

Wieża widokowa o konstrukcji stalowej w Haslev, w Danii

W rozległej przestrzeni chronionego lasu Gissenfeld Klosters w południowo-wschodniej Zelandii pod Kopenhagą została 30 marca 2019 roku oddana do użytkowania wieża widokowa jako jeden z elementów trasy rekreacyjnej (rys. 1). Z tarasu panoramicznego usytuowanego na szczycie wieży można podziwiać krajobraz leśny, korony otaczających drzew,



Rys. 1. Wieża widokowa w Haslev – widok ogólny.
Fot. Rasmus Hjortshøj [2]

a w pogodny dzień – sylwetki oddalonych o 50 km Kopenhagi i Malmö.

Wieża została zaprojektowana w duńskim biurze architektonicznym EFFEKT oraz w zakresie konstrukcji – w firmie Arup. Obiekt został nagrodzony za: najlepszą koncepcję projektową „Best of Best (Concept)” przez German Design Council, wizjonerską architekturę – ICONIC Award 2017 oraz najlepszą inicjatywę turystyczną w 2018 r. w Danii [1].

Wieża ma wysokość 45 m, rzut kołowy o średnicy zmiennej na wysokości. Została zaprojektowana i zrealizowana jako konstrukcja stalowa przestrzenna – hiperboloidalna powłoka siatkowa ukształtowana z krzyżujących się wzajemnie prętów stalowych o przekroju rurowym okrągłym. We wnętrzu tej konstrukcji jest usytuowana spiralna rampa łącznej długości 640 m, umożliwiająca wygodne wejście piesze na okalający rzut szczytu wieży taras widokowy. Rampa ma konstrukcję stalową opartą w węzłach powłoki siatkowej (rys. 2), a jej posadzkę wykonano z drewna dębowego.

Konstrukcja obiektu była modelowana numerycznie i optymalizowana z uwagi na kryterium ograniczenia zużycia stali.



Rys. 2. Detal konstrukcji stalowej powłoki hiperboloidalnej. Fot. Rasmus Hjortshøj [2]

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] Designing a spiralling treetop tower to offer stunning views of protected Danish forest. Camp Adventure Tower, Haslev, Zealand. <https://www.arup.com/projects/camp-adventure-tower> – dostęp 5.01.2020.
- [2] Langer K.: Camp Adventure Park/EFFEKT. <https://arcspac.com/feature/camp-adventure-park-effekt/> – dostęp 5.01.2020.

Karolina Michalak
Studentka Wydziału Architektury
Politechniki Warszawskiej

Budynek-most muzeum „Twist” w Jevnaker, w Norwegii

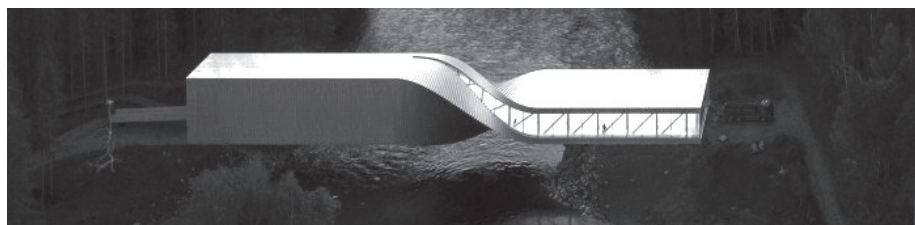
W parku rzeźby Kistefos w mieście Jevnaker, w Norwegii oddano do użytkowania 18 września 2019 r. innowacyjny budynek muzealny, stanowiący jednocześnie most łączący dwa brzegi rzeki Randselva. Budynek jest wkomponowany w naturalny krajobraz. W zamierzeniu projektowym ma umożliwić spacer przez park z kontynuacją po drugiej stronie rzeki i jednocześnie wizytę w ciekawej przestrzeni muzealnej oferującej atrakcyjną ekspozycję.

Obiekt został zaprojektowany w zakresie architektury przez Bjarke Ingels Group jako hybryda budynku, infrastruktury i rzeźby, czyli w przypadku „Twist” – muzeum, mostu i rzeźby (rys. 1) [2].

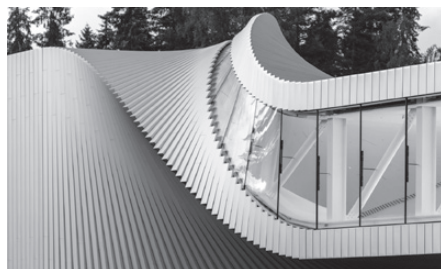
Budynek o powierzchni 1000 m² mieści przestrzenie o charakterze wystawienniczym, w tym galerię sztuki współczesnej.

Obiekt ma prostą formę architektoniczną – belki ukształtowanej z układu przylegających do siebie paneli szerokości 40 cm, w środkowej części wachlarzowo obróconych wokół własnej osi obiektu o 90° (rys. 2).

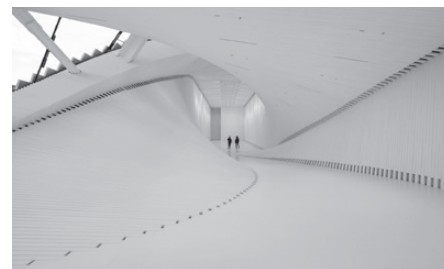
Konstrukcja obiektu jest stalowa kratownicowa. Elewację pokryto panelami z blachy aluminiowej, a od wewnątrz posadzki, ściany i sufit obłożono listwami szerokości 8 cm z drewna jodłowego pomalowanego na kolor biały (rys. 3).



Rys. 1. Widok ogólny obiektu – wizualizacja Laurian Ghinitoiu [2]



Rys. 2. Fragment środkowy obiektu.
Fot. Laurian Ghinitoiu [2]



Rys. 3. Wnętrze obiektu.
Fot. Laurian Ghinitoiu [2]

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] Chan T.F.: BIG brings a spectacular twist to a Norwegian sculpture park. “Wallpaper”, (W’242), May 2019 r. <https://www.wallpaper.com/architecture/the-twist-kistefos-museum-jevnaker-norway-bjarke-ingels-group-big> – dostęp 3.01.2020.
- [2] Pintos P.: The Twist Museum/BIG. https://www.archdaily.com/925106/the-twist-museum-big?ad_medium=widget&ad_name=navigation-prev – dostęp 3.01.2020.

Karolina Michalak
Studentka Wydziału Architektury Politechniki Warszawskiej

Wieża widokowa „Vessel” w Nowym Jorku

Wieża została oddana do użytkowania 15 marca 2019 r. Ma ona ciekawą formę architektoniczną (rys. 1), będącą pewnego rodzaju rzeźbą wzbogacającą przestrzeń publiczną Hudson Yard o funkcji rekreacyjnej w bezpośredniej bliskości rzeki Hudson. Została zaprojektowana przez brytyjskiego architekta *Thomasa Heatherwicka* i konstruktora *Thomtona Tomasetti* (Engineer Of Record) oraz firmy AKT II [3] jako przestrzenna klatka schodowa ukształtowana na wzór plastra miodu (rys. 2). Obiekt jest przeznaczony do jednoczesnego przebywania w nim 1000 osób, a także – po późniejszej modyfikacji – dostępny dla osób niepełnosprawnych.

