

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 566 442

②1 N° d'enregistrement national :

84 10066

⑤1 Int Cl⁴ : E 02 D 29/02, 17/20; E 02 B 3/10, 7/12.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 26 juin 1984.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 52 du 27 décembre 1985.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *METULESCO* André. — FR et *CURT*
Valerian. — CA.

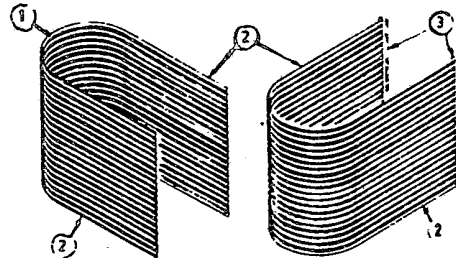
⑦2 Inventeur(s) : André Metulesco et Valerian Curt.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : André Metulesco.

⑤4 Ouvrages de retenue avec structure en éléments minces à double courbure.

⑤7 Les éléments minces à double courbure sont destinés à la catégorie des ouvrages avec structure métallique se caractérisant par le fait que la stabilité est assurée par la collaboration entre la masse à retenir et les éléments structuraux. Le fait que les éléments structuraux sont sollicités uniquement en traction est inédit dans ce nouveau type d'ouvrage. L'élément de base est une membrane mince ondulée (profilée) en plan vertical et courbée en plan horizontal pour former un élément spatial autostable pendant la construction. On peut réaliser un tel élément à partir d'une tôle ondulée et pliée en forme de U. Ainsi, nous obtenons un élément mince à double courbure. Un élément se caractérise par sa partie centrale courbe 1 et par les deux extrémités droites 2. Les bouts des extrémités droites peuvent être prévus avec ou sans plaques d'ancrage 3. Les éléments juxtaposés présentent la structure des ouvrages de retenue. Le remblayage par couches successives nous permet de réaliser l'association entre les éléments et la terre.



FR 2 566 442 - A1

D

PRINCIPE

Les ouvrages de retenue, mieux connus sous le nom de MURS DE SOUTÈNEMENT font partie de la catégorie des constructions les plus anciennes réalisées par l'homme.

5 De temps immémorial, la pierre et le bois ont été utilisés comme matériaux pour retenir le glissement des masses en terre ou pour réaliser la retenue des eaux.

L'antiquité gréco-romaine nous est un témoignage des magnifiques réalisations du genre.

10 De nos jours, qu'il s'agisse de petits murs de soutènement au bord de la route, de murs de sous-sol de maison ou de grands barrages, les ouvrages de soutènements sont présents partout et les sommes investies dans ce domaine sont de plus en plus considérables.

A notre époque moderne, la diversité des ouvrages de soutènement et des 15 matériaux utilisés est très grande. Généralement, les ouvrages de retenue se réalisent avec l'un ou plusieurs des matériaux suivants : la pierre, le bois, le béton, le métal et bien entendu la terre.

Dans un souci de rationalisation maximale, les conceptions modernes de 20 réalisation des ouvrages de soutènement utilisent de plus en plus les caractéristiques de résistance de la masse à retenir, soit la terre, dans le but de réduire au maximum les éléments structuraux.

Le présent exposé montre un concept nouveau pour la réalisation des ouvrages de retenue, concept qui peut remplacer dans bien des cas les murs de soutènement classiques à meilleur compte.

25 Pour la compréhension du principe, procédons par analogie. Imaginons le courant d'une rivière qui transporte des débris ou de la glace pendant la débâcle. Un câble flottant à travers le cours d'eau, accroché par les extrémités sur les deux rives retiendra tous les débris ou la glace (fig.1).

30 Suite à la poussée horizontale des débris ou des glaces le câble prendra une courbe 1. La forme de cette courbe sera fonction de la longueur du câble par rapport à la distance entre les points de fixation. Le câble sera sollicité à un effort de traction pure.

Les extrémités 2 fixées aux plaques d'ancrage 3 résisteront par le cisail- 35 lement du massif en terre. Par contre, si les extrémités 2 étaient sans plaque d'ancrage tout en ayant une longueur suffisante, elles assureraient la stabilité par frottement entre la terre et le câble.

Le câble décrit ci-dessus et représenté sur la figure 1 peut être considéré comme une structure de retenue plane.

2/

Sur la base de ce principe, développons la troisième dimension. En remplaçant le câble par une membrane mince du type tôle ondulée et les débris ou la glace par du remblai en terre, on réalise un ouvrage de retenue ou de soutènement.

5 Ainsi le type d'ouvrage proposé peut être classé dans la catégorie des ouvrages avec structure métallique se caractérisant par le fait que la stabilité est assurée par la collaboration entre la masse à retenir et les éléments structuraux.

10 Le fait que les éléments structuraux sont sollicités uniquement en traction est inédit dans le nouveau type d'ouvrage.

L'élément de base pour la structure du type d'ouvrage proposé est une membrane mince ondulée (profilée) en plan vertical et courbée en plan horizontal, pour former un élément spatial autostable pendant la construction. On peut réaliser un tel élément à partir d'une tôle ondulée et pliée en
15 forme de "U". Ainsi, nous obtenons un "ELEMENT MINCE A DOUBLE COURBURE" * (fig. 2).

Un élément DC (fig.2) se caractérise par sa partie centrale courbe 1 et par les deux extrémités droites 2. Les bouts des extrémités droites peuvent être prévus avec ou sans plaques d'ancrage 3.

20 Les éléments DC définis à la figure 2 et juxtaposés suivant la figure 3 représentent la structure des ouvrages de retenue. Le remblayage par couches successives nous permet de réaliser l'association entre les éléments DC et la terre. C'est ainsi que le type d'ouvrage de retenue proposé est effectué (fig. 4).

25 TECHNOLOGIE

La réalisation des ouvrages est conditionnée par la disponibilité de deux matériaux de base : la terre (le remblai) et les éléments DC.

Le remblai est un matériau local que l'on trouve sur place avec toutes les granulométries, depuis le tout-venant, en passant par le granulaire
30 jusqu'à la terre argileuse. Tout matériau qui peut produire un grand frottement sur les éléments DC convient ; celui qui dispose d'une résistance élevée au cisaillement convient également ainsi que tout matériau qui permet d'éviter la possibilité d'un développement de pressions interstitielles à l'intérieur de l'ouvrage. Ceci écarte à priori l'utilisation des sols avec un grand pourcentage d'argile ou carrément les argiles. Le remblai doit être exempt de
35 matières organiques et doit répondre à certaines conditions électrochimiques vis-à-vis de la corrosion des éléments DC. Généralement, le remblai doit être chimiquement stable.

Dans ce qui suivra l'ELEMENT MINCE A DOUBLE COURBURE sera identifié par
40 l'abréviation : élément (s) DC.

Comme principe de base, on peut dire que les matériaux qui satisfont les conditions pour un remblai routier peuvent convenir. Lorsque le remblai est différent au sens défini ci-dessus, ainsi que pour les ouvrages d'une certaine importance, les essais de laboratoire sont nécessaires.

5 L'élément structural principal de l'ouvrage, l'élément DC (fig. 2 et 3) doit être fabriqué en usine à partir de matériaux qui ont une grande résistance en traction et d'autres caractéristiques préétablies par les conditions architecturales d'environnement, de la destination de l'ouvrage et bien entendu de la qualité du remblai.

10 Les éléments DC peuvent être avec ou sans plaques d'ancrage. Les choix de la géométrie et de l'épaisseur des éléments DC résultent du calcul de la stabilité locale et de la stabilité d'ensemble, de manière à minimiser le coût de réalisation de l'ouvrage. Les caractéristiques géométriques ainsi que l'épaisseur des éléments DC peuvent varier sur la hauteur de l'ouvrage.

15 La durabilité des ouvrages dépend essentiellement de la résistance des éléments structuraux au phénomène de la corrosion. La vitesse de la corrosion des éléments DC est liée à la nature des matériaux enterrés et aux caractéristiques des sols.

20 Le choix des matériaux pour les éléments DC, ou pour leur protection, doit se faire en fonction du PH de l'eau interstitielle et de la résistivité du matériau de remblai. On peut considérer à priori que les matériaux granulaires non argileux, tel que définis pour les routes, sont compatibles avec tous les matériaux pour les éléments DC. Dans certains cas, pour empêcher le phénomène de corrosion, les éléments DC peuvent être protégés par l'application de couches de peinture à base de bitume, époxy, etc., à condition de
25 d'assurer d'un ancrage suffisant.

Les principaux matériaux envisagés pour la fabrication des éléments DC sont : l'acier galvanisé ou non, l'acier inoxydable, l'acier corten, des alliages d'aluminium, les matériaux plastiques, les matériaux composites,
30 treillis en acier ou plastiques.

