

Concepts erronés de la « Nouvelle méthode autrichienne » de construction de tunnels*

K. KOVÁRI

Institut de Géotechnique
École Polytechnique
Fédérale de Zurich
POB 133
CH-8093 Zurich
Suisse

Résumé

Selon un de ses fondateurs, la « Nouvelle méthode autrichienne » de construction de tunnels (NATM) est un « échafaudage conceptuel ». *Nous montrons que cet échafaudage conceptuel repose sur deux erreurs fondamentales.* L'une concerne la définition même de la NATM, selon laquelle une certaine conception transforme le terrain en élément portant. Or, à y regarder de plus près, cette conception est indéfendable. L'autre erreur fondamentale est la prétention de la théorie de la NATM de pouvoir optimiser le soutènement sur la base des prétendues courbes caractéristiques du terrain selon Fenner-Pacher. Mais comme il n'existe aucun fondement, ni théorique ni empirique, pour les courbes caractéristiques de Fenner-Pacher, cette thèse centrale de la NATM devient caduque. Finalement, *nous traitons la question de savoir pourquoi ces erreurs ont pu s'enraciner tellement profondément et pourquoi le théorème de la NATM a pu rester si longtemps incontesté.* La raison en est que la NATM opère avec des concepts non définis et à significations multiples, et que ses déductions et jugements ignorent les règles de la logique. *les auteurs*

* Traduction de l'article original publié dans la revue *Tunnel* 4/1994, Bertelsmann Fachzeitschriften GmbH, Gütersloh.

Erroneous Concepts behind the New Austrian Tunnelling Method

Abstract

The New Austrian Tunnelling Method (NATM) represents in the words of one of its main authors, L. Müller, a « structure of thought ». It will be shown in the following paper that this structure does not rest on an established theoretical foundation, but rather on two fundamental misconceptions. The first concerns the definition of the NATM itself, according to whose concept the rock mass (ground) becomes part of the support structure. Upon closer examination this concept is revealed to be unfounded because the ground inevitably becomes part of the support structure in any tunnel independently of the selected method of construction. The second fundamental error lies in the claim that the NATM theory can optimize the design of the tunnel lining following the so-called Fenner-Pacher ground reaction curve. Since both theoretical and empirical justification is lacking for the existence of the latter, the central claim concerning the optimization of the lining design is groundless. In the final part of the paper, the question is discussed of why such misconceptions were able to gain such credence in the engineering community and why the NATM theory was able to survive for so long without being refuted. The reason is that the NATM operates with ambiguous or undefined terms making it difficult to prove its incorrectness with logical argumentations.

La définition officielle de la NATM

En 1980, le Comité national autrichien pour la « Construction de cavités » de l'Association Internationale des Travaux Souterrains (AITES) a publié une définition officielle de la NATM [1] :

« La Nouvelle méthode autrichienne de construction de tunnels (NATM) suit une conception qui utilise le terrain autour de la cavité (sol ou roche) comme élément de support par activation d'un anneau de terrain portant. »

Cette définition contient les trois affirmations suivantes :

- avec la NATM, le terrain est transformé en élément portant ;
- pour réaliser ceci, une certaine conception est nécessaire ;
- cette conception réside dans l'activation d'un anneau de terrain portant.

Les références utilisées dans ce chapitre et les chapitres suivants ont essentiellement été prises à la source, chez les fondateurs de la NATM : L. Rabcewicz, L. Müller-Salzburg, F. Pacher. Mais nous nous référons également aux représentants de la seconde génération de la NATM.

1.1

Le terrain comme élément portant

Le postulat principal de la définition est qu'avec la NATM, le terrain se transforme en élément portant. En mettant cette propriété en évidence, la définition différencie donc la NATM des concepts voisins, c'est-à-dire des autres méthodes de construction de tunnels. Apparemment elle, et elle seule, utiliserait donc le massif comme élément portant. D'autres formulations bien connues ont ensuite été déduites de ce postulat central, telles :

- la NATM demande au terrain de participer à la stabilité ;
- avec la NATM, le massif se porte lui-même ;
- avec la NATM, le massif est à considérer comme l'élément portant principal ;
- avec la NATM, le terrain n'est plus une charge, mais devient un support ;

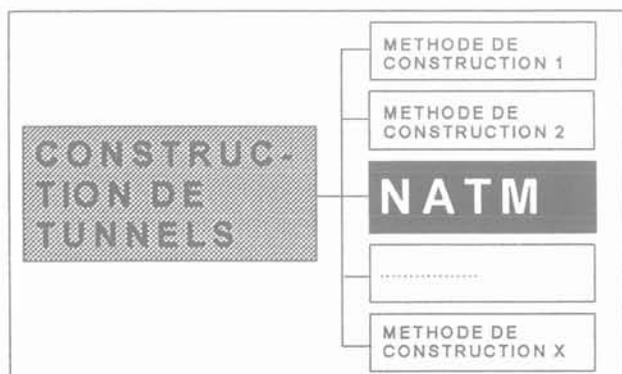


FIG. 1 But de la définition de la NATM.
Aim of the definition of the NATM.

- la NATM utilise la capacité du massif à s'auto-supporter ;
- la NATM collabore avec le terrain au lieu de l'affronter, etc.

La prétention de la NATM à être la seule méthode où le terrain devient élément portant est fondamentalement fautive. Que l'homme prenne ou non telle ou telle mesure technique pour stabiliser une cavité ne change rien à l'activation automatique de la fonction portante du terrain. C'est d'ailleurs cette confiance naturelle dans les lois mécaniques régissant le comportement des massifs qui a permis à l'homme d'occuper depuis toujours les grottes naturelles et de créer toutes sortes de cavités pour ses besoins. On peut en effet montrer que la fonction de support exercée par le massif est une idée centrale de l'art de la construction des tunnels en général. Celle-ci n'est pas seulement tirée de l'expérience, mais découle directement de principes mécaniques, et est donc nécessaire du point de vue de la logique.

Ainsi, la NATM revendique pour elle-même une loi naturelle incontournable (la fonction auto-portante du massif), qui s'applique en fait à toutes les autres méthodes de construction de tunnels, et qui en représente donc une caractéristique intrinsèque. Cette erreur logique de la définition de la NATM peut être mise en parallèle avec une définition erronée similaire :

« La Nouvelle technique de natation suit une conception qui fait de l'eau un milieu portant par activation de la poussée d'Archimède. »

Dans les deux cas, un mécanisme basé sur une loi naturelle (ici la poussée d'Archimède, là la portance du terrain) est en œuvre, indépendamment de toute méthode particulière. Les deux formulations sont donc inadmissibles, car elles utilisent une caractéristique de l'ensemble pour singulariser un élément.