Rzut wieży ma kształt koła średnicy u podstawy 15 m, rozszerzającej się do



Rys. 1. Wieża Vessel – widok ogólny [4]



Rys. 2. Wnętrze wieży widokowej [4]

46 m w najwyższym poziomie. Wysokość wieży od poziomu terenu wynosi 46 m.

Konstrukcję wieży stanowi przestrzennie usytuowana sieć 154 biegów schodów powiązanych i usztywnionych ze sobą 80 podestami stanowiącymi platformy widokowe. Łączna liczba stopni schodów wynosi 2500, a długość schodów – około 1,6 km [1]. Konstrukcję wieży stanowi przestrzenna stalowa rama z przekrojów skrzynkowych o rzucie sześciokątnym (rys. 3).

Konstrukcja jest spawana i montowana z wielu elementów zróżnicowanych pod względem gabarytów i kształtu, wykonanych w stoczni Monfalcone we Włoszech, a następnie przetransportowanych drogą wodną na statkach na brzeg rzeki Hudson w pobliżu miejsca wbudowania.

Obiekt po oddaniu do użytkowania wzbudzał liczne kontrowersje i zróżnicowane oceny – od bardzo pozytywnych,



Rys. 3. Fragment konstrukcji stalowej w czasie montażu [4]

wskazujących, że wieża „Vessel” będzie stanowiła jeden z symboli Manhattanu podobnie jak wieża Eiffla w Paryżu, do krytycznych – poddających w wątpliwość zasadność realizacji niezwykle kosztownej inwestycji za 200 mln dolarów, częściowo ze środków finansowych publicznych [2].

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] *Fahner M.*: Vessel, the maze-like vertical structure, opens in NYC's Hudson Yards. <https://www.nbcnews.com/news/amp/ncna983866> – dostęp 2.01.2020.
- [2] *Lynch P.*: Heatherwick's Copper 'Vessel' Tops Out at New York's Hudson Yards. <https://www.archdaily.com/885092/heatherwicks-copper-vessel-tops-out-at-new-yorks-hudson-yards> – dostęp 2.01.2020.
- [3] Vessel (structure). [https://en.wikipedia.org/wiki/Vessel_\(structure\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Vessel_(structure)) – dostęp 4.01.2020.
- [4] <http://www.heatherwick.com/project/vessel/> – dostęp 4.01.2020.

Karolina Michalak
Studentka Wydziału Architektury
Politechniki Warszawskiej

28 marca 2019 r. w stolicy Kataru Dosze oddano do użytkowania kompleks obiektów Muzeum Narodowego, który zaprojektował francuski architekt *Jean Nouvel*. Autor projektu uzyskał wiele nagród, w tym prestiżową architektoniczną nagrodę Pritzкера „za najlepszą architekturę w 2018 roku”, „najlepszy projekt przyszłości”, za rozwiązanie elewacji. Konstrukcję opracowano w biurze projektów ARUP [5], a koordynację interdyscyplinarną z wykorzystaniem modelu numerycznego 3D BIM prowadziła firma Trimble [6].

Muzeum ma łączną powierzchnię 147 425 m², w tym część zamkniętą o powierzchni 52 000 m² przewidzianą do ekspozycji wystaw stałych i czasowych oraz przestrzenie publiczne, tj. hol recepcyjny, obiekty handlowe i kawiarnie oraz rozległy dziedzińiec o rzucie eliptycznym [3].

Obiekt swoją formą nawiązuje bezpośrednio do występujących na pustyni naturalnych tworów – skupisk kryształów kwarcu, utożsamianych z kwiatami, nazywanych różami pustyni (rys. 1). *Jean Nouvel* charakteryzuje ten obiekt następująco [3]: *Muzeum Narodowe jest poświęcone historii Kataru. Symbolicznie jego architektura przywołuje pustynię, jej cichy i wieczny wymiar, ale także ducha nowoczesności i śmiałości, które pojawiły się i wstrząsnęły tym, co wydawało się niewzruszone.*



Rys. 1. Muzeum Narodowe Kataru – widok ogólny. Fot. *Martin Argyroglo* [1]

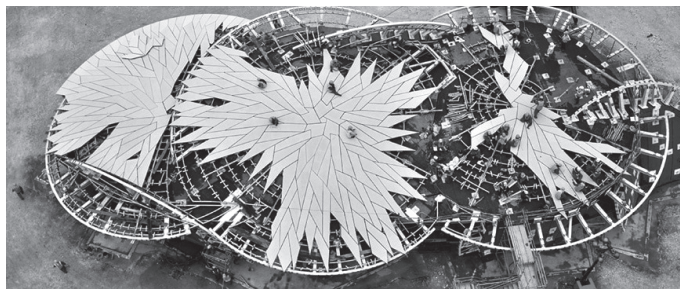
Konstrukcję tworzy układ usytuowanych pod różnymi kątami do poziomu, w sposób nieregularny i wzajemnie krzyżujących się „dysków” (rys. 2). Łączna liczba dysków wynosi 539, każdy z nich ma rzut w kształcie koła, lecz zróżnicowane krzywizny i średnice od 14 do 87 m. „Dyski” mają konstrukcję stalową (rys. 3) obłożoną prefabrykowanymi panelami z betonu wysokiej wytrzymałości, zbrojonego włóknem szklanym UHPFRC (rys. 4). Konstrukcja stalowa poszczególnych „dysków” składa się z prętów sytuowanych podobnie jak w kopułach prętowych – południkowo, równoleżnikowo i odpowiednio ze sobą obwodowo stężonych. Na tej konstrukcji są oparte drugorzędne pręty usytuowane nie więcej niż co 3,0 m, stanowiące podstawę oparcia membran izolacyjnych – termicznej i wodoodpornej, a następnie montażu na śruby prefabrykowanych paneli UHPFRC. Panele usytuowane na obwodzie



Rys. 2. Fragment konstrukcji obiektu. Fot. *Ateliers Jean Nouvel; Iwan Baan* [1]



Rys. 3. Konstrukcja stalowa dysków [5]



Rys. 4. Konstrukcja stalowa dysków obłożonych panelami. Fot. *Iwan Baan* [3]

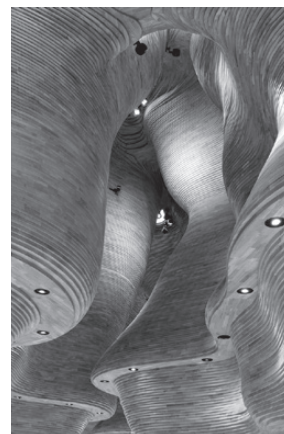
„dysków” mają grubość 60 mm, a pozostałe – 40 mm. Łączna powierzchnia tych paneli wynosi 120 000 m² [6]. Obliczenia konstrukcyjne, zarządzanie zmianami oraz koordynacja rozwiązań projektowych z zakresu wielu branż były prowadzone z wykorzystaniem modelowania numerycznego 3D BIM.

