

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 8 février 1985.

30 Priorité : DE, 9 février 1984, n° P 34 04 496.5.

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 33 du 16 août 1985.

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : GEWERKSCHAFT EISENHUETTE  
WESTFALIA, société de droit allemand. — DE.

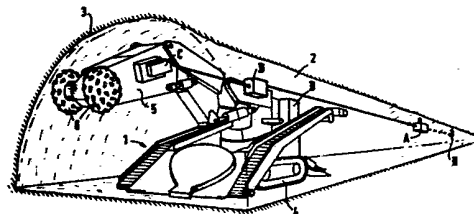
72 Inventeur(s) : Johannes Koenig, Wilhelm Kurfuerst,  
Hans-Günther Willers et Martin Reuter.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : Cabinet Pierre Loyer.

54 Procédé et dispositif de surveillance et/ou de commande d'une machine de creusement et notamment d'une machine ponctuelle.

57 L'invention concerne un procédé et un dispositif de détermination de la position de la tête de fraisage 6, d'une machine de creusement, notamment d'une machine ponctuelle. Selon l'invention, la détermination de la position de la tête de fraisage 6 est réalisée automatiquement et en étant commandée par une calculatrice entre un point de référence connu et fixe A, éloigné de la machine, et un bras de fraisage 5, par une mesure par tracé polygonal, à l'aide des sections mesurées par laser représentant les côtés du polygone. Le système de mesure permet d'obtenir la position précise de la tête de fraisage pendant l'abattage et de ce fait une surveillance fiable et/ou une commande précise du bras de fraisage pour obtenir le profil désiré.



Procédé et dispositif de surveillance et/ou de commande d'une machine de creusement et notamment d'une machine ponctuelle.

- 5 L'invention concerne un procédé et un dispositif de surveillance et/ou de commande d'une machine de creusement, notamment d'une machine ponctuelle, grâce auxquels la position de la tête de fraisage de la machine de creusement est déterminée à l'aide d'un système de mesure travaillant avec des rayons laser.
- 10 Les machines ponctuelles connues qui sont destinées au creusement de cavités souterraines telles que des tunnels, des galeries, des voies souterraines et analogues, comprennent un bras de creusement pouvant être pivoté en hauteur et latéralement, supportant à son extrémité libre une tête de fraisage entraînée. Dans le passé, on a mis
- 15 au point de nombreux procédés et dispositifs pour découper avec précision un profil déterminé d'une galerie et orienter cette galerie avec une grande précision (DE-AS 19 55 866, DE-AS 22 01 403, DE-AS 25 31 759, DE-OS 24 58 514, DE-OS 24 16 947). Les procédés et les dispositifs connus fonctionnent en règle générale à l'aide d'un rayon
- 20 laser fixe dans l'espace, servant de rayon conducteur fixe. Comme le rayon laser est fixe dans l'espace mais comme la tête de fraisage peut se déplacer librement dans toutes les directions, les procédés connus délimitent dans le meilleur des cas un profil à l'intérieur duquel la tête de fraisage peut se déplacer librement, ou bien ils fournissent à
- 25 la machine ponctuelle une information ne concernant qu'une unique direction. Par extrapolation de cette information, la machine ponctuelle peut alors exécuter de petits mouvements. La liberté de mouvement et la précision de travail de la machine sont fortement limitées. Quand la machine ponctuelle doit exécuter des mouvements plus
- 30 importants, il est nécessaire de réajuster à la main le laser de guidage. Une mesure continue de la distance séparant le laser de la machine ponctuelle et la détermination de la position dans l'espace de la tête de fraisage qui en serait déduite n'est donc pas possible du fait que le laser n'établit toujours qu'un contact de courte durée avec
- 35 la machine. En outre, les procédés connus sont pour la plupart

spécifiques aux machines du fait que les variables géométriques des divers types de machines ponctuelles participent au calcul des coordonnées. Finalement, un autre inconvénient des procédés connus est qu'il faut toujours réaliser une mesure après un changement de position  
5 de la machine ponctuelle et avant de recommencer le travail de creusement, mesure au cours de laquelle un élément de marquage disposé sur le bras de fraisage est amené à coïncider avec le rayon laser de manière à déterminer la position réelle de la machine ponctuelle ou sa déviation par rapport à la position de consigne, et ensuite faire  
10 exécuter le programme de travail du bras de fraisage commandé par une calculatrice. Dans le cas où la machine ponctuelle change de position pendant son travail de creusement, ceci ne pouvant pas être exclu même quand la machine est bien étayée, une découpe conforme au profil n'est plus possible.

15 Le but de l'invention est la mise au point d'un procédé perfectionné au moyen duquel on puisse déterminer à tout moment pendant le fonctionnement de la machine, et indépendamment de cette dernière, la position précise de la tête de fraisage, et qui serve soit de procédé de surveillance pure quand il s'agit d'une commande manuelle de  
20 la machine de creusement ou de la machine ponctuelle en vue de limiter la plage de pivotement de la tête de fraisage ou du bras de fraisage à celle du profil de consigne, ou encore qui puisse être utilisé pour la commande elle-même de la machine de creusement. En outre, l'invention vise un dispositif de service pour la mise en oeuvre du procédé, se  
25 caractérisant par une sécurité de fonctionnement élevée dans les conditions de fonctionnement que l'on rencontre pendant le creusement de tunnels et dans les mines, et grâce auquel on puisse à tout moment obtenir une détermination précise de la position de la tête de fraisage dans l'espace.

30 Le but sus-mentionné est atteint au moyen du procédé selon l'invention consistant à déterminer la position de la tête de fraisage en partant d'un point de référence connu et fixe dans l'espace et jusqu'à la machine de creusement ou jusqu'à son bras de fraisage, effectuer une mesure par tracé polygonal et par calculatrice à l'aide  
35 d'au moins une section de mesure par laser représentant un côté du

polygone. La mesure par tracé polygonal est alors réalisé  
avantageusement pendant le fonctionnement de la machine de creusement  
pour constamment déterminer la position de la tête de fraisage qui peut  
pivoter en hauteur et latéralement, et ceci de façon continue et  
5 automatique de manière que l'on connaisse à tout moment la position  
dans l'espace de la tête de fraisage.

Grâce à l'invention, il est créé un procédé de mesure indépendant  
de la machine de creusement ou de la machine ponctuelle, se basant sur  
l'idée d'un tracé polygonal et au moyen duquel la position de la tête  
10 de fraisage de la machine est connue à tout moment en étant mesurée par  
une calculatrice avec une précision suffisamment élevée, à l'aide d'un  
système de mesure qui est largement indépendant du type de la machine  
de creusement ou de la machine ponctuelle utilisée. Les coordonnées de  
la tête de fraisage sont alors déterminées continuellement par rapport  
15 au système de coordonnées du point de référence dont la position est  
connue. La mesure par tracé polygonal est avantageusement effectuée au  
moyen de deux points auxiliaires formant des angles du polygone, dont  
l'un qui est le point de référence est disposé à une distance plus  
importante de la machine de creusement et dont le second est disposé  
20 sur la machine, un autre point polygonal au moins étant éventuellement  
prévu entre ces deux points. Pendant les travaux de coupe, la position  
relative du système de coordonnées du ou des points auxiliaires est  
déterminée successivement par la calculatrice en partant du point de  
référence ou de départ en utilisant des appareils de mesure d'angles et  
25 de longueurs, et on déduit à tout moment des valeurs obtenues la  
position réelle de la tête de fraisage au moyen d'une calculatrice. La  
position relative des systèmes de coordonnées de deux points se suivant  
dans le tracé polygonal peut être clairement déterminée d'une façon  
connue en soi par une transformation des coordonnées en fonction de six  
30 variables linéaires indépendantes.

D'autres caractéristiques essentielles du procédé de l'invention  
consistent entre autres dans ce qui suit: la ou les sections mesurées  
par laser est ou sont obtenues de préférence par réflexion du rayon  
laser vers le point de départ. Il est en outre recommandé de  
35 transmettre par les sections mesurées par laser les données de mesure

obtenues grâce à une modulation du rayon laser entre un point  
auxiliaire et le suivant. La détermination des coordonnées du ou des  
points de mesure du tracé polygonal est réalisé avantageusement par une  
mesure angulaire en combinaison avec une mesure des distances séparant  
5 les points auxiliaires, c'est-à-dire les longueurs du ou des côtés du  
polygone. La mesure de longueur peut être effectuée facilement à l'aide  
d'une mesure de la durée du parcours des rayons laser entre les points  
auxiliaires ou les points du polygone. Une unité centrale comprenant  
une calculatrice centrale qui est avantageusement disposée sur le  
10 châssis de la machine de creusement reçoit toutes les informations  
concernant les coordonnées relatives des parcours partiels et des  
directions du tracé polygonal ou bien reçoit les coordonnées du dernier  
membre polygonal par rapport au système fixe et calcule à partir de ces  
informations la position réelle de la tête de fraisage à chaque moment.  
15 La calculatrice peut être simultanément utilisée pour conduire la  
machine de creusement, par exemple pour la diriger quand elle exécute  
le profil.