Cette erreur de définition de la NATM peut être illustrée par les diagrammes des figures 1 et 2. Une définition correcte (Fig. 1) nécessiterait une caractérisation différenciant conceptuellement la NATM des autres méthodes de construction de tunnels. Or, la NATM veut au contraire se distinguer par une caractéristique essentielle à l'art même de la construction de tunnels. De ce fait, elle quitte la catégorie des méthodes de construction pour s'engouffrer subrepticement dans le concept même de la construction des tunnels (Fig. 2)

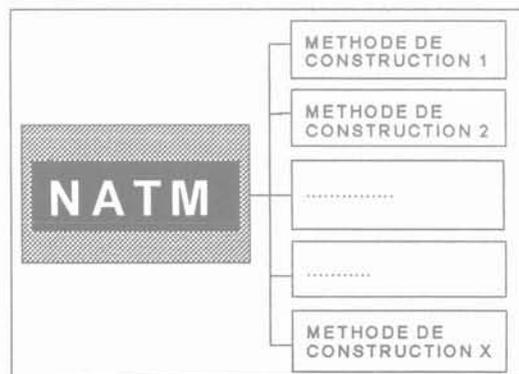


FIG. 2 Conséquence pratique de la définition de la NATM : la NATM s'arrogue le concept de construction de tunnels.

Practical outworking of the NATM definition : the NATM arrogates to itself the essence of tunnelling.

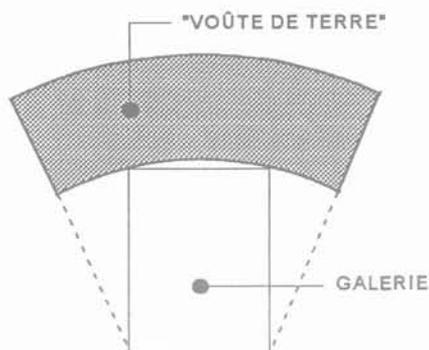


FIG. 3 Voûte de terre d'après Engesser (1882, [5]).
Arch action in cohesionless ground according to Engesser (1882, [5]).

et se sentir en droit de considérer toutes les autres méthodes comme lui étant subordonnées. Et, en effet, dans les milieux de la NATM, on s'occupe sérieusement de savoir quelles méthodes de construction de tunnels peuvent être englobées dans la NATM et d'après quels critères [2]. On pense aussi que « la NATM n'est pas une méthode particulière, mais est l'accumulation de l'ensemble du savoir-faire mondial dans le domaine » [3]. Le concept de construction de tunnels est remplacé par celui de NATM. De ce fait, la NATM représente à la fois le concept le plus global et aussi le plus vide de sens de la construction des tunnels, car d'après les règles de la logique, le contenu d'un concept diminue avec son extension. Il s'en suit, par exemple, que pour la NATM, ce n'est pas la méthode de construction qui est adaptable, mais c'est le concept même qui est indéfiniment flexible.

Tout le monde sait que c'est Archimède qui a découvert la loi de la poussée de l'eau. Or, qui a eu le mérite de découvrir que la fonction portante du terrain découle d'une loi naturelle ?

En 1879 déjà, Ritter [4] constate qu'à partir d'une certaine profondeur du tunnel, la hauteur de couverture n'a plus qu'une influence minimale sur la pression du massif, qui reprend lui-même le poids de la couverture. Trois années plus tard (1882), Engesser [5] émet l'hypothèse de la formation d'une voûte dans le terrain suite au tassement du faite du tunnel (Fig. 3). La relation intime entre les déformations du terrain et les pressions qu'il exerce est ainsi reconnue et clairement formulée.

Wiesmann [6] décrit en 1912 la fonction portante du massif comme suit :

« Si l'état d'équilibre régnant dans le massif est rompu suite à l'excavation d'une cavité, les particules de matière autour de celle-ci doivent reprendre la pression qui avait auparavant été supportée par le matériau excavé, comme c'est le cas si nous perçons un trou dans un mur. »

Il continue :

« La tâche du constructeur de tunnels n'est pas de supporter la pression de couverture – ceci est réalisé par la gaine protectrice – mais il ne doit s'occuper que de la préservation de celle-ci. »

Sous le terme de gaine protectrice, Wiesmann entend la partie de terrain entourant la cavité et sou-

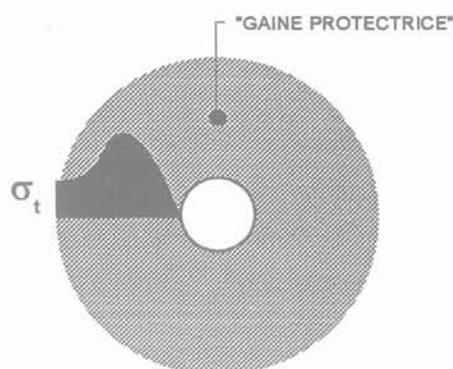


FIG. 4 Gaine protectrice d'après Wiesmann (1909/1912, [6]).
Protective zone according to Wiesmann (1909/1912, [6]).

mise à une redistribution des contraintes, c'est-à-dire le disque troué (Fig. 4). La gaine protectrice n'a pas de frontière bien définie.

Cinquante ans plus tard, en 1962, année de naissance de la NATM, Rabcewicz [7] écrit :

« Je pense qu'on a maintenant compris que le vrai support, lors de la construction de cavités, c'est le terrain lui-même. »

Et il continue :

« La tâche la plus importante du constructeur de tunnels moderne est de préserver autant que possible et de renforcer les caractéristiques portantes du massif. »

Rabcewicz ignore complètement que cette idée a déjà été formulée et fondée avant lui dans les manuels d'antan. C'est pour cette raison qu'il ne l'attribue pas à la construction des tunnels en général, mais exclusivement à la « Nouvelle méthode autrichienne de construction de tunnels », expression qu'il introduit la même année. Les difficultés conceptuelles de la NATM ont ainsi été pré-programmées et ne se sont pas estompées jusqu'à aujourd'hui.

De même les membres du Comité national autrichien pour la construction de cavités (et parmi eux Müller et Pacher) ne se sont pas rendus compte en 1980, lors de l'élaboration de la définition officielle de la NATM [1], combien l'idée de fonction portante du terrain était déjà ancrée profondément dans la conscience des professionnels depuis le début du siècle.

Voici encore une formulation particulièrement pertinente de Maillart en 1923 [8] :

« A partir du moment où nous mettons en place un soutènement capable de supporter une pression extérieure, la résistance du massif se trouve augmentée, ce qui lui permet de s'auto-supporter. »

Lors d'un exposé tenu en 1956, soit six ans avant la NATM, Mohr [9] dit que :

« L'application pratique de cette connaissance demande de ne soutenir le massif que jusqu'à ce qu'il soit capable de s'auto-supporter. »

En revendiquant la collaboration statique du terrain pour elle seule, la NATM ne commet pas seulement une erreur logique, mais elle méconnaît aussi ceux qui ont eu le mérite de reconnaître et de formuler clairement cette loi suprême de la statique des tunnels. Lors de ses

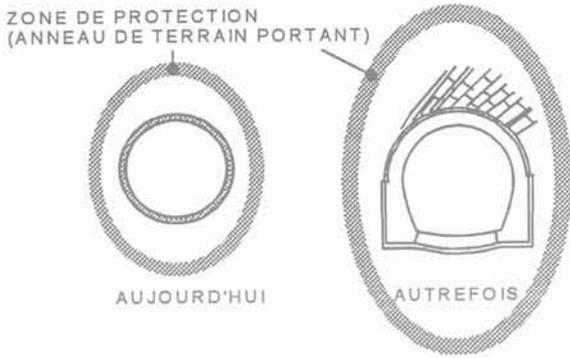


FIG. 5 Zone de protection (anneau de terrain portant) d'après Müller et Fecker [10]. Protective rings (ground rings) according to Müller and Fecker [10].