Obiekt został zaprojektowany jako energooszczędny. Ma niewielką liczbę otworów okiennych, zazwyczaj cofniętych do środka w stosunku do zewnętrznego zarysu obiektu, przestrzenie buforowe poprawiające walory izolacyjności termicznej usytuowane między „dyskami”, ukształtowane wspornikowe okapy mające na celu zacienienie wnętrza (rys. 5), duży ciężar własny konstrukcji i jasny piaskowo-beżowy kolor wszystkich elewacji i dachu [3, 4].

Wnętrze umożliwia realizację koncepcji projektowej wprowadzania kontrastów w obiekcie, „niespodzianek” czy też budowania odpowiedniego nastroju (rys. 6) [3].



Rys. 5. Fragment obiektu – widoczne wspornikowe zadaszenia. Fot. *Martin Argyroglo* [1]



Rys. 6. Wnętrze muzeum. Fot. *Koichi Takada Architektci; Tom Ferguson* [1]

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] *Bianchini R.*: National Museum of Qatar (architect Jean Nouvel). <https://www.inexhibit.com/mymuseum/national-museum-qatar-architect-jean-nouvel/> – dostęp 2.01.2020.
- [2] *Griffiths A.*: Jean Nouvel unveils National Museum of Qatar in Doha. <https://www.dezeen.com/2019/03/28/jean-nouvel-national-museum-qatar-cultural-architecture/> – dostęp 2.01.2020.
- [3] <https://www.designcommunication.net/architecture/all-about-the-national-museum-of-qatar-museum-with-a-heart> – dostęp 2.01.2020.
- [4] <http://www.jeannouvel.com/en/projects/museum-national-du-qatar/> – dostęp 2.01.2020.
- [5] <https://trimbleconsulting.com/national-museum-of-qatar> – dostęp 2.01.2020.
- [6] *Nouvel J.*: National Museum of Qatar. <https://en.wikiarquitectura.com/building/national-museum-qatar/> – dostęp 2.01.2020.

Karolina Michalak
Studentka Wydziału Architektury
Politechniki Warszawskiej

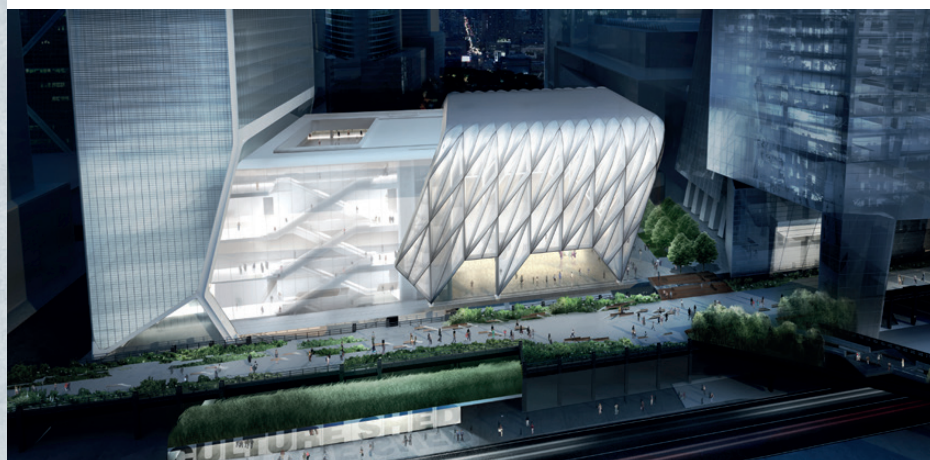
Mobilna wiata dziedzińca budynku *Bloomberga* w Nowym Jorku

Mobilną wiatę „The Shed” (rys. 1, 2) oddano do użytkowania 5 kwietnia 2019 r. Jest to ruchoma konstrukcja powłoki zewnętrznej (przekrycia wraz z elewacjami) dziedzińca West Side w Hudson Yards w dzielnicy Manhattan w Nowym Jorku. Nazwa obiektu – bezpośrednio po otwarciu – z uwagi na zasługi burmistrza Nowego Jorku *Michaela Bloomberga* w zakresie zapewnienia odpowiedniego finansowania jego projektowania i realizacji została zmieniona na „budynek *Bloomberga*” [1].

Tomasetti, a projekt mechanizmów – *Hardesty & Hanover*. Głównym wykonawcą była firma *Sciame*.

Centrum ma łączną powierzchnię 16 000 m², obejmującą budynek z częścią wystawienniczą o powierzchni 3700 m², muzealną – 2300 m² oraz teatr na 500 miejsc siedzących w obrębie mobilnej wiaty dziedzińca West Side – 1500 m².

Fundamenty wiaty wykonano jako kesony, na których oparto platformy o konstrukcji stalowej, a na nich ułożono



Rys. 1. Wizualizacja bryły „budynek *Bloomberga*” obejmująca budynek centrum sztuki wizualnej i widowisk oraz mobilną wiatę. Opracowanie: *Diller Scofidio + Renfro* [1]



Rys. 2. Wiatę po zrealizowaniu. Fot. *Ajay Suresh* [1]

W ramach konkursu na projekt obiektu – ośrodka kultury, będącego w zamierzeniach w ramach Manhattanu wiodącym centrum sztuki wizualnej i widowisk, określono podstawowe uwarunkowania i wymagania w odniesieniu do rozwiązania funkcjonalnego, w tym konieczność zapewnienia elastyczności rozwiązania przestrzennego w dostosowaniu do wielkości przygotowywanego wydarzenia artystycznego, czyli możliwości „rozrastania się” bądź „kurczenia” bryły obiektu [1].

Opracowanie projektowe w zakresie architektury przygotował arch. *Diller Scofidio + Renfro* we współpracy z *Rockwell Group*, w zakresie konstrukcji – inż. *Thompton*

tory, po których wiatę może się przemieszczać (rys. 3, 4).

Całkowita masa wiaty wynosi 3600 t. Jej konstrukcję stanowi układ stalowych ram, których każda z podpór jest wyposażona w koła średnicy 1,8 m (rys. 5). Okładzinę zewnętrzną stanowią „poduszki” z lekkiego tworzywa sztucznego ETFE o wysokich właściwościach termizolacyjnych. Konstrukcja wiaty jest wyposażona w teleskopowy mechanizm o stosunkowo nieznaczącej mocy silnika wynoszącej 15 KM, umożliwiający jej rozsuniecie (przekrycie i ostłonięcie dziedzińca) bądź zsuniecie w ciągu 5 min.



