



Doctoral Thesis

Using borehole geophysics for geotechnical classifications of crystalline rock masses in tunnelling

Author(s):

Jauch, Fabrizio

Publication Date:

2000

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004036107> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETHZ No. 13663

**USING BOREHOLE GEOPHYSICS
FOR GEOTECHNICAL CLASSIFICATIONS
OF CRYSTALLINE ROCK MASSES
IN TUNNELLING**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

FABRIZIO JAUCH

Dipl. Nat. Sci. ETHZ

born August 9, 1968
in Locarno, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. L. Rybach, examiner
Dr. Eng. G. Lombardi, co-examiner
Prof. Dr. W. Lowrie, co-examiner

Abstract

In the past 30 years, many attempts have been made to define systems aimed at classifying a rock mass for engineering purposes such as tunnelling, mining, or slope stabilisation. The aim of these systems is to allow both the engineering geologist and the civil engineer to better understand each other, which means to use clear and objective concepts for defining the quality of a rock mass. This allows the geologist to subdivide the rock mass into several "classes", on which basis the civil engineer can calculate the necessary supports for the stabilisation of the rock mass itself.

Such classifications are executed on the base of field analysis and laboratory measurements. The rock samples examined came mostly from boreholes. Unfortunately, their quality is strongly dependent on the quality of the drilling operations. Because of this fact, the use of geophysical sondes is proposed in order to obtain a classification – based on the most used systems – that better reflects the actual conditions of the rock *in situ*.

At first, the most frequently used classification systems, as well as their basis and calculation procedures, are explained in detail. Methods are presented to quantify as reliably as possible those parts that exist today only in form of qualitative expressions such as "good", "fair", "poor", which represent concepts that are only of limited value for the civil engineer. Advantages and limitations of the most commonly used systems are discussed. Finally, the margin of error in using these methods is evaluated.

The geophysical sondes most frequently used in crystalline settings (the field to which the present work is restricted) are then introduced. Only those that have been used in the context of the "AlpTransit – San Gottardo Sud" project (Monte Ceneri base tunnel and Gnosca-Sementina tunnel, Switzerland), in which the author of the present work has been directly involved in the last years, are taken into account.

The correlations between the factors required for the rock classification and the information gained by the borehole geophysics are based on both simple theoretical models and on empirical considerations derived from the measurements of the AlpTransit project. Only the three most frequently used classification systems are considered: the RSR concept, the RMR method, and the Q -system.

The use of the borehole geophysics is shown to be helpful and practicable only for the RMR system. The three types of geophysical measurements here considered, that are P-wave velocity V_p (km/s), the electric resistivity R ($\Omega \cdot m$), and the density ρ (g/cm^3), all show a good correlation with the rock-dependent factors involved in the calculation of RMR, provided that the fracturation degree and the joint conditions are considered together. The final equation obtained is:

$$RMR = 70.5\rho + 10.3V_p + 3.14 \cdot 0.66^{V_p} \cdot V_p^{2.35} + 6.35 \cdot 10^{-3} \cdot R - 6.6\rho^2 - 2.23\rho V_p - 1.3 \cdot 10^{-3} \cdot \rho R - 2.2 \cdot 10^{-4} \cdot R V_p - 6 \cdot 10^{-8} \cdot R^2 - 0.19V_p^2 - 119 + N_w \quad (\text{rep. 5.12})$$

where N_w is the correction factor for the expected water inflow in the tunnel that has to be determined in the usual way.

The RSR index presents several calculation drawbacks that prevent a practical utility of the geophysical methods. In particular it is not possible to include the joint condition and the fracturing degree in one unique factor. This fact, together with all the assumptions and simplifications introduced in the present work to allow a numerical treatment of the concept, prevents a satisfactory use of the borehole geophysics. The Q -system is based almost exclusively on joint characteristics, and doesn't take into account the rock type. Because of this incompleteness, geophysical methods are not compatible with this system.

Riassunto

Gli ultimi trent'anni hanno visto il fiorire di innumerevoli sistemi atti a classificare un ammasso roccioso in vista di interventi di ingegneria civile quali scavo di gallerie e di miniere, o stabilizzazione di pendii. Lo scopo di questi sistemi è quello di fornire al geologo e all'ingegnere dei concetti chiari ed univoci per definire la qualità della roccia. In questa maniera il geologo può suddividerla in cosiddette "classi di roccia", in base alle quali l'ingegnere civile può calcolare le misure di sostegno necessarie per la sua stabilità.

