



POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ LUDOWEJ OPIS PATENTOWY

37a, 7/18
8046

Nr 45507

Kl. 37 a, 6

Richard Buckminster Fuller

Cambondale, Stan Illinois, Stany Zjednoczone Ameryki.

37a 7/18

Kopuła geodezyjna

Patent trwa od dnia 27 maja 1961 r.

Pierwszeństwo: 27 maja 1960 r. (Stany Zjednoczone Ameryki).

Wynalazek niniejszy dotyczy udoskonalenia konstrukcji kopuły geodezyjnej, zwłaszcza gdy chodzi o wytwarzanie wyjątkowo lekkich kopuł, wykonywanych z płyt tekturowych lub plastikowych elementów warstwowych składających się z cienkich dolnych i górnych arkuszy okładzinowych, połączonych z rdzeniem i wzajemnie oddalonych o grubość tego rdzenia, wykonanego z mocnego, lekkiego jak piórkowo materiału, takiego jak porowaty polistyren.

Gdy tego rodzaju warstwowe elementy są ułożone na zakładkę i są wzajemnie połączone za pomocą środków sklejających, to naprężenia pomiędzy dwoma sąsiednimi elementami muszą być przenoszone poprzez te ich powierzchnie zewnętrzne, które bezpośrednio do siebie wzajemnie przylegają. Jeden element będzie miał zakładkę od góry, a drugi zakładkę od dołu, tak że przenoszenie naprężeń będzie przebiegało od dolnych arkuszy okładzi-

nowych jednego elementu do górnego arkusza okładzinowego elementu drugiego. Wynikiem tego jest takie umieszczanie laminatów, że pracują one na ścinanie. To obciążenie ścinające będzie przekazywane do materiału rdzenia złożonego laminatu i poprzez niego do przeciwnych arkuszy okładzinowych, podczas gdy brzegi leżących po przeciwnej stronie arkuszy okładzinowych tj. brzegi, które znajdują się po przeciwnej stronie skleionej zakładki nie mogą być wykorzystywane do bezpośredniego przenoszenia naprężeń. Należy zaznaczyć że to zagadnienie jest specyficzne dla konstrukcji składających się z takich specjalnych rodzajów układanych na zakładkę płyt, które składają się z górnych i dolnych arkuszy okładzinowych z oddzielającym je rdzeniem. Przedmiotem wynalazku jest, jak należy wzajemnie przeplatać dolne i górne arkusze okładzinowe, kolejno po sobie następujących płyt tego rodzaju we wzmocnionej konstrukcji, którą cha-

rakteryzuje polepszona ciągłość zarówno dolnych jak i górnych arkuszy okładzinowych, rozciągających się zasadniczo poprzez całą konstrukcję kopuły. Istotę tego pomysłu odnośnie tego zagadnienia można krótko streścić w sposób następujący.

W kopule geodezyjnej, składającej się z układanych na zakładkę płyt rombów, wykonanych z dolnego i górnego arkusza okładzinowego oraz elementu oddzielającego umieszczonego pomiędzy tymi arkuszami, płyty rombowe będą łączone w ten sposób, że ich zakładki są symetrycznie umieszczone parami, układanymi naprzeciw siebie. W ten sposób pojedyncza płyta będzie miała jedną parę naprzeciw siebie położonych zakładek od góry i jedną parę naprzeciw siebie podłożonych zakładek od dołu. Nakładające się na siebie części płyt są wzajemnie łączone na klej, z tym że dolny arkusz okładzinowy każdej płyty jest przyklejony do górnych arkuszy pary sąsiednich płyt, a górny arkusz okładzinowy każdej płyty jest przyklejony do dolnych arkuszy innej pary sąsiednich płyt. Stwarza to „przeplatanie” dolnych i górnych arkuszy okładzinowych, które można uważać za podobne do osnowy i wątku tkaniny i ta przeplatana konstrukcja stwarza ciągłość pracujących na ścinanie dolnych i górnych arkuszy okładzinowych. W ten sposób każda złożona płyta rombowa będzie miała górną powierzchnię przenoszącą naprężenia wzdłuż jednej ciągłej linii działania lub jednego kierunku i dolną powierzchnię przenoszącą obciążenia wzdłuż innej ciągłej linii działania lub innego kierunku. Te przenoszące obciążenia linie działania są tak wzajemnie ułożone w całej konstrukcji, że naprężenia rozciągające obydwóch arkuszy okładzinowych może być lepiej wykorzystane z większym powodzeniem niż to było poprzednio uzyskiwane dla konstrukcji geodezyjnych z laminatów.

Zostało ponadto odkryte, jak uzyskać taki wzór ciągłego przetykania naprężeń w konstrukcji, w której położone naprzeciw siebie zakładki na górnych końcach płyt rombów są zakładkami od dołu, podczas gdy takie zakładki na dolnych końcach płyt rombów są zakładkami od góry, tak że konstrukcja ta jest właściwie konstrukcją krycia gontami w celu odprowadzania wody, chociaż daje ciągłość przetykanych dolnych i górnych okładzinowych arkuszy płyt.

Inne korzyści zostały uzyskane przez zastosowanie płyt rombów, składających się z płaskich arkuszy, zginanych wzdłuż jednej

z osi rombów w celu utworzenia konstrukcji składającej się tylko z trójkątów z zakładkami wzdłuż czterech brzegów rombów. Niektóre lub wszystkie rombów płyty mogą być zginane bądź wypukłością na zewnątrz dokoła ich małej osi, bądź wklęsłością na zewnątrz dokoła ich małej osi, bądź też według różnych kombinacji tego rodzaju płyt. Również niektóre lub wszystkie płyty mogą składać się z dwóch arkuszy, z których zewnętrzny jest zgięty wzdłuż małej osi wypukłością na zewnątrz, a wewnętrzny jest zgięty wzdłuż dużej osi wypukłością do wewnątrz, tak że te dwa arkusze stykają się wzdłuż brzegu rombu i są od siebie oddalone w środku. Prowadzi to do wydrążonej płyty mającej cztery powierzchnie i sześć krawędzi, a zatem do nieregularnego czworokaśianu o dużej wytrzymałości i sztywności, mającego duże znaczenie dla celów izolowania od ciepła lub zimna.