Rys. 3. Konstrukcja stalowa wiaty w trakcie realizacji. Fot. *Mike Peel* [1]



Rys. 4. Platformy o konstrukcji stalowej, na których oparto tory. Fot. *Epicgenius* [1]



Rys. 5. Podpory ram wyposażone w koła. Fot. *Ajay Suresh* [1]

Oryginalna forma architektoniczna obiektu oraz znaczące koszty inwestycji (500 mln dolarów) były szeroko komentowane, zarówno pozytywnie, jak również negatywnie. Szczególniej krytyce poddano elewację wiaty, wskazując, że centrum kulturalne Nowego Jorku nie powinno wyglądać jak pikowana torebka Chanel na kółkach [3].

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] The Shed (arts center). [https://en.wikipedia.org/wiki/The_Shed_\(arts_center\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Shed_(arts_center))
- [2] The shed is set to 'deploy' at new york's hudson yards. Dostęp 6.01.2020. <https://www.designboom.com/architecture/the-shed-opening-hudson-yards-dsr-rockwell-group-04-03-19/>. Dostęp 6.01.2020.
- [3] *Wainwright O.*: The \$500m Shed: inside New York's quilted handbag on wheels. <https://www.theguardian.com/artanddesign/2019/apr/05/shed-new-york-inside-arts-complex-hudson-yards>. Dostęp 6.01.2020.

Karolina Michalak
Studentka Wydziału Architektury
Politechniki Warszawskiej

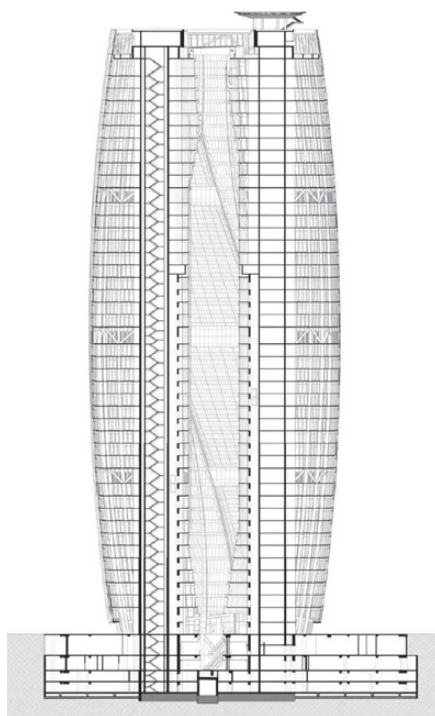
Budynek Leeza Soho w Pekinie

Po czterech latach budowy, w 2019 roku oddano do użytkowania ostatni zaprojektowany w zakresie architektury przez *Zahę Hadid* w Zaha Hadid Architects budynek Leeza Soho w nowoczesnej dzielnicy biznesowej Pekinu (rys. 1). Konstrukcja została zaprojektowana w biurach: Bollinger + Grohmann; China Academy of Building Research oraz Beijing Institute of Architectural Design [2]. W budynku znajdują się pomieszczenia biurowe oraz przestrzenie handlowe i publiczne. Wykonano także lądowisko dla helikopterów. Kondygnacje podziemne są przede wszystkim przeznaczone na parking dla 2680 rowerów oraz miejsca ładowania samochodów elektrycznych i hybrydowych.



Rys. 1. Widok ogólny [5]

Budynek ma 46 kondygnacji nadziemnych i 4 kondygnacje podziemne (rys. 2), wysokość 207 m nad poziomem terenu [4], powierzchnię użytkową 172 800 m² [2]. Wyróżniającą cechą obiektu jest wewnętrzne atrium wysokości wynoszącej 194,15 m (rys. 3). Obiekt został usytuowany nad tunelem metra, który po przekątnej dzieli jego rzut na dwie części. Z tych względów wnętrze składa się z dwóch wież, wzajemnie skręconych pod kątem 45°, połączonych łącznikami w poziomach 13., 24. i 35. piętra. Każdą z wież posadowiono na palach zagłębionych tak, aby ograniczyć oddziaływanie na istniejący tunel metra, poniżej poziomu płyty dennej tego tunelu. Fundamenty są usytuowane po obu stronach tego



Rys. 2. Przekrój poprzeczny [5]

tunelu. Łączniki stanowią miejsca do spacerowania. Budynek jest bardzo dobrze wkomponowany w strukturę komunikacyjną miasta i usytuowany w sąsiedztwie stacji kolejowej oraz skrzyżowania pięciu nowo budowanych linii metra [2].

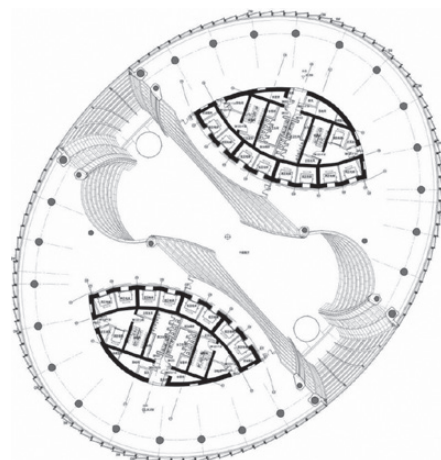
Leeza Soho jest wyposażony w nowoczesne systemy wentylacji zintegrowane z oryginalnym rozwiązaniem elewacji wykonanej z podwójnie izolowanych zespolonych szklanych ścian osłonowych, a także w system filtracji powietrza we wnętrzu. Zastosowano w nim urządzenia zmniejszające zużycie energii, system zarządzania energią oraz monitorowania efektywności energetycznej, a ponadto wyposażono m.in. w instalacje odzysku



Rys. 3. Wewnętrzne atrium [1]

ciepła, wysokosprawne pompy, wentylatory, instalację fotowoltaiczną [2].

Konstrukcję każdej z wież stanowi żelbetowy trzon oraz przestrzenny układ żelbetowych słupów pochylonych w stosunku do pionu (rys. 4). Stropy międzykondygnacyjne są zespolone stalowo-żelbetowe, ukształtowane z układu belek stalowych, na których oparto stalową blachę trapezową stanowiącą deskowania płyty żelbetowej. Obciążenia poziome są przenoszone przez płyty stropowe na żelbetowe trzony, natomiast obciążenia pionowe – przez konstrukcję słupów i ściany trzonów za pośrednictwem fundamentów palowych – na podłoże gruntowe [3].



