(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 785 933 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
07.09.2016 Patentblatt 2016/36

(21) Anmeldenummer: **12791189.9**

(22) Anmeldetag: **27.11.2012**

(51) Int Cl.:
E04G 11/04 *(2006.01)* ***E04B 1/16*** *(2006.01)*
E04B 1/32 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2012/073678

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2013/079465 (06.06.2013 Gazette 2013/23)

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON ZWEIFACH RÄUMLICH GEKRÜMMTEN SCHALEN**

METHOD FOR THE PRODUCTION OF DOUBLY SPATIALLY CURVED SHELLS

PROCÉDÉ DE FABRICATION DE COQUES DOUBLEMENT INCURVÉES DANS L'ESPACE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **30.11.2011 AT 17702011**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.10.2014 Patentblatt 2014/41

(73) Patentinhaber: **Technische Universität Wien**
1040 Wien (AT)

(72) Erfinder:
- **KOLLEGGER, Johann**
  A-3400 Klosterneuburg (AT)
- **KROMOSER, Benjamin**
  A-3300 Amstetten (AT)

(74) Vertreter: **Margotti, Herwig Franz**
Schwarz & Partner
Patentanwälte
Wipplingerstrasse 30
1010 Wien (AT)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 123 836
WO-A1-2005/068740
US-A- 2 812 769

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 785 933 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von zweifach räumlich gekrümmten Schalen.

[0002] Schalen sind Flächentragwerke, die zum Beispiel als Überdachung für Ausstellungshallen oder Veranstaltungshallen verwendet werden können.

[0003] Unter zweifach räumlich gekrümmten Schalen werden Flächentragwerke verstanden, die in zwei unterschiedlichen Raumebenen gekrümmt sind. Solche zweifach räumlich gekrümmten Schalen können zum Beispiel als Überdachung für Ausstellungshallen oder Veranstaltungshallen verwendet werden.

[0004] Besonders geeignet für die Herstellung von zweifach räumlich gekrümmten Schalen sind Werkstoffe, die sich gießen lassen, wie z.B. Stahlbeton, Kunststoffe, Wasser bzw. Eis.

[0005] Schalentragwerke zeichnen sich dadurch aus, dass sie bei geeigneter Form und Lagerung Lasten überwiegend durch Membrankräfte abtragen. Dies führt zu einer äußerst günstigen Materialausnutzung und geringem Materialverbrauch. Den Ersparnissen beim Materialverbrauch stehen aber erhöhte Lohnkosten für die Herstellung räumlich gekrümmter Schalungen entgegen. Ausgeführte Schalentragwerke, wie sie beispielsweise in "Räumliche Dachtragwerke - Konstruktion und Ausführung" von Hermann Rühle, Band 1, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1969, S. 177, 248, 256 und "Heinz Isler - Schalen" von Ekkehard Ramm und Eberhard Schunk (Hrsg.), Karl Krämer Verlag, Stuttgart, 1986, S. 51, 68, 70, 77 beschrieben sind, weisen in der Regel komplizierte, räumlich gekrümmte Schalungen aus Holz und/oder Stahl auf.

[0006] Um die Kosten für den Bau räumlich gekrümmter Schalungen zu sparen, sind auch pneumatische Schalungen bekannt geworden. Schalen in Kugelform oder in Zylinderform und Schalen mit mehr oder weniger geringfügigen Abwandlungen dieser Grundformen können auf diese Weise hergestellt werden, siehe z.B. "Kuppelbau mit pneumatischer Schalung" von Franz Derflinger, in "Beton- und Stahlbetonbau", Jahrgang 1983, Heft 11, Seite 299 bis 302.

[0007] Um die Form einer pneumatischen Schalung zu verändern, wird in der DE 35 00 153 vorgeschlagen, auf der Oberfläche der pneumatischen Schalung radial verlaufende Seile anzuordnen, die gegen die pneumatische Schalung vorgespannt sind. Mit der pneumatischen Schalung gemäß DE 35 00 153 wird die Krümmung der Schalung in der Nähe der Seile örtlich erhöht, was günstig für die Stabilität der auf dieser Schalung herzustellenden Schale ist.

[0008] Aufwändig bei pneumatischen Schalungen ist die Herstellung des Pneus aus Zuschnitten. Nachteilig ist, dass das Aufbringen des Baustoffs der Schale in dünnen Schichten, z.B. durch Spritzbeton, erfolgen muss, weil die Tragfähigkeit des Pneus für gleichmäßig verteilte Lasten zwar hoch ist, örtliche Lasten aber zu großen Verschiebungen führen.

[0009] Der Begriff "Pneu" bezeichnet allgemein ein aufblasbares Gebilde.

[0010] Weil das Aufbringen des Spritzbetons auf den Pneu zur Herstellung einer Betonschale oder das Aufspritzen von Wasser auf den Pneu zur Herstellung einer Eisschale ein aufwändiger Herstellungsvorgang ist, ist in der EP 1 706 553 vorgeschlagen worden, eine Platte aus gießfähigem Material wie z.B. Beton oder Wasser bzw. Eis auf einer ebenen Arbeitsfläche herzustellen und die Platte anschließend durch das Aufblasen eines Pneus und das Anspannen von Spanngliedern in eine Schale umzuformen. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass ein zweites weiches Material in der Platte eingelegt sein muss, das sich während des Umformungsprozesses von der Platte zur Schale plastisch verformt, aber in der endgültigen Schale verbleibt. Nachteilig ist weiterhin, dass die Krümmung der mit diesem Verfahren herzustellenden Schale begrenzt ist, weil die im weichen Material während des Umformungsprozesses entstehenden Druckspannungen zu einem Stabilitätsversagen der Bereiche mit weichem Material führen könnten. Die Bereiche mit weichem Material sind deshalb auf kleine Abmessungen beschränkt.

[0011] Um das Herstellen einer zweifach gekrümmten Schale aus einer ebenen Ausgangsform zu ermöglichen, ohne dass ein zweites weiches Material in der endgültigen Schale verbleibt, ist in der AT 506 902 vorgeschlagen worden, ebene Flächentragwerkselemente auf einen Pneu aufzulegen, sodass keilförmige Zwischenräume zwischen den eben verlegten Flächentragwerkselementen verbleiben. Die Schale wird durch das Aufblasen des Pneus und das Anspannen von Zuggliedern gebildet. Es hat sich herausgestellt, siehe z.B. " Ice Domes - Development of Construction Methods" von Sonja Dallinger, Dissertation, Technische Universität Wien, 2011, dass nach diesem Verfahren hergestellte Schalen auf kleine Spannweiten von ca. 10 m beschränkt sind, weil die Zugkräfte im Pneu, die gleich dem Produkt aus Innendruck und Krümmungsradius sind, sonst zu einem Reißen der Fugen des Pneus führen.

[0012] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung einer zweifach gekrümmten Schale ohne den Aufbau einer räumlich gekrümmten Schalung und des dazugehörigen Lehrgerüsts und ohne den aufwändigen Herstellungsvorgang des Aufspritzens von Baustoff auf eine pneumatische Schalung zu ermöglichen, das nicht auf kleine Spannweiten und Krümmungen begrenzt ist und bei dem kein plastisch verformtes Material in der endgültigen Schale verbleibt.

[0013] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Herstellung einer zweifach räumlich gekrümmten Schale mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0014] Die Grundfläche wird auf einer Arbeitsfläche, vorzugsweise einer ebenen Arbeitsfläche, eingemessen und so dimensioniert, dass die Grundfläche größer ist als der Grundriss der Schale und mindestens die Ausmaße der auf die Arbeitsfläche übertragenen Oberfläche

der Schale aufweist.