En fonction de possibilités de transport et de montage, les éléments DC peuvent se présenter en une seule unité ou à plusieurs composantes, multi-plaques assemblées sur place par boulonnage (fig. 5 et 6). L'assemblage peut être réalisé étanche ou non.

35 On peut conclure que les éléments DC, utilisés comme structure de l'ouvrage proposé, se caractérisent par leur sollicitation en traction pure, un ancrage développé grâce au frottement (cisaillement) avec le remblai, ainsi qu'une bonne durabilité.

40 Un élément DC peut être réalisé d'une seule qualité de matériau ou de plusieurs à condition d'avoir une compatibilité électrochimique entre les composantes.

Les éléments DC peuvent être les seuls éléments structuraux de l'ouvrage où ils peuvent être associés à des armatures horizontales réalisées avec des treillis métalliques, des membranes textiles, etc.

5 Dans certains cas de fortes sollicitations, l'utilisation des éléments DC, renforcés avec armatures ou câbles, peut être envisagée.

Les plaques d'ancrage 3 peuvent être métalliques ou en béton préfabriqué.

10 Les ouvrages réalisés avec éléments DC (fig.4) se prêtent bien à recevoir sur le parement un revêtement en éléments de béton préfabriqué, en briques et surtout en béton projeté.

Sur les versants rocheux, dans le but de réduire le volume d'excavation, les éléments DC peuvent être utilisés en association avec des ancrages boulonnés dans le massif du roc.

15 Les éléments DC sont autostables pendant la construction et déformables après la réalisation de l'ouvrage étant capables de suivre les déformations du terrain de fondation.

Généralement, la surface de fondation doit être horizontale. Dans des cas bien déterminés, elle peut être inclinée et même sous le niveau de l'eau.

20 Le remblai d'un ouvrage réalisé avec éléments DC doit être exécuté comme un remblai routier, par couches successives plus ou moins épaisses. Le compactage doit se réaliser avec des engins appropriés ; cependant, il n'est pas nécessaire pour la bonne tenue de l'ouvrage. Le compactage sert à limiter les tassements et les déformations en fonction de la destination de l'ouvrage.

DIMENSIONNEMENT

25 Pour la réalisation des ouvrages de retenue avec des éléments DC, comme pour tout ouvrage du genre, il s'agit de résoudre : la stabilité d'ensemble, la stabilité interne.

30 Dans le premier cas (tassement, poinçonnement du sol de fondation, glissement, renversement, etc..) on se trouve devant les problèmes classiques de la mécanique des sols et il faudra s'y référer.

Dans le deuxième cas, il s'agit de s'assurer de la bonne tenue des éléments à double courbure et de leur bonne collaboration avec le remblai.

35 Les éléments DC peuvent être mis hors d'usage par cassure ou déchirure causée par un trop grand effort de traction dans le parement 1, ou par l'arrachement de la partie encastrée dans le massif en terre 2.

Caractéristiques géométriques

Les caractéristiques géométriques de l'élément DC (fig. 7) ainsi que les éléments essentiels pour le dimensionnement de l'ouvrage (fig.8) sont :

- 40 H la hauteur de l'élément DC
B la largeur de l'élément DC

L	la longueur du plan d'encastrement
b	la profondeur du parement
PAREMENT	la partie centrale courbe 1 de l'élément DC définie par B, b et H
5 PLAN D'ENCASTREMENT	les extrémités 2 de l'élément DC définies par L et H
PLAN DE REFERENCE	la plan vertical, y o z 4
PLAN DE GLISSEMENT	défini sur la figure 8 courbe 5 ou plan 6 selon le cas ou e est l'angle de frottement interne
10 ZONE ACTIVE	la partie de l'ouvrage qui a la tendance à disloquer suivant la surface de glissement 7
ZONE PASSIVE OU RESISTANTE	la zone stable du massif où se réalise la transmission des sollicitations à la terre par frottement ou cisaillement 8

Poussée des terres

15 Les théories de la poussée des terres sont largement traitées dans la littérature de spécialité à laquelle il faut se référer.

Pour le présent exposé, les hypothèses suivantes sont prises en considération : surface de glissement plane (Coulomb), poussée des terres appliquée sur le plan de référence, frottement entre le remblai et les éléments DC égal à l'angle de frottement interne.

20 La poussée des terres, verticale ou horizontale est constante sur un plan horizontal, mais variable linéairement avec la profondeur (fig. 9).

Suivant le cas, d'autres hypothèses de calcul peuvent être prises en considération.

25 Contraintes unitaires

Pour déterminer l'état des contraintes unitaires à l'intérieur du massif, nous allons prendre en considération, en particulier sur le plan de référence (le plan vertical y o z) un point quelconque M (o y z) déterminé par l'intersection des droites M' M'' et M1 M2 parallèles aux axes (fig. 9). Les droites M' M'' et M1 M2 peuvent être considérées en même temps comme l'intersection d'un plan horizontal respectivement vertical avec le plan de référence.

Ainsi au point M les contraintes unitaires normales sont :

la contrainte verticale, égale au poids propre de la terre au-dessus du point considéré 1 $G_x = \gamma Z$

35 la contrainte horizontale normale au plan de référence représentant la poussée des terres sur le parement 2 $G_x = K_x \gamma Z$

la contrainte horizontale normale au plan d'encastrement peut être appelée contrainte d'étau ou de serrage 3 $G_y = K_y \gamma Z$

où 4 $K_x = K_y = K$

sont les coefficients de poussée active et où γ est le poids spécifique du remblai, ce qui nous permet d'écrire 5 $G_x = G_y = K\gamma Z = P_z$

En pratique, pour le dimensionnement, la poussée horizontale P_z est considérée constante sur la hauteur ΔH , tel que montré sur la figure 10.

5 Les contraintes dans la structure en éléments DC seront déterminées comme il suit.

Dans une première étape, nous allons prendre en considération à la profondeur Z les sollicitations horizontales perpendiculaires au plan de référence et sur la largeur B de l'élément DC (fig.11). Les sollicitations 10 horizontales $G_x = P_z$ sont appliquées selon $M' M'$ et l'épaisseur élémentaire dz sera égale à ΔH , tel que défini sur les figures 9, 10 et 11.

Le parement semi-circulaire adopté sur la figure 11 peut être assimilé à une coque cylindrique où le plan de référence se confond avec le diamètre.

L'épaisseur du parement d'un élément DC étant faible comparativement au 15 rayon de courbure, on peut obtenir les contraintes avec une précision suffisante en négligeant la flexion de la paroi, c'est-à-dire en supposant que les contraintes de traction dans les parois sont uniformément réparties suivant l'épaisseur. La grandeur des contraintes peut se calculer alors aisément à partir des relations de LAPLACE dans la théorie de membrane.

20 A la profondeur Z pour un élément de hauteur ΔH l'effort de traction dans le parement est : 6 $T_z = \frac{1}{2} P_z B \Delta H$

Dans une deuxième étape, sera analysé l'état de contraintes sur le plan d'encastrement dans la zone résistante, représentée par le point N de la 25 figure 11.

Normalement, l'angle de frottement φ' entre le remblai et les éléments DC doit être près de la valeur de l'angle de frottement interne φ : $7^\circ \leq \varphi'$

Ainsi, pour éviter le glissement et assurer l'encastrement on peut soit concevoir les surfaces concernées des éléments DC. En conséquence, soit prévoir des plaques d'ancrage (fig.2) donc $\varphi' \approx \varphi$

30 De ce fait, le plan de glissement peut être assimilé au plan de cisaillement 10 (figure 12) 8 $f = \tan \varphi' = \tan \varphi$

Pour les contraintes tangentielles τ , la loi linéaire de Coulomb a été prise en considération, ainsi :

pour les matériaux sans cohésion, terrain pulvérulent sec 9 $\tau = \gamma t \tan \varphi$

35 pour les matériaux avec cohésion, terrain cohérent 10 $\tau = \gamma t \tan \varphi + c$

Remarque : les remblais en granulaire n'ont pas de cohésion ou elle est très faible et incertaine ; par contre, la cohésion peut être créée artificiellement

Le plan d'encastrement, étant une prolongation du parement doit être 40 capable de transmettre les sollicitations à la masse du remblai par frottement ou par cisaillement. A chaque point de contact de la partie en encastrement

et de la terre, on doit s'assurer que le frottement (cisaillement) existe réellement sans glissement. Il doit satisfaire la relation :

$$11. \quad f = \tau_0 t = \frac{\tau_0}{\gamma}$$

ou éventuellement $12 \quad f = \tau_0 t = \frac{\tau_0}{\gamma}$

5 En introduisant le coefficient de sécurité à l'arrachement

l'inégalité 11 devient : $13 \quad f = n_0 \frac{\tau_0}{\gamma}$

Revenant à la relation 6 et à la figure 11, l'effort de traction du parement T_z est transmis au plan d'encastrement. Pour préserver l'équilibre T_z doit être annulé par la somme des contraintes tangentielles τ . Pour y
10 parvenir le point N (figure 11) sera isolé sur une surface élémentaire de dimensions dl et ΔH , tel que montré sur la figure 13.

