

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 242465 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **429121**

(22) Data zgłoszenia: **2019.03.04**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2020.09.07 BUP 19/2020**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.02.27 WUP 09/2023**

(51) MKP:

E04C 3/00 (2006.01)

E04B 1/19 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:
**POLITECHNIKA RZESZOWSKA IM. IGNACEGO
ŁUKASIEWICZA, Rzeszów, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:
ZBIGNIEW BIENIEK, Rzeszów, PL

(74) Pełnomocnik:
Ilona Szuba, Rzeszów, PL

(54) Tytuł:

Moduł konstrukcyjny rozkładalny ciągnowo-prętowy

PL 242465 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest moduł konstrukcyjny rozkładalny ciągnowo-prętowy stanowiący sztywną konstrukcję przestrzenną znaną pod nazwą modułu tensegrity.

Większość współczesnych materiałów konstrukcyjnych przenosi najbardziej efektywnie te obciążenia, które nazywane są rozciąganiem osiowym. W elementach konstrukcyjnych poddawanych wyłącznie rozciąganiu, zwłaszcza linach, kablach, drutach, taśmach, można zastosować mniejsze pole przekroju poprzecznego, co prowadzi do uzyskania z minimum materiału maksymalnej wytrzymałości lub sztywności elementów.

Żadna konstrukcja nośna zbudowana wyłącznie z elementów ciągnowych nie jest samodzielnie sztywna i odkształca się ona pod działaniem dowolnych sił zewnętrznych. Jednym ze sposobów pozwalających nadać geometryczną sztywność sieci połączonych elementów rozciąganych – ciągien jest wprowadzenie w sieć ciągnową odpowiedniego zestawu elementów osiowo ściskanych – prętów. Charakterystyczne konfiguracje ciągien i prętów, połączonych przegubowo ze sobą wyłącznie końcami i tworzących samodzielnie sztywną całość noszą nazwę systemów tensegrity. Systemy te nie wymagają w zasadzie żadnych zewnętrznych punktów podparcia do utrzymania swojego kształtu, a każdy z tych układów, zwany modułem albo komórką tensegrity, przypomina wyglądem zewnętrznym kratownicę. W odróżnieniu od kratownic jednak podstawową cechą wszystkich systemów tensegrity jest jednorodność naprężeń w każdym elemencie konstrukcyjnym. Oznacza to, że bez względu na rodzaj obciążeń zewnętrznych, wszystkie ciągnia wchodzące w skład modułów tensegrity przenoszą wyłącznie rozciąganie, a wszystkie pręty wyłącznie ściskanie osiowe. Jedynym warunkiem jest wprowadzenie obciążeń zewnętrznych do modułu tensegrity poprzez jego węzły przegubowe.

Funkcjonalnie wzrost obciążenia powoduje zwiększenie się sztywności ciągnia, a ściskany osiowo pręt o podobnych wymiarach może stosunkowo łatwo stracić stabilność i, na skutek wyboczenia, swój kształt. Przy tworzeniu się wyboczenia istotne znaczenie ma długość elementu ściskanego. W związku z tym, w konstrukcjach tensegrity, budowanych z dowolnej liczby modułów należących do tego samego systemu albo do różnych systemów, należy maksymalnie ograniczyć długość prętów.

Zgodnie z katalogiem systemów tensegrity utworzonym przez Anthony'ego Pugh'a wyróżnia się systemy sferyczne i systemy cylindryczne. Autor ten opisał również trzy podstawowe wzory konfiguracji strukturalnych: rombowy, obwodowy oraz skośny, które wyróżnia względne położenie prętów w danym systemie. We wzorze rombowym każdy pręt reprezentuje dłuższą przekątną rombu ukształtowanego przez cztery ciągnia i zgiętego następnie wzdłuż tej przekątnej. Najbardziej znanym przykładem struktury tensegrity o konfiguracji rombowej jest ośmiościan tensegrity, zwany również ośmiościanem rozpartym. We wzorze obwodowym natomiast komponenty ściskane są utworzone z prętów połączonych w obwody, co można przedstawić jako złożenie ścian wyjściowych struktury tensegrity o konfiguracji rombowej. Natomiast wzór skośny, zwany inaczej wzorem zygzakowym, otrzymuje się poprzez kolejną modyfikację wzoru rombowego polegającą na takim ułożeniu ciągien, że powtarzające się sekwencje trzech kolejnych ciągien tworzą kształt litery „Z”.

