



Le développement des travaux souterrains ainsi que du reste du génie civil a provoqué une utilisation aussi étendue que possible de la capacité portante de la roche. Cela est atteint par l'adhérence entre la roche et l'ouvrage actuel.

Le comportement de la roche dépend d'un nombre de facteurs insuffisamment quantifiés, spécialement attribués à leur concours complexe. C'est pourquoi on doit considérer des preuves de stabilité et des prévisions du comportement des ouvrages sur la base de calculs ou d'essais de maquette avec toute précaution.

Les déformations et les détentes qui se produisent par réaction de la roche à l'excavation d'une cavité et à l'installation retardée des supports ne peuvent pas être déterminées d'une précision satisfaisante en utilisant la statique traditionnelle et la science de la résistance des matériaux. C'est pourquoi il est nécessaire de compléter ou de vérifier les preuves de stabilité par des mesures.

Dans la construction moderne de tunnels et de cavernes on vise à l'utilisation des caractéristiques portantes de la roche aussi optimale que possible. Pour cela il faut contrôler les déformations de la roche en mobilisant une couche protectrice d'un côté pendant qu'on accepte une déconsolidation de la roche à l'autre côté. Plus la réussite, plus la sécurité et l'efficacité. Ce but est atteint au plus tôt si les mesures de fondations et d'ouvrages sont une partie intégrale de la méthode de construction utilisée (voir L. MÜLLER et E. FECKER, Grundgedanken und Grundsätze der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise). Les mesures de déformation, de contrainte, de déplacement et de force remplissent les fonctions suivantes:

- Elles informent du comportement actuel de la roche ou de la construction mixte (roche et coffrage en fonction de tous les facteurs d'influence respectifs comme roche, méthode de construction, mode de fonctionnement, etc.).
- Avec elles il est possible d'assurer la stabilité et de contrôler les bases du projet et de calcul géotechniques,



- en outre la spécification des supports et le moment pour faire le coffrage et le revêtement.
- Avec elles il est possible d'assurer le dimensionnement de l'enveloppe intérieure pour des constructions à deux coques.

A côté de ces fonctions, qui concernent directement le projet d'une galerie, d'un tunnel ou d'une caverne il est nécessaire de contrôler les ouvrages et les installations existants par des mesures en exécutant des travaux souterrains peu profonds dans des terrains bâtis.

Les mesures prises dans les sections de mesure principale sont nécessaires pour donner des informations du comportement de la roche et du coffrage en relation de différentes conditions de roche, méthodes et opérations de construction pour assurer

- l'efficacité et l'efficience des supports utilisés et de la méthode de l'avancement,
- les bases du projet et de calcul,
- la stabilité;
- le danger pour autres ouvrages et installations.

La figure suivante est un exemple d'une section de mesure principale pour un tunnel de transport à deux coques, qui était à construire d'après la nouvelle méthode autrichienne pour constructions de tunnels. Les mesures suivantes sont prévues:

- K - Mesures de convergence
- N - Nivellements dans le tunnel et à la surface du terrain
- E - Mesures par extensomètres
- I - Mesures par inclinomètres
- G - Mesures de pression de la roche
- B - Mesures de pression ou de déformation du béton
- A - Mesures de charge ou de pression

