

Anna Nowak
Wiesław Rokicki

BADANIA MODELOWE STRUKTUR PRĘTOWYCH PRZEKSZTAŁCANYCH TOPOLOGICZNIE

Słowa kluczowe: bionika, bio-struktury, efektywność strukturalna, formy strukturalne.

MODEL TESTS FOR TOPOLOGICALLY TRANSFORMED ROD STRUCTURES

Keywords: bionic, bio-structure, structural efficiency, structural forms.

Wstęp

Architektura i urbanistyka stanowią dyscypliny wiedzy, w których coraz większego znaczenia nabierają działania interdyscyplinarne. Interesującą problematyką jest pojawienie się aspektów bionicznych, do tej pory mało branych pod uwagę w projektowaniu architektonicznym. Bionika, jako interdyscyplinarna dziedzina nauki, bada sposób funkcjonowania organizmów żywych oraz procesy zachodzące w przyrodzie, w celu tworzenia modeli możliwych do zastosowania w technice. [1] W wyniku takiego podejścia architektura bardziej „adaptuje się” do uwarunkowań środowiskowych i lokalizacyjnych. Korzystną praktyką jest także m.in. minimalizowanie zużycia materiałów oraz ograniczanie zapotrzebowania na energię, niezbędną do właściwego funkcjonowania obiektu.

1. Przedmiot, zakres badań i przyjęte założenia

Dobór modeli odpowiadających formom spotykanym w przyrodzie wynikał z poszukiwania organizmów, których szkielet został ukształtowany w wyniku działających obciążeń grawitacyjnych, czy hydrostatycznych. Wybrane formy organiczne odwzorowano za pomocą modeli matematycznych. Do badań i analiz przyjęto:

- B1 – strukturę sieci pajęczej (krzywa łańcuchowa opisana wzorem $f(x)=2\cosh(x/2)$),
- B2 – skorupkę jajko (elipsoida wydłużona),
- B3 – szkielet gąbki *Euplectella Aspergillum* (krzywa Spline),
- B4 – strukturę szkieletu jeżowców regularnych *Echinus* (elipsoida spłaszczona).

Przyjęto podstawowy ustrój nośny jako przestrzenną strukturę prętową o promieniu podstawy równym 15 metrów. Badania przeprowadzono na mo-

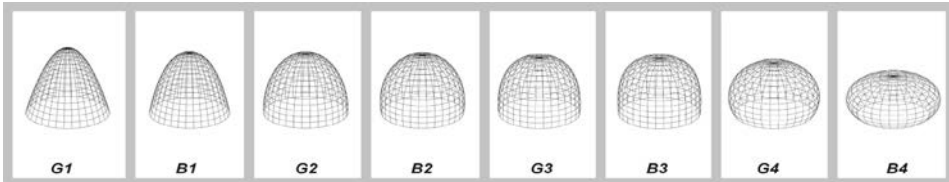
delach numerycznych dla brył obrotowych. Modele zostały utworzone w oparciu o założenia topologiczne, umożliwiające porównanie poszczególnych form strukturalnych. Jako stały parametr dla wszystkich badanych struktur założono stosunek długości krzywej tworzącej bryłę do promienia podstawy równy 2,4.

Dla wybranych form bionicznych dobrano geometryczne bryły obrotowe o innych proporcjach, które są w pewnym stopniu zbliżone do modeli biologicznych. W efekcie przyjęto:

- G1 – paraboloidę wydłużoną (opisaną wzorem $f(x)=0,5x^2$,
- G2 – elipsoidę wydłużoną,
- G3 – bryłę utworzoną przez obrót krzywej Béziera,
- G4 – sferę.

Przyjęto następujące porównywalne pary form strukturalnych I (B1, G1), II (B2, G2), III (B3, G3), IV (B4, G4).

Rysunek 1. Struktury o siatkach promienistych.