Sferyczne systemy tensegrity charakteryzują się homeomorfizmem względem sfery. Wszystkie ciągnia mogą być umieszczone na przykład na sferze, nie przecinając się wzajemnie, a wszystkie pręty mogą być ułożone wewnątrz sieci ciągien, tworząc razem sferyczną komórkę. Systemy cylindryczne natomiast są kształtowane w wyniku rozwoju systemów rombowych. Jednym ze sposobów ich kształtowania jest dodawanie kolejnych warstw złożonych z ciągien i prętów do warstwy początkowej, którą tworzy dowolna pryzma tensegrity.

Czworościan to najprostsza bryła geometryczna, która jednocześnie jest sztywna i wypukła. Krawędzie każdej z jej ścian tworzą trójkąt, czyli najprostszy sztywny wielobok płaski. Wymienione cechy znajdują powszechne zastosowanie między innymi w kształtowaniu prętowych systemów nośnych. Przesłanki te uzasadniają potrzebę znajdowania takich systemów tensegrity, których elementy wewnętrzne i leżące na granicy ustroju wyznaczają czworościany. W czworościennych systemach tensegrity elementami granicznymi są z reguły ciągnia.

Samodzielne sztywne moduły ciągnowo-prętowe posiadają szereg zalet, do których należy zaliczyć to, że:

- są bardzo lekkie w porównaniu do innych struktur o podobnej wytrzymałości;
- nie posiadają zbędnych elementów, chociaż dodatkowe ciągnia mogą być stosowane w celu wzmocnienia struktury;
- dzięki wewnętrznej stabilności są niezależne od siły grawitacji, zatem nie potrzebują zakotwienia ani podparcia, są one stabilne w każdym położeniu;

- większość struktur tensegrity jest enancjomorficzna, co oznacza, że istnieją odpowiednie pary ich lustrzanych odbić, prawo- i lewoskrętne;
- elementarne struktury tensegrity można łączyć ze sobą. na przykład w celu utworzenia masztu, siatki albo bardziej skomplikowanego konglomeratu modułów,
- wzrost naprężenia wewnątrz struktury tensegrity powoduje, że wzrasta również udźwignie struktury pod obciążeniem zewnętrznym;
- poziom naprężeń wstępnych w elementach struktury tensegrity jest proporcjonalny do rozmiarów tych elementów;
- elementy lub ich komponenty ściskane są rozłączne, co powoduje, że w strukturze pracują tylko lokalnie, a ponadto ściskanie działa na ściśle określonych kierunkach i krótkich odcinkach, dlatego tak sprężone elementy nie podlegają wysokim obciążeniom zginającym;
- dzięki nieciągłości ściskania struktura tensegrity nie doznaje momentu skręcającego jako całość;
- posiadają one właściwość synergii, co oznacza między innymi, że nie da się przewidzieć zachowania struktury jako całości na podstawie zachowania jednego oddzielnego elementu;
- zależnie od geometrii układu, w jaki połączono składniki struktury tensegrity, oraz zastosowanych materiałów, może ona być bardzo elastyczna albo bardzo sztywna;
- posiadają zdolność multiplikacji sprężystości;
- reakcja struktur tensegrity na obciążenie nie jest liniowa;
- niektóre struktury tensegrity, poddane obciążeniu osiowemu, doznają obrotu wokół tej osi, a na kierunek obrotu wpływa forma enancjomorfizmu; wszelkie naprężenia, bez względu na miejsce ich powstawania, są rozprowadzane po wielokierunkowo pracującej sieci, dlatego w konstrukcjach tensegrity nie istnieją punkty lokalnego osłabienia lub kumulacji naprężeń;
- dzięki zdolności totalnej odpowiedzi struktury na obciążenia można w ekonomiczny sposób dobrać materiały konstrukcyjne, uzyskując na przykład maksymalną wytrzymałość przy założonej materiałochłonności;
- struktury tensegrity łatwo wprawić w drgania, ponieważ bardzo gwałtownie przekazują obciążenia, które przez to nie mają charakteru lokalnego, co jest szczególnie przydatne w tłumieniu wibracji i wstrząsów sejsmicznych na terenach, gdzie problemem są trzęsienia ziemi;
- zdefiniowanie geometrycznej formy pojedynczych modułów tensegrity, które są stabilne same w sobie, pozwala na systemowe łączenie modułów ze sobą;
- proces może stać się stosunkowo łatwy do przeprowadzenia przy większych konstrukcjach tensegrity, ponieważ struktura jest sama dla siebie rusztowaniem;
- struktury tensegrity charakteryzuje kinematyczna nieokreśloność, co niekiedy jest ich zaletą, zwłaszcza w systemach rozkładalnych, a ponadto niewielka ilość energii wystarcza do zmiany zadanej konfiguracji, albowiem zmiana kształtu odbywa się przy zachowaniu równowagi struktury, co może zostać wykorzystane w czujnikach pomiarowych i siłownikach.

