

NAŠE JAME

GLASILO DRUŠTVA ZA RAZISKOVANJE JAM SLOVENIJE

LETNIK POSVEČEN IV. MEDNARODNEMU SPELEOLOŠKEMU
KONGRESU

TOME DÉDIÉ AU IVE CONGRÈS INTERNATIONAL
DE SPÉLÉOLOGIE

NAŠE JAME izhajajo dvakrat letno kot glasilo Društva za raziskovanje jam Slovenije. Urednika: dr. Valter Bohinec, Ljubljana, Titova 23a, in dr. Roman Savnik, Postojna, Tržaška 45 a. Celoletna naročnina 400 din, za ustanove in organizacije 800 din. Uprava: Društvo za raziskovanje jam Slovenije, Postojna, Titov trg 2. Naročnina naj se nakaže na tek. račun društva NB Postojna 602-14-608-34. Za vsebino člankov odgovarjajo pisci sami.

NAŠE JAME (NOS GROTTES) organes de la Société pour l'exploration des grottes de Slovénie, paraissant deux fois par an. Redacteurs: Dr. Valter Bohinec, Ljubljana, Titova 23 a, et Dr. Roman Savnik, Postojna, Tržaška 45 a. Prix de l'abonnement (un an) 5 fr. suisses. Administration: Društvo za raziskovanje jam Slovenije, Postojna, Titov trg 2.

Na ovtiku: Veliki naravni most v Rakovem Škocjanu. — Couverture: Le Grand pont naturel dans le Parc national Rakov Škocjan, Slovénie.

Foto -- Photo: F. Bar

NAŠE JAME

LETNIK VII/1965

UREDILA

DR. VALTER BOHINEC IN DR. IVAN GAMS

LJUBLJANA 1965

IZDAJA IN ZALAGA DRUŠTVO ZA RAZISKOVANJE JAM SLOVENIJE

TISKALA ŽELEZNIŠKA TISKARNA V LJUBLJANI

N A Š E J A M E

GLASILO DRUŠTVA ZA RAZISKOVANJE JAM SLOVENIJE

L. VII • 1965 • ŠT. 1-2

La Société pour l'Exploration des Grottes de Slovénie dédie ce tome de son journal au

IV^e CONGRES INTERNATIONAL DE SPELEOLOGIE

en souhaitant à celui-ci beaucoup de succès. Dans la littérature consacrée à la spéléologie du karst yougoslave, on a regretté jusqu'ici l'absence des études d'ensemble sur les diverses disciplines spéléologiques, soit en ce qui concerne le karst yougoslave tout entier, soit seulement celui de l'une ou de l'autre de nos républiques. Nous essayons de donner ici, dans une série de contributions écrites par des spécialistes renommés, un tel ensemble d'études. Nous avons donné une attention particulière aux problèmes géologiques, morphologiques et hydrogéologiques, à la spéléobiologie et à la spéléoarchéologie, et en partie aussi à la topographie des grottes de notre pays. Certains autres faits et problèmes de la spéléologie yougoslave qui n'ont pas trouvé de place ici, seront évoqués aux sessions plénières du Congrès, et bien entendu aussi dans les rapports de ses diverses sections.

Cette publication a reçu de généreuses subventions du Fonds pour l'encouragement de l'édition, de la presse, de la librairie et de l'imprimerie à Ljubljana, et de l'Union Spéléologique de Yougoslavie. La Société pour l'Exploration des Grottes de Slovénie leur exprime ici sa profonde reconnaissance, en remerciant en même temps tous les collaborateurs de cette publication.

La Rédaction

MILAN HERAK, Zagreb

GEOLOGISCHE ÜBERSICHT DES DINARISCHEN KARSTES

Das dinarische Karstgebiet ist hauptsächlich aus mesozoischen Sedimenten aufgebaut, die die paläozoisch-untertriassischen Zonen umrahmen und stellenweise in den Depressionen und im Küstengebiet von tertiären und quartären Ablagerungen bedeckt sind. Hier und da trifft man auch magmatische Gesteine an, besonders solche triassischen Alters, doch spielen sie eine nur untergeordnete Rolle und können in diesem Zusammenhang fast vernachlässigt werden. Wir wollen uns in dieser Abhandlung hauptsächlich auf die äußeren Dinariden beschränken und hier die Abhängigkeit der Karsterscheinungen vom geologischen Bau aufzeigen.

Stratigraphische Übersicht

Soviel wir bisher wissen, gehören die ältesten Ablagerungen des dinarischen Karstgebietes dem Jungpaläozoikum an. Das Karbon besteht hauptsächlich aus klastischen Sedimenten (Glimmerschiefern, Sandsteinen und Konglomeraten) mit größeren oder kleineren Kalkeinlagen. Durch diese lithologische Zusammensetzung beeinflussen die Ablagerungen des Karbons, wenn sie sich in günstiger tektonischer Lage befinden, weitgehend die hydrogeologischen Verhältnisse einzelner Gebiete. In den Ablagerungen des Perms findet man viel mehr Karbonatgesteine als im Karbon. Dolomite sind öfter anzutreffen als Kalksteine; sie sind besonders in der Lika reich entwickelt. Dagegen ist auch das Perm in einzelnen Gebieten hauptsächlich durch klastische Ablagerungen vertreten (z. B. im Gorski Kotar). Alle erwähnten jungpaläozoischen Ablagerungen sind meistens sehr innig miteinander verbunden und beeinflussen in ihrer Gesamtheit die hydrogeologischen Verhältnisse. Kleinere Aufschlüsse jungpaläozoischer Ablagerungen findet man in den Umgebungen von Bar und Budva (Montenegro) und Sinj (Dalmatien). Ihre hydrogeologische Bedeutung ist kaum nennenswert. Dagegen streicht durch die Lika, zwischen Gračac und Baške Oštarije, ein Gürtel jungpaläozoischer Ablagerungen. Sie sind durch Aufbruchtektonik zutage gekommen und bilden die tektonischen Kerne des ganzen Gebietes. Das gleiche kann man auch für die Permablagerungen des Paklenica-Gebietes am Südwesthang des Velebitgebirges sagen. Dermaßen bilden diese jungpaläozoischen Ablagerungen, im ganzen genommen, wasserundurchlässige Barrieren, die im Karst auch den Verlauf unterirdischer Wasserscheiden bestimmen. Das klastische Jungpaläozoikum von Fužine im Gorski Kotar hat dieselbe tektonische Lage und dieselbe hydrogeologische Funktion. Ganz anders ist es mit den analogen Ablagerungen im Gebiet von Skrad, Gerovo und weiter nördlich gegen Kočevje im benachbarten Slowenien. Dort sind diese Bildungen

relativ allochthon: sie liegen hauptsächlich auf mesozoischen Kalken und Dolomiten. Daher ist ihre hydrogeologische Bedeutung in diesen Gebieten sehr gering.

Die Triasablagerungen sind sehr reich entwickelt. Im Skyth unterscheidet man Seiser- und Campiler-Schichten mit Sandschiefern, Sandsteinen und etwas Kalk und Dolomit. Stellenweise findet man in der Untertrias auch Gipse und Anhydrite, deren Alter noch nicht endgültig geklärt ist. Höchstwahrscheinlich handelt es sich um oberpermische Diapire. Alle erwähnten skythischen Sedimente sind, im ganzen genommen, wasserundurchlässig und sind in verschiedenen Gebieten von großer hydrogeologischer Bedeutung als Barrieren, durch die eine Anzahl von Karstquellen bedingt ist (z. B. die Quellen der Zrmanja, der Cetina usw.).

Die Mitteltrias zeichnet sich durch größere Faziesdifferenzierung aus, doch sind hier massive Seichtwasserkalke (mit Dasykladaceen, Brachiopoden u. a.) und Dolomite vorherrschend. Stellenweise findet man auch Cephalopodenkalke, Flyschbildungen und Äquivalente der Buchensteiner und Wengener Schichten mit Vulkaniten. Die mitteltriassischen Seichtwasserkalke und Dolomite sind mehrere hundert Meter mächtig und sehr weit verbreitet. Deswegen eignen sie sich unter der Voraussetzung, daß sie tektonisch gestört sind, zur Entwicklung aller Karstphänomene.

Für die obertriassischen Ablagerungen gilt das in noch größerem Maße, da nämlich hier klastische Elemente nur im Karn vorkommen. Sie sind ziemlich spärlich entwickelt und normalerweise in die Kalke und Dolomite eingelagert. Es gibt auch Ausnahmefälle, wie im Gorski Kotar und im benachbarten Slowenien, wo Unter- und Mitteltrias vollkommen fehlen und klastische karnische Bildungen diskordant auf dem Jungpaläozoikum liegen und im Verein mit ihm eine positive hydrogeologische Funktion ausüben. Sonst ist die ganze Obertrias durch Kalke und Dolomite vertreten (Äquivalente der Dachsteinkalke und Hauptdolomite). Damit vermehren sich die Karbonatgesteine um mehrere hundert Meter, womit sich auch die Basis der Karsterscheinungen verbreitert.

Die Trias ist in einer breiten Zone am NE-Saum des dinarischen Karstgebietes (Sinjajevina, Durmitor, Lelija, Kupres bis südlich von Karlovac) sehr reich entwickelt; ähnlich verhält es sich auch weiter gegen NW bis Idrija. Diese Triasablagerungen sind meistens mit paläozoischen Sedimenten verbunden, weshalb die Karsterscheinungen in ihnen im Vergleich zur äußeren dinarischen Zone etwas zurücktreten. Für unsere Darlegung interessanter sind die Triasgebiete innerhalb der jurassischen und kretazeischen Kalke und Dolomite, die in der Rumija, in der Umgebung von Cetinje, in der Prekornica, zwischen Budva und Trsteno, im Lastva-Gebiet, in der Svilaja, im Velebit und in einzelnen Gebieten der Lika, in der Umgebung des Glamočko polje, im Gorski Kotar, in der Umgebung von Kočevje, Cerknica, Planina usw. auftreten. In einzelnen dieser Gebiete üben diese Triasablagerungen eine positive hydrogeologische Funktion aus.

Der Jura besteht fast zur Gänze aus Kalken und Dolomiten. Spärliche mergelige Elemente im Lias und Malm können in diesem Zusammenhang völlig vernachlässigt werden. Im Juraprofil begegnen wir ein- bis zweitausend Meter mächtigen geschichteten oder massiven Kalken und Dolomiten, die nur durch ihren Fossilieninhalt zu differenzieren sind. Auf diese Weise unterscheidet man

z. B. Lithiotis-Kalke im Mittellias, Cladocoropsis-Kalke und -Dolomite im unteren Malm, Ellipsactinien- und Sphaeractinien-Kalke im Obermalm, usw. Eine spezifische Fazies sind die sog. Lemeš-Schichten mit Ammoniten zwischen der Svilaja und dem Kozjak, in der Kapela usw. Juraablagerungen sind entlang des dinarischen Karstes sehr verbreitet. Man findet sie auch auf den südlichen Inseln (Lastovo, Mljet). In bezug auf die Karsterscheinungen gleichen sie den Kreideablagerungen, denen wir uns nun zuwenden.

Lange Zeit hat man geglaubt, daß die Unterkreide im dinarischen Karst sehr begrenzt vorkommt. Man schrieb nämlich der jungkimmerischen orogenen Phase (zwischen Jura und Kreide) zu große Folgen zu. Die neuesten Untersuchungen haben gezeigt, daß die Unterkreide in SW-Slowenien, in Istrien, in der Lika, in Dalmatien, in Bosnien, in der Herzegowina und in Montenegro reichlich vertreten ist. Es handelt sich ausschließlich um Kalke und Dolomite. Stellenweise folgen sie konkordant den Malmsedimenten. An anderen Lokalitäten gibt es Diskordanzen zwischen Jura und Kreide wie auch innerhalb der Unterkreide selbst. Damit im Zusammenhang sind auch kalkige und dolomitische Konglomerate bzw. Brekzien, die stellenweise vorkommen. Die Oberkreide setzt sich meistens ohne Unterbrechung auf der Unterkreide fort. In der Oberkreide sind Rudistenkalke und -dolomite die häufigsten und über das ganze Karstgebiet weit verbreitete Gesteine. Nur untergeordnet treten auch Plattenkalke mit Kleinforaminiferen (Globotrunkaniden) auf (im Tal der Soča, an der Bucht von Kotor, in der Umgebung von Budva). Im Durmitorgebirge haben dagegen flyschartige Bildungen eine ziemlich große Verbreitung. Die Mächtigkeit sämtlicher Kreidebildungen beträgt zwei- bis dreitausend Meter. Sie sind ebenso wie die Juraablagerungen für die Entwicklung aller Karsterscheinungen, sowohl der morphologischen als auch der hydrogeologischen, besonders gut geeignet.

An der Kreide-Paläogen-Grenze findet man in Istrien, Dalmatien und der Herzegowina des öfteren die sog. Liburnischen Schichten, die aus bituminösen Kalken (mit Kohle in Istrien) bestehen. Darauf folgen die allgemein bekannten Alveolinien- und Nummulitenkalke, dann mitteleozäner Flysch und die Promina-Schichten (Kalkkonglomerate, Kalkbrekzien, Kalke, Mergel, Kohle usw.), welche diskordant auf den älteren Ablagerungen liegen. Damit endet das Paläogen im dinarischen Karst.

Nach einer Unterbrechung folgen neogene Mergel und Tone mit Lignit. Sie füllen nur die Depressionen, hauptsächlich die Karstpoljen, aus. Schließlich seien noch die Quartäranschwemmungen und Kalktuffe erwähnt, die stellenweise ziemlich mächtig sein können.

Tektonik und Karsterscheinungen

Was wäre kurz über die Tektonik des dinarischen Karstgebietes zu sagen? Bisher wurden über dieses Gebiet verschiedenartige Aussagen gemacht. Wenn man aber versucht, daraus ein klares Bild über die strukturellen Verhältnisse zu gewinnen, kommt man in Verlegenheit, da sich die Gedanken der extremen Deckentheorie mit jenen der klassischen »radialen« Tektonik vermengen. Es gibt selbstverständlich auch Meinungen, die die beiden erwähnten Konzeptionen zu versöhnen trachten. Schwierigkeiten bereitet auch der Umstand, daß man verschiedene Zonen oft mit verschiedenen Namen belegt.

Wir beginnen mit unserer Darstellung im NW. Hier stellt das Gebiet der Platte von Istrien eine Antiklinale dar, deren Kern der Jura bildet. Alle Tektoniker sind darüber einig, daß es sich hier um ein autochthones Gebiet handelt. Die Čićarija, die Učka, das dalmatinische Küstengebiet und fast alle adriatischen Inseln stellen ein Gebiet dar, in dem außer typischen Falten und Längsverwerfungen stellenweise auch kleinere Tangentialbewegungen vor sich gegangen sind (kleinere Decken wie z. B. im Učkagebiet, mehrere inverse Verwerfungen und überkippte Falten). Weiter nordöstlich folgt die sog. Hochkarstzone, über die die Meinungsverschiedenheiten am größten sind, allerdings nur in bezug auf die Tangentialbewegungen. Die einen erkennen nur die Schuppung und stellenweise kleinere Überschiebungen an. Damit will man auch die Selbständigkeit der Zone in Zweifel stellen, weil man dieselben Erscheinungen, wenn auch in kleinerem Ausmaß, auch in der vorgenannten Zone vorfindet. Andere glauben in der Hochkarstzone eine regionale Überschiebung zu erkennen, so daß man diese Zone als eine selbständige tektonische Einheit zu betrachten hätte. Nach den bisherigen Felduntersuchungen ist es ziemlich schwer, dazu endgültig Stellung zu nehmen. Man muß jedoch alles in Betracht ziehen, was bisher einwandfrei festgestellt werden konnte. Vor allem ist zu betonen, daß man am Fuß des Velebit keine Spuren irgendwelchen größeren tektonischen Kontaktes findet. Das ist mit der Auffassung, daß längs dieses Gebietes die Stirnzone der sog. Hochkarstdecke zieht, schwer in Einklang zu bringen. Dagegen stößt man gerade im Gebiet der NE-Hälfte der Hochkarstzone auf Schuppungen und kleinere Überschiebungen, die seitwärts in disjunkte Strukturen übergehen, usw. Es handelt sich also um eine Zone, die schwerlich als homogene tektonische Einheit betrachtet werden kann. Damit seien aber die angenommenen Ausmaße der Bewegungen weder bezweifelt noch als bewiesen anerkannt.

Weiter ist zu bemerken, daß viele submarine Quellen entlang der adriatischen Küste mit Süßwasser aus dem Hinterlande, also aus der Hochkarstzone, gespeist werden und dies auch dann, wenn längs der Küste paläogene Flyschablagerungen entwickelt sind. Das beweist, daß diese Flyschablagerungen nicht tief in die Hochkarstzone hineinreichen. Wäre dies der Fall, so hätten wir anstelle submariner Quellen unterhalb des Flysches Kontaktquellen an der oberen Grenze zwischen den Flyschablagerungen und den Kalken des Paläogens und des Mesozoikums. Das dürfte auch für beschränkte und nicht überall gleiche Tangentialbewegungen im Gebiet der Hochkarstzone sprechen.

Lassen wir nun die großtektonischen Betrachtungen beiseite und wenden wir uns den strukturellen Erscheinungen zu, welche die Karstbildung begünstigt haben und die überall zu finden sind.

Zuerst soll erwähnt werden, daß das heutige dinarische Karstgebiet durch mehrere tektonische Bewegungen beeinflußt wurde. Die Pfälzische Phase verursachte Hebungen, besonders im Gorski Kotar. Einige Subphasen konnten auch in der Trias festgestellt werden. Besonders an der Grenze zwischen der mittleren und oberen Trias waren die Bewegungen stellenweise ziemlich stark, vornehmlich im Velebitgebirge, wo auch strukturelle Veränderungen vorausgesetzt sind. Die obertriassische Transgression greift nämlich nicht nur auf ladinische, sondern auch auf anisische Schichten über, wie das im Paklenica-Gebiet festgestellt wurde. Die Altkimmerische Phase ist nirgends festgestellt worden. Die Jungkimmerische Phase verursachte hauptsächlich Hebungen und

Senkungen. Die Laramische Phase führte außer zu Senkungen und Hebungen auch zur Bildung einiger Strukturen (in Istrien, im Gebiet der Lička Plešivica usw.), die den späteren tektonischen Werdegang stellenweise stark beeinflußt haben. Die Tangentialstrukturen wurden hauptsächlich in der Pyrenäischen (mitsamt der Illyrischen) Phase geschaffen. Danach herrschte disjunktive Tektonik vor.

Die Folgen aller dieser Veränderungen sind nicht nur Großstrukturen (Überschiebungen, Schuppungen, Verwerfungen, Falten mit verschiedenen Amplituden und von verschiedener Intensität), sondern auch eine weitgehende Zerkleinerung und Zertrümmerung der Karbonatgesteine, wodurch die Kalke und in etwas geringerem Maße die Dolomite sekundär wasserundurchlässig geworden sind. So hatte das meteorische Wasser schon vom Anfang an vorbereitete unterirdische Wege, die durch die Tätigkeit der Korrosion immer breiter wurden. Auf dieser Basis sind die eigentümlichen karsthydrogeologischen Verhältnisse entstanden, welche durch Estavellen, Karstquellen, Ponore und ein mangelhaftes Oberflächennetz der Wasserläufe charakterisiert sind. Die Hauptzirkulation des Wassers liegt im Karst tiefer. Die Hauptrapportoren der unterirdischen Wege sind vor allem klastische paläozoische Gesteine, ferner die Untertrias und zum Teil klastische Elemente der jüngeren stratigraphischen Einheiten. Den Karbonatgesteinen kann nur eine äußerst günstige tektonische Lage eine positive hydrogeologische Funktion ermöglichen. Eine ungünstige tektonische Lage kann auch bei den paläozoischen und untertriassischen Sedimenten die positive hydrogeologische Funktion vermindern. Ein besonders gutes Beispiel dafür bietet das Paläozoikum des Gorski Kotar. Im Gebiet von Fužine und Lokve sind diese Ablagerungen durch Aufbruchtektonik zutage gekommen. Sie bilden normalerweise auch die Unterlage der mesozoischen Sedimente. Somit grenzen diese Ablagerungen die unterirdischen Wege des Wassers ab; durch ihre Staufunktion bedingen sie z. B. auch die Karstquelle Ličanka bei Fužine. Die Ponore fangen erst auf der SW-Seite der paläozoischen Aufbrüche an. Dagegen sind im Gebiet von Skrad bis Gerovo, wo sich unter anderem der Zeleni vir, die Kupica und die Kupaquelle befinden, die klastischen Bildungen des Jungpaläozoikums auf mesozoische Kalke und Dolomite überschoben und haben keine Möglichkeit, die unterirdischen Wege des Wassers abzuschneiden. So ist das Einzugsgebiet der Quelle Zeleni vir und der Kupica auf der SW-Seite des Paläozoikums, welches bis zu den genannten Quellen vom Wasser unterströmt wird.

Ähnlich wie das Jungpaläozoikum verhalten sich auch die untertriassischen Ablagerungen. Ihre Staufunktion ist im Oberlauf der Cetina in Dalmatien besonders groß. Diese Funktion wird durch die tertiären Ablagerungen sowohl im Gebiet von Vrlika und Koljane als auch in der Umgebung von Sinj und des Hrvatačko Polje noch verstärkt. Manche Karstquellen dieser Gebiete sind eben dadurch entstanden (Cetina, Rumin usw.). Auch die Karstquelle der Zrmanja ist durch Untertrias bedingt.

Die positive hydrogeologische Funktion der klastischen Ablagerungen der Mitteltrias ist geringer, weil ihre horizontale Verbreitung ziemlich beschränkt ist, da sie seitwärts in die kalkig-dolomitische Fazies übergehen.

Die klastischen Sedimente des Karns haben zwar eine größere horizontale Verbreitung, sind aber nicht besonders mächtig. Deswegen hängt ihre hydrogeologische Funktion in größerem Ausmaß von den tektonischen Verhältnissen

ab. Im Gebiet von Zagorska Mrežnica wie auch im Gebiet von Lastva (E-Herzegowina) ist sie positiv, weil die karnischen Bildungen im Kern der Antiklinalen liegen. Im Polje von Gračac in der Lika ist sie stark vermindert und nur lokal, weil die karnischen Bildungen diskordant und diskontinuierlich auf den mitteltriassischen Kalken und zugleich unter einer mächtigen Serie von Dolomiten und Kalken der Obertrias, des Jura und der Kreide liegen. Außerdem ist das ganze Gebiet tektonisch stark gestört.

Wasserundurchlässig in mächtigeren Komplexen sind auch der eozäne Flysch und die neogenen Tone und Mergel. Aber ihre tektonische Lage ist größtenteils ungünstig, weil sie normalerweise auf den kretazeischen und paläogenen Kalken liegen. Eine Steigerung der positiven hydrogeologischen Funktion dieser Ablagerungen kann nur durch Tektonik (besonders Tangentialtektonik) verursacht werden. Nur auf diese Weise können sie eine tiefere Position im Gelände einnehmen und sich einigermaßen mit den älteren klastischen Bildungen in der hydrogeologischen Funktion ausgleichen (Quelle der Rječina). Das ist aber äußerst selten, weil die Unterlage gewöhnlich durchlässig ist und eine tiefere Wasserzirkulation gestattet, wie das viele untermarine Quellen und Estavellen zeigen. Weder die Flyschbildungen im ersten Fall noch die neogenen Mergel und Tone im zweiten Fall (als Ausfüllung von Poljen) konnten die Wasserunterströmung verhindern.

Die hydrogeologische Funktion der Dolomite und Kalke hängt hauptsächlich von ihrer tektonischen Zerkleüftung und Zertrümmerung ab. Besonders die Dolomite können nur wenig zerklüftet sein. Wenn sie noch eine entsprechend günstige tektonische Position innehaben, können sie eine vollkommen positive hydrogeologische Funktion ausüben. Als Beispiel seien hier die Plitvicer Seen genannt. Durch Verwerfungen wurden hier kompakte Triasdolomite auf die Oberfläche herausgehoben. Sie verhindern das unterirdische Abfließen des Wassers des karstifizierten südwestlichen Einzugsgebietes sowie Wasserverluste der oberen Seen. Ein zweites Beispiel bieten die Dolomite im Gebiet von Lička Jesenica, wo sie eine Antiklinale bilden, welche als Ganzes undurchlässig ist und die Erscheinung mancher Karstquellen bedingt.

Auch die Morphogenese des Karstes hängt weitgehend von den tektonischen Störungen der Kalke und Dolomite ab. Selektive Erosion wie auch Korrasion können durch Zerkleüftung und Zertrümmerung gesteigert werden. Größere Hebungen und Senkungen einzelner Teilgebiete des Karstes sind hauptsächlich auf die Tektonik zurückzuführen. Es gibt kein Polje, in dem man keine größeren Verwerfungen festgestellt hätte. Die Dolinen (Ponikve) bezeichnen sehr oft stärkere Störungszonen; ebenso die Ponore, und sogar in noch größerem Maße.

LITERATURVERZEICHNIS

- Bešić, Z. (1959): Geologischer Führer durch Montenegro (Serb. m. dt. Zusammenf.). — Geol. društvo Crne Gore, 1—559, Titograd.
- Cirić, B. (1963): Le développement des Dinarides Yougoslaves pendant le cycle alpin. — Mém. Soc. géol. France, 2, 565—582, Paris.
- Germovšek, C. (1956): Die Entwicklung des Mesozoikums in Slowenien (Slow. m. dt. Zusammenf.). — I kongres jugosl. geol. (Bled), 35—43, Ljubljana.
- Herak, M. (1957): Geologische Grundlagen einiger hydrologischer Erscheinungen im dinarischen Karst (Kroat. m. dt. Zusammenf.). — II kongres geologa FNR Jugoslavije, 523—540, Sarajevo.

- Herak, M. (1962): Tektonische Grundlage der hydrogeologischen Verhältnisse in den Quellgebieten der Kupa und Korana (Kroat. m. dt. Zusammenf.). — Ref. V. Savet. geologa FNR Jugoslavije, 1, 17—25, Beograd.
- Koüber, L. (1952): Leitlinien der Tektonik Jugoslawiens. — Poseb. izd. SAN, 189, Geol. inst., 3, 1—64, Beograd.
- Papeš, J., P. Luburić, T. Slišković & V. Raić (1964): Les rapports géologiques des environs de Livno, Duvno et de Glamoč en Bosnie sud-occidentale (Kroat. m. franz. Zusammenf.). — Geol. glasnik, 9, 87—122, Sarajevo.
- Pavlovec, R. (1963): Die stratigraphische Entwicklung des älteren Paläogens im südwestlichen Teil Sloweniens (Slow. m. dt. Zusammenf.). — Razprave SAZU, 7, 421—556, Ljubljana.
- Pleničar, M. (1960): The stratigraphic development of Cretaceous beds in southern Primorska (Slovene Littoral) and Notranjska (Inner Carniola) (Slow. m. engl. Zusammenf.). — Geologija, 6, 22—145, Ljubljana.
- Petković, V. K. (1961): La carte tectonique de la RFP de Yougoslavie (Serb. m. franz. Zusammenf.), Glas SAN, 22, 129—144, Beograd.
- Polšak, A. & A. Milan (1962): Fazielle und tektonische Verhältnisse im nord-östlichen Likagebiet (Kroat. m. dt. Zusammenf.). Ref. V. Savet. geologa FNR Jugoslavije, 1, 63—75, Beograd.
- Radoičić, R. (1962): Microfacies du Cretacé et du Paléogene des Dinarides externes de Yougoslavie (Serb. m. franz. Zusammenf.). — Paleont. jugosl. Dinarida, A, mikropaleont., 4/1, 1—172, Zavod za geol. istraž. NR Crne Gore, Titograd.
- Rakovec, I. (1956): A survey of the tectonic structure of Slovenia (Slow. m. engl. Zusammenf.). — I kongres jugosl. geol. (Bled), 73—83, Ljubljana.
- Salopek, M. (1954): Grundlinien der Geologie der Čićarija und Učka in Istrien (Kroat. m. dt. Zusammenf.). — Prirod. istraž., JAZU, 26, 59—98, Zagreb.
- Sikošek, B. & S. Ucellini (1960): A characteristic profil of the Adriatic zone (Kroat. m. engl. Zusammenf.). — Nafta, 11/1, 7—11, Zagreb.
- Slišković, T., J. Papeš, V. Raić & P. Luburić (1962): Stratigraphy and structural geology of south Herzegovina (Kroat. m. engl. Zusammenf.). — Geol. glasnik, 6, 111—140, Sarajevo.
- Sokac, B., L. Nikler, A. Šušnjara & A. Ivanović (1964): Die stratigraphische Lage des »Klimentakalkes«. — Bull. sci. Conseil acad., 9/1—2, 8, Zagreb.
- Šikić, D. (1963): Geologie des südlichen Učka-Gebietes (Kroat. m. dt. Zusammenf.). — Geol. vjesnik, 16, 45—62, Zagreb.
- Vidović, M. (1961): Über die Tektonik des adriatischen Küstenlandes von der Bucht von Cattaro bis zur Neretva (Serb. m. dt. Zusammenf.). — Geol. anali, 28, 143—156, Beograd.

Sadržaj

GEOLOŠKI PREGLED DINARSKOG KRŠA

U stratigrafском pregledu naglašeni su prvenstveno oni elementi koji su s obzirom na litološke karakteristike pogodni za razvoj krških fenomena (u prvom redu mezojinski i paleogenski vapnenci i u nešto manjoj mjeri dolomiti). Zatim je istaknuto značenje tektonskog položaja pojedinog lithostratigrafskog člana u determiniranju njegove hidrogeološke funkcije, a na pojedinim je primjerima pokazano kako različiti tektonski poremećaji utječu na uspostavljanje krških hidrogeoloških odnosa i na razvoj krških morfoloških oblika. Kao osnova poslužilo je izlaganje autora na II geol. kongresu u Sarajevu (M. Herak, 1957, 1962).

JOSIP ROGLIĆ, Zagreb

THE DELIMITATIONS AND MORPHOLOGICAL TYPES OF THE DINARIC KARST

Introduction. The two important questions indicated in the above title cannot be answered satisfactorily and definitely. Sharp borders are exceptional occurrences in nature while transitory regions are particularly characteristic of the morphological evolution of the Dinaric karst. The differences within the karst itself are numerous and important, and it is difficult to find a classification which could not be substituted by another and this further elaborated. We believe that contributions to the insight into the complex reality and to unsolved problems are scientifically more constructive than generalizations without foundations. The intended extent of this report and particularly the scale of the graphical presentations impose limits upon their general lines and principal features.

The better we know the complex spatial relationship, the more difficult it becomes to generalize because we become aware of the necessity to neglect elements which we consider of secondary importance. This report, therefore, must also have a personal stamp, and is intended only to be a contribution to the discussion of the problem which will be difficult to solve definitely and to the general satisfaction. By its scope and essence this report has an introductory character and its aim is to facilitate the approach to complex facts that everybody will judge in his way, according to his speciality, objective conditions, and personal inclinations.

Regarding the Dinaric karst, conceptions and views are dominant as if it were a region of uniform aspect, which clearly stands out from among its neighbours, and differs specifically from all the other karstic countries. We believe that the perception of the basic differences with respect to the surroundings and to the inner structure is essential for the understanding of the water circulation and of the development of the features of the karstic relief. These relationships condition the delimitation of the karstic region and the shaping of the differences within it.

J. Cvijić, a master of scientific thought and convincing generalizing, changed and developed his general views on the Dinaric karst. It should be kept in mind that at Cvijić's time generalizations and simple conceptions were considerably easier, the complex relationships were less known, and the scientific conceptions were not so differentiated as they are today. At the beginning of his scientific work, and based on his partial knowledge of the Dinaric karst, Cvijić produced a piece of pioneering work of scientific character and of lasting va-

lue (J. Cvijić, 1893). However, later explorations of the karst, and particularly the general development of the scientific aspect in geomorphology changed Cvijić's conceptions. Cvijić adopted the general concept of the cyclical development of landforms, and reserved the term of »holokarst« or complete karst for his beloved Dinaric karst . . . »only in the holokarst are all karstic features completely developed . . . And only in the holokarst can karstic poljes develop with their special hydrographic phenomena« (J. Cvijić, 1924). This simplified view had a great success and is still popular in local and foreign literatures though it cannot be said to correspond to Cvijić's final conceptions (J. Roglić, 1961). The simple cyclical conception specially misled the younger Yugoslav explorers, who have gone even farther than their great teacher.

Death tore Cvijić from his final work, »Geomorfologija«, just when he was approaching the editing of his final conceptions on the karst. On the finishing pages of the second volume of his Geomorphology (1926) Cvijić tried to divide the variegated expanse of the Dinaric karst into main regional types: the karst of Trieste, the karst of Kranjska, the karst of the Lika and Karlovac, the region of the large karstic poljes, the karst of the plain of Kistanje and of the littoral chains, and the karst of the Hercegovina and Montenegro. Disregarding the inadequacy and questionableness of the separated types, it is essential to state that at his end the great master tried to isolate regional types, and that what he said of them severally cannot be reduced to the simple and identifying notion of the »holokarst«. We concede preference to Cvijić's views contained in his Geomorphology because they are fresher than those in his posthumous »Géographie des terrains calcaires« (1960). Unfortunately, even though incomplete, Cvijić's views on geomorphology are not known in international literature.

It was necessary to point out the elementary data from Cvijić's views to know where we are and from where to begin.

The Borders. The first more reliably information on the general features of the earth's relief and structure stimulated E. Suess to present and explain the creation of today's »Face of the Earth« in a masterful way. In this epochal generalization our lands attracted his particular attention, and the generally accepted name of the mountain range of Dinara obtained its corresponding significance. However, the later acquaintance with the details of the inner geological landforms and their relationship to the surrounding geotectonic units complicated, and resulted in, various delimitations of the Dinarids (K. V. Petković, 1958).

We shall limit ourselves to two, to us very significant moments. The border with the Alps in the northwest was the subject of detailed studies, but there are no uniform views and probably cannot even be. Based on »little observation« Cvijić advanced his theory of »the mountain knot between the Dinaric Alps and the Šara Mountain«, but at the end he expressed his reservation (1924). From the insufficient geological information gathered hitherto it is obvious, and essential to us, that in the complex of the Prokletije Mountain, old and impermeable rocks protrude in a large expanse — they are thus essentially different from carbonaceous deposits, which characterize the Mesozoic Dinaric syncline. Instead of a mountain knot, the southeastern end shows the obvious basin of western Kosovo and Metohia, a manifoldly significant breach in the periadriatic mountain chain.

The excessively stressed Dinaric northwest - southeast spread has many deviations significant for the inner evolution of landforms and particularly for the development of the karstic process.

While the name and extent of the Dinards become tectonically problematic, the classical significance of the Dinaric karst strengthens and has been woven indelibly into the international study of the karst terminologically and notionally. The significance of the karstic component is so great that uninformed persons and strangers often identify the notions of karst and mountain. The karstic process and manifestations are conditioned by carbonaceous rock and their extents are identical. Dissolution widens the fissures in carbonaceous rock, water sinks in, and corresponding forms develop on the surface and below it.

The relationship to terrains composed of impermeable rock or the intercalation of such rock among carbonaceous rock, changes the conditions of surface drainage and of the underground water circulation, which changes also modify the karstic morphogenetic process. The presence of non-carbonaceous rock essentially alters the course of the karstic process, and such rock must be kept in mind when the present relationships of landforms are being explained.

Carbonaceous rock shows considerable lithological differences and gradual transitions. Besides the exceptionally pure limestone of the upper Cretaceous and the Paleogene series (above 99 per cent of Ca CO₃) there are less pure and marly limestones, and particularly significant are the dolomites of the older Mesozoic era, while the lowest Triassic system is represented by impermeable rock: these lithologically transitional terrains are characterized by the corresponding »fluviokarstic relief« (J. Roglić, 1960). In the Dinaric Mountains the fluviokarstic terrains are spatially very wide-spread and decisively influence the development of features also in pure limestone.

A. Šerko (1947) rightly pointed at the lack of works delimiting the extent of the Dinaric karst. By means of Yugoslav topographical maps (showing the network of water courses, the distribution of sources, swallow holes and isolated karstic depressions) Šerko himself tried to delimit the Dinaric karst. This was a definitely objective method, and his map »Hidrografija« clearly shows the aridity of the karstic space. The author, however, himself states that it is impossible to delimit the karst because of terrains with a combination of vertical and surface drainages, and slope washing (dolomites, marly limestone, limestone conglomerates).

We consider these transitional fluviokarstic landscapes particularly important not only because of their extent but because they influence the morphological evolution of karstic parts, and condition the inner separation of karstic landscapes. We give precedence to the fluviokarstic terrains even over intercalations of impermeable rock in karst because the latter are less widespread and contrast with the surrounding karst. The principal expanses of these three categories of landforms are presented in the enclosed map, on which we shall briefly comment.

While the fluviokarstic belt is transitional towards the inland, on the southwest towards the Adriatic depression the karst reaches the sea and runs on below it. We shall see that the narrow zones of Paleogene flysch and Neogene lacustrine deposits do not essentially influence the nature of the karstic process.

The Morphological Types. What has been said so far shows that we are taking the way imposed by the complex relationship of the lithological structure and relief picture. The size of this report does not allow to go into a detailed regional division which, despite the difficulties of delimitation, could be so rich as to cause confusion in the end. The division into strict types: deep and shallow karst, the problematic »holokarst« and »merokarst«, bare and covered karst, wooded and denuded karst, carries with it all the weakness of systematics, which it is hard to bring into harmony with the complex reality. A contribution to learning the real conditions has, therefore, more significance and usefulness.

Along the continental side of the Dinaric karst there spreads the inner fluviokarstic zone, primarily composed of lower Mesozoic dolomites and impure limestone, below which impermeable rock protrudes in »hydrological centers«. Of the same importance are the border basins of Ljubljana, Karlovac, Vrhbosna and Metohia, where karstic or fluviokarstic landscapes border contrastingly upon fluvial landforms.

The characteristic of the fluviokarstic landscape is that its landforms are shaped by slope washing. Periodical or rare permanent water courses transport the detritus lower down. The absence of a permanent water table is reflected in rare or completely lacking permanent sources and in the disappearance of water courses, and there are also collapses above underground karstic hollows. Typical Triassic dolomites are particularly noticeable in this zone, and are significant for its landforms. Intercalations of purer limestone complicate the morphogenetic processes even more. The protrusion of the older lower Triassic and Paleozoic impermeable base alters the relationships particularly and conditions permanent water courses, which break canyon-like through the carbonaceous rock of the surface layers. The fluviokarstic zone is a belt particularly significant for the morphological aspect of the Dinaric Mountains, and for the evolution of the narrower karstic zone. The map therefore, shows a considerable part of fluviokarst, particularly in its southeastern part — an important hydrological center.

The relations between the altitudes are particularly significant for the development of the morphogenetic processes in the zone itself as well as for its influence upon the karst in the narrower sense. We attribute greater significance to the higher mountainous parts because there the relief dynamic is greater and the influence upon the morphogenesis of the adjacent karst must also be more considerable. We point out two significant elements in these mountainous parts.

The first element is the special aspect of the mountains, which as table mountains rise steeply above the gentler slopes of impermeable rock. E. Richter (1907) already observed that through central Bosnia there runs »a belt of valleys and table mountains (Tafelgebirge)«, which well reflects the differences in the structure and brokenness of the surface layer composed of carbonaceous rock. A. Šerko (1947) rightly considers that these are the properties of the landforms of the limestone Alps. Analogous relief conditions, however, are found along the valleys of the Soča, Sava, Lašva, upper Bosna, Drina, Lim and other rivers. The passes Čemerno and Ivan remind of pass Vršič, and pass Čakor of all the three, etc. The relief of the inner Dinaric space is in the main connected with the limestone belt of the Southern Alps. In the southeast on the

contrary, the fluviokarstic belt ends in the massif of the Prokletije Mountain and at the rim of the basin of Kosovo and Metohia.

Deep cut-in valleys condition fast draining of the underground water from the peripheral parts of the isolated table mountains, but their central plateaux show fluviokarstic features, such as on the plateaux of Jezera, od Vlašić and on parts of the Triglav massif. The landforms of the mountain plateaux are conditioned by slope washing, and the alternating clogging and opening of the swallow holes. This combined process probably conditioned the shaping of the characteristic open landscapes, which therefore need not be parts of the uniform initial erosion levels. The steepness of the slopes descending to the surrounding basins and valleys in impermeable rock is a special feature of the relief. The properties of the relief on the high mountain plateaux are the cause of the vagueness of the notion of shallow karst. The high plateaux apparently show the properties of shallow karst though it is obvious that below there are deep layers of carbonaceous rock where fissure circulation of water takes place.

The relief of the inner fluviokarstic zone is clearly interrupted by lower land between the Julian Alps and the mountains of central Bosnia. This lower land predominantly shows open plains and isolated mountains. A considerable share of dolomites alternating with limestone and impermeable rock conditions combined morphogenetic processes and landforms of the so-called shallow karst like that on the high isolated plateaux. The ecological properties are reflected in the differences of the vegetable cover, kinds of soil, and the general social significance of the country. These lower parts are often mentioned as regions of shallow karst though there is no proof of an impermeable layer at shallow depths. The shallowness of the karstic features is conditioned by the mixed structure and the morphogenetic processes harmonizing with it, i. e., slope washing and vertical drainage alternating in space and time.

The other significant element is the protrusion of the impermeable base rock of lower Triassic and Paleozoic layers; eruptives are of minor significance. The »regulatory« hydrological role of these regions has already been pointed out (M. Herak, 1957). Their relief significance is still greater. This impermeable rock produces the sources of the principal rivers, the courses of which are chiefly determined by the Dinaric structure. The most significant region of the protrusion of the impermeable rock base is in the headwater zone of the Drina and in the adjacent Prokletije Mountains. Connected with it is the hydrological central function of this region, which does not only feed the most important Dinaric rivers but also sends rich water courses to the Drim and the lake of Scutari. The rivers Bosna, Vrbas and Neretva are connected with the protrusion of the impermeable rock base of central Bosnia. A similar protrusion of the impermeable rock base feeds the Una, Butušnica, Otuča and Lika. The impermeable core of the Gorski Kotar produces the Kupa.

The inner fluviokarstic zone acts as watershed, which stands out with its impermeable peaks. From this watershed to the Danube run the principal Dinaric rivers through their complex valleys. On the contrary the Adriatic slope, which receives the greater part of precipitations, shows few rivers. The question logically arises what happens to those great quantities of water which so plentifully descend upon the Adriatic side of the mountain chain. This is impor-

tant for the understanding of the morphological evolution of the narrower karst.

Between the inner zone of the fluviokarst and the Adriatic depression there stretches the karst in the narrower sense of the word. The karstic belt developed on the geosyncline of upper Mesozoic and Paleogenetic limestone, which is very pure. Particularly outstanding are the bank and upper Cretaceous limestones, which dominate in the littoral mountains. The lithological structure is decisive for the development of the relief relationships. In the littoral karstic belt, among pure limestone, there are layers of Paleogenetic flysch, and a similar position is occupied by the more strongly isolated upper Tertiary lacustrine deposits particularly in the middle part. Of further importance is the fact that the limestone layers are the more intensively disturbed, the nearer the seashore.

A relatively lesser significance goes to the protrusions of rocks of the older base, among which the lower Mesozoic dolomites are particularly important.

Petrographic differences condition corresponding processes in the evolution of landforms. Still insufficiently explained are the paleogeographic conditions under which the Neogene lacustrine deposits were accumulated. In the recent geological past the inner karstic belt was probably low and of gentle relief. This supposition agrees with the freshness and dynamic of the present landforms, e. g., along the valley of the upper Neretva, the valley of the Unac, and in the main part of the fluviokarstic belt. Younger uprisings of the inner Dinaric parts facilitate the understanding of the hydrogeological relationships and of the evolution of the karstic relief.

The purity and depth of the limestone are of principal significance in the development of the relief of the typical Dinaric karst, which also receives great amounts of precipitations. In the mountain walls of Velebit (1,758 meters), Dinara (1,913 m), Čvrsnica (2,228 m), Prenj (2,155 m), Čabulja (1,780 m) and Orjen (1,895 m), the depth of the limestone depasses 2,000 meters, and with the littoral mountains it is obvious that this rock also reaches below sea level. The mentioned mountains receive great quantities of precipitations (2,500 millimetres a year on the average) and on one day even up to 500 millimetres (480 millimetres have been recorded), and all this water disappears quickly underground while no streams run down the slopes. On the contrary, at the continental feet of these mountains (Dinara, Čvrsnica, Biokovo, and partly Velebit) there are swallow holes. The water thus flows deep below the mountainous mass and in the main runs underground towards the Adriatic depression. Bathymetric data have proved without any doubt that the typical karstic relief spreads along the bottom of the sea.

Limestone and the karst developed in it reach down into the Adriatic depression and allow the outflow of fissure water deep below the sea level. The zones of Paleogene flysch and Neogene lacustrine deposits are relatively shallow and do not essentially prevent the deep fissure circulation of water. Water circulates deep through the limestone mass and deep karst develops, and reflects upon the surface in its specific way. The greater part of limestone mountains manifest an expressed inversion in water drainage: instead of water flowing from them we can see water disappearing at their bases! From the hydrological point of view such mountains are large absorbing basins —

deep karst par excellence. Special attention must be drawn to this anomaly because it is a characteristic occurrence in typical Dinaric karst. The surface features of mountains in deep karst, even the most impressive like jamas, cauldron-like dolines, etc., are only a pale reflection of the deep and spacious underground hollows reaching thousands of metres down. This specific property of the Dinaric karst is not stressed enough and must be kept in mind. We shall draw the attention to another two elements of the Dinaric karstic landscape.

On impermeable rock, fluvial erosion takes place, i. e., a morphogenetic process essentially different from the karstic. In impermeable rock, differentiated processes of slope washing produced valley-like depressions among which limestone ridges have remained, a frequent picture in the littoral belt and along the principal valleys. The erosion of isolated regions of impermeable rock produces still more specific features. The principal water courses (the Una, Krka, Cetina, Neretva, etc.) have connected several regions of impermeable rock. In this way, complex valleys were formed: from widened »poljes« in eroded impermeable rock to canyons in limestone — the specific aspect along the rare rivers in the karst.