La condition d'équilibre de l'élément, nous permet d'exprimer la valeur de la contrainte tangentielle en fonction de T_z $14) \quad \tau = \frac{1}{\Delta H} \frac{dT_z}{dl}$

Tenant compte du principe que les contraintes sur un plan horizontal
15 à la profondeur Z sont constantes (figure 9) et des relations 5 et 13 on peut intégrer l'équation 14 comme suit : $15) \quad n_0 T_z = f p_z \Delta H \int dl = f p_z \Delta H l$

Ceci nous permet d'obtenir la longueur d'encastrement dans la zone résistante ou passive : $16) \quad l = \frac{n_0 T_z}{f p_z \Delta H}$

Dimensions de l'élément DC

20 Parement : Nous avons déterminé auparavant l'effort de traction dans le parement circulaire (figure 11). Tenant compte de la relation 6, on peut

écrire : $17 \quad T_z = G_a t_e \Delta H$

où G_a = la contrainte admissible du matériau de l'élément DC

t_e = l'épaisseur équivalente du parement

25 Pour obtenir l'épaisseur effective il faudra tenir compte de l'ondulation de l'élément DC (figure 14). $18) \quad t_e = \gamma t$

avec le coefficient $\gamma > 1$

Ainsi l'épaisseur effective t de l'élément DC sera obtenue à partir de l'équation 17 tenant compte des relations 5, 6 et 18.

30 à la profondeur Z $19 \quad t_z = \frac{\gamma K}{2 \gamma G_a} B Z$

à la base de l'ouvrage pour $Z = H$ $20) \quad t_H = \frac{\gamma K}{2 \gamma G_a} B H$

Selon les formules 19 et 20 pour une largeur préétablie, l'épaisseur théorique de résistance variera de zéro au sommet de l'ouvrage à sa valeur maximale à la base. En pratique, on ne peut pas avoir une épaisseur variable
35 par rapport à la hauteur, une épaisseur unique correspondant à l'équation 20 sera employée pour toute la hauteur, ou parfois, il pourra être économique de faire varier l'épaisseur par tronçon de hauteur.

Généralement, pour les applications pratiques la hauteur de l'ouvrage H est une donnée de base, par contre la largeur B des éléments DC est à la dis-
40 crétion du concepteur. Selon l'équation 20 on aura intérêt de choisir B le plus

petit possible. Cependant B a une limite optimale déterminée par la longueur du plan d'encastrement (voir 3, 4, 2). Pour son choix, il faudra tenir compte des possibilités de production, de transport et surtout de mise en oeuvre et de réalisation de l'ouvrage.

5 Pour 21 $\beta = \frac{B}{H}$
 on peut écrire 22 $t = \beta \frac{YK}{2V C_a} H^2$

Avec diverses valeurs du B on peut tracer des abaques pour t en fonction du H.

10 Plan d'encastrement. Comme montré auparavant, le plan d'encastrement est une prolongation logique du parement. L'effort développé dans le parement sera transmis au massif en terre par le plan d'encastrement. Mécaniquement, le plan d'encastrement doit être capable d'une part de reprendre la totalité de l'effort de traction transmis par le parement et, d'autre part, de transmettre sans désordre les sollicitations au massif en terre par frottement ou par cisaillement.

15 Le plan d'encastrement doit assurer par sa longueur, la stabilité de l'ensemble de l'ouvrage : à l'arrachement, au renversement, au glissement.

a) Condition de non arrachement. L'état des contraintes entre la masse en terre et le plan d'encastrement a été montré auparavant. Pour déterminer la longueur totale de résistance à l'arrachement La il faudra suivre le cheminement de la figure 15.

L'étendue de la zone active a sera déterminée géométriquement :

23) $a = (H-z) \operatorname{ctg} \left(\frac{\eta}{4} - \frac{\xi}{2} \right)$

a est fonction de z et varie de zéro, à la base à sa valeur maximale au sommet

24) $a_{\max} = H \operatorname{ctg} \left(\frac{\eta}{4} - \frac{\xi}{2} \right)$

25 La longueur d'encastrement L dans la zone passive ou résistante a été établie auparavant avec la formule 16 à laquelle il faut se référer. Si dans l'équation 16 on remplace la valeur de l'effort Tz par sa valeur donnée par 6 la longueur L à la base de l'ouvrage devient la longueur maximale La du plan d'encastrement pour résister à l'arrachement ainsi :

30 25) $L_a = \eta_2 \beta \operatorname{ctg} \epsilon \gg H \operatorname{ctg} \left(\frac{\eta}{4} - \frac{\xi}{2} \right) \ll L$

Le coefficient de sécurité à l'arrachement η_2 peut être différent sur la hauteur de l'ouvrage si cela est justifié.

Pour réduire la longueur du plan d'encastrement il faudra choisir les matériaux du remblai avec un angle de frottement interne élevé ou employer des nappes d'armature dans le remblai.

b) Condition de non renversement. Dans le cas des murs de soutènement classiques en béton armé ou non, il est absolument nécessaire de vérifier le renversement du mur sous l'influence du moment dû à la force de poussée des remblais ou de l'eau.

40 Si le renversement pour les murs en béton est un phénomène très important, dans les ouvrages avec éléments DC, ce type de rupture est très improbable.

Le phénomène de renversement pour les ouvrages avec éléments DC peut se produire par le déversement de la partie supérieure de l'ouvrage lorsque la longueur du plan d'encastrement est insuffisante.

En supposant la formation de voûtes en plan horizontal, entre les plans d'encastrement, la masse du massif sera mobilisée pour empêcher le phénomène de renversement.

Avec un coefficient de sécurité au renversement η_r préétabli, la longueur du plan d'encastrement L_r pour assurer la stabilité au renversement sera :

$$26 \quad L_r = H \sqrt{K \eta_r} < L$$

10 c) Condition de non glissement. La philosophie à suivre est la même que pour le renversement.

Supposant la formation de voûtes en plan horizontal, entre les plans d'encastrement la longueur de ceux-ci doit être suffisante pour empêcher le glissement sur la base.

15 Avec un coefficient de sécurité au glissement η_g préétabli, la longueur du plan d'encastrement L_g pour assurer la stabilité au glissement sera :

$$27 \quad L_g = \frac{\eta_g}{\gamma} K H c t g \varphi < L$$

Sécurité

20 Pour assurer la stabilité interne on doit vérifier, d'une part que les contraintes maximales de traction sont compatibles avec la résistance à la traction des éléments DC et d'autre part, que la surface encastree dans la zone passive ou résistante, est suffisante pour permettre l'équilibre entre les forces de frottement ou cisaillement et les tractions maximales correspondantes, et cela d'une manière sécuritaire.

25 Les coefficients de sécurité pour les éléments DC travaillant en traction ainsi que pour leur encastrement seront établis en fonction de :

- la nature des matériaux pour les éléments DC (matériaux plus ou moins cassants)
- la nature des matériaux de remblayage (la certitude d'un coefficient de frottement minimum)

30 le type d'ouvrage (permanent ou provisoire)
le risque (l'ampleur des dégâts en cas de destruction)
le risque de corrosion

35 Les coefficients de sécurité pour la stabilité d'ensemble seront déterminés à partir du : type de l'ouvrage (permanent ou provisoire), risque (l'ampleur de dégâts en cas de destruction).

Généralement, ils ne peuvent pas être inférieurs à 1.5 pour la stabilité au renversement et glissement et 2 pour le poinçonnement de la fondation.

Analyse d'un ouvrage de retenue

40 Un ouvrage de retenue réalisé à l'aide d'éléments DC juxtaposés, de hauteur variable de 0 à 30 mètres et de longueur quelconque a été analysé en détails et

représenté sur les abaques de la figure 18 à la figure 23.

Les éléments DC sont constitués de tôles ondulées ou profilées recouverts d'une protection contre la corrosion (par galvanisation ou tout autre moyen éprouvé).

5 Pour les dimensions plus grandes, ils sont en plusieurs plaques assemblées par boulonnage.

Dans le présent exemple, le parement sera constitué d'éléments DC semi-circulaires, réalisés en acier doux avec une résistance admissible d'environ 150 MPa.

10 Le remblayage est prévu en granulaire équivalent à ceux agréés pour les routes. Pour le présent exemple, les valeurs suivantes ont été adoptées : le poids spécifique du remblai de 18 kN/m³

le coefficient de poussée active de 0,25, 0,33 ou 0,45 selon le cas.