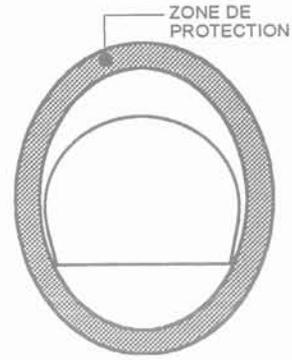


FIG. 6 Zone de protection d'après Rabcewicz (1944, [11]). Ground ring according to Rabcewicz (1944, [11]).

postulats, la NATM se sert des termes d'éminents constructeurs de tunnels ou scientifiques d'antan [6, 8].

1.2

L'activation d'un anneau de terrain portant

Nous allons maintenant nous consacrer à l'idée, selon laquelle un anneau de terrain portant doit s'activer lorsqu'on applique la NATM. Cette exigence du système de pensée de la NATM ne figure pas dans la littérature sur les autres méthodes de construction de tunnels.

Qu'est-ce qu'un anneau de terrain portant ? La littérature sur la NATM et la brochure du Comité national autrichien donnent toute une série de réponses, qui diffèrent cependant beaucoup l'une de l'autre. Résumons brièvement les différentes représentations, souvent contradictoires, utilisées par les fondateurs de la NATM pour leur argumentation :

- l'anneau de terrain portant [10] est aussi appelé gaine de protection (Fig. 5) ;
- lors de constructions de tunnels effectuées antérieurement, les anneaux de terrain portants se situaient apparemment plus loin de la cavité qu'aujourd'hui avec la NATM (Fig. 5) ;

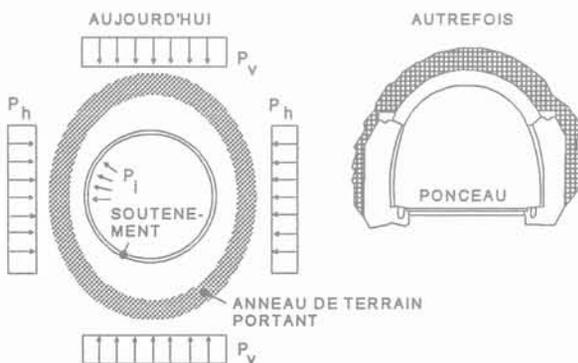


FIG. 7 Anneau de terrain portant d'après Müller et Fecker [10]. Ground ring according to Müller and Fecker [10].

- les anneaux de terrain portants sont souvent représentés comme des ellipses à grand axe vertical (Fig. 5) ;

- chez Rabcewicz [11], les anneaux touchent latéralement la cavité, alors que ce n'est pas le cas chez Müller et Fecker [10] (Fig. 5 et 6) ;

- les anneaux de terrain portants doivent être mobilisés en permettant au massif de se déformer, sinon ils ne se forment pas. En cas de déformations insuffisantes, l'anneau ne se ferme pas [1] ;

- du point de vue de la statique des tunnels, seuls le soutènement [1] et l'anneau de terrain portant comptent (Fig. 7). Ce dernier est chargé d'une façon ou d'une autre. Autrefois, l'anneau de terrain portant pouvait apparemment manquer ;

- lors d'excavations en section divisée (Fig. 8), il y a toute une série d'anneaux de terrain portants qui se forment [12], ce qui, d'après les conceptions de la NATM, endommage le massif. D'où la préférence de la NATM pour des excavations à pleine section. Les zones plastiques interrompent l'anneau de terrain portant [13] ;

- il existe aussi des textes [3] sur des anneaux de terrain portants intacts et résiduels ; ces derniers ne sont toutefois pas fermés (Fig. 9). La différence entre anneaux de terrain intacts et résiduels n'est cependant pas expliquée ;

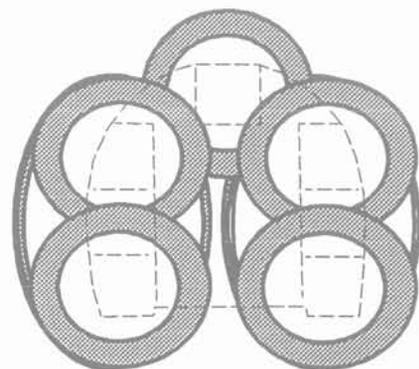


FIG. 8 Anneaux de terrain portants lors d'excavations partielles d'après Müller [12]. Ground rings around multiple adits according to Müller [12].

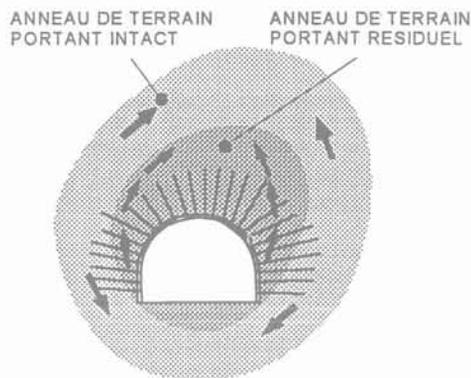


FIG. 9 Anneau de terrain portant intact et résiduel d'après Hagenhofer [8].
Intact and residual rock arch according to Hagenhofer [3].

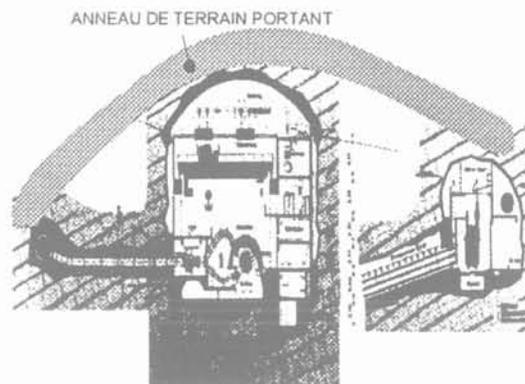


FIG. 10 Anneau de terrain portant au-dessus d'une caverne d'après Wisser [14].
Ground ring above a cavern according to Wisser [14].