Układy tensegrity posiadają również wady i ograniczenia:

- struktury tensegrity na ogół wymagają rozwiązania problemu kolizji pręta, przy czym pręty zaczynają się krzyżować, kiedy wzrasta skala projektu;
- w wyniku przeprowadzonych badań eksperymentalnych stwierdzono, że ulegają one stosunkowo wysokim deformacjom i mają niską wydajność materiałową w porównaniu do konwencjonalnych struktur geometrycznie sztywnych;
- złożoność struktury stanowi barierę rozwojową dla struktur swobodnego ściskania, przy czym struktury sferyczne i kopułowe są skomplikowane, co może prowadzić do problemów z ich wykonaniem;
- dla utrzymania nośności granicznej należy wywołać wystarczająco wysokie naprężenia wewnętrzne, co może być trudne w konstrukcjach o dużych rozmiarach;
- do projektowania struktur tensegrity potrzebne są odpowiednie techniki analityczne, a ograniczenie stanowi niska jakość dotychczas stosowanych narzędzi projektowania.

Z opisu patentowego PL 226959 B1 znany jest rozkładalny ciągnowo-prętowy moduł konstrukcyjny mający postać przestrzennego układu zawierającego elastyczne ciągnia osiowo rozciągnięte oraz sztywne pręty osiowo ściskane, przy czym elastyczne ciągnia i sztywne pręty są połączone swoimi końcami w przegubowych węzłach, a moduł stanowi sztywną konstrukcję przestrzenną znaną pod nazwą modułu tensegrity. Elastyczne ciągnia modułu w postaci cięgien biernych o ustalonej długości są położone na krawędziach wielościanu, tworząc ciągłą sieć, której węzły, będące wierzchołkami tego wielościanu, stanowią przegubowe węzły modułu w postaci węzłów zewnętrznych, położonych na powierzchni wielościanu. We wnętrzu wielościanu jest elastyczne ciągnie modułu w postaci cięgnia

sztynnego o regulowanej długości, odizolowanego prętami modułu od cięgien biernych, a każdy z końców cięgna czynnego jest osadzony w osobnym przegubowym węźle w postaci wewnętrznego węzła połączonego przez pręty z węzłami zewnętrznymi.

Celem wynalazku jest opracowanie nowego, samodzielnie sztywnego modułu konstrukcyjnego rozkładalnego cięgnowo-prętowego umożliwiającego zmianę kształtu konstrukcji.