[0015] Nach dem Abschluss des Umformungsprozeses, d.h. dem Verkrümmen und Anheben der Schalensegmente sind die einzelnen Schalensegmente durch Fugen voneinander getrennt. Diese werden mit einem aushärtenden Vergussmaterial verfüllt, wodurch eine hohe Stabilität der so gebildeten Schale sichergestellt ist.

[0016] Zweckmäßig werden die Schalensegmente aus Beton, Stahlbeton, Faserbeton, textilbewehrtem Beton, Kunststoff oder Eis gebildet, da diese Materialien eine hohe Stabilität der Schale gewährleisten. Des Weiteren werden zweckmäßig Zugglieder aus Spanndrahtlitzen, Monolitzen, Edelstahlseilen, Edelstahllitzen oder aus faserverstärktem Kunststoff gebildet, weil sie die nötige Zugfestigkeit und Flexibilität aufweisen.

[0017] Als Vergussmaterial hat sich Zementmörtel, Kunstharz, Kunststoff oder Wasser bewährt.

[0018] Gemäß einer bevorzugten Variante werden die zwei übereinanderliegenden Folien mit einer gasdurchlässigen Schicht, insbesondere einem zwischen den Folien eingelegten Vlies und/oder textilem Flächengebilde gebildet, wobei die übereinanderliegenden Folien an ihren Rändern dicht miteinander verbunden werden und eine Gaseinleitvorrichtung an einer Folie vorgesehen wird.

[0019] Die Folien bestehen zweckmäßig aus Polyvinylchlorid oder Polyethylen in allen denkbaren Varianten.

[0020] Eine gute Anpassung an eine gekrümmte Schale durch die Schalensegmente ergibt sich, wenn mindestens ein Schalensegment vor dem Umformungsprozess eingeschnitten wird, wobei der Schnitt von der Oberfläche bis in die Nähe mindestens einer Bewehrung geführt wird und etwa orthogonal zur Bewehrung angeordnet wird.

[0021] Ein bevorzugtes Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass das Anordnen von die Schale bildenden Schalensegmenten auf der Folie durch Aufgießen eines die Schalensegmente bildenden gießfähigen Materials, wie Beton, Kunststoff oder Wasser bewerkstelligt wird, wobei die Grundfläche mit einer umlaufenden Randabschalung zur Einfassung des gießfähigen Materials versehen wird.

[0022] In einer zweckmäßigen Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt das Anbringen einer Auflast entlang des äußeren Randes der Grundfläche, indem die Dicke der Schalensegmente entlang des äußeren Randes der Grundfläche größer ausgebildet wird als die Dicke der inneren Bereiche der Schalensegmente.

[0023] In einer weiteren Variante des Verfahrens ist vorgesehen, dass während des Formgebungsprozesses der Schale der Luftdruck im Raum zwischen erster Folie und zweiter Folie unterschiedlich zu den Luftdrücken in den keilförmigen Pneus eingestellt wird. Wenn z.B. der Luftdruck zwischen den Folien größer eingestellt wird als der Luftdruck in den Pneus, führt das zu einem teilweisen Eindringen der Folie in die Fugen, was wiederum beim späteren Entfernen der Pneus aus den Fugen vorteilhaft sein kann, wie weiter unten anhand eines Ausführungsbeispiels erklärt wird.

[0024] Weiters kann vorgesehen werden, dass der Luftdruck in den keilförmigen Pneus unterschiedlich eingestellt wird, um ein gleichmäßiges Schließen der Fugen zwischen den Schalensegmenten während des Formgebungsprozesses zu erreichen. Vorzugsweise stellt man die Luftdrücke so ein, dass die Fugen zwischen den Schalensegmenten nach dem Abschluss des Formgebungsprozesses in der Draufsicht eine angenähert rechteckige Form aufweisen.

[0025] In einer bevorzugten Ausführungsform wird eine in der Mitte der Grundfläche liegende Aussparung ausgebildet, und werden die Schalensegmente durch die dazwischen verlegten keilförmigen Pneus voneinander getrennt und werden die Schalensegmente am Rand der Aussparung durch einen Zugring miteinander verbunden werden.

[0026] Zur Erzielung einer Schale mit hoher Stabilität ist es zweckmäßig, wenn auf die zweifach gekrümmte Schale nach Abschluss des Formgebungsprozesses eine Schicht bestehend aus einem Baustoff aufgebracht wird, die mit der zweifach gekrümmten Schale schubfest verbunden wird.

[0027] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante der Erfindung ist bei einem Herstellungsverfahren die Höhe der keilförmigen Pneus im aufgeblasenen Zustand mindestens gleich der Dicke der Schale.

[0028] Die Erfindung ist nachfolgend anhand in der Zeichnung dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert.

[0029] Es zeigen:

- Fig. 1 eine Draufsicht auf die Arbeitsfläche nach Verlegen der keilförmigen Pneus und dem Herstellen der Schalensegmente;
- Fig. 2 einen Schnitt längs der Linie II-II der Fig. 1;
- Fig. 3 eine der Fig. 1 entsprechende Draufsicht auf die Schale nach Abschluss des Formgebungsprozesses;
- Fig. 4 einen Schnitt längs der Linie IV-IV der Fig. 3;
- Fig. 5 einen Schnitt längs der Linie V-V der Fig. 1;
- Fig. 6 einen der Fig. 5 entsprechenden Schnitt während des Formgebungsprozesses;
- Fig. 7 einen Schnitt längs der Linie VII-VII der Fig. 3 nach Abschluss des Formgebungsprozesses;
- Fig. 8 einen Schnitt längs der Linie VIII-VIII der Fig. 3;
- Fig. 9 eine Draufsicht analog zu Fig. 1 auf eine weitere Ausführungsform;
- Fig. 10 eine der Fig. 9 entsprechende Draufsicht auf die Schale nach Abschluss des Formgebungsprozesses;
- Fig. 11 eine der Fig. 10 entsprechende Draufsicht auf die fertiggestellte Schale nach Aufbringen einer Ortbetonschicht;
- Fig. 12 einen Schnitt längs der Linie XII-XII der Fig. 11 durch die Schale;

Fig. 13 eine der Fig. 10 entsprechende Draufsicht mit einer Darstellung der von den Zuggliedern auf die Schale ausgeübten Kräfte;

Fig. 14 einen der Fig. 12 entsprechenden Schnitt durch die Schale mit einer Darstellung der auf die Schale ausgeübten Kräfte;

Fig. 15 einen Schnitt längs der Linie XV-XV der Fig. 9.

[0030] Im Folgenden wird auf die Fig. 1 und Fig. 2 Bezug genommen:

[0031] Das erste Beispiel erläutert die Herstellung einer Schale 1 aus Eis mit der Form eines Kugelabschnitts. Die Schale 1 könnte beispielsweise als Eisbar genutzt werden.

[0032] Als erster Schritt wird auf einer Arbeitsfläche 3 der äußere Rand 4 einer Grundfläche 2 eingemessen und markiert.

[0033] Als zweiter Schritt werden auf der Grundfläche 2 eine erste Folie 5 und eine zweite Folie 6 ausgebreitet. Als Material für die Folien 5, 6 kann beispielsweise Polyvinylchlorid oder Polyethylen in allen Varianten verwendet werden. Zwischen den Folien 5, 6 ist vorteilhaft eine gasdurchlässige Schicht 15, beispielsweise ein Vlies, angeordnet. Die Folien 5, 6 werden zu diesem Zeitpunkt, oder auch später, randseitig dicht miteinander verbunden.

