Lasertheodolite, Lasernivellierinstrumente und Laserlote, vorgeschlagen.

Außerdem wurde eine Charakteristik der Laseransatzstücke und Laser-Richtungsanzeiger, vorgestellt.

Es wurden auch Bedingungen, die die geodäsische Laserinstrumente erfüllen müssen, zusammen gefaßt.