Pour la mise en oeuvre du procédé de l'invention, on utilise avec  
avantage un dispositif caractérisé par le fait que pour réaliser un  
20 tracé polygonal à rayons laser passant par au moins deux points du  
polygone, les points individuels du polygone sont chacun constitués par  
une station de mesure dont la dernière est montée sur la machine de  
creusement ou sur son bras de fraisage pivotant alors que la station de  
mesure qui forme le début du tracé polygonal est montée à une certaine  
25 distance et de façon fixe dans la galerie ou analogue, une station de  
mesure auxiliaire au moins étant éventuellement prévue entre les  
stations de mesure sus-mentionnées, qu'en outre la station de mesure  
formant le début du tracé polygonal et éventuellement la ou les  
stations de mesure auxiliaires comprennent chacune un laser pour  
30 obtenir la section mesurée par laser, que toutes les stations de mesure  
sont munies d'appareils de mesure angulaire, qu'en outre la station de  
mesure qui est disposée sur la machine de creusement ou sur son bras de  
fraisage et éventuellement la ou les stations de mesure auxiliaires  
sont respectivement équipées d'un organe de repérage et de mesure par  
35 rayon laser, et qu'il est prévu une transmission des données à une

unité centrale de la calculatrice centrale, qui comprend un dispositif d'affichage et/ou une unité de commande commandant la machine de creusement. Dans la ou les stations de mesure qui représentent les points du tracé polygonal sont disposées des calculatrices secondaires qui commandent les opérations de détermination des données de mesure et communiquent les unes avec les autres ainsi qu'avec la calculatrice centrale. Les calculatrices secondaires peuvent alors calculer éventuellement les coordonnées concernant les données transmises par le laser incident, moduler ces données de position sur les rayons laser en partant et/ou communiquer avec la calculatrice centrale. Du fait que les sections mesurées par laser, comme mentionné, sont mesurées de préférence par réflexion, l'agencement est avantageusement conçu de manière qu'à partir de chaque point de départ d'une section partielle d'un tracé polygonal, un laser commandé par calculatrice et disposé dans la station de mesure concernée repère un miroir triple passif situé à l'extrémité de cette section partielle, qui réfléchit le rayon laser. Un miroir triple possède de façon connue la propriété de toujours réfléchir un rayon de lumière parallèlement à lui-même. Le déport parallèle du rayon de lumière réfléchi est alors proportionnel à la distance séparant le rayon laser incident du centre du miroir triple. Du fait que le déport parallèle est nul pour un rayon laser arrivant au centre du miroir triple, on obtient ainsi un critère de réglage pour orienter avec précision le rayon laser sur le miroir triple. Les miroirs triples présentent en général une surface de base en trigone. Mais il est avantageux d'utiliser avec le dispositif selon l'invention un miroir triple à base hexagonale ou ronde de manière que pour un diamètre favorable du rayon laser compris entre environ 10 et 15 mm on obtienne un diamètre suffisamment important de la base du miroir triple pour atteindre les buts de l'invention. Comme mentionné, la transmission des données est réalisée avantageusement par l'intermédiaire des sections mesurées par laser, par modulation des rayons laser. A l'arrière du centre du miroir triple est avantageusement prévue une photodiode qui reçoit l'information (données de position) transmise par l'intermédiaire du rayon laser. Les miroirs triples comprennent avantageusement dans leur axe une fenêtre destinée

au passage du rayon laser. A l'arrière de la fenêtre on dispose  
avantageusement un dispositif de détermination de la direction du rayon  
laser incident.

D'autres caractéristiques avantageuses de l'invention apparaîtront  
5 à la lecture des revendications annexées.

L'invention va maintenant être expliquée plus en détail avec  
référence au mode de réalisation représenté sur le dessin annexé dans  
lequel:

la figure 1 est une vue schématique en perspective d'une machine  
10 ponctuelle en position de travail à l'intérieur d'un tunnel ou d'une  
galerie, avec le dispositif selon l'invention représenté  
schématiquement,

la figure 2 représente le dispositif de la figure 1 sous forme  
d'un schéma par blocs,

15 la figure 3 représente le tracé polygonal en liaison avec des  
systèmes de coordonnées individuels dans les stations de mesure formant  
les angles du polygone,

la figure 4 représente une tête de mesure à laser utilisée avec le  
dispositif selon l'invention,

20 les figures 5 à 7 sont des vues en perspective des stations de  
mesure individuelles du tracé polygonal,

la figure 8 représente un guide de lumière bidimensionnel sur la  
base d'une plaque de verre avec un dispositif de focalisation.

A la figure 1 est représentée une machine ponctuelle 1 connue en  
25 soi, dans sa position de travail devant le front de taille et à  
l'intérieur d'un ouvrage souterrain à creuser tel qu'un tunnel, une  
galerie souterraine ou analogue 2. La galerie 2 est creusée, dans le  
mode de réalisation représenté, selon un profil en fer à cheval 3. La  
machine ponctuelle 1 peut se déplacer dans la galerie 2 au moyen de  
30 chenilles 4; elle comprend un bras de fraisage 5 qui supporte à son  
extrémité libre une tête de fraisage entraînée 6 qui peut tourner  
autour d'un axe transversal à l'axe longitudinal du bras de fraisage 5.  
Ce bras de fraisage 5 et la tête de fraisage 6 sont montés de manière à  
pouvoir pivoter aussi bien en hauteur que latéralement sur le châssis  
35 de la machine ponctuelle 1.

Four creuser la galerie 2 dans une direction précise et pour découper le profil de consigne 3 de la galerie 2 conformément au profil prévu, on mesure de façon continue et automatique, à l'aide d'une mesure par tracé polygonal, la position à tout moment de la tête de  
5 fraisage 6. La mesure par tracé polygonal s'effectue par l'intermédiaire d'au moins deux points auxiliaires formant les angles du polygone, soit par l'intermédiaire des points auxiliaires A, B et C dans l'exemple de réalisation décrit. Le point auxiliaire A constitue le point de référence ou de départ de la mesure par tracé polygonal et  
10 il est fixe dans la galerie 2, à une distance importante à l'arrière de la machine ponctuelle 1. La distance entre le point auxiliaire A et la machine ponctuelle peut être comprise entre 60 et 120 m. Le point auxiliaire B est situé en un point qui est visible depuis le point auxiliaire A ou à proximité de la machine ponctuelle 1, et sur le  
15 châssis de cette machine ponctuelle dans l'exemple choisi. Le point auxiliaire C qui constitue le point terminal du tracé polygonal est situé dans une position visible depuis le point auxiliaire B sur le bras de fraisage 5 de la machine ponctuelle. Il se déplace avec la tête de fraisage 6 quand le bras de fraisage 5 effectue des mouvements de  
20 pivotement en hauteur et latéralement.

Il va de soi qu'entre le point de référence fixe A et le point auxiliaire C qui se déplace dans l'espace, on peut prévoir plusieurs autres points auxiliaires B. En général, il suffit cependant d'une mesure par tracé polygonal passant par les trois points auxiliaires A,  
25 B et C. Dans de nombreux cas, le point auxiliaire B est superflu. Les points A et C sont alors mutuellement visibles.

Les coordonnées du point auxiliaire ou de référence fixe A sont déterminées par réglage vers l'arrière sur un ou deux points de référence H dont la position a été mesurée et, en cas de besoin, à  
30 nouveau contrôlées. Quand on utilise en A un instrument de navigation recherchant le nord, il suffit d'un unique point de référence; dans le cas contraire, il faut avoir recours à deux points de référence pour mesurer la position de A.

Grâce au système de mesure par tracé polygonal, on réalise pendant  
35 le fonctionnement de la machine ponctuelle 1 une mesure



tridimensionnelle continue du point auxiliaire C qui se déplace librement dans les trois dimensions dans l'espace, et de ce fait de la tête de fraisage qui est située à une distance constante du point auxiliaire C.

