

19



LE GOUVERNEMENT  
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG  
Ministère de l'Économie

11

N° de publication :

LU100742

12

**DEMANDE DE BREVET D'INVENTION****A1**

21

N° de dépôt: LU100742

51

Int. Cl.:  
E02D 3/12

22

Date de dépôt: 25/07/2016

30

Priorité:

72

Inventeur(s):  
OZBORA TARHAN Adile Asli – Kocaeli (Turquie), ERDAL  
Burak – Kocaeli (Turquie), IZMIT Ilhan –  
Kocaeli (Turquie), GUNER CANTEKINLER Pinar –  
Kocaeli (Turquie)

43

Date de mise à disposition du public: 13/06/2018

73

Titulaire(s):  
KORDSA TEKNIK TEKSTIL ANONIM SIRKETI – Izmit,  
41310 Kocaeli (Turquie)

74

Mandataire(s):  
OFFICE FREYLINGER S.A. –  
8001 STRASSEN (Luxembourg)

54

**RENFORCEMENT DE SOL AVEC DES FIBRES DISCRETES.**

57

La présente invention propose une composition pour un renforcement de sol, qui comprend un sol, au moins un liant et du polyamide 66 ou du polyamide 6. Une telle composition procure une résistance portante élevée, une résistance élevée à la flexion et une bonne compatibilité des fibres dans le mélange

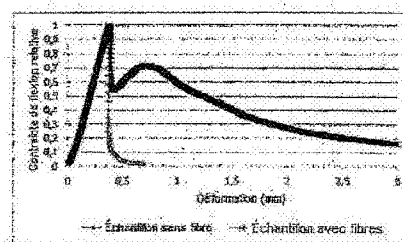


Figure 1. Courbe de déformation par rapport à la contrainte pour des échantillons avec et sans fibres (test de résistance à la traction en flexion).

BL-5054

## RENFORCEMENT DE SOL AVEC DES FIBRES DISCRETES

### Domaine technique de l'invention

La présente invention concerne des compositions de sol renforcé, qui comprennent des microfibrilles de polyamide 66 ou de polyamide 6 et au moins  
5 une matière faisant office de liant.

### Fondement de l'invention

Les propriétés géotechniques des sols sont améliorées par des techniques d'amélioration du sol. Ces techniques varient sur base des procédés  
10 d'application et des types de sols qui sont en mesure d'être améliorés. D'une manière générale, l'objet recherché par les procédés d'amélioration des sols consiste à améliorer la résistance des sols au cisaillement et à augmenter la capacité portante de fondations creuses, à réduire le retrait et le gonflement des  
15 sols, à diminuer le tassement des structures et à augmenter le facteur de sécurité pour des glissements de talus éventuels dans le cadre de remblais et de barrages en terre.

Diverses matières ont été mélangées avec le sol afin d'améliorer les propriétés de celui-ci. Du sol et des roches ont été mélangés pour obtenir une plate-forme  
20 plus stable dotée de meilleures performances dans la construction des premières voies de circulation. Par exemple, dans le but de réduire le potentiel de gonflement et la plasticité des sols argileux et limono-argileux, on a utilisé de l'hydroxyde de calcium. Du ciment Portland a été incorporé dans plusieurs types de sols afin d'obtenir une matière de base améliorée pour des voies de  
25 circulation.

Des matières géosynthétiques ont été utilisées pour de nombreux objets comme par exemple une amélioration de la capacité portante, le fait de

procurer une résistance contre la déformation latérale, la maîtrise de l'érosion, etc.

5 Comme expliqué dans le document US 3 934 421, un revêtement constitué par des filaments thermoplastiques continus qui sont liés les uns aux autres à leurs intersections augmentent la capacité portante en direction verticale ainsi que la résistance à la déformation latérale.

10 Dans le document US 4 002 034, on procure un revêtement composite multicouche ancré dans le sol afin d'empêcher toute érosion.

15 Dans le document US 4 329 392, on révèle un revêtement stratifié conçu pour empêcher un réarrangement des particules du sol. Le revêtement se compose de filaments polymères synthétiques qui ont été soumis à une filature en fusion, comprenant des macrofibres formant une toile, une couche filtrante de fibres plus fines liée à cette dernière, et une couche intermédiaire d'autres fibres entre les deux. L'objet est de maîtriser l'érosion en dessous du niveau de l'eau.

