

Stefan Przewłocki

Instytut Inżynierii Środowiska

Politechnika Łódzka

ZASTOSOWANIE LASEROWYCH URZĄDZEŃ POMIAROWYCH W BUDOWNICTWIE

Streszczenie. W referacie autor omawia zastosowanie geodezyjnych instrumentów laserowych do kontroli wielkości geometrycznych w pomiarach inwentaryzacyjnych i w pomiarach deformacji konstrukcji inżynierskich.

Nowa dziedzina wiedzy inżynierskiej "metrologia budowli" kształtuje się w warunkach intensywnego rozwoju przemysłu budowlanego.

Rozwój przemysłu budowlanego charakteryzuje się nie tylko wzrostem ilościowym, ale przede wszystkim wprowadzaniem ekonomicznie uzasadnionych nowych technologii i nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych. Ten stan wymaga od metrologii budowli znacznego rozszerzenia zakresu funkcjonowania polegającego m.in. na:

- 1) czynnym oddziaływaniu w procesie kontroli jakości,
- 2) dostarczaniu informacji niezbędnej dla sterowania, prognozowania rozwoju, diagnostyki, technologii i teorii konstrukcji budowlanej.

Zatem metrologia zajmuje się pomiarem i interpretacją wyników wielkości geometrycznych i fizycznych związanych z realizacją budowli. Poszczególne elementy i zespoły konstrukcyjne budowli można rozpatrywać:

- w ujęciu projektowym, jako bryły przestrzenne, których cechy geometryczne są określone w dokumentacji konstrukcyjnej lub technologicznej,
- w ujęciu rzeczywistym, jako bryły przestrzenne, które są dostrzegalne, ale ich cechy geometryczne nie mogą być określone bezbłędnie,
- w ujęciu metrologicznym, jako bryły przestrzenne, których cechy geometryczne są określane za pomocą pomiarów sprawdzających (powykonawczych).

Analizując cechy geometryczne elementów i zespołów konstrukcyjnych budowli, należy wyodrębnić:

- cechy wymiarów,
- cechy kształtu,
- cechy położenia.

W procesie kontroli jakości wytwarzanych elementów i montowanych z nich budynków pierwsze ustalenia polegają na optymalnym określeniu mierzalnych

cech geometrycznych. Wartości liczbowe określanych cech geometrycznych powinny być ustalone za pomocą specjalnej aparatury pomiarowej i sprawdzianów stanowiących wyposażenie stanowisk pomiarowych.

Należy zaznaczyć, że stosowana dotychczas technika pomiarowa nie zawsze jest zawarta w cyklu technologicznym wytwarzania, transportu, składowania i montażu prefabrykatów, mimo że są wymagane specjalne cykle pracy na stanowisku pomiarowym. Dobór najwłaściwszej techniki pomiarowej dla danego obiektu nabiera szczególnego znaczenia w miarę zwiększania się wysokości i złożoności realizowanych obiektów.

Podstawę do uzyskania prawidłowej siatki geometrycznej realizowanych obiektów budowli wysokich, rozległych hal przemysłowych, a także różnego rodzaju konstrukcji powłokowych stanowią właściwie zaprogramowane i realizowane procesy metrologiczne.

Zalecenia o wymaganych dokładnościach wytwarzania prefabrykatów i ich montażu powinny wyrażać dążenie do zawężania tolerancji z uwzględnieniem bariery wykonalności. Wyniki pomiarów sprawdzających i powykonawczych powinny dostarczać niezbędnych informacji do ustaleń normatywnych uwzględniających współzależność między aktualnym poziomem techniki wytwarzania i montażu a usankcjonowanymi prawnie tolerancjami.

Bardzo istotną funkcją metrologii budowli jest również analiza zagadnień dokładnościowych. Zagadnienia te dotyczą zniekształceń siatek geometrycznych realizowanych obiektów i dokładności pomiarów. Spełnienie tych funkcji w każdym przypadku wymaga zastosowania odpowiedniej:

- metodyki i technologii pomiarów,
- aparatury pomiarowej,
- metodyki opracowań wyników w sposób umożliwiający gromadzenie odpowiednich informacji i wykorzystanie ich przez konstruktorów i technologów.

