



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 005 051 B3 2009.07.09**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 005 051.2**

(22) Anmeldetag: **11.01.2008**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **09.07.2009**

(51) Int Cl.⁸: **E04B 1/19 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

Grimm, Friedrich, Dipl.-Ing., 70376 Stuttgart, DE;
Carl Stahl GmbH, 73079 Sülßen, DE

(72) Erfinder:

Grimm, Friedrich, 70376 Stuttgart, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

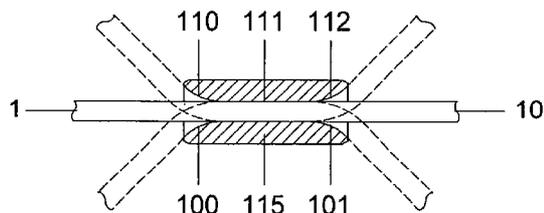
WO 02/0 81 832 A1
DE 36 12 012 A1

(54) Bezeichnung: **Seiltragwerk**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Seiltragwerk (3) mit mindestens einer aus einem Seil (10) und in bestimmten Abständen kraftschlüssig mit dem Seil (10) verbundenen Hülsen (11) gebildeten Kette (1) im Zusammenwirken mit druck-, zug- oder biegebeanspruchten Traggliedern (2) als Bausystem für ein Seilnetz (30), für einen seilverspannten Aussteifungsverband (31), für ein seilverspanntes Fassadentragwerk (32) und insbesondere für ein seilverspanntes Raumfachwerk (33).

Erfindungsgemäß ist die einem durchlaufenden Seil (10) zugewandte Mantelfläche der Hülse (11) in Längsrichtung in drei Abschnitte gegliedert und weist im ersten Abschnitt einen Seileinlauf (100) mit Umlenksattel (110), im zweiten Abschnitt eine kraftschlüssige Verbindung (111) zwischen dem Seil (10) und der Hülse (11) und im dritten Abschnitt einen Seilauslauf (101) mit Umlenksattel (112) auf.

Die Außenmantelfläche der Hülse (11) und der komplementäre Aufnahmeraum (200) eines zwei- oder mehrteiligen Knotenelements (20) bilden ein Widerlager für die Hülse (11). Dabei ist eine Hülse (11) um ihre Längsmittelachse im Knotenelement (20) rotierbar gelagert und festlegbar, sodass ein Seil (10) längs und quer zu seiner Tragrichtung beansprucht werden kann.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Seiltragwerk mit mindestens einer aus einem Seil und in bestimmten Abständen kraftschlüssig mit dem Seil verbundenen Hülse gebildeten Kette im Zusammenwirken mit druck-, zug- oder biegebeanspruchten Traggliedern als Bausystem z. B. für ein Seilnetz, für einen seilverspannten Aussteifungsverband, für ein seilverspanntes Fassadentragwerk und insbesondere auch für ein seilverspanntes Raumbauwerk.

[0002] Mit einer gegenüber gewöhnlichem Baustahl bis zu siebenfach erhöhten Zugfestigkeit gehören Seile als biegeeweiche und dehnsteife Zugglieder zu den leistungsfähigsten Tragelementen überhaupt. Mit Seilen richtig zu konstruieren heißt, ein Seil möglichst ununterbrochen über große Distanzen durchlaufen zu lassen. Dieses Prinzip ist z. B. bei Hängebrücken, deren Spannweite aufgrund der Leistungsfähigkeit der Tragseile von keiner anderen Bauform übertroffen wird, aber auch bei Jauerth-Trägern und Seilnetzen verwirklicht. Die Krümmung der Seile, der sog. Stich, ist dabei Bedingung und sichtbarer Ausdruck der Lastaufnahme.

[0003] Weitaus verbreiteter als zugbeanspruchte Tragwerke sind jedoch Fachwerkkonstruktionen, bei denen zur Abtragung von Lasten druck- und zugbeanspruchte Tragglieder zusammenwirken. Abrupte Winkeländerungen der Tragglieder an den Knotenpunkten eines Fachwerks zeigen die für ein Fachwerk charakteristische Zerlegung in Zug- und Druckkräfte. Bei aussteifenden Verbänden, Fassadentragwerken und Raumtragwerken sind die Zugglieder häufig als Seile ausgebildet. Die Herstellung eines Fachwerks im Zusammenwirken mit druckbeanspruchten Fachwerkstäben erfolgt in der Regel von Feld zu Feld mit aufwendigen Seilendverbindungen und Knotenpunktdetails für jede einzelne Zugdiagonale. Bekannt sind jedoch auch Konstruktionen, bei denen die Seilkräfte mittels aufgepresster Stopfklemmen ausgeleitet werden. Im Zusammenwirken mit separaten Umlenkclagern kann auf diese Weise auch eine Querbelastung des Seils mit Richtungsänderung erfolgen. Der abrupte Richtungswechsel am Austrittspunkt der Seile aus den aufgepressten Klemmen ruft hier jedoch gefährliche Kerbspannungen, die durch Bewegungen des Seils noch verstärkt werden, hervor.

[0004] Eine technische Lehre zur Ausbildung eines Umlenkclagers für Seile geht aus der DIN 18800 T1 hervor. Unter gewissen Voraussetzungen können kleinere Krümmungsradien als das 20fache des Seildurchmessers ausgeführt werden. Insbesondere Rundlitzenseile und Spiralseile aus Stahl mit Durchmessern von 2–26 mm zeichnen sich durch hohe Flexibilität aus und lassen sich mit vergleichsweise engen Radien gut umlenken.

[0005] Ein Seil kann aber auch als elektrisch leitender Strang hergestellt werden, sodass es z. B. für die Stromversorgung eines Beleuchtungssystems herangezogen werden kann.

[0006] Zur Herstellung einer kraftschlüssigen Verbindung zwischen einer Hülse und einem Seil wird ein an sich bekanntes Pressverfahren vorgeschlagen, bei dem durch plastisches Umformen einer Metallhülse eine innige Verbindung zwischen den Litzen des Seils und der dem Seil zugewandten Mantelfläche der Hülse hergestellt wird.

[0007] Eine polygonale Hülse z. B. mit einem sechseckigen Querschnitt ist rotationssymmetrisch ausgebildet und zeichnet sich durch eine konstante Quersteifigkeit aus. Bei einer Hülse mit Bund ist von Bedeutung, dass das Presswerkzeug nur im mittleren Bereich der Hülse angreift, sodass die kragenförmigen Erweiterungen im Bereich des Seilein- und -austritts beim Pressen keine Verformung erfahren und eine exakte rotationssymmetrische Außen- und Innenmantelfläche aufweisen. Der Bund einer Hülse dient der formschlüssigen Verbindung der Hülse mit den Schalenkörpern der Knotenelemente.

[0008] Bei einer zylinderförmigen Hülse kann im Zusammenhang mit der Pressverformung eine abschnittsweise Profilierung der Mantelfläche durch nutartige Vertiefungen vorgesehen werden. Wichtig ist auch hier ein rotationssymmetrischer Querschnitt nach der Verpressung mit dem Seil, der die freie Rotierbarkeit einer Hülse im Aufnahmeaum der Knotenelemente ermöglicht. Alternativ zu dem beschriebenen, bevorzugten Pressverfahren kann die kraftschlüssige Verbindung zwischen Seil und Hülse auch durch ein Spritzverfahren, ein Klebverfahren oder ein Injektionsverfahren mit einer aushärtenden Vergussmasse hergestellt werden.

[0009] Bei Seiltragwerken sind unterschiedliche Bauformen bekannt: Zunächst werden ebene und gekrümmte Strukturformen, dann aber auch lineare Trägerformen für eine gerichtete Ableitung der Lasten, sowie ein- und mehrlagige Flächentragwerke für eine ungerichtete, flächige Ableitung der Lasten unterschieden. Dazu kommen Strukturformen, bei denen die Tragelemente auf ein Zentrum bezogen sind und die Seile eine radiale oder tangentielle Ausrichtung zeigen. Eine Sonderform stellen die von Buckminster Fuller und seinen Schülern in den 50er Jahren entwickelten „Tensegrity-Strukturen“ dar, bei denen Druckstäbe ausschließlich durch Zug-

glieder so untereinander verbunden werden, dass sie einander selbst nicht berühren. Derartige Strukturformen sind in der PCT WO 02/081832 A1 dargestellt. Ein Seil als Kette mit in bestimmten Abständen aufgepressten Hülsen mit integrierter Seilumlenkung geht aus dieser Druckschrift nicht hervor.

[0010] Ein weiteres, seilverspanntes Tragsystem geht aus der Offenlegungsschrift DE 38 12 012 A1 hervor. Hier erstrecken sich zwar einzelne Zugglieder über mehr als ein durch vier Druckstäbe vorgegebenes Tragwerksfeld. Ein durchgängiges Seil als Kette mit aufgepressten Hülsen für die Krafftein- und -ausleitung mit integrierter Seilumlenkung ist hier ebenfalls nicht offenbart.

[0011] Ausgehend von dem dargestellten Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Seiltragwerk so weiterzubilden, dass ein Seil an einem Knotenpunkt eines Seiltragwerks kraftschlüssig so angeschlossen wird, dass ohne weitere konstruktive Maßnahmen auf einfachste Weise das Seil zur Lastaufnahme bzw. Lastabgabe umgelenkt werden kann.

[0012] Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst.

[0013] Eine erfindungsgemäße durchlaufende Seilkette kann in unterschiedlichste Seiltragwerke eingebaut werden. Das Anwendungsspektrum reicht dabei von einem ebenen Fachwerkverband über die räumliche Aussteifung von zweilagigen ebenen Flächentragwerken bis hin zu ein- und zweilagigen gekrümmten Fachwerkstrukturen. Eine weitere vorteilhafte Anwendung ist die Verbindung einer Hülsen tragenden Seilkette mit einem weitgespannten Tragseil mittels nicht näher dargestellter manschetten- oder bügelförmiger Knotenelemente zur Aufnahme der Seilhülsen. Auf diese Weise können beispielsweise die Hängeseile mit der Fahrbahn eines Brückentragwerks verbunden werden. Eine Kette als durchgängiger Diagonalezug kann aber auch die Trag- und Spannseile eines Jawerth-Trägers untereinander verbinden.

[0014] Bei Seiltragwerken mit einer radialen geometrischen Ordnung ergeben sich interessante Anwendungen, z. B. auch für ein Speichenrad, bei dem ein Hülsen tragendes Seil in einem Zug die Speichen des Rades bildet, wobei ein Spannring an der Nabe vorgesehen ist.

[0015] Eine besondere Ausführungsvariante stellen stromführende Seiltragwerke dar, bei denen die Seile der Stromversorgung eines Beleuchtungssystems dienen und von einem isolierenden Mantel umgeben sein können. Hülsen aus Kunststoff isolieren die Seile gegenüber den Knotenelementen.

[0016] Bei der Ausbildung der Knotenkörper sind unterschiedliche Formen möglich. Netzklemmen können z. B. rondenförmig, rechteckig, quadratisch oder polygonal ausgebildet sein und als dreiteilige Knotenelemente Hülsen in zwei Ebenen aufnehmen. Über eine zentrisch angeordnete Spannschraube können eine oder mehrere Netzklemmen mit einem koaxial zur Schraube angeordneten Druckstab verbunden werden.

[0017] Die Form der Knotenkörper mit Anschlussflächen für Stäbe, Flächen oder Raumkörper kann aus einer Polyeder oder einer Kugel abgeleitet werden und weist grundsätzlich einen zweiteiligen Aufbau aus einem Grundkörper und einem Klemmdeckel auf. Eine Spannvorrichtung ist ebenfalls immer zweiteilig ausgebildet und besteht aus zwei identischen Schalenkörpern zur Aufnahme der Hülsen.

[0018] In den Figuren werden einige ausgewählte Anwendungen eines erfindungsgemäßen Seiltragwerks dargestellt.