20 Une autre configuration d'une matière géotextile est expliquée dans le document US 4 472 086. La matière est utilisée à titre de renforcement pour la construction de routes et sur des pentes et des berges afin de juguler l'érosion.

25 Bien que des filaments polymères soient utilisés dans une large mesure dans des tissus, des revêtements, des géogrilles, etc., à titre d'agents pour le renforcement des sols, l'utilisation de fibres distribuées de manière aléatoire dans un sol est limitée.

30 Le comportement de résistance à la tension que manifeste un sol joue un rôle significativement important dans diverses applications géotechniques, telles que des pentes, des digues, des remblais et des barrières hydrauliques, dans lesquelles des fissures dues à la traction sont susceptibles de se produire, mais comparée à la résistance à la compression ou à la résistance au cisaillement, la

résistance à la traction que manifeste un sol est fondamentalement insignifiante dans la pratique de l'ingénierie géotechnique, étant donné sa valeur relativement faible.

5 De même, la matière utilisée pour le renforcement des sols doit être suffisamment durable pour répondre à la durée de service nominale. Dans le cas d'un renforcement du sol avec des matières géosynthétiques telles que des géogrilles, l'application sur site doit être réalisée avec précaution afin de  
10 un effet négatif sur la résistance nominale à long terme des matières géosynthétiques.

Comme on l'explique dans le document WO 9914288 A1, un certain nombre de fibres peuvent s'avérer efficaces pour améliorer les propriétés de résistance  
15 d'un sol-ciment, telles que des fibres de verre, étant entendu que des fibres de verre qui ne résistent pas aux alcalis ont un effet défavorable sur la durabilité.

Un autre problème qui peut se poser avec des fibres distribuées de manière aléatoire concerne l'agglomération des fibres.

20

Des fibres synthétiques sont utilisées depuis plus de 40 ans pour renforcer des matières cimentaires, telles que le béton, mais des travaux de recherche réalisés sur des sols renforcés avec des fibres discrètes sont plutôt rares. Un  
25 nombre limité d'exemples de renforcements de sols en utilisant des fibres ont été décrits dans la littérature brevet. Il est bien connu dans la technique antérieure que des fibres telles que des fibres de polypropylène, des fibres de polyester, des fibres de verre sont utilisées dans des sols afin d'améliorer la résistance au cisaillement par poinçonnement, l'angle total de friction interne, la cohésion totale moyenne et le module tangent initial moyen. Toutefois, une  
30 homogénéité inadéquate des fibres en mélange avec du sol sur base des propriétés d'adhésion physique et chimique insuffisantes des matières fibreuses largement utilisées telles que le polypropylène, le polyacrylonitrile, les fibres de

verre, etc., a pour conséquence une capacité portante qui manque d'homogénéité pour un sol renforcé.

### Objets de l'invention

5 Si l'on compare aux procédés conventionnels, les avantages liés à un renforcement à base de fibres discrètes, qui représente une technique mise au point relativement récemment pour améliorer le comportement mécanique du sol, sont les suivants : les fibres discrètes sont ajoutées directement et mélangées de manière aléatoire avec le sol en un seul processus, d'une  
10 manière similaire à du sol mélangé avec du ciment, de l'hydroxyde de calcium ou d'autres additifs ; des plans potentiels de faiblesse ou de fragilité qui peuvent se développer dans une direction parallèle au renforcement d'orientation conventionnelle sont limités par les fibres distribuées de manière aléatoire ; les fibres augmentent la dureté du sol et procurent un renforcement en trois  
15 dimensions qui permet d'augmenter la capacité portante dans toutes les dimensions, particulièrement requise pour la stabilité d'une pente, pour des renforcements contre les tremblements de terre, ainsi que pour les renforcements de sols fragiles ; l'inclusion de fibres représente une solution durable qui modifie uniquement les propriétés physiques du sol et qui n'a pas  
20 d'effet néfaste sur l'environnement. Pour toutes ces raisons, on constate un intérêt croissant en ce qui concerne les comportements mécaniques des sols renforcés avec des fibres.

L'objet principal de la présente invention est de procurer un matériau de  
25 renforcement homogène, compatible pour des sols dans le but d'améliorer son comportement de déformation sous charge par l'interaction avec les particules du sol, ce qui donne lieu à une augmentation de la capacité portante du sol dans toutes les dimensions.