W procesie realizacji budownictwa metodami uprzemysłowionymi istotne jest zapewnienie zgodności wnoszonych obiektów budowlanych z projektem pod względem ich cech geometrycznych. Z tego powodu jest ważne, aby poszczególne prefabrykaty montowane jako elementy konstrukcji nośnej obiektu budowlanego były wykonane zgodnie z warunkami określonymi w dokumentacji projektowej. Zmiany w technologii budownictwa pociągają za sobą konieczność zmian lub udoskonalenia technologii towarzyszących, a więc m.in. metod i zakresu cykli pomiarowych występujących w procesie projektowania, realizacji i eksploatacji tych budowli. Stąd obserwujemy poszukiwania nowych rozwiązań zarówno w odniesieniu do metod i zakresu procesów pomiarowych, jak i samych urządzeń pomiarowych. Przykładem takich nowych urządzeń pomiarowych mogą być m.in. instrumenty i urządzenia laserowe. Laser wytwarza światło spójne (koherentne), jednobarwne (monochromatyczne) o wiązce równoległej (skolimowane). Cechy te, tj. koheren-

ność, monochromatyczność i równoległość promieniowania laserowego to zalety predystynujące światło tego rodzaju do wykorzystania go w budowie laserowych instrumentów geodezyjnych.

Prezentowany zestaw przyrządów laserowych składa się z trzech oddzielnie pracujących urządzeń^{x)}:

- Przyrządu laserowego PL-1 przeznaczonego do kontroli kształtu i grubości płyt formujących w formach bateryjnych, a także gotowych prefabrykatów i ścian pionowych, metodą niwelacji bocznej.
- Przyrządu laserowego PL-2 przeznaczonego do kontroli, metodą niwelacji, płaskości podstaw form płaskich i uchylnych, a także gotowych prefabrykatów i stropów.
- Pionownika laserowego PL-3 przeznaczonego do przenoszenia w linii pionu punktów głównych baz montażowych na kondygnacje robocze i kontroli pionowości szybów dźwigowych (metoda pionowania).

Podstawowymi częściami składowymi każdego z ww. przyrządów jest rura laserowa He-Ne typu 44G 200 (laser gazowy helowo-neonowy) wraz z zasilaczem wysokiego napięcia. Ponadto do pomiarów wykonywanych przy użyciu przyrządów PL-1 i PL-2 skonstruowane są specjalne wskaźniki pomiarowe.

Doświadczenia praktyczne uzyskane w trakcie realizacji prac wdrożeniowych potwierdzają konieczność zorganizowania specjalnie dla przyrządów PL-1 i PL-2 stanowisk pomiarowych ściśle zlokalizowanych w cyklu technologicznym produkcji prefabrykatów. W takim układzie po uruchomieniu przyrządu laserowego cały proces pomiarowy jest praktycznie realizowany bezpośrednio na formie lub prefabrykacie, a opracowanie wyników pomiarów wraz z obliczeniem odchyłek sprowadza się do prostych czynności rachunkowych.

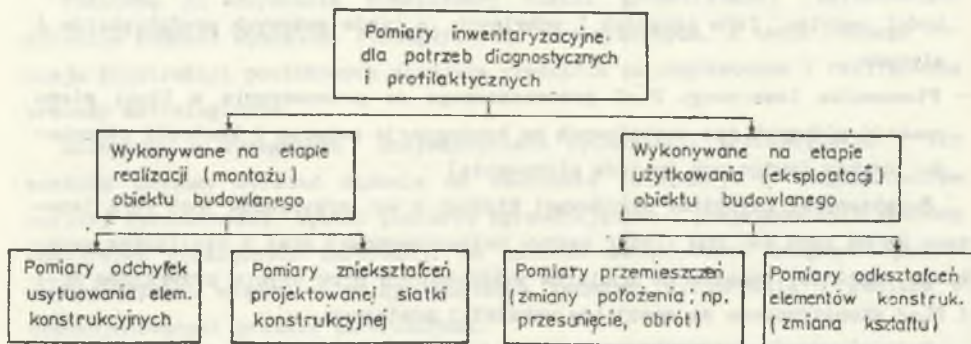
Istotną zaletą zastosowania omawianych urządzeń laserowych w budownictwie jest:

- możliwość pracy niezależnie od warunków oświetlenia,
- jednoosobowa obsługa (bowiem po ustawieniu urządzeń na stanowisku pomiarowym wszystkie odczyty wykonuje pracownik w miejscu przyłożenia wskaźnika).