Still more significant are depressions in impermeable layers surrounded by limestone. A process of differentiated erosion was made possible by the underground drainage of the water and the evacuation of washed-down detritus — a proof of the great capacity of the fissures in the underground of deep karst. In this way the typical poljes were formed, a significant and foreign element in karst, but in harmony with the lithological contrasts and their subsequent morphogenetic processes. Climatomorphogenetic changes have also become manifest in the sensitive organism of the karst, particularly in the poljes.

During the Pleistocene, accumulation dominated in the depressions of the poljes and caused long inundations. Under the present climatic conditions, the swallow holes open again, the inundations are shorter and take away accumulated alluvia. In the Pleistocene the rare rivers carried more material, erosion dominated, and afterwards many water courses in the reforested regions became exceptionally clear, calciphile organisms settled in them and the formation of rimstone bars began.

We draw attention to a significant relief element that contrasts with the basic properties of the karstic process, i. e., with the vertical drainage and the deepening of the relief features. In the pure limestone of the Dinaric karst very expressive plains are found. They lie at various levels, are reliefly isolated and their expressiveness is in proportion to the purity of the limestone. The enclosed map shows the principal plains, and their heights are given in the Legend of the map. Explorations made so far point to the forming of these plains by rim corrosion round alluvial plains, i. e., at the contact belt between limestone and impermeable rock. Water courses running down impermeable rock carried alluvia which prevented the water from sinking in quickly, and preserved moisture. This process led to rim-corrosional widenings of the »polje«. The climatic influence or biotic process in the moist and warm medium particularly favoured the shaping of corrosional plains.

The vegetative cover of the soil modifies and distributes the corroding of the carbonaceous rock more evenly. Covered karst is regularly connected

with lithologically contact belts and alloogenous alluvia. In such regions the karstic depressions are regularly shallower and of relatively greater dimensions, called »bowl dolinas«. They are a typical feature of covered karst, just as irregular crevices are characteristic of the bare surfaces of limestone.

Bare karst has chiefly been the result of social influences and is manifest on various bases. The epoch of intensive transhumant livestock-breeding brought deforestation to extensive mountain plateaux of the fluviokarst (Pešter, Jezera, Visočica, etc.) though forest could grow on them very easily. The gentler perimediterranean parts were bared by intensive winter grazing, and that particularly during the last 150 years, when sedentary life preponderated and the population suddenly increased. The preponderance of pure limestone, the scarcity of usable soil, intensive summer droughts and sudden autumn rains, open hearths and the orientation towards goat breeding spread the rocky waste. The reduced pressure on the soil through migration from village to town, the decrease in livestock breeding and changes in the way of life are leading fairly quickly to the regeneration of the almost vanished vegetational cover. Karst, thus, reacts very quickly and expressively to social influences. Only the steep limestone slopes, particularly those of the littoral range and exposed to the sun, have always been bare.

The lithological structure is the basic condition for the development of karst, and this is reflected not only in its extent but also in the inner differences of the Dinaric karst. We attribute particular significance, besides the narrower region of the karst, to the transitional fluviokarstic belt stretching inland — and this is new and particularly significant in this report.

The Dinaric karst in its narrower sense is composed of pure and deep limestone layers, which are hugest in the littoral belt and reach into the Adriatic depression. This is the deepest karst, a specific property of our country. The littoral limestone mountains retain enormous amounts of precipitations but their base also swallows the water flowing from adjacent parts!

The zones of Paleogene flysch, lacustrine deposits and other impermeable rock do not essentially retain the underground circulation of water and the development of subterranean hollows. Impermeable rock is the scene of fluvial erosion, which in contact with limestone also modifies the karstic process, and in this way favourable relief features and climatobiotic conditions led to the formation of erosional plains.

The karst process and landscape are susceptible not only to the climate but also to social influences, which can be seen in the annihilation and regeneration of the forest cover, in the washing down of the scarce soil, and in the alternation between wooded karst and bare karst. The sensitive karst country differs in space and changes with the time, and makes it impossible to divide it into types linked to space and stable in time.

WORKS CHIEFLY REFERRED TO

- Cvijić, J. (1893): Das Karstphänomen, Versuch einer morphologischen Monographie. Geographische Abhandlungen, herausgegeben von A. Penck, Vol. V, Book 3, pp. 215—319, Wien.
Cvijić, J. (1924): Les types morphologiques des terrains calcaires, in Glasnik Geografskog društva, Vol. 10, pp. 1—7, Beograd.
Cvijić, J. (1924 and 1926): Geomorfologija, Vol. 1 and 2, Beograd.

- Cvijić, J. (1960): Géographie des terrains calcaires, Académie serbe des sciences et des arts, Monographie T 341, Classe des sciences mathématiques et naturelles. No. 26, pp. 1—222, Beograd.
- Herak, M. (1957): Geološka osnova nekih hidroloških pojava u Dinarskom kršu (The Geological Base of Some Hydrological Phenomena in the Dinaric Karst), Drugi kongres geologa Jugoslavije (Second Congress of the Yugoslav Geologists), pp. 523—539, Sarajevo.
- Petković, K. V. (1958): Neue Erkenntnisse über den Bau der Dinariden, in Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, Vol. 101, No. 1, pp. 1—24, Wien.
- Richter, E. (1907): Beiträge zur Landeskunde Bosniens und der Herzegowina, in Mitteilungen aus Bosnien und der Herzegowina, Vol. 10, Wien.
- Roglić, J. (1957): Quelques problèmes fondamentaux du karst, in L'information géographique, pp. 1—12, Paris.
- Roglić, J. (1960): Das Verhältnis der Flußerosion zum Karstprozeß, in Zeitschrift für Geomorphologie, Vol. 4, Book 2, pp. 116—128, Berlin.
- Roglić, J. (1961): Razvoj Cvijićeve misli o kršu (The Development of Cvijić's Concept of the Karst), in Geografski glasnik, No. XXIII, pp. 37—53, Zagreb.
- Šerkov, A. (1947): Kraški pojavi v Jugoslaviji (Karstic Phenomena in Yugoslavia), in Geografski vestnik, No. XIX, pp. 43—70, Ljubljana.

Sadržaj

OGRANIČENJE I MORFOLOŠKI TIPOVI DINARSKOG KRŠA

Litološki sastav je osnovni uvjet razvitka krša i to se ogleda ne samo u raširenosti već i u unutrašnjim razlikama Dinarskog krša. Pored užeg područja krša naročito značenje dajemo prelaznom fluviokrškom pojusu, koji se proteže sa unutrašnje, kopnene strane — to je novo i posebno značajno u ovome radu.

Uži Dinarski krš je uglavnom sastavljen iz čistih i debelih vapnenačkih naslaga, koje su najmoćnije u priobalnom pojusu i poniru u JadranSKU zavalu, — duboki krš je specifičnost našeg kraja. Priobalske vapnenačke planine zadržavaju goleme količine padalina ali i njihovo podnožje guta vode koje sa strane pritiču!

Zone paleogenog fliša, lakustrijske naslage i druge nepropustne stijene ne zadržavaju dubinsku cirkulaciju voda, odnosno razvoj podzemnih šupljina. Na nepropusnim stijenama vrši se fluvijalna erozija, što u kontaktnom pojusu modificira i kraški proces — tako su u povoljnim reljefnim odnosima i klimabiotskim uvjetima nastale korozionske zaravni.

Pored klime krški pejzaž je osjetljiv i na društvene utjecaje, što se ogleda u uništenju i obnovi biljnog pokrova, spiranju oskudnog tla tj. smjeni pošumljenog ili ogoljelog krša. Osjetljiva krška sredina je različita u prostoru i promjenjiva u vremenu, te je nemoguće izdvajanje tipova prostorno fiksnih i vremenski stabilnih.

Aus dem Biologischen Institut der Slowenischen Akademie der Wissenschaften und Künste,
Ljubljana
JOVAN HADŽI

BEMERKUNGEN ZU EINIGEN BIOSPELÄOLOGISCHEN PROBLEMEN DES DINARISCHEN KARSTES

1

Den Gedanken, gelegentlich des IV. Internationalen Kongresses für Speleologie, der in Jugoslawien stattfindet, eine ganzheitliche Übersicht über die Lebenswelt des unterirdischen Dinarischen Karstes zu verfassen, habe ich leider aufgeben müssen, und zwar aus mehreren Gründen. Erstens habe ich vor einigen Jahren (Graz, 1957, Symposium) einen wenn auch kurz gefaßten Überblick über den jetzigen Stand unserer Kenntnisse der Höhlenfauna des Dinarischen Karstes gegeben. Zweitens sind besser geplante und intensiv geführte Forschungen im Terrain und daran angeschlossen in den Laboratorien im Gange, wobei fortlaufend neues Tatsachenmaterial geliefert wird, und drittens ist erst unlängst das gediegene Werk A. V a n d e l s erschienen, das den jetzigen Stand der Biospeläologie der ganzen Erde und somit auch unseres Karstes umfaßt. Übrigens wird Dozent Dr. Boris S k e t am Kongreß ein diesbezügliches, durch Lichtbilder illustriertes Referat abhalten.

Wir sind von einem Abschluß der Forschungen noch immer weit entfernt. Es werden immer wieder bisher unbekannte Höhlenarten und neue Fundorte entdeckt, wodurch sich so manches Arealbild ändert. Beispielsweise möchte ich hier nur die äußerst kavernikole Opilionidenart erwähnen, von der i. J. 1933 ein einziges Exemplar aus der jetzt auch historisch berühmt gewordenen Tito-Höhle bei Drvar in Bosnien bekannt wurde (leg. S. K a r a m a n). Sie wurde als *Nemastoma karamani* Hadži beschrieben. Jetzt muß für diese Art ein besonderes Genus gegründet werden. Im Sommer vergangenen Jahres fand unser ausgezeichneter Höhlenforscher Egon P r e t n e r genau dieselbe Art in einer kroatischen Höhle, die über 40 km Luftlinie vom ersten Fundort entfernt ist. Zweifellos sind beide vermutlich sehr kleinen Populationen schon seit langem völlig voneinander isoliert.

Aus den oben erwähnten Gründen will ich mich hier nur auf einige Bemerkungen beschränken, und zwar vor allem in bezug auf das Problem der Herkunft eines Teiles der für unsere Tierwelt so charakteristischen aquatilen Höhlenfauna. Am Schlusse will ich einige theoretische Fragen berühren.

2

Es ist zu begrüßen, daß sich A. V a n d e l entschlossen hat, sich der Ansicht anzuschließen, daß man im Gebiet der Subterranaufauna schärfer zwischen

der Interstitialfauna und der eigentlichen Höhlenfauna zu unterscheiden hat. Ohne hier in Einzelheiten eingehen zu wollen, soll nur betont werden, daß sowohl die abiotischen als auch die biotischen Lebensverhältnisse dieser beiden Umweltgebiete sehr verschieden sind. Überdies ist das Gebiet der Interstitien viel umfangreicher, oft geologisch älter und sind seine Teile besser miteinander verbunden. Nicht zuletzt kommt auch die Tatsache in Betracht, daß diese Gebiete in mineralogisch-petrographischer Hinsicht recht verschieden sind. Die bewohnbaren Räume des Interstitiengebietes sind — mit wenigen lokalen Ausnahmen — sehr eng und erlauben das Leben fast nur mikroskopisch kleinen Tierarten. Der Kontakt mit dem oberirdischen nahrungsliefernden Gebiet ist allgemein. Das Höhlengebiet unterscheidet sich von jenem der Interstitien vor allem durch seinen Ursprung. Das Substrat des Interstitiengebietes stammt aus stark zertrümmertem und verschiedenartigem mineralogischem, sedimentärem oder angeschwemmtem Material. Das Höhlensubstrat ist dagegen meistenteils anstehendes Kalkgestein von gegebener Mächtigkeit. Man muß also auch im Gebiet der Biologie die Tierwelt der Interstitien scharf von jener der Höhlen trennen, womit aber nicht verneint sein soll, daß an gewissen Kontaktpunkten auch jetzt noch Wechselwirkungen stattfinden.

3

Vorerst wollen wir versuchen, eine allgemeine Charakteristik der Höhlenfauna des Dinarischen Karstes zu geben, die größtenteils dem Territorium Jugoslawiens angehört. Der Reichtum dieser Fauna ist schon seit langem gut bekannt. Die leider noch nicht genauer angebbare Zahl der Arten geht nicht nur in viele Hunderte, sondern sogar in Tausende. Der gute Kenner unserer Höhlenfauna Egon Pretnar führt z. B. an, daß für das große Höhlensystem der Vjetrenica an der Dreiländergrenze von Dalmatien, der Herzegowina und der Crna Gora bisher über 50 Troglobionte registriert worden sind, wobei einige Tiergruppen noch gar nicht erforscht wurden. Dieser Reichtum wird verständlich, wenn wir uns vergegenwärtigen, daß es sich 1. um ein verhältnismäßig umfangreiches Gebiet handelt, daß 2. eine lange Zeitspanne die Kontinuität der Entwicklung ermöglichte, daß 3. die klimatischen und namentlich auch die hydrologischen Beziehungen sehr günstig waren und es jetzt noch sind, daß 4. das Karstgebiet stark zerklüftet und 5. in viele kleinere Gebiete geteilt ist, und daß sich 6. im selben Territorium eine reiche epigäische Fauna befindet.

Wenn wir jetzt diese Fauna mit den Faunen anderer Karstgebiete vergleichen, werden wir unschwer erkennen, daß gewisse Ähnlichkeiten — wir können wohl sagen Parallelismen — vorherrschen, die angesichts der ähnlichen Lebensumstände der Höhlenwelt verständlich sind. Wir können grosso modo sagen, daß zwischen der Außen- und der Innenwelt eine siebartige Barriere besteht, die nur von Arten mit geeigneten Lebensformen überwunden werden kann. Diese Lebensformen gehören bestimmten systematischen Tiergruppen an.

Neben diesen allgemeinen gemeinschaftlichen Zügen in der Zusammensetzung der einzelnen Höhlenfaunen, die sich namentlich auf terrestrisch lebende Arthropoden bezieht, finden wir in der Fauna des Dinarischen Karstes zahlreiche Arten von ganz verschiedener Stellung im Tiersystem, die nur in diesem Höhlengebiet auftreten, also streng endem vorkommen. Von gewöhnlichen Endemen (Neoendemen) unterscheiden sie sich dadurch, daß sie ganz

isolierte Repräsentanten von höheren Taxonen darstellen, die anderwärts in den Höhlen nicht anzutreffen sind. Hier wollen wir nur einige Beispiele anführen: den Infusor *Diabolicalina hadzii* Matjašić und noch eine andere nicht benannte Art, die Sket gefunden hat, ferner mindestens 10 Arten von Temnocephalen, die von Matjašić beschrieben wurden, *Desmoscolex aquaedulcis* Stammer, *Congeria kusceri* Bole, mehrere Gastropodenarten, *Marifugia cavatica* Absolon et Hrabě, *Dina absoloni* Joh., eine größere Zahl von Krebsen, Garnelen, *Sphaeromides* etc., *Proteus anginus* und einige *Paraphoxinus*-Arten.

Allen diesen Tieren ist die aquatile Lebensweise gemeinsam und es scheint, daß alle diese Arten nächstverwandte Ahnen haben, die benthonisch, also am Grunde von Süßwasserseen, lebten oder noch leben.

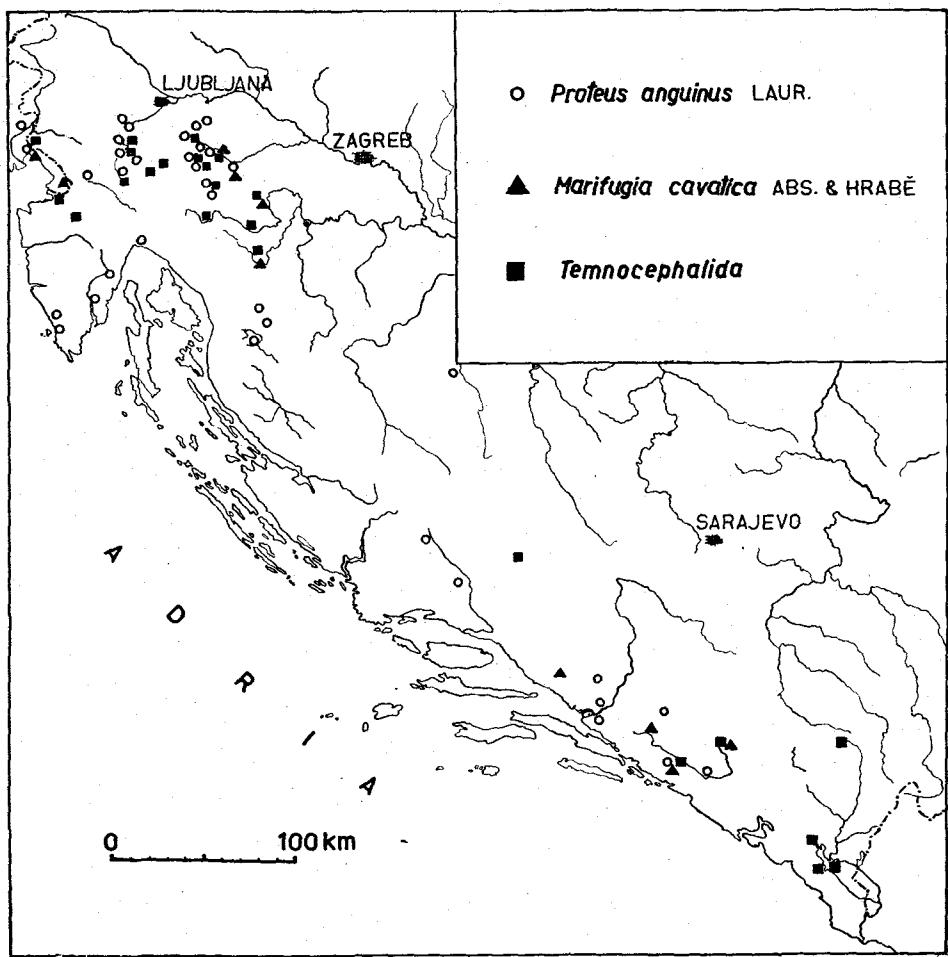
Wenn wir diese in die Augen springenden Tatsachen im Lichte der geographisch-hydrologischen Verhältnisse des Dinarischen Karstes betrachten — und ähnliches gilt natürlich auch für andere Karstgebiete — kommen wir unschwer zur Rekonstruktion des Prozesses, durch den vermutlich die einst in den epigäischen Karstgewässern, namentlich in den Karstseen (unter Wasser stehenden Karstpoljen) lebenden Tierarten zu Höhlentieren wurden und sich hier weiter entwickelten. Solcher Karstseen gab es eine Menge und auch jetzt gibt es noch mehrere, bei denen der Verkarstungsprozeß schon sehr alt ist. Einige dieser Seen sind jetzt im Verschwinden begriffen (so die Blata, d. i. Moraste, und die periodisch versiegenden Seen). Dabei ist sehr wichtig, daß das Verschwinden der Karstseen nicht etwa im Wege der Verlandung vor sich geht, sondern durch Abzapfung oder Abfluß nach unten, in die Tiefe des zerklüfteten Kalksteins. Während dieser Prozesse blieben nur solche Tierarten erhalten, denen es gelang, sich in der gegebenen Zeitspanne so weit zu ändern, d. h. zu adaptieren, daß sie zum Leben in engen, mit kaltem, hartem Wasser gefüllten und lichtlosen Räumen fähig wurden. Ich bin nicht der erste, der mit einem solchen Prozeß rechnet (Komárek).

4

Vom hier eingenommenen Standpunkt aus wird uns manches in der Zusammensetzung der aquatilen Fauna des Dinarischen Karstes verständlicher. Wir wollen mit den Fischen beginnen. Echte troglobionte Fische gibt es hier bekanntlich nicht. Es sind aber einige Arten (etwa fünf) der Gattung *Paraphoxinus* (kroatisch pijori genannt) als endeme Arten beschrieben worden, doch soll die Gattung selbst nicht endem sein (eine Art lebt angeblich auf der Pyrenäenhalbinsel). Früher wurden diese Fische allgemein zu den Höhlentieren gerechnet. Vandel streicht sie aus der Liste der Höhlenarten, wobei er sich auf Karaman (1932) und Sändl (1925) beruft und darauf aufmerksam macht, daß diese Fische sowohl pigmentiert sind als auch Augen besitzen, außerdem auch in epigäischen Gewässern leben und sich dortselbst fortpflanzen. In die Höhlengewässer ziehen sich diese Tiere nur während der Trockenperiode zurück. Das alles steht fest, doch glaube ich trotzdem nicht, daß die Angelegenheit damit abgetan wäre. Im Lebenslauf der *Paraphoxinus*-Arten spielt das unterirdische Milieu eine wesentliche Rolle. Diese Fische beziehen die Höhlengewässer regelmäßig und sogar für die Zeit bis zu ganzen sieben Monaten. Wir kennen ja auch sonst mehrere Tiere aus verschiedenen sys-

matischen Gruppen, die regelmäßig, und zwar periodisch, in den Höhlen leben. Diese Perioden sind durch verschiedene, sei es kosmische, sei es klimatische Faktoren bedingt. So wissen wir z. B. daß die Opilionenart *Nelima aurantiaca* (Simon) stets als Imago in Höhlen überwintert, was auch für einige Fledermausarten gilt und wahrscheinlich auch noch für mehrere andere Tiere. Andere Fledermausarten verbringen die Tage in den Höhlen und sind als Lieferer organischer Nahrung (Guano) ein für viele troglobionte Tierarten wichtiger Faktor.

Unsere *Paraphoxinus*-Arten verbleiben regelmäßig während der Trockenperiode im Höhlensystem, ernähren sich dort und zeigen sogar Anzeichen einer Änderung im Sinne der Höhlenmerkmale, so z. B. eine Verkleinerung der Schuppenzahl, teilweisen Rückgang der Beschuppung usw. So scheint mir die These berechtigt zu sein, daß wir neben der Kategorie der ständig in den Höhlenräumen lebenden Tiere noch eine besondere Kategorie von Höhlentieren zu



unterscheiden haben, die wir als *saisongemäß* oder *jahreszeitlich* Höhlentiere bezeichnen können; sie unterscheiden sich ganz scharf von den sogenannten trogloboxen und nur vorübergehend in den Höhlen Unterkunft suchenden Tieren. Natürlich ist nicht zu erwarten, daß aus den jahreszeitlichen Höhlentieren exzessive Troglobionten entstehen könnten, außer im Fall, daß sie zur Gänze in die Unterwelt abwandern.

5

Einen recht typischen Fall liefert uns der sogenannte Grottenolm oder Grottenmolch (*Proteus anguinus* Laurenti). Glücklicherweise kommt für den Proteus ein direkter Import aus dem Meere gar nicht in Betracht. Für die ganz gewiß oberirdischen Ahnen des Proteus kann es keinen Zweifel geben, daß sie am Grunde von Süßwasserseen lebten, so wie ihr nächster, in Nordamerika lebender Verwandter *Necturus* auch noch lebt. Gewiß haben mehrere Umstände dazu geführt, daß sich diese Proteidenart als einzige in Europa gerade im Höhlensystem des Dinarischen Karstes erhalten konnte, obwohl ihre Verwandten früher viel weiter verbreitet waren. Für den wichtigsten diesbezüglichen Umstand halte ich die Entwässerungsweise der Poljenseen im Karste, weil damit auch viel anderes verbunden war, das — unter gewissen Änderungen — zur Erhaltung beigetragen hat. Zu einem dieser Umstände müssen wir jedenfalls auch die bereits von früher her vorhandene Neigung zur Neotenisierung rechnen.

Die Untersuchungen Briegels, deren Ergebnisse in erster Linie für das Höhlensystem von Postojna gelten, aber sehr wahrscheinlich von allgemeiner Bedeutung sein dürften, haben gezeigt, daß sich das eigentliche Wohngebiet, in dem auch die Fortpflanzung stattfindet, in der Tiefenregion befindet, die uns unzugänglich ist. Nur zur Nahrungssuche kommen die Protei in die Zwischenregion und so gelangt das Tier gelegentlich aktiv bis zur Oberfläche, was nur selten an besonderes günstigen Stellen geschieht, oder bei Hochwasser auch passiv, wenn sich die Tiere in solchen Spalträumen befinden, in denen der starke Wasserstrom ihre Schwimmfähigkeit überwindet.

Daher kommt es, daß nicht so selten bei Sprengarbeiten, bei denen enge, mit Wasser gefüllte Spalten entblößt werden, mit dem Wasser auch Protei ans Licht geworfen werden. Die Protei sind nicht bloß lichtscheu, sondern sie halten sich auch mit Vorliebe in Spalträumen auf. Das ist auch der Grund, daß sie sich in gewöhnlichen Aquarien und Bassins nicht wohl fühlen und sich hier gar nicht fortpflanzen.

Zur Erhaltung und dadurch zur Weiterentwicklung der Protei zu richtigen Troglobionten trug wahrscheinlich nicht wenig auch der Schutz der zarten Larven vor Raubtieren (Fischen und Krebsen) und der Schutz vor Infektionskrankheiten bei, den die engen Spaltenräume gewähren. Somit wäre der Proteus kein eigentliches Höhlentier — auch der Name Grottenolm wäre unangebracht — da seine Entwicklung, die in der Kreidezeit begann, sozusagen in den Spalträumen stecken blieb. Vielleicht ist der Proteus nicht das einzige Höhlentier, das sich auf diese Weise entwickelt hat.

Nebenbei sei noch eine einigermaßen befremdende Tatsache behandelt. Bekanntlich hat der Proteus trotz seiner weitgehenden Anpassung an das Höhlenleben doch nicht die Fähigkeit zur Pigmentbildung verloren. Die Jungtiere

weisen sogar noch mehr Pigmentzellen auf als die ausgewachsenen Tiere, obwohl sie nie ans Tageslicht kommen. Die Pigmentlosigkeit in ausgewachsenem Zustand ist also beim Proteus nur eine Modifikation. Meiner Meinung nach lebten seine Ahnen in nicht sehr tiefen Seen und behielten so die Pigmentation. Während der Anpassung und später in der speziellen Unterwelt hörte zwar die Bildung von Pigmenten ganz oder doch größtenteils auf, da aber die Farblosigkeit in dieser Umwelt gar keinen ökologischen Wert hatte, griff die Naturauswahl nicht ein, um eventuell sich zeigende Minus-Mutanten heranzuzüchten, so daß das Gen für das Pigment erhalten blieb.

6

Eine wenn möglich noch größere Übereinstimmung zwischen der vorausgesetzten Entwicklungsgeschichte und dem jetzigen Zustand bietet der Fall *Marifugia cavatica* Absolon et Hrabě 1930. Als diese Polychaetenart beschrieben wurde, erregte sie großes Interesse, nicht etwa deshalb, weil damit ein im Süßwasser lebender Polychaete entdeckt wurde, sondern weil es sich um eine tubikole Art handelte und noch dazu um eine Höhlenart. Da der Fundort nahe an der Meeresküste lag, war es naheliegend, an eine direkte Immigration aus dem Adriatischen Meere zu denken. Und doch dürfte dies nicht den Tatsachen entsprechen. Lebende Marifugien wurden zwar in dichten Ansammlungen anderwärts im Dinarischen Karste nicht gefunden, doch bezeugen mehrere Funde von leeren Röhren, daß diese Tiere nicht nur unmittelbar längs der Küste, sondern auch tiefer im Hinterland in Höhlen vorkommen. Aber auch abgesehen davon kommt man, wenn man der Sache kritisch nachgeht, zum Schlusse, daß sowohl eine aktive, als auch — noch viel weniger — eine passive Übersiedlung eines Anneliden aus dem Küstenwasser des Meeres ganz unwahrscheinlich erscheint, da sie durch das unter großem Druck durch die am Grunde des Meeres mündenden Spalten herbeifließende Karstwasser, also stromaufwärts, erfolgen müßte. Ich habe schon früher darauf hingewiesen, daß *Marifugia* zu Unrecht diesen Namen trägt und daß sie aus versickernden Karstseen in die Höhengewässer gelangt ist. In ähnlichem Sinn, doch etwas unbestimpter, hat sich auch Vandell ausgedrückt: »Il n'est pas exclu qu'elle ait été déjà adaptée à l'eau douce avant de pénétrer dans le domaine souterrain« (Vandell, 1964:95). Vandell meint, daß es sich gewiß um ein altes Relikt handelt, möglicherweise aus dem Tertiär; dieser Ansicht ist beizustimmen.

Als an Gewißheit grenzend können wir annehmen, daß *Marifugia* am Grunde der Karstseen lebte, in die sie voreinst ganz gewiß aus dem Meere eingewandert ist, und zwar anfänglich wahrscheinlich aus einer seichten Randbucht. Unter Abschluß der Bucht und deren Aussüßung (Limane) wurde sie schließlich zum Süßwasserbewohner. Durch tektonische Vorgänge wurde der See gehoben. Nach langem Bestehen und unter fortschreitender Verkarstung des Gebietes gelangten die Ahnen der heutigen *Marifugia* in Spaltengewässer und dadurch in die Höhlen. So stellen wir uns die Geschichte der *Marifugia* vor.

Bei dieser Geschichte spielte vermutlich die Kalkröhre der *Marifugia* eine bedeutende Rolle, weil sie den zarten Tieren die Möglichkeit bot, durch längere Zeit der Trockenlegung zu trotzen. Pulvertrocken wird die Luft in der Unterwelt des Karstes natürlich auch bei Niedrigwasser nicht und so genügt schon das wenig flüssige Wasser, das zwischen dem Tierkörper und der Innenwand

der Röhre zurückbleibt, daß nicht nur das erwachsene Tier, sondern auch seine Larve, die Trochophora, am Leben bleiben.

Wie uns die von Matjašić und Škret durchgeführten Untersuchungen gezeigt haben, hat sich in den Zwischenräumen des Röhrengeflechts der Marifugia eine ganze Faunula von mikroskopisch kleinen Tierarten entwickelt, die offenbar ein und dasselbe Schicksal in unsere Karsthöhlen brachte. Ich will hier nur auf den Fund einer Art von sessilen Ciliaten hinweisen (*Diafolliculina hadzii* Matjašić, 1963). Eine andere Art derselben Gattung lebt im Süßwasser Südamerikas, zwei weitere sind Meeresbewohner. Für unsere Diafolliculina können wir überzeugt sein, daß sie nicht direkt aus dem Meere in die Höhlengewässer des Karstes gekommen ist, obzwar zwei Arten derselben Gattung (*D. rotunda* Hadži und *D. similis* Hadži) im Adriatischen Meere leben.

Übrigens liefern uns die heute lebenden Polychaetenarten interessante und aufklärende Beispiele des Übergangsprozesses aus dem Meere ins Süßwasser. Ich will nur an zwei Arten erinnern. Einerseits an die im Interstitiumwasser lebende Art *Troglochaetus beranekii* Delachaux, 1921, für die wir berechtigt sind anzunehmen, daß sie geologisch als Bewohner der unterirdischen Süßwasser älter ist als Marifugia. *Troglochaetus* ist dementsprechend — wahrscheinlich auch aus anderen Gründen ökologischer Natur — weit verbreitet und kommt sogar, vielleicht als eine andere, aber dieser nahestehende Form (*Speocharetes* Ueno, 1957, zit. nach Vandel) in Japan vor. Merkwürdigweise wurde *Troglochaetus* in Jugoslawien — soweit mir bekannt — noch nicht gefunden. *Troglochaetus* hat eine so ziemlich regressive Entwicklung durchgemacht.

Für einen, geologisch gesprochen, jungen Einwanderer aus dem Meere ins Süßwasser des Randgebietes kann die Art *Merceriella enigmatica* Fauvel gehalten werden.

7

Als drittes Beispiel zugunsten unserer These sei der Fall der *Temnocephala* kurz behandelt. Die Temnocephala bilden eine stark spezialisierte Gruppe der Turbellarien, die den Rhabdocoelen nahesteht; sie leben epizisch, teilweise sogar als Parasiten, meistens an »höheren« Krebsen. Durch verwickelte Umstände, die wir als Zufall zu betrachten pflegen, ist diese Tiergruppe vorderhand in Europa nur aus Jugoslawien festgestellt worden. Die erste Art beschrieb A. Mrázek i.J. 1906 (*Scutariella didactyla*), und zwar als Epizoon an Süßwassergarneelen des Skutarisees (später wurde sie auch im Dojransee festgestellt). Soviel mir bekannt ist, wurde diese Art nicht an Höhlengarneelen gefunden. Durch die sehr erfolgreiche Forschertätigkeit Matjašić's wurden etwa elf bisher unbekannte Arten (darunter vier neue Gattungen) von Temnocephalen entdeckt und beschrieben. Die meisten neuen Arten leben weit im Norden des Karstgebietes, in Slowenien. Auch diese neu entdeckten Arten leben alle an Krebsen (mit einer Ausnahme an Garneelen). Hervorzuheben ist namentlich die Tatsache, daß die in der großen Vjetrenica-Höhle lebende Art, die schon Stammer beobachtete (1933) und mit der von Mrázek aus dem Skutarisee beschriebenen oberirdischen Art für identisch hielt, von Matjašić als eine zwar derselben Gattung zugehörige, jedoch besondere Art erkannt wurde (*S. stammeri* Matjašić, 1958).

Die Temnocephalen sind durchwegs Süßwassertiere, die sich an benthonisch lebenden Tieren halten. Ihre Geschichte ist aufs engste an die Geschichte ihrer Wirtstiere gebunden. Im Meere — und dies gilt auch für das Adriatische Meer — leben keine Temnocephalen. Daraus müssen wir schließen, daß die heutigen Wirtstiere in den Karsthöhlengewässern zu ihren epizoischen Bewohnern (Kommensalen und sogar Parasiten) jedenfalls erst dann kommen konnten, als sie aus ursprünglichen Meeresbewohnern zu epigäischen Süßwasserbewohnern und aus solchen zu Gliedern der subterranean Fauna geworden waren. Der Entwicklungsprozeß dürfte jenem gleichen, den wir bei Marifugia für wahrscheinlich halten.

Daß es heute im Territorium, in dem die meisten Temnocephalen bei uns unterirdisch leben, keine epigäischen Arten gibt, dürfte damit zusammenhängen, daß dieses Gebiet in naher Vergangenheit von andauernder Kälte heimgesucht wurde und so die Temnocephalen samt ihren Wirtstieren vernichtet wurden.

8

Wir wollen hier noch einige theoretische Auseinandersetzungen anknüpfen, obwohl diese nicht unmittelbar mit unserem Hauptthema verbunden sind. Auch V a n d e l hat das letzte Kapitel seines Werkes theoretischen Fragen gewidmet und gerade dies gibt uns Anlaß, uns darüber zu äußern. Übrigens haben die Höhlentiere mit ihren ganz augenschaulichen Anpassungsmerkmalen die Biologen auch sonst, schon seit L a m a r c k , zu theoretischen Spekulationen angespornzt.

Zunächst wollen wir die Frage berühren, wie eigentlich der Höhlenlebensraum und seine besondere Fauna zu beurteilen wären. Einige Speläobiologen sind der Meinung, die Unterwelt sei ein Refugium für senil gewordene, orthogenetisch sich entwickelnde und sozusagen dem Tode geweihte Arten oder Linien der Oberwelt, also eine Art »Greisenheim«. Diese Tiere sollen sich regressiv entwickeln, und dies aus zur Gänze inneren Ursachen, also ganz unabhängig von den Außenfaktoren. Demnach gäbe es keine Anpassungsscheinungen. Auch könne in den Höhlen nichts wesentlich Neues entstehen. Der unterirdische Lebensraum könne nur eine Verlängerung der Agonie an sich seniler Tierlinien ermöglichen.

Diese Ansicht halten wir für unannehmbar, da sie den Tatsachen nicht nur nicht entspricht, sondern auch in Widerspruch mit allgemeinen und für sicher geltenden Regelmäßigkeiten — man kann sogar sagen Gesetzmäßigkeiten — steht. In der Tat unterscheidet sich die Geschichte des Höhlenlebensraumes samt seiner Fauna gar nicht von jener mehrerer anderer Lebensbereiche, die sich von den normalen dadurch unterscheiden, daß ihre Lebensverhältnisse mehr oder weniger einseitig, also spezialisiert sind, wie dies etwa für die abyssalen Tiefen der Ozeane gilt. Wenn wir schon Vergleiche anstellen wollen, so könnten wir den Höhlenbiotop mit einer Falle vergleichen, aus welcher es keinen Ausgang gibt, in der sich aber die abgesperzte Tierwelt unter Spezialisierung leicht weiter entwickelt, dadurch aber freilich immer weniger Aussicht hat, der Falle zu entkommen. Schließlich sterben die am meisten spezialisierten Höhlentiere aus, doch nicht wegen der mysteriösen Orthogenese, sondern wegen Überspezialisierung, weil solche Arten unfähig geworden sind, auch kleineren Veränderungen der Umwelt mit Neuanpassungen zu folgen,

wozu eine Verkleinerung der Population auch viel beizutragen scheint. Natürlich kann auch die Austrocknung der Höhle zur Ausrottung der Fauna führen. Darnach wären die Höhlenräume keine eigentlichen Siechenräume, doch schwebt oberhalb des Eingangs in diese Unterwelt unabwendbar die Sennenz des großen italienischen Dichters Dante Alighieri: »Lasciate ogni speranza...«

Das zweite große Problem bezieht sich auf die Entwicklungsfaktoren der Höhlentiere. Ganz natürlich kann, dem soeben Gesagten entsprechend, für die Höhlentiere nur das gelten, was für die Tiere aller anderen stärker spezialisierten Biotope gilt. Am Beginn des Entwicklungsprozesses spielen ganz gewiß die Lamarckschen Faktoren die Hauptrolle, darunter vornehmlich die direkte Anpassung, inwieweit es sich um Variabilität im Rahmen der von den Ahnen geerbten Reaktionsnorm, also um Modifikabilität handelt. Des weiteren müssen jene Faktoren eintreten, die heute fast allgemein als für die Entwicklung neuer Arten usw. verantwortlich gehalten werden, mit denen demnach die Lehre des Neodarwinismus rechnet. Darunter verstehen wir den mit Naturauslese und einigen weiteren subsidiären Faktoren, namentlich mit Isolation verschiedener Art, Umfang der Population usw. verbundenen Mutationismus. Dieser Standpunkt stützt sich sowohl auf reiche Erfahrungen als auch auf Experimente, auf bis ins einzelne reichende zyto-morphologische Analysen und nicht zuletzt auf unsere theoretische Einstellung.

Und doch finden sich gerade Speläobiologen, die damit nicht zufrieden sind und »die Genetik den Genetikern« überlassen wollen. Gegen das Prinzip der dialektischen Einheit der Natur (der nichtlebenden und der lebenden) stoßend meinen diese Biologen, daß die Entwicklung der Höhlentierwelt nur aus inneren Gründen und als gerichtete regressive Evolution zum Zustand der »senilité phylétique« führt und machen z. B. solche Aussagen: »L'évolution régressive des cavernicoles n'est nullement une conséquence de la vie souterraine. Elle est liée au grand âge des lignées phylétiques, et à leur état de sénescence« (V and e l , 1964:565). Als letzte Ursache dieser gerichteten regressiven Entwicklung, die schon »vorpräparierte« Tierarten in die Unterwelt bringt, nimmt z. B. V and e l die verschwindende Macht der Autoregulation an.

Darin können wir V and e l nicht folgen. Wie er im Recht ist, wenn er die Höhlen in bezug auf den Menschen als vergängliche Zufluchtsorte bezeichnet, so hat er — unserer Meinung nach — nicht recht, wenn er dasselbe für die Tierwelt behauptet. Unter anderem spricht gerade die Erforschung der reichen Höhlenfauna des Dinarischen Karstes sehr entschieden gegen die Ansichten V and e l s.

Das Leben in den Höhlen und in der Unterwelt überhaupt stellt nur eine Art von Spezialisation dar, die ähnlich wie Parasitismus, Sessilität, das Leben in großen Tiefen der Ozeane usw. bestimmte Änderungen der Organisation jener Tiere mit sich bringt, die sich, aus den benachbarten Biotopen kommend, unter natürlicher Verbreitung für ständig ansiedeln. Eine Präadaption ist dazu nicht nötig, noch weniger eine Prädestination, den ersten Schritt ermöglicht schon die genügend breite Reaktionsnorm.

Wie bei jeder Spezialisation fallen während der Entwicklung zu Höhlenarten einige nun unnötig gewordenen Merkmale und Eigenschaften einer Regression anheim, wie z. B. in unserem Fall das Pigment, die Lichtorgane, dicke

Chitinlagen usw., während andere den Anforderungen entsprechend progressiv werden oder sich neu entwickeln. Was das Höhlenleben anbelangt, ist schon a priori nicht zu erwarten, daß durch progressive Entwicklung viel neues erworben wird, am wenigsten in der Richtung der Luxurierung. Deshalb kennen wir keinen Fall, wo unter den Höhlentieren irgend ein neuer Tier-
typus entstanden wäre. Meistens handelt es sich um neue Rassen und Arten, die infolge der Zersplitterung der Populationen nicht selten ziemlich zahlreich sind; seltener haben sich neue Gattungen gebildet, ob auch neue Familien, bleibt fraglich. Es scheint, daß dazu noch ein Faktor verantwortlich gemacht werden muß, und zwar die Zeit in geologischem Sinn, allerdings ungleich den Verhältnissen in großen Tiefen der Ozeane, weil ja die Höhlen verhältnismäßig vergängliche Bildungen sind.

Die Aussichten kleiner Populationen, wie solche — im Gegensatz zu den Verhältnissen in den Interstitien — so oft in Höhlen zu finden sind, sind keineswegs rosig. Es scheint aber, daß bei den Höhlentieren nicht das Prinzip eines unumgänglichen Alterns und Aussterbens der Linie aus irgendwelchen inneren Gründen (Orthogenese) herrscht, sondern eher ein Absterben, ein Verlöschen infolge der Wirkung ungünstiger Lebensumstände und der Hyperspezialisierung.

LITERATURVERZEICHNIS

- Absolon, K. u. S. Hrabě (1930): Über einen neuen Süßwasser-Polychaeten aus den Höhlengewässern der Herzegowina. Zool. Anz. 88.
- Bole, J. (1962): *Congeria kusceri* sp. n. (Bivalvia, Dreissenidae). Biol. vestnik 10.
- Briegleb, W. (1962): Zur Biologie und Oekologie des Grottenolms (*Proteus anguinus* Laur., 1768). Zeitschr. Morphol. Oekol. Tiere, 51.
- Hadži, J. (1955): Značaj pećinske faune za speleologiju i biologiju. I. jugosl. spel. kongres. Ljubljana.
- Hadži, J. (1957): Fortschritte in der Erforschung der Höhlenfauna des Dinarischen Karstes. Verh. d. Deutsch. Zool. Ges. in Graz.
- Karaman, S. (1935): Die Fauna d. unterird. Gewässer Jugoslawiens. Verh. Internat. Ver. theor. ang. Limnologie, 7.
- Karaman, S. (1954): Über unsere unterirdische Fauna. Acta musei maced. sc. nat., I.
- Komárek, J. (1953): Herkunft der Süßwasserendemiten d. dinarischen Gebirge; Revision d. Arten, Artenentstehung bei Höhlentieren. Archiv Hydrobiol., 48.
- Matjašić, J. (1957): Biologie und Zoogeographie d. europ. Temnocephalen. Verh. Deutsch. Zool. Ges. in Graz.
- Matjašić, J. (1958): Vorläufige Mitteilungen über europ. Temnocephalen. Biol. vestnik, 6.
- Matjašić, J. (1959): Morfologija, biologija in zoogeografija evropskih temnocefalov in njihov sistematski položaj. Razprave SAZU, IV. razr., vol. 5.
- Matjašić, J. (1963): Marifugjska favnula. Congrès yougosl. de spel. III, Sarajevo.
- Matjašić, J. (1964): Contribution à la connaissance des notres Temnocephales. Biol. vestnik, 12.
- Mrázek, A. (1907): Ein europ. Vertreter d. Gruppe Temnocephalidae. Sitzber. Kgl. böhm. Ges. Wiss. 11, No. 36.
- Pretner, E. (1958): Distribuzione geogr. della *Sphaeromides virei* Brian. II. congr. intern. spel., Bari.
- Pretner, E. (1962): Človeška ribica (*Proteus anguinus* Laur.) na Hrvatskem. Naše jame, 1/2.
- Sket, B. (1961): Najdbe pijavk (Hirudinea) v podzemeljskem okolju. II. jugosl. spel. kongres. Zagreb.
- Spaniol, H. (1926): Die Tierwelt der unterirdischen Gewässer. Wien.

- Stammer, H. J. (1933): Einige seltene oder neue Höhlentiere. Zool. Anz. 6, Supplbd. 9.
- Stammer, H. J. (1935): Untersuchungen über die Tierwelt d. Karsthöhlengewässer. Verh. Intern. Ver. theor. ang. Limnologie, 7.
- Vandell, A. (1964): Biospéologie. Paris. Gauthier-Villars.

Izvleček

PRIPOMBE K NEKATERIM BIOSPELEOLOŠKIM PROBLEMOM DINARSKEGA KRASA

Za poglavito značilnost povodne jamske favne Dinarskega kraša, po kateri se le-ta razlikuje od vseh jamskih favn drugih področij, imam celo vrsto živali, ki so tu endemne ne le kot posebne vrste, temveč kot višji taksoni. V besedilu naštevam nekaj teh vrst. Izbrane tri vrste, človeško ribico, temnocefale in marifugijo, obravnavam podrobnejše ob dokazovanju, da so te in še druge, le omenjene vrste, dospele v podzemeljske vode ne morda neposredno iz morja, temveč iz kraških jezer. Tu so prvotno živele na dnu, odkoder so se ob postopnem presuševanju zaradi odtekanja vode po razpokah in kanalih v globino apnenca za stalno naselile prav v teh kanalih, seveda ob ustreznih prilagoditvah. V nasprotju z Vandelom prištevam tudi vrste rib rodu *Paraphoxinus* (pijori), ki žive izključno v kraških vodah, k jamskim živalim. Sodijo k tisti njihovi skupini, ki preživlja redno nekaj časa v podzemeljskih vodah, oziroma, kar velja za kopenske vrste, v jamaх (npr. čez noč, čez dan, čez zimo). Povodne živali te skupine poiščejo podzemlje za časa suše, kar velja prav za pijorje, ki že kažejo znake prilagoditve na življenje v podzemlju, saj ostanejo tu do sedem mesecev letno (sezidske jamske živali).