30 Un autre objet de la présente invention consiste à améliorer la dureté du sol et à procurer un renforcement en trois dimensions.

Un autre objet de la présente invention consiste à empêcher des défaillances au niveau des talus ainsi que des problèmes de tassement du sol.

5 Un autre objet de la présente invention consiste à procurer une efficacité énergétique, des coûts de maintien peu élevé et une augmentation de la durabilité en permettant l'utilisation du sol dans la majeure partie des couches dans des géosculptures qui constituera l'état de la technique des géosculptures.

#### 10 **Brève description de l'invention**

La présente invention propose une composition pour procurer un sol renforcé qui possède une capacité portante élevée en proposant l'utilisation d'une quantité spécifiée de fibres de polyamide 66 ou de polyamide 6 et d'au moins une matière faisant office de liant, de manière conjointe dans le mélange.

15

#### **Brève explication des figures**

La brève explication des figures qui sont annexées au présent document est uniquement destinée à fournir une meilleure compréhension de l'invention et, comme telle, n'a pas pour objet de définir le cadre de protection ou le contexte dans lequel ledit cadre doit être interprété en l'absence de la description.

20

La figure 1 représente sous la forme d'un graphique la courbe de la déformation par rapport à la contrainte pour des échantillons avec et sans fibres.

25

La figure 2 représente sous la forme d'un graphique la courbe de la déformation axiale par rapport à la contrainte par compression pour des échantillons avec et sans fibres.

30

La figure 3 représente l'effet du polyamide 66 sur une fracture d'un échantillon de sol stabilisé avec du ciment.

#### **Description détaillée de l'invention**

La présente invention propose une composition de sol renforcé englobant des fibres distribuées de manière aléatoire qui confèrent au sol une isotropie de résistance. Un renforcement du sol avec des fibres augmente la sécurité concernant la stabilité de la structure, tout en améliorant la résistance résiduelle et la dureté du sol renforcé.

Étant donné que les fibres sont en mesure d'améliorer l'angle de friction moyen, des pentes plus raides pour des talus sont possibles. En outre, étant donné que l'on diminue la quantité de remblai, les coûts liés au transport peuvent être réduits et on obtient une bonne efficacité énergétique. Un sol renforcé avec des fibres procurant de meilleures propriétés mécaniques permet de réduire le changement de volume ou le tassement dans des remblais de grande hauteur. Des valeurs supérieures de cohésion et d'angle de friction interne ou de résistance au cisaillement permettent d'améliorer la résistance à long terme de sols de remblais derrière des parois, ce qui permet de conserver des structures générant des pressions inférieures de la terre et de réduire le risque des mouvements latéraux.

La présente invention procure un renforcement ou une stabilisation du sol en proposant une composition d'un mélange de sol renforcé qui fournit une capacité portante élevée, une meilleure dureté et une résistance adéquate à la flexion.

Les types de sols englobent, mais sans y être limité : du sable silteux et du sable argileux. Pour la classification des sols, des tests nécessaires sont réalisés afin de déterminer la granulométrie, la limite de liquidité et la limite de plasticité.

Un type de sol est constitué par 1 % de gravier, 68 % de sable, 29 % de limon et 2 % d'argile. La limite de liquidité s'élève à 33 %, la limite de plasticité s'élève à 18 % et l'indice de plasticité s'élève à 15 %. La densité à sec,  $\gamma$ , varie de 19,10 kN/m<sup>3</sup> à  $\gamma = 19,60$  kN/m<sup>3</sup>.

L'autre type de sol est constitué par 4 % de gravier, 83 % de sable, 12 % de limon et 1 % d'argile. La limite de liquidité s'élève à 0 %, la limite de plasticité s'élève à 0 %, ce type de sol étant constitué par des grains fins non plastiques.

5 La densité à sec,  $\gamma$ , varie de 20,30 kN/m<sup>3</sup> à  $\gamma = 20,65$  kN/m<sup>3</sup>.

10 Des liants de sols typiques connus dans la technique sont obtenus à partir d'une variété de matières, à savoir : du ciment Portland, de l'hydroxyde de calcium, de la chaux vive, de la chaux hydratée, du gypse, du laitier de haut-fourneau broyé, des cendres volantes de type "C", des cendres volantes de type "F", des cendres volantes de type "F" - de la chaux, des cendres volantes - du gypse - de la chaux, du ciment - des cendres volantes, et du laitier - des cendres volantes.

