

## Geophysik in der Karst-Hydrogeologie

(Deutsche Version des Kurzvortrages auf dem „7<sup>th</sup> International Speleological Congress“, Sheffield, England 1977)

Von Z. KRULC (Zagreb)

Die angewandte Geophysik findet in der ganzen Welt eine immer breitere Anwendung in der Hydrogeologie und Speläologie. Dabei geht es allgemein um praktische Aufgaben. Eine Sonderstellung zeigt hier die Grundwassererkundung: die Anwendung der Geophysik ist im Jahre 1975 im Vergleich mit dem Stand in 1974 nahezu auf das Achtfache gestiegen (H. R. ESPEY, 1976). Eine sehr wichtige Rolle spielen dabei sowohl die Einführung und weitere Entwicklung von neuen und verbesserten Meßmethoden und Verfahren als auch die Bearbeitung und Auswertung der Meßergebnisse. Der zweite Schwerpunkt liegt wieder auf der Komplexierung verschiedener geophysikalischer Methoden mit einer genauen Zielsetzung. Die geoelektrischen Methoden, insbesondere die Widerstandsmessungen, nehmen in der Anwendung in der Hydrogeologie noch immer die führende Stellung ein. Es wird aber immer mehr über die Anwendungsmöglichkeiten von vibrations-seismischen bzw. allgemein seismischen Verfahren in der Hydrogeologie berichtet. Zwei besonders erwähnenswerte Arbeiten stellen die Aufsätze von B. FORKMANN et al. (1973) und S. GRÄSSL, U. PATZER (1976) dar (siehe auch N. N. GORJAINOV, 1970).

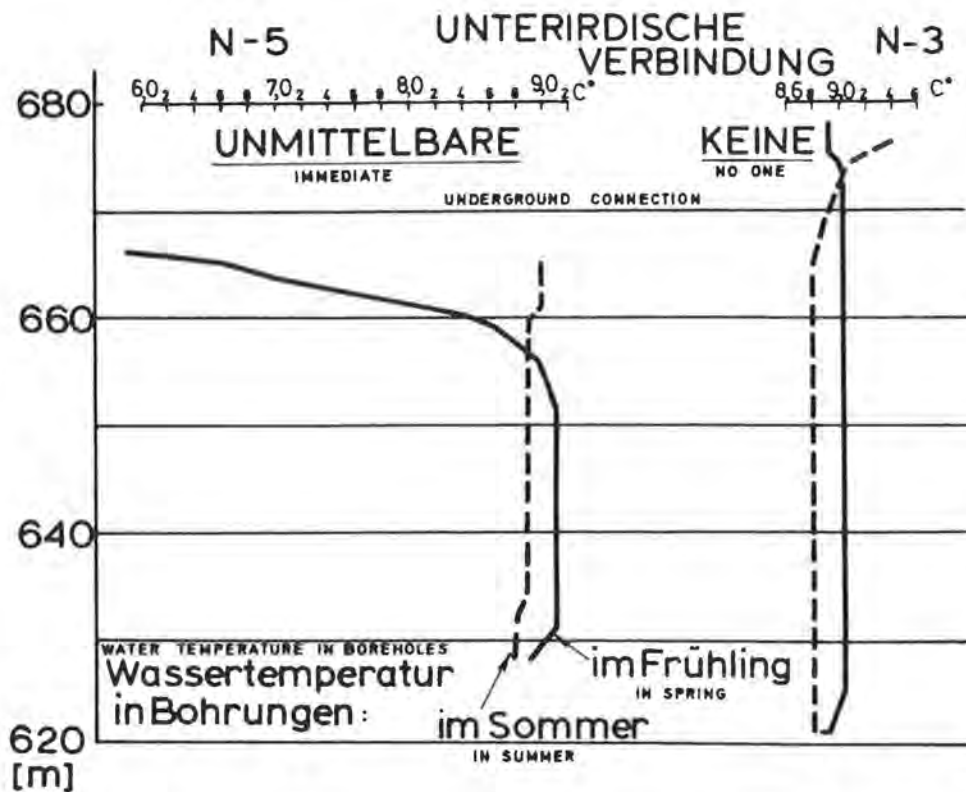
Dieser Diskussionsbeitrag soll zuerst eine kurze Übersicht von neuen Wegen und Tendenzen in der Anwendung von geophysikalischen Methoden in der *Karst-Hydrogeologie* geben. Dadurch sollte die Anregung für eine noch breitere Anwendung der Geophysik in der Speläologie und in der Hydrogeologie des Karstes hervorgerufen werden. Weiter sollen kurz die Wassertemperaturmessungen in Bohrungen in einem Wasserstaugebiet im jugoslawischen Karst als eine neue, modifizierte Anwendung geophysikalischer Verfahren, die in der Erdöl-Erdgas- und Erzlagerstättenerkundung erfolgreich eingesetzt werden, beschrieben werden.