V zadnjem poglavju, posvečenem teoretskim in svetovnonazorskim razmotrivanjem, pobijam stališča nekaterih speleobiologov, ki jih imam za zmotna, ker nasprotojujejo ne le dejstvom, temveč tudi principu dialektične enotnosti narave. Nekateri biologi namreč misljijo, da se razvijajo jamski tipi populnomu neodvisno od vplivov jamskega okolja, in to iz nekakšnih notranjih razlogov po ortogenezi, češ da se starajo kot razvojne linije in da kot take iščejo in najdejo v jamaх zadnje pribelališče in končno propad. Dejansko vladajo tudi glede na razvoj jamskih živali enake pravilnosti oziroma zakonitosti kakor veljajo za druga bolj specialistična življenjska okolja, oziroma za normalno okolje z omejitvami, ki jih pač prinaša specializacija s seboj. Za kraško podzemlje velja tudi značilnost, da živalim ne nudi optimalnih pogojev pa tudi ne neomejenega časa (v geološkem merilu), ker postane prej ali slej za življenje neprimereno.

FRANC OSOLE, Ljubljana

LES STATIONS PALEOLITHIQUES DANS DES GROTTES EN YOUGOSLAVIE

Puisque les fouilles paléolithiques en Yougoslavie sont organisées séparément pour chacune des républiques fédérales, nous observerons cet ordre aussi dans l'étude présente. Nous précisons dès le début que nous étudierons seulement les stations situées dans des grottes, ce qui élimine toutes les fouilles faites en Bosnie et Herzégovine où les stations paléolithiques, pourtant nombreuses, sont toutes à ciel ouvert.

Slovénie

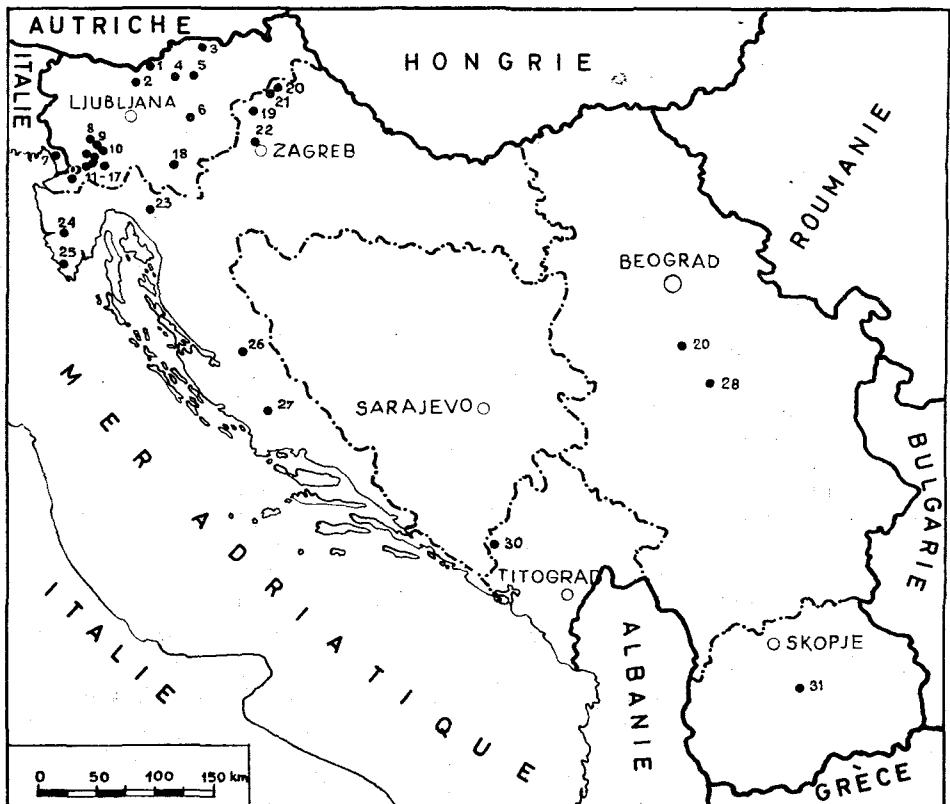
Les stations paléolithiques dans des grottes en Slovénie peuvent être divisées en stations de haute montagne, stations des contreforts préalpins et stations du Karst.

Jusqu'ici on a découvert en Slovénie deux stations paléolithiques de haute montagne. La Potočka zijalka sur l'Olševa (1)* dans les Karavanke, située à l'altitude de 1700 m, fut découverte par Srečko Brodar en 1928, et elle est considérée toujours comme la première des stations paléolithiques slovènes. Outre une abondante faune pléistocène (à prédominance de l'ours des cavernes), on y a trouvé un grand nombre d'outils aurignaciens en pierre et en os (pointes d'os du type de Lautsch). Dans la littérature archéologique, elle est considérée comme la station éponyme de l'olševien. La deuxième station de haute montagne, la Mokriška jama (2), se trouve à 1500 m d'altitude dans les Alpes de Savinja. L'inventaire paléontologique et culturel mis à jour par M. Brodar entre 1954 et 1960, ressemble beaucoup à celui de la Potočka zijalka, à cette différence près que les objets les plus intéressants y sont des pointes d'os à base fendue.

Dans la région montagneuse des Préalpes, S. Brodar découvrit en 1934—1939, outre les vestiges d'une faune pléistocène où l'ours des cavernes prédomine nettement, quatre stations paléolithiques: la Jama pod Herkovimi pečmi près de Radlje (3), la Mornova zijalka près de Šoštanj (4), la Špehovka près de Zg. Dolič (5), et la grotte Njivice près de Radeče (6). Dans la Špehovka, il a pu établir plusieurs horizons culturels: aurignacien moyen, gravettien et mésolithique. Dans les trois autres, on a découvert de l'outillage en pierre datant du moustérien final.

Les stations paléolithiques sont particulièrement nombreuses dans les régions karstiques, et notamment dans les environs de Postojna. Dès avant la

* Les chiffres entre parenthèses se rapportent à la carte ci-jointe.



Carte de Yougoslavie avec les gisements paléolithiques situés dans les grottes et découverts jusqu'en 1964. — Zemljevid Jugoslavije s paleolitskimi najdišči v jamah, odkritimi do leta 1964

première guerre mondiale fut connue la station Pod Kalom près de Nabrežina (7) dont l'inventaire culturel appartient au moustérien. Fouillée et étudiée par R. Battaglia,⁴ elle se trouve déjà de l'autre côté de la frontière italo-yougoslave. La station la plus intéressante pour l'archéologie et pour la stratigraphie est sans doute le Betalov spodmol près de Postojna (8), exploré de 1947 à 1953 par S. Brodar.⁵ Dans une coupe transversale haute de 10 mètres on distingue sept horizons stratigraphiques de base, qui s'étendent depuis l'interglaciaire Mindel-Riss jusqu'au holocène. L'horizon culturel le plus profond du Betalov spodmol se trouve dans les sédiments du glaciaire Riss, et il est considéré comme le site paléolithique habité le plus ancien de la Slovénie. L'outillage de pierre, d'ailleurs peu nombreux, fut déterminé par S. Brodar comme appartenant au moustérien-tayacien. L'outillage en pierre assez bien façonné de la couche du dernier interglaciaire appartient au levallois-moustérien. Les sédiments du premier glaciaire Wurm contiennent une riche industrie moustérienne en quartzite qui présente des traits typologiques très semblables

à ceux de la station La Quina. Le nombreux outillage en pierre appartient à l'aurignacien et au gravettien. Dans les couches les plus hautes furent trouvées des traces du mésolithique. S. Brodar découverte des traces certaines des chasseurs de l'époque glaciaire aussi dans la Otoška jama (9) et dans la grotte de Postojna (10). Les résultats stratigraphiques, paléontologiques et paléolithiques de l'exploration du Betalov spodmol furent confirmés et complétés par les fouilles dans la Parska golobina près Pivka (11), accomplies de 1950 à 1954. L'inventaire culturel des sédiments du glaciaire Wurm appartient au paléolithique moyen et supérieur.⁷ Au cours des dix ans passés, on a découvert plusieurs stations paléolithiques le long de la bordure sud du bassin de Pivka: Županov spodmol près Sajevče (12), Jama v Lozi près Orehek (13), ainsi que Ovčja jama (14) et Zakajeni spodmol (16) près Prestranek. Dans toutes ces quatre grottes, explorées en partie par S. Brodar⁸ et en partie par F. Osore,⁹ il s'agit du gravettien supérieur accompagné de vestiges de la faune arctique-alpine. Chronologiquement, nous déterminons ces découvertes en plein W III. La station Črni kal (16), qui est, parmi les stations paléolithiques slovènes, la plus proche de la mer, fut explorée en 1955 par S. Brodar.¹⁰ Il y trouva des sédiments pléistocènes de l'interglaciaire M/R au holocène, comme dans le Betalov spodmol. Cette station, qui est très importante pour la stratigraphie et la paléontologie pléistocènes slovènes, a donné, outre des traces paléolithiques assez faibles, un horizon moustérien très prononcé.

Le paléolithique supérieur fut déterminé¹¹ dans la Roška špilja (17) qui fait partie du système des grottes de Škocjan près de Divača. Les sondages entrepris par M. Brodar¹² en 1963 dans la Ciganska jama près Željne (18), commune de Kočevje, ont révélé la première station paléolithique de grotte (gravettien supérieur) en Basse-Carniole.

Croatie

Les stations paléolithiques découvertes dans les grottes de la Croatie sont limitées à deux régions: le territoire montueux qui s'étend au nord de Zagreb jusqu'à la Drave, et le Karst Dinarique.

Dans la première de ces régions se trouve la première station paléolithique découverte en territoire yougoslave, le célèbre abri sous roche de Krapina (19), exploré par son découvreur D. Gorjanović-Kramberger¹³ entre 1899 et 1905. Dans le dépôt de sédiments épais de 8 mètres qui remplissait ce vaste abri jusqu'à la voûte, il détermina plusieurs horizons culturels à faune pléistocène variée. Le troisième et le quartième horizon contenaient, outre des foyers, des vestiges de faune et d'industrie de pierre, aussi les fragments d'au moins dix squelettes du type Neanderthal. La plupart de l'inventaire en pierre appartient au moustérien, mais certains outils, provenant probablement des horizons supérieurs, pourraient être classés avec beaucoup de vraisemblance dans le paléolithique supérieur. Gorjanović-Kramberger détermina ce gisement comme appartenant au dernier interglaciaire, mais il n'est pas impossible que les couches les plus élevées de la coupe transversale datent déjà du glaciaire Wurm.

Au nord-est de Krapina, près de Donja Voća, se trouve la grotte Vindija (20) dont l'explorateur S. Vučović y travaille depuis 1928 avec de très beaux résultats. D'après ses constatations, les couches sédimentaires de

la grotte, contenant une abondante faune pléistocène ainsi que des vestiges culturels du moustérien, de l'aurignacien et du magdalénien, appartiennent à l'interglaciaire Riss-Wurm et au glaciaire Wurm. Dans les couches holocènes il trouva les traces du néolithique et des âges des métaux jusqu'aux premiers siècles du moyen âge.

La grotte Velika pećina sur la Ravna gora (21) est mentionnée pour la première fois en 1960, par M. Malez, comme un nouveau gisement paléolithique de grotte. Des fouilles plus poussées révélèrent une coupe transversale haute de 10 m, où s'étagent sans interruption des couches allant du dernier interglaciaire jusqu'au holocène. On y voit une série de couches culturelles qui comprennent le moustérien, l'aurignacien, le gravettien et le mésolithique. Outre une faune pléistocène très nombreuse et très variée, M. Malez découvrit dans la partie basale de l'horizon culturel aurignacien un fragment de crâne humain (*Homo cf. neanderthalensis*), classé par lui chronologiquement comme appartenant au W I/II. Particulièrement intéressante est l'industrie en os aurignacienne, qui présente des analogies frappantes avec l'industrie de la station de haute montagne découverte sur la Mokrica dans les Alpes de Savinja.

La grotte Vaternica (22) au flanc sud-ouest de la Zagrebačka gora, dans les environs immédiats de Zagreb, appartient elle aussi au groupe nord des gisements paléolithiques de grotte en Croatie. Cette grotte, connue depuis fort longtemps, n'a été explorée de manière systématique que depuis 1950, par M. Malez¹⁶ qui distingue dans ses sédiments trois horizons principaux. L'horizon le plus profond, contenant une abondante faune pléistocène, un fragment d'un crâne humain, plusieurs foyers et de nombreux artefacts moustériens, est attribué par lui en partie au dernier interglaciaire, et en partie même au dernier glaciaire. Plusieurs crânes de l'ours des cavernes déposés intentionnellement semblent indiquer le culte de cet animal. L'horizon suivant est formé par des sédiments du glaciaire Wurm. On y a déterminé les restes de la faune glaciaire et les traces des visites périodiques que l'homme de l'époque glaciaire y avait fait au cours de ses expéditions de chasse, et même quelques restes de ses os. L'horizon supérieur, appartenant déjà au holocène, a donné des restes du néolithique et des âges des métaux.

Dans le territoire croate du Karst Dinarique, on connaît jusqu'ici cinq gisements paléolithiques situés dans des grottes. La première de ces stations fut découverte en 1911 par Th. Kormos dans la grotte Bukovac près Lokve (23) dans le Gorski Kotar. Il y trouva, parmi des os de la faune pléistocène et notamment de l'ours des cavernes, une pointe artificiellement polie en bois de cerf, attribuée par J. Bayyer¹⁷ au type de Lautsch (aurignacien-olševien).

En Istrie, M. Malez¹⁸ découvrit en 1962 dans la Romualdova pećina (24) au bord du Limski kanal des restes de la faune glaciaire, une molaire humaine et des outils gravettiens. Il attribua la couche au W III. Une autre grotte istrienne, située dans les proches environs de Pula, fut découverte en 1961 dans la carrière de Šandalja (25), lors des travaux à la mine. M. Malez¹⁹ y découvrit une brèche d'os datant du pléistocène moyen ou inférieur, suivie de manière discordante vers le haut par des sédiments du pléistocène supérieur. Une couche faite d'os des rongeurs est recouverte par une autre renfermant des restes des ruminants et des chevaux, ainsi que de nombreux artefacts appartenant au paléolithique supérieur. En 1962, on découvrit lors des

travaux dans cette même carrière une autre grotte remplie jusqu'au plafond par des sédiments. Elle fut explorée par M. Malez¹⁹ qui y trouva, outre une abondante faune glaciaire, plusieurs couches avec des foyers et des objets appartenant aux cultures aurignacienne et gravettienne. Les couches aurignaciennes furent attribuées par lui au stadal W II et à l'interstadial W II/III, et les couches gravettiennes à la dernière poussée du Wurm.

Au sud de Gračac dans la Lika, il y a deux grandes grottes, les Gornja et Donja Cerovačka pećina (26). Toutes les deux sont extrêmement riches en restes de l'ours des cavernes. M. Malez²⁰ raconte dans un rapport publié en 1956 qu'il a trouvé dans la grotte supérieure, à l'occasion d'un sondage expérimental, dans une couche contenant des os d'animaux du pléistocène supérieur, un tibia droit humain, deux pointes en os et un bouton en os. Il considère cette grotte comme une station de chasse du paléolithique supérieur.

En Dalmatie, à l'ouest de Drniš, il y a dans le cañon de la rivière Čikola trois petites grottes qu'on appelle »Pećine u Brini« (27), et qui sont connues depuis longtemps déjà comme gisements de la faune pléistocène. Dans celle du milieu, qui est aussi la plus grande, M. Malez²¹ fit en 1960 des sondages et il y découvrit plusieurs couches contenant des restes de la faune pléistocène. Dans les deux autres, il découvrit aussi plusieurs outils en pierre du paléolithique supérieur. Il classe toutes les couches pléistocènes dans le glaciaire Wurm.

Serbie

Jusqu'en 1951, on ne connaissait en Serbie aucun gisement paléolithique certain, bien qu'on en citât plusieurs dans la littérature du pays et étrangère.²² Ce n'est en effet qu'en 1951 qu'on découvrit la première station paléolithique serbe dans la Pećina pod Jerinim brdom (28) au village de Gradac près Kragevac. Outre une faune pléistocène très riche et une industrie de pierre appartenant au paléolithique moyen, cette grotte livra les premières données sur les sédiments pléistocènes souterrains en Serbie. B. Gavela²³ attribue son industrie de pierre au moustérien évolué, qui rappelle beaucoup le moustérien de La Quina. Chronologiquement il classe celui-ci dans la seconde moitié de l'interstadial W I/II. Seulement un peu plus tard fut découverte la grotte Risovača près Arandjelovac (29), la deuxième station paléolithique dans cette partie de notre pays. L'outillage de pierre, accompagné de restes très abondants de la faune pléistocène dont la composition rappelle beaucoup celle de la première station serbe, fut attribué par B. Gavela²⁴ au moustérien évolué. Parmi l'inventaire culturel, il convient de citer tout particulièrement deux outils, désignés par l'auteur, d'après Goury, comme des »pointes hémisolutréennes« ou, d'après Zottz, comme des »pointes praesolutréennes«. Chronologiquement, il classe aussi les objets trouvés dans la grotte Risovača dans l'interstadial W I/II.

Montenegro

Le premier gisement paléolithique du Montenegro fut découvert en 1954 dans l'immense abri sous roche de la Crvena stijena (30) près du village de Petrovići au-dessus de la Trebišnjica, dans le district de Nikšić. Les quatre horizons culturels supérieurs (I—IV), contenant des objets de l'âge de bronze, du néolithique et du mésolithique, furent explorés jusqu'à la profondeur de

2,90 m par A. Benac,²⁵ tandis que les strates paléolithiques (V—XVIII) furent fouillées en 1954—1958 jusqu'à 12,50 m de profondeur par M. Brodar.²⁶ Dans le complexe supérieur des couches pléistocènes (V—VIII) qu'il attribue au dernier et à l'avant-dernier stadial Würm (W II et W III), il découvrit, outre des restes de la faune, un inventaire en pierre et en os très nombreux, appartenant au paléolithique supérieur et présentant bien des éléments gravettiens. La culture aurignacienne découverte dans la couche X fut classée chronologiquement dans l'interstadial W I/II. Le complexe suivant (couches XI—XVIII) appartient, d'après M. Brodar, à la première poussée du glaciaire Wurm (W I). En raison des dimensions réduites de nombreux outils très bien façonnés et typiquement moustériens, il donna à cette industrie le nom de micromoustérien. A partir de 1961, les fouilles dans la grotte de Crvena Stijena furent dirigées par D. Basler²⁷ qui atteignit en 1963 la profondeur de 20,30 m. Sous l'horizon culturel le plus profond de M. Brodar il découvrit un autre complexe de couches (XX—XXII) à levallois-moustérien, qui appartient d'après son interprétation chronologique encore au Wurm I. Dans la couche XXIV appartenant à l'interglaciaire Riss-Wurm, il découvrit, outre une faune caractéristique de cette époque, une industrie de pierre qu'il attribue, du fait de certains outils bifaces, à l'acheuléo-moustérien. Les couches les plus profondes de la coupe (XX—XXIX), placées sur un glissement assez important, datent d'après lui du glaciaire Riss. L'inventaire de pierre découvert dans ces couches appartient à l'industrie prémostérienne (levalloisien à éclats clactoniens).

Macédoine

Au cours des fouilles paléontologiques poursuivies pendant plusieurs années par R. Garevski²⁸ dans la grotte Makarovec (21) sur la rive gauche de la Babuna, affluent du Vardar, on trouva dans les couches à faune pléistocène trois outils en pierre (en 1960). Ils étaient typologiquement assez prononcés pour permettre leur attribution au paléolithique supérieur. Cette attribution est justifiée dans une certaine mesure aussi par la faune, composée d'espèces caractéristiques du dernier glaciaire. La grotte Makarovec est donc la première et, jusqu'ici, unique station paléolithique souterraine de la Macédoine.

A la fin de ce bref aperçu, nous sommes obligés de reconnaître que les recherches sur le paléolithique n'ont pas encore atteint en Yougoslavie cette envergure qui serait souhaitable, et notamment si nous comparons les résultats de nos travaux avec ceux des pays voisins. Pourtant le grand nombre des grottes qui ne sont pas encore explorées, surtout celles du Karst Dinarique qui comprend une grande partie de notre pays, ainsi que les efforts accomplis dans ces dernières années-ci dans ce domaine, peuvent justifier notre optimisme. Nous espérons et nous sommes même sûrs que, dans un avenir très proche, nous réparerons nos retards par la découverte et l'exploration de nouvelles stations paléolithiques, ce qui présentera la Yougoslavie comme un important espace vital de nos ancêtres qui vivaient en Europe à l'époque glaciaire.

B i b l i o g r a p h i e

1. Brodar, S. (1938): Das Paläolithikum in Jugoslawien. Quartär I, pp. 149—159, Berlin.
2. Brodar, M. (1959): Mokriška jama, nova visokoalpska aurignaška postaja v Jugoslaviji. Razprave V, SAZU, IV. razr., pp. 147—496, Ljubljana.
3. Brodar, S. (1950): Prerez paleolitika na slovenskih tleh. Arheološki vestnik I/1—2, p. 8, Ljubljana.
- Brodar, S. (1939): Das Paläolithikum in Jugoslawien. Quartär I, pp. 160—165, Berlin.
- Brodar, S. (1935): Nova paleolitska postaja v Njivicah pri Radečah. Glasnik muzejskega društva za Slovenijo XVI, pp. 1—33, Ljubljana.
4. Battaglia, R. (1922): La caverna Pocala. Memoria Accad. Lincei (Classe di scienze Fis. Matem. e Natur.), CCCXIII, ser. 5 a, vol. XIII, Fasc. 16^o, pp. 617—686, Roma.
5. Brodar, S. (1955): Ein Beitrag zum Karstpaläolithikum im Nordwesten Jugoslawiens. Actes du IV^e Congrès International du Quaternaire, pp. 737—742, Rome.
6. Brodar, S. (1951): Otoška jama, paleolitska postaja. Razprave I, SAZU, IV. razr. pp. 203—242, Ljubljana.
- Brodar, S.: Paleolitski sledovi v Postojnski jami. Ibid., pp. 243—284.
7. Osore, F. (1961): Parska golobina, paleolitska postaja v Pivški kotlini. Razprave VI, SAZU, IV. razr., pp. 437—498, Ljubljana.
8. Brodar, S. (1954): Paleolitsko izkopavanje v Županovem spodmolu. Poročilo prazgodovinske sekcije SAZU za leto 1952, Letopis SAZU, 5. knjiga, p. 237, Ljubljana.
- Brodar, S. (1958): Izkopavanje paleolitske postaje Jame v Lozi. Poročilo prazgodovinske sekcije SAZU za leto 1957, Letopis SAZU, 8. knjiga, pp. 177—178, Ljubljana.
9. Osore, F. (1963): Mlajši paleolitik iz Ovčje jame. Arheološki vestnik XIII/XIV, pp. 129—156, Ljubljana.
- Osore, F. (1962): Zakajeni spodmol pri Prestranku. Varstvo spomenikov VIII, pp. 222—223, Ljubljana.
10. Brodar, S. (1958): Črni Kal, nova paleolitska postaja v Slovenskem Primorju. Razprave IV, SAZU, IV. razr. pp. 269—364, Ljubljana.
11. Brodar, S. (1958): Izkopavanje v Roški špilji. Poročilo prazgodovinske sekcije SAZU za leto 1956, Letopis SAZU, 8. knjiga, pp. 114—115, Ljubljana.
12. Brodar, M. (1965): Poročilo o paleolitskih poskusnih izkopavanjih. Arheološki vestnik XV, Ljubljana.
13. Gorjanović-Kramberger, D. (1913): Život i kultura diluvijalnog čovjeka iz Krapine u Hrvatskoj. Djela JAZU, knjiga XXIII, Zagreb.
14. Vučović, S. (1949): Preistorijsko nalazište spilje Vindije. Historijski zbornik, II. knjiga, pp. 243—249, Zagreb.
15. Malez, M. (1960): Entdeckung des ersten paläolithischen Fundortes in Dalmatien. Bull. Sci., Conseil Acad. R. P. F. Yougoslavie, Tome 5, No. 4, pp. 102—104, Zagreb.
16. Malez, M. (1956): Geološka i paleontološka istraživanja u pećini Veternici. Acta geologica I. JAZU, pp. 83—88, Zagreb.
- Malez, M. (1957): Paleontološko istraživanje pećine Veternice u 1955. god. Letopis JAZU, knjiga 63, pp. 280—295, Zagreb.
- Malez, M. (1959): Das Paläolithikum der Veternicahöhle und der Bärenkult. Quartär Bd. 10/11, pp. 171—188, Bonn.
17. Bayer, J. (1929): Die Olschewakultur. Eiszeit und Urgeschichte, VI. Bd., pp. 90 bis 94, Leipzig.
18. Malez, M. (1962): Romualdo cave — a new significant pleistocene site in Istria. Bull. Sci., Conseil Acad. R. P. F. Yougoslavie, Tome 7, No. 6, pp. 159—160, Zagreb.
19. Malez, M. (1964): Sandalja bei Pula — ein neuer und wichtiger paläolithischer Fundort in Istrien. Bull. Sci., Conseil Acad. R. S. F. Yougoslavie, Tome 9, No. 6, pp. 154—155, Zagreb.
20. Malez, M. (1956): Erster Fund des oberdiluvialen Menschen im Dinarischen Karst. Bull. Sci., Conseil Acad. R. P. F. Yougoslavie, pp. 47—49, Zagreb.
21. Malez, M. 1960): Entdeckung des ersten paläolithischen Fundortes in Dalmatien. Bull. Sci., Conseil Acad. R. P. F. Yougoslavie, Tome 5, No. 4, pp. 102—104, Zagreb.
22. Brodar, S. (1954): Historičen in kritičen pregled domnevnih paleolitskih najdišč na jugu Jugoslavije. Razprave II, SAZU, IV. razr. pp. 395—424, Ljubljana.

23. Gavela, B. (1963): O paleolitiku Srbije. Arheološki vestnik XIII—XIV, pp. 85 do 99, Ljubljana.
24. Gavela, B.: ibidem.
25. Benac, A. (1957): Crvena stijena (stratum I—IV). Glasnik Zemaljskog muzeja u Sarajevu, pp. 19—50, Sarajevo.
26. Brodar, M. (1959): Crvena stijena, eine neue Paläolithstation aus dem Balkan in Jugoslawien. Quartär, Bd. 10/11, pp. 227—236, Bonn.
27. Basler, D. (1961): Crvena stijena, Petrovići, paleolitska stanica. Arheološki pregled 3, pp. 5—8, Beograd.
- Basler, D. (1963): Crvena stijena, Petrovići, Nikšić, paleolitska stanica. Arheološki pregled 5, pp. 7, Beograd.
28. Garevski, R. (1956): Geologische und paläontologische Forschungen in den Höhlen von Mazedonien. Fragmenta Balcanica, T. 1, No. 34, pp. 257—258, Skopje.

Povzetek

PRAZGODOVINSKA NAJDIŠČA V PODZEMELJSKIH JAMAH JUGOSLAVIJE

Zgoščen prikaz jamskih paleolitskih najdišč v Jugoslaviji, podan po posameznih republikah brez Bosne in Hercegovine, kjer do danes še niso odkrili jamskih najdišč.

Slovenske lovske postaje ledenodobnega človeka so znane iz visokoalpskega sveta (Potocka zijalka in Mokriška jama), iz predalpskega hribovja (Jama pod Herkovimi pečmi, Mornova zijalka, Špehovka in Njivice), največ pa jih je bilo odkritih do sedaj na kraškem področju (Pod Kalom, Betalov spodmol, Otoška in Postojnska jama, Parska golobina, Županov spodmol, Jama v Lozi, Ovčja jama, Zakajeni spodmol, Črni kal, Roška špilja in Ciganska jama).

Irvatska je najgosteje posejana z jamskimi paleolitskimi postajami severno od Save (Krapina, Vindija, Velika pećina in Veternica), pomembna pa so tudi najdišča na teritoriju Dinarskega krasta (Bukovac, Romualdova pećina, Šandalja, Cerovačka pećina in Pećine u Brini).

V Srbiji zaznamujemo dve jamski paleolitski najdišči (Pećina pod Jerinimim brdom in Risovača), odkriti po drugi vojni. Edino znano črnogorsko zatočišče ledeno-dobnih lovcev je jama Crvena stijena nad Trebišnjico. Zanesljivi sledovi paleolitika so bili ugotovljeni tudi v Makedoniji, v jami Makarovec ob reki Babuni.

IVAN GAMS, Ljubljana

SPELEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SLOVENE KARST

In the territory of the Yugoslav Slovenia the karst is developed in all main orographic units belonging to the Alpine, Dinaric and peri-Pannonian areas. It is best developed in limestone, less in dolomite where there are few caverns, as well as in the predominantly calcareous gravels deposited by the Alpine rivers Sava and Soča in their valleys during the Pleistocene.

According to the part of surface it occupies, as well as to its principal characteristics, the Slovene karst may be divided into three main units:

I. *The karst of the Julian Alps* and that of the *Kamnik Alps* has predominantly a high-mountain character. There are favourable conditions to the development of the karst in the considerable thickness of pure Triassic limestones — in the mass of the Triglav there is a more than 2000-meters thick layer of Dachstein limestone only —, in the levelled top plateaus (Jelovica, Mežakla, Pokljuka, Komna, Velika Planina), which have above the forest line the local name of »*podí*« (= floors) (Kaninski Podi, Kriški Podi, Podi pod Skuto), and in the abundant annual precipitations (between 1600 and 3000 mm). The surface karst above the forest line (between 1500 and 1900 m) is characterized by lapies, grooves, smaller sinks with vertical rock walls (»*kotliči*« = small kettles) in which snow is to be found, and larger, gently sloping dolines (»*kontakte*«). Owing to the predominance of the vertical water flowing and to the considerable altitude difference between the bottom of the Alpine valleys and the top parts, amounting to 2000 meters, potholes prevail among the speleological objects. They have been poorly explored owing to the snow and ice which are to be found in many of them. The greatest depth (—270 m, No 1 in our map) was attained in the Triglav Pothole, which became open some decennaries ago because of the withdrawal of the Triglav glacier, with its entrance at 2400 m above sea-level. Like in surface, in speleological objects as well, pluvial, nival, and glacial factors had collaborated in their formation. The glacial factors were important in the Pleistocene glaciations of the Julian Alps and the Kamnik Alps, and they supposedly collaborated in the origin of some large caves (e. g., in the Gigantic Chasm in the Triglav Pothole with 120 m by 50 m by 20 m dimensions, in the chasm of Medvedova Konta on the Pokljuka Plateau, 152 m by 145 m by 57 m). There are few horizontal caves through which water streams would flow down to the valley rivers. This is the case, e. g., of the cave under Babji Zob (= Old Wife's Tooth) (No 2) not far from Bled. It is 300 m long, and hollowed out mainly in flowstone. Some decennaries ago it still represented an interesting show cave for the tourists in the surroundings of Bled.

No caves are known in the mountains of the Julian Alps and the Kamnik Alps through which once water streams might have flowed from the neighbouring non-karstic areas, as this had been the case in the Northern Limestone Alps.

II. In the preponderantly limestone *Karawanken Mts.*, the karst is less developed in the western high-mountain and more in the eastern middle-mountain parts where belts of watertight stones are inserted between limestone. Out of them comes, through the only show cave (once accessible to tourists) of this area, i. e. the 400-meter long Huda Luknja (= The Evil Hole, No 3) a brook sinking in the blind valley of Ponikva (from »ponikati« = to sink).

III. The oasis karst in the *fore-Alpine and peri-Pannonian territory* is developed on the patches of limestone and dolomite of mostly Mesozoic age. Ravenska Jama (360 m, No 4) in the surroundings of Idrija is the only cave in Yugoslavia in which beside the usual stalactits also aragonite formations are to be found. Among the smaller caves, which are in the Mesozoic limestones on the wings of Posavske Gube, Železna Jama (= Iron Cave, No 5) is open to tourists; it was electrified by the Caving Club of Domžale in 1963.

IV. In the *Slovene part of the Dinaric Mts.* the karst is so a predominant and characteristic feature of this area that this name has become identical with the area itself. In this territory there are about 5500 sq. km of karst, which represents 27 per cent of the territory of the Yugoslav Slovenia. Not included in this are the watertight oasis of Flysch and schistous sediments which without the Vipava Valley and Istria occupy about 60 sq. km. The Dinaric Mts. pass without any more visible geological, tectonic and morphological border into the northern fore-Alpine mountains. The subterranean (karstic) hydrographic net passes into the predominant northern surface net in the transition zone extending from the river Soča along the Idrijca Valley towards Vrhnika, across the Marsh of Ljubljana and approximately along the motor-road and the railway Ljubljana—Zagreb to the river Krka and through the Basin of Krško up to the Gorjanci Mts. Owing to its physico-geographic properties the Slovene karst is to be divided at least into the following three units:

1. The low karst of *Lower Carniola and of White Carniola* is an ondulant, hilly or middle-mountainous, up to 600 m a. s. l. rising territory between the Marsh of Ljubljana, the Basin of Krško, and the river Kolpa. It is more levelled along the lower Krka, as well as along the river Kolpa. The predominantly Mesozoic limestones and dolomites are covered with thicker brown-to-red argillaceous earth. The soil is considerably more cultivated than the rest of the Dinaric karst, and there are between 1100 and 1500 mm annual precipitations. Major rivers have attained the base level of erosion and flow on the surface while the small hydrographic net is karstic. The principal river Krka receives in its upper course, in a picturesque canyon, several tributaries with considerable magnesium hardness, and then deposits calcareous tufa which forms up to two-meter high cascades. Some of them serve as dams for mills and saw-mills. With dry valleys linking the karstic poljes and uvalas, dolines are the most characteristic surface forms of the low karst. The relief between the Marsh of Ljubljana and the Basin of Krško is characterized by the transformation of the tributaries coming from the northern, predominantly dolomite fore-Alpine hills. These tributaries to the marginal karst sink at the ends of blind valleys (e. g. the river Temenica) or of uvalas and smaller karstic poljes

(near Mirna Peč, Dob, Žalna, Grosuplje). Among 400—500 speleological objects, smaller pits and smaller caves predominate near stronger water sources (e. g. Krška Jama, No 6). The Cave of Kostanjevica at the source of the brook Studena is now being arranged as a show cave. As its arrangement is not yet finished, the only show cave of this region, accessible to tourists, is the Taborska Jama, discovered in 1926 on the border of the karstic Polje of Grosuplje (0,5 km long, No 9).

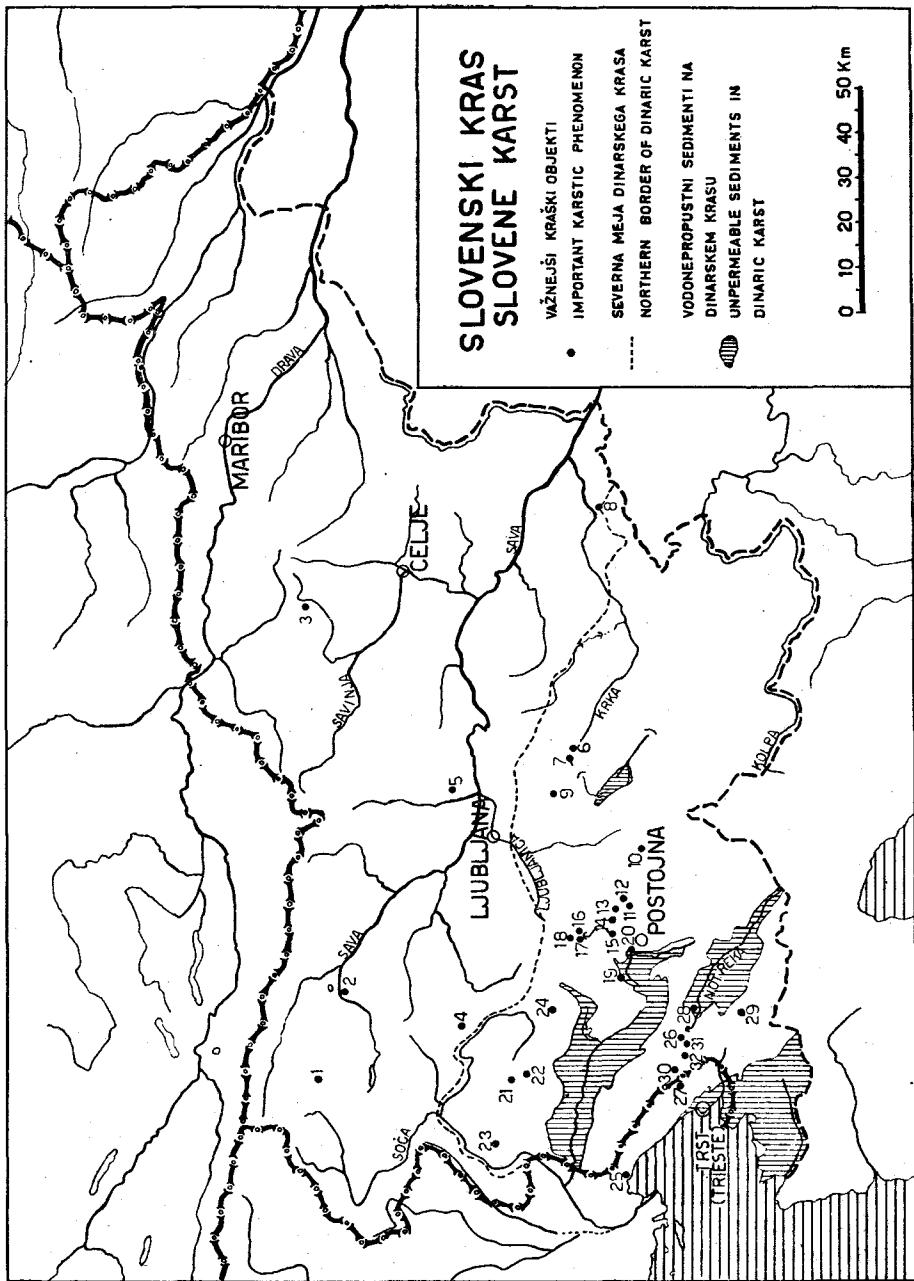
2. The *western karst of Lower Carniola and that of Inner Carniola* are situated between the low karst of Lower Carniola and the fore-Alpine hills in the north and the Flysch zone, passing in the Dinaric direction across the Valley of Vipava, Pivka and the Valley of the river Reka (in Inner Carniola) towards the Gulf of Rijeka. Plateau-like mountains often rise up to about 1000 m a. s. l., while the intermediate lower ground usually attains the altitudes between 400 and 600 m. Pure stratified limestones of Mesozoic age predominate, and they are younger and younger in the southwestern direction. Karstic phenomena are strongly developed in the predominating Cretaceous limestone, but considerably less in the brittle dolomite in which a valley-like relief has been shaped out. The surface- and the subterranean-karst are best developed in this tract: this, however, is less visible at first sight because the region was once and to a great extent still is today overgrown with forests. The most characteristic surface forms are karstic poljes, which are genetically connected with the waterstreams coming to limestones from watertight Permo-carboniferous sediments (Polje of Ribnica, Dobrepolje), from Eocene Flysch (Basin of Postojna), or from dolomite. Particularly marked is the contact of dolomite and limestone in Notranjsko Podolje where the subterranean waters from the southern limestone join the surface tributaries from the more northly lying dolomite. In such a hydro-geological situation is a series of karstic poljes and uvalas of Inner Carniola (near Prezid, Babno Polje, Loško Polje, Cerkniško Polje, uvala near Unec, Planinsko Polje, Logaško Polje). The intermediate dry valleys usually rise up to 30 meters at the most above the bottom. This pretty uniform height speaks for the climatically conditioned beginning of the development of karstic poljes in the places of the concentrated surface flowing. Together with the surrounding low-lying area the karstic poljes form a long valley along which the river Ljubljanica had supposedly been flowing still in Pliocene on the surface towards the Marsh of Ljubljana. On the inflow and outflow sides of these poljes the largest Slovene water caves are to be found. Between the rudimentary karstic polje on the high Plateau of Bloke and Cerkniško Polje, Križna Jama (7 km, No 10) has been formed on the confluence of two subterranean watercourses coming from dolomite. This is the only cave in which the water of the cave brook is not aggressive but deposits flowstone sediment that retains 22 small lakes behind low dams. Although it is a most attractive cave, in which some stalagmites grow out of stagnant water, it is accessible to tourists only in its dry entrance part. On the outflow side of Cerkniško Polje, which is one of the most famous intermittent karstic lakes, there are two caves: Mala Karlovica (1520 m, No 11) and Velika Karlovica (3520 m, No 12). Out of the latter a brook flows into Zelške Jame (2700 m, No 13), where the collapses of the cave ceilings prolong the characteristic valley-like karstic depression of Rakov Škocjan on the inflow side. On the outflow side the brook Rak flows under the well-known and sightworthy natural

bridge into a canyon and from here into Tkalca Jama (550 m, No 14), which is hydrographically linked with the branch of the brook Rak in Planinska Jama (5 km, No 15). Through the Pivka branch of the same cave the river Pivka flows in, which subterranean stream behind the siphon in Pivka (Postojna) Cave is unknown for an air-line distance of 2300 m. In the Cave of Planina (Planinska jama) the river Pivka falls together with the brook Rak, as well as with the subterranean watercourses coming from under the Cretaceous Javor-niki Mts. At low waters, however, stagnant water floods the greatest part of the branch of Rak and the waterstream from Javorniki only crosses the terminal part of the cave and flows towards the source of the stream Malenščica. Owing to this reciprocal repulsion of watercourses the cave has become a classical example of changing water circumstances at various water stages.

On the outflow side of Planinsko Polje, the longest caves are Logarček (2,2 km, No 16) and Najdena Jama (= Discovered Cave), only explored in the years 1963—1965 (so far 3,2 km measured out, No 17). Between Planinsko Polje and the Marsh of Ljubljana, in spite of almost 100-years old efforts of the cave explorers and in spite of the numerous collapsed dolines (»koliševke«) developed above the caves and deep down to 80 meters, no access has been discovered to the main channels of the river Ljubljanica. The water of Ljubljanica is only reached by the Pothole of Gradišnica (— 214 m, No 18).

The watercourses coming from the Eocene Flysch have shaped out numerous caves of Postojna karst on the northern border of the Basin of Pivka. As the main watercourses were once directed towards NW, there developed an underground cave near Predjama where in the wall at the entrance of the cave a medieval castle was built. The Cave of Predjama (5782 m, No 19) is well known for its several storeys. The cave system of Postojna (16 km, without the river branch of Pivka in the Cave of Planina), which is the longest cave in Yugoslavia, unites the caves in the surroundings of Postojna, through which once, and in the lower storeys still today flows the main watercourse of the basin — the small river Pivka. The basin, called after the river Pivka or the town of Postojna, is characterized by its waters flowing towards the north into the river Sava and the Black Sea, towards the west in blind small valleys towards Lokva, and towards the south to the river Notranjska Reka and the Adriatic Sea respectively.

In the territory between Loško Polje, Cerkniško Polje, Planinsko Polje and Postojnsko Polje, which is the largest confluence area of the Slovene karst, large caves are more frequent than anywhere else in the Yugoslav karst, considering that only the total length of the said caves amounts to 46 km, and this 27 km in the maximum distance. The caves are developed in storeys, the channels have pretty uniform heights and widths (the largest are to be found in Planinska Jama) and gentle slopes. This facilitated the construction of a two-kilometer long railway-line in Postojna Cave, the only cave railway line in the world. Under the name of Postojna Cave, also Črna Jama (= Black Cave) and Pivka Jama are often included, which were separated before the construction of linking tunnels and only connected with the subterranean river Pivka, as well as Otoška Jama, through which in the geological past a tributary of the subterranean river Pivka had flowed from a blind valley, at the end of which there is the entrance of the cave.



The southwestern marginal zone of the karst of Inner Carniola is the highest as regards the relief. It is composed of the so-called Notranjske kraške planote (= Karstic Plateaus of Inner Carniola) (Notranjski Snežnik, 1796 m, Javorники, Hrušica, Nanos, Trnovski Gozd, Banjšice, which however, already extend outside Inner Carniola). The top plateaus mostly rise up to a little over 800 meters. The purity of Cretaceous limestone, which is in some places superposed on the Eocene Flysch (the whole Nanos Mt. is supposed to be a superposition), the abundance of annual precipitations (between 1800 mm and 3000 mm), the local Pleistocene glaciation on the Snežnik Mt. and on Trnovski Gozd, as well as the considerable amount of water flow-off, are favourable conditions for the development of the surface and some subterranean karstic phenomena. In some static caves and in potholes snow or ice is to be found, which was made use of in the past. The vegetation inversion from the Alpine grass flora near the ice at the bottom up to the top forest is particularly visible in Velika Ledena Jama (= Great Ice Cave) at Paradana at 1050 m a. s. l. (No 21), and also in the deep swallow hole Smrekova Draga (1100 m a. s. l., No 22).

On theforesaid high plateaus there are the deepest potholes in Slovenia. Brezno Jazben (— 365 m, No 23) (It. Abisso di Verco) was declared at the time of the Italian occupation in 1926 the second deepest (— 518 m), and Habečkov Brezen (— 332 m, No 24) (It. Abisso Montenero) the third deepest pit in the world owing to an exaggerated depth estimation. (After its discovery in 1841 the 329-meter deep Labodnica pothole [It. Grotta di Trebiciano], now in Italian territory on the italo-yugoslav frontier, was considered to be the deepest pit in the world).