Rys. 4. Przekrój poprzeczny w poziomie 10. kondygnacji nadziemnej [5]

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] Crook L.: Zaha Hadid Architects completes Leeza Soho skyscraper with world's tallest atrium. 20.11.2019. <https://www.dezeen.com/2019/11/20/leeza-soho-zaha-hadid-architects-skyscraper-beijing/>.
- [2] Leeza SOHO / Zaha Hadid Architects <https://www.archdaily.com/928726/leeza-soho-zaha-hadid-architects>.
- [3] Leeza Soho Competition. Beijing China. <https://www.bollinger-grohmann.com/en/projects/leeza-soho-competition.html>.
- [4] Zaha Hadid architects presentan el rascacielos leeza soho de pekín 27/02/2017. El rascacielos con el atrio más alto del mundo [pekín] china metalocus, andrés terrain <https://www.metalocus.es/en/news/zaha-hadid-architects-presents-leeza-soho-skyscraper-beijing>.
- [5] Zaha Hadid's Leeza Soho tower features the world's largest atrium. <https://www.arch2o.com/zaha-hadid-architects-leeza-soho-tower-features-worlds-largest-atrium/>.

Karolina Michalak
Studentka Wydziału Architektury
Politechniki Warszawskiej

Drewniana wieża w mieście Urbach, w Niemczech

Wieża została wzniesiona w 2019 roku jako innowacyjny obiekt zaprojektowany na Uniwersytecie w Stuttgarcie, w Instytucie Projektowania Komputerowego i Budownictwa pod opieką prof. *Achima Mengesa* i Instytucie Konstrukcji Budowlanych i Projektowania Konstrukcyjnego pod opieką prof. *Jana Knippersa*, we współpracy naukowej z dr. *Markusem Rüggebergiem*, *Philippe Grönquistem* i prof. *Ingo Burgertem* z Laboratorium Celulozy i Drewna EMPA w Szwajcarii oraz ETH Zurich w Szwajcarii [1].

Wieża ma wysokość 14 m (rys. 1). Została wykonana z drewna świerkowego klejonego krzyżowo, tj. z desek sytuowanych w kolejnych warstwach naprzemiennie w kierunku podłużnym i poprzecznym do osi elementu.

Inspiracją do ukształtowania wieży były naturalne właściwości drewna, tj. samoczynne odkształcanie się wraz ze zmianą wilgotności. Deformacje płyt z drewna klejonego w czasie osuszania i ich stabilizacja w oczekiwanym momencie dzięki impregnacji stanowią podstawę opracowanego modelu bryły wieży, określanego jako „samokształtujący się”. Wśród walorów tej koncepcji wskazano m.in. brak konieczności wprowadzania skomplikowanych i energochłonnych technologii mechanicznego kształtowania formy obiektu oraz zastosowania ciężkich urządzeń i maszyn [1].

Podstawowe elementy składowe wieży we wstępnym etapie prefabrykacji są płaskimi panelami dwuwarstwowymi o wymiarach 5×1,2 m, klejonymi krzyżowo z drewna o znacznej wilgotności (rys. 2). Te elementy są umieszczane w komorze suszenia na przygotowanych platformach roboczych. Proces suszenia jest odpowiednio zaprojektowany, aby w czasie kurczenia się drewna doprowadzić do uzyskania oczekiwanego wygięcia elementu.

Po zakończeniu procesu suszenia następuje kształtowanie prefabrykatów wielkowskalowych stanowiących powłokę walcową (połówka walca) o promieniu 2,4 m, długości 15 m i grubości ścianki 90 mm przez odpowiednie nakładanie na siebie paneli o wymiarach 5×1,2 m i ich laminowanie. Ten proces powoduje



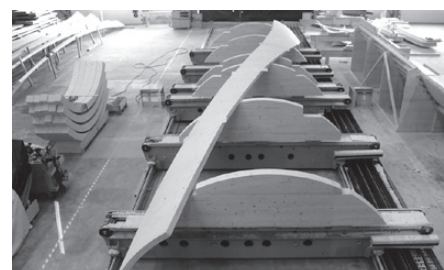
Rys. 1. Widok ogólny wieży (ICD/ITKE University of Stuttgart) [1]



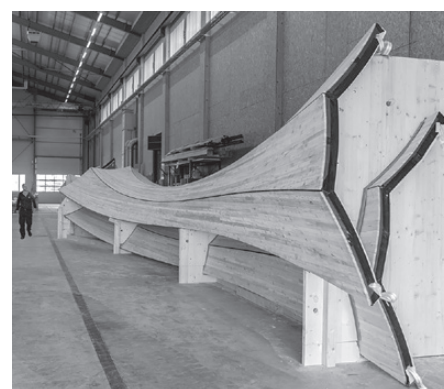
Rys. 2. Panel dwuwarstwowy po odkształceniu (ICD/ITKE University of Stuttgart and EMPA/ETH Zürich) [1]

stabilizację odkształceń i jednocześnie kształtu uzyskanego samoczynnie w trakcie procesu suszenia. Następnie z wielkowskalowego prefabrykatu powłoki walcowej w sposób zautomatyzowany – jest wycinanych dwanaście zakrzywionych segmentów konstrukcji wieży (rys. 3) [1].

Zautomatyzowane wycinanie jednego segmentu przez robot trwa 90 minut. W celu ułatwienia i przyspieszenia montażu segmenty są łączone w grupy po trzy i przewożone na miejsce wbudowania (rys. 4). Proces łączenia trzech prefabrykatów nie wymaga stosowania rusztowań i jest wykonywany przez czterech pracowników w ciągu jednego dnia (rys. 5). Zakrzywione segmenty mają odpowiednio wycięte i wyprofilowane cią-



Rys. 3. Zakrzywiony segment konstrukcji wieży (ICD/ITKE University of Stuttgart and EMPA/ETH Zürich) [1]



Rys. 4. Trzy zakrzywione segmenty połączone w grupę (ICD/ITKE University of Stuttgart and EMPA/ETH Zürich) [1]



Rys. 5. Montaż konstrukcji wieży (ICD/ITKE University of Stuttgart) [1]



Rys. 6. Wnętrze wieży (ICD/ITKE University of Stuttgart) [1]

głe styki montażowe – szwy, które w trakcie scalania konstrukcji są dodatkowo wzmacniane stalowymi śrubami [1].

Konstrukcja wieży charakteryzuje się lekkością (rys. 6) i bardzo korzystnym ilorazem wysokości i grubości ścianki, wynoszącym około 160 (wysokość – 14 m, grubość ścianki segmentu – 90 mm). Masa konstrukcji wieży odniesiona do jej rzutu wynosi 38 kg/m^2 [1].

Wieża zwieńczona transparentnym przekryciem jest usytuowana na wzniesieniu w pięknej zielonej przestrzeni jako lokalna atrakcja architektoniczna (rys. 7), a także miejsce schronienia przed opadami atmosferycznymi [2].



Rys. 7. Fragment konstrukcji wieży (ICD/ITKE University of Stuttgart) [1]

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] Urbach Tower. Institute for Computational Design and Construction (prof. A. Menges) Institute of Building Structures and Structural Design (prof. J. Knippers), <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/remstal-garten-schau-2019-urbach-turm/>.
- [2] Stevens P.: Urbach tower is a 14-meter-tall landmark built from self-shaping wood. "Designboom", <https://www.designboom.com/architecture/urbach-tower-self-shaping-wood-icd-itke-stuttgart-05-20-2019/>.

