

KRZYSZTOF DESKA

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Politechniki Koszalińskiej

WIESŁAW PAWŁOWSKI

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Politechniki Łódzkiej

ZAKRES I UWARUNKOWANIA REJESTRACJI STRUKTURY GEOMETRYCZNEJ PRZEKRYCIA WISZĄCEGO NA POTRZEBY DIAGNOSTYCZNE

Opiniodawca: **prof. dr hab. inż. Henryk Bryś**

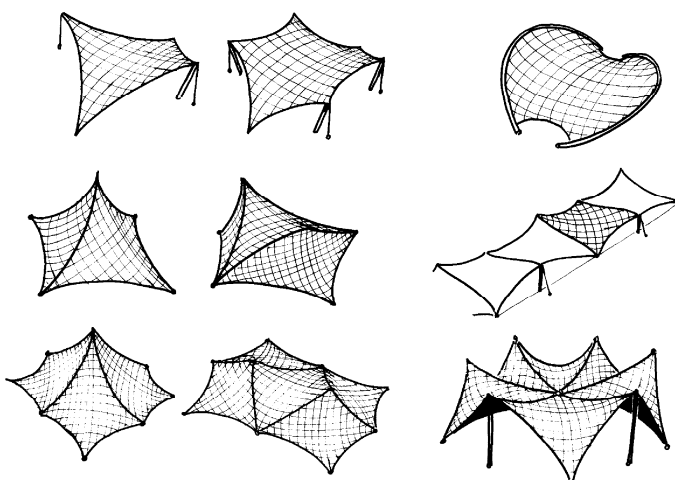
Artykuł stanowi podsumowanie wieloletnich badań dotyczących rejestracji struktury geometrycznej przekryć wiszących na potrzeby diagnostyczne. Przedstawiono w nim dwa istotne zagadnienia: zakres i uwarunkowania rejestracji.

1. Wprowadzenie

Za szczególnie lekkie, nowoczesne i efektywnie spełniające swe podstawowe funkcje uznaje się obecnie przekrycia wiszące [2]. Ze względów konstrukcyjnych są one jednak skomplikowane zarówno w projektowaniu i obliczaniu, jak i w samej realizacji – wykonawstwie [10, 12, 13, 14, 15].

W przekryciach wiszących podstawową rolę spełniają cięgna. Istotną cechą tych konstrukcji jest wykorzystanie zdolności nośnej na rozciąganie odpowiednio przygotowanych cięgien (lin) zamocowanych na końcach w stałych punktach lub punktach nieznacznie zmieniających swoje położenie w wyniku odkształcalności konstrukcji obrzeżowej [10, 12, 13, 14, 15]. W zależności od rodzaju zastosowanych podpór, sposobu rozmieszczenia i zamocowania cięgien oraz wymagań funkcjonalnych, przekrycia wiszące są konstruowane w układach płaskich lub przestrzennych o znacznych rozpiętościach [1]. W zależności od

ilości i położenia punktów zamocowania końców lin można uzyskiwać różne kształty powierzchni określanych przez siatki cięgnowe (rys. 1).



Rys. 1. Przykłady powierzchni określonych przez siatki cięgnowe przekryć wiszących [2]

Fig.1. Examples of surfaces specified by construction network (cables) of suspended roofs [2]

2. Specyfika pomiarów konstrukcji przekryć na potrzeby diagnostyczne

Z punktu widzenia konstruktorów bardzo istotny jest stan geometryczny konstrukcji zarejestrowany bezpośrednio po jej zrealizowaniu. Jednakże już samo wprowadzenie dodatkowych sił sprężających podczas montażu niektórych typów konstrukcji zwykle powoduje odstępstwa od założeń projektowych. Ponadto nie dla wszystkich rodzajów konstrukcji, w tym przekryć, można bez rejestracji dodatkowych czynników stan taki zarejestrować prawidłowo. Porównanie, w tym przypadku geometrii obiektu zrealizowanego z projektem, bez znajomości dodatkowych czynników, takich jak np. temperatura jest wręcz niemożliwe. Bardziej niż określenie odstępstw geometrii obiektu zrealizowanego od projektu jako modelu geometrii zadanej (projektowej) interesuje konstruktorów możliwość dokonania ponownych obliczeń wytrzymałościowych dla konstrukcji istniejącej [3]. Cechy geometryczne, takie jak kształt i wymiary poszczególnych elementów już zrealizowanej konstrukcji są wówczas mniej istotne. Najistotniejsze jest wówczas położenie określonych elementów konstrukcji. Na potrzeby rejestracji stanu zerowego struktury geometrycznej przekrycia wystarczający jest stopień szczegółowości opisu geometrii przekrycia obejmujący położenie węzłów jego siatki konstrukcyjnej. Podstawowym

zadaniem pomiarów staje się w tej sytuacji wyznaczenie przestrzennego położenia, w stałym układzie odniesienia, wybranych punktów na powierzchniach lub w osiach elementów konstrukcji o strukturze krzywoliniowej [16].