15 L'épaisseur effective "t" de l'élément DC est déterminée par les conditions de résistance, étant directement proportionnelle à la largeur "B" et la hauteur "H" de l'élément DC. On peut suivre la variation de l'épaisseur "t" sur la figure 18, 19 et 20;

La longueur du plan d'encastrement "L" est généralement déterminée par la condition de non arrachement.

20 Dans les divers calculs a été introduite la notion d'épaisseur spécifique "e" qui représente l'épaisseur de l'ensemble de l'élément DC rapportée à la longueur du front rectiligne de l'ouvrage, ainsi :

e_0 l'épaisseur nette sans surépaisseur pour la corrosion

e_1 l'épaisseur nette plus une surépaisseur de 0,5 mm pour chaque face

25 e_2 l'épaisseur nette plus une surépaisseur de 1,0 mm pour chaque face.

Les abaques de la figure 21, 22 et 23 représentent la variation du " e_0 " et " e_2 " en fonction de la hauteur pour divers rapports entre "B" et "H" et divers coefficients de la poussée des terres. On peut constater que la valeur la plus économique pour " e_2 " correspond à un rapport de "B" sur "H" égal ou inférieur à

30 0,5.

Remarques :

a) l'épaisseur des éléments DC est déterminée pour la sollicitation maximale soit à la base de l'ouvrage et est maintenue constante sur toute la hauteur. Pour les ouvrages d'une certaine importance, il peut s'avérer rentable de faire

35 varier l'épaisseur.

b) une surépaisseur comme protection vis-à-vis de la corrosion doit être prise en considération. Elle est de 0,5 mm ou de 1 mm pour chaque face en fonction de l'agressivité du milieu et de l'espérance de vie attendue de l'ouvrage.

c) pour les ouvrages de peu d'importance, le plan d'encastrement est réalisé

40 par la juxtaposition des divers éléments DC et aucun boulonnage n'est requis.

Par contre, pour les autres ouvrages les éléments DC multiplaques se raccordent sur une seule feuille d'encastrement d'épaisseur appropriée.

- d) dans les divers cas considérés, le remblai est supposé horizontal à la partie supérieure et la fondation de l'ouvrage est considérée horizontale et stable. Le coefficient de poussée active du remblai est pris égal à 0,33 mais les valeurs extrêmes de 0,25 et 0,45 ont également été considérées.

DOMAINES D'UTILISATION

Les types d'ouvrages proposés d'après leur nature sont des ouvrages de retenue ou de soutènement.

- 10 Le parement des ouvrages tenant compte des possibilités de revêtement, peut prendre la forme et la couleur désirée. En hauteur, le parement peut être vertical, incliné ou en terrasse.

- 15 La géométrie du parement et la gamme des couleurs sont pratiquement sans limite et peuvent satisfaire les plus exigeantes normes architecturales et d'environnement.

Les ouvrages avec structure en éléments DC peuvent être érigés, comme ouvrages de retenue étanches ou non, provisoires ou définitifs.

- 20 Par la capacité de déformation des éléments DC, les ouvrages peuvent suivre sans difficulté les mouvements du terrain de fondation. La réalisation des ouvrages provisoires devient très intéressante, par la rapidité de l'exécution, par facilité de démolition et la récupération totale des éléments DC.

Le type d'ouvrage proposé est très flexible aux aménagements paysagés en terrasses pour habitation ou pour agriculture.

- 25 Les ouvrages de retenue avec structure en éléments DC peuvent recevoir des surcharges très importantes et se prêtent à la réalisation de murs de soutènement pour les voies de communication, culées de ponts, etc.

La possibilité de rendre les éléments DC étanches facilite la réalisation des ouvrages imperméables, comme les digues ou les réservoirs.

- 30 Avec le type d'ouvrage proposé, la réalisation des digues de protection contre les inondations peut s'avérer une application extrêmement importante tenant compte de la rapidité d'exécution. Les digues de faible hauteur peuvent être exécutées avec un remblai tout-venant.

- 35 Dans le domaine industriel, la masse à retenir peut ne pas être la terre, mais bien des produits minéraux, industriels ou végétaux, dans le but d'augmenter considérablement les stockages.

Quelques applications :

Aménagement de terrasses

- 40 Il s'agit de l'aménagement en terrasses sur les pentes accidentées. Ces aménagements permettent le développement urbain, de loisir, pour l'agriculture, voies de communications, etc. (fig.17). Les terres sont retenues à l'aide d'u

structure réalisée avec des éléments DC en tôle d'acier galvanisé ou autre, juxtaposés ou en multi-plaques. Le parement est constitué d'éléments semi-circulaires, elliptiques, etc avec ou sans raccordement convexe.

Il est à noter que les éléments standards ont leurs deux plans d'encastrement parallèles. Cependant, comme les éléments DC ont une faible rigidité, ils peuvent être déformés de manière à rendre les deux plans d'encastrement divergents ou convergents. Cette caractéristique permet les changements de direction du parement à souhait.

Voies de communication

Les voies de communication entraînent des travaux de terrassement gigantesques qui amènent la nécessité de divers éléments de soutènement. Ces derniers peuvent être constitués à l'aide de structures en éléments DC. Cela peut aller du mur de soutènement à la culée d'ouvrages d'art.

Dans les zones urbaines ou touristiques le parement peut recevoir un revêtement en béton projeté ou un placage en éléments décoratifs de béton préfabriqué.

Les routes sur des pentes très raides peuvent être réalisées avec un minimum d'excavations. Les plans d'encastrement peuvent être complétés à l'aide d'ancrage dans le massif rocheux. L'excavation dans le terrain non rocheux est minimisée car on se contente de réaliser quelques saignées pour les plans d'encastrement.

Dans les zones à sécurité maximale, les éléments DC à double parement présentent des alvéoles déformables qui peuvent absorber le choc des véhicules en cas d'accident.

Les parapets réalisés avec les éléments DC sont sécuritaires étant donné leur grande souplesse tout en étant assez lourds.

Iles - plate-formes off shore

Sur un plan d'eau on peut réaliser des îles ou presque îles artificielles pour fin de récréation, contrôle des glaces, industriels, etc. L'exécution peut se réaliser à sec ou sous le niveau d'eau.

Une plate-forme off-shore est une île artificielle réalisée en eau peu profonde pour explorations. Une combinaison des pieux métalliques courts et éléments DC peut se réaliser. Le remblayage peut se faire par dragage.

Bassins - réservoirs

Un réservoir creusé en pleine terre peut être réalisé à l'aide d'éléments DC. Afin de minimiser les travaux, les déblais sont à déposer autour de l'excavation ; ainsi, le réservoir créé est en partie surélevé par rapport au terrain naturel.

Les éléments DC dont les parements sont demi-circulaires, elliptiques ou autres, leurs assemblages sont réalisés de manière étanche. Quand les parements

sont prévus avec des raccords, ceux-ci peuvent être les mêmes que les premiers d'ailleurs. Le parement ainsi réalisé a une allure de continuité plus esthétique. Les noeuds "plan d'encastrement - raccordement" peuvent être préassemblés soit en usine, soit sur chantier. Une fois, ces noeuds glissés en place, la partie centrale du parement peut être fixée.

Le fond des réservoirs est constitué d'une couche imperméable complétée si nécessaire par une membrane synthétique. Un treillis fixé sur les divers éléments d'assemblage permet la réalisation d'un revêtement en béton projeté, ce dernier peut être lisse ou recouvert de toute autre finition telle que céramique.

La gamme des bassins peut être d'une grande variété et peut servir pour des fins municipales, industrielles ou agricoles.

Réservoirs - tanks

Une structure DC avec ses éléments assemblés d'une manière étanche, disposée selon un contour fermé de forme circulaire, rectangulaire ou polygonale de telle manière pour emmagasiner un volume liquide, nous permet de réaliser des réservoirs de grande capacité. Le tout étant muni d'une toiture adéquate.

Les structures DC par leur conception nous permettent de réaliser des réservoirs tanks enterrés. Même quand ils sont partiellement enterrés et partiellement en surface, la masse de la terre autour du réservoir est assez importante qu'on peut considérer qu'ils sont enterrés. De ce fait, ce type de réservoir offre une très grande sécurité d'exploitation, éliminant complètement la cuvette de sécurité et les inconvénients qui découlent.

Les réservoirs réalisés avec structures DC peuvent être érigés sur un terrain de fondation déformable. Ces déformations n'affectent pas la partie verticale, le fond et les parois flexibles doivent être compatibles avec les toitures rigides.

Pour prévenir la corrosion et préserver les conditions d'hygiène (pour les produits comestibles) la structure verticale, le fond ainsi que l'intrados de la toiture doivent être compatibles avec le liquide emmagasiné et les vapeurs qui se dégagent.

Les réservoirs tanks DC peuvent servir pour emmagasiner : produits pétroliers et leurs dérivés, produits chimiques, eau potable et divers.