[0019] Es zeigen:

[0020] Fig. 1 eine Presshülse mit polygonalem Querschnitt in der isometrischen Übersicht

[0021] Fig. 2 die polygonale Hülse nach Fig. 1 im Längsschnitt

[0022] Fig. 3 eine zylinderförmige Hülse mit Bund in der isometrischen Übersicht

[0023] Fig. 4 die zylinderförmige Hülse mit Bund nach Fig. 3 im Längsschnitt

[0024] Fig. 5 eine zweiteilige, rondenförmige Netzklemme in isometrischer Explosionsdarstellung

[0025] Fig. 6 die Netzklemme nach Fig. 5 im Zusammenwirken mit zwei Ketten in der isometrischen Übersicht

- [0026] Fig. 7 den Zusammenbau von Ketten und Netzklemmen in der Aufsicht
- [0027] Fig. 8 zusammengebaute Ketten und Netzklemmen nach Fig. 7 mit 60 Grad Spreizung in der Aufsicht
- [0028] Fig. 9 zusammengebaute Ketten und Netzklemmen nach Fig. 7 mit maximaler, 90 Grad Spreizung in der Aufsicht
- [0029] Fig. 10 den Zusammenbau eines Netzes mit dreieckigen Maschen aus Ketten und Netzklemmen in der Aufsicht
- [0030] Fig. 11 eine Netzklemme nach Fig. 10 in isometrischer Darstellung
- [0031] Fig. 12 den Aufbau eines aus separaten Seilschlaufen zusammengesetzten Netzes in der Aufsicht
- [0032] Fig. 13 eine Netzklemme nach Fig. 12 in isometrischer Darstellung
- [0033] Fig. 14 die Spannvorrichtung eines Aussteifungsverbands in isometrischer Explosionsdarstellung
- [0034] Fig. 15 einen aussteifenden Verband am Beispiel eines Stahltragwerks in der Schnittansicht
- [0035] Fig. 16 den Knotenpunkt eines seilverspannten Fassadentragwerks in isometrischer Darstellung
- [0036] Fig. 17 eine Zelle eines seilverspannten Raumfachwerks in perspektivischer Übersicht
- [0037] Fig. 18 eine Zelle einer seilverspannten Glaskonstruktion in perspektivischer Übersicht
- [0038] Fig. 19 ein Knotenelement nach Fig. 17 und Fig. 18 mit einem Aufnahmeaum für Hülsen in perspektivischer Explosionsdarstellung
- [0039] Fig. 20 ein Knotenelement nach Fig. 17 und Fig. 18 mit Spannvorrichtung in der Explosionsisometrie
- [0040] Fig. 21 ein Knotenelement nach Fig. 17 im Querschnitt
- [0041] Fig. 22 das Knotenelement nach Fig. 20 mit Spannvorrichtung im Querschnitt
- [0042] Fig. 23 den Ausschnitt eines hybriden Raumfachwerks aus Stäben, Flächen und durchlaufenden Seilen in der perspektivischen Übersicht
- [0043] Fig. 24 den Ausschnitt eines Raumfachwerks in der perspektivischen Übersicht
- [0044] Fig. 25 den Ausschnitt einer zweilagigen, gekrümmten Tragstruktur mit polyederförmigen Raumzellen in der perspektivischen Übersicht
- [0045] Fig. 1 zeigt eine polygone Hülse (115) als Element einer Kette (1), die als aufgespreste Hülse (11) mit einem Seil (10) kraftschlüssig verbunden ist.
- [0046] Fig. 2 zeigt den Längsschnitt durch die in Fig. 1 dargestellte polygonale Hülse (115). Die polygonale Hülse (115) ist entlang ihrer Längsmittelachse in drei Abschnitte gegliedert und zeigt von links nach rechts erstens einen Seileinlauf (100) mit Umlenksattel (110), zweitens eine kraftschlüssige Verbindung (111) zwischen dem Seil (10) und der polygonalen Hülse (115), sowie drittens einen Seilauslauf (101) mit Umlenksattel (112). Die Sattelflächen (110, 112) der Umlenkklager für das Seil (10) sind als zweiachsig gekrümmte Rotationsschalen ausgebildet und ermöglichen eine Umlenkung des Seils (10) in beliebige Richtungen innerhalb eines Spektrums von 90 Grad.
- [0047] Fig. 3 zeigt eine Hülse (11) mit Bund (114), die im Bereich des Seileinlaufs (100) und im Bereich des Seilauslaufs (101) eine kragenförmige Erweiterung aufweist.
- [0048] Fig. 4 zeigt den Längsschnitt durch die Hülse (11) mit Bund (114) nach Fig. 3. An die kraftschlüssige Verbindung (111) der aufgespresten Hülse (11) mit dem Seil (10) schließen sich jeweils im Bereich des Seileinlaufs (100) und Seilauslaufs (101) Umlenksattelflächen (110, 112) an, die eine Umlenkung des Seils in alle

Richtungen innerhalb eines durch den Radius der Rotationsschale der Umlenksattelflächen (110, 112) vorgegebenen Spektrums ermöglichen. Der Bund (114) ermöglicht eine formschlüssige Verbindung der rotations-symmetrisch ausgebildeten Hülse mit einem Knotenelement.

[0049] Fig. 5 zeigt das Zusammenwirken eines Knotenelements (20) mit einer Kette (1) aus einem Seil (10) mit aufgedrückten Hülsen (11). Die Presshülsen (11) weisen einen Bund (114) auf und entsprechen der in Fig. 3 und Fig. 4 vorgestellten Ausführungsvariante. Der Bund (114) ermöglicht die form- und kraftschlüssige Verbindung der Hülsen (11) mit dem Knotenelement (20). Die beiden Hälften der rundenförmigen Netzklemme (202) besitzen jeweils einen Aufnahmeraum (200) zur Aufnahme der Hülsen (11) und werden mittels einer Klemmschraube (21) als zentrische Klemmschraube (210) gegeneinander verspannt. Vor dem Verspannen können die Hülsen (11) in dem komplementären Aufnahmeraum (200) frei rotiert werden, sodass unterschiedliche Neigungswinkel für die Seile (10) hergestellt werden können. Fig. 6 zeigt die in Fig. 5 beschriebene Netzklemme (202) im zusammengebauten Zustand.

[0050] Fig. 7 zeigt an einem charakteristischen Ausschnitt die Vorkonfektionierung eines Seiltragwerks (3). Das Seilnetz (30) besteht aus Seilen (10), die jeweils zusammen mit in konstantem Abstand aufgedrückten Hülsen (11) mit Bund (114) eine Kette (1) bilden und in rundenförmigen Netzklemmen (202) eingesetzt werden.

[0051] Fig. 8 zeigt das Seilnetz (30) nach Fig. 7 mit viereckigen Maschen (301) in der Arbeitsstellung. Dabei weisen die Ketten (1) untereinander einen Öffnungswinkel von 60 Grad auf. Fig. 9 zeigt den Ausschnitt eines Seilnetzes (30) nach Fig. 7 und Fig. 8 in maximal gespreizter Stellung mit quadratischen Maschen (301). Jeweils an den rundenförmigen Netzklemmen (202) bilden die Ketten (1) untereinander einen Öffnungswinkel von 90 Grad. Fig. 10 zeigt den Ausschnitt eines Seilnetzes (30) mit dreieckigen Maschen (300). Seile (10) mit aufgedrückten Hülsen (11) bilden Ketten (1), die form- und kraftschlüssig mit Netzklemmen (202) als Knotenelemente (20) verbunden werden. Zweiteilige, rechteckige Netzklemmen (202) nehmen dabei jeweils drei parallel angeordnete Hülsen (11) mit Bund (114) auf. Fig. 11 zeigt die rechteckige Netzklemme (202) nach Fig. 10 in der isometrischen Übersicht. Die beiden Hälften der Netzklemme (202) verbinden die Hülsen (11) mittels zweier exzentrisch angeordneter Klemmschrauben (211) kraft- und formschlüssig untereinander. Dieses Detail eignet sich z. B. auch für die Herstellung eines zweilagigen Raumfachwerks, bei dem, bezogen auf die dreikettige Netzklemme (202), die beiden äußeren Ketten eine Fachwerkebene mit viereckigen Maschen aufspannen, während die mittlere Kette (1) eine senkrecht dazu angeordnete Fachwerkebene als Diagonalzug bildet.

[0052] Fig. 12 zeigt den Ausschnitt eines Seilnetzes (30) mit sechseckigen Maschen (302). Die Seile (10) mit aufgedrückten Hülsen (11) bilden jeweils eine Kette (1), die als endlose Seilschleife (102) ausgebildet ist. Sechseckige Netzklemmen (202) schließen die Seilschleifen (102) zu einem Seilnetz (30) mit Doppelseilen zusammen. Dabei müssen die Knotenpunkte (20) nicht in einer Ebene liegen. Jeder zweite Knotenpunkt kann einer zweiten Ebene angehören, sodass das Seilnetz (30) in ein zweilagiges räumliches Tragwerk eingebaut werden kann. Fig. 13 zeigt das Detail der sechseckigen Netzklemme (202) nach Fig. 12 mit zentrischer Klemmschraube (210).

[0053] Fig. 14 zeigt die Spannvorrichtung (12) eines Aussteifungsverbands (31), bestehend aus zwei identisch ausgebildeten Schalenkörpern (201) jeweils mit einem Aufnahmeraum (200) für eine Hülse (11), sowie einer Spannschraube (120) und einer Spannhülse (121). Die Ketten (1) aus Seilen (10) und Hülsen (11) werden in die Schalenkörper (201) eingelegt und mittels Spannschraube (120) und Spannhülse (121) gegeneinander verspannt. Fig. 15 zeigt den Ausschnitt eines horizontal angeordneten Aussteifungsverbands (31) mit Hauptträger (310) und Nebenträger (311) als Druckglieder. Der Aussteifungsverband (31) ist als ebene Fachwerkscheibe ausgebildet und weist identische Schalenkörper (201) auf. Jeder Schalenkörper hat einen Aufnahmeraum (200) für die formschlüssige Verbindung mit einer Hülse (11) mit Bund (114). Mit dem Hauptträger (310) werden die Schalenkörper (201) verschraubt, während jeder zweite Schalenkörper (201) eine Hälfte der in Fig. 14 beschriebenen Spannvorrichtung (12) bildet. Mittels eines Spalts (s) mit vorgegebenem Öffnungsmaß zwischen den Schalenkörpern (201) wird die Vorspannkraft der Seile (10) definiert.

[0054] Fig. 16 zeigt das Knotenelement (20) eines seilverspannten Fassadentragwerks (32). Die rechteckige Netzklemme (202) ist Teil eines mehrteiligen Knotenelements (20) mit integriertem Glashalter (208). Das Knotenelement (20) bildet eine Glashalterkonstruktion mit punktförmiger Lagerung der Isolierglasscheiben im Falzbereich. Bei diesem Fassadendetail nimmt die mittlere Kette (1) die Vertikallasten der Verglasung auf, während die linke und die rechte, diagonal geführte Kette (1) zusammen mit einem Druckstab (22) die Ableitung der horizontalen Lasten übernehmen. Die rechteckige Netzklemme (202) mit integriertem Glashalter (208) ist Teil eines seilverspannten Fassadentragwerks (32) mit senkrechtem Tragseil (320) und diagonal geführten Seilen

[321] zur Herstellung eines Fachwerkverbands. **Fig. 17** zeigt ein Seiltragwerk (3) als seilverspanntes Raumfachwerk (33) mit quaderförmigen Zellen (332), die von Stäben (22) und Klemmknoten (203) gebildet werden. Die Ketten (1) verlaufen diagonal zu der quaderförmigen Zelle (332). Am Kreuzungspunkt der Raumdiagonalen ist eine Spannvorrichtung (12) aus zwei identischen Schalenkörpern (201) vorgesehen, mittels der insgesamt vier Ketten (1) untereinander verspannt werden. Bei diesem, auch als Messebausystem einsetzbaren, seilverspannten Raumfachwerk (33) sind die Seile (10) als flexible Rundlitzenseile (103) ausgebildet. Bei einer bestimmten Bauhöhe (h) ist die freie Seillänge zwischen den Hülsen einer Kette (1) konstant, sodass eine Kette (1) als Seil (10) von der Rolle vorkonfektioniert werden kann. Durch die gewählte Anzahl und Anordnung der quaderförmigen Zellen (332) ist die Anzahl der Ketten (1) und ihre jeweilige Länge vorgegeben. Die Knotenkörper (201, 203) dieses Bausystems ermöglichen die Realisierung unterschiedlicher Bauhöhen (h) für viertürige Fachwerkträger und für Flächentragwerke.

[0055] **Fig. 18** zeigt einen Ausschnitt eines Raumfachwerks (33). Als druckbeanspruchte Tragglieder (2) sind Flächen (23) in Form von Verbundglasscheiben (230) über Verbindungselemente (209) an die Knotenelemente (20) angeschlossen. Die Knotenelemente (20) sind als Klemmknoten (203) ausgebildet. Am Schnittpunkt der Raumdiagonalen werden die Ketten (1) in zwei Schalenkörper (201) eingelegt und mittels einer Spannvorrichtung (12) gegeneinander verspannt. Die Bauhöhe (h) des Bausystems für ein seilverspanntes Raumfachwerk (33) ist variabel.