Podobnie w przypadku monitorowania konstrukcji przekrycia w warunkach wystąpienia czynników zewnętrznych, takich jak zmiany temperatury czy dodatkowe obciążenie, także do kontroli i oceny zmian cech geometrycznych przekrycia, wystarczająca jest analiza zmiany położenia tylko wybranych elementów jego konstrukcji. W praktyce badania takich obiektów sprowadzają się do wykonania pomiarów obejmujących ograniczoną ilość punktów kontrolowanych. Wybór zbioru punktów (aproksymacja generalizująca) uzależniony jest m.in. od typu obiektu, warunków pomiaru, subiektywnego wyboru osoby prowadzącej badania oraz także, a raczej przede wszystkim, od oczekiwań sformułowanych przez konstruktora, który m.in. na podstawie wyników wykonanych pomiarów dokonuje oceny stanu geometrycznego obiektu i sporządza specjalistyczną ekspertyzę budowlaną [11].

Mając jednak na uwadze oczekiwania dokładnościowe formułowane przez konstruktorów przekryć budowlanych i uwzględniając wymiary (skalę) tych obiektów oraz często ograniczony czas wykonania pomiarów, należy zwrócić uwagę na pewne szczególne uwarunkowania, typowe dla tego rodzaju obiektów. Uwarunkowaniem o znaczeniu zasadniczym jest to, że pomiar taki powinien obejmować reprezentatywną grupę punktów na obiekcie, tj. punktów ustalonych przed pomiarem ze specjalistami z zakresu mechaniki budowli. Jednak nie zawsze punkty wskazane jako obserwowane cele mogą być jednoznacznie identyfikowalnymi punktami, jakimi na przykład są śruby, nity i inne elementy konstrukcji. W przypadku przekryć wiszących mogą to być wręcz detale siatki konstrukcyjnej stanowiące jej węzły. Wymagana dokładność powinna być dostosowana do zakładanej (oczekiwanej) dokładności wyznaczenia współrzędnych punktów kontrolowanych obiektu i w konsekwencji dokładności określenia jego cech geometrycznych [3].

Zniekształcenia siatki geometrycznej obiektów montowanych w Polsce mogą być także wynikiem wpływu temperatury, co dotychczas nie było przedmiotem kompleksowych badań, zaś wstępne rozpoznanie tego zagadnienia wskazuje jednak na istotny wpływ tego czynnika zewnętrznego [16]. Znalazło to swoje potwierdzenie szczególnie w przypadku otwartych przekryć o dużych rozmiarach, gdzie zaobserwowano znaczny i zarazem zmienny rozkład temperaturowy konstrukcji, jak i wpływ zmian termicznych na położenie kontrolowanych punktów siatki konstrukcyjnej obiektu [3, 7].

3. Zakres rejestracji

Wnioski z badań wytrzymałościowych [3] oraz pomiarów obiektu testowego [3, 5, 6, 8, 9] uzasadniają wyróżnienie dwóch różnych sytuacji w diagnostyce

przekrycia budowlanego, uzależnionych przede wszystkim od momentu rozpoczęcia rejestracji jego struktury geometrycznej.