La toiture de réservoirs tanks DC sera de type classique rigide ou flexible, apparente, flottante ou couverte de la terre. Elle sera appuyée ou ancrée sur une ceinture en béton armé réalisée à la partie supérieure de la structure DC (la paroi).

Pour les réservoirs-tanks de grande capacité une tour centrale d'appui pour la toiture est recommandable. Des appuis intermédiaires peuvent être envisagés.

La structure de la toiture peut être en : béton préfabriqué précontraint,

AH

caissons métalliques, dômes, structure sur cables, structure gonflable, structure flottante.

Aménagements hydro

5 Les structures en éléments DC par le fait qu'on peut réaliser des écrans étanches se prêtent favorablement à la réalisation des travaux de réparation (réfection), réhaussement, surélargissement de digues et barrages. La conception des nouveaux ouvrages de retenue (digues, barrages, évacuateurs) est possible et peut s'avérer très économique.

10 On peut constater que le volume de matériaux peut être réduit substantiellement. Si la circulation sur le couronnement est importante on peut réaliser de larges voies de circulation sans une augmentation notable du remblai. Sur une fondation perméable on peut prolonger l'écran d'étanchéité, en profondeur à l'aide d'une tranchée de boue. Les structures en éléments DC ne craignent pas les tassements. Le remblayage est très simple et rapide d'exécution par rapport à un ouvrage zoné. Un ouvrage déverseur peut être réalisé sans problèmes pour la stabilité de l'ensemble de l'ouvrage.

15 Déversoirs ou évacuateurs de crues peuvent être réalisés pour des aménagements hydro de moindre importance servant d'accumulation pour des fins d'irrigation ou l'implantation de micro-centrales hydroélectriques.

20 La possibilité de réalisation d'élargissement des ouvrages (digues et barrages) classiques à l'endroit d'autres structures permet des économies importantes sur le volume de remblai et sur le volume des ouvrages de soutènement du remblai côté central ou évacuateur de crues. La réalisation des canaux avec éléments DC étanches pour les parties latérales, mariée avec une membrane étanche pour le fond peut être extrêmement intéressante pour certaines applications, notamment pour la traversée des régions désertiques.

25 Divers : Une multitude d'autres travaux peut se réaliser avec les structures DC en agriculture, travaux d'environnement (érosion du sol, inondations, protection de rives), constructions domiciliaires et de loisir, aménagement des
30 quais et ports, etc..

REVENDEICATIONS

1) Ouvrage type mur de soutènement caractérisé en ce qui concerne l'élément structural constitué d'une membrane mince (ou treillis) ondulée ou profilée en plan vertical et courbée en plan horizontal en forme de "U", la
5 partie courbe est sollicitée en traction et représente la façade ou le parement (1) de l'ouvrage, les parties droites du "U" représentent les plans d'encastrement (2) transmettant la traction du parement dans la masse à retenir (8) où il prennent réaction par frottement ou par frottement-cisaillement dépendant du fait que si les extrémités libres du (2) sont prévues ou non, des plaques d'an-
10 crage (3) obtenant ainsi une structure mince à double courbure.

2) Ouvrage selon la revendication 1 où les éléments en "U" sont disposés côte à côte et par la suite, le remblayage du sol par couches successives à l'intérieur des "U" permettent de réaliser l'association entre les éléments structuraux et la masse à retenir la terre, minerai ou tout matériau flottant .

15 3) Ouvrage selon les revendications 1 et 2 caractérisées en ce que les parements (1) sont des courbes (cercle, ellipse, spirale, etc ...) en traction, en position concave par rapport à la façade et à part leur continuité avec les plans d'encastrement, on peut les raccorder entre eux avec des éléments du même type en position convexe, obtenant ainsi une façade, un parement avec une allure
20 de continuité sinusoïdale .

4) Ouvrage selon les revendications précédentes prises dans leur ensemble, caractérisé par le fait que les éléments à double courbure en forme de "U" sont des éléments d'une seule pièce et leur mise en place se réalise par juxtaposition, par contre les éléments en forme de "U" de grandes dimensions seront
25 fabriqués et transportés en plusieurs composés, multi-plaques, et assemblés sur chantier, dans ce dernier cas le plan d'encastrement (2) sera réalisé d'une seule feuille d'épaisseur appropriée .

5) Ouvrages selon les revendications précédentes prises dans leur ensemble, caractérisé par le fait que les éléments à double courbure en forme de "U"
30 sont constitués d'un ou d'une combinaison des matériaux suivants : métaux, plastiques, textiles synthétiques, fibres de verre, matériaux composites, treillis métalliques ou plastiques, béton armé ou précontraint, avec la protection adéquate contre la corrosion suivant le cas.

6) Ouvrage selon les revendications précédentes prises dans leur ensemble, caractérisé par le fait que les éléments minces à double courbure ou leur
35 composés - les multi-plaques - sont assemblés par des moyens mécaniques, tels que soudage, boulonnage, rivetage ou simplement par recouvrement, dans ce dernier cas, la transmission des contraintes se réalise par frottement .

7) Ouvrage selon les revendications précédentes prises dans leur ensemble.

ble, caractérisé par le fait que les éléments à double courbure sont associés aux ancrages boulonnés, aux pieux ou aux palplanches.

8) Ouvrage selon les revendications 1 et 2, caractérisé par le fait que la structure en membrane mince est remplacée avec un treillis métallique ou plastique de la même forme que les éléments minces à double courbure .

9) Ouvrage selon les revendications précédentes prises dans leur ensemble, caractérisé par le fait que la structure en éléments minces à double courbure est mise en oeuvre avec le parement incliné ou en terrasses; sur une surface de fondations horizontale ou inclinée .

10) Ouvrage selon les revendications précédentes prises dans leur ensemble, pour la réalisation des aménagements de terrasses, voies de communications, îles, presqu'îles, plate-formes off shore, bassins, réservoirs, tanks, divers aménagements hydro, aménagements des quais et ports, parcs de matières, etc ... se caractérise par le fait que pour les masses à retenir sont utilisées les structures minces à double courbure, en associations avec ou non d'autres techniques de construction reconnues .