In der Anwendung der Geophysik in der *Speläologie* wird hauptsächlich von guten Ergebnissen der *geoelektrischen* Untersuchungen berichtet. In der ČSSR wurde erfolgreich eine neue elektromagnetische Apparatur und Meßmethodik für die Untersuchung von Karsthöhlen zwischen Bohrungen entwickelt (M. KAŠPAR, J. PECEN, 1975; siehe auch M. KAŠPAR, 1963). Die festgestellten Anomalien wurden durch neue Bohrungen bestätigt. Erneuert werden in der Entdeckung und Untersuchung von Höhlen die radiofrequenten Meßmethoden der Geoelektrik eingesetzt (G. PETHÖ, J. UJSZÁSZI, 1975). Über die komplexe Anwendung von verschiedenen geoelektrischen Verfahren (Widerstands-Sondierung, Profilierung, Kreissondierung, Eigenpotentialmessung) in der Untersuchung von Karsthöhlen und unterirdischen Wasserströmungen wird sehr eingehend und anschaulich aus UdSSR berichtet (D. A. CICIŠVILI i dr., 1974). Durch diese Untersuchungen wurden am Rande des Untersuchungsgebietes auch die Zonen der vermutlichen weiteren Erstreckung des Karstes festgestellt. Für die Untersuchung von unterirdischen Hohlräumen wurde in Italien eine neue Elektrodenanordnung eingeführt und nach praktischen Vergleichsmessungen empfohlen; diese Meßanordnung charakterisiert die Fokussierung des Stromes (E. BRIZZOLARI, 1975).

Aus Polen wird über die erfolgreiche Anwendung der *gravimetrischen* Vertikalgradientenmessungen in der Entdeckung und Untersuchung von Kavernen und in der Lokalisierung von verbrochenen alten Bergbauen (Stollen und Schächten) berichtet (Z. J. FAJKLEWICZ, 1976). Aus Polen wird auch über die Komplexierung von verschiedenen geophysikalischen Methoden (Gravimetrie, Seismik und Geoelektrik) in gleichem Anwendungsgebiet berichtet (R. ZAKOLSKI, 1974).

Besondere Beachtung verdienen aber die Veröffentlichungen über die Anwendung von *seismischen* Methoden in der Untersuchung von Karststörungszonen und Karsterscheinungen in UdSSR (N. Ja. AZAROV, K. I. LJUSČENKO, 1975 und V. M. BONDARENKO i dr., 1976). In der zweitgenannten Arbeit wird die Betonung auf die mikro-seismische Meßmethode mit der schlagartigen Erregung von seismischen Impulsen in der Untersuchung von Karstwässern gegeben.

In *jugoslawischem Karst* werden in der Lösung von praktischen Aufgaben in der Karst-Hydrogeologie als auch in der Speläologie fast alle geophysikalischen Methoden angewendet. Einige praktische Beispiele der Anwendung von geoelektrischen



GEOFIZIKA  
Zagreb

BUŠKO BLATO

Fig. 1: Untersuchung unterirdischer Wasserverbindungen durch Wassertemperaturmessungen in Bohrungen.