Najbardziej właściwe jest rozpoczęcie rejestracji struktury geometrycznej przekrycia już na etapie jego realizacji i wykonanie stosownych pomiarów zarówno przed, jak i po sprężeniu jego konstrukcji w zakresie obejmującym praktycznie wszystkie węzły siatki konstrukcyjnej. Umożliwia to ocenę zmian wybranych cech geometrycznych przekrycia i jego elementów spowodowanych sprężeniem oraz ciężarem własnym na tle założeń projektowych. Powyższa rejestracja powinna być kontynuowana w trakcie użytkowania przekrycia, dostarczając każdorazowo danych o położeniu tylko wybranych węzłów siatki konstrukcyjnej w określonych przez konstruktora przedziałach czasowych oraz w przypadku obciążenia śniegiem i lodem. Tak prowadzone pomiary stwarzają możliwość zarówno oceny stwierdzonych zmian cech geometrycznych w funkcji czasu, jak i ich powiązanie ze zmieniającym się stanem sił w konstrukcji określonym na podstawie symulacji założonych danych [3] lub pozyskanych niezależnie metodami fizycznymi. Ponadto będzie także możliwe wykonanie ponownych obliczeń z zakresu wytrzymałości konstrukcji i ewentualna korekta danych projektowych przekrycia przed rozpoczęciem jego użytkowania. Kluczowym zadaniem w kontekście potrzeb diagnostycznych jest zatem właściwe zarejestrowanie geometrii stanu zerowego przekrycia odpowiadającego określonemu obciążeniu konstrukcji. Będzie to pewnego rodzaju baza geometryczno-konstrukcyjna umożliwiającą wnioskowanie na podstawie wyników wykonywanych okresowo pomiarów geodezyjnych o stanie sił występujących w konstrukcji i aktualnym stanie technicznym przekrycia [3].

W przypadku przekryć sama aproksymacja generalizująca siatki konstrukcyjnej poprzez wybór konkretnych punktów nie zawsze jest uzasadniona. Z doświadczeń [3, 11] wynika, iż konstruktorom przekryć wystarcza do diagnostyki tylko położenie wybranych przez nich punktów na obiekcie, ale tylko w sytuacji, gdy znany jest geometryczny stan wyjściowy (zerowy).

W przypadku rozpoczęcia rejestracji geometrii przekrycia przed sprężeniem jego konstrukcji, dla konstruktorów wystarczająca jest znajomość jego siatki konstrukcyjnej utworzonej przez tzw. węzły (detale). Kolejne obserwacje okresowe, począwszy od stanu po sprężeniu, mogą już ograniczać się tylko do węzłów wskazanych przez konstruktorów i wykorzystywanych w obliczeniach wytrzymałościowych siatki konstrukcyjnej przekrycia [3, 11].

W przypadku rozpoczęcia rejestracji geometrii przekrycia dopiero na etapie jego użytkowania, pierwsza obserwacja na potrzeby diagnostyczne spełni oczekiwania konstruktorów jeśli dostarczy dane umożliwiające jej opisanie tylko z pewnym przybliżeniem. Kolejne obserwacje mogą obejmować już tylko wybrane przez konstruktorów węzły siatki konstrukcyjnej w celu rejestracji ich przemieszczeń pionowych w określonych warunkach, np. przy obciążeniu śniegiem i lodem. Głównym powodem przyjęcia takiego postępowania jest brak danych o geometrii konstrukcji przekrycia przed jej sprężeniem i po sprężeniu, istotnych w kontekście diagnostyki i mogących stanowić odniesienie dla

wyników obserwacji okresowych. Dotyczy to przede wszystkim przemieszczeń pionowych wybranych węzłów, których zmiany z tytułu obciążenia i temperatury najlepiej odzwierciedlają pracę konstrukcji i stan sił, ułatwiając w ten sposób podejmowanie właściwych decyzji o bezpiecznym użytkowaniu przekrycia [3].