Te i inne korzyści niniejszego wynalazku zostaną ujawnione bardziej szczegółowo w dalszym ciągu opisu najlepszego sposobu jego zrealizowania.

Na rysunkach fig. 1 jest schematycznym rzutem kuli, na której pokazano sferyczny dwudziestościan foremny oraz 3-dzielną układ płyt na jednej z powierzchni sferycznego dwudziestościanu, fig. 2 jest wykresem przykrywającym mniej więcej pole płyt pokazanych na fig. 1, fig. 3 jest rzutem z przodu jednej z płyt, pokazanych na fig. 1 przed jej zgięciem, fig. 4 jest pokazaniem w zwiększającej podziałce szczegółem poprzecznego przekroju, wykonanego płaszczyzną oznaczoną linią 4-4 na fig. 3, w poprzek linii zginania jednej z kłap płyty, fig. 5 — jest rzutem podobnym do fig. 4, pokazującym odgięcie kłapy pod takim kątem jaki ona przyjmuje, gdy płyta jest umocowana do sąsiedniej płyty podobnej konstrukcji, fig. 6 jest schematycznym przekrojem poprowadzonym przez szereg wzajemnie połączonych płyt, fig. 7 — rzutem zespołu podwójnej płyty, składającej się z zewnętrznej płyty zgiętej wypukłością na zewnątrz dokoła małej osi oraz z wewnętrznej płyty zgiętej wypukłością do wewnątrz dokoła swej dużej osi, fig. 8a i 8b są schematycznymi przekrojami poprzecznymi, sięgającymi poprzez szereg połączonych płyt podwójnych typu pokazanego na fig. 7, fig. 9 jest rzutem aksonometrycznym sześciu wzajemnie połączonych płyt, z których każda jest zgięta wypukłością na zewnątrz dokoła ich małych osi, fig. 10 — podobnym rzutem, na którym trzy z płyt są zgięte wklęsłością na

zewnątrz dokoła ich dużej osi, fig. 11 jest podobnym rzutem innego układu trzech wypukłych i trzech wklęsłych płyt, fig. 12 jest rzutem z przodu $5/8$ części kuli, która jest skonstruowana zgodnie z układem płyt pokazanym na fig. 1, i na której wszystkie płyty są zgięte wklęsłością na zewnątrz, dokoła ich długiej osi, fig. 13 jest rzutem z przodu połowy kuli, mającej tą samą konstrukcję płyt jak kula na fig. 12, ale z linią odcięcia podstawy, przebiegającą tak, jak to na fig. 1 pokazuje linia oznaczona „ $1/2$ ”, fig. 14 jest rzutem z góry konstrukcji z fig. 12, widzianej w kierunku strzałek 14—14, fig. 15 jest rzutem z góry konstrukcji z fig. 13 widzianej w kierunku strzałek 15—15, fig. 16 jest rzutem z przodu konstrukcji, składającej się z końców w kształcie $5/8$ części kuli, z których każdy stanowi połowę $5/8$ części kuli z fig. 12, oraz z części środkowej, zawierającej dwa segmenty sferyczne, stanowiące kopię segmentu odciętego i zawartego pomiędzy liniami odcięcia oznaczonymi „ $3/8$ ” i „ $5/8$ ”, na fig. 12, fig. 17a pokazuje $5/8$ części kuli, zawierającej 3-dzielny układ płyt z fig. 9 ze zmodyfikowanym układem zakładki między płytami, i na której jest narysowane schematyczne przedstawienie ciągłych linii działania naprężeń, przekazywanych przez dolne i górne arkusze okładzinowe przeplatających się płyt, fig. 17b jest aksonometrycznym schematycznym rzutem zespołu poszczególnych zgrupowań płyt w konstrukcji podobnej do konstrukcji pokazanej na fig. 17a, fig. 18 jest schematycznym rzutem kuli, która może być odcinana dowolnie dając $3/8$, $1/2$ i $5/8$ części kuli, pokazującym 4-dzielny układ płyt typu, który jest zginany wklęsłością na zewnątrz dokoła swej dużej osi, fig. 19 jest wykresem pokrywającym mniej więcej pole płyt z fig. 18, fig. 20 jest rzutem aksonometrycznym płyt podobnych do pokazanych na fig. 18, za wyjątkiem tych, które są typu zginanego wypukłością na zewnątrz dokoła małej osi, fig. 21 jest podobnym rzutem, pokazującym kombinację na zewnątrz wypukłych i wklęsłych płyt, fig. 22 — podobnym rzutem, pokazującym inną kombinację na zewnątrz wypukłych i wklęsłych płyt, fig. 23 jest rzutem aksonometrycznym $5/8$ części 4-dzielnej kuli, pokazującym zmodyfikowany układ nakładania się płyt, fig. 24 jest rzutem z góry $5/8$ części 4-dzielnej kuli z fig. 25, widzianym w kierunku strzałek 24—24, fig. 25 jest rzutem z przodu $5/8$ części kuli z fig. 24, fig. 26 jest rzutem z przodu wydłużonej konstrukcji, mającej końce w postaci $5/8$ części

kuli, z których każdy zawiera połowę konstrukcji pokazanej na fig. 25 oraz część środkową, zawierającą dwa sferyczne segmenty, stanowiące kopię odciętego segmentu zawartego pomiędzy liniami odcięcia oznaczonymi „ $3/8$ ” i „ $5/8$ ” na fig. 25.