Verfahren zeigte Z. KRULC auf dem 6. Intern. Speläologischen Kongreß 1973 in Olomouc. Eine umfangreiche zeitgenössische Übersicht über alle geophysikalischen Methoden liefert die Monographie von D. ARANDJELOVIĆ (1976).

Die Ergebnisse von zahlreichen ausgeführten geoelektrischen Untersuchungen im jugoslawischen Karst zeigen, daß dem spezifischen Widerstand der Karbonatgesteine unter gewissen Umständen der Charakter eines hydrogeologischen Parameters (Kennzahl) beigemessen werden kann (Z. KRULC, 1965; S. KOVAČEVIĆ, 1972). Eine zeitgenössische Studie bearbeitet eine quantitative Auswertungsmethode, nach der einige hydrogeologische Parameter (die ungefähre Wasserstromgeschwindigkeit, der ungefähre unterirdische Wasserstand, die ungefähre Permeabilität) aus den elektrischen Eigenpotentialmessungen auf der Oberfläche abgeleitet werden können (J. LA-PAJNE, 1976).

Das besonders interessante Verfahren mit der „Geobombe“, das schon 1969 beschrieben wurde (D. ARANDJELOVIĆ), wurde in einem Teil des jugoslawischen Karstgebietes weiter angewendet und getestet (D. ARANDJELOVIĆ, 1974/76).

Als eine neuere geophysikalische Untersuchungsmethode im jugoslawischen Karstgebiet wurde vor einigen Jahren die *Wassertemperaturmessung in Bohrungen* eingeführt und getestet. Sie hat sich gut bewährt. Mit diesen Messungen, die in verschiedenen Jahreszeiten ausgeführt werden, werden die Abschätzungen des Wasserverlustes aus dem Stausee in den umliegenden Untergrund gemacht. Maßgebend sind dabei die relativ großen Temperaturunterschiede des Wassers im Stausee und in den Bohrungen in im Frühling und Sommer ausgeführten Messungen. Wenn die Wassertemperaturänderungen in Bohrungen den Wassertemperaturänderungen im Stausee nachfolgen, dann kann geschlossen werden, daß die betreffenden Bohrungen eine unmittelbare unterirdische Verbindung mit dem Stausee haben. Dadurch können nur ungefähre, qualitative, Wasserströmungswege aus dem Stausee festgestellt werden (D. SVIBEN, M. ANDRIĆ, 1974). Fig. 1 zeigt zwei gegensätzliche praktische Beispiele aus dem Gebiete eines Stausees im jugoslawischen Karst. Diese Temperaturmessungen in Bohrungen werden oft mit resistivimetrischen Untersuchungen kombiniert, indem Salz als Grundwassertracer in die Ponore eingeschüttet wird.

## Literatur

- ARANDJELOVIĆ, D.: A possible way of tracing groundwater flows in karst. „Geophys. Prospecting“, XVII, 4, 404–418, 1969, The Hague.
- ARANDJELOVIĆ, D.: Određivanje položaja podzemnog vodotoka u karstu korišćenjem geobombe. „Vesnik“, C, XVI/XVII, 1975/76, Beograd.
- ARANDJELOVIĆ, D.: Geofizika na karstu (Geophysics in the karst). „Geofizički institut“, Pos. izd., Knj. 17, 1976, Beograd.
- AZAROV, N. J., LJUŠČENKO, K. I.: Vyjavlenie šahtnoj sejsmorazvedkoi karstovyh narušenij v ugoljnyh plastah Podmoskovskogo bassejna. „Ugolj“, 7, 62–63, 1975, Moskva.
- BONDARENKO i dr., V. M.: Primenenie mikrosejsmorazvedki pri izučenii karstovyh javlenij. „Izv. vyšših učebn. zaved. Geologija i razvedka“, 12, 110–115, 1976, Moskva.
- BRIZZOLARI, E.: Risultati della ricerca dei vuoti sotterranei con il metodo dei profili di resistività in una zona delle fondazioni di un viadotto. „Ann. geofiz.“, 28, 1, 1–12, 1975.
- CICIŠVILI i dr., D. A.: Issledovanie nadpeščernoj tolšči v okrestnostjah Abali-Afoni metodami elektrorazvedki. „Sakartvelos SSR Mecnierebata Akademia, Geofizikis instituti. Šromebi“, 33, 69–80, 1974, Tbilisi.
- ESPEY, H. R.: Geophysical activity in 1975. „Geophysics“, 41, 4, 780–494, 1976, Tulsa.
- FAKLEWICZ, Z. J.: Gravity vertical gradient measurements for the detection of small geologic and anthropogenic forms. „Geophysics“, 41, 5, 1016–1030, 1976, Tulsa.
- FORKMANN, B., et al.: Moderne geophysikalische Verfahren zur Ermittlung hydrogeologischer Parameter und Strukturen. „Z. f. angew. Geologie“, 19, 7, 345–350, 1973, Berlin.

