

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 997 609 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
21.01.2004 Bulletin 2004/04

(51) Int Cl.7: **E21B 47/00, E21B 49/00**

(21) Numéro de dépôt: **99402610.2**

(22) Date de dépôt: **21.10.1999**

(54) **Procédé et appareil de contrôle du compactage d'un remblai**

Verfahren und Vorrichtung zur Kontrolle der Dichtigkeit einer Aufschüttung

Method and apparatus for compactness control of a filling

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**

(30) Priorité: **30.10.1998 FR 9813694**

(43) Date de publication de la demande:
03.05.2000 Bulletin 2000/18

(73) Titulaire: **SOCIETE ANONYME DE GESTION DES
EAUX DE PARIS (SAGEP)
75004 Paris (FR)**

(72) Inventeur: **Thepot, Olivier
75011 Paris (FR)**

(74) Mandataire: **Moncheny, Michel et al
c/o Cabinet Lavoix
2 Place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)**

(56) Documents cités:
**DE-A- 3 712 455 GB-A- 1 246 961
US-A- 5 042 595**

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 002 (P-652), 7 janvier 1988 (1988-01-07) & JP 62 165134 A (TAISEI CORP), 21 juillet 1987 (1987-07-21)**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1996, no. 05, 31 mai 1996 (1996-05-31) & JP 08 013458 A (SHIMIZU CORP), 16 janvier 1996 (1996-01-16)**

EP 0 997 609 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention est relative à un procédé de contrôle du compactage d'un remblai d'enrobage d'une conduite, tel que décrit dans le préambule de la revendication 1.

[0002] Un tel procédé est connu par exemple de la demande de brevet DE-A-37 12 455.

[0003] Un remblai d'enrobage d'une conduite doit être suffisamment compacté, c'est-à-dire avoir une densité suffisante pour constituer une fondation efficace pour la conduite et ce, en particulier, lorsqu'elle est destinée à cheminer sous une route.

[0004] Par ailleurs, il est connu d'utiliser un pénétromètre pour contrôler le compactage d'un remblai.

[0005] Une autre technique connue consiste à utiliser une sonde gamma et à mesurer l'absorption des rayons gamma par le remblai.

[0006] De façon générale, ces techniques ne permettent pas d'obtenir une indication précise de la qualité du compactage d'un remblai, et en particulier de la zone d'enrobage d'une conduite, dans la mesure où, d'une part, cette zone est difficilement accessible, et d'autre part, où la qualité du compactage peut varier rapidement dans cette zone, dans la direction verticale, entre le radier et la clé, et dans la direction horizontale, les mesures s'effectuant de façon ponctuelle.

[0007] Le but de l'invention est de pallier ces inconvénients.

[0008] Elle a donc pour objet un procédé de contrôle du compactage d'un remblai d'enrobage d'une conduite, tel que précité, comprenant en outre les étapes de la partie caractérisante de la revendication 1.

[0009] Des modes particuliers de réalisation du procédé figurent dans les revendications dépendantes 2 et 3.

[0010] L'invention a également pour objet un appareil de contrôle du compactage d'un remblai, comprenant les caractéristiques de la revendication 4.

[0011] L'appareil de contrôle peut comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques des revendications dépendantes 5 à 11.

[0012] D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description suivante, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels:

- la figure 1 est une vue schématique montrant une section en coupe transversale d'un remblai avant et après déformation,
- la figure 2 est une vue en perspective partiellement éclatée d'un appareil de contrôle du compactage du remblai de la figure 1.

[0013] Sur la figure 1, on a représenté une vue en coupe transversale d'un remblai, désigné par la référence numérique générale 10, dans lequel chemine une conduite 12.

[0014] Dans l'exemple de réalisation représenté, le remblai 10 comporte deux zones dont l'une, 14, constitue une fondation pour une chaussée 16 et dont l'autre zone, 18, constitue une zone d'enrobage de la conduite 12.