[0056] **Fig. 19** zeigt einen Klemmknoten (203) nach **Fig. 17** und **Fig. 18** im Detail mit abgehobenem Deckel. Der Klemmknoten (203) ist aus zwei Schalenkörpern (201) aufgebaut, die im zusammengebauten Zustand untereinander einen komplementären Aufnahmeraum (200) für zwei Zylinderhülsen bilden. In den Öffnungen (205) werden die Seile geführt. Gewindebohrungen (206) dienen dem Anschluss von Stäben (22), wie in **Fig. 17** dargestellt, oder dem Anschluss von Flächen (23) über Verbindungselemente (209), wie in **Fig. 18** dargestellt.

[0057] **Fig. 20** zeigt die Spannvorrichtung (12) mit Spannschraube (120) und Spannhülse (121) am Kreuzungspunkt der Raumdiagonalen nach **Fig. 17** und **Fig. 18** mit eingebauten Zylinderhülsen (113) in der isometrischen Explosionsübersicht. Dieses Knotenelement (20) besteht aus zwei identischen Schalenkörpern (201) jeweils mit einem komplementären Aufnahmeraum für Zylinderhülsen (113). Die Spannvorrichtung (12) dient der Vorspannung von insgesamt vier Hülsen (11) tragenden Seilen (10).

[0058] **Fig. 21** zeigt den Querschnitt durch einen Klemmknoten (203) des in **Fig. 17** in der Übersicht dargestellten seilverspannten Raumfachwerks (33). Die Stäbe (22) sind als Hohlprofile (220) ausgebildet und werden über Verbindungselemente (209) mit dem Knotenelement (20) verschraubt. Bei einem seilverspannten Raumfachwerk (33) können die Stäbe (22) mit den Verbindungselementen (209) eine lose Steckverbindung bilden, wobei das Raumfachwerk (33) mittels der Ketten (1) so vorgespannt wird, dass auch die Stäbe (22) der Untergurtebene mit den Knotenelementen (20) in Druckverbindung stehen. Eine weitere Ausführungsform für die Verbindung der Stäbe (22) mit den Knotenelementen (20) sieht eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den Verbindungselementen (209) und den Stäben (22) vor, wobei die Verbindungsschrauben durch eine nicht näher dargestellte Montageöffnung in den Stäben (22) betätigt werden. **Fig. 22** zeigt den Detailschnitt durch die zentrale Spannvorrichtung (12) nach **Fig. 17** und **Fig. 18**. Zwei identisch ausgebildete Schalenkörper (201) werden mittels einer Spannschraube (120) und einer Spannhülse (121) mit den Ketten (1) so gegeneinander verspannt, dass sie einen definierten Spalt (s) bilden. Über das Öffnungsmaß des Spalts (s) wird die Vorspannkraft der Seile (10) definiert. Der Aufnahmeraum (200) für die Zylinderhülsen (113) als Zylinderhülsen (113) entspricht dem in **Fig. 21** dargestellten Aufnahmeraum (200) und ermöglicht eine Winkelverstellung der Ketten (1), sodass mit diesem Detail Fachwerkverbände mit unterschiedlicher Neigung realisiert werden können.

[0059] **Fig. 23** zeigt ein hybrides Raumfachwerk (33), bei dem die Obergurtebene von einer Verbundglasscheibe (230) als Beispiel für eine tragende Fläche (23) gebildet wird. Aus Schalenkörpern (201) aufgebaute Knotenelemente (20), die im Detail den in **Fig. 5** und **Fig. 6** dargestellten Beispielen entsprechen, nehmen die Ketten (1) auf und können mittels einer zentralen Spannvorrichtung (12) am Schnittpunkt der Raumdiagonalen verspannt werden. Seile (10) als Rundlitzenseile (103) schließen die zugbeanspruchte Untergurtebene zu einem Seilnetz zusammen. Die druckbeanspruchten Tragelemente (2), bestehend aus den Stäben (22) und der Fläche (23) in der Obergurtebene, werden durch vier Ketten (1) mit Spannvorrichtung (12) versteift.

[0060] **Fig. 24** zeigt eine weitere Ausführungsvariante eines seilverspannten Raumfachwerks (33). Die Knotenelemente (20) in der Ober- und Untergurtebene sind hier als Hohlknoten (204) ausgebildet und weisen einen Aufnahmeraum (200) für rundenförmige Netzklemmen (202) auf. Die Stäbe (22) sind als Hohlprofile (220) ausgebildet und stehen mit den Knotenkörpern (20) in Druckverbindung. Eine Spannvorrichtung (12) für die

Seile (10) am Kreuzungspunkt der Raumdiagonalen stellt die Vorspannung her. Eine rondenförmige Netzklemme (202) entspricht dem in [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) erläuterten Ausführungsbeispiel.

[0061] [Fig. 25](#) zeigt ein seilverspanntes Raumfachwerk (33) mit einer gekrümmten Strukturform (331), bei der Stäbe (22) über Knotenelemente (20) zu polyederförmigen Raumzellen (333) verbunden sind. Die Knotenelemente (20) sind jeweils zweiteilig ausgebildet und nehmen Hülsen (11) tragende Seile (10) als Ketten (1) auf. Jede polyederförmige Raumzelle (333) wird am Schnittpunkt der Raumdiagonalen mittels einer Spannvorrichtung (12) verspannt.

Bezugszeichenübersicht

1	Kette	2	Tragglieder	3	Seiltragwerk
10	Seil	20	Knotenelement	30	Seilnetz
100	Seileinlauf	200	Aufnahmeraum	300	Dreieckige Masche
101	Seilauslauf	201	Schalenkörper	301	Viereckige Masche
102	Seilschlaufe	202	Netzklemme	302	Sechseckige Masche
103	Rundlitzenseil	203	Klemmknoten	31	Seilverspannter Aussteifungsverband
104	Spiralseil	204	Hohlknoten	310	Hauptträger
11	Hülse	205	Öffnung	311	Nebenträger
110	Umlenksattel	206	Gewindebohrung	32	Seilverspanntes Fassadentragwerk
111	Kraftschlüssige Verbindung	207	Anschlussfläche	320	Tragseil
112	Umlenksattel	208	Glashalter	321	Diagonalseil
113	Zylinderhülse	209	Verbindungselement	33	Seilverspanntes Raumfachwerk
114	Hülse mit Bund	21	Klemmschraube	330	Ebene Strukturform
115	Polygonale Hülse	210	Zentrische Klemmschraube	331	Gekrümmte Strukturform
12	Spannvorrichtung	211	Exzentrische Klemmschraube	332	Quaderförmige Raumzelle
120	Spannschraube	22	Stab	333	Polyederförmige Raumzelle
121	Spannhülse	220	Hohlprofil		
s	Spalt	221	Vollprofil		
h	Bauhöhe	23	Fläche		
		230	Verbundglasscheibe		
		231	Verbundwerkstoffplatte		
		24	Raumkörper		

Patentansprüche

1. Seiltragwerk (3) mit mindestens einer aus einem Seil (10) und in bestimmten Abständen kraftschlüssig mit dem Seil (10) verbundenen Hülsen (11) gebildeten Kette (1) im Zusammenwirken mit druck-, zug- oder biegebeanspruchten Traggliedern (2) als Bausystem für ein Seilnetz (30), für einen seilverspannten Aussteifungsverband (31), für ein seilverspanntes Fassadentragwerk (32) und insbesondere für ein seilverspanntes Raumfachwerk (33) **dadurch gekennzeichnet**, dass das Seil (10) durchlaufend ausgebildet ist und dass die dem Seil (10) zugewandte Mantelfläche der Hülse (11) in Längsrichtung in drei Abschnitte gegliedert ist und im ersten Abschnitt einen Seileinlauf (100) mit Umlenksattel (110), im zweiten Abschnitt eine kraftschlüssige Verbindung (111) zwischen dem Seil (10) und der Hülse (11) und im dritten Abschnitt einen Seilauslauf (101) mit Umlenksattel (112) aufweist und dass die Außenmantelfläche der Hülse (11) zusammen mit einem komplementären Aufnahmeraum (200) eines zwei- oder mehrteiligen Knotenelements (20) ein Widerlager für die Hülse (11) bildet, wobei eine Hülse (11) um ihre Längsmittelachse im Knotenelement (20) rotierbar gelagert und festlegbar ist, sodass ein Seil (10) längs und quer zu seiner Tragrichtung beansprucht werden kann.

2. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Umlenksattel (110, 112) einer Hülse (11) als gegensinnig gekrümmte Rotationsschale in der Segmentform eines Torus, eines Hyperboloids oder eines Paraboloids ausgebildet ist, dessen Rotationsachse von der Längsmittelachse der Hülse (11) gebildet wird.

3. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Außenmantelfläche einer Hülse (11) eine quer zur Längsmittelachse verlaufende Profilierung zur Herstellung einer formschlüssigen Verbindung mit den Schalenkörpern (201) eines Knotenelements (20) aufweist.

4. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Hülse (11) als Zylinderhülse (113) mit einem kreisringförmigen Querschnitt oder als polygonale Hülse (115) mit einem polygonalen Außenumriss oder als Hülse (11) mit Bund (114) mit im Querschnitt unterschiedlichen Radien ausgebildet ist.

5. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Hülse (11) in den Abschnitten, die für den Seileinlauf (100) und für den Seilauslauf (101) vorgesehen sind, eine kragenförmige Querschnittserweiterung jeweils mit einem Bund (114) aufweist.

6. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Bund (114) einer Hülse (11) mit komplementären Stützflächen eines Schalenkörpers (201) zusammenarbeitet.

7. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Hülse (11) mit den Schalenkörpern (201) eines Knotenelements (20) durch Klemmwirkung und/oder durch Formschluss kraftschlüssig verbunden wird.

8. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kette (1) ein Seil (10) mit zwei Enden aufweist oder als endlose Seilschlaufe (102) ausgebildet ist.

9. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Hülsen (11) tragendes Seil (10) vorgereckt wird und mit konstanter freier Seillänge zwischen den Hülsen (11) als Vorprodukt auf eine Trommel gewickelt und bedarfsweise abgelängt wird.

10. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die freie Seillänge zwischen beliebig vielen Hülsen (11) einer Kette (1) unterschiedliche, der jeweiligen unregelmäßigen geometrischen Ordnung eines Seiltragwerks (3) entsprechende Maße aufweist.

11. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Seil (10) als Rundlitzenseil (103) oder als Spiralseil (104) aus Stahl ausgebildet ist und Hülsen (11) aus Metall, Kunststoff oder Keramik trägt.

12. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Seil (10) auch als stromführender Strang in Form eines Kabels ausgebildet sein kann und Hülsen (11) aus Kunststoff oder einem Keramikwerkstoff trägt.

13. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Seil (10) aus Kunststoff besteht, aus synthetischen Fasern, wie z. B. Carbon oder Kevlar aufgebaut ist und Hülsen (11) aus Metall oder Kunststoff trägt.

14. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Herstellung einer kraftschlüssigen Verbindung (111) zwischen einem Seil (10) und einer Hülse (11) ein Pressverfahren, ein Spritzverfahren, ein Klebeverfahren oder ein Injektionsverfahren mit einer aushärtenden Vergussmasse vorgesehen ist.

15. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich eine Kette (1) über sämtliche Felder eines Aussteifungsverbands (31), eines Fassadentragwerks (32) oder eines Raumfachwerks (33) erstreckt.

16. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jede zweite Hülse (11) einer Kette (1) in einen Schalenkörper (201) einer Spannvorrichtung (12) eingelegt wird, wobei jedes Feld eines Aussteifungsverbands (31) eines Fassadentragwerks (32) und jedes Modul eines Raumfachwerks (33) vorgespannt wird.

17. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Spannvorrichtung (12) aus zwei Schalenkörpern (201), einer Spannschraube (120) und einer Spannhülse (121) besteht.

18. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Schalenkörpern (201) einer Spannvorrichtung (12) ein Spalt (s) vorgesehen ist, dessen Öffnungsmaß die Vorspannkraft der Seile (10) definiert.

19. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Knotenkörper (20) einen Aufnahme-
raum (200) für eine, zwei oder mehrere Hülsen (11) aufweist.

20. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Knotenelement (20) als Netzklemme (202), als Klemmknoten (203) oder als Hohlknoten (204) ausgebildet ist und aus mindestens zwei Schalenkörpern (201) aufgebaut ist und Öffnungen (205) für die Durchführung der Seile (10) aufweist.

21. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Klemmknoten (203) einen Grundkörper mit Anschlussflächen (207) und einen Klemmdeckel mit Klemmschraube (21) aufweist.

22. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Knotenelement (20) aus Metall oder Kunststoff besteht und durch ein Guss- oder Spritzgussverfahren hergestellt wird.

23. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen einem Klemmknoten (203) und einem Stab (22) lose Steckverbindungen oder kraftschlüssige Verbindungen vorgesehen sind.

24. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Klemmknoten (203) mit Anschlussflächen (207) polyeder- oder kugelförmig ausgebildet ist.

25. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Hohlknoten (204) einen Aufnahme-
raum (200) für Netzklemmen (202) besitzt.

26. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Stab (22) als Hohlprofil (220) oder als Vollprofil (221) ausgebildet ist und aus Metall, Holz oder Glas besteht.

27. Seiltragwerk (3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die druckbeanspruchten Tragglieder als Flächen (23) oder Raumkörper ausgebildet sind und z. B. aus Verbundglasscheiben oder Verbundwerkstoffen bestehen.

Es folgen 15 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

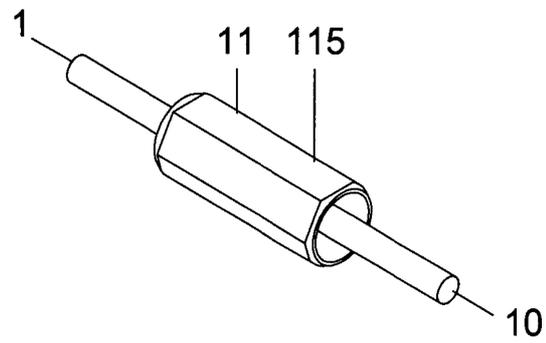


FIG. 1