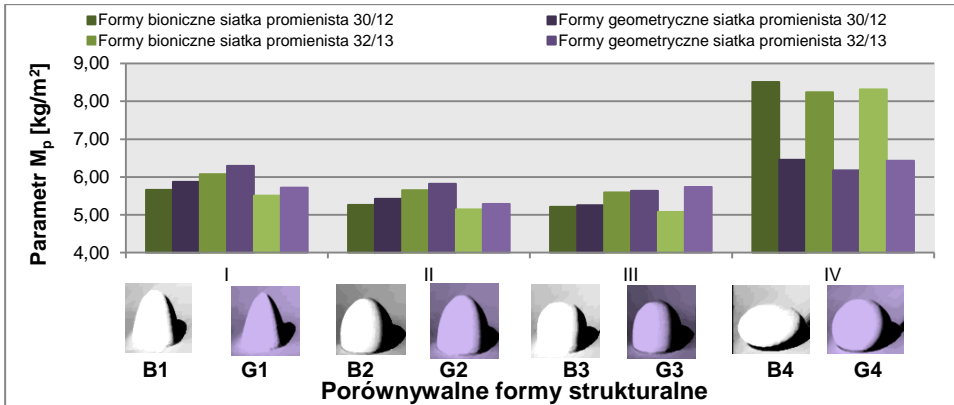
Źródło: A. Nowak.

Badania przeprowadzono w analizowanych strukturach, na przykładzie siatek promienistych o równych długościach prętów ściskanych (pionowych). Ograniczono maksymalną długość prętów poziomych pomiędzy węzłami w podstawie brył do 3,14 m oraz maksymalną długość prętów pionowych do 3,00 m. Analiza porównawcza została przeprowadzona na siatkach o 30, 32 i 34 podziałach podstawy oraz odpowiednio 12, 13 i 14 podziałach krzywej tworzącej. Struktury prętowe wsparto na podporach przegubowych. Do analiz wybrano walcowane profile rurowe ze stali S235 – według Katalogu Polskich Profili 2007 (RPLN7). Przyjęto obciążenia masowe (według normy PN-EN 1991-1:2004) od paneli szklanych równe $0,50 \text{ kN/m}^2$ i użytkowe odpowiadające $0,40 \text{ kN/m}^2$ oraz kombinacje obciążeń według normy PN-EN 1990:2004. Dopuszczalne deformacje globalne ustalono na podstawie normy PN-EN 1990:2004, ($L/250$ tj. 12 cm). Analizy statyczno-wytrzymałościowe przeprowadzono w oparciu o warunki normy PN-EN 1993-1:2006/NA:2010/A1:2014. Dla poszczególnych form strukturalnych, z uwagi na ich różne powierzchnie, skorygowano wyniki, w oparciu o kryterium ilościowe oznaczone jako parametr M_p [kg/m^2] liczony jako stosunek masy na jednostkę powierzchni.

2. Analiza wyników

Wyniki z przeprowadzonych analiz przedstawiono na zestawieniu odpowiadających sobie bionicznych i geometrycznych form strukturalnych.

Rysunek 2. Porównanie pod względem parametru M_p odpowiadających sobie bionicznych i geometrycznych form strukturalnych dla siatek promienistych o podziałach 30/12, 32/13, 34/14.