- GRÄSSL, S., PATZER, U.: Zur Anwendbarkeit seismischer Verfahren bei der Wassererkundung. „Z. f. angew. Geologie“, 22, 3, 128–135, 1976, Berlin.
- GORJAINOV, N. N.: Primenenie sejsmorazvedki dlja opredelenija urovnja gruntovyh vod v po-verhnostnyh otloženijah. V sbor.: „Regionalnaja, razvedočnaja i promyslovaja geofizika“, No. 19, 1970, VIEMS – Moskva.
- KASPAR, M.: Die Anwendung der Elektromagnetischen Hochfrequenzmethode in der Bergbau-geophysik. „Freiberger Forschungshefte“, C 161, Geophysik, 47–66, 1963, Berlin.
- KASPAR, M., PEČEN, J.: Detection of caves in a karst formation by means of electromagnetic waves. „Geophys. Prospecting“, 23, 4, 611–621, 1975, The Hague.
- KOVAČEVIĆ, S.: Typical problems of geoelectrical groundwater investigations in the Soc. Rep. of Croatia, Soc. Fed. Rep. of Yugoslavia. „XVII Geophys. Symposium“, 43/1–23, 1972, Karlovy Vary.
- KRULC, Z.: Geoelektrična ispitivanja u Dinarskom kršu. „Geol. vjesnik“, 18/2, 347–384, 1965, Zagreb.
- KRULC, Z.: Einige Gesichtspunkte der Anwendung von geophysikalischen, insbesondere geoelektrischen Methoden in der Speläologie und Karsthydrologie. „Proc. of the 6th Intern. Congress of Speleology“, AaO12, 279–289, 1973, Olomouc.
- LAPAJNE, J.: Hydrogeological parameters from streaming potential anomalies. „3rd Intern. Symposium of Underground Water Tracing (3. SUWT)“, 133–139, 1976, Bled.
- PETHŐ, G., ÚJSZÁSZI, J.: Barlangkutatas radiokip módszerrel (Untersuchung von Höhlen mittels Radiofrequenzmethode). „Magyar geofizika“, 16, 5, 181–185, 1975, Budapest.
- SVIBEN, D., ANDRIĆ, M.: Izvještaj o geofizičkim ispitivanjima. Akumulacija Buško Blato. 1974 (Bericht über geophysikalische Untersuchungen. Stausee Buško Blato. 1974) Geofizika, Zagreb.
- ZAKOLSKI, R.: Określanie nieciągłości górotworu metodami geofizycznymi na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. „Przegląd Gł. inst. górń.“, 622, 24 P., 1974.

## Summary

In this short communication a brief review of new ways and trends in the application of geophysical methods in karst hydrogeology is given. The need for development of new techniques of geophysical field exploration and their interpretation as well as the complex use of different geophysical methods in the solution of various practical problems in the karst is pointed out. Finally, the application of water temperature measurements in boreholes in a karst water accumulation in Yugoslavia (with 1 Figure) is briefly described.

Anschritt des Verfassers: Dr.-Ing. Zvonimir KRULC, „Geofizika“, YU-41001 Zagreb, P.p. 208.