Na fig. 1 kreskowe linie 1 przedstawiają sferyczny dwudziestościan foremny, składający się z dwudziestu równobocznych sferycznych trójkątów, boki których leżą wszystkie na dużych kołach kuli. Jeżeli przyjmiemy punkt S jako zenit, to pięć trójkątów sferycznych, których wierzchołki schodzą się razem w zenicie, uważa się czasami za „kołpak dwudziestościanu”. Pięć linii dużych kół wychodzących z punktu S można by uważać bądź za boki sferycznych trójkątów, tj. za linie przecięcia z kulą płaszczyzn przechodzących przez jej środek i zawierających punkt S, bądź też za cięciwy albo podziałki cięciwowe tego rodzaju przecięć według dużych kół. Kreskowe linie 2, tworzące obwodowe brzegi kołpaka dwudziestościanu są pokazane jako podziałki cięciwowe dużych kół. Budowa sferycznego dwudziestościanu jest znana w dziedzinie konstrukcji geodezyjnych i była już opisana w patencie amerykańskim tego samego wynalazcy nr 2682235, udzielonym 29 czerwca 1954 r. w związku z opisem jego trójkierunkowej kraty, zgodnie z którym każdy ze sferycznych trójkątów, składających się na sferycznym dwudziestościanie jest podzielony dalej na zasadniczo równoboczne trójkąty lub romby. Zgodnie z jedną cechą znamionową niniejszego wynalazku konstruowanie trójkierunkowej kraty jest zmodyfikowane w sposób, który przewiduje możliwość odcinania kuli wzdłuż linii, które będą dawać w wyniku bądź połowę kuli, bądź trzy ósme jej części, bądź też pięć ósmych jej części, bez żadnego zwiększania liczby różnych rodzajów płyt stosowanych w tej konstrukcji, przy czym leżąca w jednej płaszczyźnie linia podstawy jest stworzona za pomocą brzegów rombów płyt lub półpłyt, utworzonych przez podzielenie płyty na dwie części wzdłuż jednej lub drugiej jej osi.

Szczególne uwagi należy zwrócić na to, że podziałki cięciwowe linii odcięć, oznaczonych przez „ $3/8$ ” i „ $5/8$ ” na fig. 1, gdy patrzy się na nie z jednej strony, wydają się być podziałkami cięciwowymi mniejszych okręgów. Niemniej jednak za pomocą konstrukcji na sferycznym dwudziestościanie, w którym wszystkie wierzchołki, a zatem i obydwie osie rombów płyt leżą w płaszczyźnie dużego koła,

te podziałki cięciwowe w rzeczywistości leżą w płaszczyznach przechodzących przez środek kuli, których przecięcia z kulą opisują okręgi dużych kół. Fakt możności odcinania może być uważany za „pozorne” występowanie małych kół lub „równoleżników” przy trzech ósmowych i pięciu ósmowych liniach odcinania, występujących jednakże jako przypadki odcinania według ściśle dużego koła tj. według konstrukcji geodezyjnej.

Zgodnie z fig. 2 zostanie teraz opisane jak uzyskać przy 3-dzielnym załamaniu specjalną trójkierunkową konstrukcję kratową, która będzie dawać w wyniku poszczególne płaszczyzny wyżej opisanego odcinania, i która da znaczne uproszczenie montażu, przy czym całość konstrukcji może być montowana tylko z elementów dwóch rodzajów. Ten rzut jest wykresem jednego z sferycznych trójkątów RST dwudziestościanu z fig. 1. Sferyczny trójkąt jest pokazany liniami kreskowymi. Na bokach sferycznego trójkąta są narysowane podziałki cięciwowe, oznaczone literami A i B. Cięciwy C przecinają kulę w środku sferycznego trójkąta oraz w punktach, w których spotykające się końce cięciw A i B przecinają kulę. Cięciwy D przecinają kulę w punktach przecinania się cięciw A, B i C. Cięciwa E tworzy dużą oś takich typów rombów, których mała oś leży w płaszczyźnie dużego koła i stanowi część jednego z boków (ST) sferycznego trójkąta. Na fig. 1, $E = E = E$. W ten sposób sześć płyt rombów, które są zawarte wewnątrz określonego pola fig. 1, są dwóch typów, przy czym jeden typ 3 jest przedstawiony w ciemniejszym odcieniu, a drugi 4 — w odcieniu jaśniejszym.

Jeżeli dana jest średnica kuli, na której ma być skonstruowana wymagana kopuła geodezyjna, to podstawowe wymiary rombów płyt wyznacza się jak następuje, o ile chodzi o cięciwy według oznaczeń z fig. 2.

$$A = 0,32968$$

$$B = 0,44112$$

$$C = 0,42154$$

$$D = 0,38216$$

$$E = 0,71364$$

Każdy z tych współczynników mnoży się przez promień wymaganej kopuły, wyrażony w dowolnych jednostkach jakie chce się zastosować, takich jak stopy, cale, metry lub centymetry. Iloczyn da długości cięciw w wybranych jednostkach pomiarowych, dając w ten sposób wymiary długości boków każdego z dwóch rodzajów rombów. W przypadku rom-

bu, w którym duża oś jest oznaczona literą E (fig. 2), wymiary zewnętrznej pary boków wynikają z długości innych cięciw, które zostały podane wyżej.

Fig. 3, 4 i 5 ilustrują konstrukcję jednej z płyt, z których typ 3 jest podany jako reprezentatywny. Płyty składają się z dolnego 6 i górnego 5 arkuszy okładzinowych oraz elementu oddzielającego 7, umieszczonego pomiędzy tymi arkuszami. Górny i dolny arkusze okładzinowe 5 i 6 mogą być wykonane z dowolnego, odpowiedniego do tego celu materiału, takiego jak tektura, folia metalowa, plastik itd. Przedzielający arkusze materiał, lub rdzeń 7 jest najkorzystniej wykonany z pewnego rodzaju pianowych materiałów, takich jak porowaty polistyren, chociaż i inne rodzaje wypełniającego materiału mogą być stosowane, na przykład blacha falista. Najkorzystniejsza płyta złożona jest wykonana z porowatego rdzenia polistyrenowego z okładzinami lub arkuszami okładzinowymi z brnatnego papieru siarczanowego, materiału znanego jako „Fome-Cor”. Papier siarczanowy lub tektura mogą być wodoodporne i wzmocnione plastykowym lub innym powłoczeniem. Elementy złożone, stosujące porowate rdzenie polistyrenowe, zostały dlatego wybrane, ponieważ mają wyjątkowo dobre cechy charakterystyczne, wymagane dla konstrukcji kopuł według niniejszego wynalazku, tworząc laminaty, które są mocne, sztywne i lekkie jak piórko prawie. Każda płyta 3 (i 4) ma na ogół kształt rombu pokazanego na fig. 3 i ma cztery wystające klapy 8 wzdłuż jej brzegów, stwarzające elementy dla łączenia z sąsiednimi płytami. Płyty mogą mieć rowki 9 (fig. 4) wzdłuż linii cięciw A, C itd., które wyznaczają brzegi właściwych płyt i linie zaginania klap 8. Każda płyta może mieć również rowek wzdłuż dużej osi, bądź też małej osi rombu, jak to jest pokazane liniami punktowymi na fig. 3. W ten sposób (fig. 1) każda z płyt 4 ma rowki i jest zgięta wzdłuż swej dużej osi, która stanowi cięciwę E wyżej omówioną, przy czym zgięcie to przebiega w takim kierunku, aby tworzyło wklęsłość od zewnątrz na powierzchni kopuły. (Na fig. 1 wszystkie pokazane płyty są zgięte wklęsłością od zewnątrz, dokoła ich dużych osi).