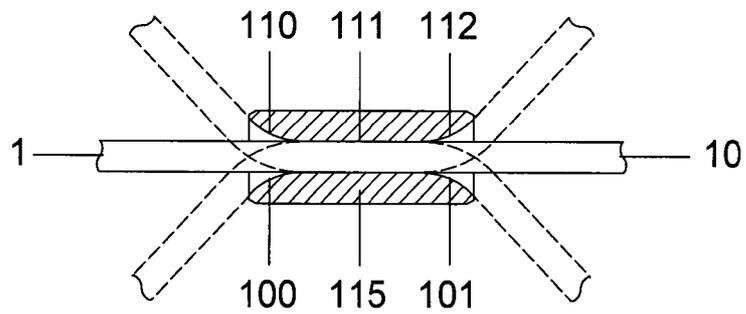


FIG. 2

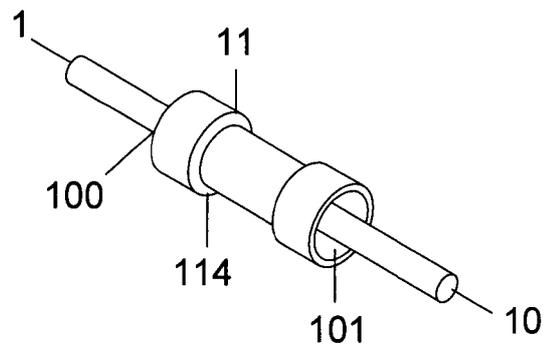


FIG. 3

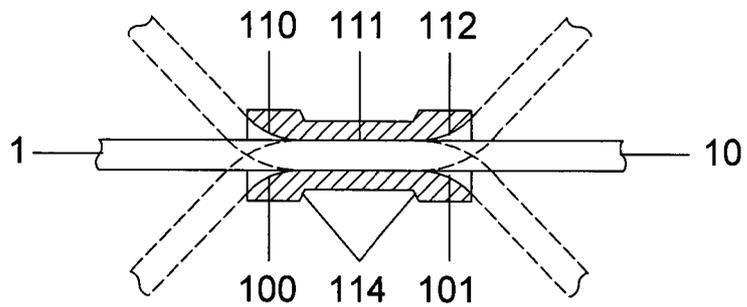


FIG. 4

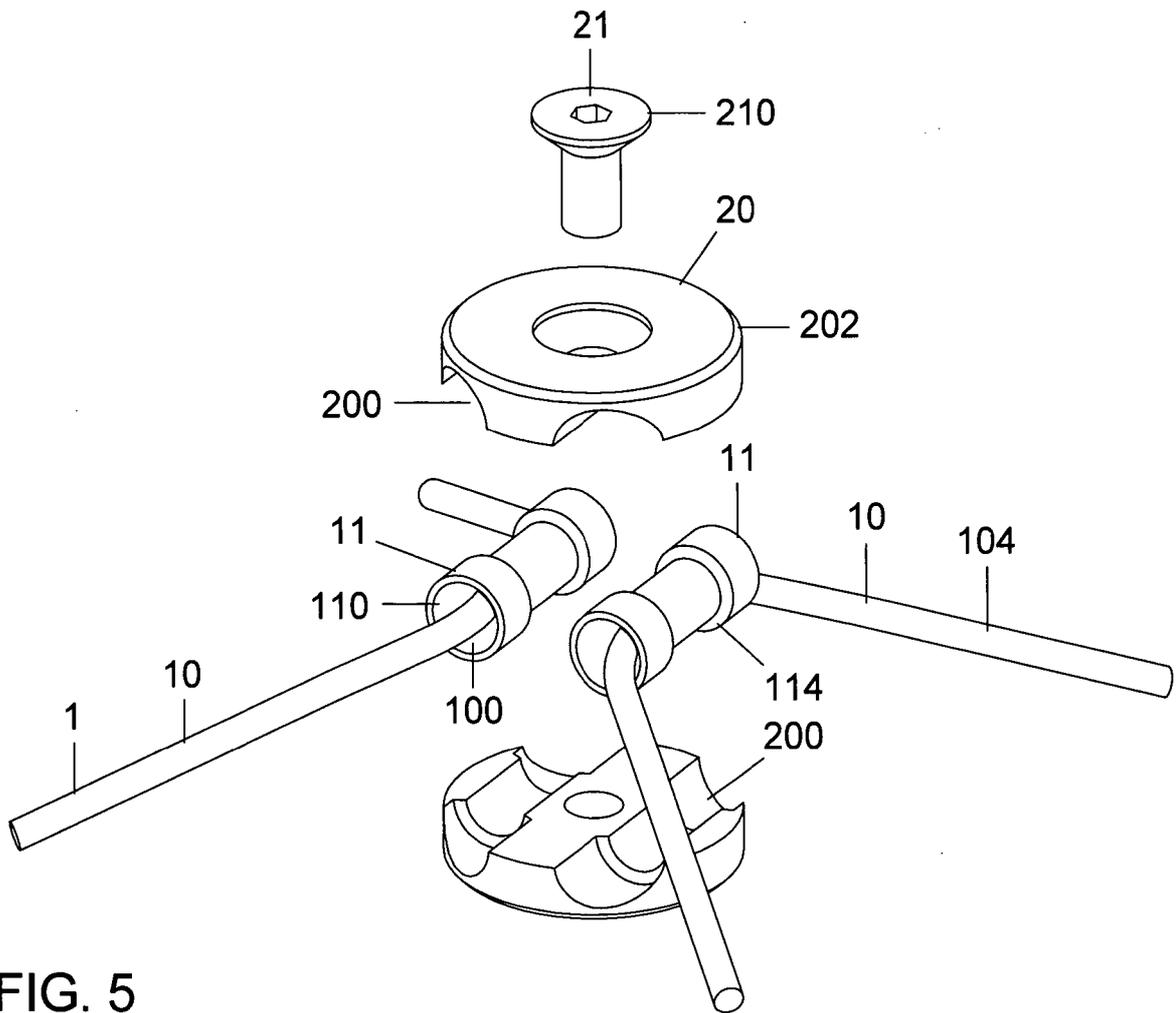


FIG. 5

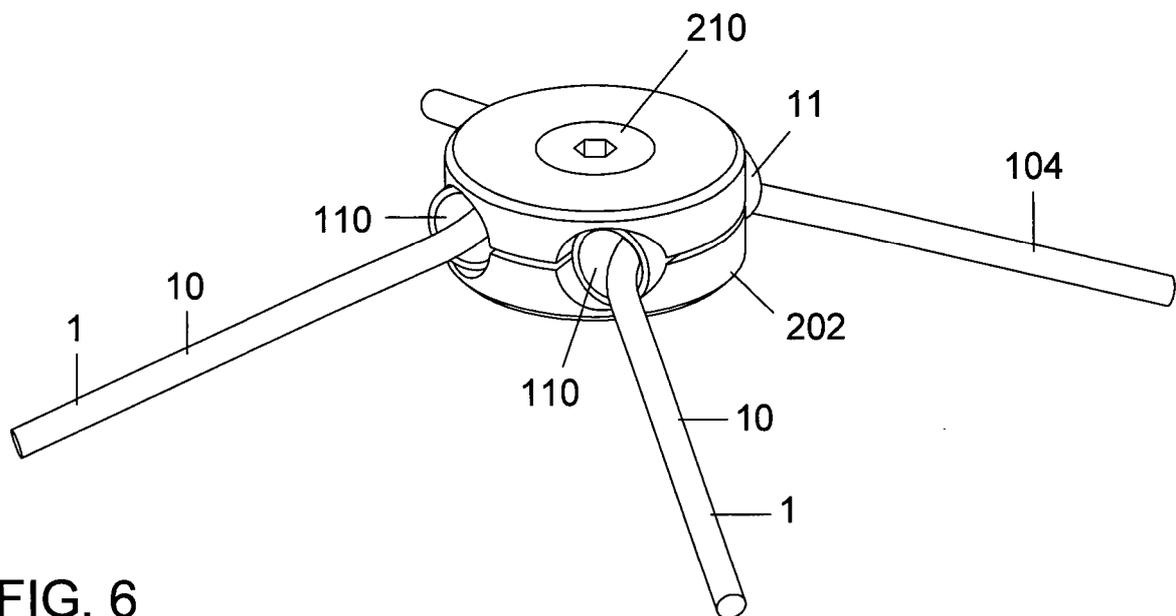


FIG. 6

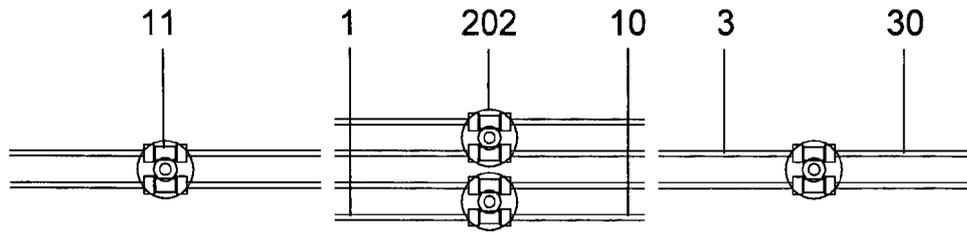


FIG. 7

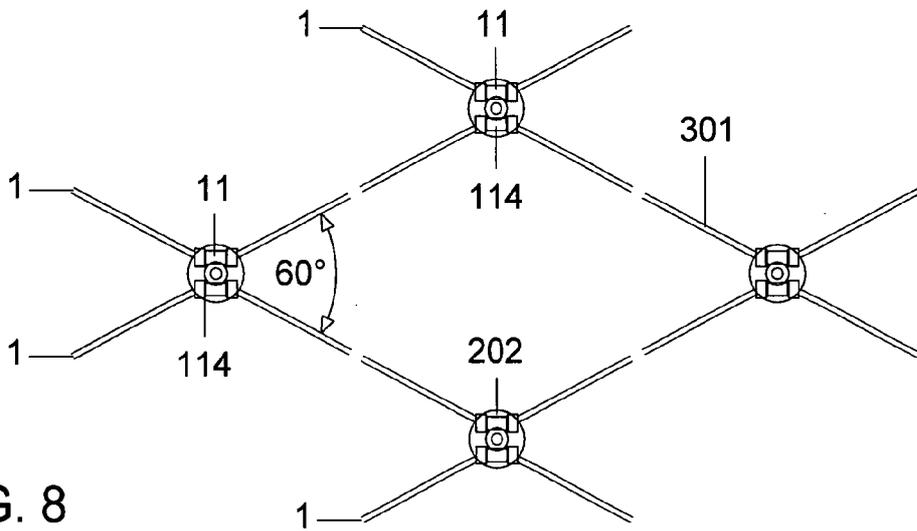


FIG. 8

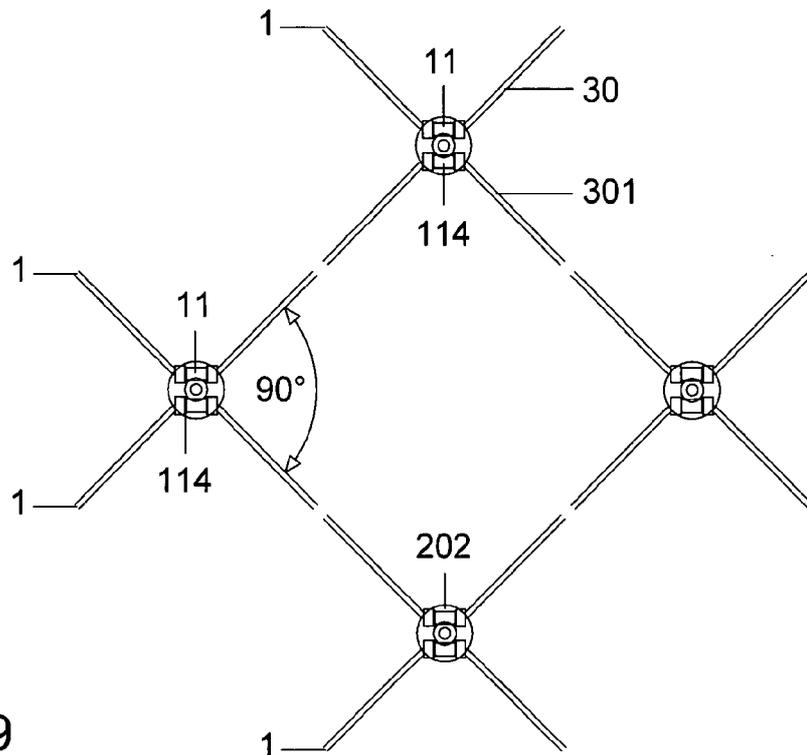


FIG. 9