Moduł konstrukcyjny rozkładalny cięgnowo-prętowy stanowiący sztywną konstrukcję przestrzenną i zawierający elastyczne cięgna osiowo rozciągane oraz sztywne pręty osiowo ściskane, przy czym elastyczne cięgna i sztywne pręty są połączone swymi końcami w przegubowych węzłach, według wynalazku charakteryzuje się tym, że zawiera dwa rodzaje elastycznych cięgien, przy czym pierwsze elastyczne cięgna są w dwóch różnych długościach, zaś z połączenia sześciu krótszych pierwszych elastycznych cięgien połączonych w dwóch grupach po trzy w pierwszych węzłach oraz połączenia co najmniej trzech dłuższych pierwszych elastycznych cięgien w pierwszych węzłach utworzona jest pierwsza konstrukcja przestrzenna, przy czym każde dłuższe pierwsze elastyczne cięgno połączone jest z dwoma pierwszymi węzłami obu grup krótszych pierwszych elastycznych cięgien, a ponadto pierwsza konstrukcja przestrzenna ma kształt zbliżony do graniastosłupa trójkątnego, zaś drugie elastyczne cięgna są równej długości, przy czym z połączona sześciu drugich elastycznych cięgien w drugich węzłach, utworzona jest druga konstrukcja przestrzenna, która ma kształt zbliżony do sześciokąta, którego krawędź jest w postaci linii łamanej zamkniętej, przy czym pierwsze węzły pierwszej konstrukcji przestrzennej, w których połączone są ze sobą pierwsze elastyczne cięgna połączone są z drugimi węzłami drugiej konstrukcji przestrzennej, w których połączone są ze sobą drugie elastyczne cięgna poprzez pręty.

Korzystnie pręty są od siebie wzajemnie odizolowane.

Moduł konstrukcyjny rozkładalny cięgnowo-prętowy posiada rozłączne zestawy cięgien, które utrzymywane są w stabilnej równowadze dzięki przestrzennej kombinacji ich połączeń z izolowanymi od siebie prętami. Zewnętrzny kształt tego modułu można zmieniać, utrzymując niezmienną topologię połączeń elastycznych cięgien i sztywny prętów. Zmiany kształtu modułu dokonuje się poprzez odpowiednie dobranie długości elementów składowych, a jego sztywność reguluje naprężeniem wewnętrznym.

Przedmiot wynalazku jest bliżej wyjaśniony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia moduł konstrukcyjny rozkładalny cięgnowo-prętowy w widoku z boku, natomiast fig. 2 – ten sam moduł w widoku z góry.

Moduł konstrukcyjny rozkładalny cięgnowo-prętowy, według wynalazku, w przykładzie wykonania stanowi samodzielnie sztywną konstrukcję przestrzenną i zawiera trzy rodzaje elastycznych cięgien 1', 1'' o różnych długościach, które są osiowo rozciągane. Pierwsze elastyczne cięgna 1' są w dwóch różnych długościach. Sześć krótszych pierwszych elastycznych cięgien 1' połączonych jest ze sobą, w pierwszych węzłach 2', w dwóch grupach po trzy te krótsze pierwsze elastyczne cięgna 1'. Trzy dłuższe pierwsze elastyczne cięgna 1' połączone są z pierwszymi węzłami 2' łączącymi krótsze pierwsze elastyczne cięgna 1', przy czym każde dłuższe pierwsze elastyczne cięgno 1' połączone jest dwoma pierwszymi węzłami 2' dwóch grup krótszych pierwszych elastycznych cięgien 1'. Z połączonych pierwszych elastycznych cięgien 1' utworzona jest pierwsza konstrukcja przestrzenna 3', która ma kształt zbliżony do graniastosłupa trójkątnego. Drugie elastyczne cięgna 1'' są równej długości, przy czym sześć drugich elastycznych cięgien 1'' połączonych jest ze sobą w drugich węzłach 2''. Z połączonych ze sobą drugich elastycznych cięgien 1'' utworzona jest druga konstrukcja przestrzenna 3'', która ma kształt sześciokąta, którego krawędź ma postać krzywej łamanej zamkniętej. Pierwsze węzły 2' pierwszej konstrukcji przestrzennej 3' są połączone z drugimi węzłami 2'' drugiej konstrukcji przestrzennej 3'' sześcioma prętami 4 osiowo ściskanymi, przy czym pręty 4 są od siebie odizolowane.