Innym bardzo ważnym kierunkiem działalności w zakresie geodezji inżynierskiej są także pomiary inwentaryzacyjne i pomiary deformacji konstrukcji inżynierskich. Rezultaty tych pomiarów na ogół stanowią jedno z głównych źródeł informacji o stanie konstrukcji niezbędnych dla podjęcia właściwych decyzji w procesie ich eksploatacji: rekonstrukcji, a także modernizacji i przebudowy. Liczne zastosowania w tego rodzaju pracach mogą znaleźć laserowe urządzenia pomiarowe.

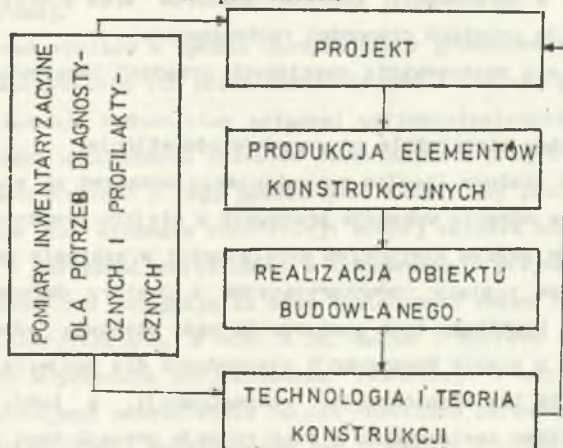
^{x)} Urządzenia te zostały skonstruowane w Instytucie Inżynierii Lądowej i Sanitarnej PŁ przy współpracy z Katedrą Geodezji i Fotogrametrii Wojskowej Akademii Technicznej.

Zakres pomiarów inwentaryzacyjno-kontrolnych obiektów budowlanych dla potrzeb diagnostycznych, a także profilaktycznych ilustruje schemat 1. Należy też podkreślić, że tego typu pomiary realizowane dla potrzeb diagnostycznych, a także profilaktycznych wymagają spełnienia wielu warunków o charakterze poznawczym związanych z zapewnieniem wysokiej dokładności pomiaru, a także pozyskanie danych niezbędnych dla weryfikacji procesu technologicznego, założeń projektu a nawet obowiązujących norm.



Schemat 1. Podział pomiarów inwentaryzacyjno-kontrolnych dla potrzeb diagnostycznych i profilaktycznych

Diagram 1. Classification of registration and control surveys for diagnosis and prevention



Schemat 2. Przebieg i oddziaływanie informacji w trakcie pomiarów w czasie realizacji obiektów budowlanych

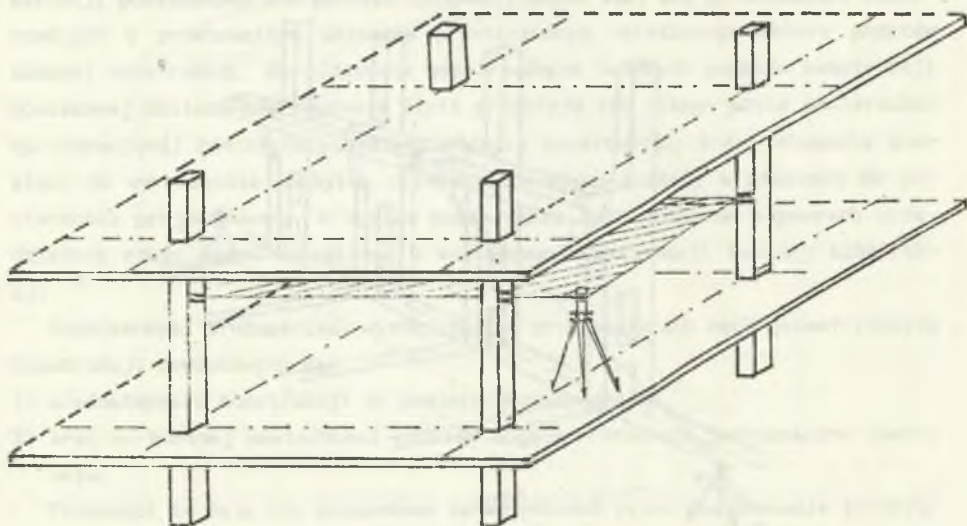
Diagram 2. Flow chart of information in the process of surveying during building construction