Karolina Michalak
Studentka Wydziału Architektury
Politechniki Warszawskiej

Pawilon z „bambusa” na Tajwanie

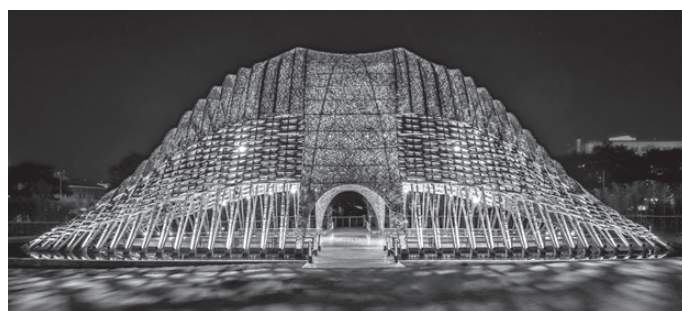
W Parku Huludun w Fengyuan, na Tajwanie został wzniesiony tymczasowy pawilon na Światową Wystawę Roślin w 2018 roku (rys. 1). Projektantem obiektu była firma Zuo Studio, a inwestorem Taichung Real Estate Development Association. Podstawowym celem przedsięwzięcia było zaprojektowanie w przestrzeni parkowej, wśród wody, zacienionego miejsca do wypoczynku. Pawilon swoim rozwiązaniem materiałowym miał nawiązywać do rzemiosła i tradycyjnych technologii budowlanych stosowanych na Tajwanie, a także wykorzystywać lokalne materiały i wdrażać koncepcję zrównoważonego budownictwa [1].

Pawilon, oparty na rzucie zbliżonym do elipsy o długości wielkiej osi 3061 cm i małej osi – 969,7 cm, ma powierzchnię rzutu poziomego 1570 m^2 [2]. Wysokość obiektu w najwyższym punkcie wynosi 1015,7 cm.



Rys. 1. Widok ogólny [2]

Konstrukcję stanowi przestrzenny układ 36 sytuowanych prostopadłe do wielkiej osi elipsy par stalowych łuków wykonanych z rur średnicy 33,5 mm o zróżnicowanych wyniosłościach i rozpiętościach (rys. 2). W kierunku podłużnym łuki są dodatkowo łączone ze sobą poziomo usytuowanymi 96 prętami stalowymi średnicy 6 mm.



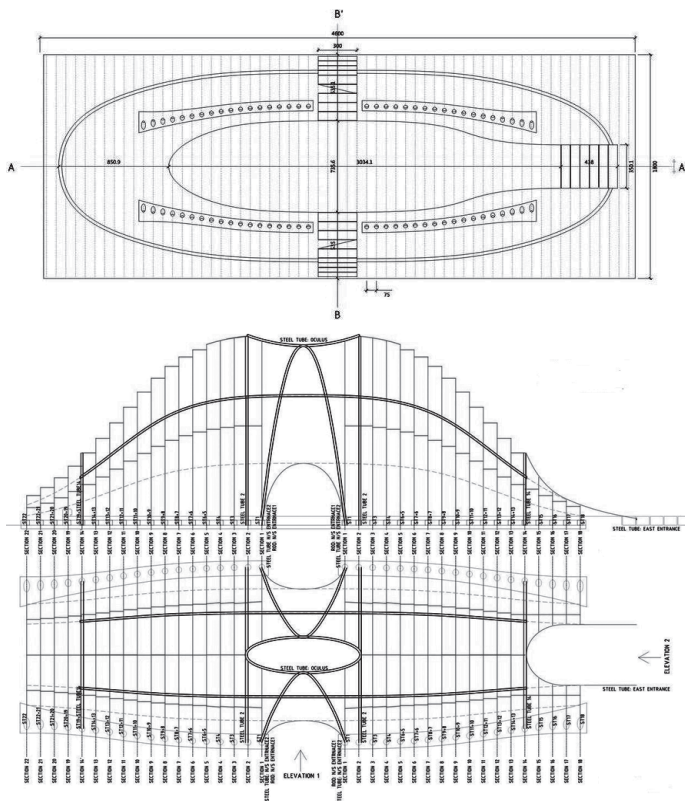
Rys. 2. Widok z boku [2]

Ustrój nośny ma usztywnienia podłużne ze stalowych prętów rurowych i usztywnienie poprzeczne w postaci dwu łuków stalowych umieszczonych na małej osi elipsy. Całą konstrukcję dodatkowo usztywnia i zwieńcza stalowy pierścień – okulus, który zapewnia ponadto doświetlenie wnętrza (rys. 3).

Konstrukcja obiektu jest posadowiona na żelbetowej płycie fundamentowej z dwoma odpowiednio ukształtowanymi żelbetowymi podwalinami (każda w rzucie zbliżona do połowy elipsy) do podparcia łuków (por. rys. 2a). Deskowanie tego fundamentu upleciono z liści bambusa.

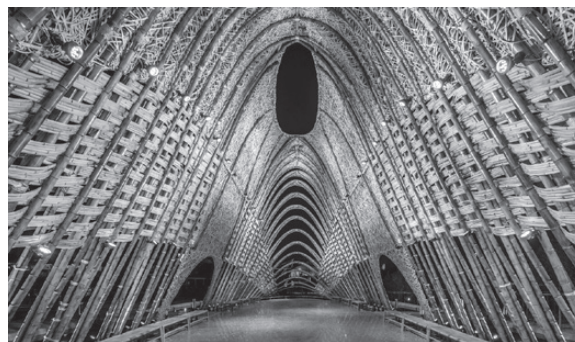
Konstrukcja stalowa pawilonu jest misternie opleciona „tkaniną” z łożdyg i liści bambusa. Do ukształtowania ścian i pokrycia dachowego zużyto łożdyg i liści pozyskanych z 320 trzyletnich roślin bambusowych kilku gatunków [1].

Obiekt ma ciekawą formę architektoniczną (rys. 4), a w nocy, z uwagi na iluminację, stanowi dodatkową atrakcję przestrzeni o charakterze rekreacyjnym (rys. 5).



Rys. 3. Schemat konstrukcji obiektu [1]: a) rzut podwalin, b) przekrój podłużny, c) przekrój poprzeczny

Dostępny na Tajwanie bambus był przez stulecia powszechnie stosowany do wznoszenia domów, jednak w ostatnich latach został wyparty przez nowoczesne materiały budowlane. W przedstawionej realizacji przybliżono i przypomniano wyjątkowe walory materiału powszechnie dostępnego w tym rejonie świata i cechującego się stosunkowo dużą wytrzymałością, trwałością, odpornością na korozję biologiczną – pleśń, a przede wszystkim szybkim przyrostem i odnawialnością.