Fig. 6 pokazuje szereg połączonych płyt takiego kształtu. Linie rowków 9 sąsiadnych płyt są umieszczone nad sobą dając podwójną grubość konstrukcji płyty na zgięciu ich połączenia. Płyty są wzajemnie łączone na klej.

Stwierdzone zostało, że stykowy rodzaj kleju, takiego jak klej na bazie neoprenu, dobrze nadaje się dla tego rodzaju konstrukcji.

Niektóre lub wszystkie płyty mogą składać się z dwóch arkuszy 3 i 3' (fig. 7), przy czym arkusz 3 jest jak widać zgięty wypukłością do wewnątrz, dokoła swej długiej osi, a arkusz 3' jest zgięty wypukłością na zewnątrz, dokoła swej krótkiej osi. Kłapy tych dwóch płyt są wzajemnie połączone na klej. Tworzy to wydłużoną płytę mającą cztery powierzchnie i sześć krawędzi, a więc nieregularny czworoscian, który jest bardzo mocny i sztywny oraz daje izolację od ciepła i zimna. Zewnętrzna płyta 3' może mieć odcięty swój dolny koniec wzdłuż linii b, a wewnętrzna płyta — swój górny koniec wzdłuż linii a, stwarzając zabezpieczoną od dostawiania się wody wewylację konstrukcji. Fig. 8a i 8b pokazują szereg połączonych podwójnych płyt kształtu przedstawionego na fig. 7, z tym wyjątkiem, że niektóre z płyt będą zwykłego typu 3, a inne zwykłego typu 4, wykonane zgodnie z poprzednim opisem tych zwykłych typów. Gdy te podwójne płyty są wykonane przez połączenie poszczególnych płyt w zmieniającej się kolejności, na przykład płyta 3, za płytą 4', płyta 3 za płytą 4, tak jak to jest pokazane na fig. 8b, to uzyska się wyjątkowo mocną konstrukcję przeplatana.

Fig. 9, 10 i 11 przedstawiają poszczególne różnego rodzaju układy płyt typów 3 i 4, przy czym niektóre z tych płyt są zgięte dokoła małej osi, inne natomiast dokoła dużej osi. A zatem fig. 9 pokazuje zespół płyt 3' i 4', które wszystkie są zgięte wypukłością na zewnątrz. Na fig. 10 niektóre z płyt, a mianowicie oznaczone liczbą 3 są zgięte z wklęsłością na zewnątrz, dokoła ich długiej osi. W układzie na fig. 11 wklęsłe od zewnątrz płyty 3 z konstrukcji fig. 10 są zastąpione przez wypukłe na zewnątrz płyty 3', natomiast wypukłe od zewnątrz płyty 4' z fig. 10 są zastąpione przez wklęsłe na zewnątrz płyty 4, ukazując pełną wzajemną zamiennność kształtów wklęsłych i wypukłych. Również można by sobie wyobrazić, że konstrukcja pokazana na każdej z fig. 9, 10 i 11 może składać się z podwójnych płyt o kształcie pokazanym przykładowo na fig. 7. W celu uproszczenia opisu, jeżeli nazwałoby się wypukłe od zewnątrz płyty „zewnątrznymi”, wklęsłe na zewnątrz płyty — „wewnętrzznymi”, a kombinację tych dwóch kształtów płyt — „podwójnymi”, to z takiego punktu widzenia wynalazek niniejszy może być podsumowany

jako zawierający wszystkie z następujących możliwych kombinacji:

1. Wszystkie płyty są „wewnętrzne”,
2. wszystkie płyty są „zewnątrzne”,
3. wszystkie płyty są „podwójne” (wewnętrzne i zewnętrzne),
4. część płyt „wewnętrznych” część „zewnątrznym”,
5. część płyt „wewnętrznych” część „podwójnych”,
6. część płyt „zewnątrznym” część „podwójnych”,
7. część płyt „wewnętrznych”, część „zewnątrznym” i część „podwójnych”.

Fig. 12 i 14 przedstawiają pełną konstrukcję 5/8 części kuli, zbudowaną w sposób opisany z powołaniem się na fig. 1 — 5 włącznie.

Fig. 13 i 15 przedstawiają tę samą konstrukcję zastosowaną do połowy kuli odciętej wzdłuż linii „1/2” na fig. 1.