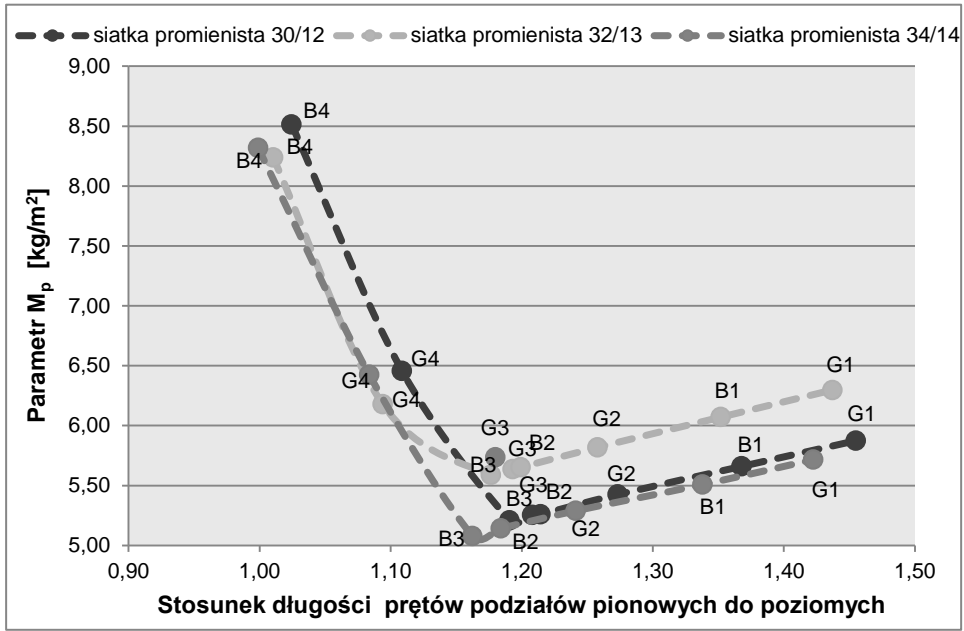


Źródło: A. Nowak

W porównywanych parami formach strukturalnych I, II i III jest widoczna większa efektywność form bionicznych. W przypadku pary IV jest odwrotnie. Zmiany kształtu dla analizowanych form geometrycznych w mniejszym stopniu wpływają na wartość parametru M_p , niż w przypadku form bionicznych. Zagęszczanie siatki promienistej korzystnie wpływa na parametr M_p w przypadku form bionicznych B1, B2 i B3 i geometrycznych G1 i G2. Odmienne wyniki uzyskano analizując struktury B3, dla których najkorzystniejsze siatki stanowią podziały 30/12, a dla form B4 i G4 (siatka promienista 32/13). Najmniejszą wielkość parametru M_p uzyskano dla formy bionicznej B3 o podziałach 34/14, a największą dla struktury B4 o siatce 30/12. Wśród form geometrycznych najkorzystniejsza jest forma G2 o siatce strukturalnej 34/14 natomiast najmniej korzystną – struktura G4 o podziałach 30/12.

W przypadku przyjętych siatek promienistych, na efektywność poszczególnych struktur ma wpływ zróżnicowana łączna długość prętów poziomych. Dlatego też przeanalizowano zależność pomiędzy wartością parametru M_p a stosunkiem długości prętów podziałów pionowych do poziomych, co przedstawiono na poniższym wykresie.

Rysunek 3. Zależność pomiędzy parametrem M_p a stosunkiem długości prętów podziałów pionowych do poziomych dla siatek promienistych o podziałach 30/12, 32/13, 34/14.



Źródło: A. Nowak.

Efektywną pod względem parametru M_p strukturę B3 określa stosunek długości prętów podziałów pionowych do poziomych w zależności od przyjętej siatki zbliżony do wartości 1.20, tak jak w przypadku form G2 i B2. Najmniej efektywne są struktury B4 i G4 o podobnej długości prętów poziomych i pionowych, co uzależnione jest od kształtu i zwiększenia szerokości brył powyżej podstawy. Na zwiększanie się masy tych struktur ma wpływ znacząca zmiana długości prętów oraz w konsekwencji zwiększanie się oczka siatki promienistej.

Wnioski

Wyniki z przeprowadzonych analiz nie rozstrzygają o efektywności form bio-nicznych i geometrycznych, lecz zauważono pewne prawidłowości. Wśród form, których kształt nie ulega znacznemu rozszerzeniu powyżej podstawy jest widoczna większa efektywność form adaptowanych z natury. Relacja ta jest zaburzona w przypadku struktur B4 i G4, w których pręty struktury powyżej podstawy znacząco wydłużają się, co powoduje zwiększenie maksymalnego pola oczka siatki, nawet o kilkadziesiąt procent. W celu weryfikacji przyjętych założeń, przy określeniu odpowiednich parametrów geometrycznych należało-

by określić maksymalną powierzchnię oczka siatki strukturalnej oraz maksymalną długość prętów całej struktury lub prowadzić analizy niezależnie dla struktur strzelistych i sferycznych. Na zmniejszoną efektywność tych struktur ma wpływ również zbliżona długość prętów pionowych i poziomych. W celu optymalizacji tych struktur należy poszukiwać siatek, w których możliwe jest zmniejszenie udziału długości prętów poziomych (rozciąganych) ponieważ zmiana gęstości siatki wpływa na efektywność konstrukcyjną form strukturalnych. Najkorzystniejszą strukturą pod względem wielkości parametru M_p jest kształt B3 odwzorowujący szkielet gąbki. Wśród form bionicznych na uwagę zasługują również forma B1, ukształtowana na bazie krzywej łańcuchowej, która „wykazała się” większą efektywnością, niż forma G1 (paraboloida obrotowa). Ponadto, bryła B2 odpowiadająca kształtem skorupce jajka (bardziej efektywna względem swojego odpowiednika formy G2, czyli elipsoidy obrotowej). [3]

Efektywne rozwiązania strukturalne zależą od przyjętych założeń architektonicznych, w zakresie kształtowania formy i podziałów siatki strukturalnej, co potwierdza konieczność prowadzenia możliwie szerokich analiz, w zintegrowanym procesie projektowym w dążeniu do rozwiązań synergicznych.