- l'anneau de terrain portant autour d'une caverne [14] ressemble apparemment au toit d'une halle (Fig. 10). On n'indique pas sur quoi s'appuie cette voûte, et la raison pour laquelle l'anneau de terrain portant manque dans la région du radier n'est pas claire non plus ;

- au droit de la zone de transition du tunnel sous la Manche [15], la forme de l'anneau de terrain portant est extrêmement singulière (Fig. 11). En haut, il est épais, puis il s'amincit progressivement vers les bords et ne se ferme pas en bas ;

- dans la littérature sur la NATM, nous trouvons aussi des descriptions de plusieurs anneaux de terrain portants qui transformeraient le massif « en une construction portante en forme de pelures d'oignon » [16] (Fig. 12). On ne dit pas si ces anneaux se forment simultanément ou non.

La NATM travaille essentiellement avec quatre hypothèses fondamentalement différentes sur les anneaux de terrain portants. D'après la NATM, le terme « anneau de terrain portant » peut signifier, au choix (Fig. 13) :

1. la gaine protectrice selon Wiesmann (effet de support naturel) ;
2. les zones du terrain avec des pointes de contraintes tangentielles (zones de protection) ;

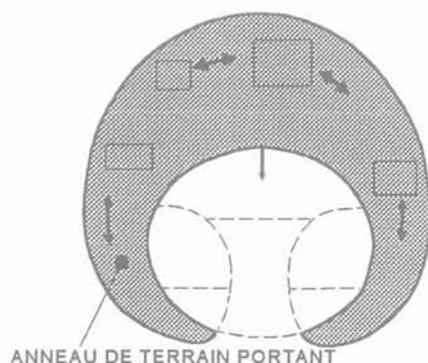


FIG. 11 Forme singulière de l'anneau de terrain portant au tunnel sous la Manche (Myers *et al.*, [15]).
Specific form of the ground ring with the Channel Tunnel (Myers *et al.*, [15]).

3. la zone plastique et
4. la portion de terrain avec ancrage systématique.

Dans la littérature sur la NATM, on passe arbitrairement d'une de ces quatre catégories de conceptions extrêmement divergentes à l'autre, et le lecteur constate que la signification peut même changer à l'intérieur d'un même article.

On comprend ainsi pourquoi ni les créateurs ni les tenants de la NATM n'ont jamais pu donner la moindre esquisse de méthode pour déterminer ni la forme et l'épaisseur de l'anneau de terrain portant ni ses caractéristiques mécaniques (Fig. 14). Il existe des indications selon lesquelles « l'épaisseur de l'anneau de terrain portant est choisie librement » [17]. La figure 14 énumère tous les paramètres qui devraient être connus pour pouvoir le traiter selon les méthodes de l'ingénieur. A-t-on jamais soumis un anneau de terrain portant selon la figure 14 à un contrôle de qualité ? Müller [13] prétend que :

« La zone de protection en forme d'anneau fermé est une réalité vécue par la plupart des constructeurs de tunnels. »

La NATM pose des conditions pour la formation de l'anneau de terrain portant. Il faut le mobiliser ou l'activer, sinon, c'est notoire, il ne se forme pas du tout ou

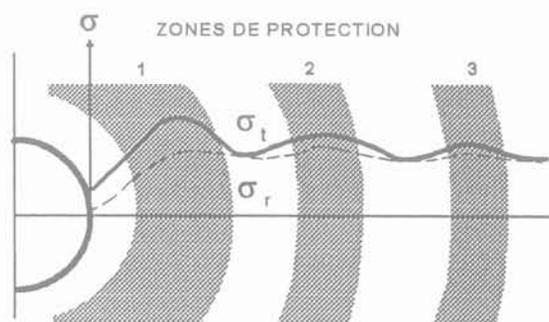


FIG. 12 Plusieurs anneaux de terrain portants en forme de « pelures d'oignon » d'après Müller, Sauer et Vardar [16].
Several ground rings according to Müller, Sauer and Vardar [16] forming an « onion-skin-shell structure ».

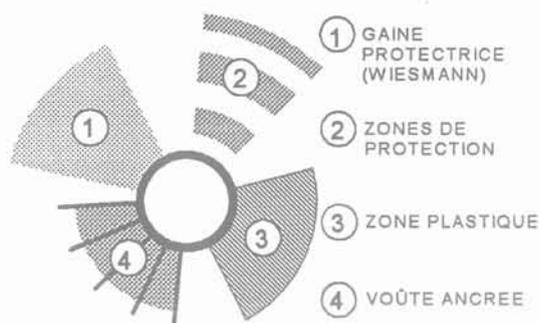


FIG. 13 Multiplicité des significations du terme anneau de terrain portant.
The varieties of concept of the ground ring.

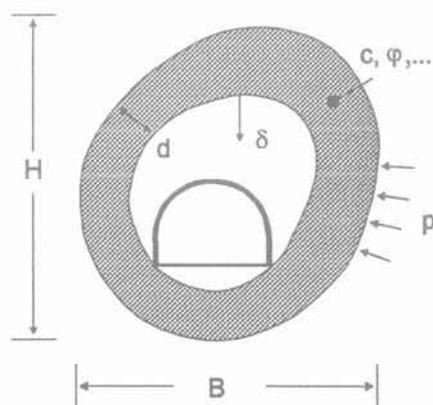


FIG. 14 La forme, l'épaisseur et les caractéristiques mécaniques de l'anneau de terrain portant restent indéterminées.
Shape, thickness and material properties of the ground ring remain undetermined.

seulement de façon hésitante, en refusant de se fermer [1]. Sous le terme d'activation, les uns comprennent un ancrage systématique, d'autres des déformations contrôlées du massif, encore d'autres l'attente d'un certain délai, etc. Mais il est aussi question de la mise en place immédiate d'une coque de protection en béton projeté.

Une des formulations les plus répandues est que la NATM « autorise » les déformations du massif et lui « laisse » du temps pour acquérir la capacité de s'auto-porter. Or, dans la construction de tunnels, aucune mesure raisonnable ne permet d'empêcher les déformations, et la mise en place du soutènement prend toujours un certain temps, ce qui rend le postulat indéfendable et particulièrement trompeur.

Résumons les résultats de nos recherches sur la définition officielle de la NATM (publiée en dix langues, conformément à la grande importance qui lui a été conférée) :

– lors de la construction de tunnels, et quelle que soit la méthode, le terrain représente nécessairement un **élément statique portant**. Le mérite de cette reconnaissance ne revient pas aux créateurs de la NATM ;

– l'**activation d'un anneau de terrain portant**, telle que demandée spécifiquement par la NATM, est irréaliste. Les expressions *anneau de terrain portant* et *activation* ont tellement de significations différentes qu'elles en deviennent inutilisables du point de vue

scientifique. La définition de la NATM s'avère être une définition obscure car elle explique un terme inconnu (la NATM) par une autre expression inconnue (l'activation d'un anneau de terrain portant).

Nous avons ainsi trouvé la justification de la constatation suivante de Müller et Fecker [10] sur la NATM :

« Pratiquement chaque utilisateur de cette méthode de construction en a une idée différente. »

La validité de cette constatation n'a pas changé depuis 1978. La réponse à la question de savoir s'il existe une NATM est ainsi indéniablement négative.