[0015] Sur la figure 1, on a représenté également un appareil de contrôle du compactage de la zone d'enrobage 18, désigné par la référence numérique générale 20, et disposé dans la conduite 12.

[0016] Cet appareil 20 contrôle le compactage du remblai 10 en appliquant un effort F sur la surface interne de la paroi de la conduite 12 de manière à la déformer, comme représenté en traits mixtes sur cette figure, cette déformation s'accompagnant d'une déformation consécutive de la zone d'enrobage 18 du remblai.

[0017] Pour obtenir une indication de la qualité du compactage de cette zone d'enrobage 18, l'appareil calcule la densité sèche du remblai à partir des valeurs de l'effort appliqué et de la déformation du remblai, ainsi que de la nature de ce dernier, puis compare la densité sèche ainsi calculée avec une valeur de densité sèche correspondant à un compactage optimum du remblai.

[0018] On va maintenant décrire l'appareil 20 de contrôle du compactage du remblai 10 en référence à la figure 2.

[0019] On voit sur cette figure que l'appareil 20 comporte, montés sur un châssis 22, des moyens 24 pour appliquer un effort sur la paroi de la conduite 12, et des moyens 26 de mesure de la déformation résultante du remblai par mesure de la déformation D de la paroi de la conduite.

[0020] Les moyens 24 pour appliquer un effort sur la paroi de la conduite comportent des vérins, 28, 30, 32 et 34 disposés par paires de telle sorte que les vérins 28 et 30 de l'une des paires exercent, en fonctionnement, un effort sur la surface interne de la paroi de la conduite 12 selon un sens opposé à celui exercé par les vérins 32 et 34 de l'autre paire.

[0021] Comme on le voit sur cette figure 2, les vérins de chacune des paires sont disposés de part et d'autre des moyens 26 de mesure.

[0022] Ils sont par exemple constitués par des vérins à air capables d'exercer une pression sur la conduite selon une plage allant de 0 à 10 bars et sont, de préférence, des vérins à double effet, c'est-à-dire capables d'être commandés sélectivement en traction ou en poussée.

[0023] Les vérins 28,30,32 et 34 sont connectés à un organe 36 de raccordement des vérins à une source d'alimentation en fluide sous pression (non représentée).

[0024] Un capteur de pression 38, de type classique, est disposé dans le circuit fluide d'alimentation de chaque vérin, entre l'organe 36 de raccordement et ces derniers, en vue de mesurer l'effort F appliqué sur la paroi de la conduite.

[0025] Les moyens 26 de mesure de la déformation de la paroi 12 de la conduite comportent deux cannes de mesures 40 et 42 s'étendant dans le prolongement l'une de l'autre.

[0026] Ces cannes de mesure 40 et 42 sont des cannes de mesure de type classique, appropriées pour l'utilisation envisagée. Elles ne seront donc pas décrites en détail par la suite.

[0027] On notera toutefois qu'elles sont dotées chacune d'une pointe d'extrémité active telle que 44, destinée à être appliquée contre la paroi de la conduite et s'étendant à partir d'une tête tronconique 46.

[0028] L'effort F exercé sur la conduite est appliqué par l'intermédiaire de deux patins latéraux 48 et 50 montés chacun sur les extrémités actives d'un vérin de l'une des paires.

[0029] Pour ce faire, chaque patin 48 et 50 comporte deux zones d'extrémités opposées 52 et 54 dotées chacune d'une découpe, telle que 56, dans laquelle s'engage une extrémité active d'un vérin correspondant, et dont les parois sont dotées d'orifices, tels que 58, dans lesquels s'engagent des ergots, tels que 60, portés par l'extrémité active de chaque vérin.

[0030] On voit par ailleurs sur la figure 2 que la face active de la zone médiane 62 de chaque patin 48 et 50 est équipée d'un galet 64, fixé par exemple par vissage, avec interposition d'une rondelle 66, au moyen duquel l'effort fourni par les vérins est appliqué à la conduite 12.