Moduł konstrukcyjny rozkładalny cięgnowo-prętowy może zostać wykorzystany zwłaszcza: do budowy lekkich i wytrzymałych struktur nośnych budynków lub mostów, szczególnie na obszarach, na których problemem są trzęsienia ziemi, do budowy tymczasowych lub stałych konstrukcji masztów, dźwigarów, szybko rozkładalnych schronień dla ludzi oraz zwierząt i sprzętu, magazynów, rusztowań, ogrodzeń, jako rozkładalne super-struktury dla stacji kosmicznych, jako rekonfigurujące się ramiona robotów, do budowy lekkich i precyzyjnych manipulatorów, takich jak symulatory lotu, do budowy obiektów o różnym przeznaczeniu, których kształt zewnętrzny można według potrzeb zmieniać w trakcie ich eksploatacji, takich jak przekrycia budowlane, profile lotnicze, jako odporne na falowanie elementy nośne sieci grodzących morskie akweny wodne, które umożliwiają hodowlę ryb na dowolnie wielką skalę.

Zastrzeżenia patentowe

1. Moduł konstrukcyjny rozkładalny ciągnowo-prętowy stanowiący sztywną konstrukcję przestrzenną i zawierający elastyczne ciągnia osiowo rozciągane oraz sztywne pręty osiowo ściskane, przy czym elastyczne ciągnia i sztywne pręty są połączone swymi końcami w przegubowych węzłach, **znamienny tym**, że zawiera dwa rodzaje elastycznych ciągnię (1', 1''), przy czym pierwsze elastyczne ciągnia (1') są w dwóch różnych długościach, zaś z połączenia sześciu krótszych pierwszych elastycznych ciągnię (1') połączonych w dwóch grupach po trzy w pierwszych węzłach (2') oraz połączenia co najmniej trzech dłuższych pierwszych elastycznych ciągnię (1') w pierwszych węzłach (2') utworzona jest pierwsza konstrukcja przestrzenna (3'), przy czym każde dłuższe pierwsze elastyczne ciągnie (1') połączone jest z dwoma pierwszymi węzłami (2') obu grup krótszych pierwszych elastycznych ciągnię (1'), a ponadto pierwsza konstrukcja przestrzenna (3') ma kształt zbliżony do graniastostupa trójkątnego, zaś drugie elastyczne ciągnia (1'') są równej długości, przy czym z połączenia sześciu drugich elastycznych ciągnię (1'') w drugich węzłach (2''), utworzona jest druga konstrukcja przestrzenna (3''), która ma kształt zbliżony do sześciokąta, którego krawędź jest w postaci linii łamanej zamkniętej, przy czym pierwsze węzły (2') pierwszej konstrukcji przestrzennej (3'), w których połączone są ze sobą pierwsze elastyczne ciągnia (1') połączone są z drugimi węzłami (2'') drugiej konstrukcji przestrzennej (3''), w których połączone są ze sobą drugie elastyczne ciągnia (1'') poprzez pręty (4).
2. Moduł konstrukcyjny zastrz. 1, **znamienny tym**, że pręty (4) są od siebie wzajemnie odizolowane.