[0034] Als dritter Schritt werden auf der zweiten Folie 6 keilförmige Pneus 7 verlegt. Der Flächenanteil der Grundfläche 2, der mit Pneus 7 belegt wird, entspricht etwa der Differenz zwischen der Grundfläche 2 und der Oberfläche der Schale 1.

[0035] Im vierten Schritt wird der verbleibende Teil der Grundfläche 2 unter Einsatz einer geeigneten, entlang des äußeren Randes 4 angebrachten Randabschalung und eines in der Mitte der Grundfläche 2 angeordneten Zugringes 16, schichtenweise mit Wasser angefüllt, das gefrieren gelassen wird. Erst nach dem vollständigen Gefrieren einer Wasserschicht wird eine weitere Wasserschicht aufgespritzt. Beim Erreichen einer bestimmten Eisdicke, die zum Beispiel der halben Schalendicke entspricht, wird eine Bewehrung verlegt. Eine vorteilhafte Art der Bewehrung ist z.B. durch radial angeordnete Spanndrahtlitzen 10, die in Fig. 1 jedoch nur in einem Schalensegment 8 dargestellt sind, verwirklicht.

[0036] Entlang des äußeren Randes 4 wird ein gegenüber dem Baustoff 9, hier Eis, verschiebliches Zugglied 11 angeordnet. Ein derartiges Zugglied könnte beispielsweise aus einer gefetteten und in einem Polyethylenhüllrohr angeordneten Spanndrahtlitze bestehen. Die Eisdicke entlang des äußeren Randes 4 wird gemäß Fig. 2 vergrößert, um damit eine zusätzliche Auflast zu schaffen.

[0037] Im fünften Schritt erfolgt das Umformen der Schalensegmente 8 durch Einblasen von Luft zwischen die erste Folie 5 und die zweite Folie 6 und durch Zugbelastung des Zugglieds 11.

[0038] Wie in Fig. 3 und Fig. 4 dargestellt, ist der Durchmesser der Schale 1 nach Abschluss des Formgebungsprozesses kleiner als der Durchmesser der ebenen Ausgangsform.

[0039] Der Luftdruck in den keilförmigen Pneus 7 kann während der Herstellung der Eisschichten geändert werden, damit ein Schnitt durch den Pneu 7 gemäß Fig. 5 eine möglichst rechteckige Form aufweist. Ein Pneu ist gekennzeichnet durch eine im Vergleich zur Dehnsteifigkeit vernachlässigbare Biegesteifigkeit. Deswegen wird ein Querschnitt durch den Pneu 7 wie in Fig. 7 dargestellt Ausbauchungen aufweisen.

[0040] Der Pneu wird entweder an der zweiten Folie 6 oder an den Schalensegmenten 8 befestigt, um ein Herausgleiten der Pneus 7 während des Formgebungsprozesses zu verhindern. In Fig. 5 sind schlaufenförmige Verankerungen 17 aus Kunststoff dargestellt, mit denen der Pneu 7 an den Schalensegmenten 8 befestigt ist.

[0041] Während des Formgebungsprozesses wird der Abstand zwischen den Schalensegmenten 8 geringer und die Fugen 12 werden kleiner. Fig. 6 zeigt, dass sich die Fuge 12 im Vergleich zu Fig. 5 verkleinert hat. Der Pneu 7 wird an der Oberseite nach oben ausgebaucht. Die Luftdrücke im Raum zwischen den Folien 5, 6 und in den keilförmigen Pneus 7 können unabhängig voneinander eingestellt werden. Fig. 6 zeigt eine Situation, bei der der Luftdruck zwischen den Folien 5, 6 größer ist als der Luftdruck im Pneu 7, was zu einem teilweisen Eindringen der Folie 6 in die Fuge 12 führt. Der Luftdruck in den Pneus 7 kann entweder gleich sein oder für einzelne Pneus 7 verändert werden, um ein gleichmäßiges Schließen der Fugen 12 während des Formgebungsprozesses zu erreichen.

[0042] Nach Abschluss des Formgebungsprozesses wird die Luft aus den Pneus 7 abgesaugt Fig. 7 zeigt, wie der Pneu 7 durch das Absaugen aus den Fugen 12 herausgezogen werden kann, so dass er unter den Schalensegmenten 8 zu liegen kommt. Anschließend wird die Fuge 12 mit einem Vergussmaterial 13 verfüllt. Der untere Spalt der Fuge 12 wird durch den Pneu 7 und durch Aufrechterhaltung eines Luftdrucks im Raum zwischen den Folien 5, 6 abgedichtet, so dass das Vergussmaterial 13 nicht aus der Fuge austritt.

[0043] Die geometrischen Zusammenhänge während des Formgebungsprozesses zur Herstellung der Schale 1 mit der Form eines Kugelabschnitts sind in Fig. 8 dargestellt.

[0044] Die Krümmung k der Schale 1 bzw. des Schalensegments 8 entspricht dem Kehrwert des Radius R. Die Krümmung k ist auch gleich der Summe der Dehnung der Bewehrung ε_s und der Stauchung ε_c des Baustoffs 9 am unteren Rand des Schalensegments 8 geteilt durch die Länge d, die dem Abstand zwischen der Bewehrung aus Spanndrahtlitzen 10 und dem unteren Rand des Schalensegments 8 entspricht. Die Bewehrung darf während des Formgebungsprozesses nicht über die Fließgrenze, die das Ende des linearen Zusammenhangs zwischen Spannungen und Verzerrungen markiert, beansprucht werden, weil sonst keine gleichmäßigen Krümmungen in den Schalensegmenten 8 auftreten,

sondern örtlich große Risse. Deswegen ist es günstig, eine Bewehrung mit hoher Festigkeit, wie z.B. Spanndrahtlitzen 10 mit einer Fließgrenze von ca. 1600 N/mm^2 zu verwenden, um hohe Dehnungen und damit große Krümmungen zu erreichen. Eine weitere Vergrößerung der Krümmung wird durch eine Reduktion des Abstands d erreicht, was bedeutet, dass die Bewehrung nicht am gezogenen Rand des Schalensegments 8, sondern z.B. mittig im Schalensegment 8 angeordnet wird. Es ist vorteilhaft die Schalensegmente 8 mit Einschnitten 18 zu versehen, die von der Oberseite bis in die Nähe der Bewehrung reichen, um eine kontrollierte Rissbildung zu erzielen.

[0045] Ein weiteres Ausführungsbeispiel ist anhand der Fig. 9 bis Fig. 14 für die Herstellung einer zweifach räumlich gekrümmten Schale 1 erläutert, bei der Beton als Baustoff 9 verwendet wird. Die Schale 1 könnte als Wildüberführung über Eisenbahngleise genutzt werden.

[0046] Entsprechend dem in Fig. 1 bis 8 erläuterten Beispiel wird zunächst gemäß Fig. 9 die Grundfläche 2 eingemessen. Dann werden eine erste Folie 5, eine zweite Folie 6 und keilförmige Pneus 7 verlegt, und es wird eine geeignete Randabschalung hergestellt. Die Grundfläche 2 besteht aus zwei Halbkreisen und einem dazwischen angeordneten Rechteck. Keilförmige Pneus 7 sind nur in den halbkreisförmigen Anteilen der Grundfläche 2 angeordnet. Die Pneus 7 sollen bei diesem Beispiel mit der zweiten Folie 6 z.B. durch eine Verklebung verbunden werden.

[0047] Anschließend wird eine Bewehrung aus Betonstahl verlegt, die Pneus 7 werden aufgeblasen und Beton als Baustoff 9 eingefüllt.