1 / 10

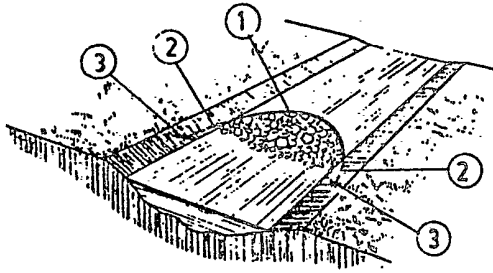


Fig. 1

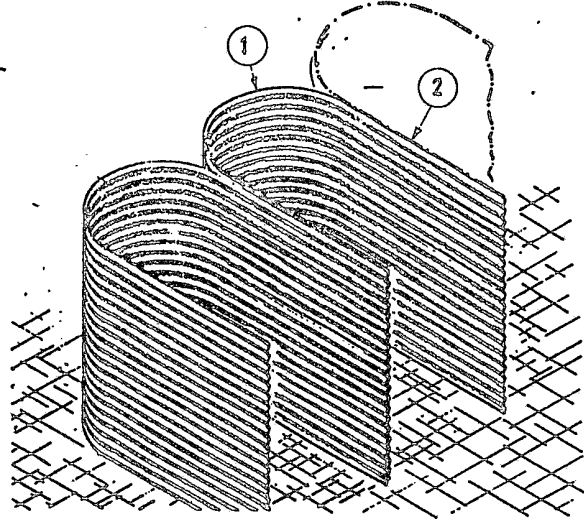


Fig. 3

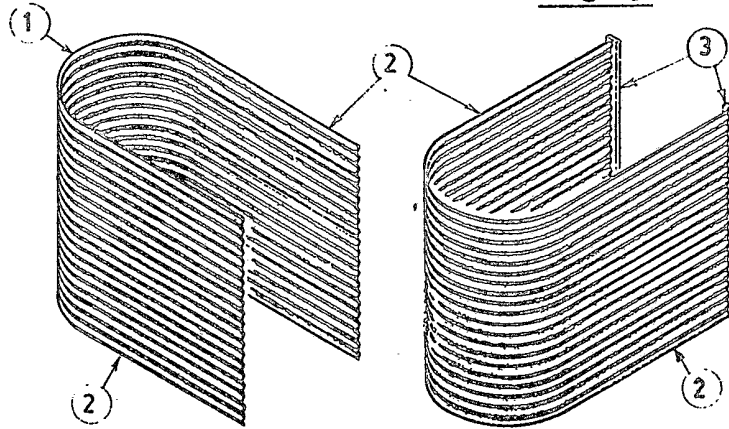


Fig. 2

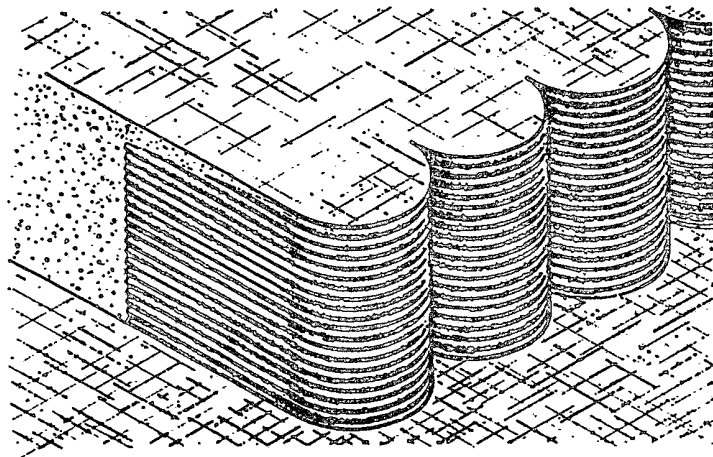


Fig. 4

2 / 10

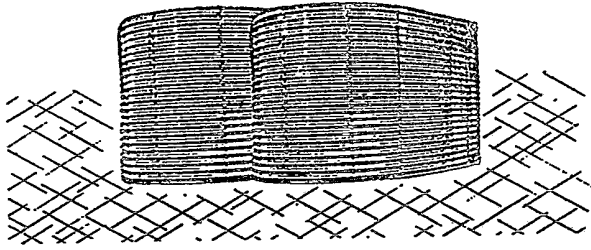


Fig. 5

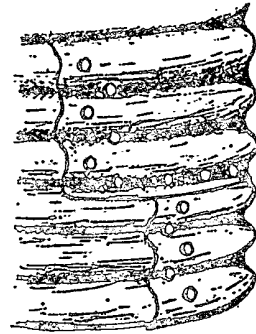


Fig. 6

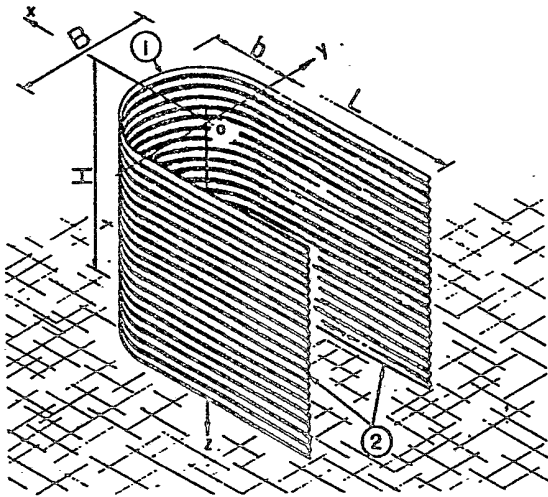