Tali classificazioni vengono eseguite sulla base di studi sul terreno e misurazioni di laboratorio. I campioni di roccia esaminati provengono in gran parte da fori di sondaggio. La loro qualità presenta tuttavia l'inconveniente di essere fortemente dipendente dalle operazioni di scavo. Per questo motivo viene proposto l'utilizzo di sonde geofisiche al fine di ottenere una classificazione – basata sui sistemi più utilizzati – che rifletta maggiormente lo stato effettivo della roccia *in situ*.

Dapprima vengono presentati e discussi in maniera critica i più conosciuti tra tali sistemi di classificazione. Viene dato particolare peso a quelli più frequentemente utilizzati, spiegandone le basi e le procedure di calcolo. Vengono inoltre proposti dei metodi per quantificare nella maniera più affidabile quelle parti che esistono finora unicamente come concetti qualitativi quali "buono", "mediocre", "pessimo", concetti di poca utilità pratica per l'ingegnere. Dei sistemi più utilizzati vengono evidenziati vantaggi e svantaggi; infine viene proposta una valutazione del margine di errore con cui si deve calcolare quando si utilizzano tali metodi.

Vengono poi presentate le sonde geofisiche più frequentemente utilizzate nell'analisi di rocce cristalline, ambito a cui si riferisce il presente lavoro. Di esse vengono considerate solo quelle che sono state utilizzate nel corso dei sondaggi eseguiti per il progetto "AlpTransit – San Gottardo Sud" (galleria di base del Monte Ceneri e galleria Gnosca-Sementina, Svizzera), nel quale l'autore del presente lavoro è stato direttamente coinvolto negli ultimi anni.

Le correlazioni tra i fattori della roccia che vengono utilizzati per calcolarne la classificazione e le risposte fornite dalle sonde geofisiche si basano sia su semplici modelli teorici che su considerazioni di natura empirica ottenute dalle misurazioni effettuate per il progetto AlpTransit. Vengono presi in considerazione solo i tre tipi più utilizzati di classi: il concetto RSR, il metodo RMR, e il sistema Q .

L'impiego di sonde geofisiche nei fori di sondaggio si rivela utile e praticabile solo per il sistema RMR. I tre tipi di misurazione geofisica analizzati, la velocità delle onde P (V_p , in km/s), la resistività elettrica (R , in $\Omega \cdot m$) e la densità (ρ , in g/cm^3), mostrano una buona correlazione con tutti quei fattori del sistema RMR che si riferiscono a proprietà della roccia, premesso che la condizione delle fratture e il grado di fratturazione vengano considerati come un unico fattore. L'equazione finale risulta:

$$RMR = 70.5\rho + 10.3V_p + 3.14 \cdot 0.66^{V_p} \cdot V_p^{2.35} + 6.35 \cdot 10^{-3} \cdot R - 6.6\rho^2 - 2.23\rho V_p - 1.3 \cdot 10^{-3} \cdot \rho R - 2.2 \cdot 10^{-4} \cdot R V_p - 6 \cdot 10^{-8} \cdot R^2 - 0.19V_p^2 - 119 + N_w \quad (\text{rip. 5.12})$$

dove il fattore N_w per le venute d'acqua in galleria è da valutare con i metodi tradizionali.

L'indice RSR presenta diversi inconvenienti di calcolo che impediscono un'utilità pratica dei sistemi geofisici. In particolare risulta impossibile unire in un unico fattore la condizione delle fratture e il grado di fratturazione. Questo fatto, unitamente alle varie semplificazioni introdotte per permettere una trattazione numerica del sistema, impedisce un uso soddisfacente della geofisica. Il sistema Q è basato quasi esclusivamente sulla natura delle fratture e non tiene in considerazione il tipo di roccia. A causa di questa incompletezza, l'uso dei sistemi geofisici si rivela inappropriato per tale metodo.