Jeżeli weźmie się konstrukcję pokazaną na fig. 12 i podzieli się ją na dwie części wzdłuż linii A—B (lub A'—B') to ukaże się nowy aspekt możliwości odcinania kopuły od kuli. W ten sposób uzyskuje się dwie połówki ABC i A'B'C' 5/8 części kuli. Na fig. 16 jedna z tych połówek, a mianowicie ABC jest widoczna po prawej stronie, a druga A'B'C' — po lewej stronie, przy czym jedna została obrócona o 90° w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara z położenia przedstawionego na fig. 12, a druga o 90° w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Pomiędzy płaszczyznami BC i B'C' na fig. 16 umieszczone są dwa sferyczne segmenty stanowiące kopie odciętego segmentu kuli, zawartego pomiędzy liniami odcięcia oznaczonymi „3/8” i „5/8” na fig. 12. W skompletowanej na fig. 16 kopule środkowa część robi wrażenie, że ma zasadniczo kształt walcowy, ale z poprzednich rozważań można wywnioskować, że w rzeczywistości składa się ona z dwóch segmentów sferycznej kopuły geodezyjnej. W ten sposób został odkryty sposób, za pomocą którego sferyczność może w rzeczywistości sięgać albo „rozciągać się” dla stwarzania wydłużonych kopuł geodezyjnych. Jeśli trzeba to środkowa sekcja BB'C'C może być opuszczona w konstrukcji na fig. 16, a jej końcowe części mogą być wzajemnie zsunięte i zetknięte się płaszczyznami BC i B'C', tworząc wydłużoną konstrukcję, nieco krótszą niż pokazana w tym rzucie na rysunku. Jako dalszą alternatywę można zastosować dwie lub więcej sekcji BB'C'C, dla stworzenia tune-

lowej konstrukcji geodezyjnej o każdej wymaganej długości. Również przez usunięcie sekcji w postaci połówki 5/8 części kuli, która leży po lewej stronie płaszczyzny B'C' na fig. 16 i uważając płaszczyznę B'C' jako podstawę pozostałej konstrukcji otrzymuje się połowę silosowej konstrukcji, która wraz z dostawioną wzdłuż płaszczyzny AB' drugą konstrukcją o identycznym kształcie da wieżę o wierzchołku w postaci 5/8 części kuli i zazwyczaj walcowych ścianach. Różne konstrukcje tego rodzaju mają jednocześnie zazwyczaj walcową część środkową o zasadniczych właściwościach dokładnej konstrukcji geodezyjnej, o ile chodzi o jej jedyną zdolność maksymalnego wykorzystania właściwości rozciągających materiałów i zapewniają bardziej korzystny stosunek: ciężar/wytrzymałość, niż kiedykolwiek był on uzyskany przy stosowaniu konwencjonalnych pomysłów konstrukcji budowlanej.

Powracając znów do fig. 6, można zaobserwować, że płyty 3 mają zakładki od dołu, natomiast płyty 4 mają zakładki od góry, a więc przekazywanie naprężeń w płaszczyźnie powierzchni konstrukcji odbywa się pomiędzy dolnym arkuszem okładzinowym płyty 4 i górnym arkuszem okładzinowym sąsiedniej płyty 3. Wynikiem tego jest takie ułożenie płyt, że pracują one na ścinanie, przy czym naprężenie ścinające mogą być przekazywane do rdzenia materiału złożonego laminatu i poprzez niego do przeciwnego arkusza okładzinowego Brzezi tego przeciwnego arkusza okładzinowego, tzn. brzezi które leżą po przeciwnej stronie przyklejonej zakładki, nie mogą być wykorzystywane do bezpośredniego przekazywania obciążeń. Zagadnienie to jest specyficzne dla konstrukcji składających się z takich szczególnych rodzajów układanych na zakładkę płyt, które składają się z górnych i dolnych arkuszy okładzinowych z oddzielającym je rdzeniem. Prowadzi to do tego aspektu niniejszego wynalazku, który dotyczy odkrycia, jak przetykać wzajemnie dolne arkusze okładzinowe kolejno po sobie następujących płyt we wzmocnionej konstrukcji, którą charakteryzuje polepszona ciągłość zarówno dolnych jak i górnych arkuszy okładzinowych rozciągających się zasadniczo poprzez całą konstrukcję kopuły, jak to zostanie w dalszym ciągu opisane z powołaniem się na fig. 17a i 17b. Tu laminaty w postaci rombów płyt są łączone w taki sposób, że ich zakładki są umieszczane symetrycznie parami układanymi naprzeciw siebie. W ten sposób pojedyncza płyta 3' będzie miała

jedną parę naprzeciw siebie położonych zakładek od góry 8 i jedną parę naprzeciw siebie położonych zakładek od dołu 8'. Nakładające się na siebie części płyt są łączone wzajemnie na klej, przy czym dolny arkusz okładzinowy płyty 3' jest przyklejony do górnych arkuszy okładzinowych pary sąsiednich płyt 4', a górny arkusz płyty 3' jest przyklejony do dolnych arkuszy innej pary sąsiednich płyt 4". W ten sposób stwarza się bezpośrednie przekazywanie naprężeń pomiędzy dolnym arkuszem płyty 3' i górnymi arkuszami płyty 4' wzdłuż linii działania pokazanej schematycznie za pomocą linii 10 (fig. 17b). Podobnie istnieje bezpośrednie przekazywanie obciążeń z górnego arkusza płyt 3' do dolnych arkuszy płyt 4", przedstawione schematycznie za pomocą linii 11, pokazującej poprzeczne przetykanie linii działania naprężeń. Linie działania naprężeń 10 i 11 są narysowane ciągłymi liniami gdy naprężenia przenoszą górne arkusze okładzinowe konstrukcji, a kreskowymi liniami, gdy obciążenia przenoszą dolne arkusze. Te linie przenoszenia naprężeń tworzą „splot” naprężeń w dolnych i górnych arkuszach okładzinowych, który może być upodobniony do osnowy i wątku tkaniny i te linie splotu tworzą ciągłość pracujących na ścinanie dolnych i górnych arkuszy okładzinowych, które rozciągają się zasadniczo na całą konstrukcję kopuły. Przecinające się linie naprężeń same tworzą trójkierunkową kratę linii naprężeń, i są tak wzajemnie rozłożone w całej konstrukcji, że naprężenia na rozciąganie obydwóch arkuszy okładzinowych może być wykorzystywane bardziej skutecznie, na czym wydaje się polegać współdziałanie uzupełniające podstawowe zjawisko współdziałania, jakie było ustalone przez naukowców i budowniczych we współczesnych geodezyjnych konstrukcjach budowlanych i strągeli.

