

# PROJEKT DREWNIANEJ KONSTRUKCJI WSPORCZEJ OBSERWATORIUM ASTRONOMICZNEGO

Inż. Erwin SZATAN

Centrum Rzecznawstwa Budowlanego Sp. z o.o. Warszawa

erwinszatan@gmail.com

\*Artykuł recenzowany

## Streszczenie

W niniejszym materiale przedstawiono projekt oraz analizę drewnianej konstrukcji wsporczej obserwatorium astronomicznego, które to opracowane zostały w ramach pracy inżynierskiej wykonanej na Wydziale Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej w roku akademickim 2016/2017 przez autora artykułu.

**Słowa kluczowe:** rama wzajemnie podparta, rama samonośna, obserwatorium astronomiczne

## Summary

This paper presents the design and analysis of the wooden supporting structure of the astronomical observatory, which was developed as part of the engineering work carried out at the Faculty of Civil Engineering and Geodesy of the Military Academy of Technology in the academic year 2016/2017 by the author of the article.

**Key words:** support frame, self-supporting frame, astronomical observatory

## 1. Cel i zakres pracy

Celem pracy było zaprojektowanie drewnianej konstrukcji wsporczej budynku obserwatorium astronomicznego na planie koła, która stanowi podstawę dla kopuły obserwacyjnej. Jako główny ustrój nośny wykorzystano tu ramę wzajemnie podpartą (ang. reciprocal frame) z drewna klejonego warstwowo.

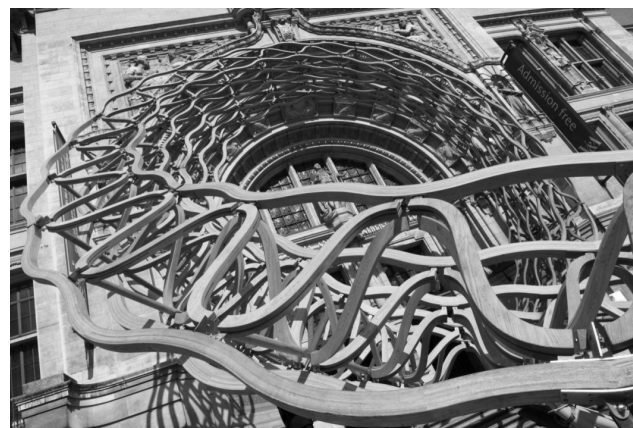
Zakres pracy obejmował analizę wybranych zagadnień z zakresu projektowania konstrukcji drewnianych, a w szczególności tych, które dotyczą ram samonośnych i drewna klejonego. Jeden z elementów projektu stanowi opis techniczny zawierający podstawowe założenia projektowe. Ich określenie okazało się niezbędne, celem poprawnego kształtowania formy konstrukcji.

Część projektowa zawiera analizę statyczną oraz wymiarowanie elementów konstrukcyjnych i połączeń. Ponadto w zakresie pracy jest również część rysunkowa, obejmująca rzuty, przekroje oraz wybrane szczegóły połączeń węzłowych występujących w konstrukcji.

## 2. Drewno klejone warstwowo

Drewno poprzez swoje walory estetyczne oraz łatwość komponowania się z innymi materiałami pozwala na wykonanie nowoczesnych, a nawet awangardowych projektów. Surowiec pozyskiwany jest z naturalnych, a co najważniejsze – w pełni odnawialnych zasobów. Pomimo tej i wielu innych zalet na przestrzeni lat drewno od podstawowego budulca przeszło do materiału wręcz niszowego, stosowanego prawie jedynie przy wykończeniu wnętrz. Obecnie, w dobie coraz większego znaczenia ekologii powraca się do drewna jako elementarnego materiału w budownictwie.

Nowoczesne materiały i maszyny do obróbki drewna, a przede wszystkim poznana technologia pozwalają na stosowanie nie tylko bali drewnianych, ale również lekkich elementów i kompozytów z drewna klejonego. Powstałe w ten sposób konstrukcje zadziwiają swoją lekkością, kunsztem wykonania oraz finezyjnością kształtów.