15 Le liant, qui fait office de stabilisateur chimique, est ajouté au sol et est mélangé intimement avec ce dernier, les liants préférés selon la présente invention étant le ciment et le ciment pouzzolanique, mais sans y être limité.

20 Afin d'obtenir une compaction maximale, on inclut de l'eau dans le mélange liant - fibres - sol. La quantité d'eau à incorporer dépend du type de sol. Des tests simples tels que le test Proctor (modifié) sont mis en oeuvre pour déterminer la quantité d'eau à ajouter afin d'obtenir la densité optimale de la matière sèche suite à la compaction pour n'importe quel type de sol particulier. La teneur optimale en eau,  $w_{opt}$ , se situe dans la plage de 12 à 12,5 % pour le  
25 premier type de sol et cette valeur se situe dans la plage de 9 à 9,5 % pour le second type.

30 Des tests préliminaires à l'œil nu sont mis en oeuvre afin de déterminer les fibres les plus appropriés qui ne donnent pas lieu à un quelconque problème d'agglomération pour les deux types de sol.

Dans une forme de réalisation préférée de l'invention, les fibres sont des fibres de polyamide 6 ou de polyamide 66, de manière plus préférée des fibres de polyamide 66. La matière fibreuse est sélectionnée en fonction de sa flexibilité, de son élasticité, de sa durabilité, de sa ductilité et de sa compatibilité dans son mélange avec le sol.

En prenant en compte ces premiers résultats à l'œil nu, on prépare des mélanges pour évaluer l'effet des fibres possédant différents rapports d'aspect en se basant sur des résultats de tests mécaniques.

Dans la forme de réalisation préférée de la présente invention, pour une application de renforcement de sol pour les deux types de sol que l'on a décrit ci-dessus, la matière fibreuse la plus appropriée faisant l'objet de la présente invention est le polyamide 66 ou le polyamide 6 en fonction de ses caractéristiques mentionnées ci-dessus et des résultats à l'œil nu, étant donné sa capacité excellente d'absorption de l'eau, qui permet d'obtenir des liaisons plus fortes dans les particules du sol. En conséquence, on obtient un mélange de sol homogène, tandis que l'on augmente la sécurité concernant la stabilité de la structure, tout en améliorant en même temps la résistance résiduelle et la dureté.

Le mélange de sol renforcé conformément à la présente invention comprend des microfibres de polyamide 66 ou de polyamide 6 en une quantité de 0,1 à 1 % en poids et au moins une matière faisant office de liant en une quantité de 2 à 9 % en poids dans ledit mélange de sol renforcé.

De préférence, on obtient un mélange de sol renforcé en mélangeant une quantité du sol qui doit être stabilisé avec de 2 à 9 % (en poids/poids) d'au moins un liant, et une quantité de sol stabilisé avec de 0,1 à 1 % (en poids/poids) de fibres de polyamide 66 ou de polyamide 6, afin d'obtenir un mélange essentiellement homogène conformément à la présente invention.

Les microfibrilles selon la présente invention sont ajoutées au sol stabilisé contenant un liant. De préférence, le diamètre des filaments des microfibrilles varie au maximum à concurrence de 30  $\mu\text{m}$  afin d'obtenir une aire de contact superficielle supérieure entre les fibres et les particules du sol. Lorsque le  
5 diamètre des filaments est supérieur à cette valeur, l'aire de contact superficielle entre les fibres et les particules du sol diminue. La longueur des fibres peut se situer dans la plage d'environ 6 à 30 mm pour les microfibrilles.

Les fibres sont mélangées intimement à la main, jusqu'à ce que l'on obtienne  
10 une distribution homogène à travers toute la masse du sol stabilisée avec un liant.

On sélectionne des fibres possédant une longueur appropriée en se basant sur des résultats de tests préliminaires en laboratoire. La longueur doit être  
15 déterminée d'une manière telle que l'on confère à la matière une résistance adéquate à la traction. Toutefois, les fibres ne doivent pas être trop longues, étant donné qu'une longueur excessive pourrait déclencher un problème d'agglomération au cours du processus de mélange à l'échelle du laboratoire ou sur le terrain.

À titre d'exemple de la présente invention, on obtient une microfibre de polyamide 66 qui possède une longueur de 24 mm, une section transversale de forme ronde et une configuration de forme cylindrique. Au cours de la  
20 production, on applique un ensimage de filature spécifique sur des microfibrilles de 24 mm (Kratos®), ce qui permet d'obtenir une distribution homogène des fibres au sein du sol stabilisé avec du ciment, au cours de l'application.