5        La figure 3 représente le tracé polygonal entre le point de référence fixe A et le point auxiliaire C qui peut se déplacer librement, avec le point auxiliaire B situé entre A et C et qui peut également se déplacer librement. Chacune des deux sections partielles A-B et B-C du tracé polygonal vectoriel tridimensionnel est constituée  
10 par une section mesurée par laser, permettant en plus une transmission unidirectionnelles de données entre la tête de mesure à laser et le sommet suivant du tracé polygonal. L'information sur les coordonnées de départ et les directions de départ des sections partielles individuelles est superposée au rayon laser de manière que  
15 l'information nécessaire au calcul des coordonnées des sommets soit disponible à chaque sommet du tracé polygonal. De ce fait, chacun des points A, B et C constitue une station de mesure. Les sections mesurées entre les stations de mesure sont représentées par un laser à une extrémité des sections mesurées et par un miroir triple à l'autre  
20 extrémité des sections mesurées. Le repérage et la mesure du miroir triple servant d'organe de repérage et de mesure s'effectue de façon automatique, comme cela sera expliqué plus en détail ci-dessous.

La figure 3 représente un tracé polygonal comprenant les points du polygone ou points auxiliaires A, B et C. La position relative des  
25 systèmes de coordonnées des points auxiliaires A, B et C est déterminée successivement, puis on calcule en partant des coordonnées relatives du point auxiliaire C les coordonnées se rapportant au système de référence du point A ou H, suite à quoi on détermine la position du point C et de ce fait de la tête de fraisage 6 qui est disposée de  
30 façon fixe par rapport à ce point C. Le calcul est réalisé par mesure des angles dans les trois directions dans l'espace ainsi que des longueurs des côtés du polygone.

Comme mentionné, le système de mesure est basé sur un tracé polygonal à rayons laser, les points d'extrémité des sections  
35 partielles (sections mesurées par laser) du tracé polygonal étant

mesurés à partir du point de départ du vecteur concerné (rayon de mesure par laser), de préférence en coordonnées polaires. L'angle d'inclinaison (inclinaison transversale, inclinaison longitudinale et angle de rotation) entre les axes du système de coordonnées du point de départ d'une section partielle (section mesurée par laser) et le rayon laser de la section partielle précédente (section mesurée par laser) sont également mesurés. Les coordonnées de la tête de fraisage 6 par rapport au point de départ A du tracé polygonal sont déterminées par une calculatrice en partant des coordonnées respectives des composants des vecteurs. La longueur  $R_{ab}$  ou  $R_{bc}$  des sections partielles est déterminée par une mesure de distance par laser. La mesure des angles entre un rayon laser incident et un rayon laser émergent est réalisée à l'aide de codeurs d'angle, et la mesure des angles par rapport à l'horizontale et à la verticale au moyen d'inclinomètres.

Chaque section mesurée par laser est constituée par un laser disposé à son début et par un miroir triple 7 disposé à son point terminal et constituant un organe de repérage et de mesure. Le repérage et la mesure du miroir triple s'effectuent automatiquement à l'aide d'une tête de mesure à laser 8.

A la figure 4 est représenté un mode de réalisation préféré d'une tête de mesure à laser de ce type, dont la fonction consiste à détecter et mesurer continuellement la position dans l'espace du miroir triple. On part du fait qu'un rayon laser venant frapper le miroir triple est réfléchi parallèlement au rayon incident, à une certaine distance de ce dernier, cette distance constituant une fonction univoque de la distance entre le rayon laser et le centre du miroir triple. Lorsqu'on balaye un miroir triple au moyen d'un faisceau de lumière parallèle, le déport parallèle du rayon réfléchi commence par diminuer jusqu'à ce qu'il ait atteint la position du rayon le plus proche du centre, puis recommence à augmenter. Le rayon laser est toujours déporté dans la direction parallèle dans laquelle, vue depuis le rayon émis, le centre du miroir triple est à rechercher. Pour diriger le rayon laser avec précision sur le miroir triple, il faut donc faire tourner le laser dans la direction dans laquelle le rayon réfléchi revient, jusqu'à ce que le rayon laser revienne exactement en coïncidant avec lui-même. Le

critère du réglage est donc un déport parallèle nul.

Grâce à la méthode qui vient d'être décrite, on peut donc trouver automatiquement un miroir triple dans un espace important quand on sait que dans cet espace ne se trouve qu'un unique miroir triple. Si le  
5 miroir triple a été trouvé par la tête de mesure à laser, cette dernière peut être réglée à l'aide du même critère sur son centre. La distance entre le miroir triple et le laser peut être déterminée par une mesure de la durée de parcours du rayon laser. La direction (c'est-à-dire deux angles) et la distance entre le miroir triple et le  
10 laser sont données par les coordonnées polaires du miroir triple. A la figure 4, le miroir triple qui est prévu dans chacune des stations de mesure B et C est désigné en 7. Les stations de mesure A et B comprennent respectivement une tête de mesure à laser 8 qui forme un ensemble unitaire fermé réglable par rapport au miroir triple 7 qui lui  
15 est associé. La tête de mesure à laser comprend un laser 9 constituant la source de rayons laser. Le rayon laser est renvoyé par un système optique grossissant 10 à l'aide d'une plaque diviseuse de rayon 11. Le laser 9 est donc disposé à angle droit par rapport à l'axe du système optique grossissant 10 et à la plaque diviseuse de rayon située à  
20 l'avant à une certaine distance, ce qui permet de réaliser une tête de mesure à laser de dimensions relativement réduites. Le rayon laser quitte la tête de mesure à laser 8 par une fenêtre 12, en passant par un système de lentilles 13. Le rayon laser réfléchi par le miroir triple 7 parcourt dans la tête de mesure à laser 8 diverses voies: la  
25 partie centrale de la lumière laser, c'est-à-dire celle qui parvient à l'intérieur de la fenêtre d'émission 12, est d'abord concentrée par l'optique de grossissement 10 qui fonctionne alors dans le sens inverse, et après avoir traversé la plaque diviseuse de rayon 11 qui est constituée par un miroir semi-transparent, est focalisée par une  
30 autre lentille (non représentée) sur une photodiode rapide 14. Cette dernière mesure la durée du parcours du rayon laser pour déterminer grâce à cette durée la distance entre le miroir triple 7 et la tête de mesure à laser 8, c'est-à-dire la longueur de la section mesurée par laser  $R_{ab}$  ou  $R_{bc}$ .

35 La partie du rayon laser réfléchi qui revient à l'extérieur du

rayon émis vient frapper le système de lentilles 13. Ce dernier est constitué par deux ou quatre segments de lentilles de Fresnel 13', dont les axes optiques sont parallèles à l'axe central de l'optique de grossissement 10, en passant par deux ou quatre filtres spatiaux 15a à 15d. Les filtres spatiaux (diaphragmes) 15a à 15d sont disposés dans le plan focal du segment de lentille de Fresnel 13' situé à l'amont et ont pour fonction de laisser passer des rayons parallèles à l'axe optique, et en particulier les rayons réfléchis par le miroir triple. La subdivision des lentilles de Fresnel en segments permet de donner à la tête de mesure à laser 8 une longueur très courte du fait que le parcours suivi par les rayons entre les lentilles de Fresnel 13 et les filtres spatiaux 15a à 15d n'est pas gêné par l'optique de grossissement 10. A une certaine distance à l'arrière des filtres spatiaux 15a à 15d est respectivement disposé un détecteur XY divisé en quatre parties 16a à 16d, permettant d'évaluer le déport parallèle de la lumière réfléchie par rapport au rayon laser émis. Chaque détecteur XY est constitué par un détecteur sensible à la lumière. Du fait de la symétrie de révolution de la tête de mesure à laser 8, cette dernière est dirigée exactement vers le centre du miroir triple 7 quand les quatre détecteurs individuels 16a à 16b émettent le même signal de départ.

Comme dans le cas bien réglé l'intensité principale de la lumière laser réfléchie revient au centre et qu'il faut en tout cas une intensité suffisante de la lumière pour mesurer la durée du parcours par la photodiode 14, son agencement au centre est bien adapté au problème. Du fait que le rayon laser reçu est d'abord comprimé par l'optique de grossissement 10, la focalisation sur la photodiode 14 peut être réalisée au moyen d'une lentille de plus faible distance focale et donc en économisant de la place. Le réglage du laser 9 peut être facilement réalisé au moyen du miroir 11.

Le rayon laser peut être en outre modulé de façon à transmettre sur le même parcours suivi par la lumière laser des informations concernant par exemple la position de la tête de mesure à laser ou du miroir triple. La réception des données s'effectue par une photodiode 18 (figures 6 et 7), qui est disposée à l'arrière du centre du miroir

triple 14 muni d'une fenêtre 30 le traversant en son centre. Du fait que le rayon laser orienté parvient toujours au centre du miroir triple 14 et se réfléchit sur lui-même, on est d'une part assuré que le rayon laser parvient à la photodiode 18 et que par ailleurs l'émetteur qui est associé au laser 9 indique quand un parcours de transmission est interrompu par un obstacle. On est ainsi assuré d'une transmission fiable des données.