Bibliografia

1. Borys, P., Tkaczyk, E.: *Bionika*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
2. Gawell E., Nowak A., Rokicki W. :*Comparative analysis of bionic and geometrical structural forms*, Journal Biuletyn of Polish Society for Geometry and Engineering Graphics, zeszyt 29, 31-40, 2016.
3. Nowak A.: *Kształtowanie bionicznych powierzchni strukturalnych w architekturze współczesnych elewacji*, praca doktorska na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2017.
4. Rokicki W.: *Konstrukcje w aeurytmicznej architekturze*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.

Streszczenie

W architekturze w myśl idei zrównoważonego rozwoju jest widoczne dążenie do projektowania obiektów, gdzie proces projektowy staje się coraz bardziej interdyscyplinarny i dynamiczny. Szczególnie interesujący nurt w architekturze będący wyrazem współczesnych poszukiwań to inspiracje bioniką. Możliwość modelowania architektury na naturalnych wzorcach form występujących w przyrodzie stanowi szansę tworzenia nowych i oryginalnych rozwiązań przestrzenno-architektonicznych, również bardziej optymalnych pod względem techniczno-konstrukcyjnym. Stosowanie modeli matematycznych jako w pewnym uproszczeniu odwzorowywanie struktur spotykanych w przyrodzie staje się, stanowi istotnym elementem „łączącym” świat nauki i przyrody, która ma coraz większy wpływ na architekturę, jako dyscyplinę obejmującą technikę i sztukę, w której piękno upatruje się w przyrodzie. Dlatego też, projektowanie wykorzystujące modele matematyczne opisujące wzorce z natury stanowią jeden z ciekawszych trendów nowoczesnej architektury. Inspiracje procesami biologicznymi oraz systemami funkcjonalnymi wpływają na poszukiwania w zakresie kształtowania dynamicznych elewacji, ale także efektywnych struktur konstrukcyjnych. Rozwiązania tego typu powinny być analizowane już na etapie koncepcji, przy badaniu występujących uwarunkowań środowiskowych. Prowadzone symulacje oraz analizy modelowe to większe możliwości w projektowaniu obiektów, pod wieloma względami bardziej efektywnych i racjonalnych. Przedmiot opracowania to prezentacja wyników z przeprowadzonych analiz numerycznych dotyczących form przestrzennych, na drodze ich topologicznych przekształceń. W analizach rozpatrywano budowane na układach siatek promienistych wybrane formy bioniczne oraz dla porównania, klasyczne obrotowe bryły geometryczne.

Summary

In the architecture is seen striving to design objects, under the idea of sustainable development, where the design process becomes more interdisciplinary and dynamic. Particularly interesting undercurrent in contemporary architecture, which is an expression of modern design trends is the bionic inspiration. The possibility of modeling architecture designs of natural forms found in nature, it's a chance to create original solutions of structure as more optimal. The use of mathematical models as a way of mapping in a simplified way, structures found in nature, is an important element that connects the world of science and nature, which has a growing influence on architecture as a discipline combining technique and art, where the beauty of sees in nature. Therefore, design using mathematical models that describe the patterns of nature, becoming one of the most interesting currents of modern architecture. Inspirations biological processes and functional systems affect search in terms of shaping a dynamic facade, but also efficient structures. A solution of this type should be analyzed already in the concept stage, at the preliminary examination, the present envi-

ronmental. Run simulations and model analysis enable to design objects in many ways more efficient and rational. The subject of the research paper is to present the results of the numerical analysis about spatial forms, by their topological transformations. The studies examined the selected forms of bionic and for comparison, classic rotary solid geometric, built on the optimized layouts of radial grids.

Informacje o autorach

dr hab. inż. Wiesław Rokicki
Politechnika Warszawska
Wydział Architektury
wrokicki@poczta.fm

dr inż. arch. Anna Nowak
Politechnika Warszawska
Wydział Architektury
anna.patrycja.nowak@gmail.com