[0048] Der Formgebungsprozess, der nach dem Erhärten des Betons durchgeführt wird, führt gemäß Fig. 10 zu einer Verkleinerung des Umfangs der Schale 1 im Vergleich zur Länge des äußeren Randes 4 der Grundfläche 2.

[0049] Unter Aufrechterhaltung des Luftdrucks zwischen den Folien 5, 6 kann anschließend gemäß Fig. 11 und Fig. 12 auf einem Teil der Oberfläche der Schale 1 eine Bewehrung verlegt und eine Ortbetonschicht 19 aufgebracht werden. Nach dem Erhärten der Ortbetonschicht 19 können die Randbereiche der Schale 1, die nicht mit einer Ortbetonschicht 19 bedeckt sind, abgebrochen werden, um Öffnungen für die Gleise unter der Schale 1 zu schaffen.

[0050] Fig. 13 zeigt die Kräfte, die von den Zuggliedern 11 und 11' während des Formgebungsprozesses auf die Schale 1 ausgeübt werden. Das entlang des äußeren Randes 4 verlegte Zugglied 11 übt in den Bereichen, in denen es entlang des äußeren Randes 4 kreisförmig verlegt wurde, Umlenkkräfte u auf den Schalenrand aus. Die gerade verlegten Zugglieder 11' üben Verankerungskräfte F auf den Schalenrand aus.

[0051] Fig. 14 zeigt in einem Schnitt die Wirkung der Umlenkkräfte u des Zugglieds 11 und des Luftdrucks p zwischen den Folien 5, 6 auf die Schale 1. Zu jedem Zeitpunkt während des Formgebungsprozesses stellt sich ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Eigengewicht der Schale und den Verankerungskräften F, den Umlenkkräften u. und dem Luftdruck p ein.

[0052] Fig. 15 zeigt einen im Prinzip der Fig. 5 entsprechenden Schnitt allerdings mit einer geänderten Ausführungsform der keilförmigen Pneus 7. Die keilförmigen Pneus 7 umfassen hier jeweils zwei ebene Folien, die entlang deren Ränder miteinander verschweißt sind.

[0053] In den Beispielen wurde die Herstellung von Schalen mit kreisförmigem und ellipsenähnlichem Grundriss beschrieben. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist jedoch die Herstellung zweifach räumlich gekrümmter Schalen beliebiger Form über beliebigen Grundrissen möglich.

Bezugszeichenliste

[0054]

1	Schale
2	Grundfläche
3	Arbeitsfläche
4	äußerer Rand
5	erste Folie
6	zweite Folie
7	keilförmiger Pneu
8	Schalensegment
9	Baustoff
10	Spanndrahtlitzen
11	Zugglied
12	Fuge
13	Vergussmaterial
14	Aussparung
15	gasdurchlässige Schicht
16	Zugring
17	Verankerung
18	Einschnitt
19	Ortbetonschicht

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer zweifach räumlich gekrümmten Schale (1), mit folgenden Schritten:

   • Auflegen einer ersten Folie (5) und einer zweiten Folie (6) auf einer, vorzugsweise ebenen, Grundfläche (2), wobei die Folien (5, 6) an ihren Rändern dicht miteinander verbunden sind;

   gekennzeichnet durch:

   • radiales Auflegen von keilförmigen Pneus (7) auf der zweiten Folie (6) auf einem Flächenanteil der Grundfläche (2), der etwa der Differenz zwischen der Grundfläche (2) und der Oberfläche der Schale (1) entspricht;
   • Aufblasen der keilförmigen Pneus (7);

• Herstellen von Schalensegmenten (8) **durch** Verlegen einer Bewehrung und Einbringen eines gießfähigen und aushärtenden Baustoffs (9) auf der Grundfläche (2) zwischen den keilförmigen Pneus (7);
• Anordnen zumindest eines flexiblen Zugglieds (11), das verschieblich gegenüber den Schalensegmenten (8) ausgebildet ist, in Umfangsrichtung am äußeren Rand (4) der Grundfläche (2);
• Anbringen einer Auflast auf den Schalensegmenten (8) entlang des äußeren Randes (4) der Grundfläche (2);
• Verkrümmen und Anheben der Schalensegmente (8) **durch** Einblasen von Luft zwischen der ersten Folie (5) und der zweiten Folie (6) unter Zugbelastung des zumindest einen Zugglieds (11) in Umfangrichtung, wobei nach dem Verkrümmen und Anheben der Schalensegmente (8) der Luftdruck der in den Raum zwischen erster Folie (5) und zweiter Folie (6) eingeblasenen Luft aufrecht erhalten wird, die Luft aus den keilförmigen Pneus (7) abgesaugt wird und anschließend die Fugen (12) zwischen den Schalensegmenten (8) mit einem aushärtenden Vergussmaterial (13) verfüllt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** nicht die gesamte Grundfläche (2) mit keilförmigen Pneus (7) und einem aushärtenden Baustoff (9) belegt wird, wodurch Aussparungen (14) entstehen, die in der Schale (1) eine oder mehrere vorbestimmte Ausnehmungen bilden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der ersten Folie (5) und der zweiten Folie (6) eine gasdurchlässige Schicht (15), vorzugsweise gebildet aus einem Vlies und/oder textilem Flächengebilde, verlegt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt des Anbringens einer Auflast entlang des äußeren Randes (4) der Grundfläche (2) mittels einer Vergrößerung der Dicke der Schalensegmente (8) entlang des äußeren Randes (4) der Grundfläche (2) durchgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Formgebungsprozesses der Schale (1) der Luftdruck im Raum zwischen erster Folie (5) und zweiter Folie (6) unterschiedlich zum Luftdruck bzw. zu den Luftdrücken in den keilförmigen Pneus (7) eingestellt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Luftdrücke in den keilförmigen Pneus (7) unterschiedlich eingestellt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 2 oder nach Anspruch 2 und einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine in der Mitte der Grundfläche (2) liegende Aussparung (14) ausgebildet wird, dass die Schalensegmente (8) durch die dazwischen verlegten keilförmigen Pneus (7) voneinander getrennt werden, und dass die Schalensegmente (8) am Rand der Aussparung (14) durch einen Zugring (16) miteinander verbunden werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf die zweifach gekrümmte Schale (1) nach Abschluss des Formgebungsprozesses eine Schicht bestehend aus einem Baustoff (9) aufgebracht wird, die mit der zweifach gekrümmten Schale (1) schubfest verbunden wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schalensegmente aus Beton, Stahlbeton, Faserbeton, textilbewehrtem Beton, Kunststoff oder Eis gebildet werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zugglieder (11) aus Spanndrahtlitzen, Monolitzen, Edelstahlseilen, Edelstahllitzen oder aus faserverstärktem Kunststoff gebildet werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Vergussmaterial (13) Zementmörtel, Kunstharz, Kunststoff oder Wasser verwendet wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Höhe der keilförmigen Pneus (7) im aufgeblasenen Zustand mindestens gleich der Dicke der Schale (1) ist.