On décrira dans ce qui suit et avec référence aux figures 5 à 7 des modes de réalisation avantageux des stations de mesure A, B et C prévues aux angles du tracé polygonal. La station de mesure A selon la figure 5 est suspendue de façon à pouvoir être tournée autour de deux axes H et V. L'axe vertical V est fixe. La recherche et la mesure d'un miroir triple 14 à la station de mesure repérée B est réalisée par rotation de l'ensemble de la station de mesure A autour de cet axe à l'aide d'un mécanisme d'entraînement en rotation approprié. Les coordonnées du miroir triple repéré 14 peuvent être ensuite transmises à la station de mesure B de façon unidirectionnelle par l'intermédiaire de la section mesurée par laser.

La station de mesure A selon la figure 5 est constituée par une tête de mesure à laser 8 du type représenté à la figure 4, un détecteur d'inclinaison longitudinale de précision 19, un détecteur d'inclinaison transversal 20 et un instrument de navigation recherchant le nord 21 (compas gyroscopique). Mais on peut prévoir à la place du système de navigation recherchant le nord 21 un codeur d'angle incrémental et un codeur d'angle de précision. Tous les composants sus-mentionnés sont réunis dans la station de mesure A en un ensemble compact qui peut tourner autour des axes H et V.

Les détecteurs d'inclinaison 19 et 20 déterminent l'inclinaison en longueur de la station de mesure par rapport à l'horizontale. Le système de navigation par recherche du nord 21 (compas gyroscopique) détermine l'angle entre l'axe nord-sud de la terre et la station de mesure A. Les coordonnées de la station de mesure A peuvent être déterminées par repérage d'un miroir triple 7 se trouvant dans une position connue (position H à la figure 1), l'information de direction qui est également nécessaire étant fournie par les détecteurs

d'inclinaison 19 et 20 et par le système de navigation par recherche du nord 21.

Dans le cas où le système de navigation par recherche du nord est remplacé par le codeur d'angle sus-mentionné, on peut déterminer les  
5 coordonnées de la station de mesure A par repérage d'un miroir triple 7 dans une position connue (H à la figure 1). De ce fait, le point zéro du détecteur d'angle incrémental pour les axes H et V est également déterminé. La troisième information d'angle qui est également  
nécessaire est fournie par les deux détecteurs d'inclinaison 19 et 20.

10 Comme mentionné, la station de mesure A repère le miroir triple 14 à la station de mesure B, dont la position est inconnue. L'information sur la distance, obtenue par la mesure de la durée écoulée, avec les informations d'angle des codeurs d'angle et des détecteur  
d'inclinaison, permettent de calculer les coordonnées du miroir triple.

15 La station de mesure B est constituée, selon la figure 6, d'une tête de laser 8, d'un oeil optique unidirectionnel 22, d'une photodiode 18 destinée à la démodulation du laser, d'un détecteur d'inclinaison de précision (inclinaison longitudinale) 23, d'un détecteur d'inclinaison  
transversale 24 et d'un miroir triple 7. En outre et pour augmenter la  
20 précision quand il s'agit d'inclinaisons longitudinales ou transversales importantes, on peut prévoir un codeur d'angle horizontal et vertical respectif 25 ou 26. Les inclinaisons plus importantes pour lesquelles les détecteurs d'inclinaison fonctionnent de façon imprécise  
peuvent alors être déterminées par les codeurs d'angle.

25 Tous les composants sus-mentionnés sont également réunis dans ce cas en un ensemble unitaire dans la station de mesure B. Cette dernière est commandée de manière à tourner soit autour des axes H et V d'une suspension à la Cardan ou analogue, soit encore montée, quand il s'agit  
d'angles de renvoi plus petits, sur un unique point de rotation d'une  
30 suspension à sphère. Les mouvements de rotation sont dans ce cas également calculés par la calculatrice et effectués par un mécanisme d'entraînement en rotation (non représenté).

Les coordonnées de la station de mesure B peuvent être déduites du rayon de mesure laser partant de la station de mesure A du tracé  
35 polygonal, se trouvant à l'amont. La direction du rayon laser partant

de la station de mesure B est déterminée au moyen des détecteurs d'inclinaison et de l'oeil optique unidimensionnel.

La station de mesure B recherche et mesure automatiquement le miroir triple 7 suivant dans la station de mesure C et envoie les  
5 coordonnées de mesure ainsi que toutes les informations qui arrivent sur la section mesurée par laser incidente vers la section mesurée par laser sortante. Dans le même temps, ces informations peuvent être transmises par l'intermédiaire d'une interface externe (figure 2).

Comme déjà indiqué ci-dessus, il est possible de disposer dans le  
10 tracé polygonal, les unes derrière les autres, un nombre important de stations de mesure B, qui peuvent être également de dimensions diverses, et constituer ainsi un tracé polygonal de longueur quelconque à partir de sections mesurées par laser.

La station de mesure C est constituée selon la figure 7 d'un  
15 miroir triple 7, d'un oeil optique unidimensionnel 22, d'une photodiode 18 destinée à la démodulation du laser, d'un détecteur d'inclinaison longitudinale 27, éventuellement d'un détecteur d'inclinaison transversale 28 et d'un détecteur CCD. Dans ce cas également, tous les composants sont réunis en un ensemble unitaire. La station de mesure C  
20 est rigidement et mécaniquement reliée au point à mesurer sur le bras de fraisage 5 de la machine ponctuelle. La distance entre ce point et la tête de fraisage 6 est connue, ce qui fait que l'on connaît également la position de la tête de fraisage 6 au moyen des coordonnées connues du point C. La direction entre le rayon incident de mesure par  
25 laser provenant de la station de mesure B et la ligne de liaison avec le point C ou avec la station de mesure C peut être déterminée au moyen du détecteur d'inclinaison et au moyen de l'oeil optique unidimensionnel 22. Dans le cas où la constitution mécanique empêche une inclinaison transversale de la station de mesure C ou lorsque cette  
30 dernière peut être négligée, on peut omettre le détecteur d'inclinaison transversale.

L'information de direction ainsi que les informations parvenant sur la section incidente mesurée par laser peuvent être émises vers l'extérieur par l'intermédiaire d'une interface externe (figure 2).

35 Au moins l'une des stations de mesure B et/ou C, et en général la

station de mesure C et la (dernière) station de mesure B sont, selon la figure 2, reliées par câble à la station centrale D qui, comme montré à la figure 1, est montée sur le châssis de la machine ponctuelle 1. La station centrale D comprend une calculatrice centrale (calculatrice principale) qui est alimentée par les calculatrices (secondaires) propres aux stations de mesure A, B et C (non représentées) avec les informations sur les coordonnées relatives des côtés du polygone et sur les directions, qui sont nécessaires au calcul du tracé polygonal dans l'espace et de ce fait à la détermination des coordonnées absolues de la station de mesure C. Comme la station de mesure C est à une distance fixe de la tête de fraisage 6, la calculatrice centrale peut ainsi déterminer la position de la tête de fraisage 6 à tout moment de l'opération de creusement. Les calculatrices propres aux stations pour lesquelles on utilise avantageusement des micro-ordinateurs, réalisent le relevé du miroir triple 7, le suivi du laser, le calcul des coordonnées et la transmission des données vers la station de mesure suivante ou vers la station de mesure centrale D. La calculatrice de la station de mesure A dirige le laser qui s'y trouve sur le miroir triple de la station de mesure B et ajuste d'éventuelles déviations déterminées par des mouvements de la machine ponctuelle dans la station de mesure B. En outre, il lit l'inclinomètre. Sur demande, la calculatrice peut fixer un point donné et le prendre comme point de référence pour d'autres calculs. La calculatrice de la station de mesure A transmet ses valeurs de mesure par la section mesurée par laser A-B à la calculatrice de la station de mesure suivante B. La calculatrice de la station de mesure B dirige le laser qui s'y trouve sur le miroir triple de la station suivante C et détermine également la position du rayon laser provenant de la station de mesure A dans l'oeil optique unidimensionnel sus-mentionné. En outre, la calculatrice de la station de mesure B lit l'inclinomètre qui s'y trouve et fournit les données déterminées par la station de mesure A par l'intermédiaire de la section de communication par laser, ainsi que les données rassemblées dans la station de mesure B pour les envoyer à la calculatrice centrale de la station centrale D. Dans la station de mesure C, un micro-ordinateur plus petit prend en charge la préparation



des données et les transfert à la calculatrice centrale de la station centrale D. La préparation des données consiste en la localisation du point lumineux dans l'oeil optique et par l'évaluation de l'inclinomètre se trouvant dans la station de mesure C. La calculatrice centrale de la station centrale D prend en charge l'évaluation centrale des données, c'est-à-dire le calcul des coordonnées de la tête de fraisage par rapport au point de référence fixe A ou H.