3. *Kras*. This name, spelt with a capital, denotes in the Slovene language the region between the Gulf of Trieste in the west, the Flysch Valley of Vipava in the north, the Basin of Pivka in the east, and the Valley of the river Notranjska Reka in the southeast. The word itself is probably of pre-Indoeuropean origin and originally it denoted naked, stony ground. Kras had actually been, at the beginning of modern times when it was described by the first competent writers of travels the most naked and stony region on the whole route leading from Central Europe towards the Mediterranean Sea, as it belongs to the area of deforested submediterranean regions with summer droughts that render a re-afforestation almost impossible, with the old methods of clearing the forests for pastures, and with the strong erosion of soil in heavy rains. As in the naked stony surface the well visible karstic phenomena were one of the main characteristics of the region, the term »kras« turned out to be advantageous in the world geographical literature as a geomorphologic designation. Together with it the words »dolina« and »polje« were introduced into the international speleologic terminology, as borrowings from Slovene. (They have the same meaning elsewhere in the Yugoslav Dinaric karst as well. This is not the case of the word »jama« which in Serbocroatian often means pothole, while in Slovene it means a horizontal cave, and only in a larger sense of word chasm as well. However, owing to a century-long planned afforestation and natural overgrowth of old pastures, now given up, with its bush and forests Kras is nowadays fairly less naked than the rest of the littoral Dinaric Karst, which was not easily accessible at the beginning of modern times due to the Turkish occupation of the Balkans. In Slovenia, Notranjski Kras (Inner Carniola Karst) is the most karstic region as regards the surface.

Geologically the Karst is an apically eroded, in its northwestern side a little tectonically demolished anticlinal built by Cretaceous, and on the borders also by Paleocene limestone. Along the northeastern and southwestern borders, as well as in the middle there is a series of elevations between which reigns a peneplain surface lowering from 440 m to 480 m in SE under an average inclination of 10—11 % towards NW, where before the river Soča it disappears in the Lowland of Friuli. The uniform lowering towards NW is the consequence of former surface flow-off of the waterstreams coming from the southeastern Flysch Brkini Hills; these waterstreams are still today rather aggressive with their total hardness of 4—7 German hardness degrees (in the Karst 10—13 degrees). With these watercourses also those from the Flysch of the Valley of Vipava were flowing off across the Karst. As a product of relatively intensive postfluviaatile corrosion (with 1100 mm—1500 mm yearly precipitations the annual chemical erosion now amounts to about 50 c. m/sq. km of carbonates) and more numerous dolines, uvalas, dry valleys and »doli« (i. e. on one or both sides closed dry valley without any visible traces of former surface water flowing), as well as pits, which in their number are strongly superior to caves, were formed. In the Yugoslav part of the Karst there are over 300 speleological objects, and in the Italian part about 500, thus almost two objects on one sq. kilometer of the territory measuring about 500 sq. kilometers.

Along the whole Dinaricly directed anticlinal of the Karst the river Notranjska Reka flows undergroundly, joined after the sources near Devin (It. Duino, No 25) by a part of waters probable from the river Soča sinking into its own deposits. The subterranean Reka is reached, at high waters, by the pothole Kačna Jama (—304 m, No 26), and permanently by the pothole Labodnica (—329 m, No 27). The river Reka today sinks in the Caves of Škocjan (5100 m, No 28), which are for their (on a average 70-meter high) water channel among the most imposing and sightworthy Slovene caves though they are, regarding the visits by tourists, more than ten times surpassed by those of the Postojna cave system. Two foundering dolines above the subterranean river in the Caves of Škocjan and the founded ceilings in Rakov Škocjan are the most remarkable examples of the intensive mechanical decomposition undergone by the cave walls in the tundra climate in the culminations of the Pleistocene glacial periods.

The Caves of Škocjan are situated at the end of a blind valley, shaped by the waters coming mostly from the Flysch Brkini Hills. At their southern foot tract such watercourses have formed in the marginal limestone twelve blind valleys, deep down to 200 meters. Half a kilometer off the sink one of these watercourses coming from the Flysch appears in the cave Dimnice (1230 m, No 29) near the village Markovčina. The upper dry storey, accessible to tourists, is well known for its stalactite riches.

The oldest show cave of Kras, significant for its tourist business, is that of Vilenica (600 m, No 32) near the villages Lokve and Lipica. The latter was once famous not only for the horses of Lipica race, but also for the forest oasis which proves the former existence of natural forest land of this region. Genetically Vilenica is alike the Cave of Divača (593 m, No 31) near Divača. The original caves, shaped out in Turonian limestone, were supposedly as high as the water channel in the Caves of Škocjan, but they were later on filled up by Flysch accumulation and abundant stalactite formations. Known as early as the 18th

century, Vilenica was only overshadowed, as regards the tourist business, by the cave of Postojna and those of Škocjan.

Opinions do not agree on the question which of the caves of Kras were formed when the subterranean river Reka shifted its bed to lower storeys (an example of horizontal channels at the bottom of the chasm is Škamperlova Jama, 565 m, — 97 m, No 30), and which of them were formed by local waterstreams coming from Flysch patches. The Cave of Divača, Vilenica and the richly decorated Lipiška Jama open near the foot of the hill and their main channels are rather inclined what is due to local brooks.

Common Characteristics of the Slovene Karst

The karstic forms are here undoubtedly younger than in the karst of the continental Europe. The reasons for it are to be sought in the fact that formerly the greater part of this region was covered with Tertiary and other watertight sediments, further in the abundance of the annual precipitations occurring in this region, and finally in the corrosion activity corresponding to both these factors. The watercourses (23—100 l/sec/sq. km) carry off from the karst on an average 40—70 c. meters, and in some areas in the covered Pre-Alpine carbonate mountains even up to and over 120 c. m/sq. km dissolved rocks yearly. That is why the higher karstic plateaus, whose formation supposedly goes back to Middle or Lower Pliocene, are already strongly dissected. The popular name »ravnik« (= peneplain) only denotes such surfaces (flat when they are more extensive, but dissected with dolines and »koliševke« when less extensive) where the surface watercourses or allochthonous rivers respectively were replaced by the vertical karstic waterstream in the Quartenary or Upper Pliocene periods. (Logaški Ravnik, along the river Kolpa, in the Kras). In dolomite, where the corrosion intensity is equal to or greater than that in limestone, though there are few karstic forms to be found there, water in the Pleistocene, judging by various signs, was flowing across permanently frozen ground on the surface and was quickly corroding the bordering limestone.

The extent of the whole karst in Slovenia has not yet been exactly ascertained. The surface with predominating vertical flow-off of precipitations, which especially in the steep mountainous slopes and in dolomite is also deprived of the surface karstic forms, occupies between $\frac{1}{3}$ and $\frac{1}{2}$ of the total territory of Slovenia, amounting to 20.251 sq. km.

The cadastral survey of the cave objects is run by the Society for the Exploration of Caves in Slovenia, founded in 1910; it unites 10 Caving Clubs with about 300 members. A similar cadastral survey is also run by the Institute of Karst Research of the Slovene Academy of Sciences and Arts at Postojna, founded in 1928 and renewed in 1951. In the year 1965 the cadastral survey includes over 2600 objects, in which chasms with a depth of over 5 m are taken into account. Only two thirds of these objects have been measured out. In the objects measured out the total length of the vertical and horizontal channels amounts to about 163 km (in the chasms with a depth of more than 20 m the depth and the length are summed up if the latter amounts to more than the half of the depth). Although potholes predominate in their number, most of the channels belong to water caves. About 400 speleological objects are registered in Upper Carniola, where especially the high-mountain karst has been little explored, over 100 in Styria, almost 200 in the northeastern Lower Car-

niola, over 300 in the southwestern Lower Carniola, over 100 in White Carniola, over 400 in the northern Inner Carniola, nearly 300 in the river-basin of Soča, and over 300 in the Yugoslav Kras. Cave objects are most densely strewn in Kras, in the karst of Postojna, and on the northern border of Planinsko Polje where Cretaceous, partly Jurassic limestone predominate.

In the lower karst of Lower Carniola, of Inner Carniola and of the Littoral the temperature of air in static caves ranges from 8 do 11 degrees C. Owing to the abundant precipitations the caves have much speleothem. Among the stalactite formations predominate such as have grown at a strong but unsteady afflux of dripstone-depositing water (cones).

The cave tourist business is pronouncedly concentrated on the karst of Postojna and the Postojna Cave respectively, which absorbs nine tenths of the visitors to the Slovene karstic underground and is by far the most visited Yugoslav cave; in 1964 it had more than 400.000 visitors. The other show caves (which number, when compared with that of the beautiful and interesting caves, is rather small) of the Slovene karst, cannot realize a better development of the tourist business, the local tourist trade being poorly developed. A few remote caves, once visited by tourists, are even deserted although by their stalactite riches they are by far superior to numerous foreign show caves.

Compared to the remaining Dinaric karst, the Slovene karst is best covered with forest vegetation. Its caves are best explored as they were first included into the modern research work in the second half of the 19th century, as they are in this century. Larger caves are more densely strewn in it than anywhere in the Dinaric karst and also most visited by tourists.

The following table includes the show caves with at least organized guide service and paths, although not all of them are electrified:

Name of the cave (jama = cave)	Character: w. c. = water cave c. f. = rich in cave formations	Total lengths of the channels in km	Lengths of the tourist ways	Year of be- ginning of the organized tourism	Number of tourists		
					in the last decen- tury per year	in 1964 all	1964 forei- gners
Postojnska jama	c. f.	16	5,2	1818	inland- tourists: 141.156 foreign 115.019	407.796	231.857
Pivka and Črna jama	w. c.	3	2	19th century		2.922	1.743
Škocjanske jame	w. c.	5	3	end of the 19th century	1960— 1964: 18.116	21.242	6.477
Taborska jama	c. f.	0,5	0,6	1926	1954— 1964: 2.500	5.000	
Vilenica	c. f.	0,6	0,8		?	?	
Železna jama		95 m.	0,15	1963	?	900	
Francetova jama	c. f.	22 m.	0,04	1960	?	1.500	
Dimnice	c. f.	1,2	1	?	?	?	
Planinska jama	w. c.	5	0,9	?	?	?	
Križna jama	w. c.	7	1,5	1953	?	500	

PRINCIPAL SURVEY WORKS AND SOME REFERENCES

- Archives of the Slovene Speleological Society and of the Institute for Karst Research, Postojna.
- Naše jame, glasilo Društva za raziskovanje jam Slovenije (Our Caves, organ of the Slovene Speleological Society), 1959 (Nr. 1 and 2), 1960, 1961, 1962, 1963. Ljubljana.
- Acta carsologica — Poročila Inštituta za raziskovanje krasa SAZU (Report of the Institute for Karst Research of the Slovene Academy of Sciences and Arts), Ljubljana.
- Jamarski priročnik (Caving Handbook), Ljubljana 1964. (Especially its second part [in print] with the list of Slovene caves by R. Savnik).
- Serk o, A. — I. Michler (1952): Postojnska jama in druge zanimivosti krasa (Postojna Cave and other Curiosities of the Karst), Ljubljana (also in English, German, and French).
- Jenko, F. (1959): Hidrologija in vodno gospodarstvo krasa (Hydrology and Water Economy of the Karst), Ljubljana. With a comprehensive English summary.
- Bohinec, V., F. Planina, J. Sottler (1952): Slovensko Primorje v luči turizma (Slovene Littoral in the Light of Tourism), Ljubljana.
- Turistični vestnik, III, julij 1955, Nr. 7 (Tourist Gazette, III, July 1955, Nr. 7).
- Note : The list of the works published in the years 1958—1962 is given in the book Treći jugoslavenski speleološki kongres. Sarajevo i istočna Hercegovina 21.—27. VI. 1962. (Third Yugoslav Speleological Congress. Sarajevo and Eastern Herzegovina 21st—27th June 1962.) Sarajevo 1963.

Povzetek

SPELEOLOŠKE ZNAČILNOSTI SLOVENSKEGA KRASA

Glavni speleološki objekti Slovenije, ilustrirani z ustrezno številko na karti, so navedeni v okviru štirih glavnih kraških enot: krasa Julijskih in Kamniških Alp, Karavank, oaznega krasa v peripanonskem svetu in Dinarskega krasa. Le-ta razpada na nizki kras Dolenjske in Bele krajine, Zahodnodolenjski in Notranjski kras ter na Kras. Po avtorjevi izmeri kart s kurvimetrom obsega kras v slovenskem delu Dinarskega gorstva okoli 5500 km² (27 % ozemlja SR Slovenije), pri čemer ni vštetih okoli 60 km² vododržnih sedimentov v večjih oazah ter fliš Vipavske doline ter Istre. Kraško hidrologijo ima $\frac{1}{2}$ do $\frac{1}{3}$ slovenskega ozemlja. Skupna dolžina vseh izmerjenih ali vsaj ocenjenih jam in brezen, ki jih navaja kataster slovenskih jam, je okoli 163 km (pri breznih z globino nad 20 m sta upoštevani globina in tudi dolžina, če znaša nad polovico globine). Morfološka oznaka kras je povzeta po pokrajinskem imenu Kras iz historičnih in ne morfoloških ozirov, po večji ogoličenosti površja v submediteranskem področju. Najbolj tipične površinske kraške oblike so na Notranjskem krasu, kjer so najdaljše водне Jame tudi najbolj zgoščene.

IVAN GAMS, Ljubljana

APERÇU SUR L'HYDROLOGIE DU KARST SLOVENE ET SUR SES COMMUNICATIONS SOUTERRAINES

De même que l'étude des phénomènes karstiques superficiels du Karst classique, l'exploration hydrologique du Karst Slovène dans le passé avait, elle aussi, une signification considérable pour le développement de la spéléologie en général. On pratiquait l'exploration des voies d'eau souterraines dans le Karst Slovène (partie nord-ouest du Karst Dinarique) bien avant que dans d'autres régions du Karst Dinarique. Les premières explorations à l'aide des substances chimiques et autres sont parmi les plus anciennes du monde. On place au premier rang surtout la région Kras, c'est-à-dire la rivière Notranjska Reka - Timav, dont on déterminait le cours souterrain (surtout à cause de l'aqueduc triestin) au moyen d'anguilles, de sels, de matières colorantes, de lithium, de strontium, de cérium et depuis peu au moyen de l'isotope du tritium.

A la fin du XIX^e s. et au commencement du siècle courant on explorait la plupart des communications d'eau souterraines pour améliorer des poljés où on élargissait les entonnoirs absorbants et les couvrait de briques et de béton afin de diminuer les inondations. A l'époque d'une vive discussion sur la manière du mouvement des eaux karstiques souterraines, les protagonistes (Grund, Bock, Katzer, O. Lehmann et d'autres) indiquaient les résultats des colorations dans le Karst Slovène comme preuves de leurs théories. Après la seconde guerre mondiale la plupart des colorations ont été faites lors des projets des usines hydro-électriques (Vrhnika, dont le bassin d'accumulation se trouvait dans les poljés de Cerknica et de Planina; Osp - bassin d'accumulation dans la vallée de la rivière Notranjska Reka devant les Grottes de Škocjan).

L'hydrographie karstique au nord du Karst Dinarique Slovène n'est pas tellement importante. Les montagnes calcaires sont en général des élévations isolées, entourées de sediments étanches et les sources à leur pied sont souvent les seuls indicateurs de l'écoulement karstique. Les Alpes calcaires de Kamnik occupent d'ailleurs un territoire considérable, mais comme cette chaîne montagneuse avait été découpée au temps de la glaciation pléistocène par des vallées approfondies jusqu'au fond étanche, il n'y a pas de collecteurs importants des eaux karstiques. On peut constater à peu près le même phénomène dans les Alpes Juliennes où les principales rivières de la Slovénie (Save, Soča) surgissent en sources karstiques.

Il n'y a que les plateaux des Alpes Juliennes de l'Est qui représentent une grande surface, mal explorée. En 1964 on a constaté au moyen du Na fluoroscéine (substance qu'en Slovénie on employait le plus souvent en explorant

les communications d'eau souterraines) que les eaux du Glacier de Triglav s'écoulaient par le Gouffre de Triglav vers les sources de la rivière Bistrica dans la Vallée de Vrata.

Le Karst Dinarique Slovène est caractérisé par un grand nombre de petits ruisseaux à perte qui se répandent du haut des sédiments imperméables isolés et se perdent dans le terrain calcaire. Ces ruisseaux superficiels n'étaient pas capables de creuser des vallées superficielles le long du cours entier, pourtant ils ont formé aux endroits de perte des vallées sèches et aveugles, des ouvalas et des poljés. Ils ont donné ainsi à la surface karstique un caractère particulier. Aux bords du Karst Dinarique sur le territoire de la Basse Carniole il y a une quantité de ruisseaux qui viennent des Montagnes préalpines de Save (Posavsko hribovje), variées quant à la pétrographie, pourtant en général dolomitiques. Ils se perdent dans le terrain calcaire aux bords de la Suha Krajina (Pays Sec), excepté la Višnjica qui atteint la Krka, rivière superficielle principale de la Basse Carniole. Une assez courte voie souterraine appartient à la Temenica qui se perd au fond de la vallée aveugle près du village Ponikve (68 — numéro sur la carte) et encore une fois près de Mirna Peč (66) pour reprendre sa source sous un autre nom — Prečna dans la vallée aveugle (Sacktal) Luknja (67). La Grosupeljščica est une autre rivière, dont le cours souterrain ne dure pas longtemps; d'après les constatations géomorphologiques elle coulait d'abord sur la surface vers la rivière Ljubljanica dans le marais de Ljubljana (Ljubljansko Barje). Ses eaux apparaissent dans les sources de la Krka (48), dont le réseau hydrographique ressemble sur la carte à un tronc, dont les branches sont coupées mais dont les rameaux restent pourtant en l'air — ce sont les ruisseaux qui aboutissent à la Krka sous terre. Entre ces rameaux (ruisseaux) se trouve la Suha Krajina qui ne possède pas d'affluents. Les ruisseaux initiaux de l'ouest viennent de la zone d'ardoises et de grès permiens et de dolomites triasiques. Cette zone, nommée ici »toit« du Karst Basse-Carniolais et Carniolais-Intérieur, s'étend du massif de Krim dans la direction dinarique jusqu'aux sources de la Čabranka et de la Kolpa. De la partie de la zone moins perméable que nous venons de mentionner, aux environs de Velike Lašče coule le ruisseau Raščica jusqu'aux absorbants dans la vallée fluviale (42), et lors de la crue des eaux encore plus loin par la vallée sèche jusqu'au poljé Dobropolje. Sur son chemin jusqu'aux sources de la Krka (48) il n'apparaît à la surface que pour quelques centaines de mètres à la fin du Radensko poljé (43—44). Les deux autres affluents importants, Tržičica et Bi-strica, se perdent dans la Grotte Tentera (40 — d'ici le ruisseau coule vers la Grotte de Podpeč aux bords de Dobropolje) ou dans les entonnoirs absorbants alluviaux dans le poljé de Ribnica. Un autre ruisseau qui coule dans ce poljé, Rakitnica, communique avec le ruisseau Loški potok, ce qui a été constaté par des colorations récentes. Les eaux colorées du ruisseau Loški potok n'ont pas apparu seulement dans la Rakitnica et par là dans les sources de la Krka près du village Podgozd (37), mais aussi dans les sources du ruisseau Rinža qui emporte les eaux du poljé de Kočevje jusqu'aux sources de la Bilpa près de la Kolpa (36). Cette bifurcation souterraine est prouvée d'une manière plus convaincante que ne l'était le croisement des courants souterrains dans la Suha

Krajina de l'Ouest, par les colorations faites il y a 50 ans. D'après ces résultats, les eaux de la Šica (43—44) afflueraient sous terre dans la Krka entre ses sources et celles près de Podturn. Mais la Rakitnica, déjà mentionnée, affluerait dans la Krka plus haut, à Šica près de Dvor. Ce croisement qui n'est pas prouvé de nouveau était indiqué dans la littérature étrangère souvent comme preuve des eaux karstiques unies. A cause de la documentation incomplète de cette coloration on peut dire seulement que les résultats ne sont pas sûrs.

La Krka dépose des tufs calcaires (travertin) dans certaines parties de son cours supérieur et cela quelques centaines de mètres après les endroits où elle reçoit les affluents d'une haute dureté dolomitique. La Temenica voisine, ayant une dureté presque deux fois plus haute que la Krka, ne dépose pas de tufs calcaires, parce qu'elle coule sur une couverture alluviale au fond d'une large vallée.

Les chaînes montagneuses, Rog et Gorjanci, représentent de vastes massifs calcaires dépourvus des rivières superficielles qui apparaissent tout de même dans les basses régions karstiques de la Vallée de Novo mesto et de Bela Krajina, comme rivières de canyons avec de puissantes sources karstiques (Krupa, Težka voda etc.).

Le toit du Karst Basse-Carniolais et Carniolais-Intérieur (Notranjska, Doljenjska) est aussi l'endroit où prend source la rivière karstique Ljubljanica, connue dans la littérature sous trois noms (Pivka, Unica, Ljubljanica), bien qu'elle possède encore d'autres cours superficiels et souterrains considérables. La plupart des ruisseaux du toit, dolomitique en général, sont concentrés dans les poljés de Lož et de Cerknica. Une partie de l'eau qui se perd dans le poljé peu profond de Bloke (25) réapparaît dans la Grotte Križna jama. Bien que dans le souterrain, on y peut apercevoir des tufs calcaires déposés après le confluent de deux ruisseaux d'une haute dureté dolomitique.

Le phénomène que l'eau dans le poljé s'écoule dans une direction par des entonnoirs absorbants se trouvant aux bords et dans l'autre par des absorbants alluviaux au fond des poljés, a été constaté dans le poljé de Ribnica-Kočevje pour de très hautes eaux (la Bistrica qui afflue sous la terre dans la Krka s'unite alors superficiellement avec la Rinža qui afflue dans la Kolpa). La bifurcation verticale se présente encore plus souvent dans le poljé de Cerknica où les colorations au moyen du Na fluorescéine ont amené à la constatation que les eaux s'écoulent par les entonnoirs absorbants Češlenica (18), Vodonos (16), Rešeto (16) dans les sources de la Bistra (11) et de la Lubija (12) au marais de Ljubljana (Ljubljansko Barje). Les eaux du Lac de Cerknica s'écoulent en même temps par la Grotte de Velika Karlovica dans la Vallée de Rakov Škocjan, dans la Unica au poljé de Planina et vers les sources de la Ljubljanica près de Vrhnika (2—5).

Le troisième toit hydrographique, carniolais-intérieur et littoral, est représenté par le flysch dans la Vallée de Pivka (de Postojna) qui se prolonge vers le nord-ouest dans la Vallée de Vipava et vers le sud-est dans la Vallée de Notranjska Reka. Entre cette zone de flysch et la zone dolomitique près de la faille de Predjama et des montagnes préalpines dans le bassin fluvial de la Idrijca se trouve une zone de purs calcaires crétacés qu'on distingue au relief comme »hauts plateaux de bords dinariques«. Il y a à peu près 3000 mm de précipitations. Cette zone crétacée entre les deux zones des sédiments étanches montre quelques particularités du Karst barragé. L'écoulement souterrain

est dirigé vers deux »fenêtres« (sorties) hydrologiques. La première est représentée par le poljé dolomitique de Planina où s'écoulent les eaux souterraines du massif de Snežnik et de Javorniki et celles du flysch du bassin de Postojna (11), parce que le relief le plus bas se trouve dans la barrière dolomitique étanche dans le cours d'eau vers les sources de la Ljubljanica. Lors de la crue des eaux les piézomètres dans le massif crétacé de Javorniki s'élèvent au-dessus de la hauteur du bassin de Pivka, des poljés de Lož, de Cerknica et de Rakov Škocjan. C'est pourquoi les eaux de Javorniki se répandent alors en sources puissantes aussi dans les bassins à la limite du flysch et des dolomites. Quand les eaux baissent et quand les piézomètres montrent une hauteur au-dessous du niveau de ces bassins, les eaux du flysch et celles du territoire dolomitique du nord se perdent dans le calcaire voisin. On a constaté un haut degré de communication des couloirs souterrains dans ce massif karstique. Le degré dépend de la hauteur des eaux et des situations dans de diverses parties. L'un des résultats de ce régime représente le Rakov Rokav (Manche de Rak) dans les Grottes de Planina, par laquelle affluent lors de la crue des eaux le Rak (écoulement de Rakov Škocjan) et les eaux d'au-dessous de Javorniki; lors de l'abaissement des eaux l'écoulement de Javorniki croise seulement le bout de ce couloir et prend sa source dans la rivière Malenščica (12—10).

Quand les eaux sont basses, elle s'écoulent d'une partie du territoire le long du cours supérieur de la Pivka et de celui aux environs de Postojna directement vers la Manche de Rak et vers la Malenščica et non pas par la Grotte de Postojna qui est domaine de la Pivka.

La »fenêtre« d'écoulement des eaux de la partie nord-ouest des plateaux dinariques (Trnovski gozd, Banjščice) est la vallée profonde de la Soča au-dessus de Gorica où se trouvent des sources puissantes des eaux karstiques dans le lit même de la Soča (Mrzlek). Mais comme les processus géomorphologiques ont baissé le flysch dans le bassin de Vipava en une dépression de relief, la vallée attire les eaux des élévations voisines au nord. Lors de la crue des eaux y affluent celles de Trnovski gozd en formant le torrent Lijak. Les eaux de la montagne Nanos s'écoulent constamment dans les sources de la Vipava. Au pied de cette montagne coulent aussi les ruisseaux qui se perdent dans les Grottes de Predjama (Lokva 51, Belski potok 52). Ils arrosent le bord nord-ouest du bassin de Postojna qui, comme toit, envoie les eaux non seulement au nord dans la Ljubljanica-la Save-la Mer Noire et à l'ouest dans la Vipava-la Soča-la Mer Adriatique, mais aussi dans la Notranjska Reka (Sajevščica). Bien que le bassin de Postojna ait parmi les élévations calcaires caractère d'une dépression, il représente la ligne de partage des eaux entre celles de la Mer Noire lointaine et celles de la Mer Adriatique voisine. Cette ligne de partage est une conséquence des processus paléogéographiques, car dans la Plaine Pannonienne la mer et le lac existaient jusqu'à l'âge de pléistocène, et la Mer Adriatique était plus éloignée qu'à présent.

A côté de la Ljubljanica et de la Krka la Notranjska Reka-Timav est la rivière karstique la plus connue du Karst Slovène. Son émergence se trouve dans les collines en flysch Brkini qui représentent le toit hydrographique du Karst Littoral-Istrien. Par les pentes sud les ruisseaux se perdent dans 12 vallées

aveugles dans les calcaires voisins; quant au ruisseau Brašnica (64) on a constaté au moyen de la coloration qu'il appartient à la rivière istrienne Rijana.

Comme il y a aux bords du Karst une seule source karstique considérable — la courte rivière Timav, et comme il y a de l'autre côté une seule rivière à perte considérable — Notranjska Reka, on expliquait dans le passé que c'étaient deux bouts d'une seule artère d'eau, un peu augmentée. A son lit souterrain aboutissent deux gouffres, Kačna jama et Labodnica. Les explorations récentes ont amené à la constatation que la Notranjska Reka donne seulement quelques pourcents de l'eau au débit du Timav. Le reste de l'écoulement provient du Karst seul, du bassin ouest de Postojna et des eaux de fond de la Vallée de Soča et de Vipava. La Vipava perd ses eaux dans la direction sud à partir du village Bilje et la Soča se perd dans la Plaine de Gorica dans ses propres alluvions de galets et traverse sous la terre le Karst triestin, parce que ses piézomètres montrent un plus petit degré que la pente de la rivière sur les alluvions de galets. On projette de nouvelles explorations des portions d'eaux lors de différentes hauteurs, au moyen des isotopes radio-actifs. On ne pouvait non plus réfuter la supposition qu'une partie des eaux de Trnovski gozd, sous le flysch de la Vallée de Vipava et de la Plaine de Gorica, s'écoulent directement dans le Golfe de Trieste, parce que les colorations dans ces eaux n'ont donné aucun résultat.

De ces petites indications résulte le tableau du Karst Dinarique Slovène, dans lequel les parties des roches étanches et moins perméables avec le réseau hydrographique superficiel représentent les toits, et les rivières principales les artères les plus basses de l'écoulement. De tels toits hydrologiques sont: les montagnes préalpines, les montagnes à la frontière entre la Basse Carniole et la Carniole-Intérieure du Krim jusqu'à la Kolpa, le bassin de Pivka et les collines de Brkini. Les piézomètres baissent vers les rivières Krka, Ljubljanica, Vipava et vers le Golfe de Trieste.

Les résultats de la plupart des colorations affirment en général la théorie des artères d'eau souterraines qui ne sont pas liées. Mais il faut ajouter qu'ils sont valables en général pour le Karst bas et moyen et pour les eaux basses et moyennes. Les explorations récentes dans les massifs montagneux en pur calcaire, faites en partie au moyen des spores (*Lycopodium clavatum*), ont amené à la constatation qu'il y a des eaux souterraines qui communiquent entre elles (ex.: Javorniki et la zone des calcaires jurassiques et crétacés entre le polje de Planina et le marais de Ljubljana. Ici les eaux qui surgissent dans les sources de la Ljubljanica communiquent entre elles. En 1939 les eaux colorées de la Unica dans les absorbants [ponors] Milavčevi ključi dans le polje de Planina n'ont apparu qu'à Močilnik et à Retovje [3, 4]. Les mêmes ponors envoyoyaient les eaux, en 1965 lors d'une plus grande hauteur d'eau, aussi dans d'autres sources de la Ljubljanica se trouvant plus à l'est, même jusqu'à la Bistra).

D'après les rares mesurages sur le territoire dinarique slovène les coefficients d'écoulement sont: dans les roches étanches 35—60 % et dans les calcaires 60—90 %. Quand les eaux sont basses, le débit du Karst est 2—4 l/sec/km². Dans la plupart des cours d'eau les carbonates dissous forment la majeure partie de la dureté totale. Celle-ci se monte dans les Alpes Juliennes au-dessus de la limite des forêts à 70—110 mg/l, et dans le Karst bas et d'altitude moyenne à 130—200 mg/l (en général CaCO₃ et MgCO₃). Il n'y a que les eaux dolo-

mitiques dont la dureté habituelle s'élève au-dessus de 200 mg/l; la Temenica dans le Karst Basse-Carniolais même au-dessus de 300 mg/l. Les flysch littoraux ont en général peu de carbonates et la dureté des ruisseaux qui en viennent s'élève habituellement au-dessus de 100 mg/l; quelques ruisseaux ont beaucoup plus de sels que les ruisseaux venant du calcaire. Il n'y a que deux sources sur la côte slovène où l'eau de mer se mélange avec l'eau douce (près de Izola).

Les tentatives de classer les eaux karstiques d'après leur activité spéléomorphogénétique ont fourni les connaissances suivantes. L'eau qui pénètre par le plafond des grottes forme des concrétions, en Slovénie jusqu'à la limite des forêts. Les couloirs, par lesquels coulent ces eaux karstiques, sont ramifiés, riches en siphons, tortillés verticalement et horizontalement, communiquent souvent entre eux et se trouvent en stade permanent élémentaire de développement. De telles grottes se forment dans la zone fréatique. A l'autre extrémité du classement sont les rivières à perte. Celles-ci corrodent et érodent le souterrain; les profils transversaux (de gravitation) des grottes qu'elles forment sont uniformes et étendus. Ces grottes se forment dans la zone vadose; le profil longitudinal est plus nivélé. Lors des eaux basses la pente des cours d'eau dans de telles grottes est plus grande, et quand les eaux s'élèvent plus petite que les niveaux piézométriques des eaux du régime, mentionné d'abord, dans le souterrain de derrière des sources karstiques. C'est pourquoi les eaux coulent lors de diverses hauteurs d'eau du territoire d'un régime dans l'autre. A de tels endroits se sont formés les poljés karstiques (ex.: les poljés karstiques de la Carniole-Intérieure de Prezid jusqu'à Logatec).

Dans les sources karstiques considérables aux endroits où se rencontrent les calcaires et les sédiments étanches, les eaux montent habituellement des profondeurs considérables. La source principale de la Kolpa est un gouffre, dans lequel l'eau monte verticalement à la hauteur de 72 m. Lors de la crue des eaux le Gouffre Gabranka près de Neverke émet de l'eau qui coule lors des eaux basses au fond du gouffre (profondeur 100 m à peu près) plus bas que la Notranjska Reka voisine. Cette eau peut alors affluer dans la rivière mentionnée seulement dans le souterrain du Kras (triestin). Il y a un exemple intéressant au bord du marais de Ljubljana près du village Podpeč. D'en-dessous du massif de Krim affluent à la hauteur de la plaine quartenaire les sources qui emportent les eaux vers le Lac de Podpeč. Au fond de ce lac elles se perdent dans un gouffre (35 m de profondeur) pour reprendre leur source une centaine de mètres plus loin en s'élevant pour 46 m à peu près.

Les résultats des explorations des communications d'eau souterraines d'avant la seconde guerre mondiale ont été rassemblés et publiés par M. Alfred Šerko (1948). Ici sont présentés dans un tableau seulement les explorations récentes, bien que la carte montre les résultats d'un travail plus et moins récent. Le tableau et la carte sont contribués par le Service Hydrométéorologique de la RS de Slovénie, Ljubljana. Je l'en remercie vivement.

Explorations des communications d'eau souterraines dans le Karst Slovène après 1945

Cours d'eau, lieu d'initiation	Date, heure	Altitude m	Q m ³ /s	Quantité, sortie de matière colorante	Apparition de la matière colorante	Date, heure	heure culminante des ondes colorées	Q m ³ /s	Altitude	Diffrance d'altitude	Durée km	Vitesse heures m/s
1 Studenec v Ravnah Bloška planota	4. XII. 1946 — 14h	752	0,015	2 kg uranina	Veliki Obrh Vrhniška	15. XII.—8h	—	581	171	12	114	0,029
2 Rakov rokav Planinska jama	18. VIII. 1950 — 21h	—	—	1 kg fluorescine Malmi	20. VIII.—5h	—	446,5	21,5	1,3	32	0,011	
3 Logaščica Ponor Jacka	29. IV. 1951 — 7h	448	0,236	7 kg uranina	Vel. Močilnik Stud. sv. Antona Malo Oknence Pod Skalo	2. V.—1h 2. V.—1h 2. V.—3h 1. V.—16h Pod orehom Gradarievo br. Jurkovičev pot.	H=62 cm — — — — — — —	291,6 156,8 157,2 156,6 160,5 160,5 160,5 160,5	6,6 6,4 6,5 6,4 6,6 6,6 6,7 6,7	66 66 68 67 57 57 57 57	0,028 0,027 0,026 0,025 0,032 0,033 0,032 0,033	
4 Hotenka (Tomažinov mlini)	14. VII. 53 12.00—13.50	—	0,005	23,7 kg fluoresc.	Veliki Močilnik Vel. Močilnik Pod Skalo Pod orehom Gradarievo br. Zupenca Jurkovičev p.	29. VIII. 29. VIII. 30. VIII.—12h 30. VIII.—12h 30. VIII.—12h 30. VIII.—12h 30. VIII.—12h	— — — — — — —	287 287 287 287 287 287 287	— — — — — — —	12,2 12,5 13,0 13,0 13,1 13,1 13,3	335 335 333 333 333 333 335	0,008 0,01 0,01 0,01 0,01 0,01 0,01
5 Habeckov brezen Črnovrška pl.	27. VII. 1954 — 3.30	332,6	0,0035	6,5 kg fluoresc.	Fodroteja	2. VIII.—20h	2,5	329,2	3,4	4,2	160	0,007
6 Požiralnik pod Kremenco (Postojna)	26. IX. 1955 — 18h	512	0,0001	10 kg fluoresc.	Rakov rokav (Planinska jama) Hudofov rov (Planinska jama)	13. X.—6h 14. X.—18h 15. X.—13h 30. VII.—12h 30. VII.—12h 30. VII.—12h	— — — — — —	468 468 466,5 466,5 466,5 466,5	44 44 65,5 65,5 65,5 65,5	8,5 8,5 9,9 9,9 9,9 9,9	444 444 456 456 475 475	0,005 0,005 0,006 0,006 0,006 0,006
7 Rakitnica Ribniška dol.	16. VII. 1955 — 12h	480	—	33 kg fluoresc.	Tominčev stud. Podgorz	23. VII.—14h	—	180	300	20,2	170	0,032
8 Rimža	30. VIII. 1956 — 18h	460	(H = 51 cm)	33 kg fluoresc.	Jama v Šabnu Ellipa ob Kolpi	1. IX.—24h 30. X.	— —	205 205	— —	54	1470	0,005
9 Retje na Cerkn. polju	14. VIII. 1957 — 15.30	548	0,148	30 kg fluoresc.	Galečovi izviri Zupanovi izviri Ceglarjev p. Pod Skalo Pod Gradom	19. VIII.—6h 20. VIII.—6h 21. VIII.—6h 21. VIII.—2h 20. VIII.—18h	— — — — —	288 288 288 287,5 289	260 260 260 260,5 259	19 19,3 21 20,8 19,6	129 135 159 177 147	0,041 0,039 0,036 0,036 0,035

Cours d'eau, lieu d'initiation	Date, heure	Altitude m	$Q_{m^3/s}$	Quantité, sortie de matière colorante	Apparition de la matière colorante	Date, heure de la culation des ondes colorées	$Q_{m^3/s}$	Altitude	Difference d'altitude	Distance de parcours km	Vitesse m/s	
» Triglavsko brezno	13. VIII. 1964 — 13.15	2400	0,001	12 kg fluoresc.	Izvir, Bistrica (dolina Vrat)	19. VIII. — 18h	—	1170	1230	2,0	39 0,014	
» Loški potok (Travnik)	11. IX. 1964 — 13h	702	35 kg fluoresc.	Rakitnica Rinka Tomičev stud. (Podgrad)	26. IX. — 18h 5. X. — 6h 10. X. — 6h	—	500 465 ca. 4 180	202 237 522	11,2 18,3 11,2 + 20,2	365 (533) 713	0,008 0,008 0,012	
» Ponor pri Vel. Lodenah	29. XII. 1964 — 10h	—	0,03	0,6 kg fluoresc.	Jama Dimnice pri Materiji	29. XII. — 18h	ca. 0,03 m^3/s	—	—	0,5	8 0,02	
» Unica nad Milavčevimi ključi	14. IV. 1965 — 16.40	445	17,2	25 kg fluoresc.	Gajetovi izviri Zupanovi izviri Pod Gradom Ceglarjev p. Jurkovčev p. Pod orehom Pod Skalo Retovje Vel. Močilnik Mal. Močilnik	17. IV. — 7h } 17. IV. — 7h } 16. IV. — 18h } 16. IV. — 18h } 17. IV. — 12h } 18. IV. — 12h	8,24 } 0,53 } 1,113 } 7,71	288 288 288 287,5 287,5 287,5 287,5	157 157 157 157,5 157,5 157,5 157,5	11,9 12,0 12,3 12,5 12,3 12,1 12,5	62 62 62 62 49 49 91	0,049 0,053 0,055 0,057 0,057 0,064 0,050
» Trbohovica Prezid	11. V. 1965 — 16.30	765	0,026	25 kg fluoresc.	(Vodnjak Batno p.) Bajer	12. V. — 6h 18. V. — 18h 19. V. — 6h	— ca. 0,1	75,5 575 480	10 190 185	1,7 9 9,5	14 169 181	0,03 0,015 0,014
» Svinjska Jama	6. VIII. 1964	546	40 kg NaCl	3 kg lykopodium	Kotlič	10. VIII. 1964	500	46	98			

Les colorations ont été faites par:

- No. 1 Société de l'exploration des grottes de Slovénie.
 No. 2 Etablissement de l'économie hydrologique de la RS de Slovénie.
 No. 5 Institut des recherches karstiques de l'Académie Slovène des Sciences et des Arts — Postojna.
 Service Hydrométéorologique de Slovénie — Ljubljana.
 Société de l'exploration des grottes de Slovénie — Ljubljana.
 Gruppo Grotte »Carlo Debeljak« — Trieste.
 No. 6 »Projekt — nizke in vodne gradnje« — Ljubljana, Service Hydrométéorologique de Slovénie — Ljubljana.
 No. 13 Service Hydrométéorologique de Slovénie — Ljubljana, Institut Nucléaire »Jožef Stefan« — Ljubljana
 Osservatorio Geofisico Sperimentale — Trieste, »International Atomic Agency« — Vienne.
 No. 14, 15, 16 Prof. dr. France Habe — Postojna à l'aide de l'Institut des recherches karstiques de l'Acad. Slov. des Sciences et des Arts — Postojna et du Service Hydrométéorologique de Slovénie — Ljubljana.
 No. 18, 20, 23 Institut des recherches karstiques — Postojna.
 Le reste: Service Hydrométéorologique de la RS de Slovénie.

Povzetek

OUVRAGES CONCERNANT L'HYDROLOGIE DE LA SLOVÉNIE

- Bidovec, F. (1962): Die empirischen Formeln für die Berechnung des Durchflusses im Vergleich mit den tatsächlichen Wassermengen der Flüsse im Alpengebiet Sloweniens. VI^e Congrès international de météorologie alpine. Bled, Yougoslavie, 14—16 Sept. 1960. Beograd.
- Gams, I. (1963): Klasifikacija kraških voda Slovenije v pogledu morfogenetskih sposobnosti. (Klassifikation der Karstgewässer Sloweniens im Hinblick auf ihre morphogenetische Aktivität). III^e Congrès yougoslave de Spéléologie, 21—27 Juin 1962. Sarajevo.
- Jenko, F. (1959): Hidrologija in vodno gospodarstvo krasa. (Hydrology and Water Economy of the Karst). Ljubljana.
- Šerkov, A. (1946): Barvanje ponikalnic v Sloveniji. (Les colorations des rivières karstiques en Slovénie). Geografski vestnik XVIII/1—4. Ljubljana.

Povzetek

PREGLED HIDROLOGIJE SLOVENSKEGA KRASA

S POSEBNIM OZIROM NA PODZEMELJSKE VODNE ZVEZE

Hidrološka mreža slovenskega dinarskega kraša ima v prečnem prerezu v smeri NE-SW obliko »hidrografske strehe«, ki jih predstavljajo večji pasovi neprepustnih ali slabo prepustnih sedimentov, od koder se rečna mreža znižuje obakraj sprva na površini, nato pa podzemeljsko proti glavnemu reki, ki je najnižji iztok. Take »strehe« so Posavski hribi, s katerih tečejo potoki na sosednjo Suho krajino in v Krko, dolensko-notranjska streha med Krimskim gorovjem in Kolpo, fliš zgornje Pivke in Brkini. Glavni iztoki pa so zgornja Krka, glavno ožilje Ljubljanice, Čabranka, Notranjska Reka in Rijana. Posebno mesto zavzemajo kredne grude med Notranjskim Snežnikom in Banjščicami, v katerih zajezujejo vodo na jugu flišni pas, na severu ob predjamski prelomnici dolomit in dalje na severozahodu predalpsko hribovje. Iztočni najnižji okni s stalnim odtokom iz teh grud sta Planinsko polje in dolina Soče med Mostom na Soči ter Solkanom. Kadar se v teh grudah dvignejo piezometri nad okoliške kotanje, se voda iz njih izliva tudi bočno na fliš (Rakulk, Lijak) ali na dolomit (robna planinska polja od Loškega do Logaškega polja). Povezano podzemeljsko ožilje imajo tudi jurski in kredni apnenci med Planinskim poljem in izviri Ljubljanice.

Ker je starejša ugotavljanja tabelarno prikazal A. Šerkov (1945), so tu obdelana le povojsna barvanja po podatkih arhiva Hidrometeorološkega zavoda Slovenije. Isti zavod je prispeval tu objavljeno tabelo, za kar mu gre prisrčna zahvala.

IVO BAUČIĆ, Zagreb

HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE DINARIC KARST IN CROATIA WITH A SPECIAL REGARD TO THE UNDERGROUND WATER CONNECTIONS

Up to the recent times hydrology of the Croatian karst was not examined enough, because karst was considered economically to be a backward area. The study was also very difficult because of the numerous submarine sources (vrulje) into which a considerable part of the Croatian karst is feeding, and so we often do not know either the ponor or the submarine source if it is in such a depth that it can not be seen on the sea-level. These submarine sources are at the same time a proof that water in the underground of karst does not run to the baselevel, i. e. to the sea-level, but under pressure even deep below it.

There was a great turning-point in the knowledge of the karstic hydrology after the World War, when complex hydrological researches began in connection with the plans for the hydroelectric power plant, not comprising only hydro-energy but also researches of water for water supply, irrigation, etc.

Considerable obstacle in the progress of hydrology lies in the fact that the explorers still persist in interpreting the underground circulation individually, and try to generalize the statements. But every karstic region has specific conditions for development of the hydrological net. Fundamental hydrological characteristic of the Dinaric karst is a great heterogeneousness of space and changeability of time.

Numerous karstic poljes are tectonic depressions with clastic sediments (neogene marls and loams), in some place or other also with older sediments (clay-slates of Werfenian, carboniferous and permian ages). Those sediments represent a water tight base and the underground streams, coming across this barrier raise themselves to the edge in the sources, run under the barrier or elude it. Sometimes, when the water is low they run under it or pass by it, but at the high water they spring in poljes as gushing springs (estavelles).

Dolomites play a special part, being different with regard to the hydrological function. Some of them are water tight, through others water can drip easily. On all permeable sediments tectonics play an important part in the development of the underground hydrographical net. It is necessary to separate the parts of the Dinaric karst in Croatia that have more or less the same conditions for the development of hydrology, or are hydrologically connected.

Considering the extension of the carbonate rocks and their reference to the clastic, pervious sediments, the most basic condition of the hydrology of

karst, the hydrological net is drawn on the adjoint illustrations on the basis of the most important elements of the petrographical composition of rocks.