[0031] Chaque patin 48 et 50 ainsi que chaque galet 64, et la rondelle 66 qui lui est associée, sont percés d'orifices coaxiaux, tels que 68, dans lesquels s'engage la pointe active 44 des moyens de mesure, un ressort 70 sollicitant la tête tronconique 46 de ces derniers en appui contre la face interne du patin 48 et 50 correspondant.

[0032] Chaque patin est en outre doté de roulettes, telles que 72, montées oscillantes sur un support 76 venant se monter sur les zones d'extrémité 52 et 54 de chaque patin.

[0033] L'appareil de contrôle qui vient d'être décrit est complété par une unité centrale de traitement (non représentée) à laquelle sont raccordés les moyens de mesure 26 ainsi que le capteur de pression 38.

[0034] Cette unité centrale peut être disposé sur la châssis où être placée à distance, à l'extérieur de la conduite 12. Elle comporte, stockés en mémoire des algorithmes de calcul permettant le contrôle du compactage du remblai, comme décrit en détail ci-dessus.

[0035] Enfin, deux patins 78 et 80 équipent le châssis 22 sur lesquels l'appareil repose dans la conduite. En variante, ces patins peuvent être remplacés par des roulettes.

[0036] Pour procéder au contrôle du compactage de la zone d'enrobage 18 du remblai 10, il convient de disposer l'appareil 20 dans la conduite 12.

[0037] En position d'attente, les patins 48 et 50 sont en appui contre la paroi de la conduite 12, par l'intermédiaire des roulettes 72.

[0038] On pilote ensuite, comme mentionné précédemment, les vérins de manière qu'ils appliquent un effort F en deux zones diamétralement opposées de la conduite, de manière à ovaliser sa section en coupe transversale, comme représenté sur la figure 1.

[0039] L'unité centrale de traitement reçoit en entrée la valeur D du déplacement consécutif de la paroi 12 de la conduite, laquelle représente la valeur de la déformation du remblai.

[0040] On calcule la raideur du remblai à partir d'un calcul de la raideur globale R de la conduite, en établissant le rapport entre la valeur F de l'effort appliqué et la valeur D de la déformation résultante.

[0041] A partir de la raideur R calculée, l'unité centrale procède à un calcul du module élastique E_s à partir de la raideur globale R et de la raideur propre de la conduite, selon la relation suivante :

$$E_s \cong \frac{R_c}{D_m} \times R \quad (1)$$

dans laquelle :

D_m désigne le diamètre moyen de la conduite, et

$\tilde{R}$ désigne la raideur réduite centrée de la conduite définie par la relation:

$$\sim$$

$$R = \frac{R}{R_c} - 1 R \quad (2)$$

R_c désignant la raideur propre de la conduite à l'air libre dépendant de la nature du matériau utilisé pour le remblai, égale par exemple à $\frac{R}{5}$ pour une conduite en fonte, cette raideur propre pouvant être mesurée directement ou calculée à partir des caractéristiques mécaniques de la conduite.

[0042] A partir du module élastique E_s et de la nature du remblai, l'unité centrale de traitement procède à un calcul de la densité sèche γ_d selon la relation suivante:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + \frac{A}{E_s} \sqrt{p'}} \quad (3)$$

où γ_s désigne la densité de la phase solide du remblai, dépendante de sa nature,
 p' désigne la pression effective régnant dans le sol, à la profondeur de la conduite, et
 A est un coefficient qui dépend de la nature du remblai.

[0043] Le compactage optimum étant obtenu lorsque la valeur de la densité sèche atteint une valeur maximale, connue sous l'appellation "Optimum Proctor", il convient ensuite simplement de comparer la densité sèche γ_d calculée avec une valeur de densité correspondant à l'Optimum Proctor, parmi un ensemble de densités sèches stockées en mémoire dans l'unité centrale de traitement correspondant chacune à un compactage optimum du remblai, pour un type de matériaux susceptible d'entrer dans la constitution du remblai.