Przebieg i oddziaływanie pozyskiwanych informacji w rezultacie pomiarów inwentaryzacyjno-kontrolnych na kolejnych etapach realizacji obiektów budowlanych ilustruje schemat 2. Badania w zakresie doskonalenia technologii pomiarowych dla potrzeb diagnostycznych i profilaktycznych doprowadziły do opracowania i wdrożenia szeregu metod pomiarowych opartych na zastosowaniu optycznych instrumentów geodezyjnych, takich jak teodolit, niwelator, pionownik. Jednakże w niektórych sytuacjach szczególnie w warunkach niedostatecznego oświetlenia: podczas pomiarów wykonywanych w zamkniętych pomieszczeniach budynków, hal przemysłowych, szybów dźwigowych itp. celowe jest stosowanie techniki laserowej. Dodatkową zaletą techniki laserowej w pomiarach inwentaryzacyjno-kontrolnych jest możliwość w pewnym sensie "zmaterializowana" układu pomiarowego w postaci linii i płaszczyzn odniesienia, co znakomicie ułatwia pomiar na badanym obiekcie.

Trzy przykłady zastosowania laserowych urządzeń pomiarowych w pomiarach powykonawczych i inwentaryzacyjnych budowli o strukturze prostokątnej ilustrują rysunki 1, 2 i 3.

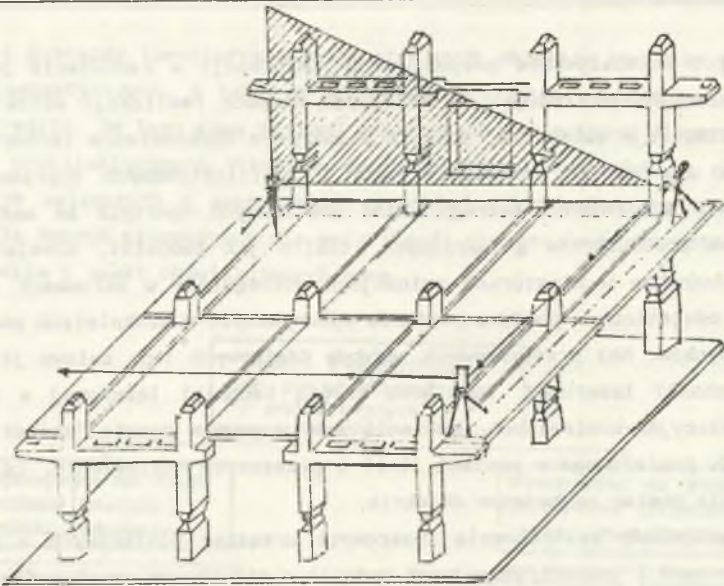
Dokładność pomiaru odległości badanych punktów od laserowej płaszczyzny odniesienia badano dwoma podstawowymi metodami:

- 1) metodą "par obserwacji" (na podstawie dwukrotnego pomiaru odległości badanych punktów od płaszczyzny laserowej).



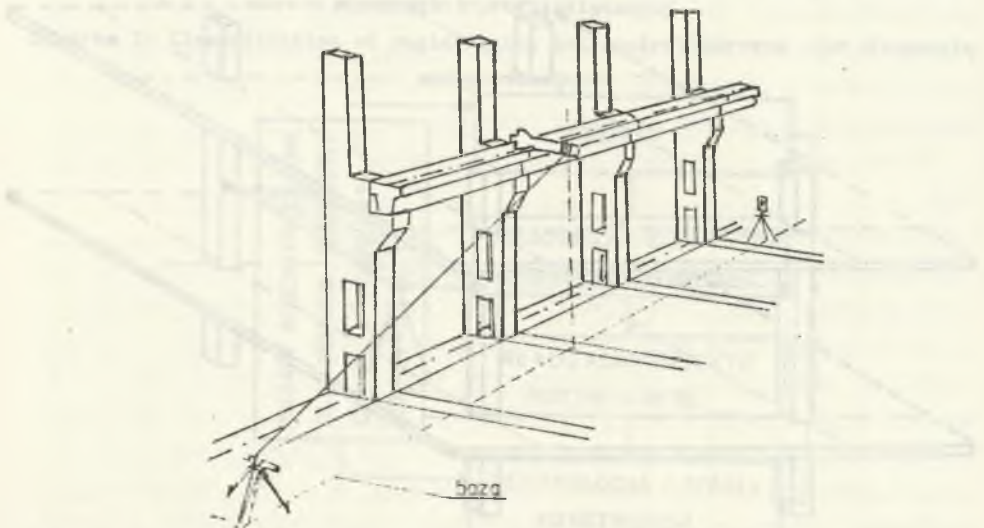
Rys. 1. Przykład zastosowania niwelatora laserowego w czasie montażu żelbetowego budynku prefabrykowanego

Fig. 1. Application of laser level for set-up off a prefabricated reinforced concrete building