Inna jeszcze korzyść przeplatania linii działania krzyżujących się naprężeń, pokazanych przykładowo na fig. 17a, 17b i 23, może być podana z powołaniem się na fig. 6, na której pokazano w jaki sposób, o ile chodzi o wybraną płytę 3, naprężenia w dolnych arkuszach okładzinowych dwóch sąsiednich płyt 4 stwarzają skierowany do wewnątrz nacisk, przy przykrytych od góry brzegach płyty 3, tak jak to jest uwidocznione za pomocą strzałek i, natomiast naprężenia w górnych arkuszach okładzinowych dwóch innych sąsiednich płyt (jednej powyżej i jednej poniżej płaszczyzny rysunku, a zatem nie pokazanych na fig. 6, lecz dają-

cych się porównać z dwoma zespołami sąsiednich płyt 4' i 4'' na fig. 17b) stwarzają skierowany na zewnątrz docisk, przy przykrytych od dołu brzegach płyty 3, jak to jest uwidocznione za pomocą strzałek o. Krzyżujące się, skierowane ku górze i ku dołowi siły dociskające, wywierane na daną płytę, wywołują naprężenia ściskające w rdzeniu 7 materiału płyty, a zostało stwierdzone, że kombinacja takich skierowanych ku dołowi i ku górze sił dociskających ma działanie ściskające, które usiłuje przyciągać wzajemnie brzegi płyty, tak że dolny i górny arkusze okładzinowe płyty są w pewnym stopniu związane ze sobą bez odstawiania. Porównaj także strzałki i oraz o na fig. 8.

Na fig. 18 zostało ujawnione w jaki sposób uzyskać ciągłe przetykane linie działania naprężeń konstrukcji, której przeciwległe zakładki przy górnych końcach rombów są zakładkami od dołu, natomiast zakładki na dolnych końcach rombów są zakładkami od góry, tak że konstrukcja jest właściwie kryciem gontami w celu odprowadzenia wody, przy zachowaniu ciągłości naprężeń górnych i dolnych przeplatanych arkuszy okładzinowych płyt. Linie działania ciągłych linii naprężeń są pokazane schematycznie za pomocą kilku linii 12. Istnieje tu para przeciwległych zakładek od dołu 13 i para przeciwległych zakładek od góry 13'.

W konstrukcji przedstawionej na fig. 18 wszystkie płyty są zgięte wklęsłością od zewnątrz, dokoła ich dużych osi. Na fig. 20 to samo przetykanie linii działania naprężeń w krytej gontami konstrukcji zostaje uzyskane z zastosowaniem płyt zginanych wypukłością na zewnątrz dokoła ich małej osi, tj. wszystkie płyty są „zewnątrzne”, stosując poprzednio przyjętą terminologię skróconą.

Na fig. 21 stosuje się to samo przetykanie linii działania naprężeń i krycie gontami w konstrukcji składającej się z kombinacji płyt „zewnątrznych” i „wewnętrznych”.

Fig. 22 przedstawia inną kombinację płyt „zewnątrznych” i „wewnętrznych”. Tak jak to podane było w rozważaniach poprzednich, powinno być, że gdziekolwiek są pokazywane płyty „zewnątrzne”, rysunek może być odczytywany jako ilustrujący bądź płyty „zewnątrzne”, bądź też kombinację płyt „zewnątrznych” i „wewnętrznych” („podwójnych”), a o ile chodzi o płytę „podwójną” to jej konstrukcja była opisana z powołaniem się na fig. 7.

Fig. 23 przedstawia właśnie dalszą odmianę

układu płyt i ich nakrywanie się. Jak poprzednio pojedyncza płyta ma jedną parę przeciwległych zakładek od góry i jedną parę zakładek od dołu. Linie bezpośredniego przekazywania naprężeń w pokryciu są pokazane schematycznie za pomocą linii 14 i 15, przeplatanych w ciągłej konstrukcji przetykanej.

Podsumowując to co było omówione z powołaniem się na fig. 17—23, można stwierdzić, że fig. 17 stanowi typowy wzór przeplatania linii działania naprężeń w 3-dzielnej kopule, natomiast fig. 18—23 są przykładem przeplatania linii działania naprężeń w 4-dzielnej kopule. Czterodzielna kopuła stwarza właściwą dla niej sobie możliwość odcinania taką samą jaką była opisana o ile chodzi o 3-dzielną kopułę i jaka była pokazana liniami odcinania, oznaczonymi „3/8”, „1/2” i „5/8”. Można zauważyć, że na fig. 1 linia odcinania dla połowy kuli jest pod pewnym kątem do linii odcinania 3/8 części i 5/8 części kuli, natomiast na fig. 18 wszystkie trzy linie odcinania znajdują się w równoległych płaszczyznach.

Fig. 19 pokazuje załamania dla trójkierunkowej kraty w 4-dzielnej kopule. Ten rzut jest wykresem jednego z trójkątów AAA sferycznego dwudziestościanu odpowiadającego trójkątowi AAA na fig. 18. Jak poprzednio, sferyczny trójkąt jest narysowany liniami kreskowymi. Pokazane są również nałożone na boki sferycznego trójkąta, pokazane są podziałki ścięciwowe, oznaczone AB, BC, CD itd. Jeżeli dana jest średnica kuli, na której należy skonstruować wymaganą kopułę geodezyjną, to podstawowe wymiary rombów płyt ustala się jak następuje, o ile chodzi o ścięciwy według oznaczeń z fig. 19:

AB	= 0,22019
BB	= 0,25958
BC	= 0,32942
BD	= 0,30907
CD	= 0,31287
DD	= 0,32492

Każdy z tych współczynników mnoży się przez promień wymaganej kopuły, wyrażony w dowolnych jednostkach, jakie chce się zastosować, takich jak stopy, cele, metry, lub centymetry. Iloczyn da długości ścięciw w wybranych jednostkach pomiarowych, dając w ten sposób wymiary długości boków każdego typu rombu. Możliwość odcinania może być zasadniczo uzyskiwana w kopułach, w których trójkierunkowa krata trójkątów dwudziestościanu została skonstruowana przy podziałach 2, 3 lub 4-krot-

nych lub też ich wielokrotnościach, na przykład przy podziałach 6 i 12-krotnych. Należy przypomnieć, że podzielność była zdefiniowana jako liczba podziałek, na jakie każdy bok trójkąta dwudziestokątna jest dzielony przy planowaniu trójkierunkowego modelu kraty. W tego rodzaju konstrukcjach, wszystkie wierzchołki rombów leżą na dużych kołach kuli. Wynika stąd, że wszystkie linie osiowe rombów tzn. ich długie i krótkie osie są cięciwami dużych kół kuli. W związku z tym wszystkie opisane tu kopuły poza specjalnymi zaletami tu opisanymi, mają tę podstawową zaletę, że są konstrukcją ściśle geodezyjną lub konstrukcją dużych kół.