La station de mesure A comprend avantageusement une unité de commande comportant un clavier et un champ d'affichage sur lequel on peut voir l'état momentané de la calculatrice A. A l'aide du clavier, on peut déclencher le processus de repérage, envoyer ou arrêter le rayon laser et amener la station de mesure A dans un état défini (remise à l'état initial). L'utilisateur obtient par le champ d'affichage des informations lui permettant de savoir si la station de mesure A fonctionne normalement et si elle a repéré le miroir triple de la station de mesure B. La calculatrice de la station de mesure B sert surtout à la poursuite du laser qui s'y trouve ainsi qu'au calcul des coordonnées de la station de mesure C, alors que la calculatrice de la station de mesure C sert à la communication avec la calculatrice centrale de la station centrale D. Les informations qui sont superposées par modulation au rayon laser dans la station de mesure A et qui concernent l'endroit où se trouve le miroir triple de la station de mesure B (vue à partir de A) sont prises en charge par le rayon laser et transmises à la calculatrice de la station de mesure B. Pour les lasers qui peuvent être modulés en vue de la transmission de données et également de mesures de longueur, on utilise de préférence des lasers à semi-conducteurs qui sont robustes et compacts. Comme les lasers fonctionnent par réflexion, on peut savoir si une interruption du rayon laser a été provoquée par une personne au lieu d'émission. Ceci peut être utilisé pour arrêter le laser ou pour réduire son intensité. Pour réduire la divergence du rayon laser et focaliser ce rayon laser sur un point, on prévoit l'optique de grossissement sus-mentionnée, qui peut être constitué par un système à plusieurs lentilles, avec ou sans foyer intermédiaire et/ou filtres spatiaux. Avec le système de mesure décrit ci-dessus, une partie de la

lumière qui parvient au triple miroir 7 est découplée dans les coins  
 arrière du triple miroir en forme de tronc de cône en vue d'être  
 ultérieurement traitée dans un oeil optique unidimensionnel. Pour  
 découpler la lumière laser, les miroirs triples 7 comprennent en leur  
 5 centre une fenêtre traversante 30 (figure 4). L'angle  $\mathcal{F}$  entre le  
 système de coordonnées locales et le rayon laser incident doit être  
 déterminé aussi bien à la station de mesure B qu'à la station de mesure  
 C. La direction du rayon de lumière sortant par la fenêtre 30 du miroir  
 triple peut varier selon les valeurs angulaires  $\mathcal{F}$  et  $\Psi$ , l'angle  $\mathcal{F}$   
 10 étant l'angle horizontal à mesurer et l'angle  $\Psi$  l'angle vertical qui  
 n'est pas intéressant. Il vaut la peine d'éliminer l'angle  $\Psi$  par voie  
 optique pour pouvoir mesurer l'angle  $\mathcal{F}$  au moyen d'un détecteur  
 opto-électronique linéaire, et avantageusement un réseau linéaire CCD.  
 L'oeil optique unidimensionnel 22 sus-mentionné sert dans ce but et  
 15 sera maintenant expliqué plus en détail avec référence à la figure 8.  
 L'oeil optique unidimensionnel peut être constitué par une mince plaque  
 de verre à plans parallèles et optiquement transparente, qui transmet  
 la lumière qui passe par la fenêtre 30 du miroir triple 7 et vient  
 frapper sa surface frontale 32 sous des angles variables ( $\mathcal{F}$ ,  $\Psi$ ) par  
 20 rapport à la verticale, vers la surface frontale opposée 33 (guide de  
 lumière bi-dimensionnel; la lumière reste prisonnière dans la plaque  
 par une réflexion totale multiple quand on respecte des angles limites  
 déterminés). Le rayon de lumière sort en suivant un parcours  $\delta x$  par  
 rapport à la verticale, décalé du point d'entrée d'un angle de  
 25 sortie  $\mathcal{F}$ , qui correspond à l'angle d'entrée de la lumière. L'angle de  
 sortie  $\Psi$  est égal en valeur à l'angle d'entrée  $\Psi$  mais peut être de  
 signe contraire. La distance  $\delta x$  dépend de l'angle d'entrée  $\mathcal{F}$ , de la  
 longueur L de la plaque de verre 31 et de l'indice de réfraction  $n$  de  
 la plaque de verre, et elle ne dépend pas de l'angle  $\Psi$ .  
 30 Si le rayon de lumière incident a un diamètre dont l'ordre de  
 grandeur est celui de l'épaisseur de la plaque de verre 31, la  
 distribution de l'intensité de la lumière sortante ne dépend, en tenant  
 compte des angles limites, que de l'angle d'entrée  $\mathcal{F}$ . L'intensité  
 lumineuse sortante ne dépend pas dans une région située à l'arrière de  
 35 la plaque de verre (région triangulaire limitée par la surface frontale

de sortie 33 et par les côtés dont la direction est de  $\pm \Psi_{\max}$  de l'angle d'entrée  $\Psi$ . L'intensité lumineuse peut donc être captée par un étroit photodétecteur linéaire 29 (figures 6 et 7) monté à faible distance à l'arrière de la plaque de verre 31. L'endroit où se trouve le maximum de lumière sur le photodétecteur 29 ne dépend que de l'angle  $\Psi$  et du point d'incidence du rayon de lumière sur la surface d'entrée 32 de la plaque de verre 31. De façon connue, une lentille focalise tous les rayons de lumière venant de la même direction sur le même point, indépendamment du point d'incidence du rayon de lumière sur la lentille. Si l'on dispose une lentille cylindrique à l'entrée du rayon dans la plaque à plans parallèles en un emplacement approprié, l'endroit d'intensité maximale ne dépend que de l'angle d'entrée  $\Psi$ . Elle est en outre indépendante du lieu d'entrée. La lentille cylindrique peut, selon l'invention, être réalisée par assemblage, pour former la plaque à plans parallèles 31, de deux verres de pouvoir de diffraction différents et de forme appropriée. Dans l'exemple de réalisation préféré montré à la figure 8, la plaque de verre 31 dont le pourtour est de forme triangulaire ou trapézoïdal est constituée par une plaque 34 qui présente la surface frontale 32 sur le côté de l'arrivée de la lumière et une autre plaque de même épaisseur 35 dont la surface frontale 33 est sur le côté de la sortie de la lumière. Les deux verres à plans parallèles 34 et 35 et de pouvoir de diffraction différent sont couplés optiquement l'un à l'autre. La plaque de verre 34 présente sur sa face qui est à l'opposé de sa surface frontale plane 32 une surface cylindrique 36 dont le centre est situé à une distance marquée de la surface frontale 32. L'autre plaque de verre 35 est de forme correspondante cylindrique concave, sur sa surface frontale de raccordement. Les rayons R des plaques et le pouvoir de diffraction des verres différents 34 et 35 sont adaptés à chaque cas d'utilisation. En ce qui concerne le type de verre utilisé pour réaliser les verres 34 et 35, on envisage par exemple une combinaison de verre "crown" BK1 et de "flint lourd" SF6. Dans la configuration choisie, l'angle limite est d'environ 45°.

Comme mentionné, on utilise en tant que photodétecteur linéaire de la lumière laser traversant le miroir triple 7 un réseau CCD 29

recouvrant une zone angulaire d'environ  $\pm 40^\circ$ . Le détecteur CCD 29 est lu par la calculatrice propre à la station concernée, qui détermine l'emplacement du point de la lumière laser (maximum d'intensité) par la courbe de la répartition de l'intensité. La surface limite E des deux sections 34 et 35 de la plaque de verre 31 est calculée de manière que les rayons de lumière pénétrant par la fenêtre d'entrée 32 et de diverses coordonnées Y se rassemblent sur la ligne focale H. Des rayons de coordonnées verticales et d'angles différents sont transférés par réflexions totales vers la fenêtre de sortie 33. Le faisceau de rayons parallèles incidents se concentre donc le long de la ligne G, l'emplacement de G dans la direction Y ne dépendant que de l'angle  $\mathcal{Y}$  à mesurer.

Quand la surface limite E est constituée par une surface cylindrique, ce qui n'est pas absolument nécessaire, la ligne focale décrit le cercle F. Un photocapteur linéaire 29 disposé le long de la ligne H peut donc mesurer l'angle  $\mathcal{Y}$  d'un faisceau de lumière parallèle. En utilisant un détecteur à résolution élevée (réseau CCD 29) on peut obtenir une distribution de l'intensité qui est fonction de  $\mathcal{Y}$ .