Rys. 4. Wnętrze pawilonu (fot. Shih-Hong, YANG) [1]



Rys. 5. Iluminacja pawilonu i fragment elewacji bocznej (fot. Shih-Hong, YANG) [1]

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] Bamboo Pavilion / ZUO STUDIO, opublikowano 28 grudnia 2018, <https://www.archdaily.com/905690/bamboo-pavilion-zuo-studio>.
- [2] Zuo Studio builds arching bamboo pavilion over water in Taiwan, opublikowano 5 września 2019, https://www.dezeen.com/2019/09/05/bamboo-pavilion-zuo-studio-taiwan/?li_source=LI&li_medium=rhs_block_1.

Karolina Michalak
Studentka Wydziału Architektury PW

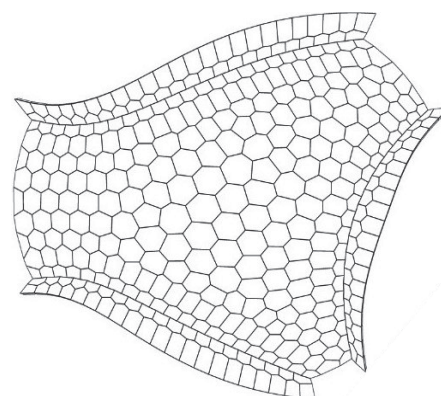
Pawilon Buga Wood w Heilbronn, w Niemczech

Pawilon Buga Wood podobnie jak Buga Fibre został zaprojektowany we współpracy Instytutu Projektowania Komputerowego i Budownictwa pod opieką prof. Achima Mengesa oraz Instytutu Konstrukcji Budowlanych i Projektowania Konstrukcyjnego Uniwersytetu w Stuttgarcie pod opieką prof. Jana Knippersa i oddany do użytku 17 kwietnia w 2019 r. na wyspie Bundesgartenschau, w niemieckim mieście Heilbronn [1÷5]. Pawilon ma charakter obiektu otwartego, w którym będą organizowane różnego rodzaju wydarzenia artystyczne i koncerty dla 400 widzów [1].

Obiekt zaprojektowano parametrycznie z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania i optyma-

lizowano z uwzględnieniem kryterium minimalnego zużycia materiału i minimalnej masy konstrukcji. Inspiracją do ukształtowania bryły obiektu stanowiły wyniki dziesięcioletnich interdyscyplinarnych badań prowadzonych w wymienionych instytutach, w tym biomimetycznych dotyczących morfologii i właściwości pancerzy jeżowców [2].

Pawilon ma złożoną formę, ukształtowaną z zakrzywionej w dwu kierunkach powłoki i połączonych z nią trzech wycinków powłok i łuków (rys. 1 i 2). Konstrukcja jest wykonana z prefabrykatów z drewna klejonego warstwowo, które mają kształt graniastosłupów o podstawach – zewnętrznej z płaskiego wielokąta



Rys. 1. Schemat rzutu konstrukcji pawilonu [2]

i wewnętrznej (od strony wnętrza pawilonu) z identycznego wielokąta z wyciętym owalnym otworem w jego części



Rys. 2. Widok ogólny (fot. Roland Halbe) [2]

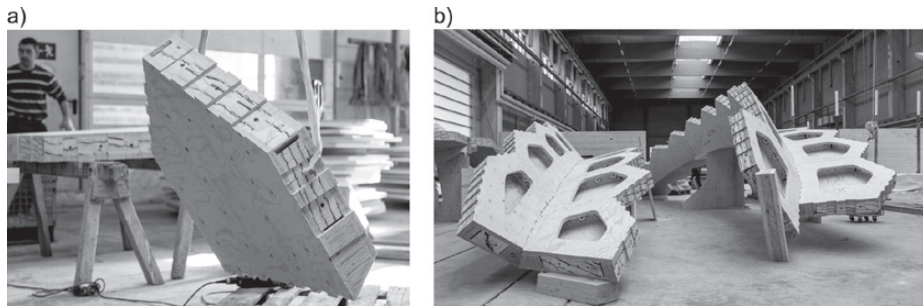
wewnętrznej. Główny prefabrykat ma podstawy sześciokątne, a prefabrykaty usytuowane w miejscu styku powłok i krawędziowe – pięciokątne bądź czworokątne (rys. 3). Każdy prefabrykat ma zróżnicowane wymiary gabarytowe – określone w wyniku projektowania parametrycznego z uwzględnieniem wymienionego kryterium minimum zużycia materiału i minimum masy konstrukcji, a także najefektywniejszego odtworzenia formy architektonicznej pawilonu.



Rys. 3. Fragment styku powłok (fot. Roland Halbe) [2]

Do w pełni zautomatyzowanej produkcji prefabrykatów przygotowano platformę wyposażoną w roboty do precyzyjnego cięcia i klejenia poszczególnych warstw drewna, a także frezowania ich ścian bocznych (rys. 4). Błąd opracowania przez robot krawędzi prefabrykatów wynosił $300 \mu\text{m}$, natomiast średni czas wykonania graniastosłupa prefabrykatu – 8 min, a precyzyjnego frezowania jego styków montażowych – 20+40 min [1, 2].

Pawilon ma rozpiętość 30 m, powierzchnię powłoki 600 m^2 i powierzchnię rzutu poziomego 500 m^2 . Został wzniesiony jako „trójwymiarowa układanka” – puzzle z 376 różnych prefabrykatów łączonych ze sobą na 1138 krawędziach (ścianach) bocznych z wykorzystaniem 17 000 indywidualnych (różnych), skomplikowanych połączeń na „mikrowczepy” (por.



Rys. 4. Prefabrykaty wykonane w sposób zautomatyzowany (ICD/ITKE University of Stuttgart) [2]: a) pojedynczy prefabrykat, b) zespolone prefabrykaty przygotowane do montażu krawędzi powłoki

rys. 4). Budowę „mikrowczepów” wzorowano na połączeniach płytek kształtujących pancerz jeżowca [1]. Konstrukcja pawilonu została zmontowana bez konieczności wykorzystywania rusztowań i desekowań (rys. 5) przez dwóch rzemieślników w ciągu 10 dni. Następnie połączenia (styki) segmentów wzmocniono śrubami stalowymi montowanymi od strony wewnętrznych otworów w prefabrykatach. Pawilon z zewnątrz pokryto izolacją wodoodporną z warstwy folii EPDM, a następnie płytami z drewna modrzewiowego.



Rys. 6. Wnętrze pawilonu (fot. Roland Halbe) [2]



Rys. 5. Konstrukcja w trakcie montażu (ICD/ITKE University of Stuttgart) [2]

Konstrukcja pawilonu i technologia wykonania ma pionierski charakter i została zrealizowana w wyjątkowo krótkim okresie 13 miesięcy, uwzględniając w tym opracowanie modelu numerycznego obiektu, obliczenia i optymalizację konstrukcji, opracowanie modelu numerycznego każdego prefabrykatu, przygotowanie stanowiska robota itd., aż do momentu wzniesienia i oddania obiektu do użytkowania. Korzystną cechą inwestycji jest jej lekkość i mobilność, czyli możliwość łatwego demontażu i wzniesienia w innym miejscu.