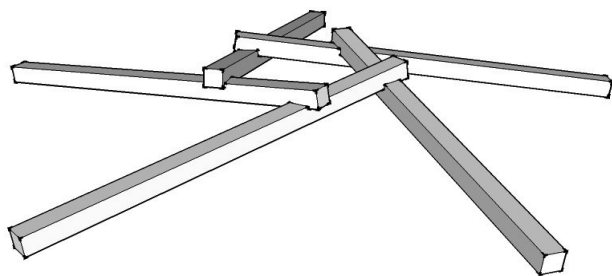
**Rys. 1.** Drewno klejone coraz częściej wykorzystywane jest jako materiał wykończeniowy elewacji.

Źródło: [http://www.budma.pl/midcom-serveattachmentguid-1e350f162eb4af450f111e3a31d3dbaaf87a5daa5da/promocja\\_4.jpg%20](http://www.budma.pl/midcom-serveattachmentguid-1e350f162eb4af450f111e3a31d3dbaaf87a5daa5da/promocja_4.jpg%20)

Z dnia na dzień popularniejsze staje się również łączenie drewna z różnymi materiałami i tworzenie kompozycji. Nie ma sztywnych zasad ani przepisów mówiących, gdzie stosować drewno – decyduje o tym jedynie wyobraźnia twórcy projektu.

### 3. Charakterystyka istoty ram samonośnych

Struktura ramy samonośnej opiera się na układzie wzajemnie podtrzymujących się belek pochyłych umieszczonych w obiegu zamkniętym. Wewnętrzny koniec każdej z nich oparty jest na belce sąsiedniej. Na zewnętrznym końcu belka podparta jest ścianą zewnętrzną, wieńcem lub kolumną. Wzajemnie wspierający się układ dźwigarów umieszczony wokół centralnego punktu symetrii tworzy wewnętrzny wielokąt. Jeżeli układ ramy samonośnej użyty zostanie do konstrukcji wsporczej dachu, daje tym samym możliwość tworzenia, chociażby oświetlenia dachowego (Rys. 3)



**Rys. 2.** Przykładowy układ belek wzajemnie podpartych (reciprocal frame)

Źródło: <http://danbatesdesign.blogspot.com/2012/11/reciprocal-roof-model.html>



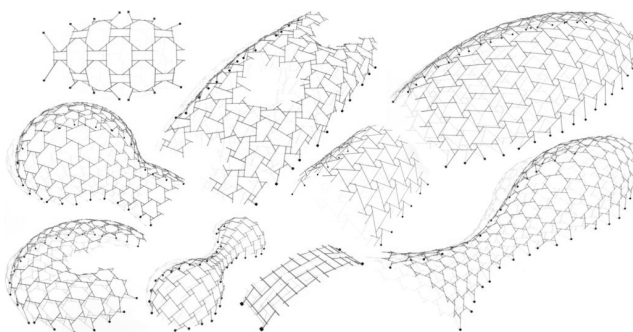
**Rys. 3.** Układ ramy samonośnej zastosowanej w konstrukcji dachu nie tylko tworzy niepowtarzalny klimat, ale daje również możliwość tworzenia oświetlenia.

Źródło: Popovic Larsen O., *Reciprocal Frame Architecture*, Elsevier, Oxford 2008

Ze względu na właściwości geometryczne konstrukcji, najbardziej odpowiednie formy budynków (w rzucie) z wykorzystaniem ram wzajemnie podpartych to okręgi, elipsy i wielokąty foremne. Funkcja i podział wewnętrzny różni się od pozostałych obiektów tego typu. Ponieważ nie są potrzebne żadne wsporniki, wewnątrz tworzy się bardzo elastyczna przestrzeń architektoniczna. Istotnym jest też fakt, że belki tworzące ramę samonośną nie posiadają jednego,

centralnego punktu podparcia. Różni ją to od większości tradycyjnych rozwiązań konstrukcji dachów w planie koła, których to elementy spierają się wzajemnie w najwyższym punkcie dachu, tworząc kalenicę.

Z drugiej strony, zarówno wewnętrzny, jak i zewnętrzny wielokąt są określone przez punkty końcowe belek, które mogą mieć różne długości. Ramy samonośne mogą więc być wykorzystane do pokrycia niemal dowolnego kształtu obiektu (Rys. 4). Tym samym możliwość tworzenia jest nieskończona i jedyne co ją hamuje to wyobraźnia projektanta-konstruktora. Dodatkowo wprowadzenie różnych odstępów pozwala strukturze na pełnienie w budynkach bardzo zróżnicowanych funkcji.