Claims

1. A method for the production of a spatially double-bent shell (1), comprising the following steps:

• placing a first film (5) and a second film (6) on a preferably flat base area (2), the films (5, 6) being tightly connected to each other at their edges;

characterized by:

• radially placing wedge-shaped tyres (7) on the second film (6) on an area segment of the base area (2) which roughly corresponds to the difference between the base area (2) and the surface of the shell (1);
• inflating the wedge-shaped tyres (7);
• producing shell segments (8) by installing a

reinforcement and incorporating a pourable and curing construction material (9) on the base area (2) between the wedge-shaped tyres (7);
• arranging at least one flexible tension member (11), which is configured so as to be relocatable relative to the shell segments (8), at the outer edge (4) of the base area (2) in the peripheral direction;
• applying a load to the shell segments (8) along the outer edge (4) of the base area (2);
• contorting and lifting the shell segments (8) by injecting air between the first film (5) and the second film (6), with the at least one tension member (11) being under a tensile load in the peripheral direction, whereby the air pressure of the air injected into the space between the first film (5) and the second film (6) is maintained after the shell segments (8) have been contorted and lifted, the air is sucked out of the wedge-shaped tyres (7) and, subsequently, the gaps (12) between the shell segments (8) are filled with a curing grout (13).

2. A method according to claim 1, **characterized in that** not the entire base area (2) is covered with wedge-shaped tyres (7) and a curing construction material (9), whereby cavities (14) emerge which form one or several predetermined recesses in the shell (1).

3. A method according to claim 1 or 2, **characterized in that** a gas-permeable layer (15), preferably formed from a nonwoven fabric and/or a textile fabric, is placed between the first film (5) and the second film (6).

4. A method according to any of claims 1 to 3, **characterized in that** the step of applying a load along the outer edge (4) of the base area (2) is performed by increasing the thickness of the shell segments (8) along the outer edge (4) of the base area (2).

5. A method according to any of claims 1 to 4, **characterized in that**, during the process of shaping the shell (1), the air pressure in the space between the first film (5) and the second film (6) is adjusted differently from the air pressure or the air pressures, respectively, in the wedge-shaped tyres (7).

6. A method according to any of claims 1 to 5, **characterized in that** the air pressures in the wedge-shaped tyres (7) are adjusted differently.

7. A method according to claim 2 or according to claim 2 and any of claims 3 to 6, **characterized in that** a cavity (14) located in the centre of the base area (2) is formed, that the shell segments (8) are separated from each other by the wedge-shaped tyres (7) placed therebetween and that the shell segments (8) at the edge of the cavity (14) are interconnected by a pull ring (16).

8. A method according to any of claims 1 to 7, **characterized in that**, upon completion of the shaping process, a layer consisting of a construction material (9) is applied to the double-bent shell (1), which layer is connected to the double-bent shell (1) in a shearresistant manner.

9. A method according to any of claims 1 to 8, **characterized in that** the shell segments are formed from concrete, reinforced concrete, fibre concrete, textile-reinforced concrete, a synthetic material or ice.

10. A method according to any of claims 1 to 9, **characterized in that** the tension members (11) are formed from tension wire strands, monostrands, stainless steel ropes, stainless steel strands or from a fibre-reinforced synthetic material.

11. A method according to any of claims 1 to 10, **characterized in that** cement mortar, synthetic resin, a synthetic material or water is used as the grout (13).

12. A method according to any of claims 1 to 11, **characterized in that** the height of the wedge-shaped tyres (7) in the inflated state equals at least the thickness of the shell (1).

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une coque (1) doublement incurvée dans l'espace, comprenant les étapes suivantes :

• application d'un premier film (5) et d'un deuxième film (6) sur une surface de base (2) préférentiellement plane, lesdits films (5, 6) étant raccordés l'un à l'autre de manière étanche par leurs bords ;

caractérisé par :

• la pose radiale de pneus en forme de coins (7) sur le deuxième film (6), sur une partie de la surface de base (2) qui correspond sensiblement à la différence entre la surface de base (2) et la surface de la coque (1) ;
• le gonflage des pneus en forme de coins (7) ;
• la fabrication de segments (8) de coque par pose d'une armature et insertion d'un matériau de construction (9) apte à être coulé et durcissant sur la surface de base (2) entre les pneus en forme de coins (7) ;
• la disposition d'au moins un tirant flexible (11),

prévu déplaçable par rapport aux segments (8) de coque, en direction circonférentielle sur le bord extérieur (4) de la surface de base (2) ;
• la pose d'une charge sur les segments (8) de coque le long du bord extérieur (4) de la surface de base (2) ;
• le cintrage et l'élévation des segments (8) de coque par soufflage d'air entre le premier film (5) et le deuxième film (6) sous contrainte de traction dudit au moins un tirant (11) en direction circonférentielle, la pression de l'air soufflé dans l'espace entre le premier film (5) et le deuxième film (6) étant maintenue après cintrage et élévation des segments (8) de coque, l'air étant aspiré des pneus en forme de coins (7) et les joints (12) entre les segments (8) de coque étant comblés avec un matériau coulé (13) durcissant.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** toute la surface de base (2) n'est pas occupée par des pneus en forme de coins (7) et un matériau de construction (9) durcissant, des évidements (14) étant ainsi formés, lesquels forment un ou plusieurs évidemment prédéfinis dans la coque (1).

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'**une couche perméable aux gaz (15), préférentiellement constituée d'un non-tissé et/ou d'un voile textile est posée entre le premier film (5) et le deuxième film (6).

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'étape de pose d'une charge le long du bord extérieur (4) de la surface de base (2) est exécutée par agrandissement de l'épaisseur des segments (8) de coque le long du bord extérieur (4) de la surface de base (2).

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** pendant le processus de formage de la coque (1), la pression d'air dans l'espace entre le premier film (5) et le deuxième film (6) est réglée différemment de la pression ou des pressions d'air dans les pneus en forme de coins (7).

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** les pressions d'air sont réglées de manière différenciée dans les pneus en forme de coins (7).

7. Procédé selon la revendication 2 ou selon la revendication 2 et une des revendications 3 à 6, **caractérisé en ce qu'**un évidement (14) est formé au centre de la surface de base (2), **en ce que** les segments (8) de coque sont séparés les uns des autres par des pneus en forme de coins (7) posés entre ceux-ci, et **en ce que** les segments (8) de coque sont raccordés les uns aux autres par un anneau de traction (16) sur le bord des évidements (14).

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce qu'**une couche constituée d'un matériau de construction (9) est appliquée sur la coque doublement incurvée (1) à l'issue du processus de formage, et raccordée à la coque doublement incurvée (1) de manière résistante aux cisaillements.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** les segments de coque sont en béton, béton armé, béton fibré, béton renforcé par textile, matière plastique ou glace.

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** les tirants (11) sont en câbles de précontrainte, monotorons, filins en acier inoxydable, câbles en acier inoxydable ou en matière plastique renforcée par des fibres.

11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** du mortier de ciment, de la résine synthétique, de la matière plastique ou de l'eau sont utilisés comme matériau coulé (13).

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** la hauteur des pneus en forme de coins (7) à l'état gonflé est au moins égale à l'épaisseur de la coque (1).