Do wykonania obiektu użyto 45 m^3 drewna, a masa drewnianej konstrukcji obiektu odniesiona do rzutu poziomego wynosi $36,02 \text{ kg/m}^2$.

Obiekt jest wyposażony w oświetlenie LED (rys. 6) montowane

w wewnętrznych niszach prefabrykatów. Z uwagi na kształt bryły ma korzystne parametry akustyczne [2]. Powstał dzięki interdyscyplinarnej współpracy architektów i inżynierów budownictwa.

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

[1] Alvarez M., Groenewolt A., Wagner H.J., Krieg O.D.: The BUGA Wood Pavilion – Integrative Interdisciplinary Advancements of Digital Timber Architecture. “Acadia”, 2019. <https://www.research-gate.net/publication/337084983>.

[2] BUGA Wood Pavilion 2019. Institute for Computational Design and Construction (prof. A. Menges) Institute of Building Structures and Structural Design (prof. J. Knippers), <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/buga-wood-pavilion-2019/>.

[3] BUGA Wood Pavilion 2019. <http://www.achimmenges.net/?p=20987>.

[4] Pintos P.: BUGA Wood Pavilion / ICD/ITKE University of Stuttgart, <https://www.archdaily.com/916758/buga-wood-pavilion-icd-itke-university-of-stuttgart>.

[5] Stevens P.: Wooden pavilion comprises robotically assembled segments that fit together like a 3D puzzle. “Designboom”, <https://www.designboom.com/architecture/buga-wood-pavilion-icd-itke-04-18-2019/>.

Karolina Michalak
Studentka Wydziału Architektury
Politechniki Warszawskiej

Pawilon Buga Fibre w Heilbron, w Niemczech

Pawilon Buga Fibre został zaprojektowany w Instytucie Projektowania Komputerowego i Budownictwa pod opieką prof. *Achima Mengesa* oraz w Instytucie Konstrukcji Budowlanych i Projektowania Konstrukcyjnego Uniwersytetu w Stuttgarcie pod opieką prof. *Jana Knippersa* [1]. Koncepcja bardzo lekkiego obiektu jest efektem wieloletnich badań biomimetycznych, prowadzonych na Uniwersytecie Stuttgarckim. Badania dotyczyły budowy i zasad działania różnego rodzaju organizmów oraz ich adaptacji w kształtowaniu ustrojów konstrukcyjnych. Inspiracją do ukształtowania konstrukcji pawilonu była budowa skrzydeł chrząszcza, a także wyniki wieloletnich interdyscyplinarnych badań wskazujące, że dominujące w budowie wszelkich organizmów w przyrodzie są materiały włókniste, tj. celuloza, chityna czy kolagen [4]. Tego rodzaju materiały wykazują niezwykle efektywność w przenoszeniu obciążeń dzięki odpowiedniemu usytuowaniu i zagęszczeniu materiału w budowie organizmów wynikającemu z potrzeb w zakresie przenoszenia obciążeń [4].

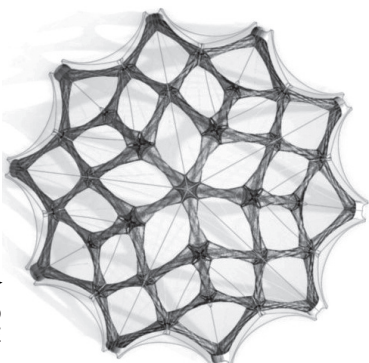
Pawilon ma charakter obiektu otwartego. Został wzniesiony w 2019 roku w terenie w niewielkich wzniesieniach na wyspie Bundesgartenschau, w Heilbron (rys. 1). Ma kształt kopuły średnicy 23 m i powierzchnię rzutu 400 m².



Rys. 1. Widok ogólny pawilonu (fot. Roland Halbe) [2]

Ustrój konstrukcyjny jest ukształtowany z 60 prefabrykowanych elementów wykonanych w sposób zautomatyzowany z włókien szklanych i węglowych (rys. 2). Każdy element ma dwa końce wyposażone w obręcz stanowiącą zarówno podstawę nawijania i naciągania włókien w czasie jego automatycznego kształtowania (rys. 3), jak również w czasie montażu i zespalania konstrukcji – element konstrukcji węzła (rys. 4). Czas produkcji przez robot jednego elementu na ogół wynosi od 4 do 6 h. Element jest zazwyczaj zbudowany z włókien szklanych długości około 1000 m i włókien węglowych długości około 1600 m. Badania laboratoryjne wykazały możliwość przenoszenia przez każdy element sił ściskających o wartości 250 kN [2].

Z uwagi na wykorzystanie robotów do produkcji elementów konstrukcji, nie było konieczne stosowanie form i rusztowań o skomplikowanym kształcie, a materiał był w pełni wykorzystany (bez odpadów) [3]. Rozmieszczenie i liczba włókien budujących każdy element wynikała z optymalizacyjnych analiz numerycznych, uwzględniających m.in. kryterium najmniejszego zużycia materiału. Montaż konstrukcji z uwagi na małą masę elementów składowych był stosunko-



Rys. 2. Schemat ustroju nośnego przekrycia pawilonu (ICD/ITKE University of Stuttgart) [2]



Rys. 3. Montaż konstrukcji przekrycia z elementów prefabrykowanych (ICD/ITKE University of Stuttgart) [2]



Rys. 4. Detal konstrukcji węzła (fot. Roland Halbe) [2]

wo prosty. Elementy łączono ze sobą na śruby.

Łączna długość przestrzennie usytuowanych włókien wykorzystanych do ukształtowania ustroju nośnego wynosi 150 000 m, a masa konstrukcji odniesiona do rzutu poziomego – 7,6 kg/m². Przezroczyste

pokrycie pawilonu wykonano ze wstępnie naprężonej membrany ETFE [1].

Atrakcyjne efekty i iluminację kopuły od zewnątrz i wewnątrz uzyskano dzięki wyposażeniu pawilonu w instalację światłowodową (rys. 5).



Rys. 5. Wnętrze pawilonu (ICD/ITKE University of Stuttgart) [2]

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] Buga Fibre Pavilion, <https://vimeo.com/373407213>.
- [2] BUGA Fibre Pavilion 2019, <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/buga-fiber-pavilion/>.
- [3] BUGA Fibre Pavilion "A Glimpse of Future Construction", <https://linesmag.com/buga-fibre-pavilion-a-glimpse-of-future-construction/>.
- [4] Stevens P.: This lightweight pavilion spans 23 meters thanks to robotically-produced fiber composites. "Designboom", <https://www.designboom.com/architecture/buga-fibre-pavilion-robotically-produced-fiber-composites-icd-itke-stuttgart-04-17-2019/>.

Karolina Michalak
Studentka Wydziału Architektury PW