Dans le système qui vient d'être décrit et quand on désire éliminer l'angle  $\Psi$  du parcours optique au moyen d'une plaque de verre mince à lentille intégrée, on rencontre le problème suivant: à la surface limite de deux milieux dont les indices de réfraction sont différents, une variation de l'angle  $\Psi$  a une influence sur les résultats de la mesure de l'angle de sortie  $\mathcal{Y}$ . On peut éliminer par calcul la dépendance de l'angle  $\mathcal{Y}$  par rapport à l'angle  $\Psi$  dans un cas d'utilisation spécial. Pour obtenir ce résultat, il faut connaître un autre angle de l'oeil optique par rapport au système de coordonnées fixes, qui peut être dérivé par exemple de la mesure de l'inclinomètre qui est nécessaire et qui en est indépendante. L'élimination par calcul de l'influence de l'angle  $\Psi$  est réalisée automatiquement par la calculatrice.

S'il faut éviter que l'angle d'entrée  $\Psi$  ait une influence sur l'angle de mesure  $\mathcal{Y}$ , il faut éviter toute modification de l'indice de réfraction à l'entrée du rayon, ceci signifiant en général que le

chemin suivi par le rayon de lumière est rempli d'air. Toujours selon ces prémices et par différence avec l'oeil optique montré à la figure 8, on peut constituer un système optique pour éliminer l'angle  $\Psi$ , comme suit:

5 L'oeil optique unidimensionnel et sans modification de l'indice de réfraction sur le parcours du rayon peut être constitué par une paire de miroirs montés en parallèle, présentant des surfaces de miroir tournées l'une vers l'autre, avec un léger interstice d'air entre eux d'environ 2mm et comprenant à l'endroit de sortie du rayon un  
10 diaphragme à fente monté de façon fixe, la fente étant parallèle à la normale à la surface du miroir. Selon cette forme de l'oeil optique unidimensionnel, le lieu horizontal du faisceau de lumière incident et élargi est défini par le diaphragme à fente. Le rayon de lumière passant entre les miroirs est dirigé vers le photodétecteur linéaire par  
15 les deux miroirs parallèles ainsi que par la plaque de verre à plans parallèles selon la figure 8. Comme il n'y a pas de diffraction en aucun point de l'entrée du rayon, on peut réaliser une modification de l'angle  $\Psi$  l'amenant à zéro au point de mesure.

L'oeil optique unidimensionnel qui est utilisé est donc constitué,  
20 selon sa conception de base, par un système optique qui élimine la dépendance du rayon lumineux incident vis-à-vis du lieu d'incidence dans une direction (diaphragme à fente ou lentille cylindrique), et par des composants d'un guide de lumière bidimensionnel qui fixent le lieu du rayon dans une direction et qui peut le modifier dans la direction  
25 perpendiculaire (plaque de verre à plans parallèles ou miroirs parallèles). Si l'on utilise un système de lentille, on peut constituer un système fonctionnant de façon fiable avec une faible intensité lumineuse. Dans ce cas, la valeur de mesure du système dépend cependant toujours d'une façon définie de l'angle d'entrée  $\Psi$ , c'est-à-dire  
30 qu'il faut mesurer additionnellement un autre angle spatial du système et que la valeur de l'angle  $\Psi$  mesuré doit être corrigée.

Les avantages des modes de réalisation de l'oeil optique unidimensionnel décrit ci-dessus consistent surtout dans le fait que la direction d'un faisceau lumineux venant frapper une surface peut être  
35 déterminée avec une grande définition pour un angle indépendant, et que

l'on peut utiliser le capteur linéaire prévu à cet effet, notamment un réseau linéaire CCD.

Il est possible, à l'aide du système de mesure décrit ci-dessus, de déterminer automatiquement la position d'une tête de fraisage d'une machine ponctuelle ou encore de la tête de fraisage d'une autre machine de creusement ou analogue, par exemple une machine pleine section, et ceci d'une façon automatique. La possibilité est ainsi offerte d'utiliser le système de mesure pour surveiller la machine de creusement pendant qu'elle fonctionne et/ou pour commander la machine de creusement ou diriger les mouvements du bras de fraisage en vue d'obtenir un profil précis. Comme mentionné, la mesure par tracé polygonal entre le point de référence fixe A et le point mobile C du polygone peut être réalisée au moyen d'un ou de plusieurs points auxiliaires ou points B du polygone. La mesure par tracé polygonal peut être également réalisée directement à partir du point de référence A et vers le point mobile C quand le point A est visible depuis le point C. La constitution du système de mesure ne subit dans ce cas aucune modification fondamentale. Il va de soi que la transmission des données de mesure détectées peut être réalisée en particulier sur la section B-C par un câble, surtout quand le point du polygone ou la station de mesure B est également sur la machine de creusement, ainsi que cela est montré à la figure 1.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de surveillance et/ou de commande d'une machine de creusement, notamment d'une machine ponctuelle, dans laquelle la position de la tête de fraisage de la machine de creusement peut être  
5 déterminée à l'aide d'un système de mesure fonctionnant avec des rayons laser, caractérisé par le fait que pour déterminer la position de la tête de fraisage (6) entre un point de référence connu et fixe (A) et la machine de creusement ou son bras de fraisage (5), on réalise une mesure par tracé polygonal commandée par une calculatrice à l'aide d'au  
10 moins une section mesurée par laser et représentant un côté du polygone.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la mesure par tracé polygonal est réalisée automatiquement et de façon continue pendant le fonctionnement de la machine de creusement pour  
15 déterminer la position de la tête de fraisage qui peut pivoter en hauteur et latéralement.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que la mesure par tracé polygonal est réalisée par au moins deux points auxiliaires (A, B, C) formant les angles du polygone, dont l'un (A) qui  
20 constitue un point de référence est situé à une distance importante de la machine de creusement et dont un second (C) est disposé sur la machine de creusement, un ou plusieurs autres points (B) du polygone pouvant être prévus éventuellement entre ces deux points (A, C).

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé par le fait que  
25 les coordonnées du point de référence (A) sont déterminées par des mesures réalisées entre ce point et au moins un point fixe de repérage (H).

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait qu'au cours des travaux de coupe de la machine  
30 de creusement, et partant du point de référence (A), on détermine par une calculatrice et successivement la position relative du système de coordonnées du ou des points auxiliaires (B, C) et on détermine à partir des valeurs obtenues la position réelle de la tête de fraisage (6) au moyen d'une calculatrice (D).

35 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5,

caractérisé par le fait que les données de mesure qui ont été déterminées sont transmises par la ou les sections mesurées par laser, par modulation du rayon laser, entre un point du polygone et le suivant.

5 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé par le fait que la ou les sections mesurées par laser est ou sont effectuée(s) par réflexion du rayon laser vers son point de départ.

10 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé par le fait que la détermination des coordonnées des points auxiliaires (A, B, C) est réalisée par une mesure d'angle ainsi que par la mesure des distances (côtés du polygone) entre les points auxiliaires pendant la mesure de la durée mise par les rayons laser pour parcourir la distance entre les points auxiliaires.

15 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait que les données de mesure sont envoyées à une calculatrice centrale montée sur la machine de creusement par l'intermédiaire d'au moins une calculatrice propre à une station, la calculatrice centrale affichant la position de la tête de fraisage  
20 et/ou commandant la machine de creusement.

10. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, comprenant un système de mesure par laser pour déterminer la position de la tête de fraisage mobile de la machine de creusement ou ponctuelle, caractérisé par le fait que  
25 pour réaliser un tracé polygonal à rayons laser passant par au moins deux points du polygone, les points individuels du polygone sont chacun constitués par une station de mesure (A, B, C) dont la dernière (C) est montée sur la machine de creusement ou sur son bras de fraisage pivotant (5) alors que la station de mesure (A) qui forme le début du  
30 tracé polygonal est montée à une certaine distance et de façon fixe dans la galerie ou analogue, une station de mesure auxiliaire (B) au moins étant éventuellement prévue entre les stations de mesure (C, A) sus-mentionnées, qu'en outre la station de mesure (A) formant le début du tracé polygonal et éventuellement la ou les stations de mesure  
35 auxiliaires (B) comprennent chacune un laser (9) pour obtenir la



section mesurée par laser, que toutes les stations de mesure (A, B, C) sont munies d'appareils de mesure angulaire (19, 20, 22 à 26, 27, 28), qu'en outre la station de mesure (C) qui est disposée sur la machine de creusement ou sur son bras de fraisage (5) et éventuellement la ou les stations de mesure auxiliaires (B) sont respectivement équipées d'un organe de repérage et de mesure par rayon laser (7, 14), et qu'il est prévu une transmission des données à une unité centrale (D) de la calculatrice centrale, qui comprend un dispositif d'affichage et/ou une unité de commande commandant la machine de creusement.

10 11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé par une transmission de données concernant les sections mesurées par laser au moyen de rayons laser modulables.

12. Dispositif selon la revendication 10 ou 11, caractérisé par le fait que le ou les organes de repérage par rayons laser est ou sont constitués par un miroir triple (7).