**Rys. 4.** Dowolność kształtów i form z użyciem ram samonośnych jest nieskończona, i ograniczona jedynie przez wyobraźnię autora projektu

Źródło: <http://www.cse.cuhk.edu.hk/~cwfu/papers/recipeframe/index.html>

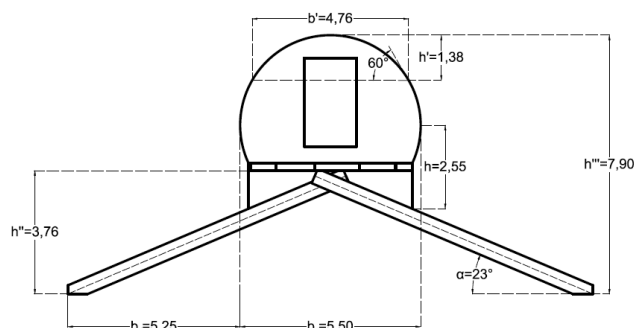
Bezpieczeństwo konstrukcji jest nieodłącznym problemem towarzyszącym wszystkim obiektom, których układ nośny stanowi rama wzajemnie podparta. Problem polega na przypadkowym usunięciu lub zniszczeniu jednego z elementów. W praktyce może to oznaczać katastrofę i zawalenie się całej struktury. Przepisy budowlane nie tylko w Polsce, ale w wielu krajach stanowią, że ryzyko upadku musi zostać uwzględnione w projekcie. Regulacje te określają, jaki rodzaj budynków i budowli, lub wobec jakich ich części dopuszczalne jest uszkodzenie. Zatem w przypadku konstrukcji większych lub o większym znaczeniu, w których konsekwencje zawalenia są dużo poważniejsze, należałoby ulokować dodatkowe elementy, które zadziałają, jako podpora.

W obszarach aktywnych sejsmicznie stosowanie tego rodzaju konstrukcji wydaje się jak najbardziej uzasadnione. Podatność złączy, duża rozpiętość belek, oraz naturalna sprężystość całego ustroju, wynikająca z charakteru ustroju okazała się doskonale rozpraszać energie trzęsienia ziemi.

### 4. Założenia projektowe

Poniżej przedstawiony został schemat, a także niezbędne założenia, dane materiałowe, geometryczne i wyjaśnienia. Wszystkie przedstawione tu zapisy były wymagane w fazie wymiarowania elementów oraz określania obciążeń

w celu poprawnego zaprojektowania konstrukcji wsporczej dachu obserwatorium.



**Rys. 5.** Schemat konstrukcji wraz z wymiarami.

Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem programu Autodesk AutoCAD 2012.

#### Belka główna

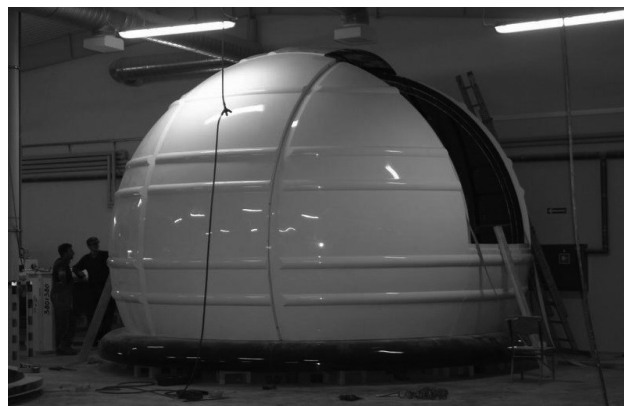
Belki główne zaprojektowano z drewna klejonego warstwowo o przekroju 24x48 [cm] stałym na całej długości. Aby spełnić wymogi nośności, ze względu na SGN i SGU, a tym samym zachować wrażenie lekkości, jakie sprawia konstrukcja, wykorzystano klasę GL 36h, charakteryzującą się największą wytrzymałością.

#### Belka obwodowa

Głównym zadaniem belek obwodowych jest przeniesienie ciężaru kopuły obserwacyjnej w sposób równomierny oraz zapewniający redystrybucję obciążeń na belki główne. Zaprojektowano je również z drewna klejonego warstwowo klasy GL 36h, o przekroju 24x24 [cm]. Rozwiązanie, choć z dużym zapasem wytrzymałości, podyktowane jest uniknięciem błędów w trakcie realizacji zamówienia oraz montażu.