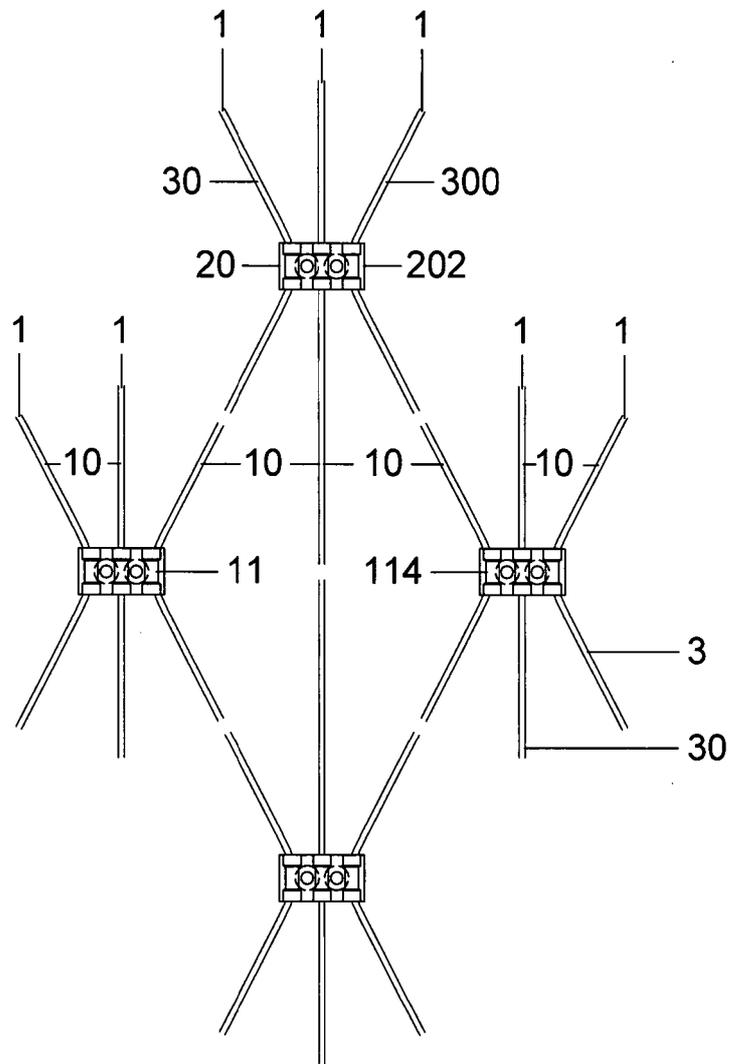


FIG. 10

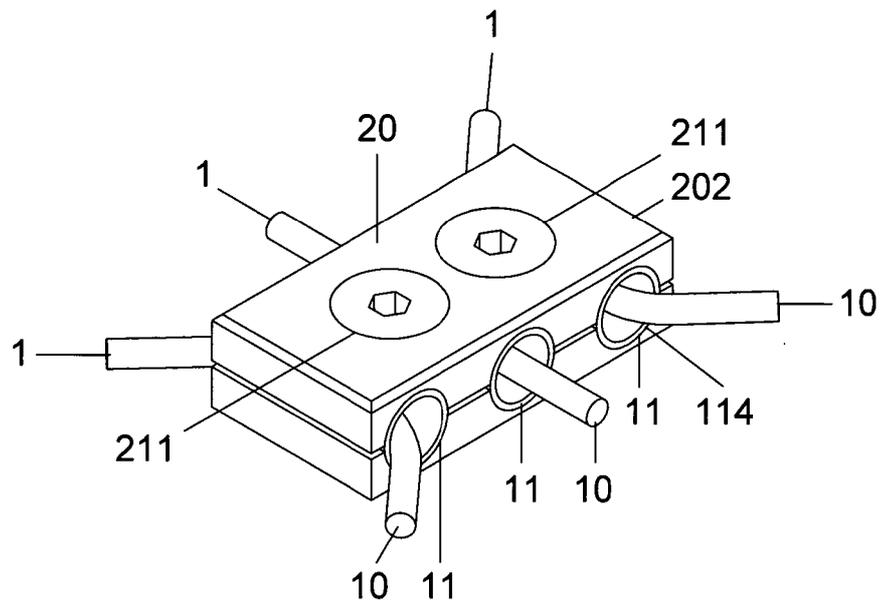


FIG. 11

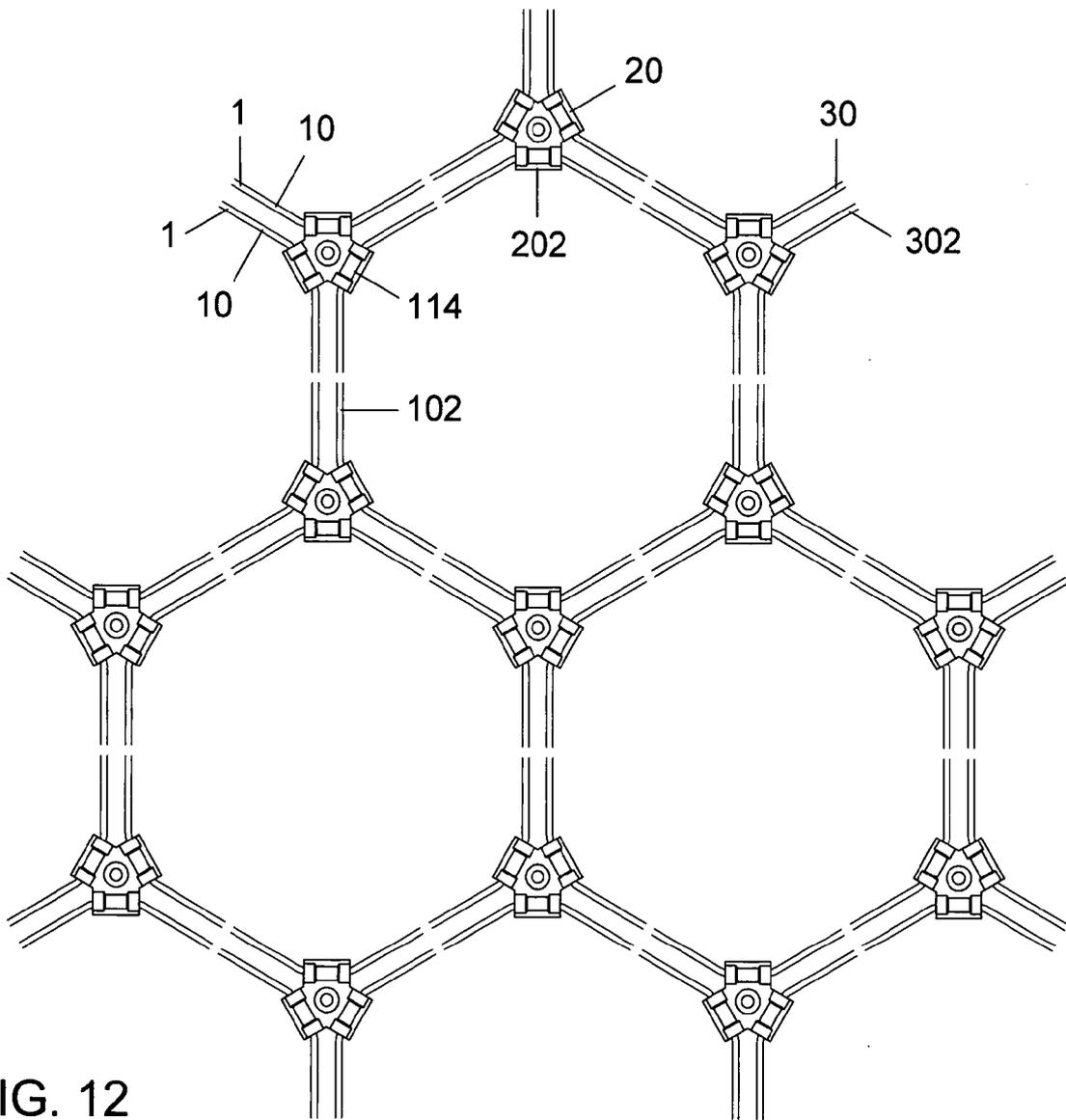


FIG. 12

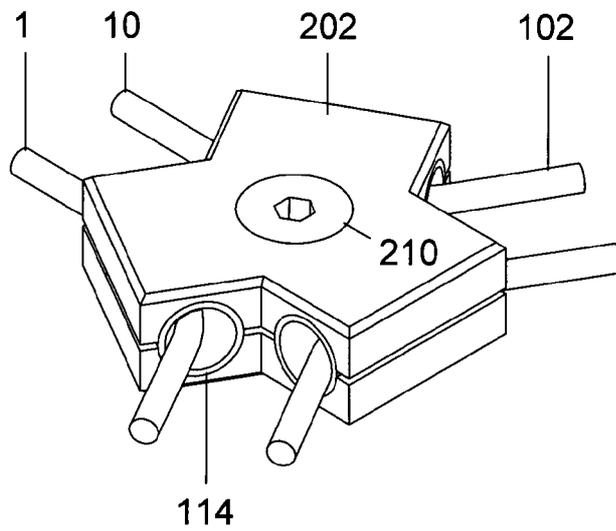


FIG. 13

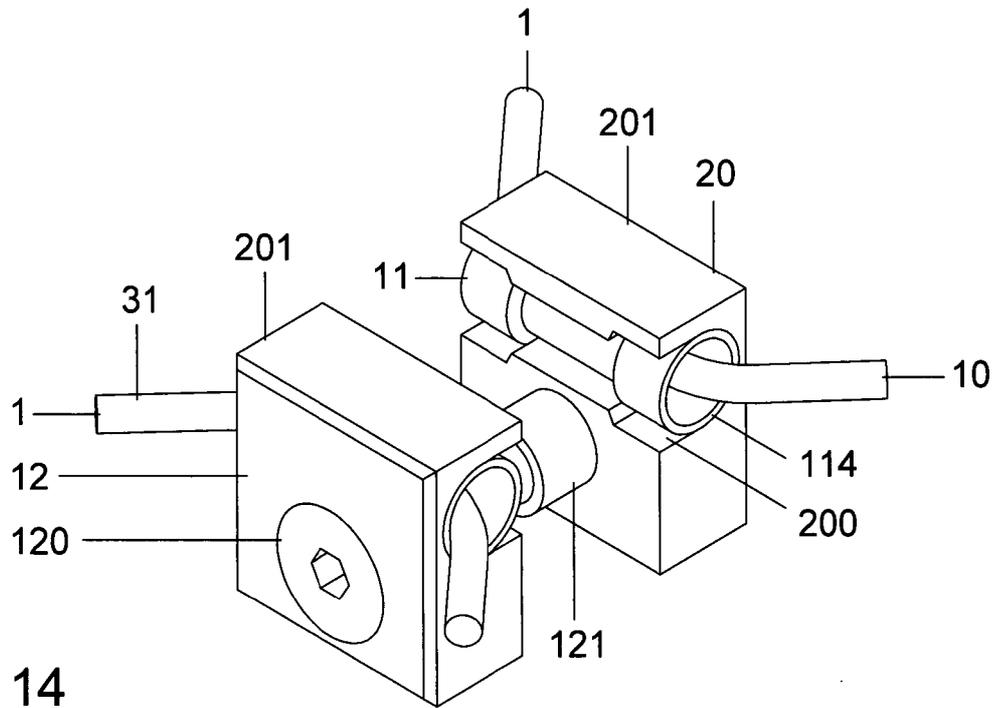


FIG. 14

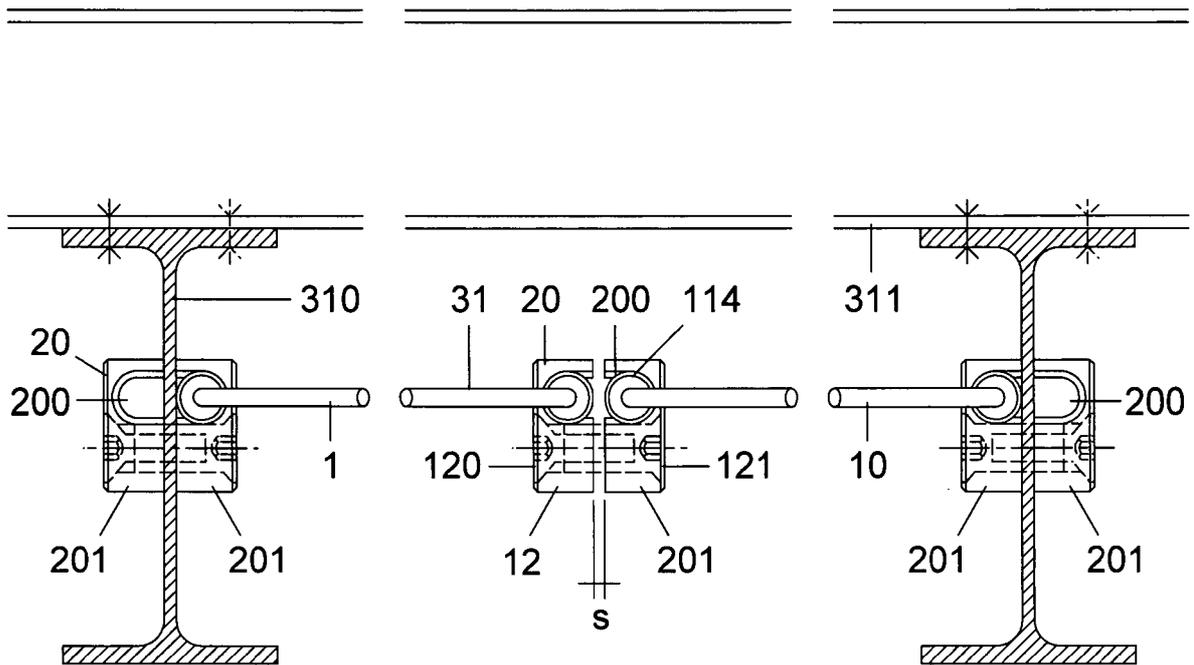


FIG. 15

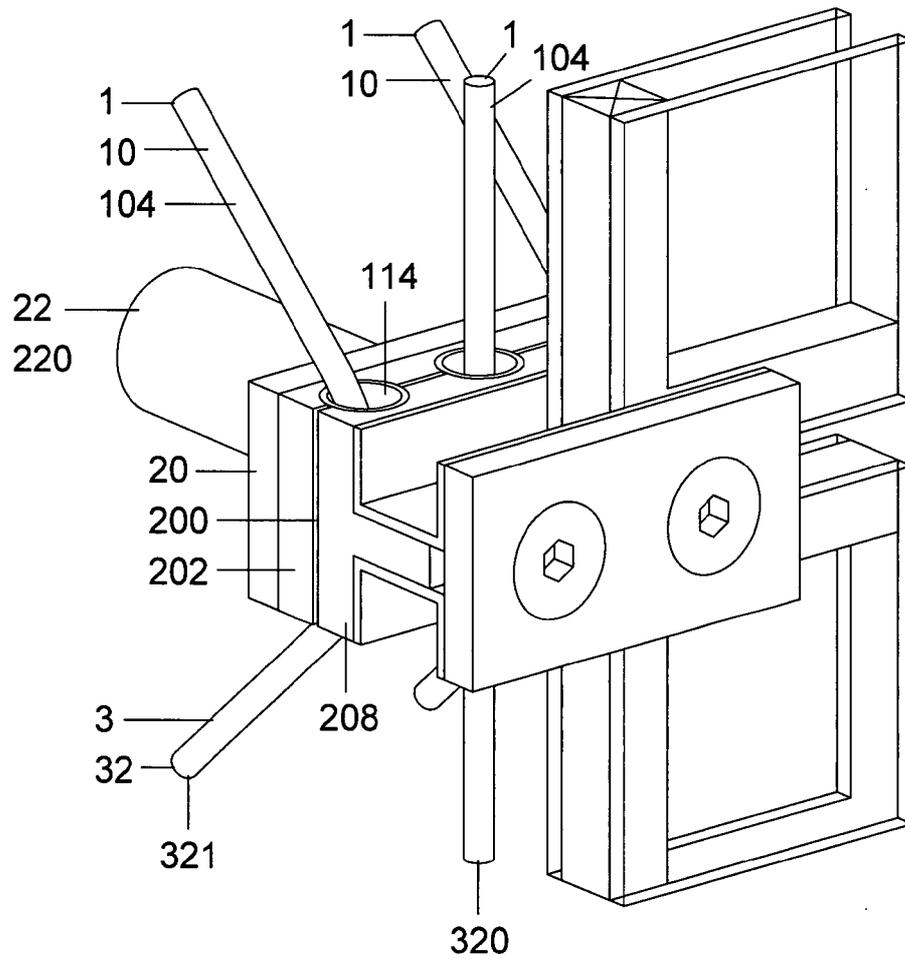


FIG. 16

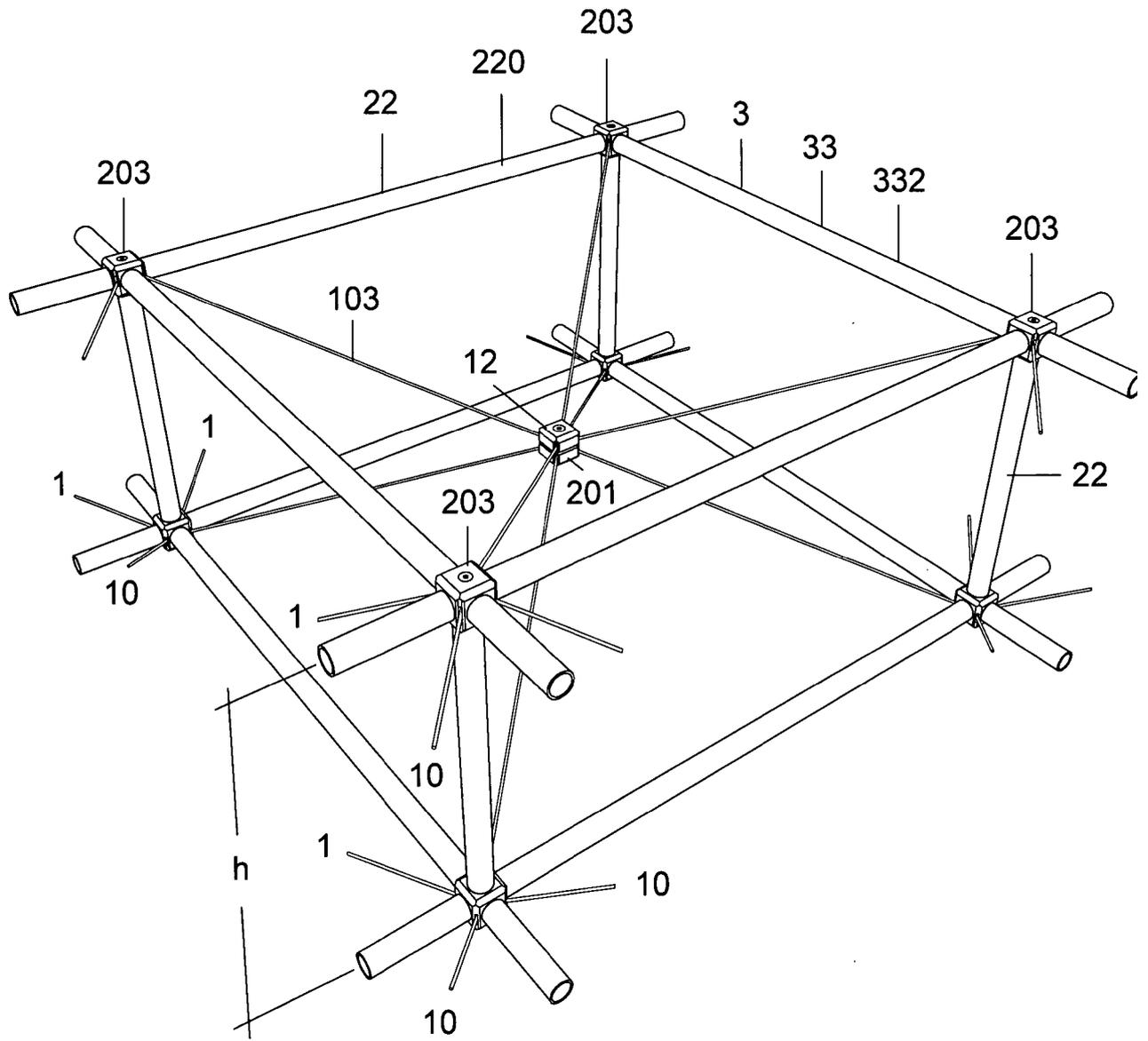


FIG. 17