[0044] Après avoir effectué une mesure, les vérins 28,30,32 et 34 sont commandés en traction de manière à exercer un effort s'exerçant à l'encontre de l'effort exercé par le ressort 70, pour repositionner les patins 48 et 50 en position d'attente, dans laquelle les roulettes 72 sont appliquées contre la paroi de la conduite 12.

[0045] L'appareil peut alors être aisément déplacé jusqu'à un autre emplacement de contrôle.

[0046] On conçoit qu'il est ainsi possible de procéder à un très grand nombre de contrôles le long de la conduite et donc d'obtenir un contrôle sensiblement en continu sur toute la longueur d'une canalisation.

[0047] On notera enfin que les galets 64 ont, de préférence, une forme de disque dont le diamètre est sensiblement égal à 1/10 du diamètre de la conduite afin de conserver une similitude mécanique avec les modèles utilisés pour l'établissement des relations mentionnées précédemment permettant le calcul de la densité sèche.

Revendications

1. Procédé de contrôle du compactage d'un remblai (10) d'enrobage d'une conduite (12), comportant les étapes consistant à:

- appliquer un effort (F) sur le remblai (10) de manière à obtenir une déformabilité (D) résultante de ce dernier,
- mesurer la déformation (D) du remblai,

caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes consistant à

- calculer le module élastique du remblai (10) à partir de l'effort appliqué et de la déformation mesurée,
- déterminer la densité sèche du remblai (10) à partir du module élastique calculé et de la nature du remblai, et
- comparer la densité sèche calculée avec une valeur de densité sèche correspondant à un compactage optimum du remblai,

en ce que l'effort appliqué sur le remblai est appliqué par l'intermédiaire de la conduite (12), en exerçant un effort sur la surface interne de la conduite (12), et

en ce que la déformation du remblai est obtenue en mesurant la déformation de la paroi de la conduite (12).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'étape d'application de l'effort sur le remblai (10) consiste

à exercer un effort radial sur deux zones diamétralement opposées de la paroi de la conduite de manière à rendre sensiblement ovale sa section en coupe transversale.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** l'étape de calcul du module élastique du remblai (10) comporte les étapes consistant à calculer la raideur du remblai, par calcul du rapport entre la valeur de l'effort (F) appliqué et la valeur de la déformation (D) résultante, et à calculer le module d'élasticité du remblai (10) à partir de la raideur calculée.
4. Appareil de contrôle du compactage d'un remblai (10) d'enrobage d'une conduite (12), pour la mise en oeuvre d'un procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'il** comporte des moyens (24) pour appliquer un effort sur la paroi de la conduite (12) de manière à la déformer, des moyens de mesure (26) de la déformation (D) résultante de la paroi de la conduite (12) et une unité centrale de traitement à laquelle sont raccordées lesdits moyens de mesure (26) et comportant des moyens de calcul de la densité sèche du remblai (10) à partir des valeurs de l'effort (F) appliqué et de la déformation (D) résultante de la paroi de la conduite (12), et des moyens de comparaison de la valeur de la densité sèche délivrée par les moyens de calcul avec une valeur de densité sèche correspondant à un compactage optimum du remblai (10).
5. Appareil de contrôle selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** les moyens (24) pour appliquer un effort sur la paroi de la conduite (12) comportent au moins un vérin (28,30,32,34), et **en ce qu'il** comporte en outre un capteur de pression (38) disposé dans le circuit fluide d'alimentation du ou de chaque vérin et raccordé à l'unité centrale de traitement.
6. Appareil de contrôle selon la revendication 5, **caractérisé en ce qu'il** comporte deux groupes d'au moins un vérin, le ou les vérins de l'un des groupes exerçant, en fonctionnement, un effort (F) selon un sens opposé à celui exercé par le ou les vérins de l'autre groupe.
7. Appareil de contrôle selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** chaque groupe de vérins comporte une paire de vérins disposés de part et d'autre des moyens de mesure de la déformation de la conduite.
8. Appareil de contrôle selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'il** comporte deux patins (48,50) d'appui sur la surface interne de la paroi de la conduite (12) montés chacun sur les extrémités actives des vérins et de l'une des paires de vérins.
9. Appareil de contrôle selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** chaque patin (48,50) comporte deux zones d'extrémités opposées (52,54) munies chacune de moyens (58) de montage sur un vérin et une zone médiane (62) sur la face externe de laquelle est monté un galet (64) d'application de l'effort sur la conduite.
10. Appareil de contrôle selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** chaque galet et chaque patin (48,50) sont pourvus d'un orifice (68) pour le passage des moyens de mesure (26) de la déformation de la paroi de la conduite.
11. Appareil de contrôle selon l'une des revendications 9 et 10, **caractérisé en ce que** chaque galet (64) a une forme de disque dont le diamètre est sensiblement égal à un dixième du diamètre de la conduite.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern der Verdichtung einer Aufschüttung (10) für die Umhüllung einer Leitung (12), das die Schritte umfasst, die darin bestehen:
 - auf die Aufschüttung (10) eine Kraft (F) in der Weise auszuüben, dass eine resultierende Verformbarkeit (D) dieser letzteren erhalten wird,
 - die Verformung (D) der Aufschüttung zu messen,