Rys. 2. Przykład zastosowania todolitu laserowego do tyczenia i pionowania słupów budynku prefabrykowanego

Fig. 2. Application of a laser theodolite for setting out and plumbing of columns in a prefabricated building



Rys. 3. Przykład zastosowania teodolitu laserowego do badania prostolinowości belki suwniczej

Fig. 3. Application of a laser theodolite for checking the rectilinearity of gantry beam

2) metodą porównawczą (na podstawie porównania wyników pomiaru odległości badanych punktów od płaszczyzny laserowej i od płaszczyzny optycznej wyznaczonej za pomocą optycznych instrumentów geodezyjnych).

Wartość średniego błędu wyznaczano korzystając ze wzoru:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[tt]}{n}}, \quad (1)$$

gdzie:

t - różnica między dwukrotnymi wynikami pomiaru,

n - liczba par obserwacji.

Praktyka wykazała, że zastosowana metoda pomiaru oraz przyrządy do jej realizacji pozwalają osiągnąć dokładność scharakteryzowaną średnimi błędami $\pm 1,2+1,5$ mm.

Dokładność pomiaru może być poprawiona przez zastosowanie przy wskaźnikach pomiarowych (łatach) odpowiednich detektorów. Szczególnie duże możliwości zastosowania przyrządów laserowych w pomiarach inwentaryzacyjnych i kontrolnych mają konstrukcje powłokowe lub inne konstrukcje o podobnych cechach geometrycznych.

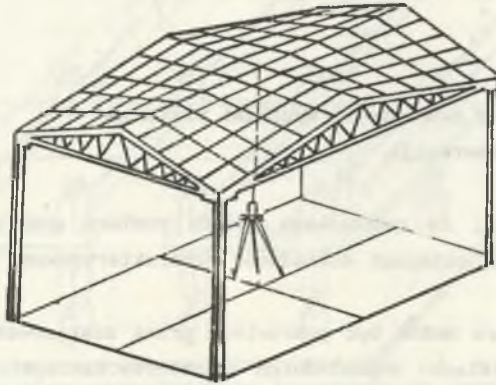
W większości stosowanych dotychczas metod pomiarów inwentaryzacyjnych konstrukcji powłokowych dla potrzeb diagnostycznych dąży się do uzyskania współrzędnych w prostokątnym układzie przestrzennym określonego zbioru punktów badanej konstrukcji. Na podstawie współrzędnych badanych punktów konstrukcji powłokowej oblicza się równania linii przekroju lub całego płata powierzchni aproksymującej rzeczywisty kształt badanej konstrukcji, które stanowią podstawę do wyznaczania odchyłek położenia badanych punktów w stosunku do powierzchni projektowanej. W wyniku powtarzania tych pomiarów w pewnych przedziałach czasu można wnioskować o występowaniu deformacji badanej konstrukcji.

Podstawowymi trudnościami występującymi przy pomiarach cech geometrycznych konstrukcji powłokowych są:

- 1) niedostępność konstrukcji do pomiaru bezpośredniego,
- 2) brak na badanej powierzchni punktów mogących stanowić jednoznaczne punkty celu.

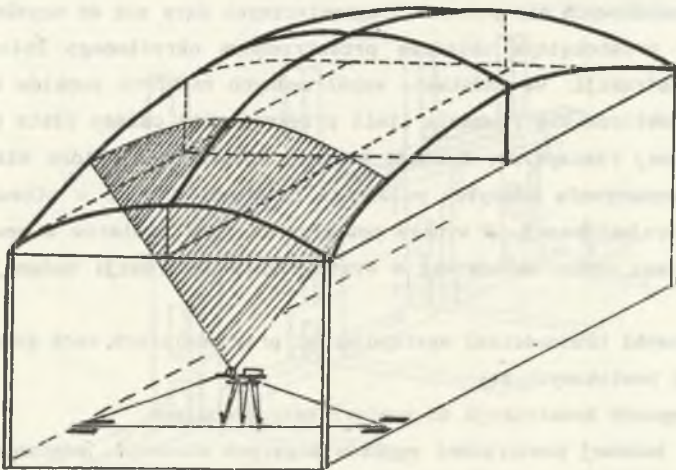
Trudności te dają się stosunkowo łatwo pokonać przez zastosowanie przyrządów laserowych, bowiem emitowana wiązka lub płaszczyzna laserowa pozwala stosunkowo dokładnie zlokalizować na powierzchni powłoki względem siatki jej rzutu poziomego badany zbiór punktów. Kilka przykładów przeniesienia siatki rzutu poziomego na powierzchnię powłoki za pomocą wiązki laserowej schemata-

tycznie ilustrują rysunki 4,5. Wyznaczone na powierzchni powłoki punkty i linie w postaci plamki (linii) światła laserowego stanowią punkty celu niezbędne do pomiaru wysokości metodą trygonometryczną. W ten sposób współrzędne x i y mierzy się bezpośrednio w płaszczyźnie rzutu poziomego siatki geometrycznej powłoki, współrzędną "z" wyznacza się pośrednio metodą trygonometryczną.