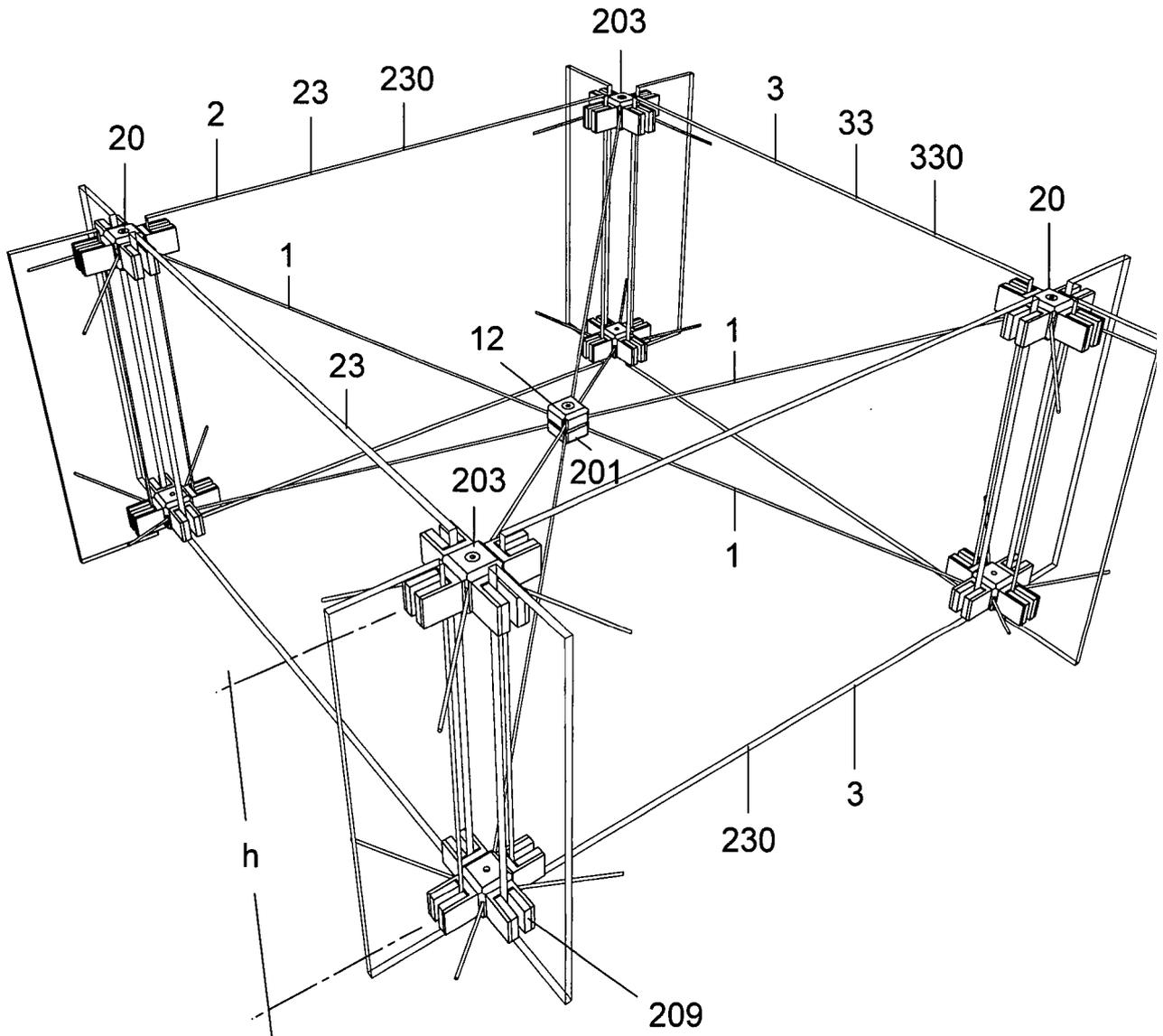


FIG. 18

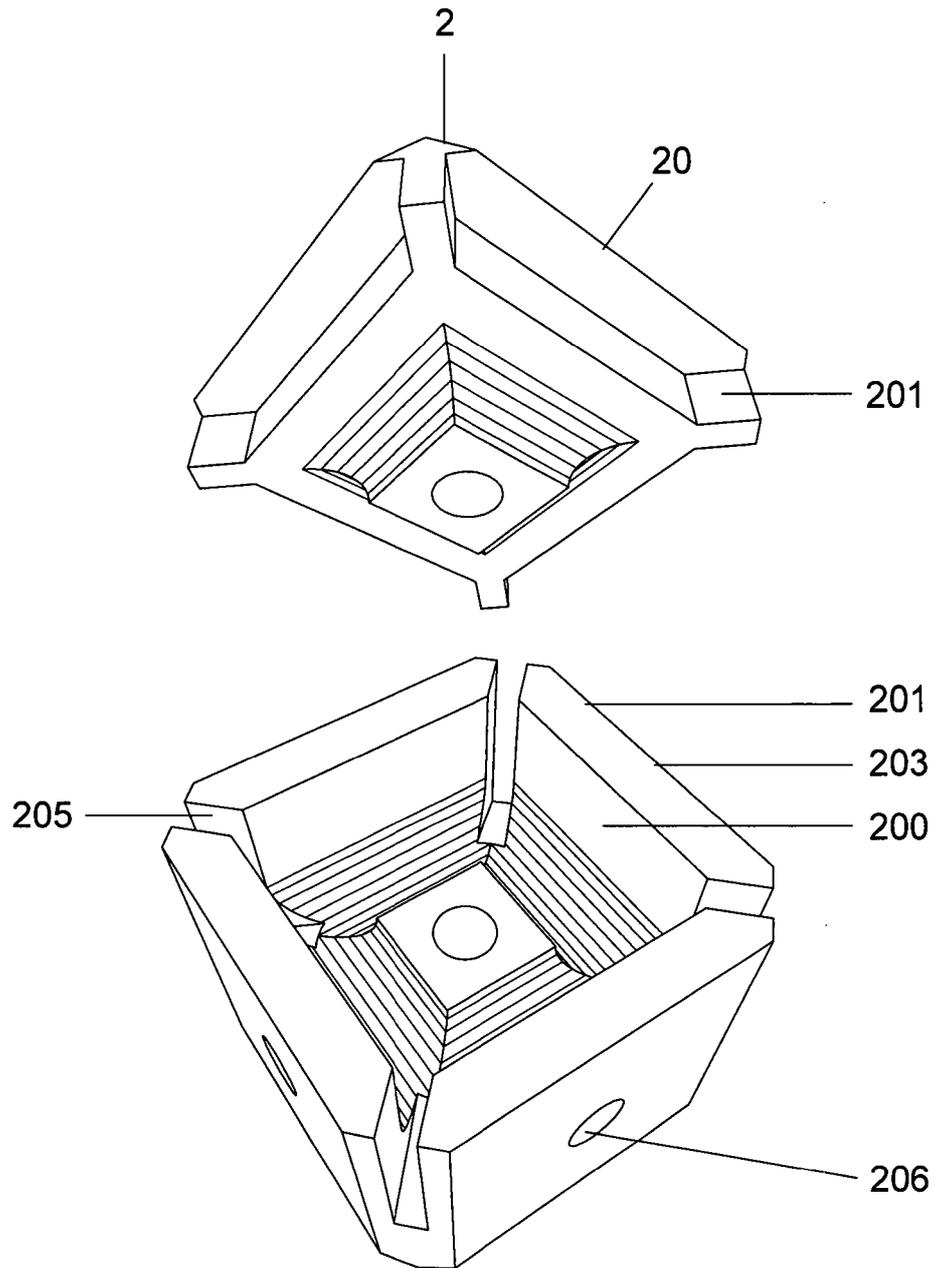


FIG. 19

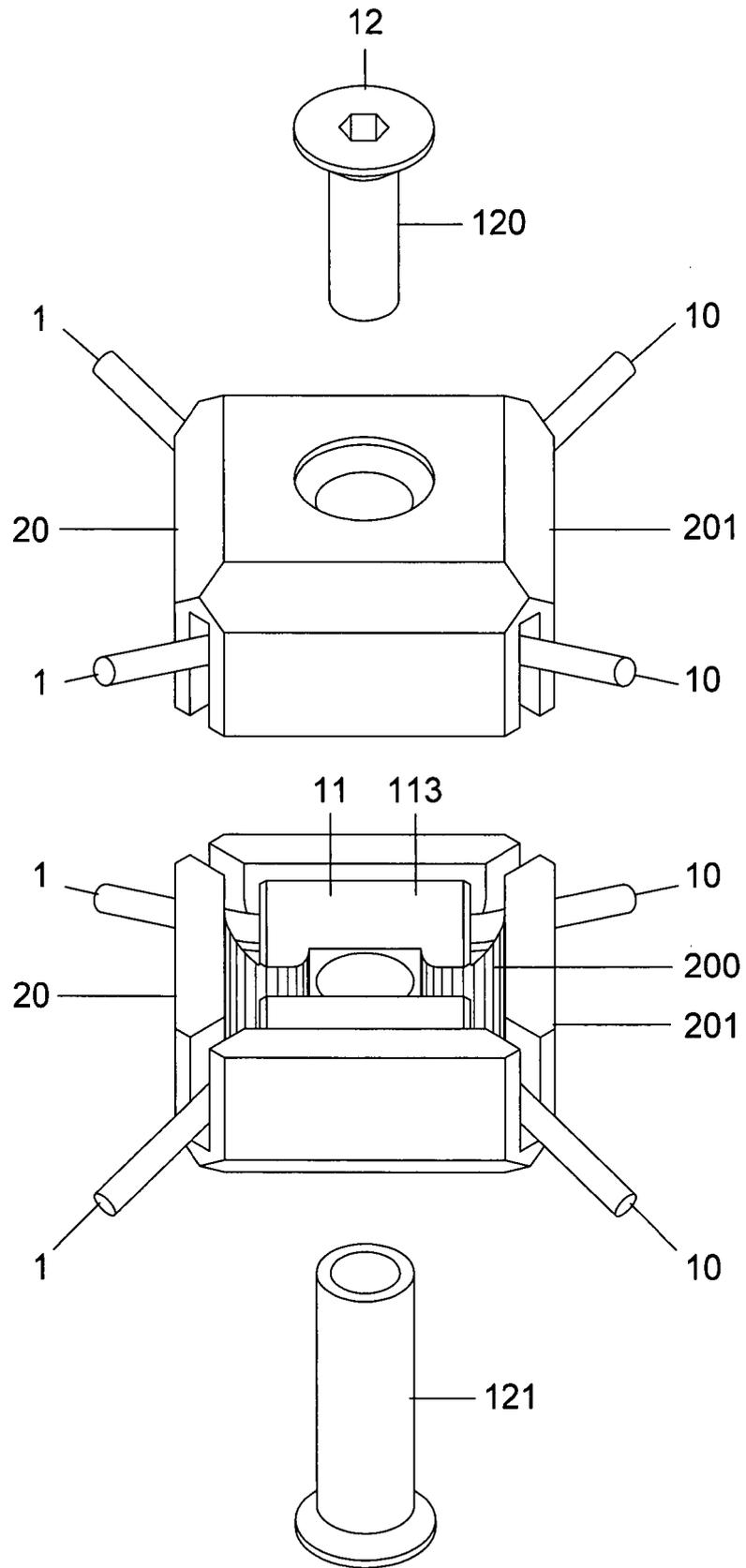


FIG. 20

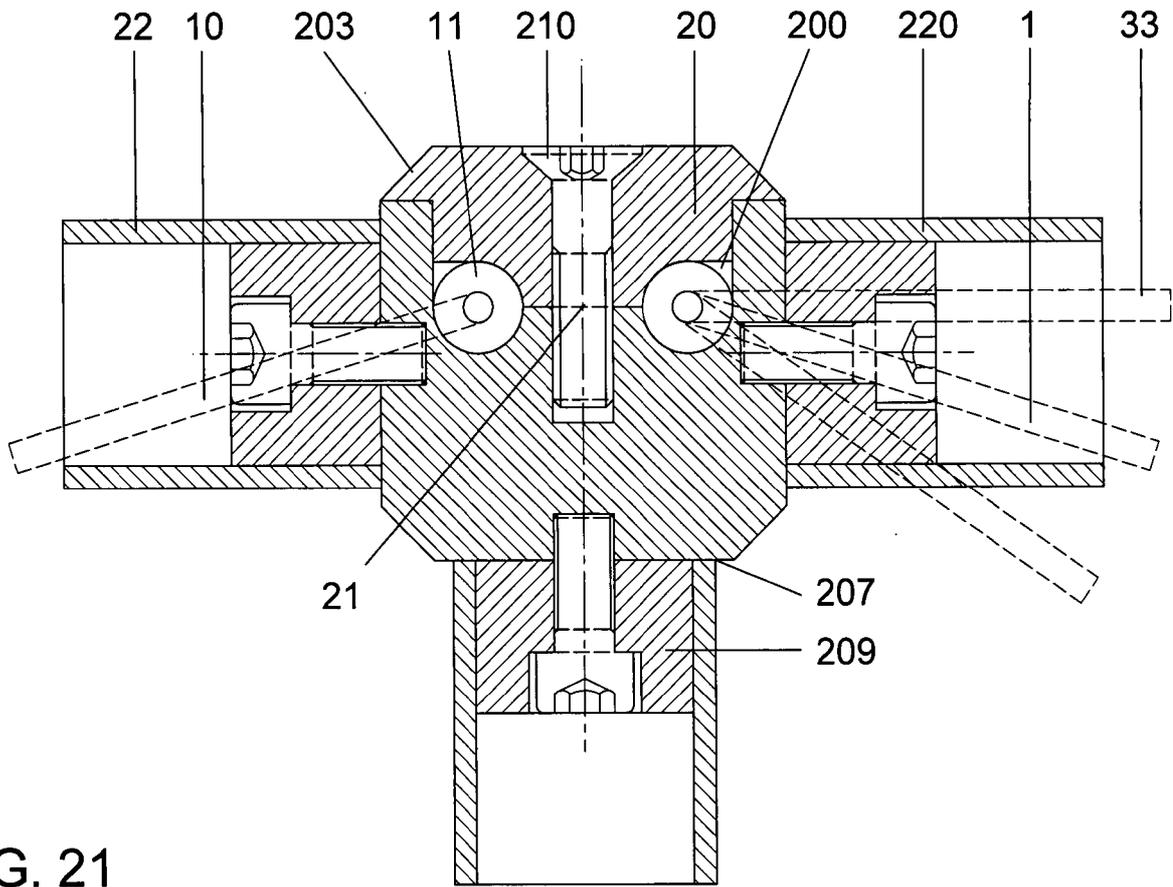


FIG. 21

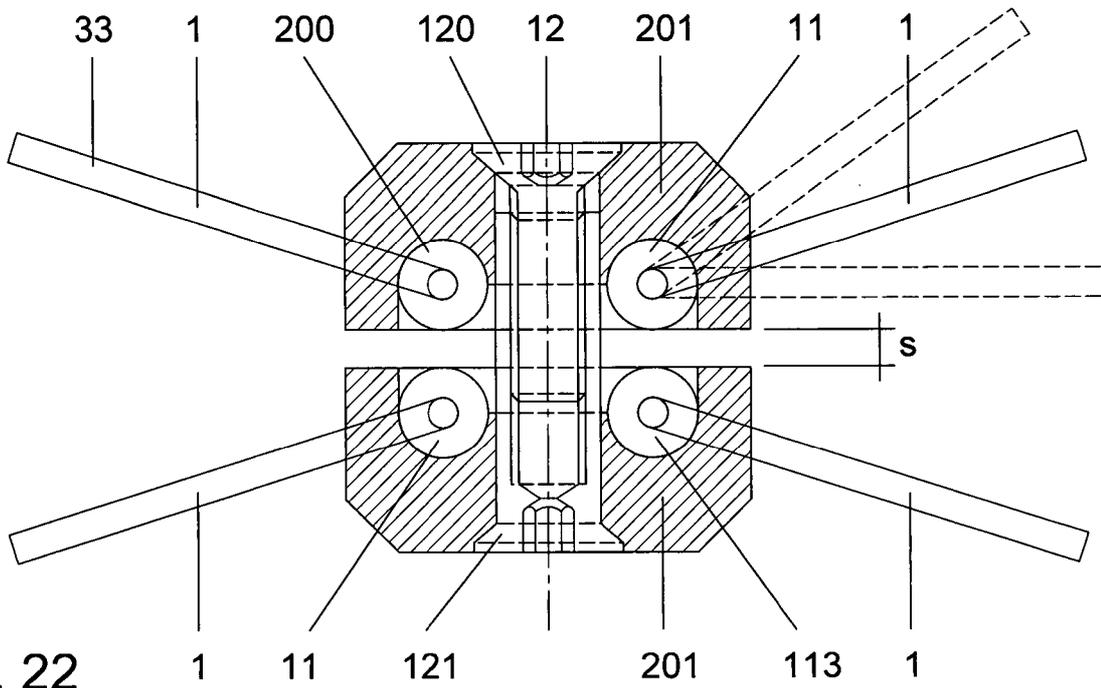


FIG. 22

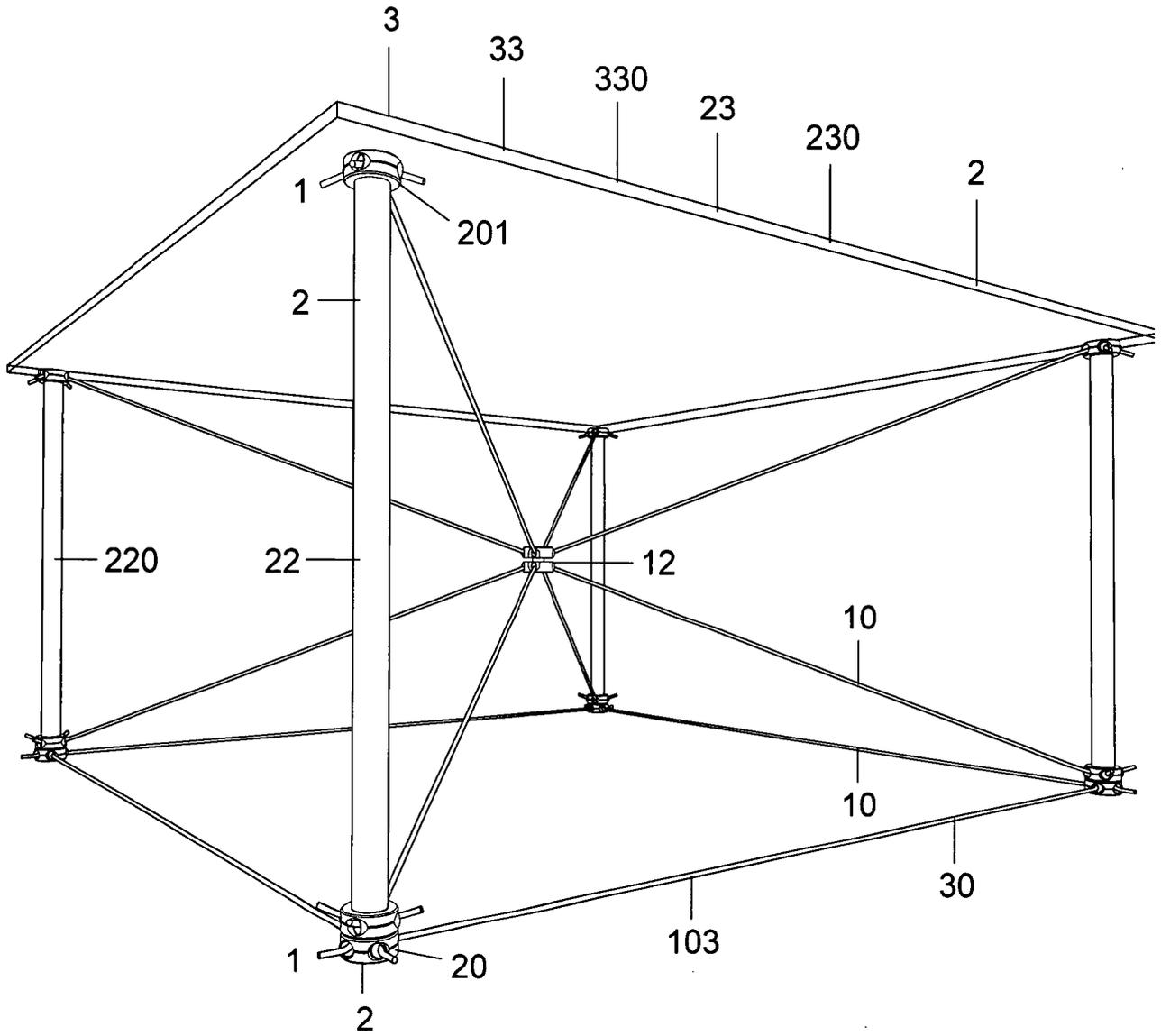


FIG. 23

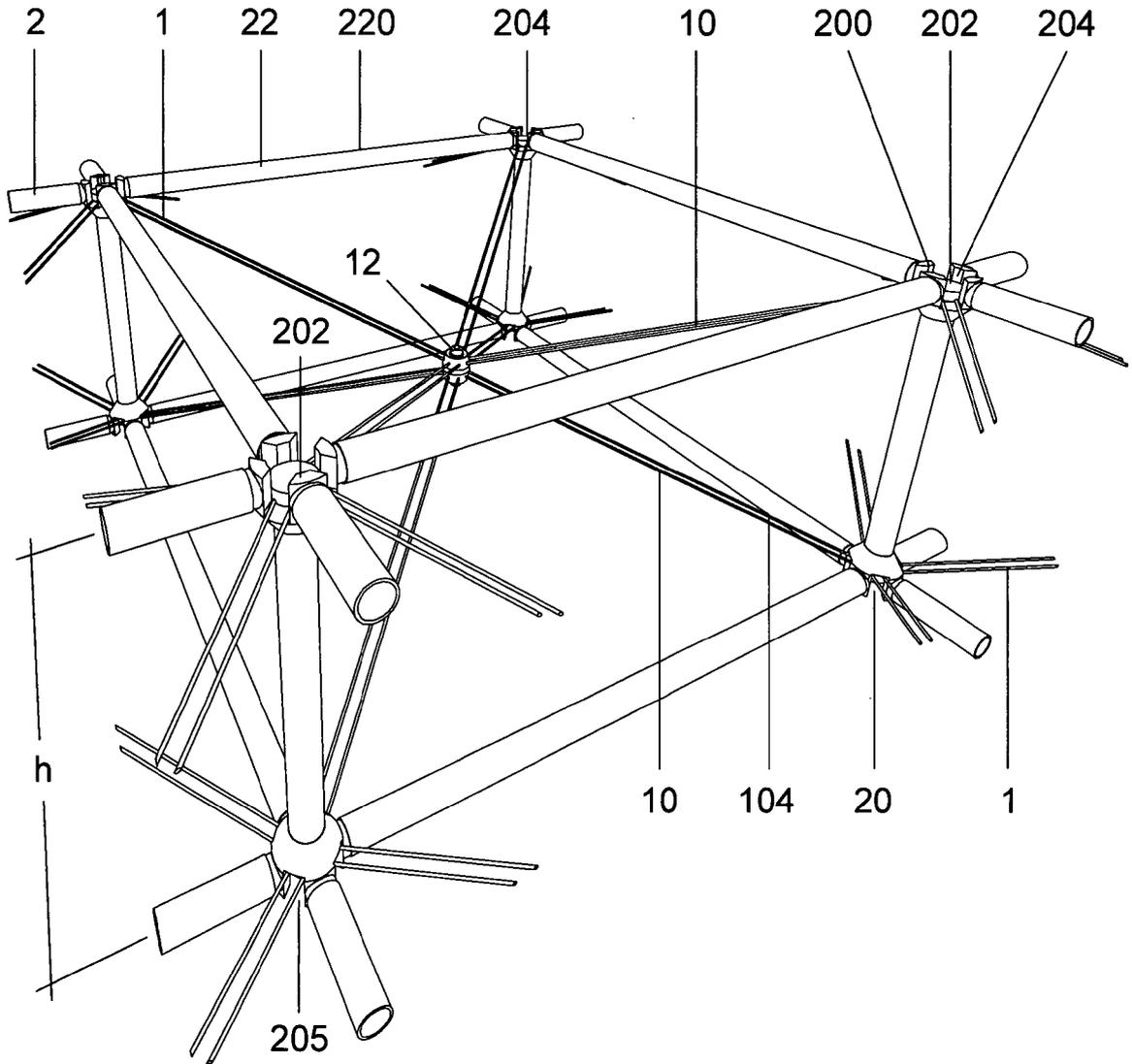


FIG. 24

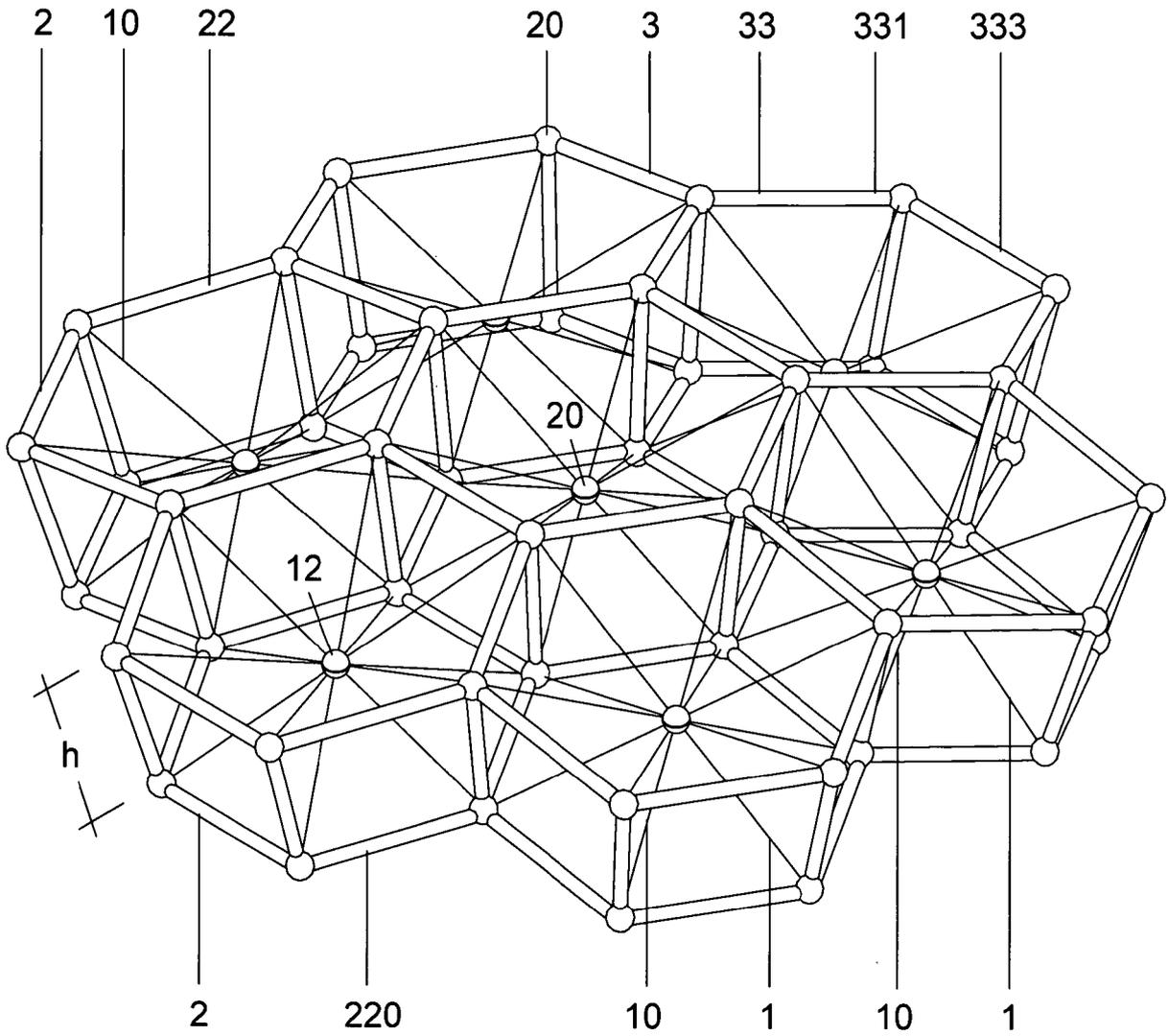


FIG. 25