2

L'optimisation de la pression de soutènement

Nous allons maintenant nous occuper de la thèse centrale de la NATM, à savoir l'optimisation de la pression de soutènement.

En 1964, Pacher a publié un article [18] où il prétend que les courbes caractéristiques du massif ont une forme en cuvette, ce qui permet la minimisation des soutènements. A partir de 1972, cette idée devient de plus en plus centrale dans la théorie de la NATM [19]. Selon Müller, « la conception globale de la NATM repose sur les courbes caractéristiques de Pacher ».

De quoi s'agit-il ? Selon la NATM, il s'agit simplement de déterminer la courbe caractéristique du soutènement [1, 10] de manière qu'elle coupe la courbe caractéristique du massif en son point le plus bas (Fig. 15). Rabcewicz [19] pense que :

« Grâce aux auscultations, on est en mesure de contrôler le jeu des forces et de choisir p_i (pression de confinement) de manière à atteindre l'optimum. »

Sur la figure 15, nous avons repris une représentation de Müller et Fecker : en abscisse est reportée la déformation radiale $\Delta R/R$ et en ordonnée la pression radiale p_r . On remarquera la symétrie de révolution de la géométrie et des charges.

La figure 16 montre une bifurcation de la courbe caractéristique [12]. La branche qui décroît résulte de la théorie de la plasticité. La NATM postule la branche ascendante en l'expliquant par le déconfinement et la décohérence. Dans ce diagramme, le déplacement radial est indiqué en millimètres et la pression radiale en % de la contrainte géostatique initiale.

Müller justifie l'influence extrême du déconfinement sur la pression des terrains comme suit [12] :

« Plus la pression des terrains est élevée, plus important est le déconfinement, et celui-ci amplifie à son tour la pression des terrains. »

Un tel processus est appelé une réaction en chaîne (une réaction qui, une fois lancée, provoque de nouvelles réactions du même type). Si on examine de plus près le schéma de la figure 16, on voit qu'il représente bien le résultat d'une réaction en chaîne. On voit aussi que l'accroissement de la pression des terrains due au déconfinement peut atteindre 70 % des contraintes initiales. Pour un tunnel situé à 1 000 m de profondeur, il faudrait donc reprendre une pression correspondant au poids d'une colonne de terrain de 700 m de hauteur. Or, depuis le milieu du siècle dernier, les ingénieurs savent bien que ceci n'est pas vrai.

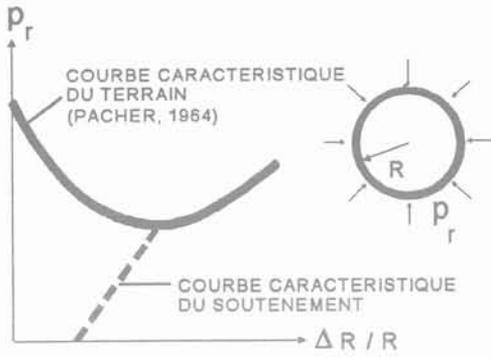


FIG. 15 Optimisation de la pression de soutènement d'après Müller et Fecker [10].
Optimization of the rock pressure after Müller and Fecker [10].

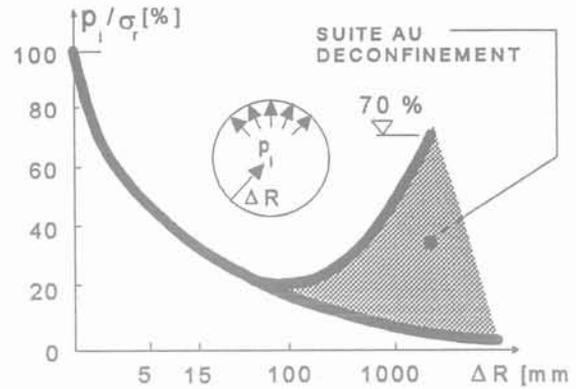


FIG. 16 Bifurcation de la courbe caractéristique due au déconfinement d'après Müller [12].
Bifurcation of the ground response curve due to strain softening in the rock mass after Müller [12].

Où est la raison pour cette contradiction éclatante ?

Elle réside simplement dans l'ineptie de l'hypothèse d'une réaction en chaîne dans le massif. Il n'existe en effet aucune raison ni théorique ni empirique justifiant l'existence d'une courbe caractéristique selon Pacher.

Il n'existe qu'une seule courbe caractéristique fondée théoriquement, à savoir celle découlant de la théorie de la plasticité représentée à la figure 17. Avec ou sans perte de résistance – telle qu'on peut l'observer dans un essai triaxial ou de cisaillement selon la figure 18 – la courbe caractéristique ne remonte jamais.

Le volumineux rapport de recherche [20] sur des courbes caractéristiques devant servir au dimensionnement selon la NATM ne mentionne même pas la possibilité de courbes en cuvette. On n'en trouve pas non plus trace dans les directives de l'AITES [21]. Les travaux *Finite element analysis of the NATM* [22] et *NATM and finite elements* [23] ne parlent ni d'anneaux de terrain activés, ni de courbes de Pacher.

On ne peut imaginer qu'une seule possibilité de s'écarter du décroissement monotone des lignes caractéristiques : c'est le cas d'un bloc qui se détacherait partiellement ou totalement du massif (par suite d'une orientation défavorable des discontinuités ou de la formation de lignes de cisaillement) et qui ajouterait son

pois à la pression des terrains en calotte (Fig. 19 et 20). Cette exception est d'ailleurs aussi mentionnée dans la littérature sur la NATM et dans les directives de l'AITES [21]. L'endroit exact le long du tunnel, le volume et l'instant précis où va se produire un tel phénomène erratique ne peut pas être déterminé par le calcul, mais nous retiendrons l'affirmation importante, selon laquelle il n'entraîne pas de réactions en chaîne. Le diagramme de la figure 19 montre le peu d'influence que peut avoir le détachement d'un bloc d'environ 5 m de hauteur (Fig. 20) sur la courbe caractéristique en calotte. Ceci est confirmé par Rabcewicz [11] lorsqu'il dit :

« La pression de déconfinement est généralement inoffensive pour le constructeur de tunnels expérimenté. »

Müller remarque aussi [12] :

« Dans la construction de galeries et de tunnels, les zones de déconfinement ont généralement une extension de 0,5 à 5 m. »

La littérature de la NATM met cependant en garde contre des déconfinements nuisibles. D'après Rabcewicz [24] :

« L'empêchement d'un déconfinement inadmissible est une exigence intrinsèque de la NATM. »

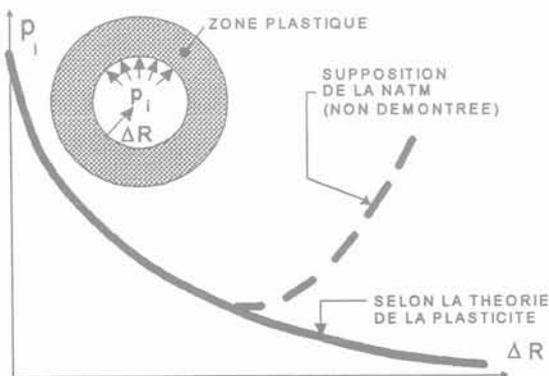


FIG. 17 Courbe caractéristique selon la théorie de la plasticité en comparaison avec la courbe caractéristique de la NATM.
Ground response curve according to plasticity theory in comparison with that of the NATM.