W 4-dzielnej kopule, którą skonstruowano w sposób wyżej opisany, i w której zastosowano układ płyt przedstawiony na fig. 24 będącej rzutem z góry 5/8 części 4-dzielnej kuli z fig. 25, wykonanym w kierunku strzałek 24—24 i tak zorientowanej, że środek kołpaka dwudziestokątna jest zenitem, uzyskana została zmodyfikowana postać odciętego segmentu, który rozciąga się pomiędzy liniami odcinania 3/8 i 5/8. To z kolei stwarza zmodyfikowaną postać wydłużonych konstrukcji poprzednio opisanych z powołaniem się na fig. 12 i 16. W tym przypadku jeżeli weźmie się konstrukcję pokazaną na fig. 25 i podzieli się ją na dwie części płaszczyzną oznaczoną DE (lub $D'E'$), to utworzy się dwie sekcje połówkowe DEF i $D'E'F'$ pięciu ósmych części kuli.

Na fig. 26 widoczna jest jedna z tych sekcji, a mianowicie DEF po prawej stronie, a druga $D'E'F'$ — po lewej stronie, przy czym jedna została obrócona o 90° w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara, z położenia pokazanego na fig. 25, a druga o 90° w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Pomiedzy płaszczyznami EF i $E'F'$ na fig. 26, mamy umieszczoną sekcję środkową $EE'F'F$, składającą się z dwóch sferycznych segmentów, stanowiących kopię odciętego segmentu kuli, rozciągającego się pomiędzy liniami odcinania oznaczonymi „3/8” i „5/8” na fig. 25. Na skompletowanej tak kopule (fig. 26) sekcja środkowa robi wrażenie jakoby miała kształt walcowy, lecz jak to było opisane z powołaniem się na fig. 16, zrozumiałe jest samo przez się, że w rzeczywistości składa się ona z dwóch segmentów sferycznej kopuły geodezyjnej. Środkowa sekcja z konstrukcji przedstawionej na fig. 26 w przeciwieństwie do sekcji pokazanej na fig. 16, jest wykonana całkowicie z „zewnątrznych” płyt rombów, zginanych

dokoła ich małej osi i pół sekcji z „wewnętrznych” płyt rombów odciętych wzdłuż ich małej osi. Wynika to z obwodowego pofalowania jakie jest dobrze widoczne przy dokładnym przestudiowaniu fig. 26. Jeżeli trzeba, to sekcja środkowa $EE'F'F$ może być usunięta z konstrukcji przedstawionej na fig. 26, a jej końcowe części zsunięte wzajemnie do zetknięcia się płaszczyzn EF i $E'F'$, tworząc pewnego rodzaju wydłużoną konstrukcję, krótszą jednak od pokazanej na fig. 26. Jako następną z kolei alternatywę można zastosować dwie lub więcej sekcji $EE'F'F$ dla stworzenia tunelowej konstrukcji geodezyjnej każdej wymaganej długości. Oprócz tego, jak to było opisane z powołaniem się na fig. 16, różne konstrukcje tego rodzaju mają jednocześnie zazwyczaj walcową sekcję środkową, odznaczającą się pierwszorzędnymi właściwościami teoretycznej konstrukcji geodezyjnej.

Jako przykład wyjątkowo korzystnego stosunku ciężaru do wytrzymałości, uzyskanego w szczególnej postaci konstrukcji laminarnej, można przytoczyć kopułę wykonaną z „Fome Cor”, składającego się z arkuszy okładzinowych z tektury z papieru siarczanowego, nałożonych na rdzeń polistyrenu porowatego, o łącznej grubości 6,35 mm, przy zastosowaniu pojedynczych płyt w geodezyjnej konstrukcji o średnicy 5,8 m, mającej następującą charakterystykę:

Układ	— 5/8 części kuli
Wykorzystanie pomieszczenia	
głowicy	— 98%
Przykrywane pole podłogi	— 25,2 m ²
Objętość osłaniania	— 77,7 m ³
Ciężar (wraz z wyposażeniem)	— 79,0 kG
Objętość części składowych	
zapakowanych do przewo-	
zu morskiego	— 0,7 m ³ (paka
	o boku kwadratu 1,2 m
	i wysokości
	0,46 m)
Ciężar na jednostkę przykry-	
wanego pola podłogi	— 3,1 kG/m ²

Jeżeli wynalazek niniejszy zastosuje się do kopuł większych wymiarów, to ciężar kopuły na m² przykrywanej podłogi może być jeszcze mniejszy, w znacznym stopniu spowodowany kształtem i układem zachodzącym za siebie złożonych płyt, w których dolne i górne arkusze okładzinowe kolejnych płyt są wzajemnie przetykane we wzmocnioną konstrukcję, która

uzupełnia właściwą wytrzymałość geodezyjnej trójkierunkowej konstrukcji kratowej.

Terminy i wyrażenia jakie były tu stosowane, zostały użyte w sensie opisowym a nie wiążącym i nie było zamiarem opisu wyłącznie takich równoważnych odmian opisywanego wynalazku, jakie mieszczą się w zasięgu zastrzeżeń patentowych.