dadurch gekennzeichnet, dass es außerdem die Schritte umfasst, die darin bestehen:

 - den Elastizitätsmodul der Aufschüttung (10) anhand der ausgeübten Kraft und der gemessenen Verformung zu berechnen,
 - die Trockendichte der Aufschüttung (10) anhand des berechneten Elastizitätsmoduls und der Art der Aufschüt-

tung zu bestimmen und

- die berechnete Trockendichte mit einem Trockendichtewert zu vergleichen, der einer optimalen Verdichtung der Aufschüttung entspricht,

dass die auf die Aufschüttung ausgeübte Kraft über die Leitung (12) ausgeübt wird, indem auf die innere Oberfläche der Leitung (12) eine Kraft ausgeübt wird, und

dass die Verformung der Aufschüttung durch Messen der Verformung der Wand der Leitung (12) erhalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt des Ausübens der Kraft auf die Aufschüttung (10) darin besteht, auf zwei diametral gegenüberliegende Zonen der Wand der Leitung eine radiale Kraft in der Weise auszuüben, dass ihr transversaler Querschnitt im Wesentlichen oval wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt des Berechnens des Elastizitätsmoduls der Aufschüttung (10) die Schritte umfasst, die darin bestehen, den Radius der Aufschüttung durch Berechnen des Verhältnisses zwischen dem Wert der ausgeübten Kraft (F) und dem Wert der resultierenden Verformung (D) zu berechnen und den Elastizitätsmodul der Aufschüttung (10) anhand des berechneten Radius zu berechnen.

4. Vorrichtung für die Steuerung der Verdichtung einer Aufschüttung (10) für die Umhüllung einer Leitung (10) für die Ausführung eines Steuerverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** es Mittel (24), die auf die Wand der Leitung (12) eine Kraft in der Weise ausüben, dass sie verformt wird, Mittel (26) zum Messen der resultierenden Verformung (D) der Wand der Leitung (12) sowie eine Zentraleinheit umfasst, mit der die Messmittel (26) verbunden sind und die Mittel zum Berechnen der Trockendichte der Aufschüttung (10) anhand der Werte der ausgeübten Kraft (F) und der resultierenden Verformung (D) der Wand der Leitung (12) und Mittel zum Vergleichen des von den Berechnungsmitteln gelieferten Wertes der Trockendichte mit einem Trockendichtewert, der einer optimalen Verdichtung der Aufschüttung (10) entspricht, enthält.

5. Steuervorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (24) zum Ausüben einer Kraft auf die Wand der Leitung (12) wenigstens einen Stellzylinder (28, 30, 32, 34) umfassen, und dass sie außerdem einen Drucksensor (38) umfasst, der in dem Fluidkreis für die Versorgung des oder jedes Stellzylinders angeordnet und mit der Zentraleinheit verbunden ist.

6. Steuervorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie zwei Gruppen aus wenigstens einem Stellzylinder umfasst, wobei der oder die Stellzylinder einer der Gruppen im Betrieb eine Kraft (F) in einer Richtung ausüben, die zu der Kraft entgegengesetzt ist, die durch den oder die Stellzylinder der anderen Gruppe ausgeübt wird.

7. Steuervorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellzylindergruppe ein Paar Stellzylinder umfasst, die beiderseits der Mittel zum Messen der Verformung der Leitung angeordnet sind.

8. Steuervorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie zwei Kufen (48, 50) für die Abstützung an der inneren Oberfläche der Wand der Leitung (12) umfasst, die jeweils an den aktiven Enden der Stellzylinder und an einem der Paare der Stellzylinder angebracht sind.

9. Steuervorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Kufe (48, 50) zwei gegenüberliegende Stimzonen (52, 54), die jeweils mit Mitteln (58) für die Anbringung an einem Stellzylinder versehen sind, und eine mittlere Zone (62), auf deren äußerer Fläche eine Rolle (64) für die Ausübung der Kraft auf die Leitung angebracht ist, umfasst.

10. Steuervorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Rolle und jede Kufe (48, 50) mit einer Öffnung (68) für den Durchgang der Mittel (26) für die Messung der Verformung der Wand der Leitung versehen ist.

11. Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 9 und 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Rolle (64) die Form einer Scheibe hat, deren Durchmesser im Wesentlichen gleich einem Zehntel des Durchmessers der Leitung ist.

Claims

1. Method of monitoring the compaction of a backfill for embedding a pipe, comprising the steps consisting of:

- applying a force (F) to the backfill (10) in such a way as to obtain a deformability (D) resulting therefrom,
- measuring the deformation (D) of the backfill,

characterised in that it further comprises the steps consisting of:

- calculating the modulus of elasticity of the backfill (10) from the applied force and from the measured deformation,
- determining the dry density of the backfill (10) from the calculated modulus of elasticity and from the nature of the backfill, and
- comparing the calculated dry density with a dry density value corresponding to an optimum compaction of the backfill,

that the force applied to the backfill is applied by means of the pipe (12), by exerting a force on the internal surface of the pipe (12), and

that the deformation of the backfill is obtained by measuring the deformation of the wall of the pipe (12).

2. Method as claimed in Claim 1, **characterised in that** the step of application of the force to the backfill (10) consists of exerting a radial force on two diametrically opposed zones of the wall in such a way as to make the cross-section thereof substantially oval.

3. Method as claimed in one of Claims 1 and 2, **characterised in that** the step of calculation of the modulus of elasticity of the backfill (10) comprises the steps consisting of calculating the stiffness of the backfill, by calculation of the ratio between the value of the applied force (F) and the value of the resulting deformation (D), and of calculating the modulus of elasticity of the backfill (10) from the calculated stiffness.

4. Apparatus for monitoring the compaction of a backfill (10) for embedding a pipe (12) for carrying out the method of monitoring as claimed in any one of Claims 1 to 3, **characterised in that** it comprises means (24) for applying a force to the wall of the pipe (12) in such a way as to deform it, means (26) for measuring the resulting deformation (D) of the wall of the pipe (12), and a central processing unit to which the said measuring means (26) are connected and having means for calculating the dry density of the backfill (10) from values of the applied force (F) and of the resulting deformation (D) of the wall of the pipe (12), and means for comparison of the dry density value delivered by the calculating means with a dry density value corresponding to an optimum compaction of the backfill (10).

5. Monitoring apparatus as claimed in Claim 4, **characterised in that** the means (24) for applying a force to the wall of the pipe (12) comprise at least one jack (28, 30, 32, 34), and that it further comprises a pressure sensor (38) disposed in a fluid feed circuit of the or each jack and connected to the central processing unit.