Istra

General morphological, as well as geographical classification of Istra into »the White« Istra (mountainous part of Čićarija — limestone), »the Gray« Istra (the dissected relief on the flysch layers), and »the Red« Istra (plateau in

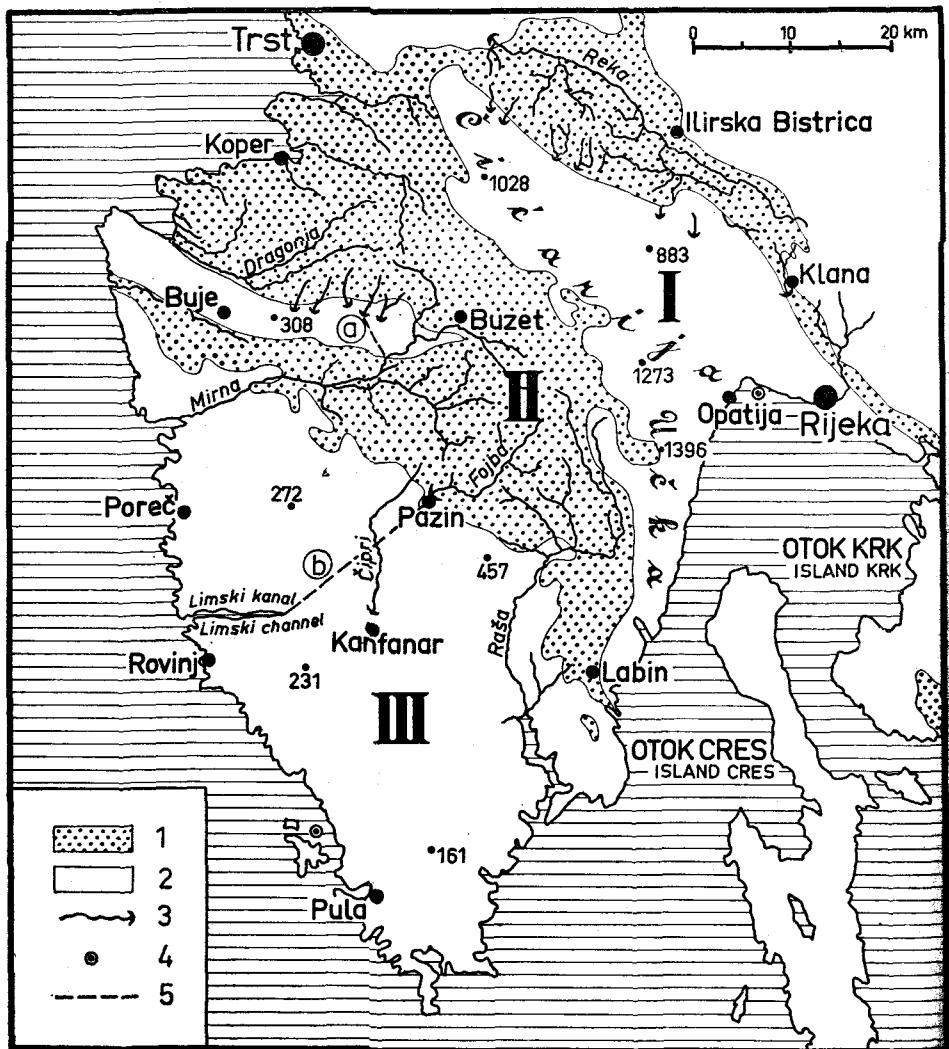


Fig. 1. Hydrological map of Istra. I »the White« Istra, II »the Gray« Istra, III »the Red« Istra. 1. Pervious rocks, 2. Carbonate rocks, 3. Surface stream with pond, 4. Submarine source, 5. Underground hydrological connection

the south-west of Istra, where limestone is covered by terra rossa), is the most significant one for the hydrological characteristics of the peninsula (picture 1).

In the strongly karstified region of Ćićarija precipitations sink direct into the underground through the fissures, which often join themselves into caverns in the underground, and through many of these caverns stronger or weaker water streams flow from time to time. It is uncertain whether in the massif of Ćićarija the precipitations from the surface join with those sinking along the north-eastern foot of the mountain.

A part of the waters running into the underground of Ćićarija comes out in the sources on the border of the flysch zone in the south-west, i. e. on the border of »the White« and »the Gray« Istra, and the other part in the submarine sources of the Bay of Trieste.

Pervious flysch layers of »the Gray« Istra cause the surface circulation of water in this area but as soon as the surface streams come to the limestone zone of »the Red« Istra they force their way towards the sea in relatively narrow and steep valley (Mirna and Raša), or they disappear in the ponors (the Fojba and other smaller rivers).

In the karstic area of »the Red« Istra precipitations sink direct into the underground, and terra rossa that covers here and there in thicker and thinner mantles nearly the whole surface of the limestone, enables the formation of some shorter streams, from time to time. Undoubtedly there exists also a specific form of the karstic hydrology in Istra. Under the influence of the sea-level in the underground karstic fissures of »the Red« Istra the level of the ground water is formed. In single parts it is of different above-sea-level altitudes, but generally it is slightly inclined towards the sea and the valleys of Mirna and Raša. Caves filled with the ground water are somewhere hydrologically connected among themselves, but elsewhere they are separated. This hydrological specific characteristic has been stated when exploring numerous caves with water in their ground, as well as wells and bores, where water was found likewise in different above-sea-level altitudes. Water supply of the town of Pula also uses the karstic underground water. In the south and south-west of Istria the ground water is mostly found above the sea water which is in some caverns in the lower position because of its greater specific weight. This fact is particularly important, because with the excessive usage of the sweet water we come to the saltish, and afterwards to the completely salted water.

Existence of the ground water levels in »the Red« Istra does not exclude the possibility of water to move and of separate underground streams which run below the ground water level or even below the sea-level, under the hydrostatic pressure. Numerous submarine sources along the south-western coast of Istra give us evidence of it.

Only two underground hydrological connections have been stated in the area of Istra up to now:

- a) Water that sinks in the south of the valley Optraljska Draga has its spring in the valley of Mirna in the source Bulaš.
- b) The greatest and the most important underground stream in Istra is the small river Fojba which runs through the flysch area on the surface, but at Pazin it begins its underground way in the limestone. From the magnificent opening at the bottom of the 128 m high wall from below Pazin, the ponor runs

through the 100 m long cave at the end of which there is a lake, from which the ponor continues in the unknown direction. On the 7th of June 1956, 26 kg of uranium were put into the ponor but the colour did not appear in a single source of the 7 sources in the valley of Raša, not in a single in the channel Limski kanal and in the valley of Mirna, where there were observations from the 13th of June to the 30th of July. Meanwhile data exist that the eels, thrown into the ponor of Fojba appeared in the source of the Limski kanal.

This connection with the Limski kanal is confirmed also by the fact that immediately after the heavy showers in the flysch catchments area of the Fojba the discharge of water in the sources of the upper part of the Limski kanal increases rapidly and even the sea in the channel becomes troubled.

Gorski Kotar

The most important facts causing the characteristics of the karstic hydrology of Gorski Kotar are: the mountainous relief, considerably dissected vertically, separated areas of pervious sediments (carboniferous clay-slate for the most part) and relatively well conserved wooden cover. Under these conditions numerous smaller karstic poljes originated (Lič, Vrata, Lokve, Delnice, Mrkopalj, Jasenak, Ogulin, Oštarije ad others), which are most often flowed over by periodical streams (picture 2). On the border of the poljes the streams sink and then appear partly in the sources of the adjoining lower poljes or river-valleys, partly continue direct to the remote sources at the coast or to the submarine ones.

The mountainous area of Gorski Kotar is the water shed of the Adriatic and the Black Sea catchment area. Into the Adriatic Sea waters are running chiefly in the underground and the only important surface streams Dubračina and Suha Ričina are bound to the narrow flysch zone of Vinodol and have water only in the rainy period. Collector of the Black Sea catchment area is the river Kupa to which only a small number of affluents run partly in the underground.

In the area of Gorski Kotar the following underground hydrological connections have been stated:

- a) In the eastern border of the uvala Mali Lug the ponor Malagarčića was dyed (1956) and the colour appeared in the source of Gerovčica which flows into Čabranka, the affluent of Kupa.
- b) The water that sinks in the southern border of a small karstic polje at the village Vrata, comes out again in the source of the rivulet Potkoš, the affluent of Ličanka.
- c) The Ličanka sinks in the southern border of the polje Lič and appears again in the sources at Triblje.
- d) On the Lokvarska polje the Lokvarka runs. It sinks in the east of the village Lokve and appears again in the source of the river Krupica, the affluent of Kupa.
- e) The stream Vrelce that runs on the Jaseničko polje sinks in its eastern border and comes out again in the source of the rivulet Vitunj, the affluent of the river Ogulinska Dobra.
- f) The Ogulinska Dobra sinks in the ponor Đulin at Ogulin and its underground way can be followed through the 150 m long cave at the end of which

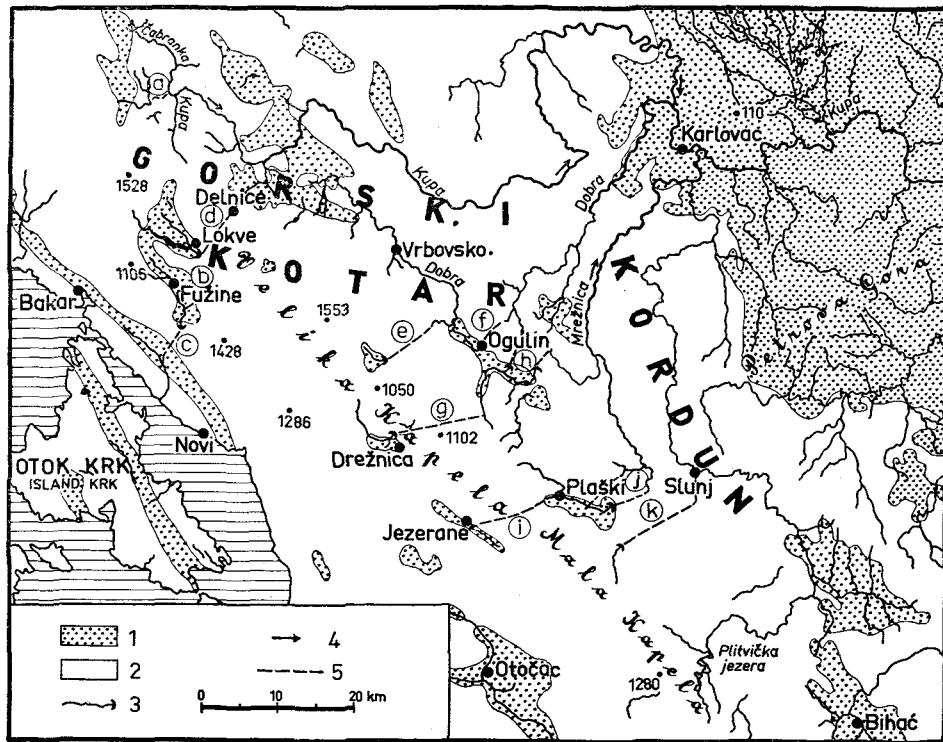


Fig. 2. Hydrological map of Gorski Kotar and Kordun. 1. Pervious rocks, 2. Carbonate rocks, 3. Surface stream with ponor, 4. Direction of the stream, 5. Underground hydrological connection

there is a siphonic lake. Water appears on the surface again in the source Gojak and continues its way as the river Gojačka Dobra, the affluent of Kupa.

g) Through the Drežničko polje, situated along the south-western slope of the Mt. Kapela in Lika, the rivulet Sušik flows. Water from the ponor in the eastern border of the polje appears in the source of the river Zagorska Mrežnica.

h) The Zagorska Mrežnica sinks in several ponors on the Oštarijsko polje and comes out again in the source of Bistrac, the affluent of Ogulinska Dobra, in the source of Tounjčica at Tunje and in the source of Kukača that also flows into the Tounjčica, the affluent of Mrežnica.

Technical intervention has considerably changed natural hydrological characteristics of Gorski Kotar, owing to the energetic use of streams. The stream of Zagorska Mrežnica has been dammed up by a barrier in the south of Ogulin and its water directed by a channel into the Ogulinska Dobra, and these both streams together lead now by a tunnel to the hydroelectric power plant Gojak.

In the west of the village Lokve the 47 m high barrier has been constructed on the river Lokvarka, and from a great artificial lake (30 millions m³) in the north of Fužine. 5 km long water-pipe leads the water forward to the southern

border of the Lič polje, and by the 4162 m tunnel the water comes from above the village Tribanj in Vinodol. The fall of water from 528 m is used for the hydroelectric power plant »Nikola Tesla«. By the help of this technical intervention the waters of the Black Sea catchment area are directed to the Adriatic Sea.

Kordun

The morphology of Kordun is characterized by the extensive mountainous plateau in limestone and dolomite in which the valleys of Mrežnica and Korana are cut into. Almost the whole plateau is covered by thicker or thinner layers of alluvia, to the mediation of which the formation of a number of dolinas is due. Owing to the part of the alluvia, filling the caves in the river beds of the streams and to the relatively small altitude of the plateau in the relation to the erosive base (100—150 m from above the valley of Kupa at Karlovac) the rivers Mrežnica and Korana succeeded to remain on the surface along their way through the karstic area of Kordun. Depending on the petrographical composition of the rocks the valley slopes of these rivers are gently or completely vertical.

On the karstic plateau precipitations sink into the underground through dolinas and flow in the underground to the valleys of Mrežnica and Korana, so these rivers do not have affluents on their way across the mountainous plateau. The only exception is the river Slušnica that flows into the Korana at Slunj. The Korana is getting its water from the Lakes of Plitvice, and the Mrežnica from the sources running in the underground through the Mt. Kapela.

Besides the underground connections of the Zagorska Mrežnica, described at the treatment of Gorski Kotar (under g and h) in the hydrological catchment area of the Mrežnica and the Korana also the following underground connections have been stated:

- i) The rivulet Jaruga flows to the Stajničko polje at Jezerana, sinks on the border of the polje and comes out again in the source of the Dretulja in the Plaščanska Zavala.
- j) The Dretulja sinks regularly in the middle part of the Plaščanska Zavala, i. e. downstream from the village Plaški and springs up again in the source of the Suvača, the affluent of the Mrežnica. When the flow increases the Dretulja flows on to the eastern part of the Plaščanska Zavala and the water, sinking in this place, appears in the principal source of the Mrežnica.
- k) The water of the rivulet Jesenica which sinks in the north-east of the village Lička Jesenica, appears again in the source of Slušnica, the affluent of Korana.

Lika

In relation with the other areas of the Dinaric karst in Croatia, Lika is characterized by great karstic poljes (Ličko, Gacko and Krbavsko polje and a little smaller Gračačko polje). The poljes are separated from one another by mountainous ridges, when the whole Lika is separated from the sea by a 165 km long mountainous massif Velebit (picture 3). Mountainous relief is very dissected. In the composition the carbonate rocks prevail, for the most part limestone, so then mountainous area is very much carstified and all the precipitations sink direct into the underground. A part of these waters pierce

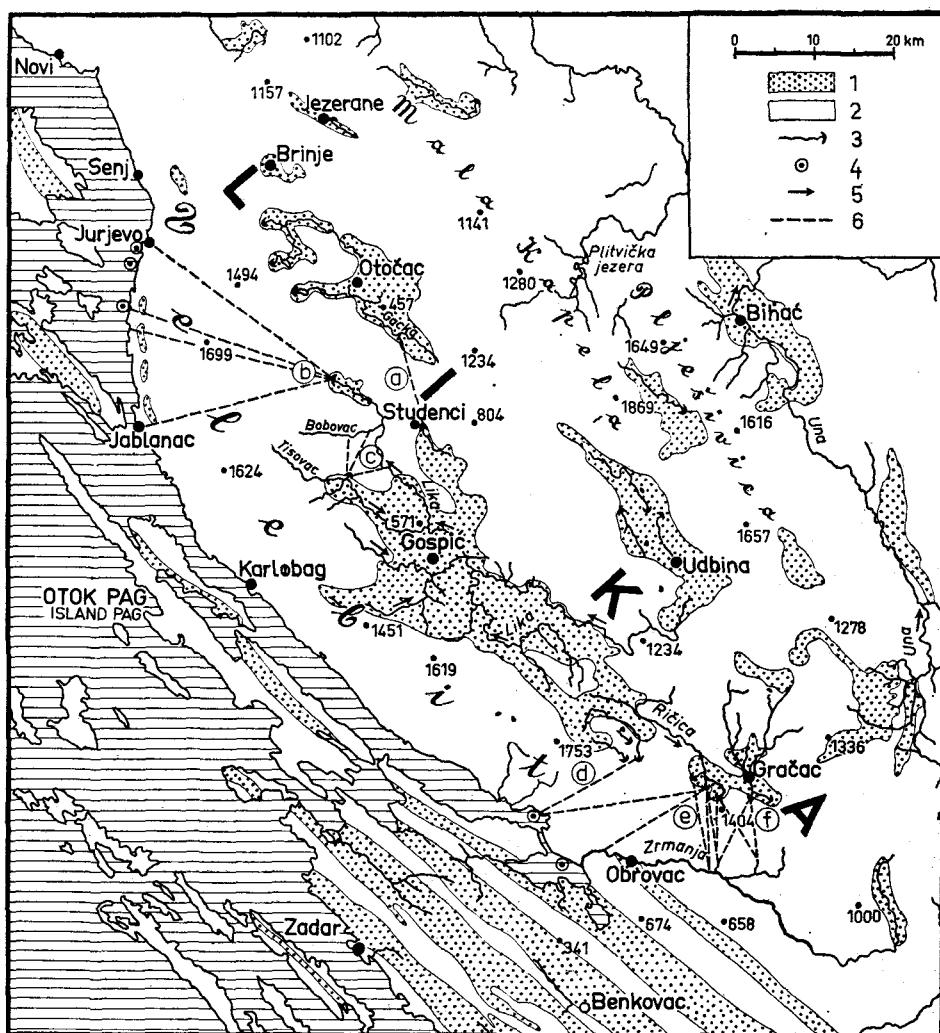


Fig. 3. Hydrological map of Lika. 1. Pervious rocks, 2. Carbonate rocks, 3. Surface stream with ponor, 4. Submarine source, 5. Direction of the stream, 6. Underground hydrological connection

on the levels of poljes, checked by the clastic river depositions. Of special importance are the pervious rocks of carboniferous, permian or lower triassic ages (mainly clayslates), that spread in interruption along the continental slopes of the Velebit. Disproportion of the total quantity of precipitations that fall on the catchment area of the poljes of Lika, in relations with the quantities that flow away in the streams of the poljes, shows us that a great part of the water flows through the underground direct to the sea.

A part of water checked by the clastic sediments of the karstic poljes after relatively short surface way, sinks in a series of ponors along the north-eastern slope of the Velebit and runs in the underground through the Velebit, then it comes out again, with the greatest part in the submarine sources in the channel of the Velebit, when the other part does not supply numerous littoral sources.

Owing to the explorations because of the energetic use of the great fall of the streams that flow across the poljes of Lika, some tracings were made and the following underground connections were stated:

a) The rivulet Mizinovac sinks at the railway station Studenci and with the dyeing (1957) it was stated that it springs up in the source Pećina in the Gacko polje.

b) The river bed of the Lika, the greatest sinking river of the karstic region Lika, is in limestone, so that in the summer part of the year it sinks in numerous ponors that can be followed upstream from the poron called Markov poron. In the rainy season all ponors are not capable to transfer the increased supply of water into the underground, so the Lika runs over its river bed and floods the Lipovo polje.

With the dyeing carried out on the 19th of May 1960 underground connection of the Markov poron with the following sources in the littoral of Velebit was stated: submarine sources at Jurjevo, a series of submarine sources at Biluča, a source in Starigrad and the source Velika Voda in Jablanac.

c) The rivulet Tisovac flows into the Otešica, the affluent of the Lika in the rainy season but when the weather is dry the whole stream disappears in the ponors at Donje Pazarište. The greatest poron called Vlatkovića jama has been dyed twice. The first dyeing took place on the 5th of December 1958 at discharge of 115 l/sec. 50 kg of fluoresceine was put into the poron. The colour appeared in 4 sources in the valley of the rivulet Bakovac and in 2 sources in the valley of Lika. The second dyeing was carried out on the 16th of April 1959 at the discharge 430 l/sec. with 450 kg of fluoresceine. In spite of the greater quantity of colour the dyed water was springing up only in two sources in the valley of Bakovac.

d) The poron Vrkljani into which the rivulet Opsenica sinks, has been dyed twice. On the 19th of August 1955 30 kg of fluoresceine was put into, but the colour did not appear in a single source of the 6 sources in the valley of the Zrmanja and of the 9 submarine sources where the observations were carried out. The dyeing was repeated on the 24th of October with 70 kg of fluoresceine but the colour appeared only in 4 sources in the east of the village Selina.

e) The stream of Ričica loses its water in several ponors but the greatest among them are ponors called Jelar, Krčić and Tučić and all these 3 have been dyed. By dyeing the poron Jelar (1955) its connection with 5 neighbouring sources in the valley of the Zrmanja upstream from Obrovac has been stated.

The colour, put into the poron Kršić (1960), appeared in all the sources in which the colour from the poron Jelar did, but besides this one also in the source Manišiņo which can be found in the same group of sources, in the source of the rivulet Dobarnica, the affluent of Zrmanja, in the source Rončević in the lower stream of Zrmanja and the submarine sources in the south of the village Selina.

By dyeing of the ponor Tučić (1959) its hydrological connection with the sources Dobarnica and Krnjaze in the valley of the Zrmanja has been stated.

f) Among the ponors in which the water of Otuča disappears the ponor Jabukovac has the greatest hydrological function. It has been dyed twice. The first dyeing was carried out the 2nd of August 1965 at discharge of 134 l/sec. 18 kg of fluoresceine has been put into the ponor but the colour did not appear at a single of the 5 observed sources in the valley of the Zrmanja. Therefore another dyeing took place on the 8th of April 1960. 50 kg of fluoresceine was put then, at discharge of 263 l/sec., but the colour appeared only in the sources Dobarnica and Krnjaze in the valley of the Zrmanja.

The Northern and Middle Dalmatia

The area of Dalmatia is distinguished by various hydrological characteristics. Northern parts, the area of the so called Ravní Kotari and Bukovica, is a place of a relatively low above-sea-level altitude, and there flysch valleys and limestone elevations with top niveaus alternate. On the bordered and relatively small flysch zones short periodical streams gather which can easily find their way through limestone into the underground.

The rivers Krka and Zrmanja have their upper parts in the streams on the pervious rocks. When running through the karstic area they are filling up the ponor in their beds with alluvia. With the raising in the littoral direction, in the post-pleistocene, the lower parts of the rivers are submerged but with travertin barriers on the river Krka (Skradinski Buk, Roški Slap and others) one part of the stream, running through the karst, is dammed up.

Continental part of the Middle Dalmatia has a much more varied relief and its morphology is highly complicated. A number of mountainous ridges extend parallel to the littoral and almost continual flysch zone separates mountainous part from the coast. Clastic sediments in the inland (mainly clay-slate of Werfenian and lower triassic ages, marls of neogene) caused the formation of numerous poljes but because of these pervious sediments, piercing of the underground waters that irrigate poljes in the south-western part of Bosnia, is also caused.

The most important hydrological collector is the river Cetina, connecting the majority of poljes which is fed by the underground streams of the great poljes of the south-western Bosnia (the Kupreško, Glamočko, Duvanjsko and Livanjsko poljes). Weathering of the pervious rocks in the upper part of the valley gives the alluvia with which the ponors in the river bed are being filled up when the river runs through the limestone and in this way also the surface stream of the Cetina downstream from the Sinjsko polje is kept. But nevertheless the Cetina loses a part of its water, through the ponors in its river bed, in this area.

Hydrological characteristics of the stream of Cetina have been changed because of technical interventions on account of the electroenergy. By the dam of Peruća the upper part of the valley is dammed up and so the accumulation of 540 millions m³ produced. Downstream from the Sinjsko polje the river bed of the Cetina is fenced and its stream directed by the 10 km long tunnel through the Mt. Mosor. The fall of water of 272 m is used for the hydroelectric power plant »Split« near Omiš. With the future construction of the hydroelectric sys-

stem of the Cetina accumulation will be made in the great poljes of the south-western Bosnia, and water from this accumulations will be directed by tunnels to the river bed of the Cetina and to the hydroelectric power plant »Split».

On the hydrological catchment area of the Cetina most extensive researches were carried out, and its results show us the great complexity of the underground moving of water in karst.

Besides the catchment area of the Cetina the following underground water connections have been stated in the hydrological area of the Middle Dalmatia:

a) Across the Imotsko polje the stream Vrlika runs. It sinks in the south-eastern border of the polje, but appears again in the source of Tihaljina.

In order to prevent floods close to this nearest hydrological connection, a tunnel is dug out.

b) On the east border of the Imotsko polje, by the village Grude, a single rivulet runs. Its water sinks on the south border and appears again in the source Klokun in the valley of Tihaljina.

c) Across the Ljubuško polje the Tihaljina runs under the name of Mlada. But here a small stream, sinking in 3 great ponors in the polje Rastok, in the south-east from Vrgorac, secedes from it. All the 3 ponors supply with water the sources on the border of the lake Vrgočko jezero. Though there are 5 sources of the same capacity near by, the majority of water comes out in a single source called Butina.

d) To the lake Vrgočko jezero the stream Matica flows and sinks in numerous ponors on the south-eastern part of the polje. With the dyeing of the ponor Staševica its connection with 5 different sources along the coast and in the lower part of the valley of the river Neretva has been stated.

The lake Vrgočko jezero is joined by a tunnel to the lakes Bačinska jezera near the village Ploče and thus floods are prevented.

Conclusion

In the area of the Dinaric karst which is in the Socialist Republic of Croatia or in connection with it, we have been stating by dyeing the underground connections in 39 ponors up to the present moment. In this number a relatively small part of all the ponors that could be find in this area is comprised. We do not know the exact number but we might suppose that there are more than thousand of them. However the majority of the greatest and the most important ponors in Croatian area is comprised in the dyeings up to now. Many a ponor was dyed twice and even more times.

By dyeing the numerous underground hydrological connections have been stated exactly, but it would be wrong to think that the water from the dyed ponors really appears only in those sources that were stated by the observations of colour. It is also uncertain whether the stated hydrological connection ponor-source exists constantly. The results of the repeated dyeings of the same ponor show us that it is extremely rare that the colour from a ponor always appears in the same source. Every stated underground connection corresponds to momentary hydrological conditions but the future hydrological conditions depend on constant changes and so do the underground connections.

These changes are for the most part insignificant and without greater practical meaning. But sometimes differences in the hydrological conditions are

so great that the underground streams flow off into the area of various catchments.

In most cases a relatively small percent of the colour, put into the ponors, appears in the sources, and this leads us to the conclusion that a significant part of the water that sinks, does not have the surface sources, but flows direct to the sea.

Water in the underground moves with different velocity that cannot be stated as we do not know the real length of the underground stream. In relation with the air distance between the ponor and the source, velocities differ from 0.95 cm/sec. to 16 cm/sec.

Great oscillations of concentration of the colour in almost all sources show us the extremely complex circumstances in the underground water streams as well.

At the stated underground connections in the area of the Dinaric karst in Croatia, extremely diverse reciprocal relations of the underground streams have been remarked. Very often a stream that sinks in a ponor ramifies in the underground and then pushes out in several sources, but thus also the streams of the different ponors join themselves in the underground and push out in a single source. Contrary to this neighbouring underground streams very often run completely independently and even cross on different levels in the underground.

All these besides many other characteristics of the underground streams in the Dinaric karst, show us the extreme complexity of the karstic hydrology, and render impossible to look upon the process of the underground circulation of water mechanically, demanding a universal and systematic researches of every karstic stream at different hydrological conditions.

BIBLIOGRAPHY

Gjurašin, K. (1943): Prilog hidrografiji krša, Tehnički vjesnik, br. 1—2, Zagreb.

Herak, M. (1957): Geološka osnova nekih hidroloških pojava u dinarskom kršu,

Drugi kongres geologa Jugoslavije, Sarajevo.

Herak, M. (1962): Tektonska osnova hidrogeoloških odnosa u izvorišnim područjima Kupe i Korane (s Plitvičkim jezerima). Referati V savetovanja geoloških društava FNRJ, deo III. Beograd.

Sources :

Tehnički izvještaji o bojenju ponora, elaborati u arhivu Hidrološkog odjela Hidrometeorološkog zavoda Hrvatske, Zagreb, 1954., 1964. god.

Ispitivanje podzemne veze ponora u Homeru (Lokve) i izvora Kupice kraj Male Lesnice, elaborat Higijenskog zavoda Kotara, Rijeka, 1958.

Sadržaj

HIDROLOŠKE OSOBITOSTI DINARSKOG KRŠA U HRVATSKOJ S POSEBNIM OSVRTOM NA PODZEMNE VODNE VEZE

Nakon drugog svjetskog rata u Dinarskom kršu vrše se opsežni hidrotehnički zahvati. Energetskom i ostalom korišćenju voda u kršu nužno prethode raznovrsna istraživanja. Za upoznavanje osobina krške hidrologije osobito značenje imaju brojna bojenja ponora, kojima su utvrđene njihove podzemne veze s vrelima.

Do sada je u hrvatskom dijelu Dinarskog krša bojenjem utvrđivana veza na 39 ponora. Time je obuhvaćen relativno mali deo svih ponora u ovom dijelu Dinarida, ali su unatoč tome postignuti značajni rezultati. Egzaktnim podacima omogućeno je

bolje sagledavanje karakteristika podzemnog kretanja vode i eksperimentalna metoda postaje osnov upoznavanja hidrologije krša.

Na priloženim skicama (slike 1—4) uneseni su osnovni rezultati dosadašnjih bojenja. Ponovljeno bojenje nekih ponora redovito je dalo drugačije rezultate podzemnih vodnih veza, pa do sada utvrđene veze ponor—izvor ne treba smatrati isključivima, već rezultatom specifičnih hidroloških uvjeta u vrijeme kada je izvršeno bojenje.

Uzevši u cijelini dosadašnja bojenja ukazuju na vrlo velike raznolikosti podzemnog kretanja vode u pojedinim područjima obzirom na specifične petrografske, geološke, tektonske, orografske, klimatske i ostale uvjete.

Utvrđeni su vrlo raznoliki međusobni odnosi podzemnih tokova. U podzemlju se tokovi račvaju, spajaju, ukrštaju na različitim nivoima i slično. Unutrašnjošću krša tokovi se kreću različitom brzinom, obojena voda pojavljuje se na vrelima u vrlo raznolikim koncentracijama boje i drugo.

Sve ove i mnoge druge osobitosti podzemnih vodnih veza u Dinarskom kršu upućuju na vrlo veliku složenost hidrologije krša, onemogućuju šabloniziranje procesa podzemne cirkulacije vode i iziskuju svestrana i višestruka istraživanja svakog krškog toka u različitim hidrološkim uvjetima.

VIKTOR RŽEHAK, Sarajevo

SPELEOLOGICAL CURIOSITIES OF THE BOSNIAN AND HERZEGOVINIAN KARST

Bosnia and Herzegovina is among the Yugoslav republics where the Karst areas take nearly a half of the total area, so it is natural that they represent a vast profusion of speleological curiosities, mainly in caves. According to the explorations up to the present time in Bosnia and Herzegovina might exist about 2,000 caves. The bigger part is still quite unexplored so that the area represents a future treasury for speleologists, geomorphologists, geologists, biologists and other experts for karst. Besides the caves there is a big number of various other objects of speleological nature on the area or those being in tight connection with the branch. Such are many gorges with caves and swallow holes (ponors), springs, lakes and other objects of nature. Here is mentioned only a limited number of the objects being generally of greater importance for the science and tourism.

The best known of all is the Vjetrenica cave (1) in Zavala near the Popovo polje with its 7503 meters of underground channels, several lakes, halls and a number of very important natural adornments. Among hydrological objects a special place takes Malo Jezero (Small lake) 1050 meters from the entrance with big white overflow, called »Organ« and Veliko Jezero (Big lake) 1285 meters from the entrance, that is 250 meters in length. On the right of the lake there is a stalagmitic cone pending in water and this is with no doubt the most attractive scenery in this part of the cave. The biological explorations of the cave showed a number of very important representatives of the cave fauna, some of them being found es endemical only in the Vjetrenica cave. These are *Travunia vjetrenicae* and *Neglima troglodytes* Roew and *Neobisium vjetrenicae* Hadži.

The second by its importance, specially for tourism is now the Biambarska cave (2) near Srednje, on the road Sarajevo—Tuzla. Almost 15 times smaller (the length of the main channel 392 metres, and the rest 418 metres), the cave with 4 very interesting halls represents, no doubt, an unusual underground beauty and natural rarity. A special place takes the »Music hall« named so by its extraordinary acoustics, with many adornments and a small live spring. Around the cave there is a virgin forest with deciduous and coniferous trees, with an artificial lake and a number of mountain meadows, springs, and other natural curiosities. The unusual sceneries in the vicinity of the cave, the Djuričina cave (3) at a distance of 500 metres and other objects will appear very attractive for all the visitors. At Biambara is planned the erection of tourist-recreation cen-

tre, considering that Sarajevo and other bigger industrial places are not far off and the existence of good communication with other parts of the country.

The next by its importance and attractiveness is the Hrustovača cave (4) at Sanski Most in Bosnia and Herzegovina, well known by its findings from the prehistoric period. A specific value represent the white overflow and columns in shape of stalagmitic cones having a very attractive appearance.

The cave Propastva (5) at Višegrad with its cave formations is also an especial tourist attraction. At the time it is in the stage of exploration.

A quite distinguished appearance represents the Ledenica cave (6) at Bosansko Grahovo, where in individual stalagmites and stalactites occur various crystals of unusual glitter and beauty.

Very important by its origin and its length is the cave Čukovec (7) at the Vidovo spring in Skender Vakuf.

The Subotića cave (8) at Rastuša (Teslić) is abundant in cave formations but it is still unsufficiently explored.

There is a number of caves in the Nevesinjsko polje at Biogradci and Kifino Selo. They are Vranjača (9), Novakuša (10), Snjetica (11), Provalija (12), Rušpija (13), Banja Stijena (14), and they are of hydrographical interest.

The caves Dusina (15) at Fojnica, Vilinska (16) in Šebešić, Brateljevići (17) (Kladanj), Glavićina (18) in Borija (Kalinovik), Rakovac (19), Zobnjak (20) in the Zelengora mountain, Vilinska (21) in Gornje Čićevo, the cave in Ilijino brdo (22), Čeljina cave (23) in Pridvorice, Oberske caves (24) at Kreševo, Mokra (25) and Suha Megara (26) in Rakovac (Maglaj), in Srednja Jurkovica (27) Savino Brdo (Bosanska Gradiška), in Lomnica (28) (Šehovići), Medjugorska (29) in the Šator mountain at Bosansko Grahovo are all interesting from the scientific and tourist point but they are difficult to reach.

The caves from which sometimes spring big and small rivers are of special interest, and in hydrological view they often represent the areas with very rare fauna. Here should be first mentioned the cave with the spring of the Buna river (30) in Blagaj at Mostar. Similar is the cave at the source Dabar (11) at Sanski most, the right arm of the Pliva river spring (32) at Jajce, the Crno Vrelo (Black spring) (33) on the river Unac at Martin Brod, the spring of the river Žuča (34) in Ribnica at Kakanj, the spring Janj (35) at Šipovo (Jajce), the Govještica cave (36) in the Prača canyon at Mešići, the spring of the Stavnja river (37) in Vareš, cave spring Duman (38) at Livno and others.

Many of the caves in karst are accessible only during the summer and in winter they give water in big quantities that floods the poljes. Here should be mentioned the spring of Tučevac (39) with the cave near Trebinje, the spring Šumet (40) at Bugovina (Trebinje), Pridvorice (41) at Kalinovik, Mračnica (42) in the Dinara mountain at Livno, Ljelješnica on the Dabarsko Polje (43) and many others.

The caves Ševrljica (44) and Zelena (45) in Blagaj at Mostar are very important natural objects for their archeologic findings and they are under special care, i. e., under protection and observation.

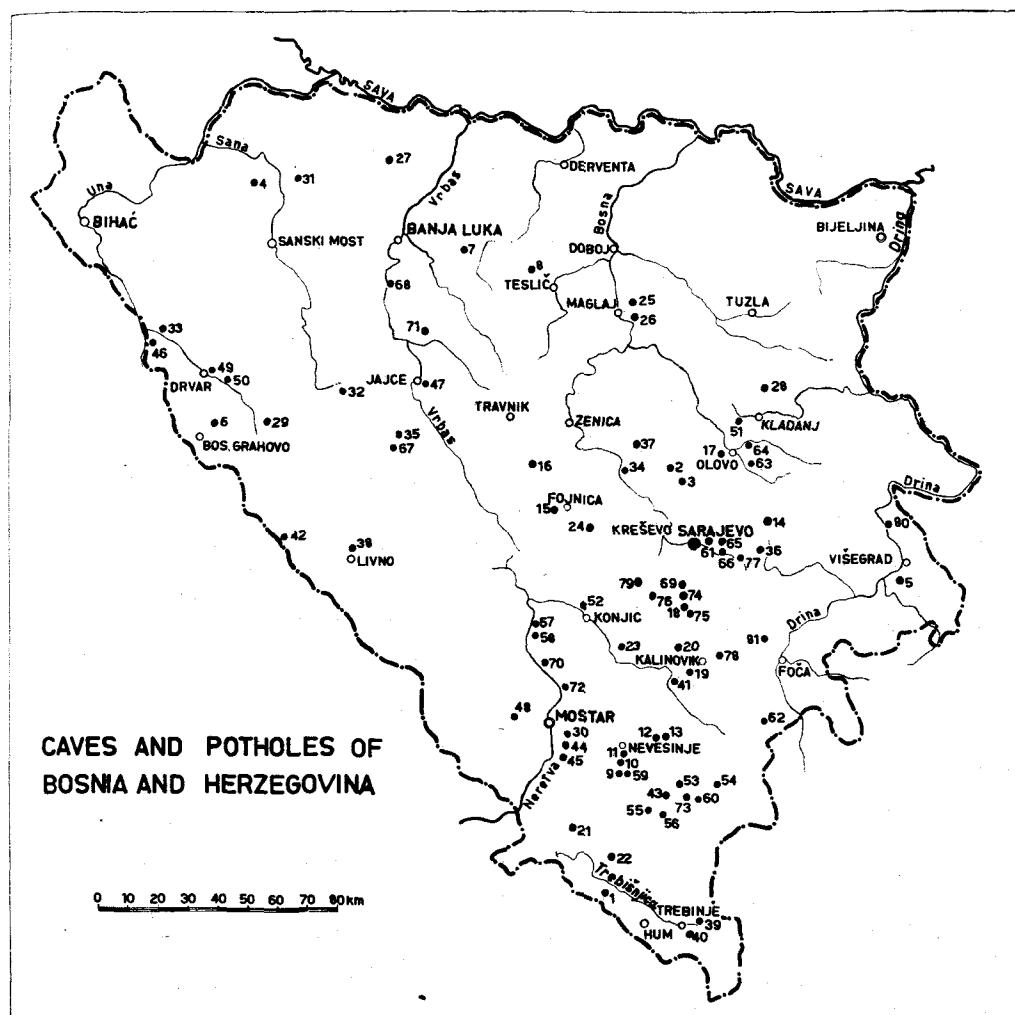
Specially distinguished are the travertin (tuff) caves in the complex of the big travertin areas on the Una waterfalls in Martin Brod (46), on the Pliva in Jajce (47) and on the Kravica (48) (Trebišat).

Up to the present time we have evidence of 4 Tito's caves that are under protection: in Drvar (49), Bastasi (50), Plahovići (51) (Kladanj) and the Zabrdjanska cave (52) above Glavatićevo (Konjic), well known from the Liberation War (1941—1945).

In the complex of big karst poljes there are quite a number of caves with interesting hydrography. They are Velika jama (Big Cave) (53) in Fatnica, Ponikva (55) and Visibaba (56) in the Dabar polje.

Besides the caves in the karst of Bosnia and Herzegovina there is a number of other objects of speleological interest such as big seasonal or permanent karst springs, swallow holes (ponors) and waterfalls.

Among the most important are the springs Perutac (57) and Mliništak (58) at the foot of the Prenj and Čvrsnica mountain, in which vertical cliffs are



hidden numerous caves, sink holes (ponors), icy stalagmites, and other peculiarities of karst. The sink hole (ponor) Zalomka (59) at Biograd (Nevesinje) is of special interest because it causes big floods resulting from its small capacity. Further, Obod (60), an estavell in the Fatničko polje having a remarkable quantity of water in winter and a huge pit with a cave in the summer; Vilino spring with a cave in the Černičko polje and others.

The waterfall Skakavac (61) 93 metres in height at Sarajevo and Skakavci (62) 70 metres in height in primeval forest Peručica, in the complex of National park Sutjeska, with tuff strata represent also very important speleological and tourist attractiveness.

The river canyons are very often treasures of numerous speleological objects. Among well known gorges are Ujča (63) at Kladanj, Čude (64) at Oovo, Gornja Miljacka (65) between Pale and Kozja Čuprija (66), on Janje (67) at Jajce, on the Vrbas (68) between Banja Luka and Jajce, Sijeračke Stijene (69) at Kalinovik, on the Neretva (70) between Prenj and Salakovac (72), Sokoline on the Ugar (71) and others.

Among numerous old or attractive sink holes (ponors) we should mention: Zvonoša (73) a pit 220 metres in depth, between the Fatničko and Dabarsko polje, Velika Tegara (74) at Kalinovik, Pejov ponor (75) and Mahmut pit (76) at Kalinovik.

From the tourist point of interest there are attractive speleological objects on rivers such as Stone arch (77) on the Miljacka at Dovlići (Sarajevo), Samar (78) on the Bistrica river at Kalinovik, basins on the river Željeznica (79) at Trnovo and Veliki Buk (80) on the Drina river at Višegrad.

Stone pyramids at Foča (81) as a result of erosion represent very attractive speleological and tourist objects, so a forming of smaller geologic-biological reservate is planned on that area.

The mentioned big number of natural objects — speleological importances of the karst — represents first of all very important areas for scientific explorations. Not only speleological, geological and geomorphological but above all biological explorations will show the numerous peculiarities of the underground so that the picture of the area will be completed year after year.

Many of the above described speleological objects are also districts and areas of touristic interest. Here is specially to be mentioned the Vjetrenica cave, Biambara, Hrustovača and Banja Stijena on the Prača river, big karst springs and waterfalls on the karst rivers and the canyon areas as well.

Here is described only a part of the existing objects and these are first of all objects where the visit of members of Speleological Congress is planned as well as the objects in nearer surroundings and objects that might be of interest for individual visit after the Congress.

Sadržaj

SPELEOLOŠKE ZNAMENITOSTI BOSANSKO-HERCEGOVACKOG KRŠA

Kraške površine zauzimaju u Bosni i Hercegovini gotovo polovinu cijelokupnog areala. Veći dio pećina — prema dosadašnjim istraživanjima bi ih moglo biti u ovoj republici oko 2000 — je još potpuno neistražen. Autor daje u svom članku pregled pećina i raznih drugih objekata kraške prirode u Bosni i Hercegovini, a poglavito onih, koji su općenito od većeg značaja za nauku i za turizam. Najpoznatija od svih je pećina Vjetrenica u Zavali pored Popovog polja (7503 m podzemnih kanala), zna-

menita ne samo po prostranim dvoranama, jezerima i pećinskom nakuću nego i po brojnim endemima pećinske faune. Mnogo manja, a značajna za turizam, je Biamsbarska pećina kod Srednjeg, na putu Sarajevo—Tuzla. Kao arheološko nalazište iz predistorijskog doba valja spomenuti Hrustovaču kod Sanskog Mosta, a kao budući turistički objekat pećinu Banju Stijenu na reci Prači. Pod zaštitu su stavljene četiri Titove pećine: u Drvaru, Bastasima, Plahovićima (Kladanj) i Zabrdjanska pećina više Glavatićeva (Konjic), poznate iz narodno-oslobodilačkog rata. Imena ostalih značajnijih pećina u Bosni i Hercegovini razvidna su iz engleskog teksta, a njihov brojevima označeni položaj iz dodane pregledne skice, gdje su upisana i veća kraška vrela, riječne klisure, ponori i drugi kraški objekti.

BORISLAV PETROVIC and BOŽIDAR PRELEVIĆ, Sarajevo

HYDROLOGIC CHARACTERISTICS OF THE KARST AREA OF BOSNIA AND HERZEGOVINA AND A PART OF DALMATIA WITH SPECIAL CONSIDERATION OF UNDERGROUND WATER CONNECTIONS

The karst area of Bosnia and Herzegovina comprehends the area enclosed with the border towards Montenegro in the east, towards Croatia in the south-west, west and north-west, and roughly along the line Sanski Most—Jajce—Sarajevo—Foča in the north-east. This area, however, does not represent a unity from the hydrological point of view either. The undivided hydrologic area represents the karst area encircled by lines: Gruda at Herceg Novi—Piva springs—Volujak—Zelengora—Lelija—Treskavica—Bjelašnica—Bitovnja—Raduša—Jajce—Mrkonjić Grad—Sana springs—Šator mountain—Kozjak—Svilaja—Omiš.

Therefore, the hydrologic characteristics of this area will be considered here with a special regard to underground water connections, because the exploration of the area has been performed as for an undivided area.

The karst area is distinguished by its karst phenomena such as cracks, depressions, funnel shaped holes, caves, pits, ponors (swallow holes), springs and other. A special feature are the numerous karst poljes.

In the tertiary there occurred great tectonic disturbances of the earth crust in the zone of high karst, what resulted into remarkable folding of earth parallel to the Adriatic coast of to-day.