Pour vérifier les effets d'un renforcement avec des fibres sur les propriétés mécaniques d'un sol stabilisé avec un liant, on prépare un certain nombre  
30 d'échantillons de forme cylindrique et de forme prismatique en faisant varier les quantités de fibres pour des tests de résistance à la compression unidimensionnelle et de résistance à la traction en flexion. On compare les

résultats à ce que l'on obtient avec le même sol stabilisé avec un liant exempt de fibres, considéré comme étant un échantillon témoin.

5 Comme on peut le voir en figure 1, le sol stabilisé avec du ciment gagne en ductilité avec une meilleure dureté et des valeurs améliorées de résistance résiduelle lorsqu'on ajoute des fibres de polyamide au mélange conformément à la présente invention.

10 En résumé, les résultats des tests de résistance à la compression unidimensionnelle montrent qu'une incorporation de fibres permet d'améliorer la ductilité du sol conformément à la présente invention, comme on peut le voir en figure 2.

15 Dans la présente invention, on propose un renforcement à base de fibres discrètes dans le but d'améliorer le comportement de résistance à la traction, manifesté par le sol, tout en procurant un mélange homogène de sol renforcé sur base de la bonne absorption de l'eau du polyamide 66 ou du polyamide 6. Afin d'évaluer l'effet des fibres sur la dureté et sur la résistance résiduelle du sol stabilisé avec un liant, on adopte un appareil de mesure de la résistance à la  
20 traction en flexion, que l'on utilise normalement pour du béton, pour les tests réalisés avec le sol en question. En utilisant cet appareil, on procède à une série de tests de résistance à la traction en flexion sur un sol stabilisé avec un liant, renforcé avec des fibres afin de déterminer les caractéristiques de résistance à la traction en flexion.

BL-5054

**REVENDEICATIONS AMENDEES**

1. Mélange de sol renforcé caractérisé en ce que, ledit mélange de sol renforcé comprend des microfibrilles de polyamide 66 ou de polyamide 6 en une quantité de 0,1 à 1 % en poids et au moins une matière faisant office de liant à base de ciment ou de ciment pouzzolanique en une  
5 quantité de 2 à 9 % en poids dans ledit mélange de sol renforcé et ledit sol est constitué d'un mélange de 1 % de gravier, 68 % de sable, 29 % de limon et 2 % d'argile ou d'un mélange de 4 % de gravier, 83 % de sable, 12 % de limon et 1 % d'argile, en poids.
- 10 2. Mélange de sol renforcé selon la revendication 1, dans lequel lesdites microfibrilles de polyamide 66 ou de polyamide 6 possèdent une longueur se situant dans la plage de 6 à 30 mm.
- 15 3. Mélange de sol renforcé selon la revendication 1, dans lequel lesdites microfibrilles de polyamide 66 ou de polyamide 6 possèdent un diamètre maximal de 30  $\mu\text{m}$ .

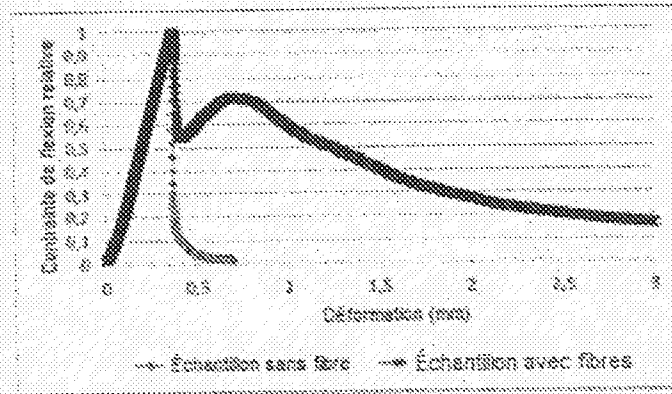


Figure 1. Courbe de déformation par rapport à la contrainte pour des échantillons avec et sans fibres (test de résistance à la traction en flexion).