Fig. 7

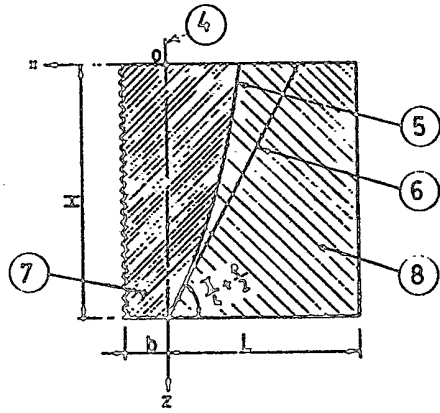


Fig. 8

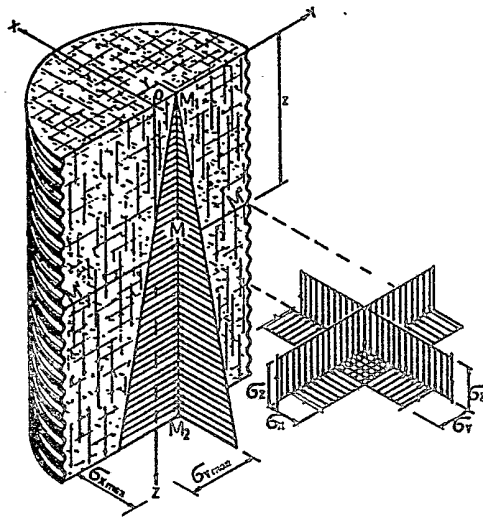


Fig. 9

3/10

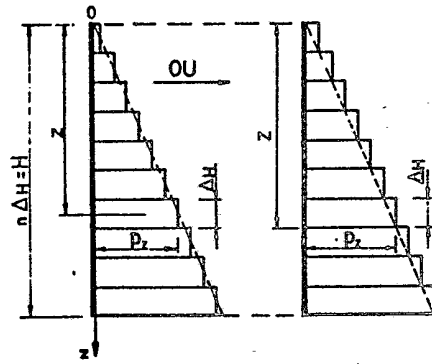


Fig. 10

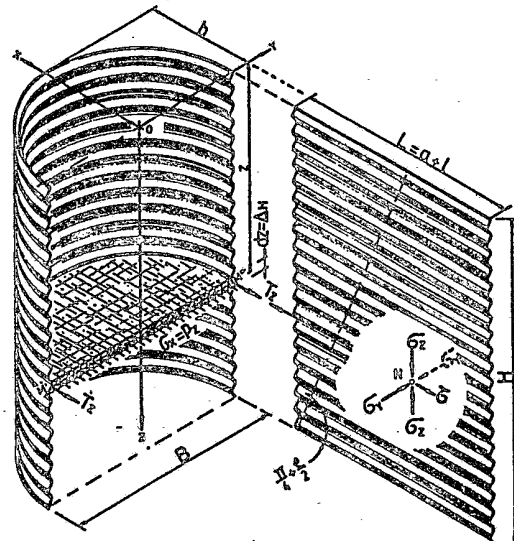


Fig. 11

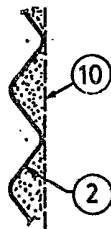


Fig. 12

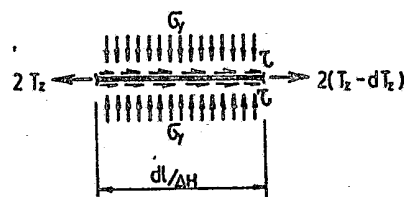


Fig. 13



Fig. 14

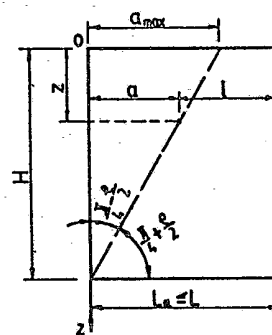