Zastrzeżenia patentowe

1. Kopuła geodezyjna, składająca się z płyt układanych na zakładkę jedna na drugą, znamienna tym, że płyty (3, 4) składają się z dolnego (6) i górnego (5) arkuszy okładzinowych i elementu oddzielającego (7), umieszczonego pomiędzy tymi arkuszami, przy czym płyty te w stanie zmontowanym tworzą ograniczoną ze wszystkich stron konstrukcję z płaskich ścian trójkątnych, które zostały połączone parami w sekcje o kształcie rombów, a trójkątne ściany każdej pary są ustawiane wzajemnie pod pewnym kątem.
2. Kopuła geodezyjna według zastrz. 1, znamienna tym, że pewna liczba takich par trójkątnych ścian, umieszczonych wzajemnie pod pewnym kątem jest zginana wklęsłością od zewnątrz, dokoła dużej osi (E) sekcji o kształcie rombu i stanowi rynnowate zagłębienie na zewnętrznej powierzchni kopuły.
3. Kopuła geodezyjna według zastrz. 2, znamienna tym, że pewna liczba takich par trójkątnych ścian, umieszczonych wzajemnie pod pewnym kątem jest zgięta wypukłością na zewnątrz, dokoła małej osi sekcji o kształcie rombu i stanowią grzbiety zmieniające się kolejno z rynnowatymi zagłębieniami na zewnętrznej powierzchni kopuły, dzięki czemu ta zewnętrzna powierzchnia jest zaopatrzona w ściany z wzajemnie przecinającymi się grzbietami i dolinami, które usztywniają płytową konstrukcję kopuły.
4. Kopuła geodezyjna według zastrz. 1—3, znamienna tym, że brzegi wspomnianych wyżej płyt są ustawiane w jednej linii wzdłuż równikowego dużego koła kopuły, a inne brzegi tych płyt, są ustawione w jednej linii wzdłuż równoległych linii, wyznaczających trzy ósme części kuli i pięć ósmych części kuli, dzięki czemu tego samego rodzaju płyty mogą być zestawiane dla utworzenia trzech ósmych części kuli,

połowy kuli i pięciu ósmych kuli, przy czym każda z nich kończy się dolną płaszczyzną, wyznaczoną przez wspomniane wyżej ułożone w jednej linii brzegi płyt.

5. Kopuła geodezyjna według zastrz. 1—4, znamienna tym, że zakładki pomiędzy płytami są umieszczone w ten sposób, że poprzez całą konstrukcję dolne brzegi dolnych płyt sięgają poniżej dolnych brzegów sąsiednich górnych płyt.
6. Kopuła geodezyjna według zastrz. 1—5, znamienna tym, że te rombówse sekcje (3', 4', 4''), gdy są pojedynczo montowane to mają swe zakładki umieszczane symetrycznie parami (8, 8 i 8', 8'), naprzeciw siebie, tak że jedna sekcja ma jedną parę naprzeciw siebie położonych załadek od góry (8, 8) i jedną parę naprzeciw siebie położonych załadek od dołu (8', 8') oraz ma nakładające się na siebie części sekcji wzajemnie łączone na klej, przy czym dolny arkusz okładzinowy (6) jednej sekcji przyklejany jest do górnego arkusza okładzinowego (5) jednej pary sąsiadujących sekcji a górny arkusz okładzinowy (5) tej jednej sekcji jest przyklejony do dolnych arkuszy okładzinowych (6) innej pary sąsiednich sekcji, na mocy czego wszystkie z nich, dolne i górne arkusze okładzinowe kolejno po sobie następujących sekcji, są wzajemnie przetykane, tworząc wzmocnioną konstrukcję, którą charakteryzuje ciągłość zarówno dolnych jak i górnych arkuszy okładzinowych, rozciągających się zasadniczo poprzez całą konstrukcję kopuły.
7. Kopuła geodezyjna według zastrz. 6, znamienna tym, że każda para położonych naprzeciw siebie załadek składa się z załadek (8, 8 i 8', 8'), które są mniej więcej równoległe i umieszczone po przeciwległych stronach małej osi sekcji rombówsej.
8. Kopuła geodezyjna według zastrz. 6, znamienna tym, że każda para położonych naprzeciw siebie załadek składa się z załadek (8, 8' i 8, 8'), które przecinając się przy jednym końcu rombówsej sekcji i które są umieszczone po tej samej stronie małej osi tej sekcji.
9. Kopuła geodezyjna według zastrz. 8, znamienna tym, że naprzeciw siebie położone zakładki przy górnych końcach rombówsej sekcji są zakładkami od dołu (13), natomiast zakładki przy dolnych końcach tych sekcji są zakładkami od góry (13'), dzięki czemu

konstrukcja taka jest konstrukcją krycia gontami w celu odprowadzania wody, chociaż daje wymienioną wyżej ciągłość przetykanych dolnych i górnych okładzinowych arkuszy płyt.

10. Kopuła geodezyjna według zastrz. 1—9, znamionna tym, że przynajmniej niektóre z tych rombów sekcji są podwójnymi płytami, składającymi się z dwóch sekcji (3, 3'), że górna z nich (3') jest zgięta wzdłuż małej osi wypukłością na zewnątrz, a dolna z nich (3) jest zgięta wzdłuż dużej osi wypukłością do wewnątrz, dzięki czemu te dwie sekcje stykają się wzajemnie wzdłuż brzegów rombów sekcji i są oddalone od siebie w środku w celu utworzenia czworoscianu, przy czym te podwójne płyty są łączone z innymi takimi podwójnymi płytami za pomocą klap sąsiednich podwójnych płyt, nakładanych na siebie w zmieniającej się kolejności.

11. Kopuła geodezyjna według zastrz. 4, znamionna tym, że dwie odcięte części, stanowiące pięć ósmych części kuli są łączone z przeciwnych stron w celu utworzenia wydłużonej konstrukcji, składającej się zazwyczaj z sferycznych geodezyjnych segmentów końcowych i na ogół z walcowego geodezyjnego segmentu środkowego.

12. Kopuła geodezyjna według zastrz. 11, znamionna tym, że walcowy zazwyczaj geodezyjny segment środkowy składa się z rombów sekcji zginanych wokół ich małych osi, przy czym te małe osie są umieszczane obwodowo wokół tego środkowego segmentu.

Richard Buckminster Fuller

Zastępca: mgr Józef Kamiński
rzecznik patentowy