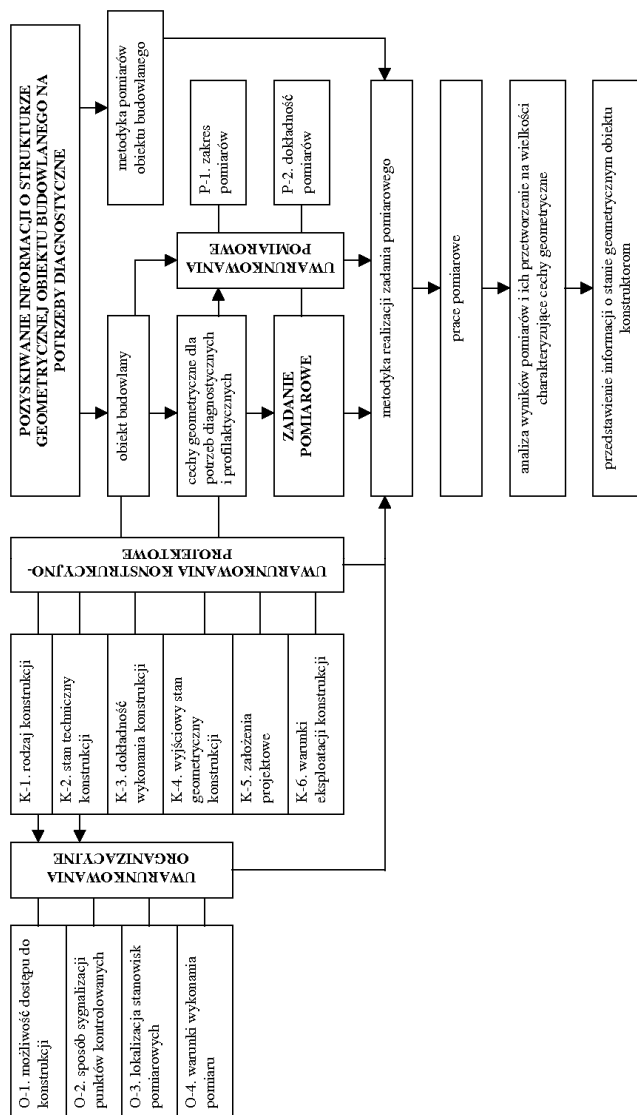
4. Uwarunkowania pomiarów

Uwarunkowania organizacyjne, konstrukcyjno-projektowe i pomiarowe (rys. 2) posiadają decydujący wpływ na wybór właściwej metodyki realizacji zadania pomiarowego ukierunkowanego na rejestrację struktury geometrycznej przekrycia.

W wyniku badań przeprowadzonych na obiekcie testowym przekrycia Amfiteatru w Koszalinie zostały wskazane istotne dla poszczególnych metod i technik pomiarowych możliwości i uwarunkowania ich wykorzystania na potrzeby diagnostyczne przekryć [6, 8, 9]. Wskazane uwarunkowania powinny być przedmiotem stosownych analiz jeszcze przed przystąpieniem do wykonania prac pomiarowych. Jednakże w przypadku konstrukcji nietypowych, jakim przykładowo jest paraboliczne przekrycie, może zachodzić konieczność przeprowadzenia pomiarów testowych, ukierunkowanych na pozyskanie danych umożliwiających właściwą rejestrację geometrii takiego przekrycia, głównie w kontekście specyfiki układu konstrukcyjnego i oczekiwań konstruktorów takiego przekrycia. Bez wykonania pomiarów testowych, tak jak to wykonano w pracy [3], niejednokrotnie nawet konstruktorom jest trudno zdefiniować i określić wpływ czynników zewnętrznych na zachowanie (pracę) konstrukcji, a geodetom dobrać odpowiednie metody pomiaru.

Uwarunkowania organizacyjne, mające związek przede wszystkim ze sposobem sygnalizacji punktów kontrolowanych przekrycia [4] i lokalizacją stanowisk pomiarowych oraz możliwością dostępu do konstrukcji i wykonania pomiaru, a także warunkami terenowymi na obiekcie i w jego otoczeniu, są ściśle i bezpośrednio związane z uwarunkowaniami konstrukcyjno-projektowymi, takimi jak rodzaj konstrukcji, jej właściwości i warunki użytkowania.

Występowanie silnego wiatru powodującego ruchy przekrycia wiszącego praktycznie wyklucza możliwość wiarygodnej rejestracji zarówno całej struktury geometrycznej konstrukcji, jak i tylko wybranych jej punktów.



Rys. 2. Schemat pozyskiwania informacji o strukturze geometrycznej obiektu budowlanego na potrzeby diagnostyczne [16]

Fig. 2. The pattern of obtaining information about a geometrical structure of a construction for diagnostic purposes [16]

5. Podsumowanie

Planując realizację konkretnego zadania pomiarowego, należy mieć na uwadze przede wszystkim spełnienie oczekiwań konstruktorów odnośnie do zakresu i dokładności wyznaczanych cech geometrycznych przekrycia, a także warunki w jakich pomiary na obiekcie powinny być przeprowadzone. Dla konstrukcji wiszących najkorzystniejsze warunki obserwacji zarówno do celów inwentaryzacji powykonawczej (rozumianej jako pomiar stanu zerowego), jak i pomiarów okresowych (niezależnie od celu rejestracji struktury geometrycznej), występują przy stabilnej temperaturze bliskiej zeru lub ujemnej i bezwietrznej pogodzie. Analizując uwarunkowania organizacyjne, konstrukcyjno-projektowe i pomiarowe [16] determinujące wybór właściwej metodyki wykonywania pomiarów, nie można jednoznacznie stwierdzić, które z nich mają znaczenie decydujące. Jednak analiza tych uwarunkowań i uwzględnienie istotnych czynników zewnętrznych prowadzi do opracowania metodyki realizacji konkretnego zadania pomiarowego.