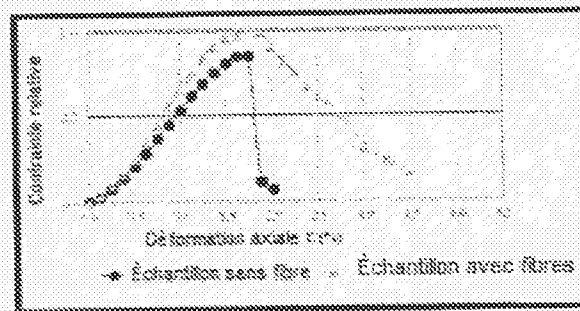
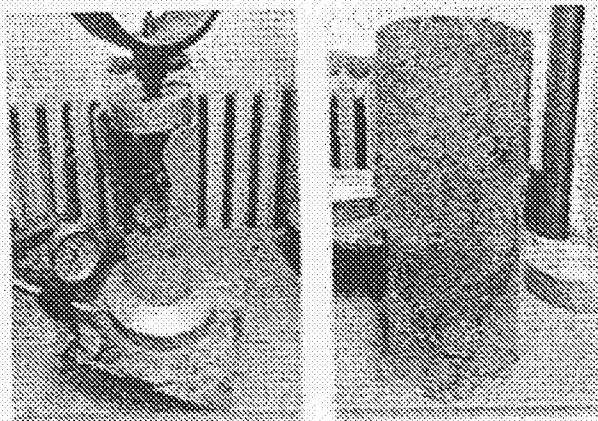


Figure 2. Courbe de déformation axiale par rapport à une contrainte de compression pour des échantillons avec et sans fibres (test de résistance à la compression unidirectionnelle)



a) échantillon sans fibre

b) échantillon avec fibres

Figure 3. Effet des fibres sur une fracture d'un échantillon de sol stabilisé avec du ciment.

**ABREGE**

La présente invention propose une composition pour un renforcement de sol, qui comprend un sol, au moins un liant et du polyamide 66 ou du polyamide 6.

- 5 Une telle composition procure une résistance portante élevée, une résistance élevée à la flexion et une bonne compatibilité des fibres dans le mélange.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
**PCT/TR2016/050234**

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
**INV. E02D3/12**  
**ADD.**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
**E02D C04B E02B**

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
**EPO-Internal, WPI Data**

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No |
|-----------|--|----------------------|
| X<br>A    | WO 2014/205581 A1 (ACM TECHNOLOGIES INC [CA]) 31 December 2014 (2014-12-31)<br>page 3, line 15 - page 12, line 26;<br>figures 1-24<br>-----                              | 1-5<br>6,7           |
| X<br>A    | WO 99/14288 A1 (UNIV BIRMINGHAM [GB]; GHATAORA GURMEL SINGH [GB]; DALLAQUA GIANMARCO P) 25 March 1999 (1999-03-25)<br>page 2, paragraph 4 - page 4, paragraph 1<br>----- | 1-3<br>4-7           |
| A         | US 3 934 421 A (DAIMLER BERTHOLD H ET AL) 27 January 1976 (1976-01-27)<br>the whole document<br>-----  | 1-7                  |
| A         | US 4 002 034 A (MUHRING WALTER ET AL) 11 January 1977 (1977-01-11)<br>the whole document<br>-----  | 1-7                  |

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

|   |  |
|---|--|
| *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  | *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  |
| *E* earlier application or patent but published on or after the international filing date   | *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone   |
| *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  | *Z* document member of the same patent family  |
| *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed  |  |

|   |   |
|---|---|
| Date of the actual completion of the international search<br><br><b>7 February 2017</b> | Date of mailing of the international search report<br><br><b>29/03/2017</b> |
|---|---|

|   |  |
|---|--|
| Name and mailing address of the ISA/<br>European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax (+31-70) 340-3016 | Authorized officer<br><br><b>Friedrich, Albert</b> |
|---|--|

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/TR2016/050234

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date            |
|--|------------------|-------------------------|-----------------------------|
| WO 2014205581                          | A1               | 31-12-2014              | CA 2872167 A1 28-12-2014    |
|  |                  |                         | US 2016222292 A1 04-08-2016 |
|  |                  |                         | WO 2014205581 A1 31-12-2014 |
| WO 9914288                             | A1               | 25-03-1999              | AU 9173498 A 05-04-1999     |
|  |                  |                         | WO 9914288 A1 25-03-1999    |
| US 3934421                             | A                | 27-01-1976              | NONE                        |
| US 4002034                             | A                | 11-01-1977              | NONE                        |