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisé par le fait que la ou les stations de mesure (A, B) équipées d'un laser peuvent être déplacées en étant commandées par des calculatrices et est ou sont de préférence montées de façon à pouvoir tourner autour d'un axe vertical et d'un axe horizontal (H, V).

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, caractérisé par le fait que la ou les stations de mesure (A, B) équipées du laser (9) comprend ou comprennent une tête de mesure à laser (8) qui contient dans un ensemble unitaire:

25 un laser (9) formant un angle avec la section mesurée par laser, une plaque diviseuse de rayon (11) ou analogue, une optique de grossissement (10),

un système de lentilles (13) comprenant une fenêtre (12) qui est située avec la plaque diviseuse de rayon (11) et l'optique de grossissement (10) sur l'axe du rayon laser,

30 une photodiode rapide (14) à l'arrière de la plaque diviseuse de rayon (11) pour mesurer la durée mise par la rayon laser et de ce fait la longueur de la section mesurée par laser.

15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé par le fait que le système de lentilles (13) de la ou des têtes de mesure à laser

(8) est constitué par un ou plusieurs, et de préférence deux ou quatre segments de lentilles de Fresnel, dont les axes optiques qui sont parallèles à l'axe central de l'optique de grossissement (10) passent par des filtres spatiaux (diaphragmes 15a à 15d) disposés dans le plan focal des segments de lentille de Fresnel associés.

16. Dispositif selon la revendication 15, caractérisé par le fait qu'un détecteur optique (16a à 16d) est prévu à l'entrée des rayons à l'arrière des filtres spatiaux (15a à 15d) pour calculer le déport parallèle de la lumière réfléchie du rayon laser émis.

17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 11 à 16, caractérisé par le fait qu'à l'arrière du centre du miroir triple (7) est prévue une photodiode destinée à recevoir l'information (données de position) transmise par le laser modulable.

18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 10 à 17, caractérisé par le fait que les appareils de mesure d'angles sont constitués par des détecteurs d'inclinaison longitudinale et transversale ainsi qu'éventuellement un instrument de navigation à recherche du nord (compas gyroscopique 21) ou des codeurs d'angle pour les axes de pivotement (H, V).

19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 12 à 18, caractérisé par le fait que le miroir triple (7) comprend dans son axe une fenêtre (30) pour le passage du rayon laser, et en ce qu'à l'arrière de la fenêtre (30) est disposé un détecteur opto-électrique, en particulier un réseau CCD, pour déterminer la direction du rayon laser incident.

20. Dispositif selon la revendication 19, caractérisé par le fait qu'à l'arrière de de la fenêtre (30) du miroir triple (7) est disposé un oeil optique unidimensionnel, qui est constitué par un dispositif de focalisation unidimensionnel et par un guide de lumière plan, par exemple une plaque de verre mince, à plans parallèles et optiquement transparente, qui est formée par deux sections (34, 35) à pouvoir de réfraction différent et dont les surfaces limites (E) sont déterminées de manière que la lumière venant frapper le côté frontal (32) d'une section (34) ne sorte sur le côté frontal opposé (33) de la plaque de verre que dans l'une de ses deux coordonnées, un photodétecteur linéaire,

en particulier un réseau CCD, étant prévu à l'arrière du guide de lumière.

FIG.1

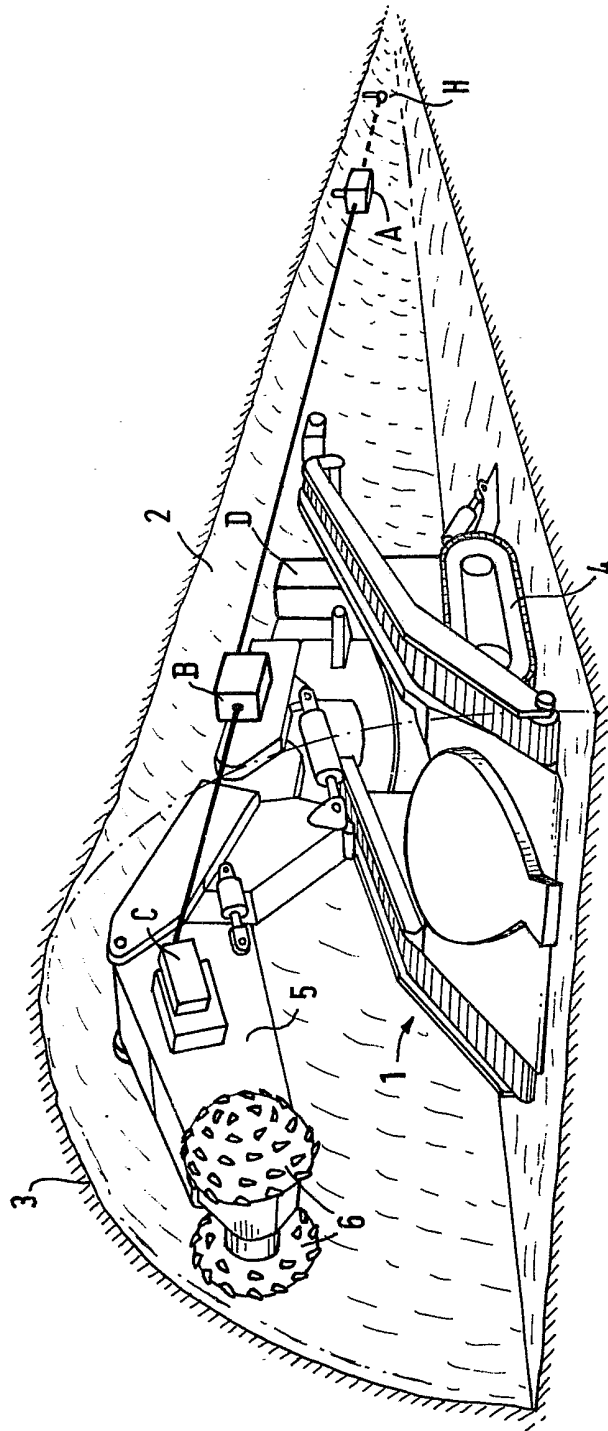


FIG.2

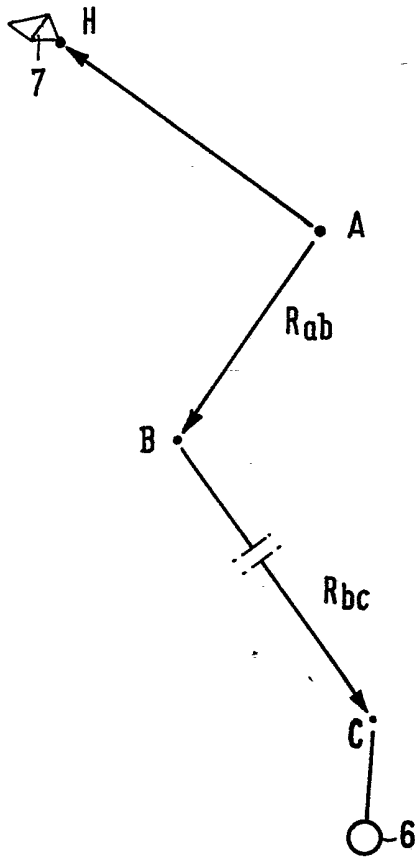
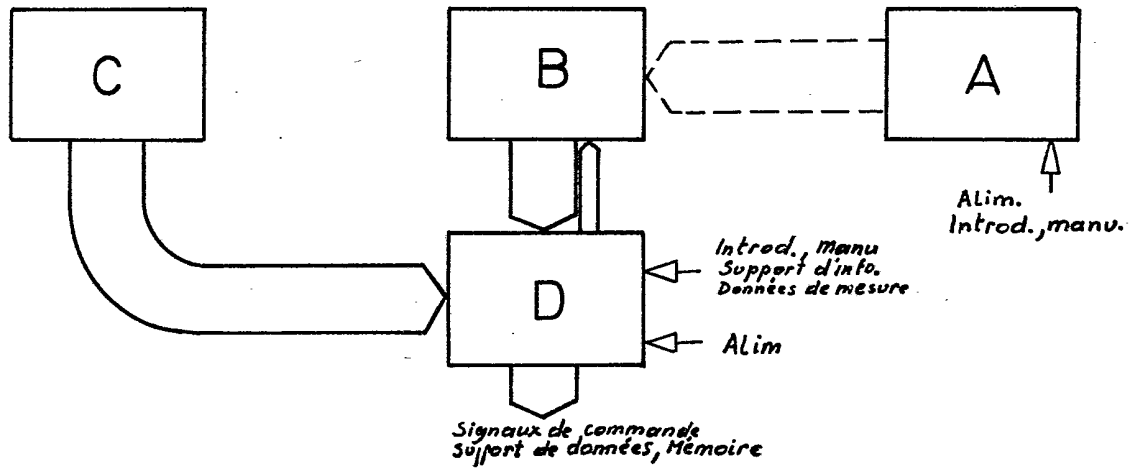