Fig. 1

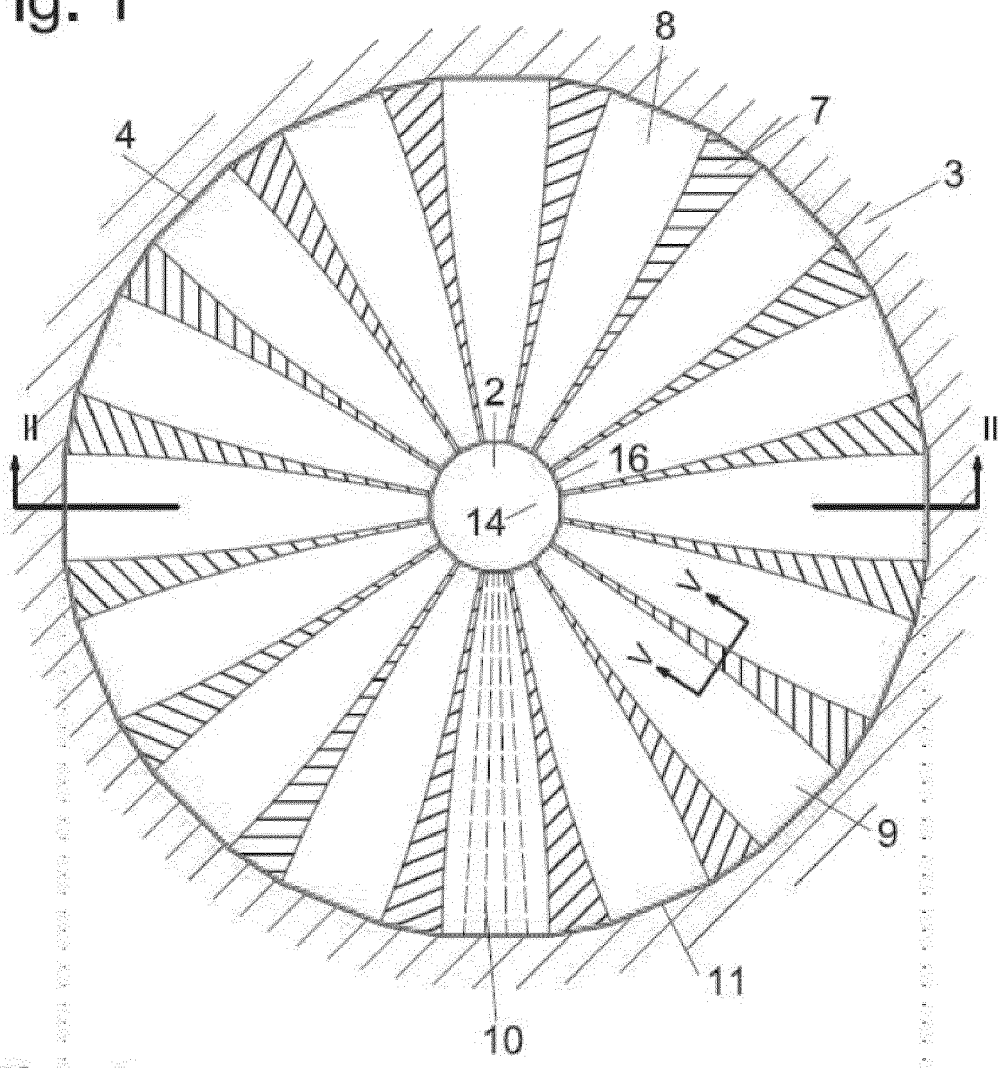


Fig. 2

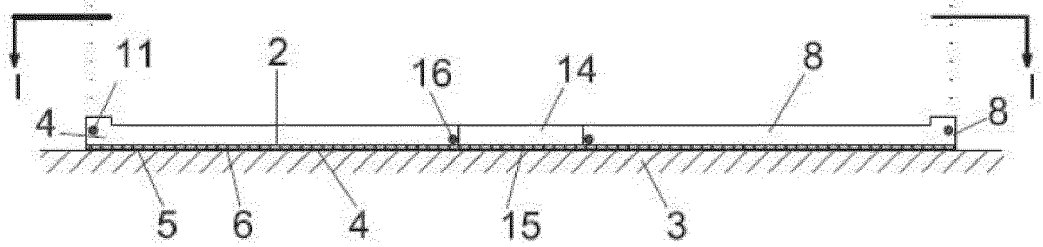


Fig. 3

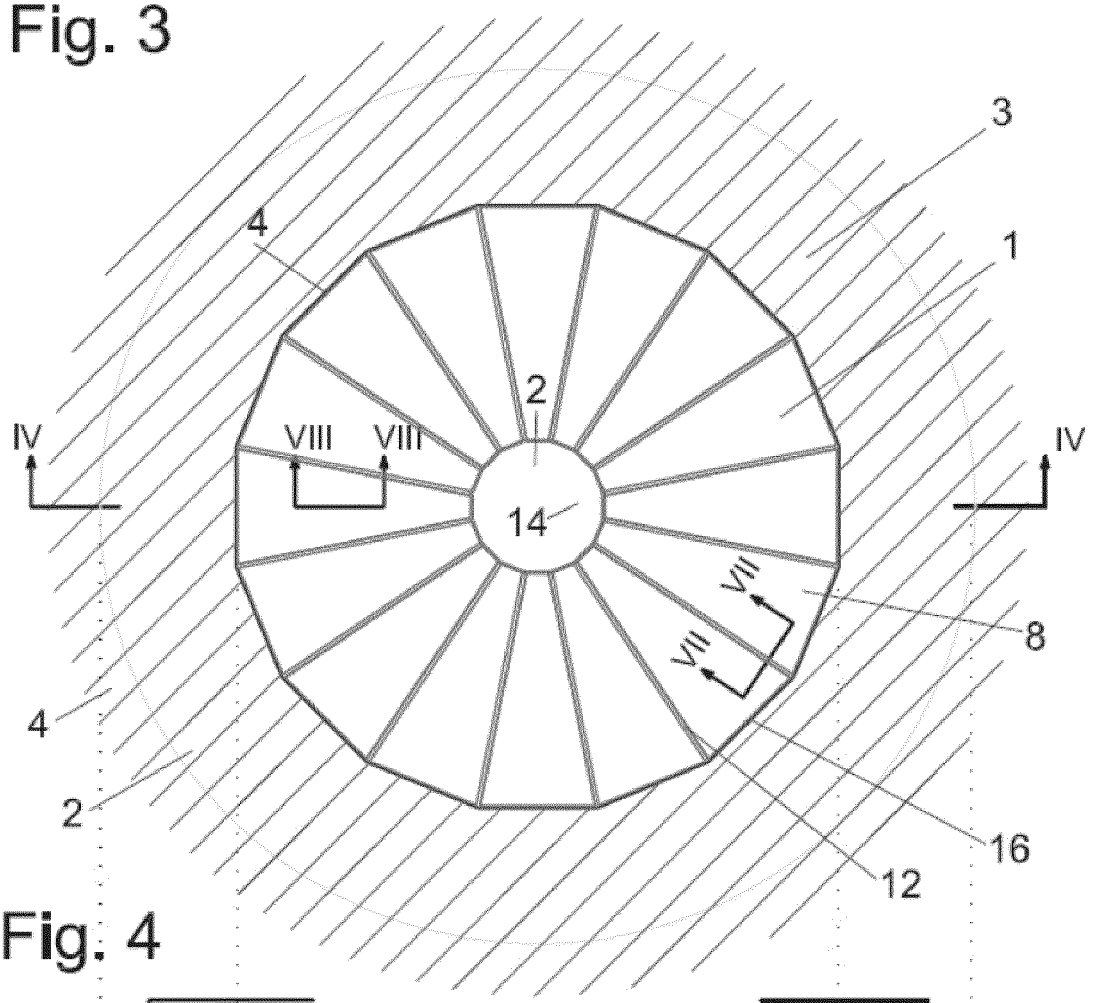


Fig. 4

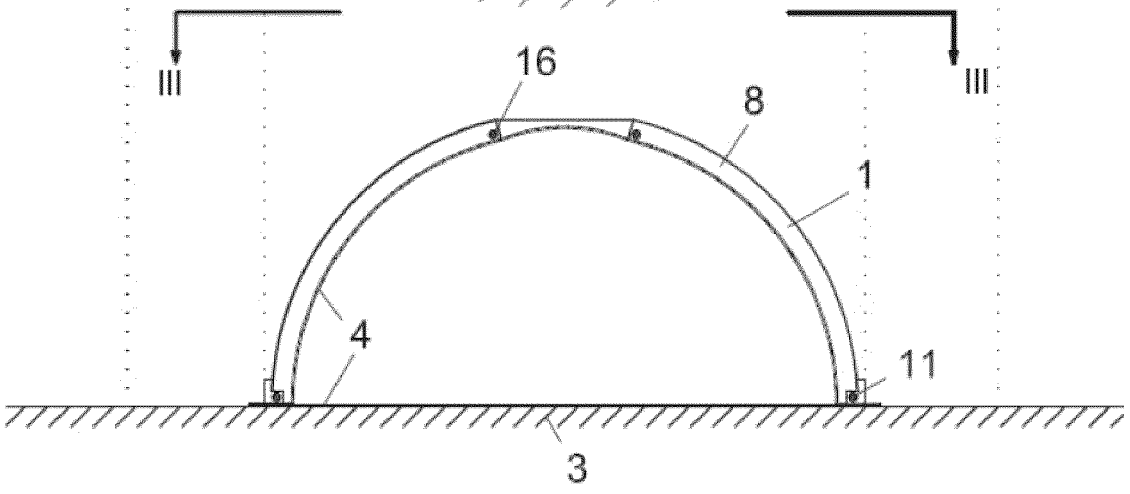


Fig. 5

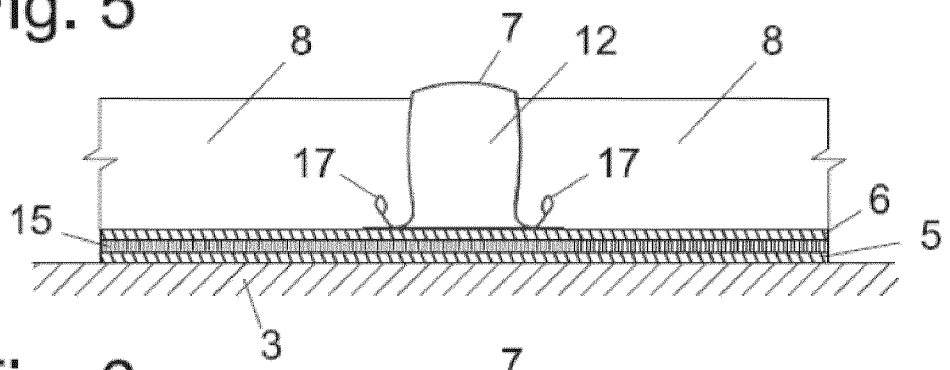


Fig. 6

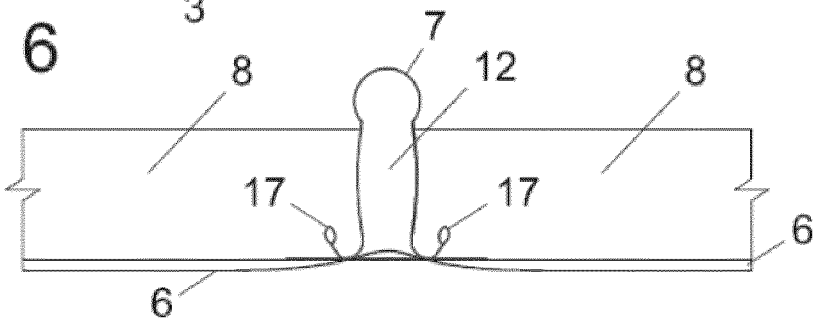


Fig. 7

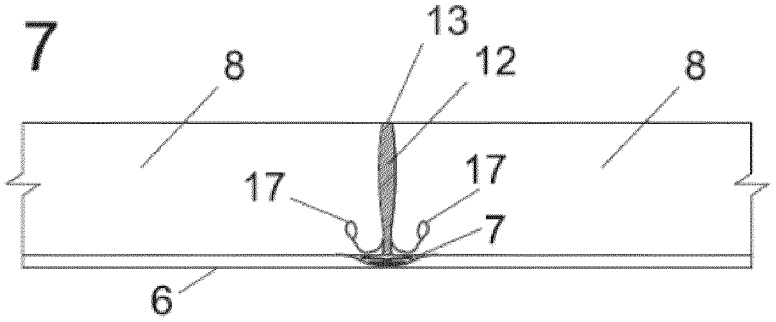


Fig. 8

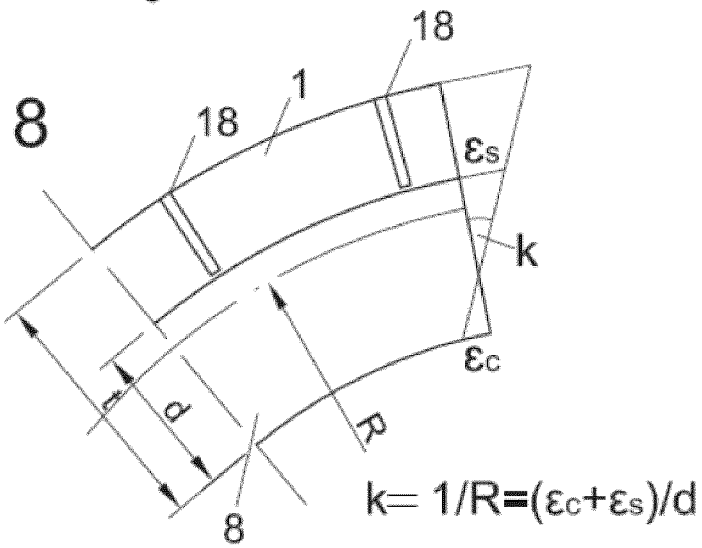


Fig. 9

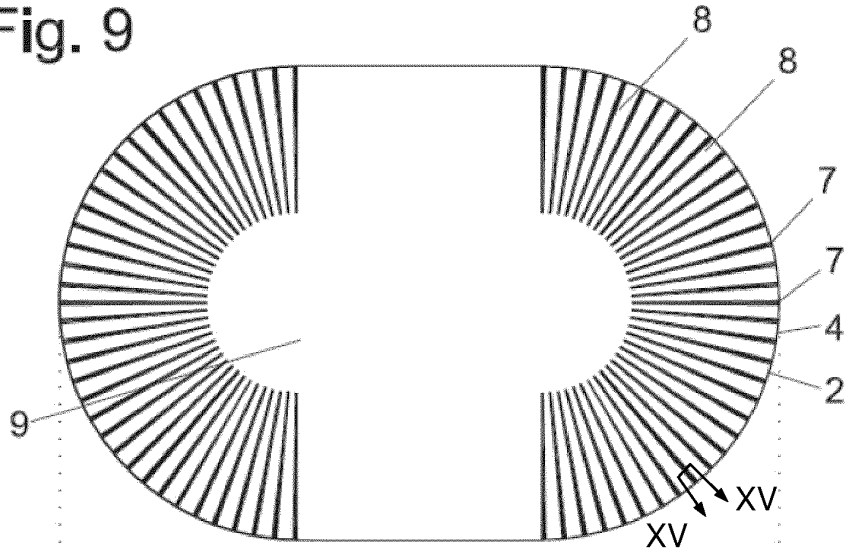