#### Kopuła obserwacyjna Omegon

Kopuła obserwacyjna (Rys.6.) wykonana jest z poliestrowego laminatu z włóknem szklanym o grubości 10 [mm], co daje całkowitą ochronę przed wszelkimi warunkami pogodowymi przy jednoczesnej gwarancji wysokiej i wieloletniej trwałości. Szczelność kopuły zapewniona jest dzięki specjalnej budowie łączy elementów, która umożliwia przeciek wody do wnętrza kopuły. Duży otwór obserwacyjny o szerokości 1,6 [m] pozwala na swobodne obserwacje teleskopami o średnicach do 155 [cm].



**Rys. 6.** Kopuła obserwacyjna Omegon

Źródło: [http://www.astroshop.pl/instrumenty/omegon-kopula-obserwacyjna-o-srednicy-5-5m/p,49609#tab\\_bar\\_0\\_select](http://www.astroshop.pl/instrumenty/omegon-kopula-obserwacyjna-o-srednicy-5-5m/p,49609#tab_bar_0_select)

#### Węzły

Prawidłowe wykonanie połączeń decyduje nie tylko o trwałości i sztywności całej konstrukcji. Ich estetyczne wykonanie stanowić może również piękny detal architektoniczny. W projekcie tak dobrano wysokość belek głównych oraz kąt ich nachylenia, aby dokładnie do siebie przylegały bez potrzeby wykonywania zacięć zmniejszających wysokość użyteczną przekroju, oraz bez stosowania elementów dystansujących.



**Rys.7.** Odpowiednio dobrane wysokości przekrojów pozwalają na uniknięcie zacięć elementów.

Źródło: Popovic Larsen O., *Reciprocal Frame Architecture*, Elsevier, Oxford 2008

#### Ściana zewnętrzna

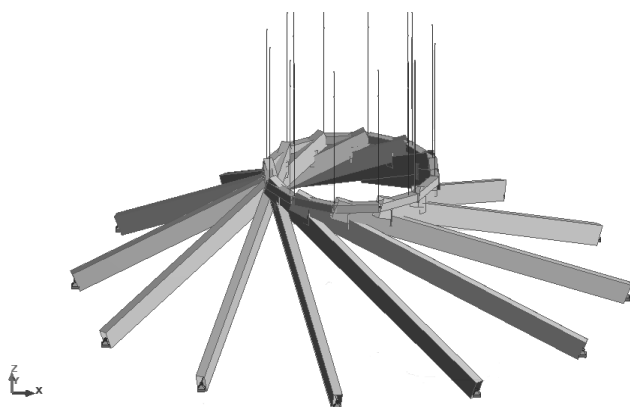
Jako zewnętrzne podparcie dla belek głównych zaproponowano ścianę żelbetową o grubości 40 [cm]. Belki główne z drewna klejonego za pomocą stalowych łączników utwierdzone są w ścianie, a ta oparta na ławie fundamentowej. Poniżej poziomu gruntu zaleca się również wykonanie wzdłuż ściany izolacji: termicznej i przeciwwilgociowej.

### Pokrycie

Choć projekt pokrycia konstrukcji wsporczej nie należy do zakresu opracowania, nie mniej jednak celem zebrania obciążeń należało przyjąć rozwiązanie. Zaproponowano tutaj szkło hartowane EUROGLAS ESG Flat o grubości 12 [mm]. Aby zapewnić funkcjonalność obiektu nawet w okresie dużych opadów śniegu, szkło charakteryzuje się celowo wysokim współczynnikiem przenikania ciepła ( $\lambda = 1$ ). Ma to na celu przyspieszenie topnienia pokrywy śnieżnej.