W przypadku przekrycia budowlanego metodyka taka powinna umożliwiać realizację wszystkich kolejnych zadań pomiarowych podczas realizacji konstrukcji, jak i jej późniejszego użytkowania.

Literatura

- [1] **Borusiewicz W.:** Konstrukcje budowlane dla architektów. Wyd. III. Wyd. Arkady. Warszawa 1978.
- [2] **Breger H.:** Light structures - structures of light: the art and engineering of tensile architecture. Basel, Boston, Berlin. Birkhäuser Verlag 1996.
- [3] **Deska K.:** Metodyka rejestracji struktury geometrycznej przekryć budowlanych na potrzeby diagnostyczne. Rozprawa doktorska. WGiGP UWM w Olsztynie, Olsztyn 2010.
- [4] **Deska K., Pawłowski W.:** Badania doświadczalne z zakresu sposobu sygnalizacji punktów przekryć wiszących na potrzeby pomiarów diagnostycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Seria Budownictwo, Nr 56, Wyd. PŁ, Łódź 2007, ss. 71-90.
- [5] **Deska K., Pawłowski W.:** Badania doświadczalne w zakresie wykorzystania skanera laserowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Seria Budownictwo, Nr 58, Wyd. PŁ, Łódź 2008, ss. 51-58.
- [6] **Deska K., Pawłowski W.:** Rejestracja struktury geometrycznej przekrycia. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Seria Budownictwo, Nr 58, Wyd. PŁ, Łódź 2008, ss. 59-64.
- [7] **Deska K., Pawłowski W.:** Termowizja w praktyce inżynierskiej na potrzeby diagnostyczne przekrycia budowlanego. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Seria Budownictwo, Nr 58, Wyd. PŁ, Łódź 2008, ss. 43-49.
- [8] **Deska K., Pawłowski W.:** Registration of geometrical structure of a large-span suspended roof for diagnostic purposes. Reports on Geodesy, Proceedings of the 9th Scientific-Technical Conference „Current problems of engineering surveying”, Warsaw-Białobrzegi, Poland, 26-27 March 2009, Politechnika Warszawska, Warszawa 2009, ss. 309-316.

- [9] **Deska K., Pawłowski W.:** Rejestracja struktury geometrycznej przekrycia wiszącego na przykładzie Amfiteatru w Koszalinie, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Seria Budownictwo, Nr 60, Wyd. PŁ, Łódź 2009, ss. 97-105.
- [10] **Filipkowski J.:** Wybrane realizacje z przekryć wiszących i pneumatycznych oraz związane z nimi problemy konstrukcyjne. II Konferencja Naukowa - Konstrukcje Ciężnowe i Wiotkie Powłoki - Rydzynia 1983, ss. 7-17.
- [11] **Filipkowski J., Jacoszek J., Deska K.:** Sposób odśnieżania zadaszania Amfiteatru w Koszalinie. cz. II, opracowanie zamawiane na zlecenie MOK w Koszalinie, Koszalin wrzesień 2006.
- [12] **Łubiński M., Żółtowski W.:** Konstrukcje metalowe, część II, Obiekty budowlane, Wyd. II, Wyd. Arkady, Warszawa 2004.
- [13] **Pałkowski Sz.:** Numeryczna analiza ustrojów ciężnowych. Monografie Instytutu Budownictwa Lądowego. Nr 9/1980, Wyd. WSI w Koszalinie.
- [14] **Pałkowski Sz.:** Konstrukcje ciężnowe. WNT Warszawa 1994.
- [15] **Pałkowski Sz.:** Wybrane zagadnienia obliczania i projektowania konstrukcji stalowych, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 1998.
- [16] **Przewłocki S. (red.):** Pomiary inżynierskie. Metody pomiarów konstrukcji budowlanych w profilaktyce i diagnostyce. Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź 1993.

THE SCOPE AND CONDITIONS OF REGISTRATION OF A GEOMETRICAL STRUCTURE OF A SUSPENDED ROOF FOR DIAGNOSTIC PURPOSES

Summary

The paper is the summary of many years of research concerning the registration of a geometrical structure of suspended roofs for diagnostic purposes. It presents two crucial issues: the scope and the conditions of the registration.