So the mountain chains of the area, as well as the valleys between them, were given a so-called »dinaric« direction of stretching. The tectonic disturbances (folding, failures, shifting, raising and sagging) had created such a morphological form of the terrain that the same gradually rises from the sea coast to the inland up to the highest mountain summits such as the Prenj, the Bjelašnica, the Čvrsnica and other with over 2000 meters above the sea level. Between the mountain chains, however, going from the inland towards the sea there are depressions in steplike arrangement gradually descending, and later on through action of tectonics, water and flooding they turned into the present karst poljes, where also a »dinaric« direction of stretching is prevailing. Perpendicular to the dinaric direction of stretching is cut only the Neretva river valley and partly the Cetina river valley.

The enclosed map contains all the important karst poljes of East and Western Herzegovina, Western Bosnia and a part of Dalmatia, where the exploration of underground water was performed.

The poljes are distinguished here as the most outstanding karst phenomena being unique in the world, and they are very important for the climate, water flows and for life of people in the district.

It is known that the height of rainfall increases with the nearness of the sea and with the height above the sea level. The area of East and Western Herzegovina as well as a part of seaside zone is placed near the sea so that it is one of the richest areas in rainfalls, with average precipitation of 1500—1800 m/m a year, and even over 5000 m/m a year at some places. These are enormous quantities and represent together with warm sun of the district an important factor for agriculture, and from energetic point of view they represent a big energetic potential, because the surface flows occur on relatively high elevations. An inconvenient fact is that the precipitations are not uniformly distributed during the year, so the richest period is in the early spring and during the late autumn, and in summer there are 4—5 months totally dry.

This is the prevailing factor for the climate of the district characteristic for its sunny and dry summers causing lack of water in the district through several months. So a paradox appears that the district most rich in precipitations suffers from lack of water most of all.

The karst area of the East and Western Bosnia with exception of the Piva springs, the Pliva springs and the Sana springs, belongs to the Adriatic sea. If we look into the enclosed hydrologic map of the district, it is easy to see that the only surface flows of permanent character are the Neretva river and the Cetina river with their tributaries.

Only the Neretva river in its upper flow has a part of catchment area where the topographic borders fall together with the run-off border towards the river.

Through the Neretva river drains approx. 370 m³/sec of water towards the sea, the value being an average flow at the mouth. Through the Cetina river drains a quantity of approx. 115 m³/sec. The average water flows towards the north are as follows: the Piva springs approx. 30 m³/sec., and Sana springs approx. 10 m³/sec. The rest water of the district flows through the underground directly into the sea.

If we assume that the average rainfalls of the district are 1650 mm a year the North are as follows: the Piva springs approx. 30 m³/sec., and Sana springs of the district amounts to 19.450 km², the calculation shows an average fall of 1016 m³/sec of water in this area. With run-off coefficient of 0,7 the drainage water amounts to 712 m³/sec. From that, through the Neretva river, Piva, Pliva and Sana springs and through the Cetina river drains 555 m³/sec, and the rest water amounting to 157 m³/sec drains underground towards the sea.

The supposed run-off coefficient is rather high. The more real coefficient to be supposed is 0,6 or 0,65, but the quantity of 157 m³/sec of water draining towards the sea along the stretch Gruda—Omiš beyond the Neretva and Cetina river is also real. We come to a conclusion that the rainfalls are in fact bigger than those registered. This statement has been proved as exact with a number of examples during estimating of water of individual confluences, for instance of the Neretva, Trebišnjica and Rama rivers, because the registration of precipitations was partly incorrect due to unfavourable conditions for placing of meteorological stations.

So the Neretva river is the most expressive and the biggest surface flow of the district. It is so because it cut its bed deep into the terrain and as the lowest erosion base it receives underground water from the vast karst areas. Its powerful tributary is the river Rama, which is formed of three big karst springs.

The Cetina river is far less in relation to the Neretva river, mainly because its bed is not cut so deep.

The biggest among the sinking flows is the Trebišnjica river. It is in the same time one of the biggest sinking rivers in the world. The Trebišnjica springs have the average discharge of approx. $41 \text{ m}^3/\text{sec}$, and in maximum even over $200 \text{ m}^3/\text{sec}$. This is no doubt the biggest spring discharge known. The Trebišnjica at Trebinje after course of 33 km has the average discharge of approximately $100 \text{ m}^3/\text{sec}$. From there along the Popovo polje it sinks in to numerous ponors (swallow holes) towards the sea and towards the river Neretva.

Among well known sinking flows in the Eastern Herzegovina we mention Mušnica in the Gatačko polje, having in Srdjevići before ponor an average discharge of $9 \text{ m}^3/\text{sec}$ and Zalomka in the Nevesinje polje with approx. $11 \text{ m}^3/\text{sec}$ of average discharge before the ponor Biogradci. Specially distinguished is the Ključka river in the Černičko polje springing out of the Vilina cave and sinking after only 200 meters of surface flow into the Ključki ponor, so that it is probably the shortest surface flow in the country.

The well known sinking rivers of the Western Bosnia are the Mrtvica river and the Milač river in the Kupres polje, the Plouča river in the Livno polje, the Ričina river in the Buško Blato, the Pujica river in the Duvanjsko polje, and the Vrlika river in the Imotsko polje in Dalmatia.

There has already been mentioned that karst poljes come after folding and failures as well as after water action, being a distinguished phenomenon of the district. The most important poljes in the Eastern Herzegovina on the highest horizon are Gatačko and Nevesinjsko polje, on the middle horizon are the Dabarsko, Fatničko, Bilićko, Ljubimir and Ljubinsko polje, on the lower horizon is the Popovo polje.

In the Western Bosnia the most important on the highest horizon are the Ku-preško, Glamočko and Duvanjsko polje, on the middle horizon are the Livanjsko polje with Buško Blato, and on the lower horizon are the Sinjsko and Imotsko polje in Dalmatia, the Mostarsko and Ljubuško polje in the Western Herzegovina and others.

All these poljes are being flooded more or less during a certain period of the year, due to fact that they are enclosed. The flooding of poljes appears because the majority of them is covered with flysch that is impermeable not only in verticale but also represents a barrier for water comming underground from the upper horizons.

The flysch causes the appearance of springs at the upper north-eastern edge of the poljes, and ponors occur mainly at the south-west, downstream edge. During the period of abundant precipitations the discharge to poljes through springs and surface flows is bigger than the capacity of ponors at the other side, what results into seasonal longer or shorter floods. So there are flooded the Gatačko, Nevesinjsko, Dabarsko, Fatničko and Popovo poljes in the Eastern Herzegovina during a longer period, while the Ljubomirsko and Ljubinsko polje are

Tabelarni pregled glavnih ispitanih objekata

Tabular statement of principal investigated swallow — holes

Br. No.	Naziv ispitivanog objekta — Name	Ispitivanje vršeno sa	Datum bojenja	Utvrdena veza sa Established connection with	Bojeni vršeno pri vodostaju	Brzina kretanja vode (cm/sec)	Gradijent pada
Područje (region of) Nevesinjskog polja							
1	Zlatac	Na-fluorescein	26. III. 1965	Buna	srednje niske	4,40	0,037
2	Zdrjelo	Na-fluorescein	4. XII. 1961	Buna	4,40 niske	0,046	0,031
3	Zalomka kod Kifina sela	Na-fluorescein	8. VI. 1964	Buna	4,20 niske	0,031	0,028
4	Zdrebanič — Budavajve	Na-fluorescein	1. IV. 1961	Buna	3,60 niske	0,037	0,037
5	Bušotina u Žiljevu	Na-fluorescein	3. III. 1964	Buna	3,20 niske	0,0385	0,0385
6	Biogradci	Na-fluorescein	17. VI. 1957	Bunica	0,15 niske	42,70	0,0385
7	Mlinica — Slatko polje	Na-fluorescein	5. I. 1963	Bunica	srednje 0,86	0,035	
Područje Gatačkog polja							
8	Jama — Srdjevići	Na-fluorescein	31. VIII. 1958	Izvor Trebišnjice	niske visoke	0,75 7,05	0,0147 0,025
9	Turčinovac	Na-fluorescein	19. X. 1964	Obob, Baba, Izvor Treb.	visoke	0,0163	
10	Dobrejška pecina — Ljeđ. polje —	Na-fluorescein	22. XI. 1961	Vilan izvor, Obod, Baba, Izvor Trebišnjice	visoke	9,75	
11	Bobotovo groblje —	Na-fluorescein	15. IV. 1963	Izvoriste Pive	srednje	1,10	0,026
12	Krstac	Na-fluorescein	29. V. 1964	Izvoriste Pive	srednje	0,50	0,025
13	Jasovica	Na-fluorescein	21. II. 1964	Izvor Trebišnjice	visoke	10,0	0,0185
	Ponor Ključke rijeke	Na-fluorescein	18. XI. 1961	Baba, Obod, Izvor Treb.	visoke	12,0	0,0185
Područje Dabarskog polja							
14	Ponor — Lukavačko p.	Na-fluorescein	18. V. 1961	Vrijelka, Stušica	niske visoke	1,45 0,60 8,45	0,076 0,020 0,020
15	Ponikva	Na-fluorescein	14. V. 1955	Bregava	visoke	5,47	0,0178
16	Kutske Jame	Na-fluorescein	15. XII. 1955	Bregava			
			27. III. 1956	Bregava			
			13. IV. 1960	Bregava			

Područje Fatničkog polja

17	Obođ	Na-fluorescain	Ljeto 1961	Trebišnjice		0,008
18	Ponor pred Vel. Pečinom — 4 abc	Na-fluorescain i sporama	1958, 62, 64	Izvor Bregave	visoke	
19	Ponor br. 5	Na-fluorescain i sporama	5. XI. 1959	Izvori Trebišnjice i Bregave	visoke	10,7
20	Pasmica.	Na-fluorescain	21. III. 1962 1. I. 1955 27. II. 1958	Izvori Trebišnjice Trebišnjica, Čepelica	visoke	7,42 0,00844

Područje akumulacionog basena »Mirišek«

21	9 bušotina po JZ robu akumulacije	Na-fluorescain	1958—1963	Sve gravitiraju ka koritu Trebišnjice do Grančareva		
22	6 ponora i estav. u koriitu Treb. do Gr.	Na-fluorescain	1955—1963	Sve izbjegaju u koritu Rijeke do Grančareva		

Područje Trebiňja

23	Ponor — Ljubiml polje	Na-fluorescain	18. XI. 1960	Estavale oko Trebiňja	srednje	6,36
24	Estavala u Gorici	Na-fluorescain	26. VIII. 1961 25. VII. 1964	Rasovac, Ombla Zavrle, Robinzon polica na Bunarini	niske	0,28; 1,13; 0,44; 0,49
25	Građina — Trebiňje	Na-fluorescain	22. IX. 1959	Zasad kod Trebiňja	niske	0,0013; 0,0013; 0,014; 0,014
26	Pridvorci	Na-fluorescain	29. VII. 1956	Ombla	male	0,0135
27	Geljev most	Na-fluorescain	16. VIII. 1956	Ombla	srednje	0,016
28	Trnje — Mokro polje	Na-fluorescain	25. II. 1957	Duboka Ljuta (Robinzon)	srednje	0,016 0,025

Područje Popovog polja

29	Mlinica Sedlari	Na-fluorescain	25. II. 1958	Ombla	srednje	6,1
30	Provajila	Na-fluorescain	20. V. 1958 23. III. 1962	Bistrina, Deransko Blato Janjska, Bistrina	niske visoke	0,53; 0,49; 6,0; 9,30
31	Doljašnica	Na-fluorescain	1. VI. 1960	Deransko i Svitavsko Blato	visoke	0,017; 0,015
32	Ponikva	Na-fluorescain	20. II. 1962	Donja Neretva i Dunta Dolj	srednje	5,4; 4,3 8,0; 1,4
33	Konac — Ljubinje	Na-fluorescain	22. XII. 1960	Boja nedovoljno sigurno utvrđena kod Strujčića u Popovom polju	visoke	0,016 0,0115; 0,016 0,0225

Područje Kalinovika

34	Jelatića	Na-fluorescain	7. V. 1964	Bistrica — Drina	niske	0,0121
35	Ponor — Kalinovik	Na-fluorescain	5. IX. 1962	Krupac — Gornja Neretva	niske	0,62

Br.	Naziv ispitivanog objekta — Name	Ispitivanje vršeno sa	Datum bojenja	Utvrdjena veza sa Established connection with	Bojenje vršeno pri vodozatu	Brzina kretanja vode (cm/sec)	Gradijent pada
Područje Rame							
36	Orašac	Na-fluorescein	1955	Krupac — Rama	srednje		
Područje Kupreškog polja							
37	Milač	Na-fluorescein	4. VIII. 1951	Izvor Bistrice	niske	11,6	0,0175
38	Mrtvica	Na-fluorescein	8. VI. 1960	Pliva	niske	1,51	0,022
Područje Duvaniskog polja							
39	Kovač	Na-fluorescein	26. X. 1961	Vrelo Ričina	srednji	5,8	0,031
Područje Buškog Blata							
40	Stara Milinica	Na-fluorescein	19. V. 1960	Sinjsko i Hrvatsko polje	srednje niske	4,63	0,0175
41	Proždrkoza	Na-fluorescein	20. XI. 1969	Sinjsko polje	srednje	2,90	0,0233
Područje Livanjskog polja							
42	Opaki ponor — Plovutia	Na-fluorescein	8. VI. 1959	Hrvatsko i Sinjsko polje	niske	0,81	
43	Čaprazilje — Jaruga	Na-fluorescein	21. IV. 1958	Izvori Čelina	srednje	9,26	0,0194
Područje Glamotčkog polja							
44	Dragnić	Na-fluorescein	22. XI. 1960	Vrelo Bistrice	srednje visoke	0,32	0,0243
45	Štukcani	Na-fluorescein	1. VI. 1961	Ljevo vrelo Plive	niske		
46	Cardak	Na-fluorescein	30. III. 1957	Vrelo Plive i Sane	srednje	3,32; 2,70	0,0161
47	Minija	Na-fluorescein		Vrela Sane	niske		0,057; 0,0393
Područje Imotsko-ljuboškog polja							
48	Mrke Stiene	Na-fluorescein	15. VI. 1955	Klokun — Tihaljina	niske	4,1	0,011
49	Golič Jana	Na-fluorescein	10. VII. 1957	Butina i Kruška Matica	niske	2,3	0,0043
50	Bezdan	Na-fluorescein	13. IX. 1954	Butina — Matica Rastočka	srednje	1,9	0,0027
51	Kur kamen	Na-fluorescein	25. IX. 1954	Butina — Matica Rastočka	srednje	1,2	0,0715
52	Kabić	Na-fluorescein	15. VII. 1959	Vrela na Cetini V. Ruminia, V. Ruda, Vrulja kod Dupca	niske		

scarcely under water. The Livanjsko polje and Buško Blato in the Western Bosnia are also flooded for longer period. The Imotsko polje in Dalmatia is flooded mainly only in its upper part. The other poljes are flooded for a shorter period.

The karst poljes are the exclusive agricultural cultivated soil of the district, and they are therefore the only possibility for the existence of people in the karst. The surface area that could be cultivated to the total surface area, is only a small percent, so the district is very poor. But this soil is very rich and fertile and it could support people, should it be possible to use it all the year long. The frequent and long flooding of big parts of these areas makes them unsuitable to be used during the whole year and they can be used only for spring cultures and even that not every year.

In order to make use of big energetic potential of water in the district, as well as the fertile soil under the rich sun, after the second World War and specially after the year 1955 there have been performed comprehensive researches of water flows together with planning of their energetic and reclamation utilization. Some objects of that kind have already been finished and the others are in stage of realization, and many of them are being studied, designed and explored.

Here we are giving some data on investigations of underground flows in the area, as well as their results and characteristics. The explorations were performed in Herzegovina by the Energoinvest for the power system on the river Trebišnjica, on the rivers Neretva and Rama for their power system, and on the Pliva river in Bosnia for the necessities of the Elektrovrbas. The research works in the district of the Western Bosnia and Herzegovina for the power plant on the Cetina river were performed by the Hydro-meteorological Institute of Sarajevo and the Hydro-meteorological Institute of Zagreb. The explorations were performed mainly by means of Na-fluoresceine and spores, by means of speleological and geoelectrical methods (Geological Institute of Beograd).

A tabular survey of colouring on the objects characteristic for main directions of underground flows of individual areas as well as the data on the results we consider characteristic for these flows are given in the enclosure. There are given the date of colouring, the name of springs where the colour was ascertained, the water level at which the colouring was performed, the water flow speed in the underground during the colouring and the gradient of fall between the ponor and the spring where the colour was ascertained.

In the enclosure there are also given the characteristic longitudinal cross sections of the main underground flows, and their connections are indicated in the map. The coloured objects (ponors) are indicated with figures in circles corresponding to the figures in the table. The directions of underground flows are indicated with thin dashes with arrows. The thin dashed lines are the borders of individual confluences, and thick dashed lines represent the border of the area shown there.

In the area of the Eastern Herzegovina there have been explored about 80 springs and about 3600 kg of Na-fluoresceine and 135 kg of spores was consumed, while in the Western Herzegovina and Dalmatia for exploration of about 30 objects 1500 kg of Na-fluoresceine was consumed.

The explorations were performed mainly for the purpose of determination of confluence area of individual springs, and determination of water discharge

quantities at the springs and individual sections of surface flows. The explorations of underground flows was a big contribution for solving the problem. So there was fixed the boundary of the water shed between the rivers Bregava and Trebišnjica on the area of the Dabarsko and the Fatničko poljes, and the water shed between the rivers Trebišnjica and Piva on the area of the Gatačko polje, and the water shed between the river Cetina on the one side and the Pliva and the Sana on the other. These water sheds are indicated on the enclosed map.

The explorations with Na-fluoresceine and with spores have been performed so that water was coloured at the ponor, and the observations took part at the springs supposed to be connected with ponor judging by geological configuration of the terrain. The samples of water have been examined, i. e. the concentration of Na-fluoresceine was determined in them by means of a strong light beam. In the case of spores they were determined in settled water by means of microscope. When working with Na-fluoresceine there was possible to perform the quantitative analysis, i. e. to determine the total colour run out. The exploration with spores have been performed with a help of the Speleological Institute of Vienna.

Out of results of examined underground water connection indicated on the map, there is visible that they follow the dinaric direction of stretching or the direction perpendicular to it. The dinaric directions are predisposed with directions of depressions between the folds as well as with failures, and the directions perpendicular to them are predisposed with tectonic fissures and with big gradient of fall between the poljes of high and low horizon. The water impermeable sediments in the poljes represent the barrier to water discharge from higher horizons to the lower ones, and cause the appearance of springs at the east and north-east edges of the poljes, and ponors occur at the south and south-west edges.

There are poljes the water of which drains towards the two quite opposite sides (bifurcation). Such are the poljes Gatačko, Kupreško and Glamočko. They are on the water shed between the Adriatic and the Black Sea confluence.

Bifurcation appears also in the Fatničko polje at the water shed between the rivers Trebišnjica and Bregava, and in the lower part of the Popovo polje the water of which drains towards the sea and to the river Neretva.

Water of karst underground runs mainly in concentrated flows, specially at big inundations, which are very frequently joining and detaching. At the place of interwoven channels, these are areas of big springs or of strong karstified zones, the underground water of the area has a general level.

In the course of time the hydrological zones get lower as a result of permanent water action. In that case the previous channels lose their function, and a new net of channels is formed almost following the direction of stretching of the old ones.

As a result of such channel net there occurs sometimes that at different water levels above the ponor or in the underground, water from the same ponor drains towards different directions. We had met such appearance when colouring the Provalija in the Popovo polje; at a certain water-level water appeared in the sea in Bistrina at Ston and in Londja in Deransko Blato in the Neretva river valley; in the other case at different hydrological conditions water appeared in Bistrina and in springs or submarine springs at Djunta Dol on the sea.

There are cases when crossing of water ways from two ponors occurs. From Provalija in the Popovo polje a colour was observed in Bistrina at Ston, and from Ponikva in Djunta Dol and Smokvina.

In the enclosed table there also given the speed of water in the underground at given colouring as well as the gradient of fall between the ponor and the spring. It is visible that the speed changes from the lowest possible up to 0,5 m/sec. Judging by speed the underground channels of the area are remarkably worked out, and some of them are of big size. That is the reason for big ponors such as Biogradci, ponor of Ključka river, Pasmica, Provalija, Doljašnica, Kablić, Stara Mlinica and others, and the big springs such as Buna and Bunica, Bregava, Trebišnjica, Ombla, the Rama spring and others, having the quantity of water very abundant in relation to the normal hydrologic-geological conditions in a non-karstic area.

Sadržaj

HIDROLOŠKE KARAKTERISTIKE KRŠKOG PODRUČJA BOSNE I HERCEGOVINE I DIJELA DALMACIJE S POSEBNIM OSVRTOM NA PODZEMNE VODNE VEZE

Jedinstveno krško hidrološko područje Bosne i Hercegovine predstavlja područje zaokruženo linijama: Gruda kod Hercegova—izvori Pive—Volujak—Zelengora—Lešnica—Treskavica—Bjelašnica—Bitovnja—Raduša—Jajce—Mrkonjić Grad—izvori Sane—Sator planina—Kozjak—Svilaja—Omiš. Ovo područje odlikuje se kraškim oblicima kao što su škrape, uvale, vrtace, pećine, jame, ponori, vrela itd., a njegova posebna karakteristika jesu mnogobrojna kraška polja.

Na priloženoj karti naneta su sva značajnija kraška polja Istočne i Zapadne Hercegovine, Zapadne Bosne i dijela Dalmacije gdje su vršena ispitivanja podzemnih vodnih tokova.

Ovo područje je jedno od najbogatijih naših predjela s padavinama (u prosjeku 1500—1800 mm, a u ekstremima na nekim mjestima čak i preko 5000 mm godišnje). Nezgodno je što padavine nisu ravnomjerno raspoređene u toku godine, već ih je najviše u kasnoj jeseni i ranom proleću, dok preko leta bude i do 4—5 mjeseci potpuna suša. Tako nastaje paradoks da područje s najviše padavina najviše oskudjeva u vodi.

Najizrazitiji odnosno najveći ovdašni tok je Neretva, a to zato što se usekla duboko u teren i kao najniža eroziona baza vuče podzemne vode sa velikih krških područja. Cetina je daleko manja. Od tokova koji poniru najveća je Trebišnjica, jedna od najvećih ponornica na svetu.

Većina krških polja plavi se u izvjesnim periodama godine manje ili više. Do plavljenja dolazi zbog toga, što je većina njih pokrivena flišom, koji je vodonepropustan.

Da bi se vrlo veliki energetski potencijal voda ovog područja, kao i plodno tlo iskoristili, posle rata vršena su opsežna istraživanja tokova voda i pravljeni planovi njihovog energetsko-meliorativnog iskoršćenja. Ispitivanja su vršena u glavnom pomoću Na-fluoresceina i spora, speleološkim putem i geoelektričnim metodama.

U prilozima su dati glavni rezultati ovih ispitivanja, koja su vršena prvenstveno radi utvrđivanja sливnih površina pojedinih vrela, odnosno proticajnih količina voda na vrelima i pojedinim profilima površinskih tokova. Do sada je na predmetnom području ispitivano blizu 110 objekata.

MIHAJLO VUČINIĆ, Nikšić

SPELEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE KARST IN MONTENEGRO

Montenegro, lying in the utmost southern part of Yugoslavia, occupies a surface of 13967 sq. kilometers.

In the territory of Montenegro three, morphologically clearly expressed units may be distinguished: the Littoral of Montenegro, the Old Montenegro Peneplain, and the Montenegro Mountains.

The Littoral occupies a narrow zone of territory along the Adriatic Sea. In the north-east it is bordered by the steep slopes of the mountains Rumija, Sutorman, Lovćen, Orjen, and others. The Old Montenegro Peneplain is situated between the Littoral, the Plain of the river Zeta and Bjelopavlići, the Nikšić Polje and the Duga Defile. The mean altitude of this peneplain amounts to about 800—1000 m. Out of it rise the summits of Rumija, Lovćen, Bijela Gora, Orjen, Somina, Njegoš, Lisac, Veliki Garč, and others. In this area the following polja are developed: the Cetinje Polje, the Njeguš Polje, the Dragaljsko Polje, and the Grahovsko Polje. The Montenegro Mountains occupy the greatest part of our territory, in the north and in the north-east. This region was called by Cvijić the area of peneplains and high mountains, because they are the highest mountains in the Dinaric system. Some of these peneplains even lie at the altitude of 1700 m; out of them rise high mountain, crowns and summits, such as the Durmitor, Sinjajevina, Vojnik, Golija, Žurimi, Moračke Kape, Maganik, and farther towards the east are the Bjelasica, Komovi, Vizitor, Čakor, and others. Most of these mountains surpass the altitude of 2000 m. Best preserved among the peneplains is the Sinjajevina, which is a high, wide and much karstified mountain. A little lower peneplains are Drobnjačka Jezera and Pivske Planine (Piva Mts.) of about 1450 meter altitude.

The Old Montenegro Peneplain is a little dissected by the rivers Crmnička Rijeka, Orahovska Rijeka and Crnojevića Rijeka peripherically and in the east, and by the river Nudolska Rijeka in the west.

In the Montenegro Peneplain deep river beds have been cut by the rivers Piva, Tara, Morača, Lim, and their tributaries. In the parts of beds with limestone rocks real canyons are shaped out, which are by some explorers considered to be the most beautiful in Europe.

The climate varies from the mediterranean and the moderately continental to the Alpine climate. The volume of precipitations is greatest in the littoral mountainous areas, particularly in Krivošije, i. e., Crkvice (5155 mm) and on Lovćen, i. e. Cetinje (4109 mm). In the north-eastern direction the volumes fall

quickly amounting to 1650 mm at Andrejevo near Maganik, to 1943 mm at Žabljak below Durmitor, to 1842 mm at Kolašin near Bjelasica, while in the places altitude of which ranges from 580 m to 880 m the average annual volume of precipitations is between 731 mm and 1281 mm. In the Littoral of Montenegro it ranges from 1290 mm to 1892 mm. In regard to the volume of precipitations the greatest part of Montenegro is considered to have a modified mediterranean pluviometric regime.

The flora of Montenegro is represented by 2833 species and subspecies of higher plants. Out of them 212 are endemic species of the Balkan Peninsula; 22 are endemic species of Montenegro.

The fauna of the southern region is mediterranean. That of the northern region belongs to the Europeo-Siberian subregion. In the fauna, too, there are endemic species. The fauna of caves and lakes has not yet been sufficiently investigated.

The major part of the territory belongs to the region of the whole karst or holokarst; it consists of limestone-dolomite rocks of the Mesozoic age. The border of the holokarst is formed by the Nikšić Polje, the Zeta Valley, the Morača Valley and the Basin of the Lake of Skadar; but there are some deviations from this border.

The area of the Montenegro Peneplain belongs to the holokarst, that of the high mountains and peneplains to the region of the so-called covered karst.

Our holokarst region is the most raised area in the Dinaric Mts. The uplifting occurred in the Pliocene according to the view of Jovan Cvijić, the great scholar and expert of karst. It is for this reason that these areas underwent the greatest karstification, with all typical karstic forms, both surface and underground. Owing to this abundance of karstic forms these areas are strongly broken up. The best evidence of the karstification power is given by the great volumes of precipitations that are not retained on the surface but are swallowed by subterranean channels and streams.

The exploration of the caves in Montenegro began as early as 1839 when British-born Henry Layard visited the Lipska Pećina (pećina = cave). In 1864 the first animal of the caves in Montenegro was described: it was the insect *Neotrichus utralis*, discovered by J. Erber and described by L. W. Schaufuss.

Russian-born Pavle Rovinski, who had been staying in Montenegro since 1881, gave the first written information on the Obodska Pećina in 1882. In 1903 he gave the best information on the temperature and the air of the Lipska Pećina. E. A. Martel visited Montenegro in 1893 and explored two caves above Kotor, the swallow below Gradina near Cetinje, the Lipska Pećina, the Obodska Pećina, Strugarska Pećina and Sopot Pećina near Risan. He also visited the surroundings of Nikšić. Austrian-born G. W. Gessman, in 1905, measured out the Lipska Pećina. In 1908 B. Wolf explored two swallows at Cetinje and the intermittent source Labudnica, in the monastery. A year later he explored 18 caves and pits in the surroundings of Cetinje, two near Rijeka Crnojevića, three near the village Šišković, and he was also in the swallow Slivski Ponor (ponor = swallow, sinkhole) and in Velja Peć in the Nikšić Polje. In 1908 Wolf, accompanied by Fran Cerkvenik, guide from the Škocijanske Jame (Slovenia), explored eight pits and caves and he published the results of his investigations in »Höhlenforschungen in Montenegro« as well as in his work »Bericht über die 1910 in Montenegro vorgenommenen Höhlenforschungen«, 1911.

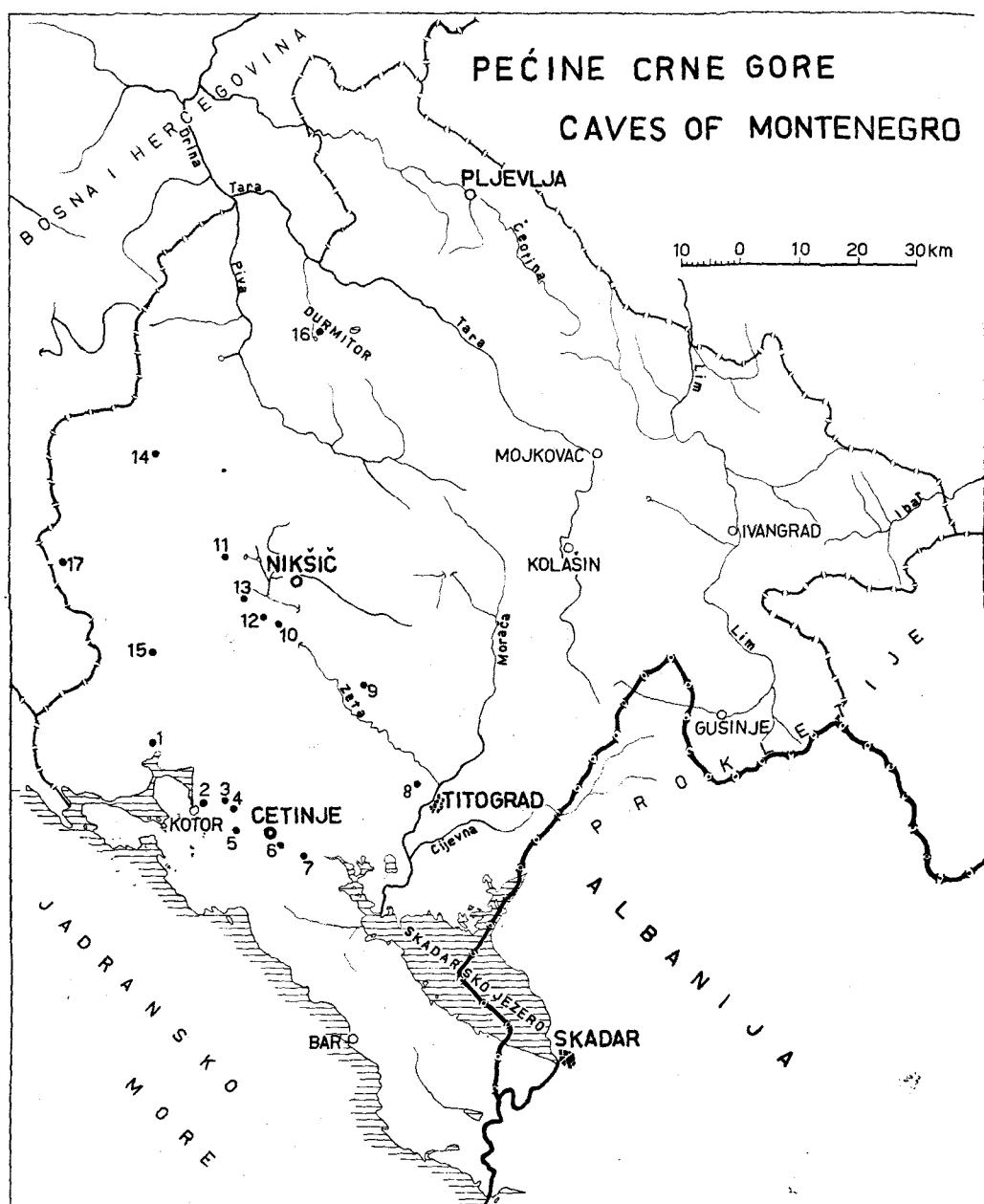
In 1913 Falk Sup was exploring the caves of Montenegro. In the Koronjina Pećina, situated on the road to Bokovo near Cetinje, he found about 900 prehistoric objects made of flintstone and of bones. In 1914 the stream of Rijeka Crnojevića and the cave Obodsko Pećina were investigated by Jovan Cvijić. In 1916 the speleologist G. Lahner from Linz explored 23 caves and pits in the surroundings of Njeguš. He descended into the pit Duboki dô, and since then it has been known as one of the deepest pits in the world. He also investigated the cave Boljanovica. He published the results of his investigations in the paper »Der westmontenegrinische Karst und sein hydrologischer Zusammenhang mit der Bucht von Cattaro«, 1917, and later in his work »Im Karst der Schwarzen Berge«, 1919. Austrian officers carried out the investigations in the pits and caves in Krivošije in the years 1916 and 1917, and explored 186 objects, according to K. Absolon's information. But no written data of these investigations have been preserved. In 1934 S. Milojević first thoroughly explored the Obodsko Pećina; for a long time he was busy investigating the karst of Montenegro. The biological institute of the Yugoslav Academy of Sciences and Arts at Dubrovnik investigated the caves and swallows along the road Nikšić—Šavnik—Žabljak. Slovene speleologists, accompanied by Jovo Petrović, explored the caves and swallows of the Nikšić Polje in the years 1955—1957. French speleologists of the Spéléo Club de Paris, accompanied by Yugoslav explorers, descended into the Slivski Ponor. In the years 1955—1957 the representatives of the Slovene Academy of Sciences and Arts investigated the cave fauna on Rumija Mt. and in the surroundings of Virpazar, Rijeka Crnojevića, and Njeguš.

Among the foreigners taking part in the investigation of the cave fauna were: Paganetti-Hummler for Boka, K. Absolon, J. Kratochvil and J. Marcha for Krivošije. Further, French-born biologist Paul Remy who investigated the Obodsko Pećina and some caves in Sandžak. Egon Pretner, from Postojna, explored (1933) the fauna of the Boka and of the surroundings of Titograd and Virpazar, and in the years 1955—1958 in Boka, on Lovćen, at Rijeka Crnojevića, Virpazar, Nikšić, Šavnik and Žabljak.

As may be seen from the above explanation, speleological investigations in our territory were carried out by foreigners or investigators of the other Yugoslav republics. A Speleological Society of Montenegro has been founded, and we hope that it will undertake greater actions in investigating our still little known underground.

Best information on the caves, both those explored and those not yet investigated, were given by Egon Pretner; his investigations included 280 objects. But this number is by far inferior to that of the actually existing objects. There are still whole areas from which we have no data; and there are still many unknown objects even in the districts already explored; thus much work is still to be done. Pretner also mentioned 56 unexplored objects, so that they amount to a total of 336. Among the objects that are already known, as well as those not yet completely explored, there are 67 caves with water, 181 dry caves, 57 biologically explored caves, 82 caves without sufficient data, all together 318 caves; 19 pits with water, 60 dry pits, 21 biologically investigated pits, 8 chasms, all together 108; 22 snow-pits and 12 ice-pits. All together 537 objects. Undoubtedly their number in nature is by far greater. In this place we will give a short description of some more significant objects from all our territory.

1. Sopot Cave, Boka Kotorska. It is situated one kilometer westward of Risan. In it there is a large channel ending in a vertical pit with a lake. Out of it springs an intermittent source.



2. Peć at Pestin Grad, Boka Kotorska. It is a vertical pit in the top of the rock walls of Pestin Grad above Kotor. It is 214 m deep, with a 20 m by 30 m opening. It is dry and without ornaments.

3. Boljanovica, Njeguško Polje. It lies on the SE side of the polje. Its vertical 20-meter deep channel descends to large rooms with ornaments. It is dry stream appearing in the source of Škurda. The cave ends in a large lake.

4. The Cave of Duboki dô, Njeguško Polje. It lies in the Ljuta swallow, 360 m deep; it has a vertical direction; 130 meters under it flows a permanent and very large, but not yet sufficiently explored; with its one-kilometer distance from the road it may become important for the tourist traffic.

5. Ledenica (= Ice Cave), on Lovćen. It is situated on the left side of Koprivi Dolac. Its main channel is 35 m long and descends by degrees from the entrance down to a depth of 18 m; the channel is about 3,5 m wide, and terminates in a small room of about 5-meters in diameter. The walls were covered with a 5-centimeter thick ice coat, while on the bottom there was a 4-cubic meter big ice mass. The other snow-pits were described in detail by Dušan Gavrilović (ref., 10).

6. Lipska Pećina, Cetinje. It is situated east of Cetinje on the western side of Dobrsko Selo. For its natural beauty the cave is, so far, the most important object of our territory. The length of its channel is about 1000 meters. So far 480 meters of the cave have been explored. The channel bifurcates only in its second half where also a weak subterranean stream appears. The cave is rich in ornaments. Particularly significant discoveries are expected in the second lower gallery which opening is supposed to be about 350 m from the entrance. The cave is still under examination. It has been investigated biologically and climatically. Beginning from the entrance towards the interior, the temperature and the humidity increase, vacillate and become settled in the last room where the temperature amounts to about 6 degrees C., and the relative humidity to 86 per cent. At the first lake both the temperature and the humidity increase, and at the same time there is a pretty expressed gradient of temperature, from 30 to 200 m it amounts to 3 degrees C. Here also the relative humidity (95 per cent.) is by far higher than in other 12 points of measuring in the cave.

The cave is formed in Upper Triassic dolomitic thick-layers of limestone; it is most probable that it extends to the swallow in the Cetinje Polje and that the cave channel had been shaped by the river Cetinjska Rijeka.

7. Obodска Pećina. It is situated near Rijeka Crnojevića, about 300 meters distant from its source. Its opening has a diameter of 20 by 10 meters, and of the same diameter is also the channel which is pretty simple. It had developed in the north-north-eastern direction. At a distance of 350 m from the entrance there is a siphon lake, 40 m long and 15 m wide. The cave has been investigated biologically. But not even its channel has been explored to the end owing to the difficult passage and water. There are no dripstones in it.

8. Magara (Megara) Pećina. It is situated in Velje Brdo near Titograd. It is about 100 m distant from the road towards Mareza. The entrance is small, but the channel widens. It has two short dry narrows and several large rooms. After the second narrow there are rooms with ornaments. The cave has a NS and then a NW direction; its origin is due to the action of a subterranean river. There are higher and lower channels. The large room is full of soaked red earth. Interesting and rich fauna has been observed. So far about 500 meters

of the cave have been investigated. The highest temperature was recorded in the second room and amounted to 17,7 degrees C. The relative humidity in all profiles — they were 18 — ranged from 96 to 100 per cent., while the vapour tension was particularly high in the second room, it amounted to 15,0 mm. Thus the cave has an exceedingly high temperature, great relative humidity and vapour tension. The streaming of air is very weak.

The cave is likely to represent an important show object.

9. The Caves in Nezbroj. Above Sobajić in the high wall there are two caves, formed in Upper Cretaceous limestones. In them traces of prehistoric culture have been found.

10. The Cave in Gajine. It is situated at Vodni Dol, below Doli Stubički. At very high waters the waterstreams Dolovi rise and flow into this cave which has a long channel; all these waters flow towards Glava Zete.

11. Vilina Pećina, below Uzdimor, near Nikšić. It is formed in dolomitic limestone of the Upper Cretaceous age. It has a 200-meter long channel formed along the slope of the layers. At a distance of about 100 m from the entrance there are two smaller lakes. Farther the channel is prolonged, with narrows and widenings. There are rooms with ornaments and several yet smaller lakes; remnants of bones have been found in it.

12. Velja Sniježnica (= Large Snowpit), situated in Borova Brda at Bugoš, at the foot of the Veliko Brdo. It has a deep, long and also wide channel. Big permanent quantities of snow are to be found here, and at the bottom probably ice.

13. Lipova Pećina, situated at Budoš, locality Maletino Osoje. It has a channel with several rooms and with dripstones. So far about 200 meters of the channel have been investigated. Stronger streaming of air from an impassable narrow makes one suppose that there are still several undiscovered rooms.

14. Bezdan Jama, situated at Somina, below Previja. It is 130 m deep. Its channel is narrow and vertical, and at the bottom there is a lake of 15 by 12 m diameter with the direction of the waterstream towards the west.

15. Đakovića Pećina, situated in the Grahovsko Polje at the foot of the Derviš Mt. It has a channel orientated in the northern direction. There are two smaller lakes and some rooms with ornaments in the cave. Periodically it appears as a very strong source. The 400-meter long channel has not been completely investigated. There are good conditions for it to become a show cave.

16. Ledena Pećina (= Ice Cave), situated on the Durmitor Mt., below the Obla Glavica. Its ornaments are of ice and alike stalactites and stalagmites; the cave is rather small.

17. Crvena Stijena (= Red Wall), situated at Petrovići, above Kosijerevo. Since 1955 archaeological investigations have been carried out. The thickness of the layers with cultural remnants is of 20 meters; 29 strata have been unearthed. Cultural remnants of bronze, neolith, mesolith and paleolith. According to M. Malez's view a rich fauna of the Upper Pleistocene age is preserved here; 18 species have been found.

REFERENCES

1. Bešić Zarija (1959): Geološki vodič. Titograd.
2. Jovanović Petar (1960): Osnovi geomorfologije, 2. izdanje, Beograd.
3. Malez Mirko (1963): Kvartarna fauna pećine Vjetrenice u Medvedici, JAZU, Zagreb.
4. Milojević Sima (1938): Pojavi i problemi krša. SAN, Beograd.

5. Petrović Jovan (1965): Katastar registrovanih speleoloških objekata teritorije SR Crne Gore (rukopis).
6. Pretner Egon (1961): Speleološka istraživanja u Crnoj Gori i spisak pećina i jama. »Drugi Jugoslovenski speleološki kongres«, Zagreb.
7. Herak Milan (1960): Geologija, Zagreb.
8. Roglić Josip (1959): Odnos rečne erozije i kraškog procesa. V. kongres geografa FNR Jugoslavije, Cetinje.
9. Remy Paul: Description des grottes yougoslaves. Glasnik prirodnjačkog muzeja srpske zemlje, Beograd, serija B knj. 5—6.
10. Gavrilović Dušan: Sniježnice na Lovćenu. Iz Zbornika radova Geogr. instituta, sv. 10, Beograd.

Sadržaj

SPELEOLOŠKE KARAKTERISTIKE KRŠA U CRNOJ GORI

Veći dio Crne Gore pripada predelu pravog karsta ili holokarsta. Njih izgrađuju krečnjačko-dolomitske stijene mezozojske starosti. Granica holokarsta postavljena je Nikšićkim poljem, dolinom Zete, Morače i basenom Skadarskog jezera. No, imala je izvjesnih odstupanja od ove granice.

Oblast crnogorske površi pripada holokarstu a oblast crnogorskih visokih planina i površi oblasti tako zvanog pokrivenog karsta.

Naša oblast holokarsta je najviše izdignuta oblast Dinarida. Izdizanje je izvršeno prema mišljenju Jovana Cvijića u pliocenu. Zato je ovim oblastima i došlo do najveće karstifikacije, sa svim tipskim karsnim oblicima kako površinskim tako i podzemnim. Bogatstvo karsnih oblika ovu je površ jako razorilo. O snazi karstifikacije najbolje nam govore velike količine padavina koje se i ne zadržavaju na površini već ih progutaju podzemni kanali i tokovi.

Ispitivanja crnogorskih pećina počela su još 1839 god. Englez Henry Layard te godine je posjetio Lipsku pećinu. 1864 god. je opisana prva životinja iz pećina Crne Gore, koju je našao J. Erber. To je insekt *Neotrichus uturalis*, koga je opisao L. W. Schaufuss. Od tada su brojni istraživači posećivali karst Crne Gore: Rusi, Nemci, Austrijanci, Česi, Francuzi, ali i speleolozi iz drugih jugoslovenskih republika. Speleološko društvo Crne Gore skoro je osnovano, pa se nadamo da će preduzeti intenzivno proučavanje našeg podzemlja. Po podatcima koje je dao E. Pretner, znamo za 537 pećinskih objekata, od kojih je još dosta neistraženih. Jasno je, da je njihov broj u prirodi daleko veći. U engleskom tekstu navedene su i u priloženoj karti brojevima označene sve važnije crnogorske pećine i jame. Među njima je najistaknutija Lipska pećina istočno od Cetinja na zapadnoj strani Dobrskog sela (dužina 1000 m, od toga ispitanih 480 m). Značajne su dalje Megara pećina u Veljem brdu kod Titograda koja ima svakako turističku budućnost, Crvena stijena, gde se već od 1955 god. vrše arheološka istraživanja (kulturni ostaci: bronza, neo-, mezo- i paleolit, bogata fauna gornjoplejstocene starosti), Ledena pećina u Durmitoru, Đakovića pećina na Grafovskom polju, a između jama Duboki dô (360 m) u vrtači Ljute, Njeguško polje.

ZARIJA BEŠIĆ, Beograd

HYDROLOGIC CHARACTERISTICS OF THE KARST REGIONS IN THE SOCIALIST REPUBLIC OF MONTENEGRO WITH SPECIAL REFERENCE TO SUBTERRANEAN CONNECTIONS

The territory of Montenegro can generally be divided into two facial regions: 1. the southern and the south-western predominantly karst region and 2. the northern, or rather north-eastern predominantly argillaceous-sandy region.

In the report Geological Guide through Montenegro (by Z. Bešić, 1959, Page 333) a detailed account of hydrogeology of Montenegro is given, whereas here only separate hydrological questions of karst region are being dealt with.

Carbonate rocks on the territory of Montenegro belong to the triassic, jurassic and cretaceous periods. Limestones and dolomites of paleozoic and tertiary origin are of limited extent in depth and size, so that they are almost without importance for hydrography.