Fig. 15

H / 10

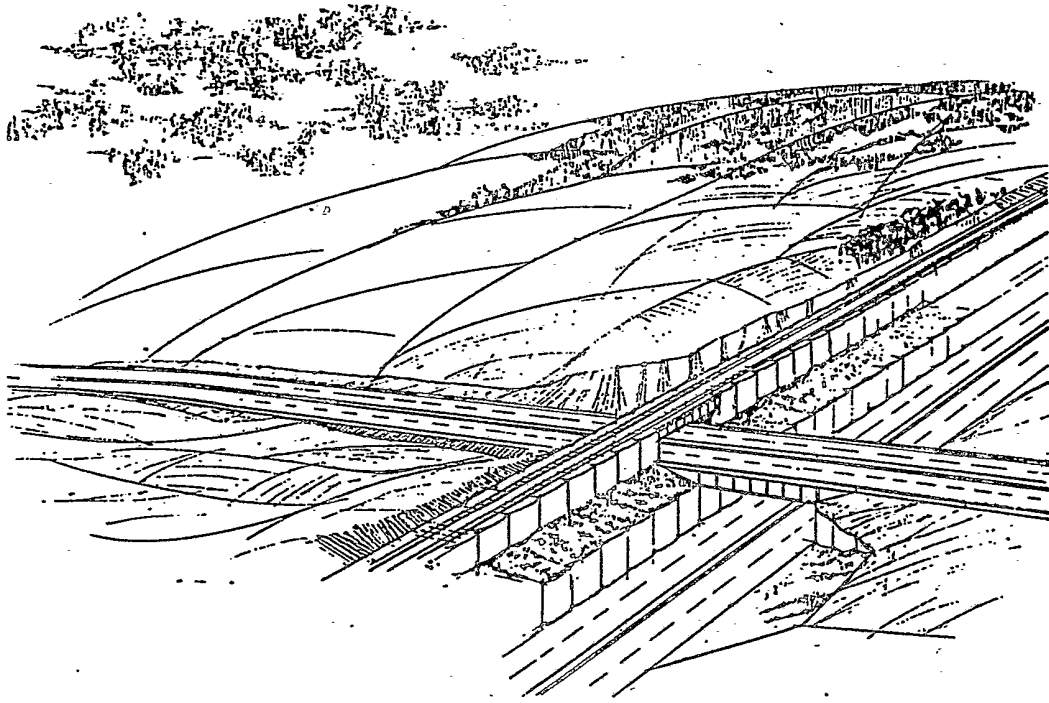


Fig. 16

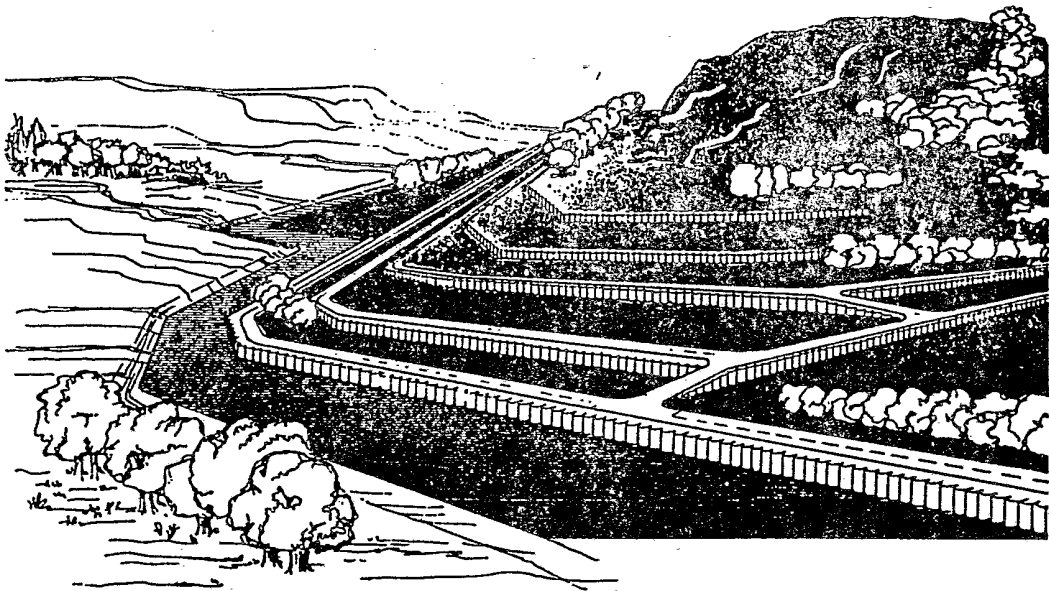


Fig. 17

5 / 10

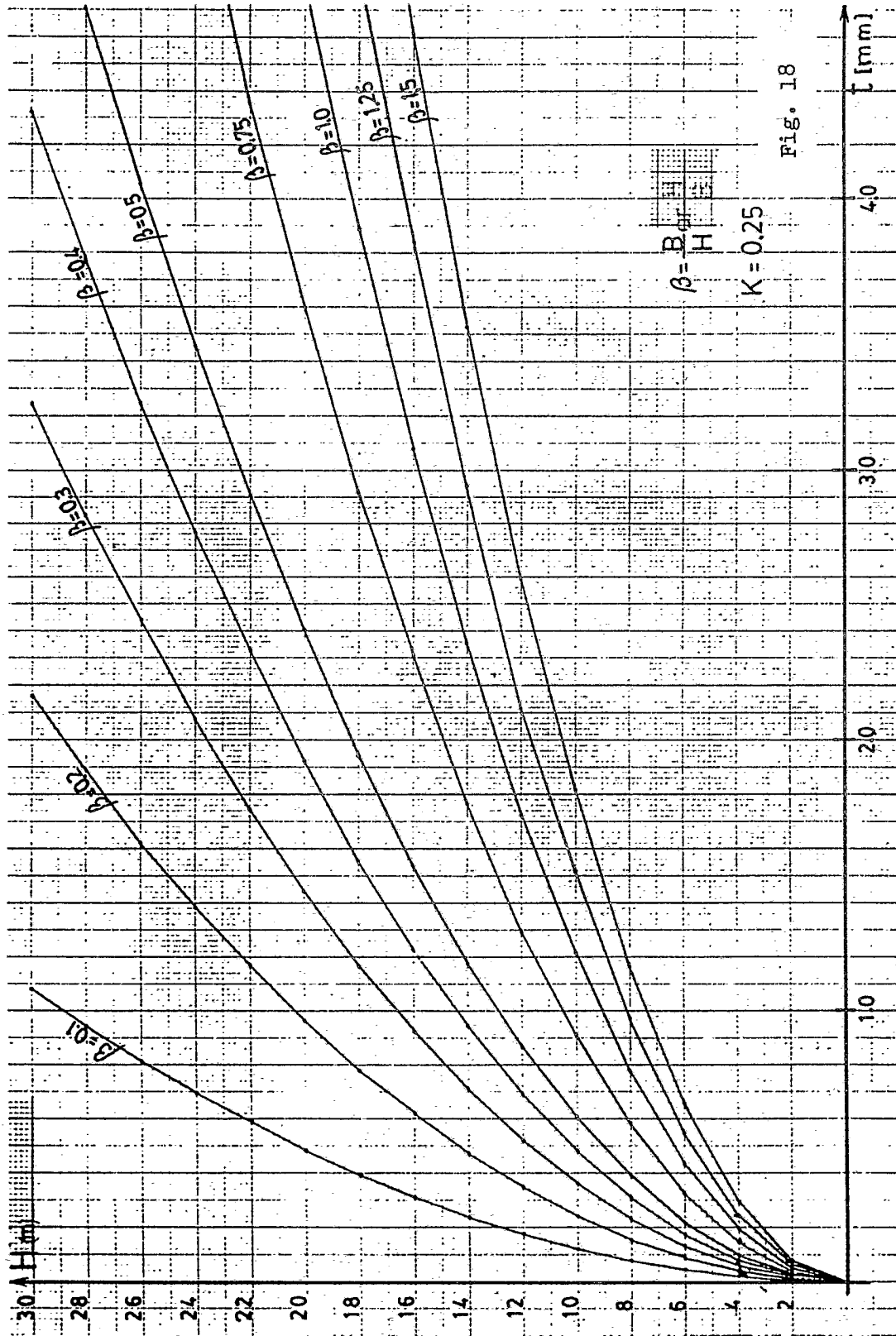


Fig. 18

6 / 10

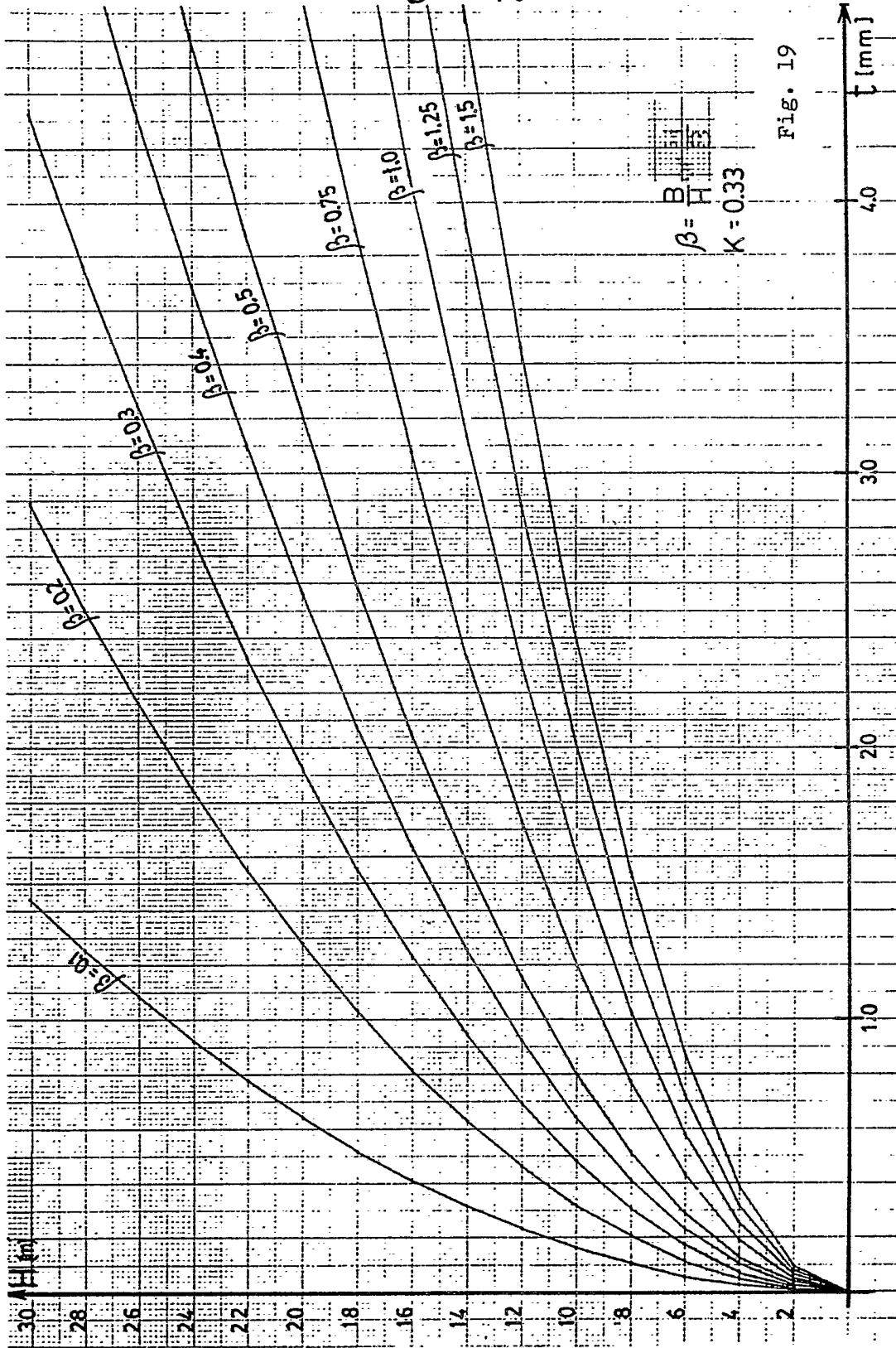


Fig. 19

7 / 10

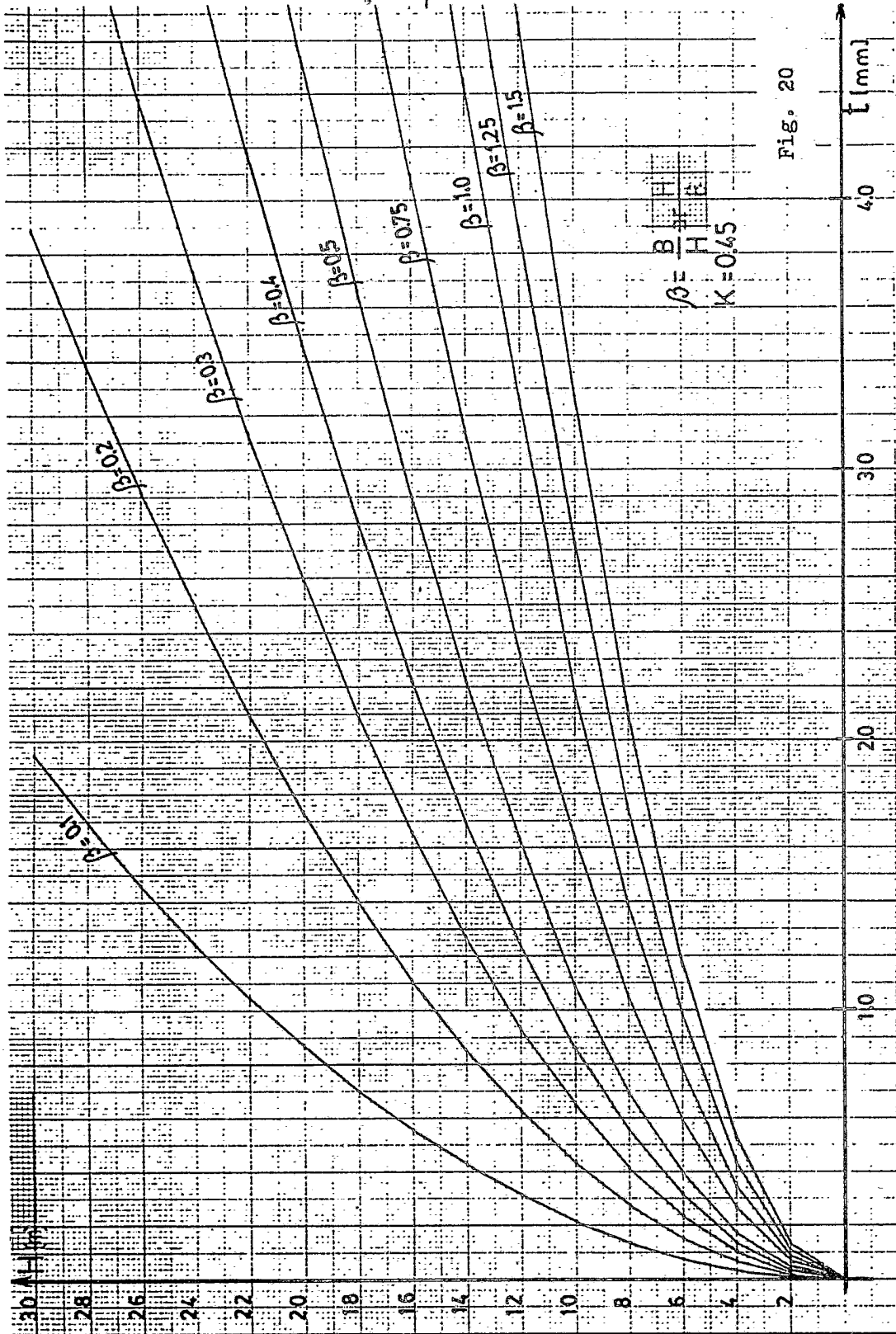
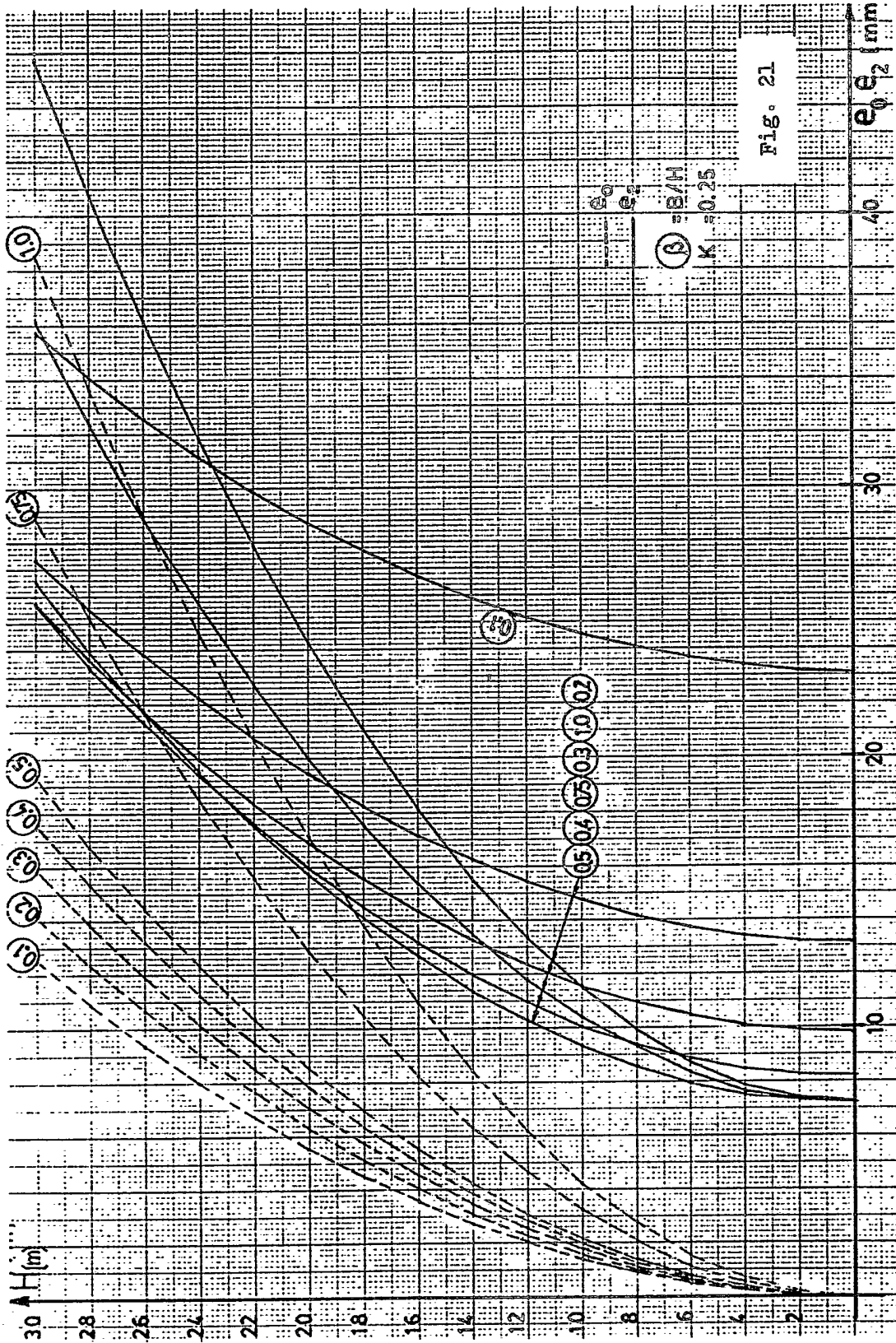


Fig. 20

8/10



9/10