6. Monitoring apparatus as claimed in Claim 5, **characterised in that** it comprises two groups of at least one jack, wherein in operation the jack or jacks of one of the groups exert(s) a force (F) in a direction opposite to that exerted by jack or jacks of the other group.

7. Monitoring apparatus as claimed in Claim 6, **characterised in that** each group of jacks comprises a pair of jacks disposed on either side of the means for measuring the deformation of the pipe.

8. Monitoring apparatus as claimed in Claim 7, **characterised in that** it comprises two blocks (48, 50) for bearing on the internal surface of the wall of the pipe (12) which are each mounted on the active ends of the jacks and of one of the pairs of jacks.

9. Monitoring apparatus as claimed in Claim 8, **characterised in that** each block (48, 50) comprises two opposed end zones (52, 54) each equipped with means (58) for mounting on a jack and a central zone (62) on the outer face of which is mounted a wheel (64) for application of the force to the pipe.

10. Monitoring apparatus as claimed in Claim 9, **characterised in that** each wheel and each block (48, 50) is provided with a hole (68) for passage of the means (26) for measuring the deformation of the wall of the pipe.

11. Monitoring apparatus as claimed in one of Claims 9 and 10, **characterised in that** each wheel (64) has the shape of a disc of which the diameter is substantially equal to one tenth of the diameter of the pipe.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