Triassic period is represented by limestones and dolomites, yet both of these formations are about equally developed as to the depth and size and volume. Most commonly they are imperceptibly interchangeable in vertical and horizontal directions, either appearing in considerable expanses or separately. Triassic dolomites often constitute also an impermeable rock layer. They are somewhat similar to slaty-sandy sediments.

To the north and to the north-east of the river Tara there are developed triassic subfacies of limestones and dolomites of grey colour and small depth but split into various stretches. They are situated on impermeable clastic rocks of dia-basic-conubianite (hornstein) formation and can easily disintegrate into very small rocks which clog fissures and impede the quick penetration of water to subterranean caverns. Owing to this fact we often find springs and risings in these carbonate rocks.

In the area of high Montenegro mountains Maglić, Durmitor, Sinjajevina, Komovina and others there are developed triassic limestones of great depth and dislocation. The karstification in them because of dislocation is typical and very powerful. It has spread over the entire mass, so that water level was lowered even to the impermeable layer.

The third group of triassic carbonate rocks has been discovered in the southern and south-western regions of Montenegro and consists for the greater part of pure dolomites.

Vast spaces of the Montenegro territory are represented by jurassic limestones where two facies can be distinguished: the first one of grey liassic sediments with lithiotis, argillaceous and somewhere flysch-like, and the second one consists of distinctly sandy pure limestone of the middle and upper jurassic period. These layers of limestone extend to the south and to the south-west of the river Tara, reaching all the way to the Montenegrin Littoral. In the limestone with lithiotis there appear also small springs (Ivanova korita on Lovćen, springs on Njeguši), whereas the sandy limestone is superficially utterly unblest with water.

Cretaceous strata are the most widely spread formation on the territory of Montenegro. These again can be split up into two facies: the sandy limestone-dolomite and clastic (flysch-like).

Limestone-dolomite facies belongs to the lower and upper cretaceous period, but it can lithologically speaking be differentiated from the jurassic limestone. With the latter the karstification is intensely developed and we consider them to be the best evidence of the most typical Montenegrin karst regions.

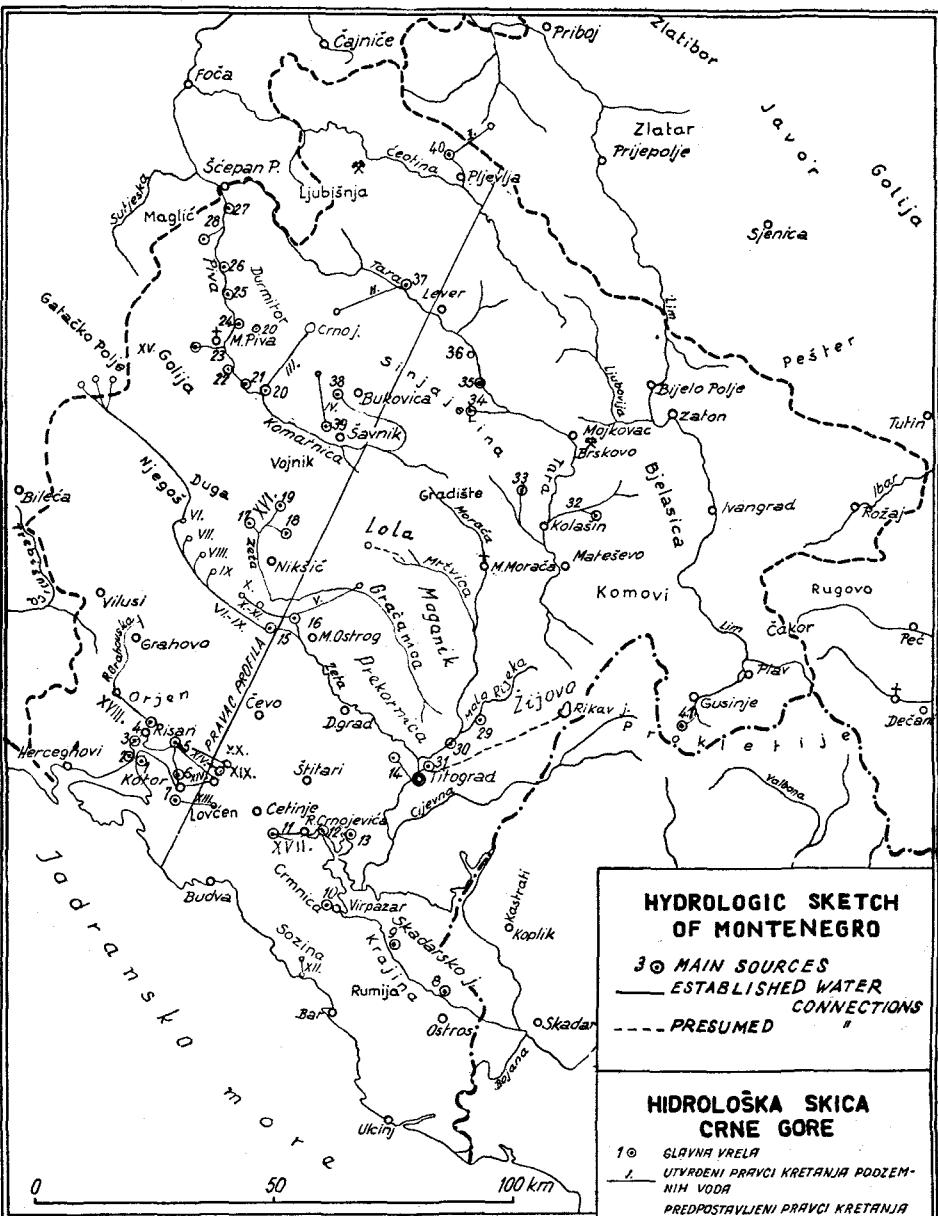
Flysch-like facies belong to the wide expanse of the Durmitor upper cretaceous flysch which is stretching in the middle of Montenegro in the direction of the north-west to the south-east, and the strata are inclining towards the south-east. We can trace it from the Albanian frontier to the south of the Komovi to Herzegovine within the scope of springs of the rivers Sutjeska and Vrbica. In flysch, at least in one part of the area, there is strongly represented the limestone component and its hydrological character has in many respects the karstic character; underneath flysch layers waters circulate mostly in the direction of the declining strata.

Limestone and dolomite of the Montenegrin territory are very vast and at times they demonstrate the depth of layers up to 2000 meters.

The geotectonic structure of Montenegro is very complicated. It excels in the distinct harmony and in the general decline of strata towards the north-east; the terrain is tectonically broken into block-mountains and it forms nowadays principally an entire system of vast and smaller block-mountains which declivity of layers always shows the tendency towards the north-east (vide the cross-section enclosed). Accordingly, we may conclude that the geotectonic structure considerably influences the cadence of water circulation in the underground, and also the occurrence of springs and their dispersion.

In the middle of the distinct Montenegrin karst area we perceive the geotectonic depression situated in the direction from the north-west to the south-east. This is the region of Zetsko polje, the valley of the river Zeta, Nikšić polje and the pass of Duga (vide the sketch and cross-section enclosed). The depression plays in the hydrogeology of Montenegro an important role as a reservoir (central point) of hydrological zone.

The thick layer of flysch-like impermeable rocks can be traced throughout the Littoral, beginning from Sutorina near Herceg Novi and extending all the way to the river Bojana. All these strata end normally by steep cliffs towards the north-east, and above them thick and vast limestone-dolomite masses of the high anticline plateau of the old Montenegro are situated. Ample precipitations within the scope of this karst region plateau do not flow underground

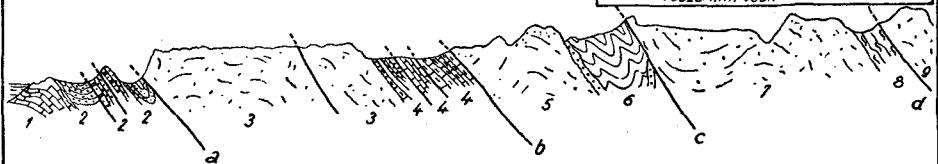


HYDROLOGIC SKETCH OF MONTENEGRO

1. MAIN SOURCES
ESTABLISHED WATER CONNECTIONS
— PRESUMED "

HIDROLOŠKA SKICA CRNE GORE

1. GLAVNA VRELA
2. UTVORENI PRAVCI KRETANJA PODZEMNIH VODA
3. PREDPOSTAVLJENI PRAVCI KRETANJA PODZEMNIH VODA



1. Krečnjaci Primorja; 2. Klastična zona Primorja; 3. Starocrnogorska krečnjačka površ; 4. Sinklinalna zona doline Zete; 5. Krečnjačka površ Vojnika i Prekornice; 6. Zona Durmitorskog sliša; 7. Durmitorska krečnjačka površ; 8. Klastična zona r. Čeotine; 9. Krečnjačka površ Pljevalja; a,b,c,d ravni najađivanja.

to the sea but on reaching an impermeable layer they flow along the cadence of layers towards the north-east and the north, whereas only superfluous water flows towards the sea.

Precipitations on the area of the old Montenegrin karst plateau disappear therefore very quickly in the numerous vertical limestone fissures until they reach the impermeable rock layer. The latter, however, directs them according to the law of nature to follow the stretches of strata towards the north-east. Therefore, we can find several springs along the strongly depressed shore of Skadar-sko jezero (Lake of Scutari), the low depression of Zeta polje, valley of the river Zeta, Nikšić polje. Some of these springs become real rivers at times and after a rainy period this entire low depression area is changed to a dense network of rivers filled with water, whereas the rivers in the Littoral are far and few between and contain less water. In places where the impermeable rock layers have been lowered to the sea level, or even below it, owing to the vertical geotectonic folded stratification, or elsewhere the sea and other eternal forces furrowed the shores and penetrated into the inland rectangularly on to the direction of strata, then we repeatedly come across strong springs. Thus on the tectonic dislocations near Kotor there appeared strong springs like Škurda (6) and Gurdić (7), and in the neighbourhood of Dobrota the spring Ljuta (5). These springs drain a considerable south-eastern part of the old Montenegro, and particularly the surroundings of Lovćen, Njeguš and Zalaz, which have all proved colouring tests of water (vide table and map, number XIII and XIV). Owing to the breaking through of land by the sea and breaking of impermeable layers strong springs on the territory of Risan and the strait of Verige, as for instance the enormous cliff of Sopot (4), which supplies for a short period an overwhelming quantity of water (probably some junction with the Grahovo river), and also the springs of Morinje (3). The last two springs mentioned and some submarine springs drain the largest part of the karst area of the mountain Orjen. To this group of somewhat parallel springs belong also the springs appearing on either side of the strait of Verige, which are all draining the mountainous, partly limestone areas of Devesilja and Vrmac (1, 2). Before reaching Boka Kotorska, we come across a great deal of submarine sources that appear at times very strong and then suddenly get defiled (submarine sources beneath Sopot near Risan, before Perast and Gurdić at Kotor), yet naturally we still do not know of the existence of many of them.

In the area of Ulcinj and Saški marshes we find springs and submarine sources only a few meters above the sea level, whereas some of them appear in siphons lying in the fields of Ulcinj salinas, yet their bottom is beneath the sea level. These are lowered and sunk doline.

The vast old Montenegrin karst anticline surface is elevated above the Montenegrin Littoral by a high and abrupt ridge which is continued towards the north-east to reach the Herzegovina karst, whereas towards the north-east and east it passes into the syncline depression of the Skadar-sko jezero (Lake of Scutari), Zetska level, and Zeta valley and Nikšić polje (vide the sketch and cross section enclosed) where water from the old Montenegrin surface again comes to be seen. Some of the springs are deeply sunk in the Skadar-sko jezero, as for instance some vigorous springs in the lake near village called Murić and Krnjica, where the water from the vast Rumija (8, 9) is drained and beneath the lake there are also the bottoms of springs of Malo and Veliko Oko (Small and

Big Eye) in the Crmić polje (10). Furtheron, there are springs Karuč on the western shore of the Skadarsko jezero (12), Kaludjersko oko (Monk's Eye) on Malo blato (13), springs of Mareza westward from Titograd (14); along the very edge of the river Zeta we can find an entire system of vigorous springs, such as Počkalj and Oraš potholes, Kujavska oka, Drenovštica (15), Oboštica and Glava Zete (16).

On the north-western side of this plateau towards Trebišnjica and its south-eastern side towards Skadarsko jezero satisfactorily impermeable triassic dolomites have been discovered on a wide region; in these the superficial hydrographic network similar to that in argillaceous strata has developed. These layers of dolomite have caused the existence on the north-west of the old Montenegro Nudolska and Grahova river, and on the area of the Skadarsko jezero the Poseljanska river; all these rivers have their tributaries.

In the Nikšić polje exists an entire system of vigorous springs which drain besides a certain part of the old Montenegro also the anticline limestone region of the mountains Vojnik, Golija and Njegoš, but the slaty-sandy anticline nucleus in which the valley of the river Gračanica is situated, controls the subterranean waters of the rich limestone parts of this anticline region and directs them to the opposite directions: in the direction of the south-west (Prekornič area) towards the river Zeta, and in the direction of the north-east (Maganik area) towards the river Mrtvica. Owing to this, many springs are lowered deeply into the valleys of the rivers mentioned, but the drainage of the river Gračanica remained small. It is highly probable that one part of Gatačko polje waters come to appearance in the Nikšić polje springs (vide the map enclosed).

The karst region of the mountains Vojnik and Golija is drained by many springs, which appear in a line along the northern edge of Nikšić polje and form an entire fluvial system. Such springs are: Gornjopoljski vir (17), Vidrovac (18) and Vukovo vrelo (19). Waters from the Nikšić polje percolate in the southern and south-eastern part of polje and emerge in the springs of Oboštica and Glava Zete (vide the table and map enclosed, numbers V—XI).

The canyon of the river Komarnica drains the extensive part of the limestone area in the Durmitor and also the north-eastern parts of Vojnik. In this canyon of the river there are furtheron strong springs such as, Dubrovska vrata (20), Dubska vrela (21) and Bezujška vrela (22). Near the monastery of Piva there manifests itself in an amphitheatric uvala a group of springs which form the river Sinjac (23). On the basis of water colouring it has been found out that Sinjačka springs drain a vast area of its western and south-eastern hinterland, reaching all the way to Gatačko polje (vide the table and map enciosed, number XV).

In the valley of the river Piva there are a great many and strong springs to be found, such as Rastici (24), Medjedjak (25), Nozdruc (26), Kaludjersko vrelo (27), Čokovo vrelo (28) and others. All these springs drain the greatest part of limestone areas in high mountains like the Volujak, Kruševica, Maglić, Pivska planina, but in any case also one part of the Durmitor, since from the left side of the Tara river (towards the Durmitor) only few springs exist and the canyon of the Sušica is certainly not rich in water.

The Morača and Cijevna rivers drain beside the rest also the vast mountainous area, such as Moračka kapa, Lola, Tali, Gradište, Vjeternik, Ži-

Underground water connections in Montenegro

No. on the map	Name of traced poror	Kind and quantity of tracing material	Time of tracing		Tracing water appeared		Altitude difference betw. poror and the spring	Speed of cir- culation m/sec
			day	hour	source	day		
I	Begova lokva	—	15. V. 1961	10—11h	Breznica (Plevija)	15. V. 1961	13h 30'	—
II	Zablački poror	fluorescein, natrium, 50	8. VII. 1963	13h	Bijel Bukovi	19. VII. 1963	—	820 0,0076 m/sec
III	Ponor u Malo Crno jezero	fluorescein, natrium, 46	5. IX. 1963	13h 30'	Dubrovski izvori	13. IX. 1963	15h	738 0,021 m/sec
IV	Ponor reke Grabo- vice (Šavnik)				Vrelo Šavnik			
V	Ponor u akumulaciji Liverovici (bušo- tina br. 346)	uranin, 10 fluorescein, natrium, 6	31. I. 1958	12h 15'	Perutćica	4. I. 1958	11h	384 0,1 m/sec
VI	Sianski poror	uranin, 8	23. V. 1960	11h	Perutćica	25. V. 1960	0,7h	384 0,056 m/sec
		—	1954	9h 45'	Oboštica i Drenov- štica	3. VIII. 1959	17h	545 0,027 m/sec
VII	Ponor Orlina (NIkić)		7. VIII. 1959	10h 10'	Oboštica (Zeta)	14. VIII. 1959	13h	
VIII	Aidarov poror (NIkić)		7. VII. 1958	9h	Oboštica (Zeta)	13. VII. 1958	10h	
IX	Mihajlin poror (NIkić)		22. VI. 1958	9h	Oboštica (Zeta)	28. VI. 1958	9h	
X	Carev most (NIkić)		4. VII. 1958	10h	Glava Zete	6. VII. 1958	16h	
XI	Ponor Misor (NIkić)		5. VIII. 1961	8h	Glava Zete	8. VIII. 1961	19h 30'	
	Ponor u Miločane (NIkićko polje)	uranin, —	1959	—	Poklonci i Blaca	—	—	10 —
	Ponor Zavre (NIkićko polje)	uranin, —	1959	—	Poklonci i Blaca	—	—	10 —
	Ponor Krušnjačka Jana (NIkićko polje)	uranin, —	1959	—	Kušijski izv. Slavška pećina Ošca Kirbanja Klačanski izv.	—	—	5—10 —

XI	Kláčanský ponor (Níkšičko polje)	fluorescein, natrium, 10	28. VII. 1964	10h	Oboštica	17. VIII. 1964	12h 30'	545	0,008 m/sec
IV	Ponor Opatiča (Níkšičko polje)	fluorescein, natrium, 15	3. VII. 1956	—	Oboštica	5. VII. 1956	—	542	—
V	Ponor Pončtine (Níkšičko polje)	fluorescein, natrium, 15	29. V. 1956	—	Glava Zete i Oboštice	31. V. 1956	10h 30' 14h	520 540	—
VI	Slivyski ponor (Níkšičko polje)	uranin, 4	29. X. 1939	—	Perutica	2. XII. 1939	15h	252	—
XII	Pecina u tunelu Sozine	—	19. X. 1960	11h	Brca	23. X. 1960	6—21h	20	—
XIII	Ponor na IV. Korita	—	21. X. 1960	15h	Gurdic	23.—24. X. 1960	—	1230	—
XIV	Jama Duboki Do	fluorescein, natrium, 14	31. VIII. 1959	12h	Škurda	10. X. 1959	ujutro	oko 800	--
XV	Ponor Ljejinačkog potoka	—	30. V. 1964	—	Širnjac	3. VII.—4. VIII.	—	351	—
XVI	Ponor Gornjevidro- vanske reke	uranin, —	1939	—	Rastovački izvori	—	—	30	—
XVII	Cetinjski ponor	—	—	—	R. Crnojevića	—	—	560	—
XVIII	Grahovski ponor	fluorescein, natrium, 20	3. IV. 1959	19h 20'	Spilja	2. V. 1959	—	700	—
XIX	Erakovića ponor	fluorescein, natrium, 10	30. IV. 1956	22h 30'	Škurda i Gurdic	2. XI. 1956	0,7h 0,8h	1045	0,145 km/h
		fluorescein, natrium, 15	2. V. 1959	0,6h	Ljuta	4. V. 1959	12h	1045	0,146 km/h
XX	Ponor Koritnik	fluorescein, natrium, 10	24. VIII. 1959	23h	Ljuta	2. V. 1959	06h	1050	0,085 km/h

jovo, Humove, Kučka Krajina and Zatrijebač. These are the areas lying to the north and north-east of the Zeta depression.

The Morača receives near Bioča (12 km to the north from Titograd) waters coming from the Mala Rijeka (Small River), which flows from Brskut and Lijeva Rijeka through a very deep and narrow limestone canyon. In the valley of the river not far from its mouth into the Morača river, we find on the left side strong springs (29), but in the valley of the Morača river vigorous springs in Donji Mrki (30) have been discovered.

The unusually interesting system of Ribnička vrela is near Titograd (31), which are aligned at the feet of limestone slopes of Donje Kuče. These springs become after rain very full of water and they defile even then when there are precipitations high up in the mountains of Kučna Krajina. All this seems to prove that these remote places are linked with free underground galleries where water freely and quickly circulates from spring to spring. Probably water from Rikavačko jezero appears in these springs as well (vide the map enclosed).

In the rivers Cijevna and Morača we encounter swallows on the very river's bottom. Thus the river Cijevna loses a great deal of water since it percolates through fluvial sand near the village Dinoša, situated on the frontier of the Zeta level and canyon. This water flows underground through limestone of Dečić, and at 10 km distance it appears again in the springs of the village Mileš, situated on the edge of the hill Dežić and the level connected with it.

Near the monastery of Duga, the river Morača has some open swallows which devour one part of the fluvial water. It flows underground about 9 km and comes to appearance again in Morača at Smokovec and Zlatica northward from Titograd which was already established on the basis of testing the temperature of the water; in these swallows we can find water mills which can only be usefully employed in summer, since in winter the entrance to them is covered by a beton plate and are thus entirely hidden under the river.

The upper drainage of the river Tara is in argillaceous impermeable strata, yet already in the neighbourhood of Kolašin we find above the strata also rich limestone masses in the mountains Vučje, Sinjajevina, Ključ and others, whereas near Poljska Bistrica the Tara enters in the limestone canyon. On the point of contact between limestone and argillaceous layers many springs appear to bring water to the Tara from these karstic areas. Tectonic undulatory surface of this karst terrain as well as its substrata formed as shallow anticline and syncline made it possible that springs constantly appear in the syncline depressions which are intersected towards the south-west by the valley of the river Tara. Furtheron, we come across the strong springs of the rivers Svinjača near Kolašin, which drain waters from the limestone of Ključ and Sušac. It is wonderful to see the magnificent springs of the river Kolašinska Bistrica which all emerge a massive cliff Golubnjača (33) thus transforming them immediately into a powerful river. They all drain the wide syncline limestone in the area of Sinjajevina eastward from the Jablanov vrh.

Towards the north-east, again in an syncline depression, we find the springs of the river Štitarica, and in the other one we admire the beautiful and rich group of springs from the Poljska Bistrica, which are to be found on the very carriage-way; they drain the extensive karst area of the eastern Sinjajevina. From the mouth of the river Poljska Bistrica the Tara enters its majestic limestone canyon, long about 80 km, where some rich and beautiful springs always

lowered to the water level or in the river itself can be found. On the carriage-way Mojkovac—Djurdjevića Tara two springs of the kind can be discovered: Čorbudžak near the village Dobrilovine (35) and Ljutica near the bridge on the Djurdjevića Tara (36). They drain together with the Bistrice springs the north-eastern and northern area of Sinjajevina reaching to the edge of the valley of the river Bukovica, where impermeable layers with inclination towards the river Tara can be discerned and it is here that waters from the wide above-mentioned karst area are directed. The spring Ljutica is a simple spring whose water bursts out from a crack under the carriage-way with a powerful flow of great swiftness.

On the river Tara, a bit lower than Djurdjević, we encounter vigorous springs that drain the surrounding karst areas, yet we have no time to dwell on them more in detail here. These are: Mušovi bukovi, Sige, Bijele vode (37), Pećina, Tepačka vrela, Bukovičke sige, Nikovića sige and others. These springs can be found in the canyon 40 km long where the springs are interspersed along the river thus showing itself in its most wonderful and the most inaccessible creative force.

Moreover, there are interesting springs of Bukovica to the south-east from Durmitor slopes, where they form the river Bukovica (38) and the rich but simple Šavničko vrelo near Šavnik (39). The latter seems to drain the flysch-like terrains of the mountain Ivica, which has been proved by water colouring (vide the table and map enclosed, number IV).

The Black lake (Crno jezero) under the Durmitor at the altitude of 1450 meters consists of 2 basins: Malo and Veliko jezero (Small and Big Lake). It is slightly pulled into the slope of the massive limestone ridge of the Medjed, but on these slopes there are subterranean swallows which take off the water from the lake towards the south-west into the limestone underground of the Durmitor. This water passes through the main mass of the Durmitor in great depth and it appears again in the canyon of the river Komarnica situated on the strong Dubrovska vrelo (20), which was also evidenced by water colouring (vide the table and map, number III).

Crno jezero (the Black lake) recedes in the form of a superficial brook towards the north-east where it flows about 3 km and percolates at last near Žabljak into swallows. This water when coloured appeared in Bijele vode and in the canyon of the Tara (vide the table and the map, number II).

Therefore, the underground and superficial tendencies of the Crno jezero are marked by entirely opposite directions. This can be attributed to the geotectonic situation of the underground strata consisting of Werfen impermeable layers, inclined towards the north-east supporting an enormous mass of limestone area situated to the north-east of the lake, where the swallows of Žabljak can be found. These Werfen layers are somehow pulled over the Durmitor limestone, thus obstructing the passage of the underground water of the Durmitor, from joining the river Tara; instead, these waters are directed through the Durmitor towards the rivers of Komarnica and Piva.

To the north-east of the Tara limestone masses are only limited and thin in depth, and the impermeable rocks occupy an ever growing area. Owing to this we find that there the weaker karst springs are flowing through this karst and therefore the course of water can be precisely traced. Along the north-eastern edge of the Pljevaljska kotlina a series of springs can be found to

be in contact with impermeable layers and limestone. This is the case in the Pljevlja spring of the river Breznica (40). To the north-east of this spring at a distance of 4,5 km in the straight line, there used to exist on the limestone plateau until 4 years ago a small lake called Begova lokva. This was an immense dolina (shakehole) filled with water and which on the 15th May 1961 with a considerable detonation caved in and after two hours its dirty water appeared in the spring of Breznica and endangered the hygienic value of the town's water supply which is alimented by this spring (vide the table and map, number I).

To the north-west of Pljevlja, along the egde of Pljevaljska kotlina, we encounter a series of small springs that drain together with Brvenica the karst plateau of Gradina, Strmenica and Borova glava, where there are hidden the springs of the river Jugoštica which flows along the carriage-way of Pljevlja—Čajniče.

To the south and south-east of Gusinje there are several rich springs to be found (41). They drain the sweeping mountainous karst terrains situated along the Yugoslav-Albanic frontier. The phenomenon of these strong springs in the region of Gusinje has been occasioned by the geotectonic situation of the Durmitor upper cretaceous flysch, which forms the substrata to these mesozoic limestones, whereas the layers are inclined to the north and the north-east and direct waters towards the surroundings of Gusinje.

Sadržaj

HIDROLOŠKE KARAKTERISTIKE KARSTA U SR CRNOJ GORI SA POSEBNIM OSVRTOM NA PODZEMNE VODNE VEZE

U ovom pregledu, na engleskom jeziku, izneli smo ukratko hidrogeologiju crnogorskog karsta, odnosno pravce kretanja voda u njegovom podzemlju. Ti pravci kretanja zavise od stepena karstifikacije moćnih karbonatnih stena (krečnjaka i dolomita), a zatim od geotektonike njihove podloge.

U radu se najviše obratila pažnja na prirodu vrela koja se nalaze duž glavnih puteva, a važnija vrela su na priloženoj skici označena brojevima. Isto tako su obeleženi na priloženoj skici i utvrđeni pravci tokova voda u podzemlju crnogorskog karsta.

DUŠAN GAVRILOVIĆ, Beograd

EIN BEITRAG ZUR KENNTNIS DES KARSTES IN SERBIEN

Der Kalkstein ist in Serbien von nicht so großer Ausdehnung wie im Küstenvorland der Dinarischen Alpen. Die Kalkoberfläche ist nicht einheitlich, so daß sich das Kalkrelief in Form größerer und kleinerer »Oasen« vorfindet, die durch Becken, Flußtäler und Formationen wasserundurchlässigen Gesteins voneinander geschieden sind. In morphologischer Hinsicht bilden die Karstgebiete Serbiens den Übergang vom unbedeckten Karst (Holokarst) zum bedeckten Karst (Merokarst), beziehungsweise liegen letzterem etwas näher.

Die Ausdehnung des Karstes und seine Oberfläche

Karstformen im Relief treten in den gebirgigen Teilen West- und Ostserbiens auf, im Kosovo- und Metohija-Gebiet und südlich von Beograd. Auf Grund des Auftretens unterirdischer Karstformen wurden Karstprozesse im Gebirge Fruška gora im Srem (die Höhle Grgurevačka pećina und andere) und östlich von Arandjelovac in der Šumadija (Risovačka pećina) festgestellt. In der Vojvodina, nördlich von der Save und Donau, sind im Löß häufig Lößdolinen vorzufinden, doch soll von diesen hier nicht die Rede sein.

In Westserbien bestehen folgende Karstlandschaften: in der Podgorina von Valjevo, im Gebirge Tara, in den östlichen Ausläufern der Berge Zlatibor, Čigota und Murtenica, in den Gebirgen Mučanj, Zlatar und Jadovnik, zwischen Prijepolje und Pljevlja, im Uvac-Tal, im Pešter-Gebiet, auf dem Gebirge Giljeva planina, auf dem Žilindar und der Mokra gora. Die Gesamtfläche der Karstlandschaften Westserbiens beträgt 3435 km².

In der Landschaft Kosovo-Metohija besteht ein ausgesprochenes Karstrelief in den Gebirgen Koritnik und Paštrik, im Gebirge Milanovačke planine und in den Ausläufern der Prokletije. Karstformen im Relief finden sich westlich der Dörfer Štimlje und Gornje Nerodimlje und im Bereich der epi-genetischen Schlucht des Beli Drim bei der Brücke Švanjski most. Die Flächenausdehnung des Karstes in Kosovo-Metohija beträgt 808 km² oder 7,4 % der Gesamtfläche dieses Territoriums (10.887 km²).

Südlich von Beograd, im Raum zwischen den Dörfern Žarkovo und Slatina, finden sich Karstformen auf einer Fläche von 132 km².

In Ostserbien bestehen folgende größere Karstflächen: im Gebirge Golubačke planine, am Miroč, im Gebirge Homoljske planine, in der Beljanica, dem Kučaj und dessen Ausläufern, in den Bergen Rtanj, Tupižnica, Ozren und Devica, Tresibaba, Kalafat, im Gebirge Svrljiške planine, in der Suva pla-

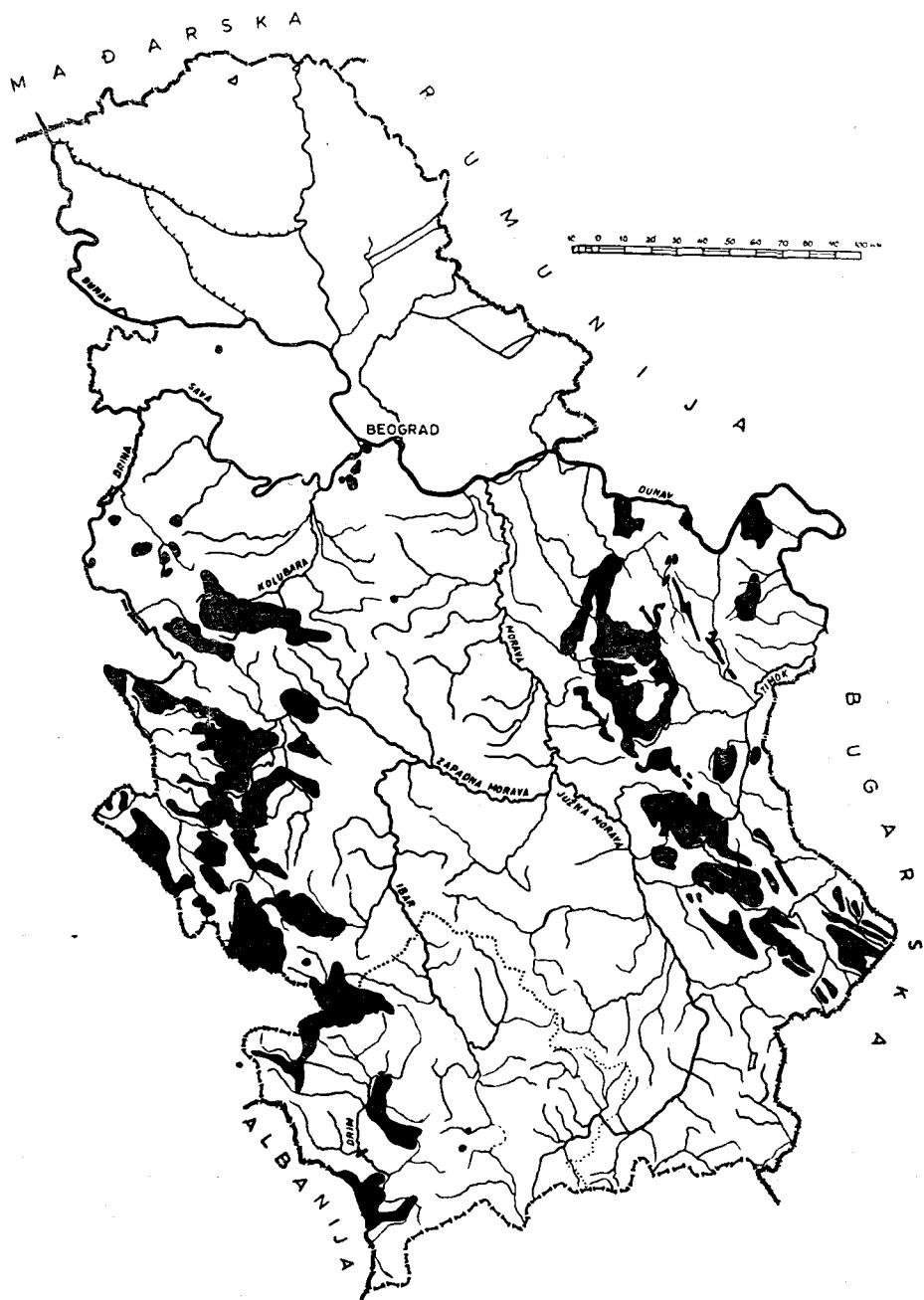


Abb. 1. Kärtchen der Verbreitung des Karstes in Serbien. — Sl. 1. Karta rasprostranjenja krasa u Srbiji

nina, in der Belava, dem Sto und dem Vidlič. In geringerem Ausmaß ist der Karst auch in der Stara planina entwickelt. Die Karstlandschaften Ostserbiens nehmen eine Fläche von 3321 km² ein. Nimmt man als Westgrenze Ostserbiens den Fluß Morava an und als südliche tektonische Linie die Flüsse Kutinska reka—Lužnica—Jerma (Jablanica), so beträgt ihre Ausdehnung ohne die Donauinseln 16.955 km². Im solcherart begrenzten Gebiet Ostserbiens beträgt das Karstrelief 19,5 % der Gesamtfläche.

Die Fläche sämtlicher Karstgebiete Serbiens beträgt 7696 km², also 8,7 % des Gesamtterritoriums (88.361 km²), beziehungsweise 10,6 % der gesamten Karstflächen Jugoslawiens (72.470 km²).

Diese Ausdehnung des Karstes wurde nach der Methode vergleichsweiser Interpretation topographischer, orohydrographischer und der bestehenden geologischen Karten festgestellt. Benutzt wurden neuere handgezeichnete geologische Karten und Literaturangaben. Gewisse Ergänzungen erfolgten auf Grund von Terrainstudien des Autors. Die Karstflächen wurden mit einem optischen Planimeter der Fa. A. OTT, Kempten, Bayern, und auf Karten im Maßstab 1 : 50.000 gemessen.

Das Alter der Kalksteine und des Karstreliefs

Die Gebirge Westserbiens sind ein Teil des dinarischen, die Gebirge Ostserbiens ein Teil des karpatho-balkanischen orogenen Systems. Das Karstrelief ist vorwiegend im mesozoischen Kalk entwickelt. In Westserbien treten Karstformen im Kalkgestein der mittleren und oberen Trias und der unteren Kreide auf, in Ostserbien im Kalk des oberen Jura und der unteren Kreide. Südlich von Belgrad ist der Karst in den Sarmatkalken (oberes Miozän) vertreten. Die mesozoischen Kalksteine liegen auf einer älteren paläozoischen Grundlage aus kristallinischen Schiefern und Sandstein, während die Unterlage der Sarmatkalke aus heterogenen Kreidesedimenten und Sarmatflysch besteht.

Die Mehrheit der Geomorphologen und Geologen, die sich mit Reliefstudien in den einzelnen Teilen Serbiens befaßt haben, sind der Ansicht, daß günstige Vorbedingungen zur Entwicklung der Verkarstung schon zu Beginn des Paläogens vorhanden waren. Nach den mächtigen tektonischen Bewegungen des Senons wurde der größte Teil des Territoriums, das sich heute innerhalb der Grenzen Serbiens befindet, zu Festland. Im Laufe der langen paläogenen kontinentalen Phase bildete sich in den mesozoischen Kalksteinen das Karstrelief heraus. Zu Beginn des Miozäns kam es zur großen Transgression des Pannoni-schen Sees. Die im Laufe des Paläogens entstandenen Karstformen sind zum Großteil von Sedimenten dieser Überflutung bedeckt. Durch Tiefbohrungen in der Umgebung des Bergwerks Senje (Ostserbien) wurde festgestellt, daß sich unterhalb der miozänen Sedimente ein Paläorelief mit Karstuvalas und Karstdolinen befindet. Im Mündungsgebiet der Sušica südlich von Valjevo sind große Dolinen im mesozoischen Kalk mit neogenen Sandsteinen ausgefüllt. Nach Abfluß des Pannoni-schen Sees begann nach dem mittleren Pliozän eine neue Phase im Ausbau des Karstreliefs, die sich durch das Diluvium bis in die Jetzzeit erstreckt. Es steht außer Zweifel, daß eine gewisse Anzahl der größeren Karstformen des neueren Reliefs auf Formen aus einer vorangegangenen Verkarstungsperiode aufgepropft ist, doch wurden Untersuchungen in dieser Richtung noch nicht angestellt. In den hohen Gebirgen wie der Tara,

dem Zlatibor, der Beljanica, dem Kučaj, der Suva planina und anderen bestanden auch durch das ganze Neogen hindurch Bedingungen zum Ausbau des Karstreliefs. Das Karstrelief in den Sarmatkalken begann sich vom oberen Pliozän an auszubauen.

Die allergünstigsten Bedingungen zur Entwicklung des Verkarstungsprozesses und zum Ausbau von Karstformen im Relief ergaben sich im Laufe der diluvialen Periode; damals entstand die größte Zahl von Höhlen und Schacht-höhlen in Serbien. Die verstärkte Erosion zur Zeit des Diluviums wirkte sich jedoch in gewissen Fällen auf den Prozeß der Bildung von Karstformen im Relief negativ aus. Zufolge der intensiven fluvialen Erosion in Gebieten mit undurchlässigem Gestein wurden große und zahlreiche Uvalas auf der Beljanica, am Kučaj und in anderen hohen Gebirgen zugeschüttet; die Stärke dieser Ablagerungen beträgt stellenweise mehr als 50 m.

Allgemeine Merkmale des Karstes

Es ist festgestellt worden, daß die Kalksteine Serbiens keine einheitliche Decke bilden. Außer dieser Zerrissenheit in horizontaler Richtung ist die Kalksteinmasse auch in vertikaler Richtung nicht einheitlich. Zwischen Partien reiner Kalksteinschichten finden sich Zwischenlagen von Mergel und Sandstein, sehr häufig ist der Kalk auch von Adern eruptiven Gesteins durchbrochen.

Die vorherrschende Stärke der Kalksteine Serbiens variiert von 100 bis 300 m, doch können hierüber keinerlei wesentliche allgemeine Behauptungen aufgestellt werden. Die Dicke der Sarmatkalke südlich von Belgrad beträgt 20—70 m, in den nördlichen Abschnitten des Taragebirges und in den südlichen Abschnitten der Beljanica beträgt die Dicke der Kalksteinmasse rund 700 m, während an der Nordseite der Suva planina die Kalksteinabschnitte über 600 m hoch sind. Teile der Kalksteinschichten in Ostserbien, teilweise auch in Westserbien, sind in ausgedehnte Antikinalen und Antiklinorien gefaltet. Da die Kämme der Antikinalen durch exogene Prozesse teilweise oder vollständig zerstört sind, ist die Kalksteindecke hier dünn oder überhaupt nicht vorhanden. So ist in den zentralen Teilen der Gebirge die Dicke des Kalkgestein in der Regel geringer als an ihrem Saum.

Die vorerwähnten Eigenschaften der Karstgebiete Serbiens modifizierten den normalen Prozeß der Karsterosion um ein bedeutendes, was die Bildung einer Reihe von Formen und Erscheinungen bedingt hat, die für den dinarischen Karst des Küstenlandes nicht charakteristisch sind. Dies sind in erster Linie zahlreiche Dolinen, Karstuvalas und kleinere Poljen mit Böden aus undurchlässigem paläozoischem und eruptivem Gestein und große Mengen allochthoner Ablagerungen in der Karstunterlage (Schotter aus kristallinischem Schiefer, Sandstein und sonstigen Nichtkalken).

Sämtliche größeren Becken Serbiens, die zu Beginn des Tertiärs durch mächtige radiale Bewegungen entstanden sind, waren bis zu bedeutender Höhe mit neogenen See-Sedimenten ausgefüllt. Aufgrund der zahlreichen epigenetischen Schluchten in den Randgebieten der »Oasen« des Kalksteins wurde festgestellt, daß die Dicke der tertiären Ablagerungen in einzelnen Becken über 200 m betragen hat. Die genannten Sedimente überfluteten die umliegenden Kalksteinpartien und schufen dadurch innerhalb dieser besondere

Bedingungen für den Austritt der Karstgewässer und die Tiefenwirkung des Verkarstungsprozesses (eingedämmerter Karst mit Karstgrundwasser). In der weiteren Entwicklung durchbrachen die Wasserläufe mittels vertikaler Erosion die Kalksteinpartien bis auf den Grund und schnitten die Sohlen ihrer Täler in das wasserundurchlässige Gestein ein.

Mit der Bloßlegung der Seiten der isolierten Kalksteinpartien bis auf deren Grund trat der Verkarstungsprozeß in seine Endphase ein. In dieser Phase besteht die für den Karst typische Wasserzirkulation nicht mehr, weil der Abfluß über wasserundurchlässiges Gestein erfolgt. Bei der Messung der Karbonathärte des Wasser eines Sickerflüßchens im Quellgebiet der Resava konnten wir uns davon überzeugen, daß das Wasser dieses Flüßchens, das von un durchlässigem Gestein durch ein Schluckloch unter Kalkschichten verschwunden war, bei seinem neuerlichen Zutagetreten — nach einem unterirdischen Lauf von 1200 m Länge — einen unveränderten CaCO₃-Gehalt aufwies. Dies beweist, daß im unterirdischen Lauf unter den gegebenen Bedingungen keine Kalkauflösung erfolgt, beziehungsweise daß der Verkarstungsprozess nicht aktiv gewesen ist, obgleich eine unterirdische Wasserzirkulation bestand.

Die Richtungen der unterirdischen Karstwasserzirkulation sind von der Neigung der paläotopographischen Fläche des wasserundurchlässigen Gesteins in der Unterlage abhängig. Im großen ganzen wurden in sämtlichen größeren Kalkgebirgen Serbiens durch Färbung unterirdischer Wasserläufe die hydrographischen Wasserscheiden festgestellt.

Die Resultate der speläologischen Untersuchungen

Die von F. Hofman im Jahre 1882 in den Höhlen Zlotska pećina und Prekonoška pećina durchgeführten archäologischen Grabungen, die biologischen Forschungen Dj. Jovanović i. J. 1891 in der Höhle Prekonoška pećina und die geomorphologischen Studien J. Cvijić des Jahres 1892, durch welche etliche Höhlen in Ostserbien erfaßt wurden, stellen die Anfänge der Erforschungen und wissenschaftlichen Bearbeitung des unterirdischen Karstes dar. Für die Höhlenforschung in Serbien sind zwei Perioden charakteristisch: die erste von 1890 bis 1930 und die zweite von 1950 bis zur Gegenwart. Innerhalb der ersten Periode wurden geomorphologische Forschungen fast ausschließlich von J. Cvijić, biologische dagegen von R. Jeannel, E. Racovita, S. Stanković und P. Remy durchgeführt. In der Nachkriegszeit befaßt sich ein weit größerer Kreis von Wissenschaftlern mit Höhlenforschung.

Im verflossenen Zeitabschnitt wurden (nach den dem Autor zugänglichen Quellen) 610 speläologische Objekte erforscht, was im Vergleich zu deren tatsächlichem Vorhandensein auf dem hier behandelten Territorium eine sehr geringe Zahl darstellt. J. Cvijić allein hat über 60 Höhlen und Schächte bis ins einzelne erforscht und beschrieben. Am gründlichsten erforscht sind die Höhlen südlich von Valjevo, im Gebirge Tara und in den Ostausläufern des Zlatibor in Westserbien, sowie im Flußgebiet des Pek und in den Berggruppen Beljanica und Kučaj in Ostserbien. In den übrigen Teilen Serbiens waren die Untersuchungen im großen und ganzen fragmentarisch.