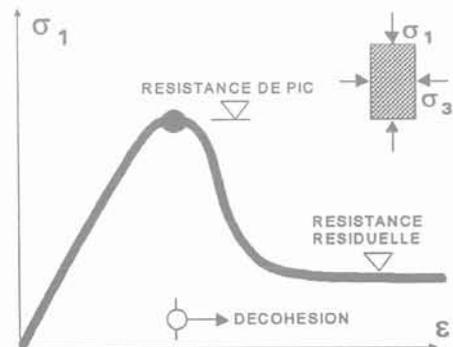


FIG. 18 Perte de résistance lors d'un essai triaxial ou de cisaillement.
Loss of strength in shear and triaxial tests.

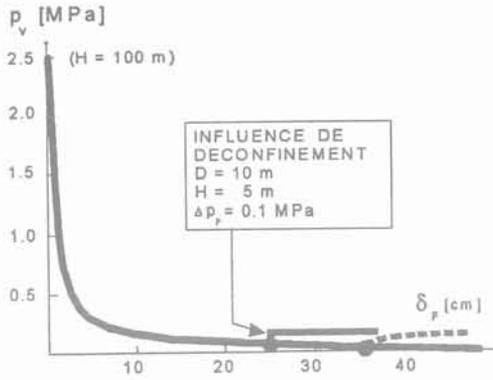


FIG. 19 Influence du déconfinement au-dessus du first sur la courbe caractéristique. Influence of loosening in the roof area on the ground response curve.

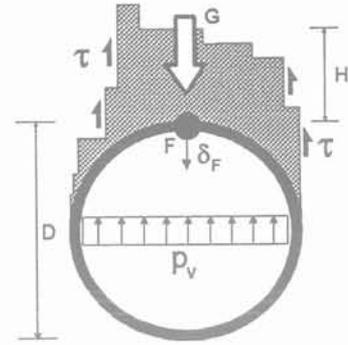


FIG. 20 Augmentation de la pression en calotte par déconfinement de la roche (phénomène erratique, imprévisible et qui ne peut pas être déterminé par le calcul). Increase of pressure on the roof lining due to rock loosening (erratic, unpredictable event which does not lend itself to numerical computation).

Rabcewicz en vient ainsi au concept de « déconfinement admissible ». Cette constatation est cependant en contradiction avec les citations ci-dessus, selon lesquelles la pression de déconfinement est inoffensive. Le terme de « déconfinement admissible » n'a d'ailleurs jamais été défini. En 1978, Müller [12] a constaté avec raison que :

« Il n'existe malheureusement aucune étude sur la relation entre le déconfinement et la décohéation qu'il engendre. »

La théorie des anneaux de terrain portants activés et celle des courbes caractéristiques de Fenner-Pacher ont été discutées séparément. Mais chacun conçoit que les propriétés du terrain à proximité immédiate de la cavité ont une influence sur l'allure des courbes caractéristiques. Quoi qu'on entende par anneau de terrain portant, il faudrait donc qu'il existe une relation intime entre lui et la courbe caractéristique. Or, dans la littérature sur la NATM, les postulats sur l'activation d'un anneau de terrain portant et sur la courbe caractéristique de Pacher sont toujours cités indépendamment l'un de l'autre.

Nous résumons :

L'optimisation de la pression de soutènement dans le sens donné par les fondateurs de la NATM (Rabcewicz, Müller et Pacher) n'est foncièrement pas possible, car son hypothèse de départ, la forme en cuvette des courbes caractéristiques d'après la figure 21, ne se justifie pas théoriquement et n'a jamais été constatée empiriquement. De ce fait, le postulat fondamental de la NATM : « Soutènement ni trop rigide ni trop souple mis en place ni trop tôt ni trop tard » [10] devient caduc. Le choix optimal de la pression et de la déformabilité du soutènement ainsi que le moment de sa mise en place doivent être effectués d'après d'autres critères et constituent un des problèmes les plus complexes de la construction des tunnels. Comme d'autres, cette formulation de la NATM consiste en une tentative de trivialisatation de la construction de tunnels.

Lorsqu'un théorème contient une erreur grossière, les portes sont grandes ouvertes pour d'autres erreurs encore plus grandes. Selon Sauer [25], « la théorie et la pratique de la NATM » travaillent avec encore d'autres formes de courbes caractéristiques. Il rapporte :

« Les constatations et observations effectuées et les résultats d'auscultations exigent en résumé que la courbe de Fenner-Pacher soit complétée par un maximum et un minimum supplémentaires dans la région près du front. »

Pour fonder cette affirmation, on montre une courbe de Pacher modifiée, qui doit faire état de la relation entre six variables. Les deux axes de coordonnées portent chacun non pas une, mais trois variables. Le fait que deux des six variables ne sont même pas définies porte la confusion à son paroxysme. Ce faux formalisme mathématique donne pourtant une impression de travail scientifique. On ne comprend pas pourquoi le Comité national autrichien pour la « Construction de cavités » de l'AITES n'intervient pas contre de telles représentations, alors qu'il se comporte autoritairement envers ceux qui critiquent la NATM [26].

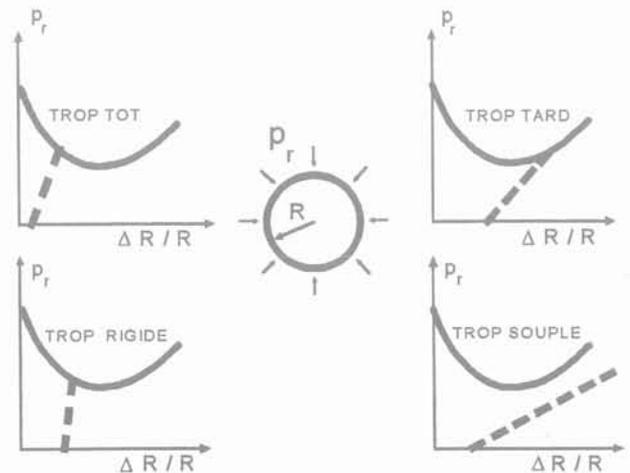


FIG. 21 Sixième principe de la NATM : « Soutènement ni trop rigide ni trop souple mis en place ni trop tôt ni trop tard » (Müller et Fecker [10]). Sixth basic principle of NATM : « Construct the lining not too early or too late, and not too rigid or too flexible » (Müller and Fecker [10]).