Zusammenfassung

In den letzten 30 Jahren wurden viele Systeme zur Klassifizierung von Felsmassen für ingenieur-geologische Zwecke wie Tunnel- und Bergbau oder Hangstabilisierung entwickelt. Solche Systeme liefern sowohl dem Geologen als auch dem Bauingenieur klare und eindeutige Konzepte, die zur Bestimmung der Gesteinsqualität gebraucht werden. Dies erlaubt dem Geologen das Gestein in verschiedene sogenannte "Felssklassen" einzuteilen, damit der Bauingenieur die für die Bauwerkstabilität notwendigen Stützmassnahmen berechnen kann.

Solche Klassifizierungen werden auf der Basis von Feldaufnahmen und Laboruntersuchungen durchgeführt. Die zu untersuchenden Gesteinsproben stammen meistens aus Bohrlöchern. Sie weisen aber den Nachteil auf, stark von der Qualität der Bohrarbeiten abhängig zu sein. Deswegen wird die Benützung von geophysikalischen Sonden vorgeschlagen, um eine auf den am meistens benützten Systemen basierte Gesteinsklassifizierung zu erhalten, die so gut wie möglich den effektiven *in situ* Gesteinszustand widerspiegelt.

Als erstes werden diese Klassifizierungssysteme behandelt, wobei ihre Basis und Berechnungsverfahren erklärt werden. Methoden für eine zuverlässige Quantifizierung jener bis jetzt nur qualitativ gegebenen Konzepte (wie z.B. "gut", "schlecht", usw., die dem Bauingenieur keine quantitativen Entscheidungsgrundlagen liefern) werden vorgeschlagen. Vorteile und Nachteile der am meisten benutzten Systeme werden diskutiert, und ein Mass für den zu erwartenden Fehler im Gebrauch dieser Methoden wird abgeleitet.

Danach werden die in Kristallingebieten (Gegenstand dieser Arbeit) am meisten verwendeten geophysikalischen Sonden beschrieben. Diese Beschreibung ist auf denjenigen Sonden begrenzt, die im Rahmen der geologischen Sondierkampagne für das "AlpTransit – San Gottardo Sud" Projekt (Monte Ceneri Basistunnel und Gnosca-Sementina Tunnel, Schweiz), an dem der Autor dieser Arbeit in den letzten Jahren mitgearbeitet hat, eingesetzt wurden.

Die Korrelationen zwischen den für die Gesteinsklassifizierung notwendigen Faktoren und den von der Bohrlochgeophysik gelieferten Informationen beruhen auf einfache theoretische Modellen, sowie auf empirische Betrachtungen, die von den für das AlpTransit Projekt durchgeführten Messungen stammen. Nur drei Ausbruchsklassensysteme werden betrachtet: das RSR Konzept, die RMR Methode, und das *Q* System.

Der Einsatz von geophysikalischen Sonden in Bohrlöchern erweist sich als nützlich und anwendbar nur für das RMR System. Die drei betrachteten Messungstypen, elektrischer Widerstand R ($\Omega \cdot m$), seismische P-Wellengeschwindigkeit V_p (km/s), und Dichte ρ (g/cm^3), zeigen gute Korrelationen mit allen gesteinsabhängigen RMR Faktoren, vorausgesetzt, dass Kluffbedingung und Zerklüftungsgrad vereint betrachtet werden. Die Schlussformel lautet:

$$RMR = 70.5\rho + 10.3V_p + 3.14 * 0.66^{V_p} * V_p^{2.35} + 6.35 * 10^{-3} * R - 6.6\rho^2 - 2.23\rho V_p - 1.3 * 10^{-3} * \rho R - 2.2 * 10^{-4} * R V_p - 6 * 10^{-8} * R^2 - 0.19 V_p^2 - 119 + N_w \quad (\text{Wied. 5.12})$$

wobei der Faktor N_w für den Einfluss von Wassereintritten mit den üblichen Verfahren bestimmt werden muss.

Der RSR Index weist verschiedene Berechnungsschwierigkeiten auf, die eine praktische Anwendung der geophysikalischen Methoden verhindern. Insbesondere es ist nicht möglich, Kluffbedingung und Zerklüftungsgrad zusammen zu betrachten. Dies, zusammen mit allen Annahmen, die für eine numerische Behandlung des Konzeptes eingeführt wurden, verhindert eine befriedigende Benützung der Bohrlochgeophysik. Das *Q* System beruht im wesentlichen auf den Klüften, und nimmt den Gesteinstyp nicht in Betrachtung. Wegen dieser Unvollständigkeit können die geophysikalischen Methoden für dieses System nicht herangezogen werden.