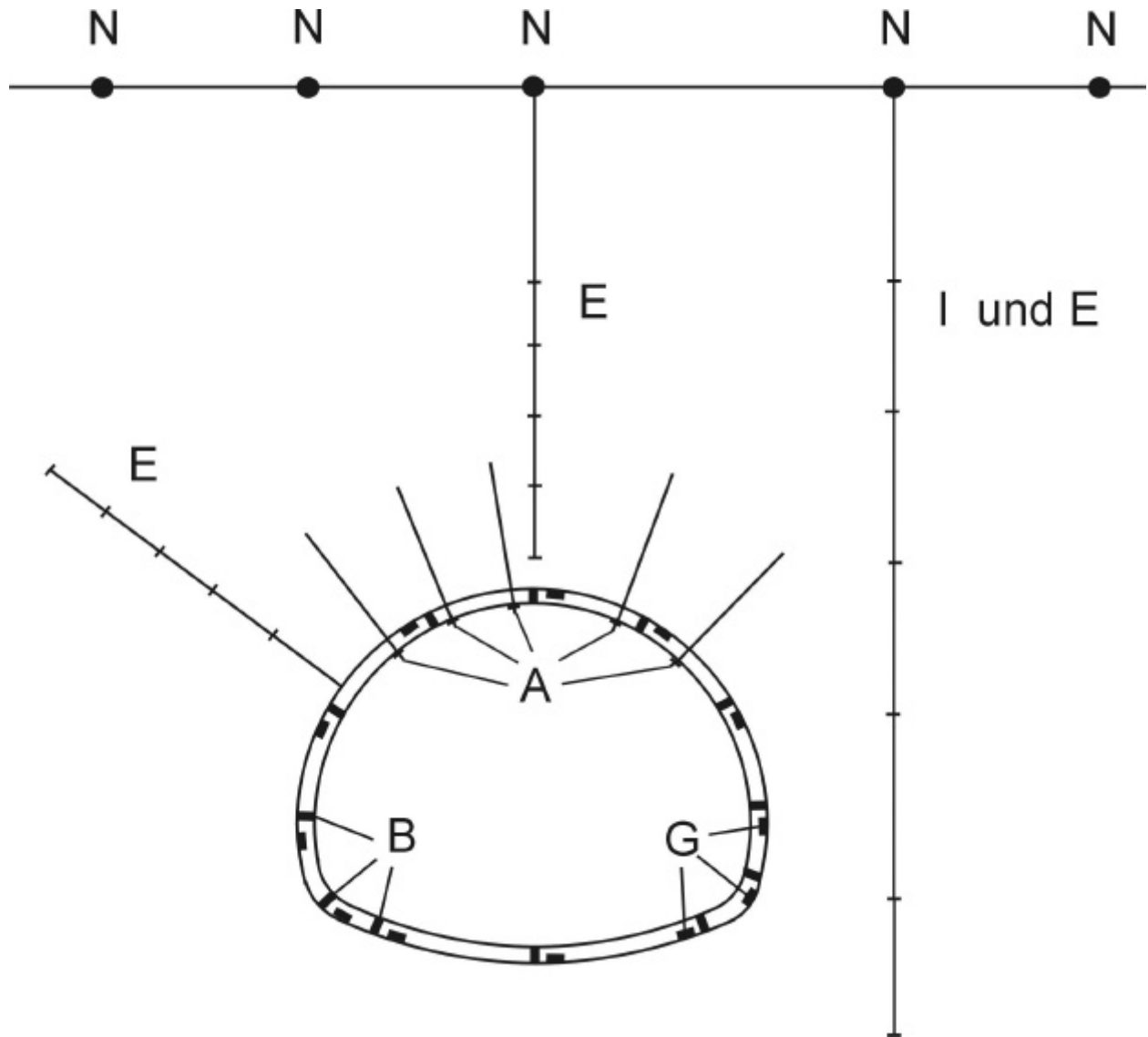


Fig 1 Section de mesure principale d'un tunnel de transport (mesures pendant le délai de construction; les mesures de convergence et les nivellements ne sont pas indiquées)



Avec les mesures prises dans les **sections de mesure standards** d'un tunnel il est possible d'adapter l'opération de construction et les travaux de support aux conditions respectives et d'assurer la stabilité.

Les mesures dans les sections de mesure standard doivent être exécutées simplement et rapidement. Elles doivent être très informatives à l'égard de la stabilité de la cavité creusée. Les résultats doivent identifier le développement temporaire des détentes et détecter si et quand une stabilisation de la cavité excavée et supportée est atteinte.

Les mesures prévues pour les sections de mesure standards devraient être exécutées aussi dans les sections de mesure principales, parce qu'une interprétation réaliste et comparée des résultats des mesures prises dans les sections de mesure standard est seulement possible en relation avec les données plus extensives collectées dans les sections de mesure principales.

Des mesures de convergence et des nivellements se trouvent être particulièrement adaptés à assurer les conditions de charge du coffrage et comparé aux résultats des mesures prises dans les sections de mesure principales, de la roche environnante.

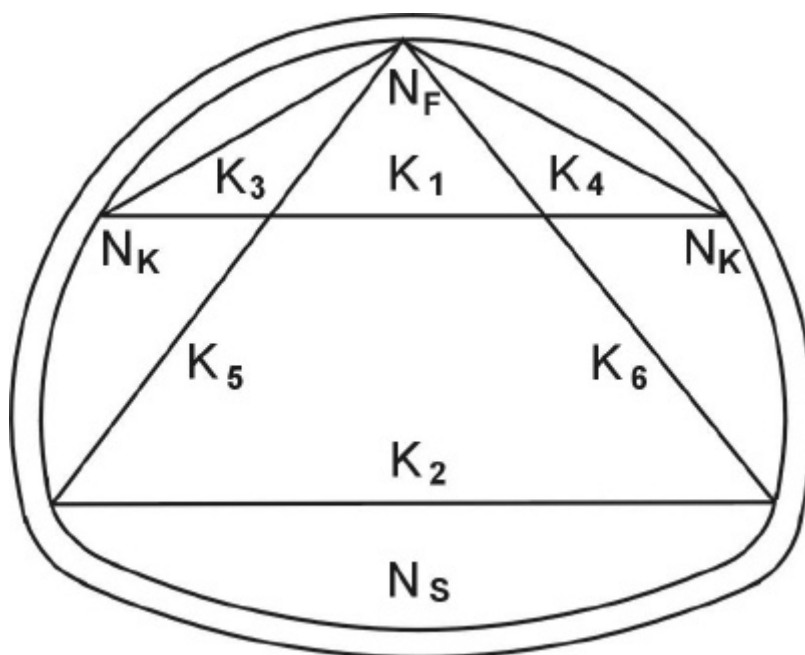


Fig 2 Section de mesure standard pour un tunnel avec avancement en calotte



Pour des mises en adjudication nous recommandons les points suivants:

1. Mise en adjudication des forages pour extensomètres et inclinomètres selon la longueur et le diamètre.
2. Mise en adjudication de la livraison des appareils particuliers selon le nombre des pièces et - le cas échéant - selon le type d'appareil spécifié.
3. Pour des extensomètres multiples il faut indiquer la longueur des extensomètres particuliers, pas seulement la longueur totale.
4. L'installation des appareils doit être mise en adjudication selon le nombre des pièces. L'injection nécessaire doit être payée d'après la consommation. Il faut prévoir des positions de besoin respectives.
5. Les périodes d'arrêt pour l'installation des appareils devraient être payées d'après le temps consacré. Il faut prévoir des positions de besoin respectives.
6. Les périodes d'arrêt pour l'exécution des mesures ainsi que les périodes pour la fourniture des radeaux de soulèvement avec le personnel nécessaire devraient être payées d'après le temps consacré. Il faut prévoir des positions de besoin respectives.

L'information des mesures est fondamentalement dépendante de l'installation soignée des appareils partiellement très chers. C'est pourquoi il faut la confier aux maisons spécialisées. L'installation doit être contrôlée par le commettant; elle doit être documentée à l'aide de photos et de dessins. Il faut spécialement fixer graphiquement les excavations multiples, l'épaisseur du coffrage et la situation géologique.



C'est l'ingénieur conseil géotechnique du commettant ou son adjoint qui doit exécuter et évaluer les mesures, parce que c'est celui-ci qui prend directement part aux travaux de construction et qui peut ainsi diminuer les empêchements.

Le commettant, l'expert du commettant et celui qui accomplit la commission doivent interpréter les résultats ensemble. Une interprétation rapide et une inscription des résultats en diagrammes est la seule possibilité de tirer la conclusion sur l'opération de construction et sur la stabilité, en ce qui profite l'efficacité de l'ouvrage.

En ce qui concerne l'exécution des types de mesures particuliers on peut dire le suivant:

Des nivellements et des mesures de convergence peuvent être exécutés rapidement et à prix modéré. Il est recommandé de ne pas affecter de grandes prétentions à la précision de ces deux types de mesure, mais d'installer plusieurs sections de mesure. Avec celles-ci on peut contrôler perpétuellement si les moyens de coffrage sélectionnés sont suffisants et si la vitesse de l'avancement est bien choisie. Souvent une augmentation de la vitesse de l'avancement provoque une diminution des dislocations.

Dans les constructions de tunnels près de la surface on a plusieurs fois mesuré des divergences. Cela veut dire qu'on doit se distancer de l'idée de l'effet de voûte autour d'un tunnel près de la surface. Dans les plus grandes profondeurs ce sont les divergences qui dominent. En outre les mesures de convergences - si on a bien construit - montre que les dislocations dans le revêtement sont terminées directement après la fondation soit bétonnée.

Une comparaison avec les mesures par extensomètres qui ont été installés de dehors avant creuser le tunnel montre que les dislocations dans le tunnel mesurées par nivellement et convergence sont toujours plus petites que les dislocations réelles. Dans la plupart des cas 50 - 80 % des dislocations se sont évanouies jusqu'à l'installation des boulons. Les dislocations finales du faite souvent mesurées sont env. 50 mm, en même temps les convergences mesurées sont entre 10 et 50 % des abaissements du faite.



Si pendant peu de jours après le creux les abaissments du faite dépassent une valeur d'env.  $1/300$  de la largeur du sol de la calotte, des mesures de précaution additionnelles comme re-ancrages sont nécessaires pour faire évanouir les abaissments.

Des mesures inclinométriques en rapport avec des ouvrages de tunnel comme indiqués dans la fig 1 sont seulement convenables où on peut attendre des grandes dislocations - au moins 20 mm - en direction horizontale. En cas de dislocations plus petites les erreurs de mesure cachent souvent la réalité.

Des charges du revêtement peuvent être indiqués par mesures de contrainte. Une valeur moyenne de la contrainte du béton qu'on a souvent observée est 25 bar en cas d'un petit recouvrement, en cas d'un grand recouvrement ce sont 50 à 100 bar. Les contraintes de la roche sont usuellement entre  $1/10$  et  $1/20$  des contraintes du béton. Les gammes de mesure des capteurs de contrainte de la roche et du béton sont à dimensionner respectivement.

En règle générale les charges mesurées sont plus petites que celles qu'on pouvait supposer par calcul statique. On peut en déduire qu'en général il y a assez de réserves de sécurité dans le système roche/revêtement.

Spécialement pour les mesures de contrainte on voit bien que quelques facteurs favorables comme la procédure, la vitesse de l'avancement etc. ne sont pas à déterminer par calcul. Une comparaison avec la valeur en fonction du temps des convergences montre que les détentes ne sont pas terminées longtemps après avoir passé par la section de mesure, pendant que les dislocations sont terminées ou devraient être terminées après que la fondation soit bétonnée.