L'échafaudage conceptuel de la NATM et ses méthodes de raisonnement

Nous terminons nos observations avec une caractérisation générale de « l'échafaudage conceptuel » de la NATM [10].

Nous savons tous que les concepts représentent les éléments de la pensée et donc du jugement [27]. La démonstration d'une découverte scientifique présuppose des concepts clairement définis et des déductions correctes. Des connaissances qui ne sont pas fondées ou qui reposent sur des déductions erronées ne peuvent pas être considérées comme vraies.

Si on s'intéresse à la manière avec laquelle la NATM forme ses concepts, on remarque qu'elle travaille avant tout avec des définitions nominales. Sous ce terme, nous entendons une pure formation de mots, sans délimitation du contenu. Les définitions nominales ne font qu'effleurer un concept, par opposition aux définitions réelles, qui ont un contenu clair. Seules ces dernières s'adaptent au travail scientifique.

Les exemples suivants, tirés de la littérature de la NATM, montrent les inconvénients que présentent des définitions sans contenu conceptuel clair.

DÉFINITIONS NOMINALES*

Sensibilité à la décohesion
Aptitude à la relaxation
Vitesse de relaxation
Revêtement semi-rigide
Vide de forces
Filtre de moments
Composante additionnelle du poids
Caractère additionnel de charge
Effet d'auto-protection
Réserve de portance fonction des tassements
Ombre des contraintes redistribuées
Événement de la redistribution des contraintes
Événement des contraintes
Facteur temps spécifique
Nécessité de redistribution
Déconfinement admissible

(Tiré de la littérature sur la NATM)

Comment la langue réagit-elle sur un tel système de pensée ? Elle commence par foisonner. La formation linguistique cache le manque de compréhension des relations logiques. Ci-dessous figure une série de mots utilisés comme synonymes de « anneau de terrain portant » dans la littérature sur la NATM.

Expressions voisines de « ANNEAU DE TERRAIN PORTANT »*

Coque externe
Voûte externe
Anneau externe
Zone sous pression
Zone détendue
Anneau rocheux portant
Zone d'écoulement
Champ de lignes d'écoulement
Élément de support du terrain
Coque de terrain
Anneau de voûte
Coque de voûte
Zone de rupture en cisaillement
Voûte en anneau
Ligne de support d'anneau
Voûte de protection
Gaine de protection
Zone de protection
Anneau support
Voûte portante
Enveloppe portante
Élément portant
Anneau portant
Formation de coque portante
Zone portante
Coques en forme de pelures d'oignon
Tube épais
Voûte de roche intacte
Zones comprimées en elles-mêmes
Zones de Kastner en forme d'oreilles
Anneau déterminant de terrain portant
Zone aidant à porter
Voûte naturelle
Zones de cisaillement en forme d'oreilles
Poches en forme d'oreilles
Zone plastique
Zone d'écoulement pseudo-plastique
Zone diagonale pseudo-plastique
Voûte d'écoulement résiduelle
Anneau résiduel de terrain portant
Zone d'écoulement en anneau
Zones portantes en forme de coque
Voûte auto-portante
Coque de protection réduisant les contraintes
Anneau portant stabilisateur
Zones d'écoulement en forme de poches
Constructions portantes dans le massif
Zone de Trompeter
Voûte portante virtuelle
Zone de Wiesmann
Zone à pression augmentée
Zone en forme de langue

(Tiré de la littérature sur la NATM)

* Comme la signification de ces expressions n'est souvent pas très claire, même dans la version originale en allemand, nous avons choisi ici une traduction littérale.

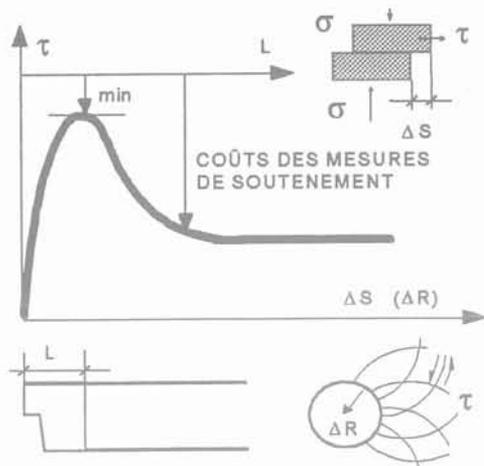


FIG. 22 Relation impossible entre essai de cisaillement, convergence, distance du front et coûts des mesures de soutènement et de support (Sauer, [25]). Unfounded relation between shear test, convergence, distance from the excavation face and costs for support measures (Sauer, [25]).

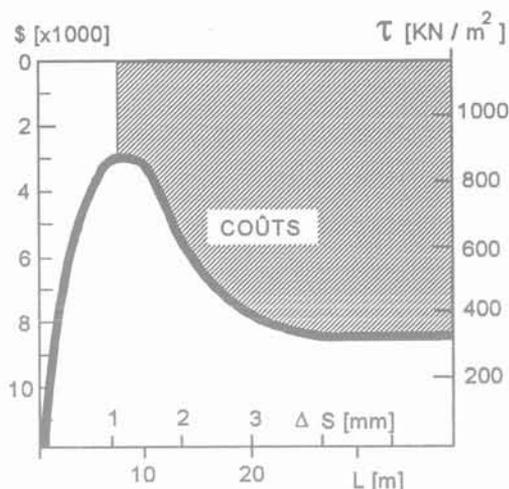


FIG. 23 Coûts des mesures de soutènement et de support en fonction de la résistance au cisaillement suite à la théorie de la NATM. Costs for the support measures in a supposed function of the shear strength following the NATM theory.

La diversité de ces expressions rappelle le Faust de Goethe :

*« Lorsque le sens parfois s'efface,
Le mot s'insinue à sa place,
Grâce à des mots on peut se disputer,
Avec des mots un système inventer... »*

(Traduction Jean Malaplate)

Si les concepts sont flous, les jugements qui en découlent sont nécessairement faux, ou pour le moins non contraignants. Dans la littérature de la NATM, on rencontre souvent des déductions fausses ou incomplètes. Une conclusion fautive survient lorsqu'on utilise le même concept tout en changeant son contenu, la conclusion dépendant alors de plusieurs concepts [27]. De cette façon, on peut toujours démontrer ce qui arrange et tolérer côte à côte des idées contradictoires. Un bon exemple pour illustrer une déduction fautive est l'instruction pour activer l'anneau de terrain portant.

Si une ou plusieurs des prémisses ne sont pas explicitées dans le raisonnement, on en arrive à une conclusion incomplète. L'affirmation de la NATM, selon laquelle le terrain a besoin de temps pour l'établissement d'un nouvel état d'équilibre, est une conclusion incomplète. Il faudrait ajouter que cette affirmation n'a un sens pratique que pour certains types de massifs. Une conclusion erronée résulte aussi de l'emploi d'un concept bien connu et défini dans un sens arbitrairement modifié. Ceci est le cas dans [25] lors de la représentation d'une courbe caractéristique avec deux minima et un maximum.