Rysunki

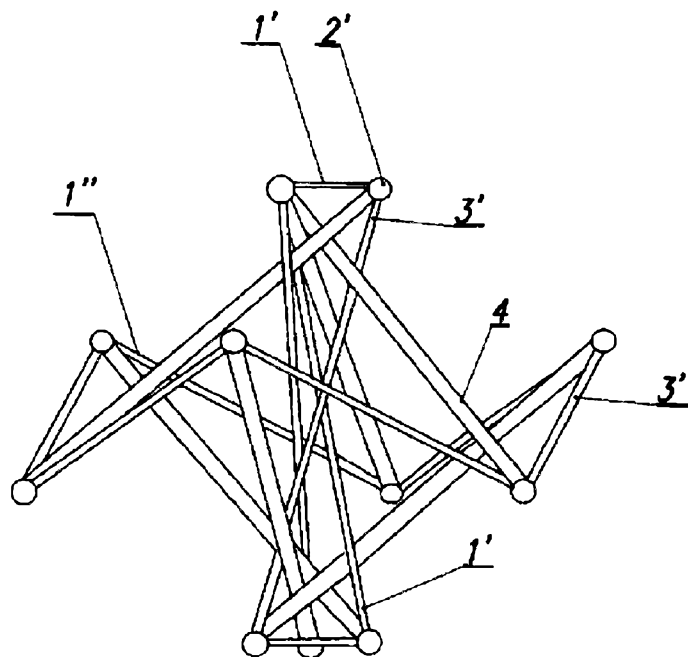


Fig. 1

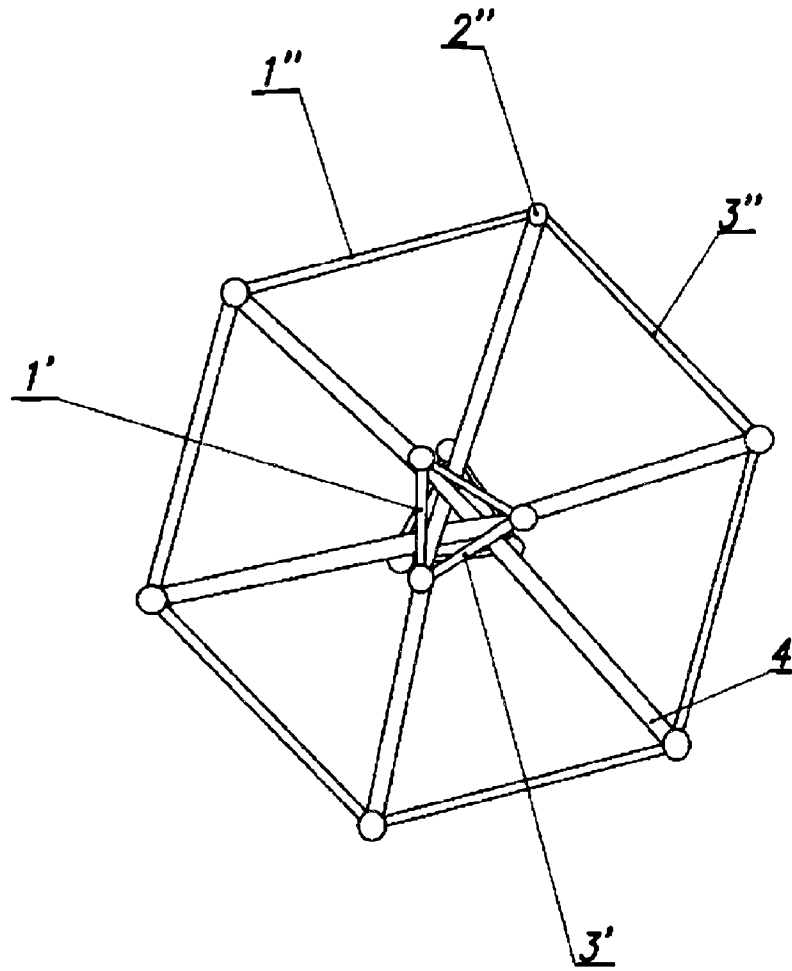


Fig. 2