Rys. 4. Przykład zastosowania pionownika laserowego do pomiarów inwentaryzacyjnych przekrycia hali

Fig. 4. Application of laser plumb on the industrial hall roof



Rys. 5. Przykład sygnalizacji punktów na konstrukcji przekrycia hali za pomocą światła laserowego

Fig. 5. An example of control point signalling by laser light on the industrial hall roof

Jeżeli założymy, że położenie punktu na badanej konstrukcji powinno być wyznaczone z dokładnością $\pm m_p$, wówczas wielkość tę należy rozłożyć na błędy średnie poszczególnych współrzędnych, a mianowicie:

$$m_x = m_y = m_z = \frac{m_p}{\sqrt{3}}, \quad (2)$$

Z powyższego wynika, że średni błąd wysokości badanego punktu nie powinien przekraczać wielkości

$$m_z = \frac{m_p}{\sqrt{3}} \cong 0,6 m_p, \quad (3)$$

a średni błąd połączenia punktu w płaszczyźnie przekroju poziomego powinien mieścić się w granicach:

$$m_{xy} = \frac{m_p}{\sqrt{3}} \sqrt{2} \cong 0,8 m_p \quad (4)$$

W pracach doświadczalnych, jak również w wielu różnych zadaniach teoretycznych, można przyjąć, że wielomiany stopnia drugiego z dostatecznie dużą dokładnością określają kształt badanych linii przekroju lub powierzchni. Doświadczenie wykazuje jednak, że wyniki pomiarów zawsze obciążone są pewnymi błędami, a więc rezultaty pomiaru nie są równe prawdziwym wartościom wyznaczanych przez pomiar wielkości. Przy czym wielkości te, w przypadku ogólnym mierzone są różnymi metodami, a więc otrzymane wyniki charakteryzują się również różną dokładnością. Zatem w celu ścisłego wyznaczenia równania aproksymującego wyniki obserwacji należy uwzględnić pewną ilość obserwacji nadliczbowych. Stan ten powoduje konieczność "Wyrównania błędów obserwacyjnych", tzn. takiego zniekształcenia rezultatów obserwacji przez nadanie im niewielkich poprawek v , by zniekształcone przez wyrównanie, czyli "poprawnione" rezultaty obserwacji spełniały związki funkcyjne, jakie spełniają prawdziwe, nieznanne nam wartości wielkości mierzonych. Wartości poprawek $-v$, które należy wyznaczyć w wyniku postępowania wyrównawczego, muszą spełniać podstawowy warunek rachunku wyrównania, a mianowicie

$$[pvv] = \min. \quad (5)$$

Tak więc dla każdej pomierzonej wielkości układu się równania "obserwacji", a następnie równania normalne. Rozwiązując układ równań normalnych, otrzymujemy niewiadome współczynniki równania badanej linii przekroju lub powierzchni. Obliczając następnie błąd średni funkcji niewiadomych oraz analizując założenia teoretyczne i projektowe, a następnie porównując je z danymi uzyskanymi z przeprowadzonych badań, możemy wnioskować o stopniu deformacji badanej konstrukcji.

Recenzet: Płk prof. dr hab. inż. Stanisław Pachuta

Wpłynęło do Redakcji 15.06.1987 r.

APPLICATION OF LASER MEASURING INSTRUMENTS IN BUILDING

Summary

Application of surveying laser instruments in examination of geometric parameters and deformation measurements of engineering structures are described in the paper.

VERWENDUNG VON LASER-MEßEINRICHTUNGEN IN DER BAUKUNST

Zusammenfassung

Im Beitrag beschreibt der Bearbeiter die Verwendung von geodasicher Laserinstrumente für eine im meistens - geometrische Kontrolle bei Inventarisierungsmessungen und bei Messungen einer Deformation der Ingenieurkonstruktion.