On commet cependant une erreur grave si on annonce une « découverte » sans la prouver. Le diagramme (Fig. 22) que Sauer [25] a publié dans son article *Théorie et pratique de la NATM* en est un exemple. Ce diagramme essaye d'établir une relation entre les grandeurs suivantes :

– chemin (ΔS) et contrainte (τ) lors d'un essai de cisaillement direct ;

– convergence radiale (ΔR) et distance (L) entre le front et l'anneau de revêtement d'une cavité.

Sauer commente [25] :

« Les coûts pour les mesures de soutènement et de support peuvent être déduits par analogie à cette courbe. Ils résultent de la différence avec un support théorique minimal lorsqu'on profite de façon maximale de la résistance initiale au cisaillement. »

Ce diagramme nous donnerait donc un moyen pour déterminer les coûts de soutènement d'un tunnel sur la base de quelques essais de cisaillement en laboratoire. Cette courbe pourrait avoir l'allure de celle de la figure 23 où les coûts en dollars par mètre linéaire de soutènement pourraient être lus en ordonnée. Selon la forme de la courbe de cisaillement, les coûts augmenteraient rapidement à partir d'une certaine distance du front.

Cette théorie de la NATM selon Sauer n'est pas justifiée. Elle n'est même pas justifiable, car on peut facilement montrer que de telles relations ne peuvent tout simplement pas exister. Mais le lecteur en retire l'impression que la NATM maîtrise certains aspects qui restent hors de portée d'autres méthodes de construction de tunnels.

4

Conclusions sur « l'échafaudage conceptuel » NATM

Une analyse critique de la NATM dans son système conceptuel n'est pas possible. Ses concepts ont tellement de significations différentes qu'ils se dérobaient à toute approche. Mais si on considère la NATM dans sa globalité, non seulement elle ne peut pas échapper à la critique, mais elle ne peut pas non plus lui résister.

- [1] Neue Österreichische Tunnelbaumethode, Definition und Grundsätze, Selbstverlag der Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen im ÖLAV, Wien, 1980.
- [2] Lauffer H. – Forderungen der NÖT an maschinelle Vortriebssysteme. *Felsbau* 6, Nr. 4, 1988.
- [3] Hagenhofer F. – NATM for tunnels with high overburden. *Tunnels and Tunneling*, May, 1990.
- [4] Ritter W. – Statik der Tunnelgewölbe. Berlin, 1879.
- [5] Engesser F. – Über den Erddruck gegen innere Stützwände (Tunnelwände). *Deutsche Bauzeitung*, 1882.
- [6] Wiesmann E. – Ein Beitrag zur Frage der Gebirgs- und Gesteinsfestigkeit. *Schweizerische Bauzeitung*, Band 53, 1909.
Wiesmann E. – Über Gebirgsdruck. *Schweizerische Bauzeitung*, Band 60, Nr. 7, 1912.
- [7] Rabcewicz L. – Aus der Praxis des Tunnelbaus, Einige Erfahrungen über echten Gebirgsdruck. *Geologie und Bauwesen*, Jg. 27, Heft 3-4, 1962.
- [8] Maillart R. – Über Gebirgsdruck. *Schweizerische Bauzeitung*, Band 81, Nr. 14, 1923.
- [9] Mohr F. – Kraft und Verformung in der Gebirgsmechanik untertage. Deutsche Baugrundtagung, Köln, W. Ernst Verlag, 1957.
- [10] Müller L., Fecker E. – Grundgedanken und Grundsätze der « Neuen Österreichischen Tunnelbauweise ». Felsmechanik Kolloquium Karlsruhe, Trans Tech Publ., Claustal, 1978.
- [11] Rabcewicz L. – Gebirgsdruck und Tunnelbau. Springer-Verlag, Wien, 1944.
- [12] Müller L. – Der Felsbau, Dritter Band : Tunnelbau. Enke Verlag Stuttgart, 1978.
- [13] Müller L. – Der Einfluss von Klüftung und Schichtung auf die Trompeter-Wiesmannsche Zone, 10. Ländertreffen, Int. Büro für Gebirgsmechanik Leipzig, Akad. Verlag, Berlin, 1970.
- [14] Wisser E. – Die Gestaltung von Kraftthauskavernen nach felsmechanischen Gesichtspunkten. *Felsbau* 8, Nr. 2, 1990.
- [15] Myers A., John M., Fugeman I., Lafford G., Purrer W. – Planung und Ausführung der britischen Überleitstelle im Kanaltunnel. *Felsbau* 9, Nr. 1, 1991.
- [16] Müller L., Sauer G., Vardar M. – Dreidimensionale Spannungsumlagerungsprozesse im Bereich der Ortsbrust. *Rock Mechanics*, Suppl. 7, 1978.
- [17] Duddek H. – Zu den Berechnungsmodellen für die Neue Österreichische Tunnelbauweise (NÖT). *Rock Mechanics*, Suppl. 8, 1979.
- [18] Pacher F. – Deformationsmessungen im Versuchsstollen als Mittel zur Erforschung des Gebirgsverhaltens und zur Bemessung des Ausbaues. *Felsmech. und Ing. Geol.*, Suppl. I, 1964.
- [19] Rabcewicz L., Golser J., Hackl E. – Die Bedeutung der Messung im Hohlraumbau, Teil I. *Der Bauingenieur* 47, Heft 7, 1972.
- [20] Seeber G., Keller S., Enzenberg A., Tagwerker J., Schletterer R., Schreyer F., Coleselli A. – Bemessungsverfahren für die Sicherungsmassnahmen und die Auskleidung von Strassentunneln bei Anwendung der neuen Österreichischen Tunnelbauweise. *Strassenforschung*, Heft 133, Wien, 1980.
- [21] ITA-Richtlinien für den konstruktiven Entwurf von Tunneln, Taschenbuch für den Tunnelbau. Verlag Glückauf, 1990.
- [22] Swoboda G. – Finite element analysis of the New Austrian Tunneling Method. 3rd Int. Conf. on Num. Methods in Geomechanics, Aachen, 1979.
- [23] Wanninger R. – New Austrian Tunneling Method and finite elements. 3rd Int. Conf. on Num. Methods in Geomechanics, Aachen, 1979.
- [24] Rabcewicz L. – Die Neue Österreichische Tunnelbauweise, Entstehung, Ausführungen und Erfahrungen. *Der Bauingenieur*, 40. Jg., Heft 8, 1965.
- [25] Sauer G. – Theorie und Praxis der NÖT. *Tunnel* 4, 1986.
- [26] Austrian National Committee of the ITA – In defence of NATM (Communication). *Tunnels & Tunneling*, June 1986.
- [27] Hessen J. – Wissenschaftslehre, Lehrbuch der Philosophie. Erasmus-Verlag, München, 1947.
- [28] Locke J. – An Essay concerning Human Understanding. Clarendon Press, Oxford, 1975.