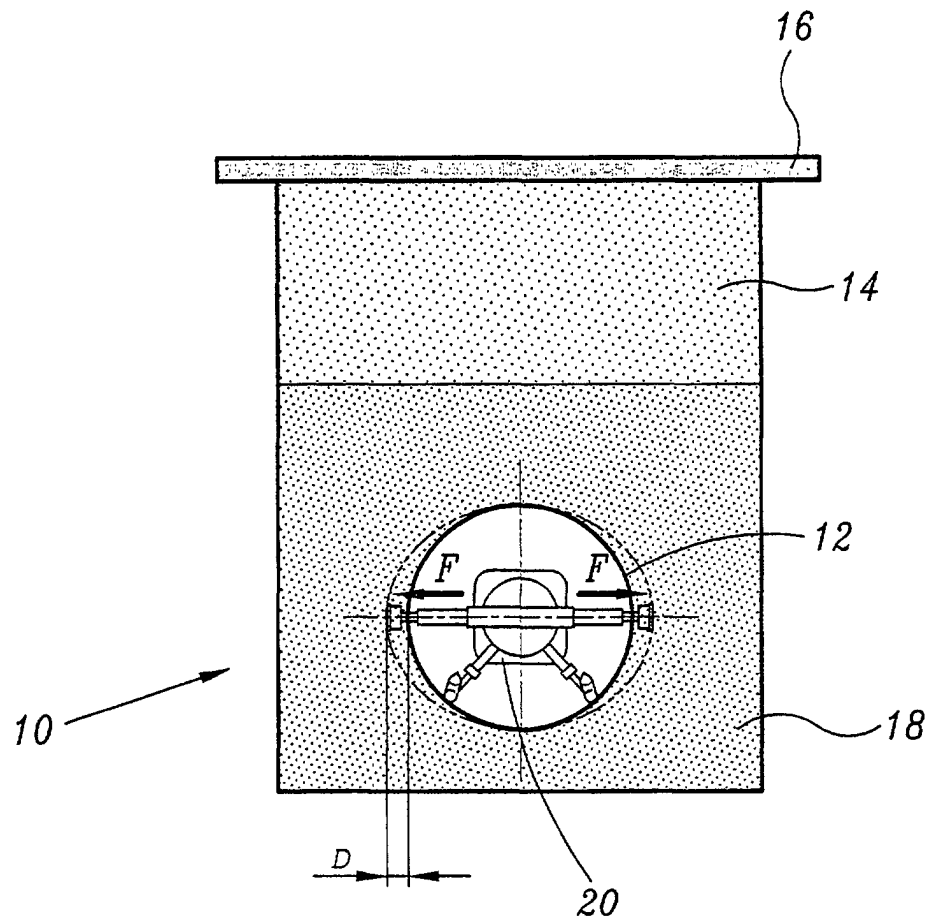


FIG. 1

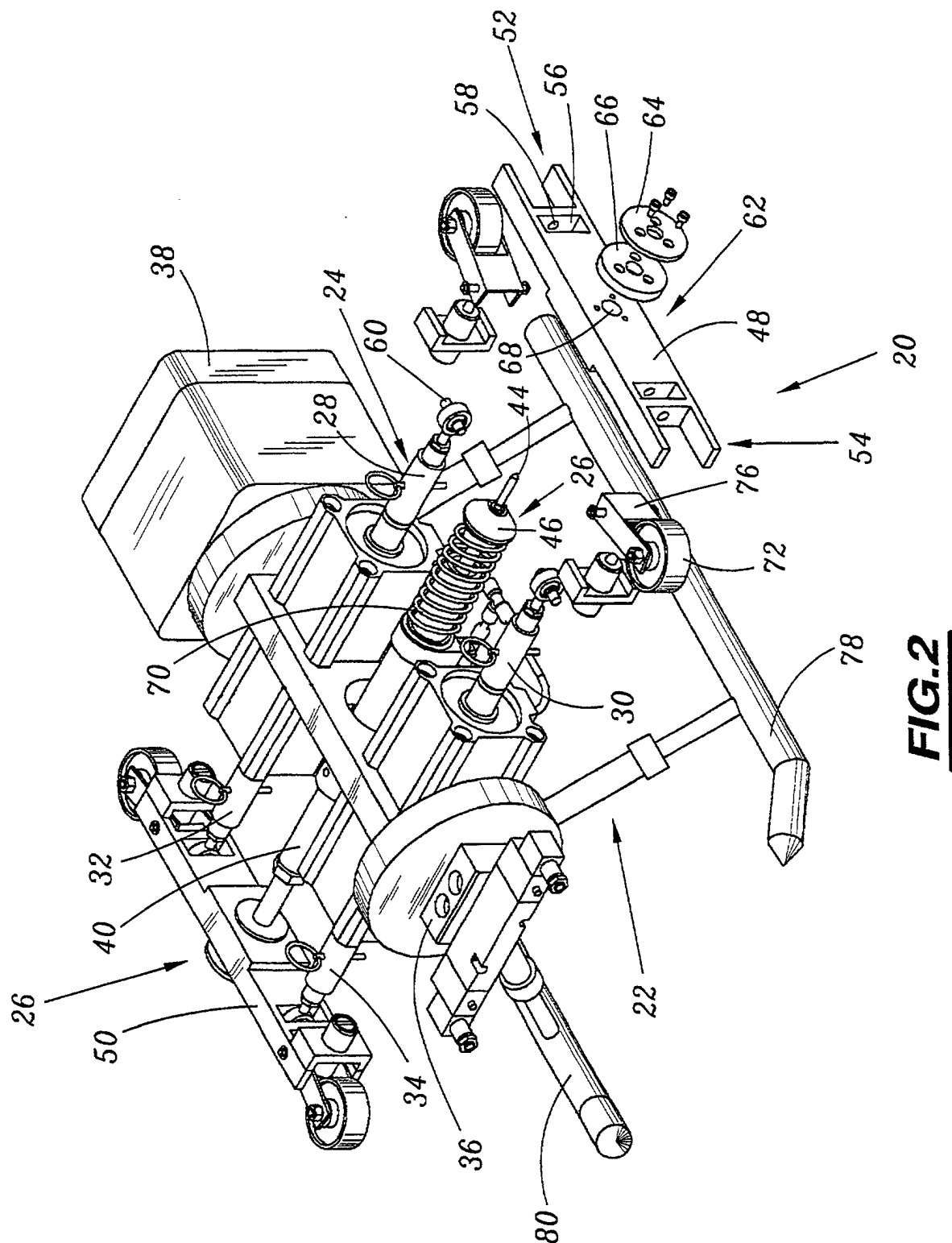


FIG. 2