Fig. 10

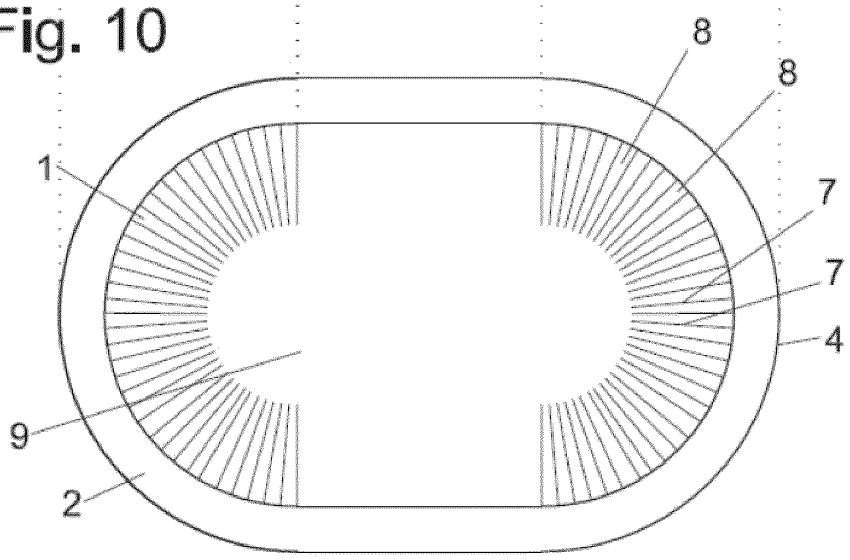


Fig. 11

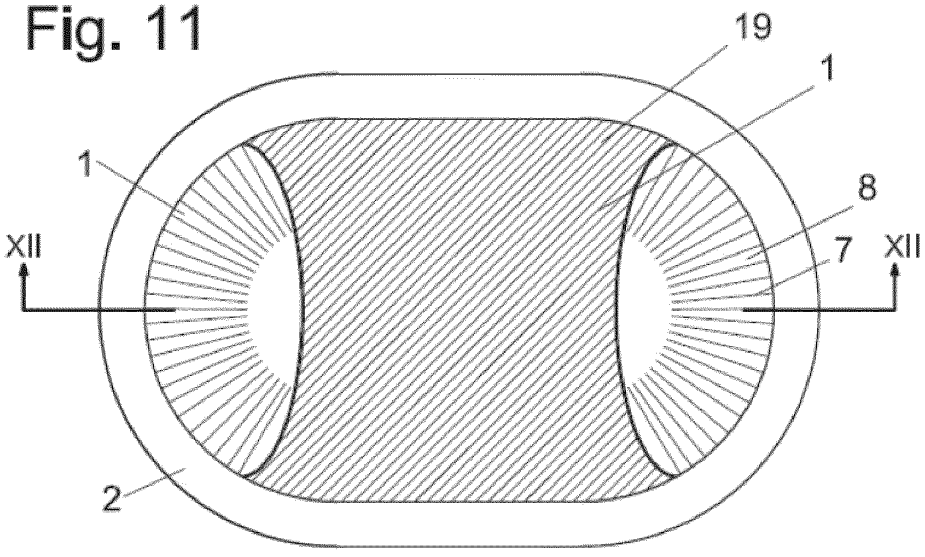


Fig. 12

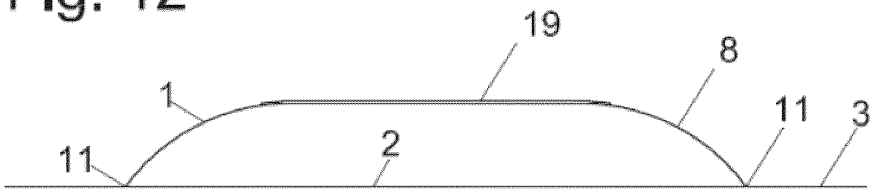


Fig. 13

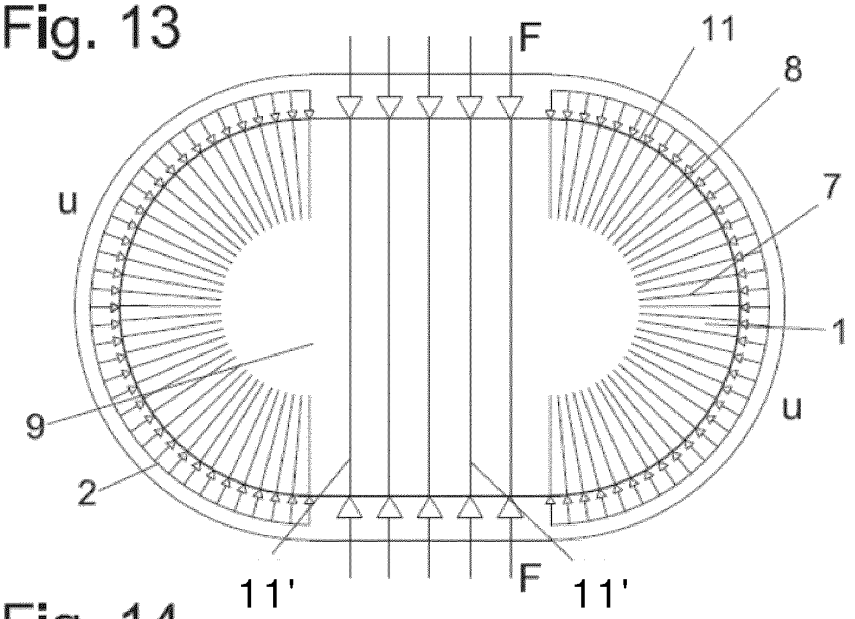


Fig. 14

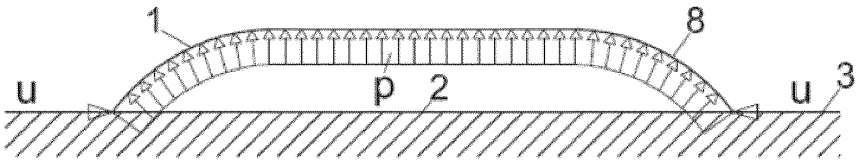
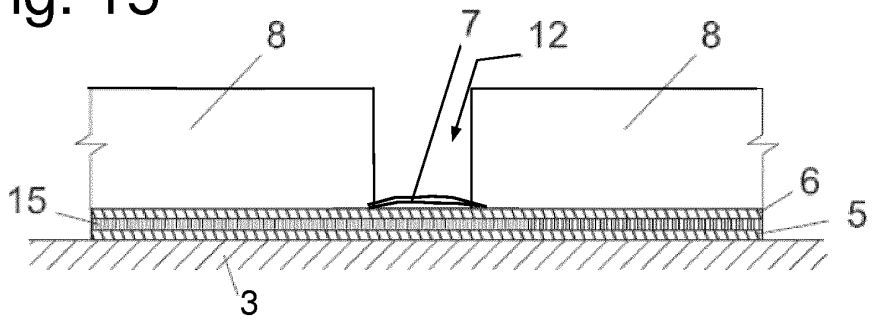


Fig. 15



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 3500153 **[0007]**
- EP 1706553 A **[0010]**
- AT 506902 **[0011]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Räumliche Dachtragwerke - Konstruktion und Ausführung. VEB Verlag, 1969, vol. 1, 177, , 248, , 256 **[0005]**
- Heinz Isler - Schalen. Karl Krämer Verlag, 1986, 51, , 68, , 70, , 77 **[0005]**
- Kuppelbau mit pneumatischer Schalung. **FRANZ DERFLINGER.** Beton- und Stahlbetonbau. 1983, vol. 11, 299-302 **[0006]**
- Ice Domes - Development of Construction Methods. **SONJA DALLINGER.** Dissertation, Technische. Universität Wien, 2011 **[0011]**