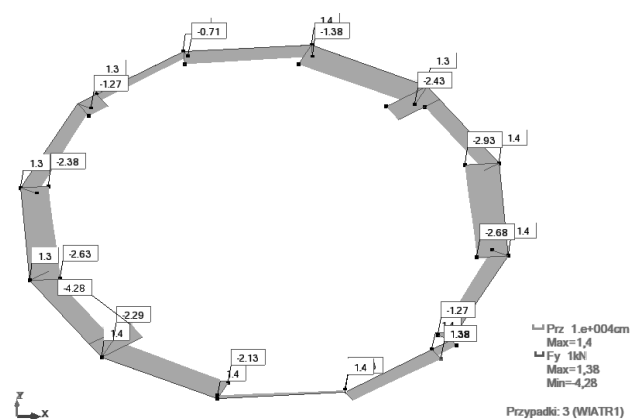
### Przestrzeń wewnętrzna

Przestrzeń wewnątrz obserwatorium astronomicznego, z tak wykonaną konstrukcją przekrycia dachowego może być wykorzystana na wiele sposobów. Jedną z propozycji jest zorganizowanie wewnątrz wystawy poświęconej zdjęciom wykonanym przy użyciu znajdującego się tam teleskopu. Brak wewnętrznych słupów i elementów podparcia, połączony z dużą powierzchnią użytkową (172,03 m<sup>2</sup>) pozwala na jej adaptację w niemal dowolny sposób, ograniczony jedynie ludzką wyobraźnią.



**Rys. 8.** Wizualna kontrola poprawności modelu.

Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem programu Robot Structural Analysis Professional 2014.



**Rys. 9.** Składowa siła pozioma od obciążenia wiatrem na kopułę

Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem programu Robot Structural Analysis Professional 2014.

Składowa siła pozioma powodowana parciem wiatru na kopułę obserwacyjną została rozłożona na belki obwodowe. Wpływa ona na sposób zamocowania kopuły Omegon, natomiast nie ma większego znaczenia na stateczność całej konstrukcji.

### 5. Podsumowanie i wnioski

Celem niniejszej pracy było stworzenie konstrukcji wsporczej kopuły obserwatorium astronomicznego. Podczas tego procesu bardzo ważne było znalezienie odpowiedniej formy oraz zwymiarowanie poszczególnych elementów i połączeń. Tworząc układ konstrukcyjny, jako rozwiązanie zaproponowano ramę wzajemnie podpartą (ang. reciprocal frame). Rozwiązanie to jest mało popularne ze względu na trudności w wykonaniu oraz skomplikowaną geometrię. Warto tutaj postawić pytanie, dlaczego dla konstrukcji, która ma na celu jedynie „podtrzymywanie”, nie przyjęto prostej, znacznie smuklejszej formy stalowej? Odpowiedź wydaje się oczywista, pokierowana głównie względami estetycznymi. Obserwatorium bowiem to obiekt, do którego człowiek idzie by podziwiać to, co naturalne i piękne. Architekci, wychodząc naprzeciw, stosują wówczas drewno, jako materiał mający spełnić te oczekiwania.

### Literatura

1. Zmuda J., *Konstrukcje wsporcze dźwignic*.
2. Rykaluk K., *Konstrukcje metalowe cz. 2*.
3. Bródka J., *Projektowanie i obliczanie połączeń i węzłów konstrukcji stalowych. Tom I*.
4. Baryłka A., *O możliwości wykorzystania dronów w budownictwie*. Referat na XXX Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Inżynieria bezpieczeństwa – Ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń” Ekomilitaris 2016, Zakopane wrzesień, 2016.
5. Baryłka A., *Okresowe kontrole obiektów budowlanych w procesie ich eksploatacji*. Wyd. Centrum rzeczoznawstwa Budowlanego, Warszawa, 2016.
6. Baryłka A., Baryłka J., *Eksploatacja obiektów budowlanych. Poradnik dla właścicieli i zarządców nieruchomości*. Wyd. Centrum Rzeczoznawstwa Budowlanego, Warszawa, 2016.
7. <http://rcb.gov.pl/infrastruktura-krytyczna/>
8. Rządowe Centrum Bezpieczeństwa, *Incydenty zagrażające bezpieczeństwu są analizowane*, [http://fakty.interia.pl/polska/news-rbc-incydenty-zagrazajace-bezpieczenstwu-sa-analizowane,nId,2293397#utm\\_source=paste&utm\\_medium=paste&utm\\_campaign=firefox](http://fakty.interia.pl/polska/news-rbc-incydenty-zagrazajace-bezpieczenstwu-sa-analizowane,nId,2293397#utm_source=paste&utm_medium=paste&utm_campaign=firefox)
9. Kamiński, P. „Systemy zabezpieczeń obiektów infrastruktury krytycznej. Wprowadzenie.” <http://www.zabezpieczenia.com.pl/publicystyka/systemy-zabezpiecze%C5%84-obiekt%C3%B3w-infrastruktury-krytycznej-wprowadzenie> 09.02.2017.