FIG.3

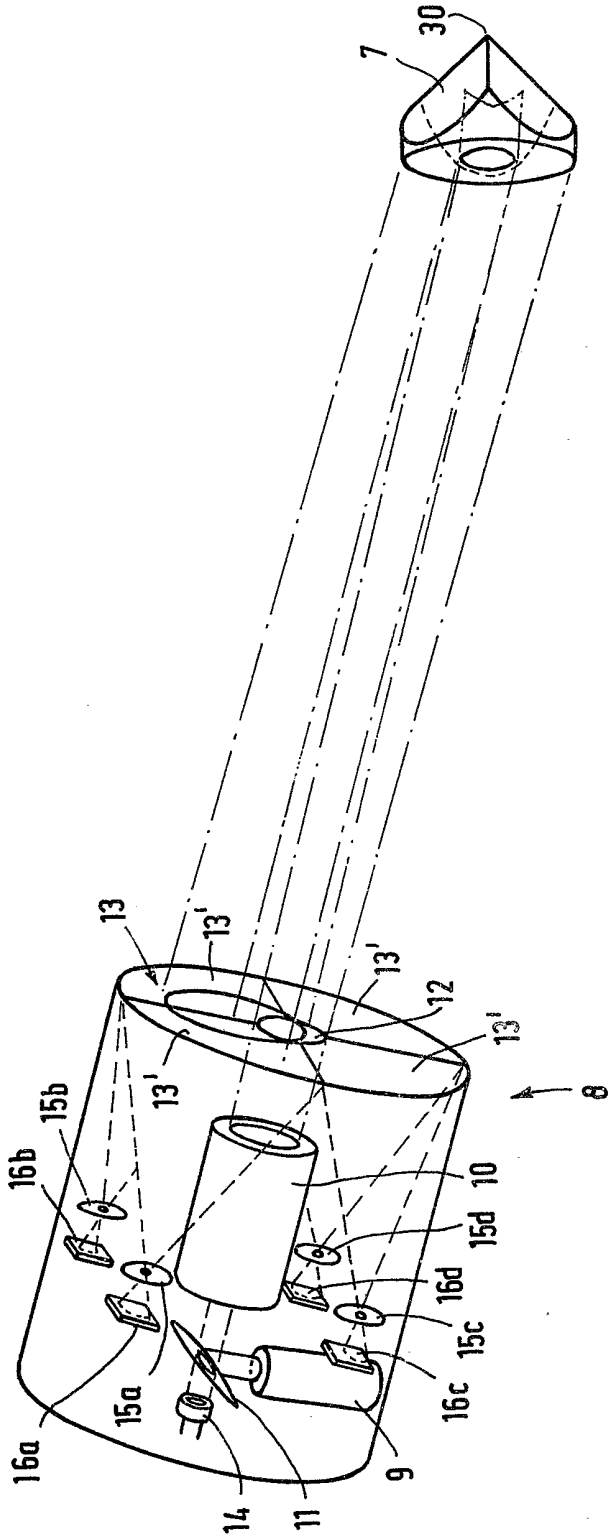


FIG.4

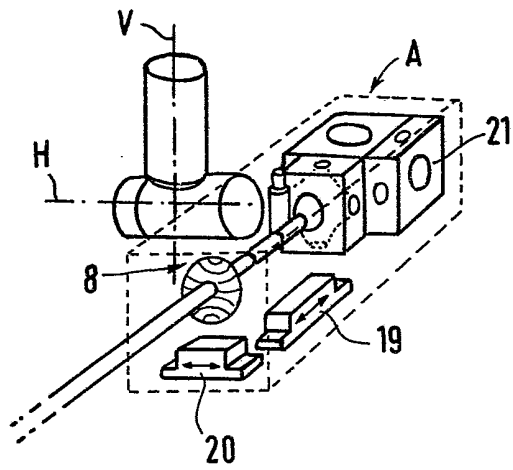


FIG. 5

FIG. 6

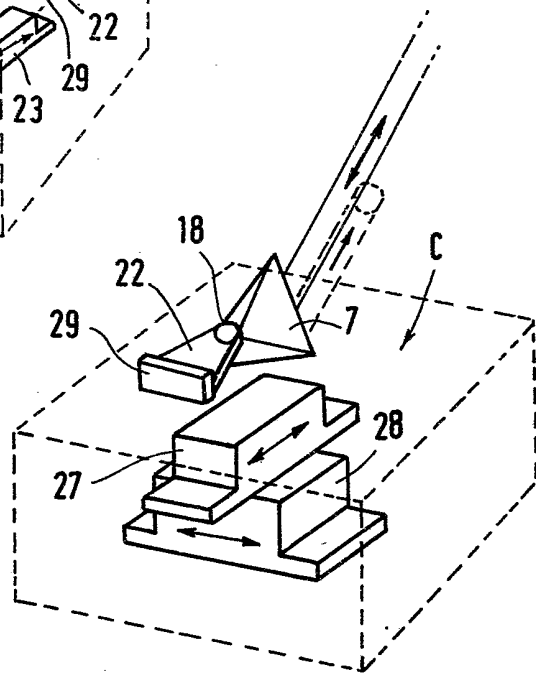
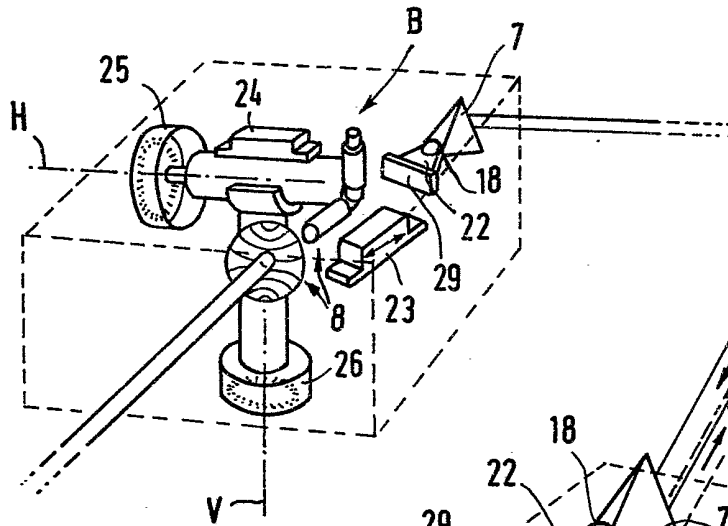


FIG. 7

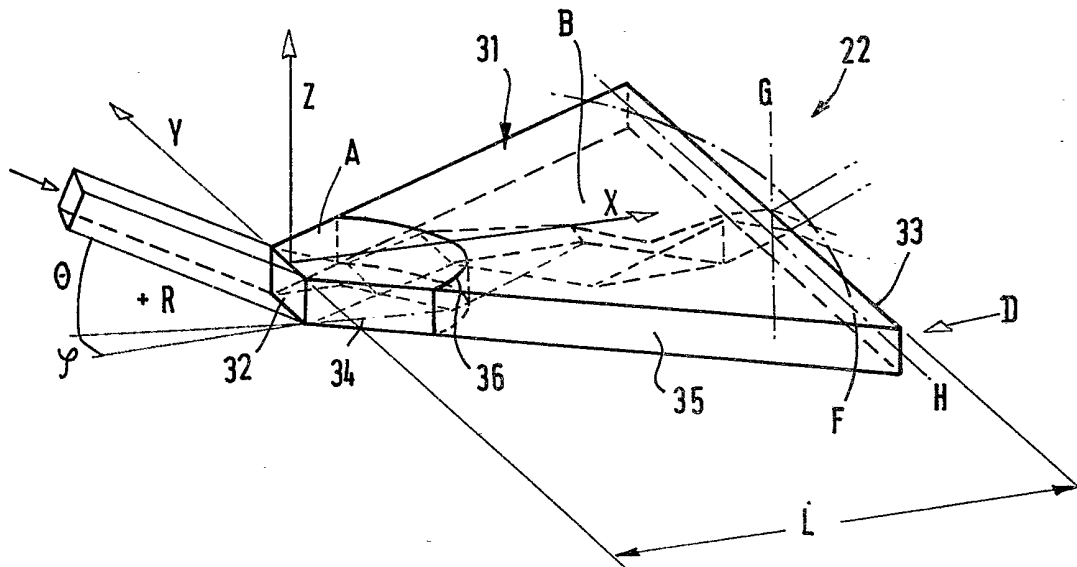


FIG. 8