Von den untersuchten und gemessenen 610 speläologischen Objekten sind 316 Halbhöhlen bis zu 20 m Länge und Schächte bis zu 5 m Tiefe; 209 sind Höhlen mit mehr als 20 m Ganglänge; 78 sind Schächte mit einer Tiefe von

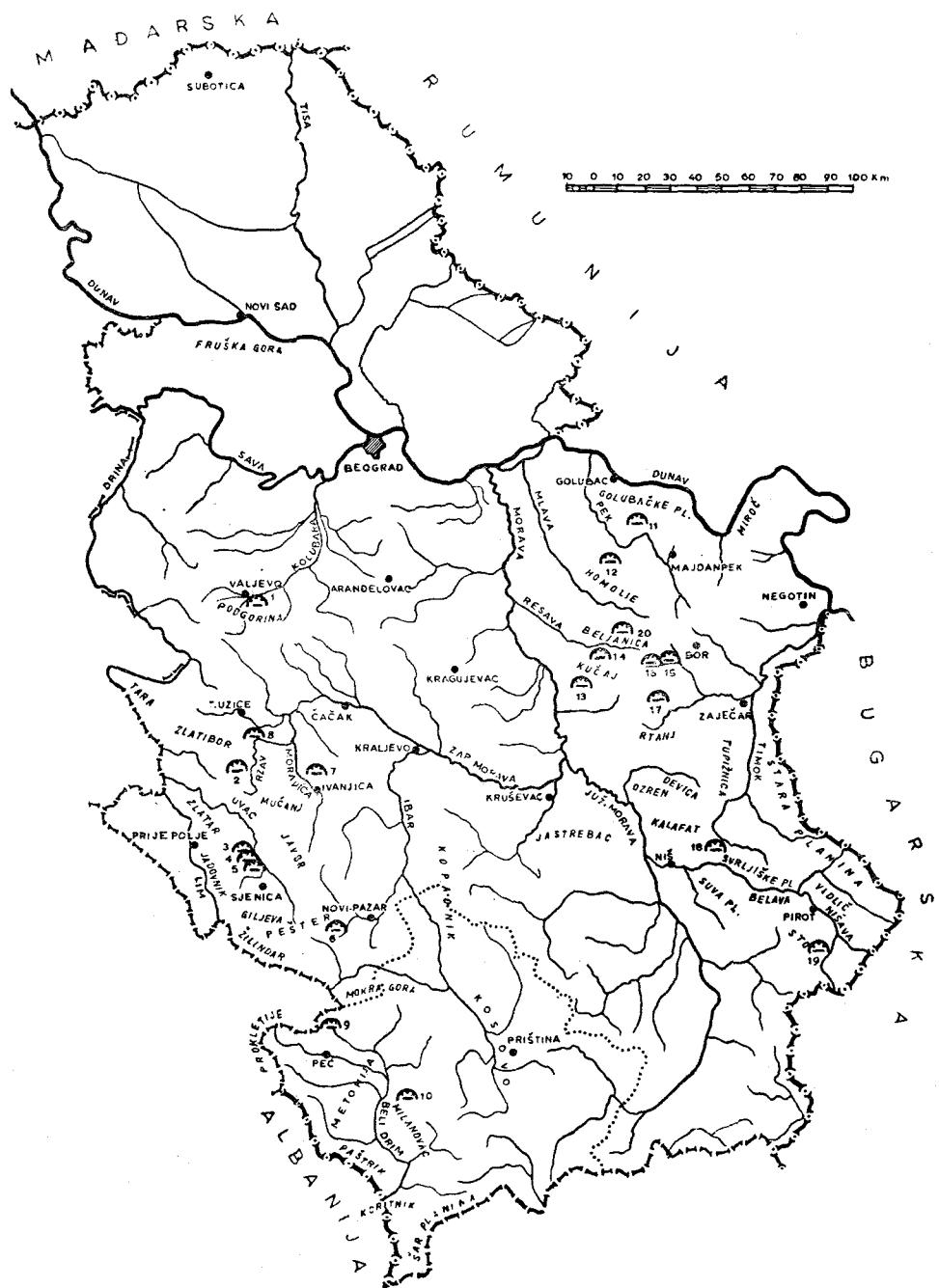


Abb. 2. Größere speläologische Objekte in Serbien (Erklärung der Ziffern im Text).
Sl. 2. Razmeštaj većih speleoloških objekata u Srbiji (objašnjenje brojeva je u tekstu)

mehr als 5 m; 7 sind Naturbrücken. Von den 209 Höhlen mit über 20 m Ganglänge haben: 51,6 % eine Ganglänge bis zu 50 m; 15,8 % bis zu 100 m; 20,5 % von 101 m bis zu 500 m; 7,8 % von 501 m bis zu 1000 m und 4,3 % Gänge mit einer Länge von mehr als 1000 m.

Die längsten Höhlen Serbiens

<i>Bogovinska pećina</i> (Boljevac, Ostserbien) . . .	3517 m
<i>Ušačka pećina</i> (Sjenica, Westserbien) . . .	2110 m
<i>Velika pećina</i> (Brodice, Ostserbien) . . .	1968 m
<i>Ledena pećina</i> (Sjenica, Westserbien) . . .	1560 m
<i>Zlotska pećina</i> (Bor, Ostserbien) . . .	1540 m
<i>Radavačka pećina</i> (Peć, Metohija) . . .	1500 m
<i>Resavska pećina</i> (Despotovac, Ostserbien) . .	1500 m ?
<i>Vetrena dupka*</i> (Pirot, Ostserbien) . . .	1350 m
<i>Tubića pećina</i> (Sjenica, Westserbien) . . .	1002 m

Die tiefste erforschte Schachthöhle ist das Schlundloch der Rečka (20) in der Beljanica — beim Einstieg i. J. 1963 wurde eine Tiefe von 130 m erreicht.

Hinsichtlich der Seehöhe sind die speläologischen Objekte wie folgt gelegen: 35 % der Höhlen und Schächte liegen unter 500 m ü. d. M.; 40 % liegen zwischen 500 und 1000 m und 25 % über 1000 m ü. d. M. Der Schneeschacht Šebecka provalija auf der Suva planina, dessen Öffnung sich in einer Seehöhe von 1570 m befindet, ist das höchstgelegene untersuchte speläologische Objekt in Serbien. In 24 der erforschten Schächte und Höhlen des Karstes gibt es ewigen Schnee und Eis. Die Eishöhle Ledena peć am Nordhang der Beljanica, deren Öffnung sich in einer Seehöhe von 620 m befindet, ist das niedrigstgelegene Objekt dieser Art in Serbien.

Als Naturseltenheiten von besonderem Wert stehen 19 Höhlen und 6 Naturbrücken unter staatlichem Schutz.

Eine Anzahl der Höhlen Serbiens zeichnet sich durch die Größe der unterirdischen Räume, durch morphologische Besonderheiten, großen Reichtum an Tropfsteinschmuck und bemerkenswerte touristische Vorzüge aus. Über diese Höhlen sei hier kurz berichtet.

Die *Petnička pećina* (1) befindet sich beim Dorfe Petnica, 5 km südöstlich von Valjevo, und besteht aus zwei Teilen, der Unteren und der Oberen Höhle. Aus der Unteren Höhle bricht ein unterirdischer Wasserlauf hervor und treibt schon nächst dem Eingang eine Wassermühle. Der Einstieg in die Obere Höhle liegt 29 m höher. Dieser Teil der Höhle beginnt mit einem geräumigen Saal, dessen Decke von drei Fenstern durchbrochen ist. In der Sohle des Saales liegt ein kleiner See, der durch einen Siphon mit dem unterirdischen Wasserlauf der Unteren Höhle in Verbindung steht. Die Wände des Saales schmücken große Sintervorhänge. In diesem Saal wurden unter einer dicken Sinter- und Lehmschicht Höhlenbärenknochen gefunden. Weiter ins Innere führt ein enger, gewundener Gang, den stellenweise schöner Sinter überzogen hat. Die Gesamtlänge der erforschten Gänge der *Petnička pećina* beträgt 600 m.

* In der Kartenskizze mit Nr. 19 bezeichnet.

Obwohl die Höhle touristisch nicht eingerichtet ist, hat sie doch örtliche touristische Bedeutung; sie wird alljährlich von zahlreichen Schülerexkursionen aus Valjevo und seiner Umgebung besucht.

Die *Stopića pećina* (2) liegt beim Dorfe Rožanstvo, rund 17 km südlich von Titovo Užice. Sie besteht aus einem Hauptgang, der von einem ständigen Wasserlauf durchflossen wird, und einem Nebengang, durch den nur zeitweise Wasser fließt. Die Gesamtlänge der erforschten Gänge beträgt 625 m. Der interessanteste Teil der Höhle ist der 155 m lange Nebengang. In seiner Sohle haben sich außerordentlich große Sintertröge gebildet. Einige von ihnen sind bis 10 m lang und 1,5 bis 4,5 m breit. Die Zwischenwände der Tröge sind 1,3 bis 5 m hoch, so daß zu ihrer Überschreitung Holzleitern nötig sind.

Die *Stopića pećina* hat Aussicht, als Schauhöhle erschlossen zu werden.

Nördlich von Sjenica befinden sich im Cañon des Uvac die drei längsten Höhlen Westserbiens. Die *Ledena pećina* (= Eishöhle, 3) ist trocken und besitzt reichen Tropfsteinschmuck; besonders schön sind hier kleine Sinterpfannen. Die Höhle wird von einem rund 1560 m langen Gang gebildet, der sich stellenweise zu geräumigen Sälen erweitert. Der Gang ist nicht leicht zu begehen, da in ihm Erosionskolke mit versteinerten Sinterfällen abwechseln. Aus dem Eingang, der etwa 50 m ober dem Flußbett des Uvac liegt, bläst im Sommer ein kühler Luftzug. Unweit dieser Höhle liegt die *Ušačka pećina* (4), mit 2110 m erforschter Ganglänge die längste Höhle Westserbiens. Sie besteht aus einem etwa 3 m breiten und 4—5 m hohen, an beiden Enden geöffnetem Gang; der untere Einstieg liegt etwa 20 m ober dem Bett des Uvac. Die Höhle wird zeitweise von einem Wasserlauf durchflossen. Sie ist mit kleinen Sinterpfannen und Sinterfällen geschmückt. Nächst beiden eben besprochenen Höhlen befindet sich die *Tubića pećina* (5), die 1002 m lang ist, aber nur geringe Sinterbildung aufweist. Auch sie hat zwei Eingänge, deren unterer im Niveau des Uvacbettes liegt. Ihre Gänge werden zeitweise von einem Wasserlauf durchflossen.

Die Höhle *Pećina na vrelu Raške* (= Höhle an der Quelle der Raška, 6) liegt südwestlich von Novi Pazar, nächst dem Kloster Sopočani. Sie ist die unterirdische Fortsetzung des Flußlaufes, der am Koštak polje versickert. In der Höhle wurde ein Damm angelegt und ein Tunnel erbaut, durch den der Höhlenfluß dem Kraftwerk »Ras« zugeführt wird. Die Höhle ist elektrisch beleuchtet und verfügt sogar über holzgebaute Wege über dem Höhlenfluß, hat jedoch nicht den Charakter eines touristischen Objekts. Die Länge der gangbaren Höhlenräume beträgt 298 m.

Außer den genannten sind noch zwei bekanntere Höhlen aus Westserbien zu erwähnen, die *Prodanova pećina* (7) und die *Pećina u selu Potpeće* (= Höhle im Dorf Potpeće, 8). Die erstere befindet sich 6 km nördlich von Ivanjica und ist 160 m lang, die letztere liegt rund 15 km südöstlich von Titovo Užice. Sie ist in einer Länge von 324 m erforscht und als jungneolithische Fundstätte bekannt geworden.

An der Quelle des Weißen Drim liegt, 12 km nördlich von Peć, die Höhle *Radavačka pećina*. Mit 1500 m erforschter Gänge ist sie die größte Höhle der Landschaft Kosovo und Metohija. Sie besteht aus einem verzweigten System von Gängen und Sälen, die auf mehrere Etagen verteilt sind. Im untersten Geschoß gibt es mehrere Seen, die durch Siphone mit den Quellen des Weißen Drim in Verbindung stehen. Die Höhle ist reich an Stalaktiten und Stalagmiten,

ihre größte Sehenswürdigkeit sind jedoch Sintertröge mit Durchmessern von mehreren Metern und über 1,5 m hohen Wänden. In einem der Säle sind diese Tröge amphitheatralisch angeordnet, so daß sie an Theaterlogen erinnern.

Der vordere Abschnitt der Höhle — vom Einstieg bis zu einem unterirdischen See — ist elektrisch beleuchtet, doch ist die Höhle amtlich noch nicht zur Schauhöhle erklärt worden. Dank der Nähe einer verkehrsreichen touristischen Straße und der malerischen Umgebung hat sie zweifellos die Möglichkeit, sich zu einem touristischen Objekt regionalen Charakters zu entwickeln.

In der Metohija sind im Cañon des Flüßchens Miruša zwei kurze Höhlen entdeckt worden, die *Uljarica* und die Höhle *Veki i Kraljices* (10). An den Wänden dieser beiden Höhlen, die derzeit noch schwer zugänglich sind, befinden sich leidlich erhaltene Fresken mit religiösen Motiven, das Werk eines unbekannten Meisters des XIV. Jh.

Im Merokarst der Umgebung Beograds sind fünf kleine Höhlen erforscht worden; sie haben eine Ganglänge von 7 bis 26 m.

In Ostserbien ist die Höhle *Velika pećina* oder *Dubacka pećina* (11) nördlich von Brodice bis zu einer Ganglänge von 1968 m erforscht. Sie besteht aus einem Hauptgang, der sich am Ende in mehrere kleine enge Gänge gabelt. Durch die Höhle fließt zeitweise ein Wasserlauf. Sie ist an Sinterbildungen verhältnismäßig arm und zudem von den nächsten Verkehrswegen weit entfernt.

Südlich von Kučevu befindet sich nächst dem Dorfe Ceremošnja die Höhle *Ceremošnja* (12). Sie ist trocken, 365 m lang und besitzt einen außerordentlichen Reichtum an Stalaktiten, Stalagmiten und Sintervorhängen. Auch sie liegt abseits der Verkehrswege.

Beim Kloster Ravanica liegt die Höhle *Ravanička pećina* (13), etwa 13 km nordöstlich von Čuprija. Sie besteht aus einem Erosionsgang, der sich am Ende in zwei Arme teilt. Die erforschte Ganglänge beträgt 850 m. Die Höhle ist bequem zu begehen, hat aber nur geringe Sinterbildungen. Sie endet mit einem Siphonsee; von Zeit zu Zeit durchfließt sie ein Wasserlauf.

Die *Resavska pećina* oder *Divljakovačka pećina* (14) liegt etwa 25 km östlich von Despotovac im Kučajgebirge. Ihren Eingangsraum bildet ein großer Saal, dessen Decke eingebrochen ist und so den Einstieg ermöglicht. Am Grunde des Saales öffnet sich ein 20 m tiefer Schacht. Eine Holztreppe führt in einen im Durchmesser etwa 25 m langen Saal hinab, in dessen Mitte ein massiver Stalagmit steht. Ins weitere Innere geht es durch einen waagrechten, gewundenen, 1,5 bis 2 m breiten Gang, der in einer Länge von rund 500 m erforscht ist. Die Säle und Gänge der Höhle sind mit schönen weißen Stalaktiten, Stalagmiten und Sintervorhängen geschmückt. Besonders charakteristisch für diese Höhle sind korallenartige Sinterbildungen.

Die Höhle wird als Schauhöhle eingerichtet, die vermutlich regionale touristische Bedeutung erlangen wird; die diesbezüglichen Arbeiten haben begonnen.

Die Höhle *Zlotska pećina* befindet sich beim Dorfe Zlot, 24 km südwestlich von Bor. Bei ihrem Eingang beginnt das cañonartige Tal der Lazareva reka. Die Höhle besteht aus zwei Haupt- und einer Reihe von Nebengängen; die Gesamtlänge der bislang erforschten Gänge beträgt 1540 m. Die Gänge des oberen Geschosses sind trocken und gangbar, während jene der unteren Etage von einem Fluß durchflossen werden, der unterhalb des Höhleneingangs in Gestalt einer starken Siphonquelle hervorbricht. In der Höhle gibt es stellen-

weise schöne Sinterfälle und Sinterpfannen. Im Eingangsraum liegt eine Schichtenfolge von Ablagerungen, die bis zu einer Tiefe von 6,5 m erforscht sind. Die tieferen Schichten enthalten Artefakte der jüngeren Steinzeit, darüber liegen Schichten der Bronzezeit und jüngere Ablagerungen. Bis jetzt sind rund 6 t Scherben von Tongefäßen, zahlreiche Feuerstellen, Knochen des Höhlenbären, des Höhlenlöwen und der Hyäne, Hirschgewehe und Skelettreste noch anderer Tiere ausgegraben worden.

Die Zlotska pećina ist seit 1959 als Schauhöhle eingerichtet und in einer Weglänge von 580 m elektrisch beleuchtet; die Besichtigung erfolgt in Begleitung eines sachkundigen Führers. Vor der Höhle selbst steht ein Touristenhaus (10 Betten) mit Restauration. Zwischen dem Hause und dem Höhleneingang überspannt eine Hängebrücke den rauschenden Höhlenfluß Lazareva reka. Die Höhle wird jetzt jährlich von durchschnittlich 6000 Touristen besucht. Es besteht die Absicht, nach Abschluß der archäologischen Grabungen in der Höhle selbst ein Museum zu errichten und alle hier gemachten Funde in Vitrinen zur Schau zu stellen.

Die Höhle Vernjikica (16) befindet sich auf der linken Seite des Cañons der Lazareva reka und ist flußaufwärts etwa 1,5 km von der Zlotska pećina entfernt. Zum Einstieg gelangt man auf einem schmalen, in die Kalksteinwand des Cañons gehauenen Pfad, der an einer Stelle einen kürzeren natürlichen Höhlengang durchquert. Die Höhle bildet eine Reihe von stufenförmig aneinander gereihten Sälen, die durch kleine Gänge miteinander verbunden sind; die Gesamtlänge aller Räume beträgt 800 m. Der tiefstgelegene Saal am Ende der Höhle befindet sich 70 m unter dem Eingang; ein senkrechter Kamin in seiner Decke kommuniziert mit der Erdoberfläche. Die beiden größten Säle der Höhle haben einen Durchmesser von rund 120 und eine Höhe von über 50 m. Die Höhle ist trocken und übertrifft in bezug auf Schönheit und Reichtum des Sinterschmucks die Zlotska pećina um ein bedeutendes. In den weiten Höhlensälen erinnern vereinzelt, bis zu 3 m hohe Stalagmiten an Grabstelen. Von der Decke hängen ganze Trauben von Stalaktiten, während die Sohle mit schönen Sinterpfannen und Höhlenperlen bedeckt ist. In der Höhle sind Wege angelegt, doch fehlt noch die elektrische Beleuchtung.

Die Zlotska pećina und die Vernjikica bilden zusammengenommen ein Objekt von regionaler touristischer Bedeutung.

Nördlich von Boljevac befindet sich nächst dem Bergwerk Bogovina die Höhle Bogovinska pećina (17). Vorderhand ist nur der leicht zugängliche Gang erforscht, durch den von Zeit zu Zeit ein Wasserlauf fließt; die Gänge ober und unter diesem Raum sind noch so gut wie unbekannt. Man kann aber schon heute sagen, daß dies die größte und überdies eine der schönsten Höhlen Serbiens ist. Die Gesamtlänge der erforschten Gänge hat schon 3517 m erreicht. 50 m nach dem Einstieg unterbricht den Höhlengang ein Siphon mit 14 m Spannweite zwischen Ein- und Wiederausfluß und mit einer Tiefe von 4,5 m. Da der Siphon den größten Teil des Jahres mit Wasser gefüllt war und den Zugang zu den inneren Höhlenräumen versperrte, grub man i. J. 1960 einen 26,5 m langen Tunnel, der beide Arme des Siphons durchschlug. Beiderseits des Hauptganges erheben sich 5 bis 6 m über der Höhlensohle mehr als 10 m breite Erosionsterassen, an die vermutlich eine ganze Reihe von Nebengängen gebunden ist. Während die Sohle des Ganges infolge des zeitweisen Auftretens des Höhlenflusses keine Sinterbildungen aufweist, sind die genannten Terrassen mit wah-

ren Wäldern von Stalaktiten und Stalagmiten verschiedenster Formen erfüllt, von dünnen Tropfrührchen bis zu massiven Säulen, die karyatidengleich die Decke stützen. Ein besonderes Kennzeichen des Sinterschmucks sind hier zahlreiche gekrümmte Tropfsteine (Excentriques).

Die Sohle des Hauptganges ist vollkommen eben, so daß die Höhle für jeden Besucher leicht gangbar ist. Die Höhle ist nur 500 m vom Bergwerk entfernt; vor ihrem Eingang steht ein Forsthaus. Der Touristische Verein in Boljevac hegt den Plan, die Höhle elektrisch zu beleuchten. Bis dahin hat sie als touristisches Objekt örtliche Bedeutung.

4 km südlich von Svrlijig befindet sich beim Dorfe Prekonoga die Höhle *Prekonoška pećina*. Jovan Cvijić war ihr erster Erforscher und rühmte sie als die schönste Höhle Serbiens. Sie besteht aus einem einzigen, 400 m langen und reich versintertem Gang. Im Jahre 1959 wurde eine Autostraße gebaut, die bis zum Höhleneingang führt, worauf auch im Innern der Höhle Wege angelegt und die Höhle elektrisch beleuchtet wurde. Doch wurden unterdessen in Ermangelung eines ständigen Aufsehers die eingeführten Installationen und leider auch der Tropfsteinschmuck mutwillig beschädigt. Die Höhle hat, touristisch gesehen, lokale Bedeutung.

Eine Besonderheit des Karstes in Serbien sind seine *intermittierenden Quellen*. Drei von ihnen sind allgemein bekannt geworden: die Quelle bei Žagubica in Ostserbien, die Quelle nächst dem Dorfe Bjeluša am Fuß der Mučnja planina in Westserbien und die Quelle bei Tutin im Sandžak, ebenfalls in Westserbien. Die Entleerungsperiode, d. i. die Zeit, die das Wasser zu seinem gänzlichen Ausfluß benötigt, beträgt bei der Quelle von Žagubica 20, bei jener von Beljuša 40 und bei jener von Tutin 46 Minuten, während die Periode der Wiederauffüllung (bzw. des Stillstandes) bei allen drei Quellen im Laufe des Jahres wechselt.

Sadržaj

PRILOG POZNAVANJU KRASA U SRBIJI

Kraški oblici u reljefu javljaju se u planinskim oblastima zapadne i istočne Srbije, na Kosovu i Metohiji i južno od Beograda. Površina svih kraških terena u Srbiji je 7696 km², što predstavlja 8,7 % njene ukupne teritorije (88.361 km²), odnosno 10,6 % ukupne površine krasa u Jugoslaviji (72.470 km²). Kraški reljef je pretežno razvijen na mezozojskim krečnjacima, sa izuzetkom krasa južno od Beograda koji je na sarmatskim krečnjacima. Mezozojske krečnjačke stene leže preko paleozojskih škriljavca i peščara, a sarmatski krečnjak preko heterogenih krednih sedimentata i sarmatskog fliša. Debljina krečnjačkih stena varira od 700 m na Beljanici i Tari i 600 m na Suvoj planini do 20—70 m južno od Beograda. Preovladajuća debljina je 100—300 m. Ono po čemu se kras Srbije razlikuje od primorskog dinarskog krasa u prvom redu su brojne vrtače, uvale i manja polja sa dnem u vododržljivim paleozojskim i eruptivnim stenama i velike količine alohtonog (nekrečnjačkog) nanosnog materijala u podzemlju.

Za istraživanje pećina u Srbiji karakteristična su dva perioda: jedan od 1890. do 1930. godine i drugi od 1950. godine pa naovo. U prvom periodu geomorfološka istraživanja pećina vršio je gotovo isključivo J. Cvijić, a biološka R. Jeannel, E. Ra-

covitza, S. Stanković i P. Remy. U posleratnom periodu istraživanjem pećina bavi se znatno širi krug naučnika. U proteklom periodu istraženo je 610 speleoloških objekata, od kojih su: 316 okapina do 20 m dužine i jame do 5 m dubine; 209 pećine sa kanalima dužim od 20 m; 78 jame dublje od 5 m; a 7 prerasti. Od ispitanih objekata 24 kraške jame i pećine su stalne snežnice i ledenice. Pod zaštitom države nalazi se 19 pećina. Potencijalni turistički objekti su pećina Vernjikica kod Zlota, Bogovinska pećina kod Boljevca, Divljakovačka pećina kod Despotovca i Radavačka pećina kod Peći. Za turističke posete je uredjena jedino Zlotska pećina kod Bora. Pećina ima električno osvetljenje na dužini od 580 m i stalnog vodiča, a pred ulazom je podignut mali hotel. Pećina je otvorena 1959. godine i godišnje je prosečno poseti oko 6000 osoba.

DUŠAN MANAKOVIK', Skopje

LE KARST DE LA MACEDOINE

En Macédoine, le Karst embrasse les régions de l'Ouest et quelques parties de la Vallée de la rivière de Vardar et de ses affluents. Il ressort plus nettement à Žeden, à Suva gora, à Karadjica, à Jakupica, à Bistra, à Galičica, mais il y en a même dans les zones plus élevées de la Šar Planina. Le long du cours inférieur de la rivière de Radika, le Karst s'est développé aussi dans du terrain plâtreux, et par endroits même dans des parois en dolomie.

Les calcaires de la Macédoine appartiennent aux étages paléozoïques, et dans les parties plus basses des chaudrons, aux âges paléogène et néogène. D'après leur composition chimique, ils sont différents même dans une superficie restreinte. Les marbres de la Solunski Glava comprennent, avec d'autres parties composantes, 11,49 % de dolomie, et dans d'autres zones de la Jakupica, il y a dans les calcaires, par endroits, jusqu'à 78,43 % de CaCO₃; dans d'autres zones, on trouve aussi des calcaires purs.

Dans les zones karstiques de la Macédoine, on rencontre les différentes formes du Karst, superficielles et souterraines. Parmi les formes superficielles, il y en a à partir des fissures jusqu'aux poljés karstiques moins considérables. Les fissures (d'après de dénomination locale: »rascepoci«) sont, pour la plupart, réticulées, mais il y a aussi des formes en écuelle. On trouve les exemples les plus caractéristiques dans la montagne de Bistra. Dans les régions montagneuses plus élevées, la plupart de la superficie est, à cause de la décomposition mécanique, transformée en éboulis. Les montagnes de Jakupica, de Bistra, de Galičica, de Kožuf, et d'autres, appartenant à la superficie karstique, excellente par des dolines et des ouvalas. Dans quelques parties de la Jakupica ainsi que dans les Babine dupke, les superficies présentent des creux si nombreux qu'elles passent au Karst grêlé. Les poljés karstiques ne sont pas très considérables; ils appartiennent à des superficies karstiques plus étendues, comme p. ex. le Begovo polje et le Solunsko polje dans la Jakupica. Des poljés karstiques sont aussi le Suvo polje, les Brca au plateau de Hume, etc. Dans les régions montagneuses plus élevées, les poljés ont été influencés par l'érosion glaciaire. C'est pour cela qu'ils diffèrent du reste. Il y a aussi des vallées aveugles, comme par exemple quelques vallées dans la Bistra et dans la Galičica, ainsi que la vallée de la Krapska Reka dans la Jakupica. Caractéristiques sont les vallées sèches dans la masse calcaire du Žeden et dans d'autres massifs calcaires. Les plissages fracturés raides et le changement dans la composition chimique des calcaires ont conditionné la parfaite karstification des cours d'eau superficiels temporaires, et c'est la raison pourquoi, avec les formes

karstiques, les vallées sèches aussi ont pu se développer. De telles vallées confèrent au massif karstique l'air significatif, à côtes, et aboutissent souvent à des vallées en pente.

Des formes souterraines, on connaît et on a exploré, jusqu'à à présent, plus de 100 grottes (»pešteri«) et 12 abîmes (»dupki«). Les grottes les plus intéressantes sont celles de Dona Duka dans le Žeden, de Bela Voda dans la Demir Kapija, de Makarovec dans le cours inférieur de la rivière de Babuna, de Golema Peštera entre Gostivar et Kičevo, et de Kalina peštera. La Dona Duka est l'exemple d'une grotte sèche à réseau étendu de couloirs et de galeries, établis verticalement dans cinq étages, ce qui prouve de déplacement successif du cours d'eau souterrain, causé par les parcours bouchés. La Grotte de Bela Voda est la grotte la plus longue qu'on ait, jusqu'alors, explorée en Macédoine. Elle appartient au type se développant dans des zones temporairement humides. On a découvert la plus belle grotte de la Macédoine entre Gostivar et Kičevo, près du village de G. Djonovica. Dans la partie de l'embouchure, elle ne possède, d'ailleurs, aucun stalactite. Mais dès qu'on entre dans le couloir à cours d'eau permanent, des concrétions au plafond et aux parois excitent notre admiration. Dans la Grotte de Makarovec, on a découvert des vestiges de la faune cavernicole diluviale et de l'outillage de l'homme préhistorique. Quelques grottes servaient d'églises, au moyen âge et sous le régime turc (église St. Marc dans la Donja Babuna), ou d'ermitages (le long de la côte du Lac d'Ohrid); il y a aussi des fresques. La Grotte de Pešnica, dans la vallée de la rivière de Treska, servait jadis, probablement, de fortification.

Fameuses sont les grottes de Gornji et Donji Biješ près du village de Krapa dans la Dautica, celles de Čavkarnik dans la Bistra, la Breznička Vi-linska jama au plateau de Hume, ainsi que les glacières au pied de la Solunska Glava.

KRŠ MAKEDONIJE

Krš u Makedoniji zahvata predele Zapadne Makedonije i pojedine delove u dolini reke Vardara i njenih pojedinih pritoka. Jače je zastupljen na Žedenu, Suvoj gori, Karadjici, Jakupici, Bistri, Galičici, a ima ga i u višim delovima Šar Planine. U donjem toku reke Radike krš se razvio i u gipsnom terenu, a na pojedinim mestima i u dolomitičnim stenama.

Krečnjaci Makedonije su paleozojske i mezozojske, a u nižim kotlinskim delovima paleogene i neogene starosti. Po hemijskom sastavu su čak i na malom prostranstvu različiti. Mermeri Solunske Glave sadrže, pored drugih sastojaka, 11,49 % dolomit, a u drugim delovima na Jakupici ima mestimično u krečnjacima do 78,43 % Ca CO₃; na nekim njenim delovima ima i cistihi krečnjaka.

U kraškim predelima Makedonije zastupljeni su raznovrsni površinski i podzemni kraški oblici. Medju površinskim oblicima ima od škrapa pa do kraških manjih polja. Škrape (rascepoci, po lokalnom nazivu) najčešće su mrežaste, a ima ih i sa okruglastim udubljenjem. Najlepši primjeri ovih oblika su na planini Bistri. U višim planinskim regionima već je deo površine, zbog intenzivnog mehaničkog raspadanja, pretvoren u grohot. Na Jakupici, Bistri, Galičici, Kožufu i na drugim planinama kraške površine se odlikuju vrtačama i uvalama. Pojedini delovi Jakupice kako na Babinim dupkama površi su tako gusto izdubljene vrtačama da prelaze u boginjavi krš. Kraška polja su malog obima; vezana su za veće krečnjačke površine, kao što su Begovo i Solunsko polje na Jakupici. Kraška su polja i Suvo polje, Brca na platou Hume i dr. U višim planinskim regionima kraška su polja preinačena glacijalnom erozijom, pa se u tome razlikuju od drugih. Ima i slepih dolina, kao što su neke doline na Bistri i Galičici i dolina Krapske Reke na Jakupici. Na krečnjačkoj masi Žedena i na drugim krečnjačkim masivima karakteristične su suvodolice. Strmni rasedni odseci i smena u hemijskom sastavu krečnjaka onemogučili su potpunu kar-

stifikaciju predela površinski povremenih tokova, pa su se uporedo sa kraškim oblicima razvile i suvodolice. Ovakve doline daju kraškom masivu karakterističan rebrast izgled i često završavaju s visećom dolinom.

Od podzemnih oblika dosada je poznato i ispitan preko 100 pećina (»pešteri«) i 12 jama (»dupki«). Najinteresantnije su pećine Dona Duka na Žedenu, Bela Voda u Demir Kapiji, Makarovec u donjem toku reke Babune, Golema Peštera između Gostivara i Kičeva i Kalina peštera. Dona Duka je primer suvih pećina sa širokom mrežom kanala i galerija, poredjanih vertikalno u pet nivoa, što ukazuje na sukcessivno spuštanje podzemnog toka uslovljeno zagatom. Bela Voda je najduža dosad ispitana pećina u Makedoniji; pripada tipu koji se razvija u povremeno vlažnoj zoni. Najlepša pećina u Makedoniji otkrivena je na putu između Gostivara i Kičeva u blizini sela G. Djonovice. Samo u početnom delu nema pećinskih ukrasa. Međutim, čim se udje u kanal sa stalnim vodotekom, na pećinskim tavanicama i zidovima redaju se pećinski ukrasi sve lepsi od lepšeg. U pećini Makarovec otkrivena je pećinska diluvijalna fauna i orudje preistorijskog čoveka. Neke pećine su u srednjem veku ili pod Turcima služile kao crkve (Markova crkva u Donjoj Babini) ili pak kao isposničke čelije (na obali Ohridskog jezera); u njima ima živopisa. Pećina Pešnica u dolini reke Treske služila je verovatno nekad kao tvrdjava.

Poznate su jame Gornji i Donji Biješ kod sela Krape na Dautici, Čavkarnik na Bistri, Breznička Vilinska jama na platou Hume i ledene jame ispod Solunske Glave.

SEZNAM JAM, OMENJENIH V TEM LETNIKU
LISTE DES GROTTES MENTIONNÉES DANS CE TOME

- | | |
|--|-----------------------------------|
| Banja Stijena 74, 76 s | Jama pri Šandalji 36, 39 |
| Bela voda 120 s | Jama v Lozi 35, 39 |
| Betálov spodmol 34 s, 39 | Jazben 46 |
| Bezdan, Imotski 84 | Kačna jama 43, 53 |
| Bezdan jama v Somini 94 | Kalina peštera 120 s |
| Biambarska pećina 73, 76 s | Koronjina pećina 91 |
| Bogovinska pećina 113, 116 ss | Kostanjeviška jama 43 |
| Boljanovica 91, 93 | Krapinska pećina 35, 39 |
| Brateljevići 74 | Kremenica 57 |
| Brežnica Vilinska jama 120 s | Križna jama 43, 53 |
| Brezno pri Medvedovi konti 41 | Krška jama 43 |
| Bukovac 36, 39 | Kutske jame 82 |
| Ceremošnja 115 | La Quina 34, 37 |
| Ciganska jama, Željne 35, 39 | Labodnica 46 s, 55, 58 |
| Crvena Stijena 37, 39, 94 s | Ledena peć, Beljanica 113 |
| Čavkarnik 120 s | Ledena pećina, Durmitor 94 s |
| Čeljina pećina 74 | Ledena pećina, Sjenica 113 s |
| Črna jama 44 | Ledene jame, Solunska glava 120 s |
| Čukovec 74 | Ledenica na Lovčenu 93 |
| Dimnice 47 | Ledenica, Bosansko Grahovo 74 |
| Divaška jama 47 | Lipova pećina 94 |
| Divljakovačka pećina = Resavska pećina | Lipska pećina 90, 93, 95 |
| Đakovića pećina 94 s | Magara pećina 93, 95 |
| Djurićina pećina 73 | Makarovec 38, 39, 120 s |
| Dobreljska pećina 82 | Mala Karlovica 43 |
| Dona Duka 120 s | Medjugorska pećina 74 |
| Donja Cerovačka pećina 37, 39 | Megara pećina = Magara pećina |
| Donji Bješ 120 s | Mokra Megara 74 |
| Dubočka pećina = Velika pećina, Bro- | Mokriška jama 33, 36, 39 |
| dice | Mornova zijalka 33, 39 |
| Duboki dô 91, 93, 95 | Najdena jama 44 |
| Dusina 74 | Njivice 33, 39 |
| Gabranka 56 | Novakuša 74 |
| Glavićina 18 | Oberske pećine 74 |
| Golema peštera 120 s | Obodska pećina 90 s, 93 |
| Golića jama 84 | Oraška jama 101 |
| Golobina 58 | Otoška jama 34, 39, 44 |
| Gornja Cerovačka pećina 37, 39 | Ovčja jama 35, 39 |
| Gornji Bješ 120 s. | Parska golobina 35, 39 |
| Govještica 74 | Peć pri Pestin gradu 92 |
| Gradarjevo brezno 57 s | Pećina, Gornja Djonovica 120 s |
| Gradišnica 44 | Pećina na vrelu Raške 114 |
| Grgurevačka pećina 107 | Pećina pod Jerinim brdom 37, 39 |
| Grotta di Trebiciano, gl. Labodnica | Pećina u Gajinama 94 |
| Habečkov brezen 46, 57 | Pećina u Ilijnom brdu 74 |
| Hrustovača 74, 76 s | Pećina u Lomnici 74 |
| Huda luknja 42 | Pećina u Savinom brdu 74 |
| Jama, Srdjevići 82 | Pećina u selu Potpeće 114 |
| Jama pod Babjim zobom 41 | Pećina u Srednjoj Jurkovici 74 |
| Jama pod Herkovimi pećmi 33, 39 | Pećina u tunelu Sozine 103 |
| Jama pri Črnem kalu 35, 39 | Pećine u Brini 37, 39 |
| | Pećine u Nezbroju 94 |

- Pešnica 120 s
 Petnička pećina 113
 Pivka jama 44
 Počkaljska jama 101
 Pod Kalom 34, 39
 Ponikva, Dabarsko polje 75, 82
 Postojnska jama 25, 34, 39, 44, 48, 54
 Potočka zijalka 33, 39
 Predjamska jama 44, 54, 58
 Prekonoška pećina 111, 117
 Prodanova pećina 114
 Propastva 74
 Provalija, Nevesinjsko polje 74
 Provalija, Popovo polje 86 s
 Radavačka pećina 113, 118 s
 Rakovac 19
 Ravanička pećina 115
 Ravenska jama 42
 Rečka 113
 Resavska pećina 113, 115, 118
 Risovača 37, 39, 107
 Romualdova pećina 36, 39
 Roška špilja 35, 39
 Rušpija 74
 Slivski ponor 90 s, 113
 Snjetica 74
 Sopot pećina 90, 92
 Stopića pećina 114
 Strugarska pećina 90
 Subotića pećina 74
 Suha Megara 74
 Svinjska jama 59
 Šebečka provalija 113
 Severljica 74
 Škocjanske jame 35, 47 s, 51
 Špehovka 33, 39
 Taborska jama 43
 Tentera 52
 Titova pećina, Bastasi 75, 77
 Titova pećina, Drvar 21, 75, 77
 Titova pećina, Plahovići 75, 77
 Tkalca jama 44
 Triglavsko brezno 41, 52, 59
 Tubića pećina 113 s
 Uljarica 115
 Ušačka pećina 113 s
 Veki i Kraljices 115
 Velika jama, Fatnica 75
 Velika Karlovica 43, 53, 58
 Velika Ledena jama v Paradani 46
 Velika pećina, Brodice 113 s
 Velika pećina, Ravna gora 36, 39
 Velja peć 90
 Velja Snježnica 94
 Vernjikica 116, 118
 Veternica 36, 39
 Vetrema dupka 113
 Vilenica 47 s
 Vilina pećina, Cerničko polje 81
 Vilina pećina pod Uzdimorem 94
 Vilinska pećina, Gor. Čičevo 74
 Vilinska pećina, Šebešić 74
 Vindija 35, 39
 Visibaba 75
 Vjetrenica 22, 73, 76
 Vlatkovića jama 68
 Vranjača 74
 Zabrdjanska pećina 75, 77
 Zakajeni spodmol 35, 39
 Zelena pećina 74
 Zelske jame 43, 58
 Zlotska pećina 111, 113, 115 s, 118
 Zobnjak 20
 Železna jama 42
 Županov spodmol 35, 39

VSEBINA — SOMMAIRE

Posvetilo IV. mednarodnemu speleološkemu kongresu	3
Baučić Ivo: Hydrological characteristics of the Dinaric Karst in Croatia with a special regard to the underground water connections	61
Hidrološke osobitosti Dinarskog krša u Hrvatskoj s posebnim osvrtom na podzemne vodne veze	71
Bešić Zarija: Hydrologic characteristics of the Karst regions in the Socialist Republic of Montenegro with special reference to subterranean connections Hidrološke karakteristike karsta u SR Crnoj Gori sa posebnim osvrtom na podzemne vodne veze	97
	106
Gams Ivan: Speleological characteristics of the Slovene Karst	41
Speleološke značilnosti Slovenskega kraša	50
Gams Ivan: Aperçu sur l'hydrologie du Karst slovène et sur ses communications souterraines	51
Pregled hidrologije Slovenskega kraša s posebnim ozirom na podzemeljske vodne zvezze	60
Gavrilović Dušan: Ein Beitrag zur Kenntnis des Karstes in Serbien	107
Prilog poznavanju kraša u Srbiji	117
Hadži Jovan: Bemerkungen zu einigen biospeläologischen Problemen des Dinarischen Karstes	21
Priporome k nekaterim biospeleološkim problemom Dinarskega kraša	31
Herak Milan: Geologische Übersicht des Dinarischen Karstes	5
Geološki pregled Dinarskog krša	11
Manakovik' Dušan: Le Karst de la Macédoine	119
Krš Makedonije	120
Osolè Franc: Les stations paléolithiques dans des Grottes en Yougoslavie	33
Prazgodovinska najdišča v podzemeljskih jamah Jugoslavije	39
Petrović Borislav and Božidar Prelević: Hydrologic characteristics of the Karst area of Bosnia and Herzegovina and a part of Dalmatia with special consideration of underground water connections	79
Hidrološke karakteristike krškog područja Bosne i Hercegovine s posebnim osvrtom na podzemne vodne veze	87
Roglić Josip: The delimitations and morphological types of the Dinaric karst	12
Ograničenje i morfološki tipovi Dinarskog krša	20
Ržehak Viktor: Speleological curiosities of the Bosnian and Herzegovinian karst	73
Speleološke znamenitosti Bosansko-hercegovačkog krša	76
Seznam jam, omenjenih v tem letniku — Liste des grottes mentionnées dans ce tome	122

Y U G O S L A V T R A V E L A G E N C Y



Head office LJUBLJANA, Dvořakova 11
Telephones: 312-291; 313-226; Telex: 03-192
Cables: KOMPAS LJUBLJANA; BOX: 307/VI

Branch offices:

Beograd, Budva, Bled, Brnik, Celje, Dubrovnik, Gornja Radgona, Izola, Jesenice, Koper, Kranj, Ljubljana, Maribor, Murska Sobota, Novo mesto, Opatija, Portorož, Poreč, Postojna, Pula, Rabac, Sežana, Sisak, Zagreb

- **TOURIST SERVICES**
- **EXCHANGE VALUTE**
- **RENT-A-CAR SYSTEM**
- **SOUVENIRS**

KOMPAS

ORGANIZES EXCURSIONS IN YUGOSLAVIA AND OTHER EUROPEAN COUNTRIES BY ITS OWN MODERN TOURIST COACHES AS WELL AS BY REGULAR AND SPECIAL TRAINS, STEAMERS, AND AIRPLANES.

KOMPAS

COOPERATES WITH MORE THAN 3000 TRAVEL AGENCIES ALL OVER THE WORLD!

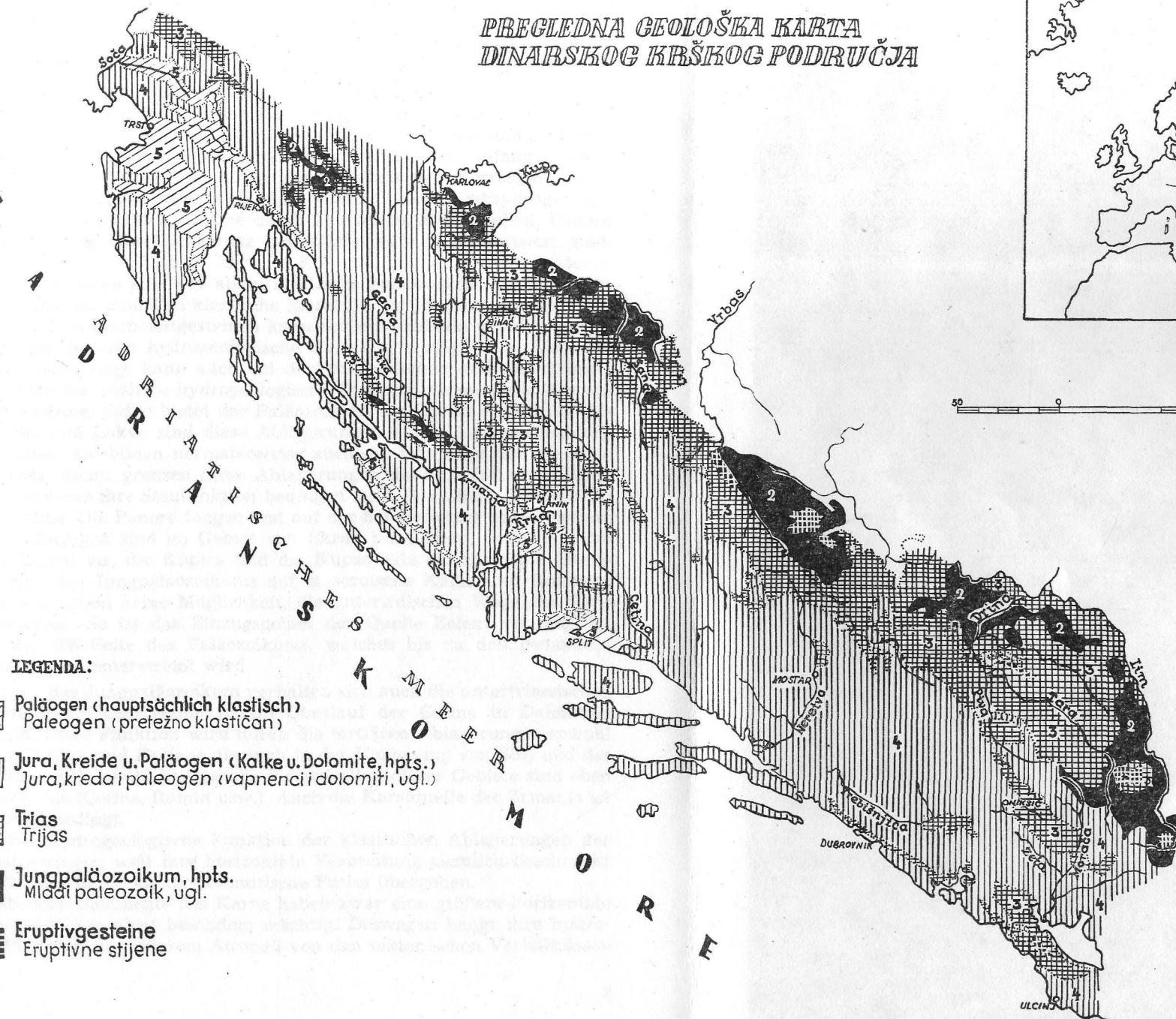


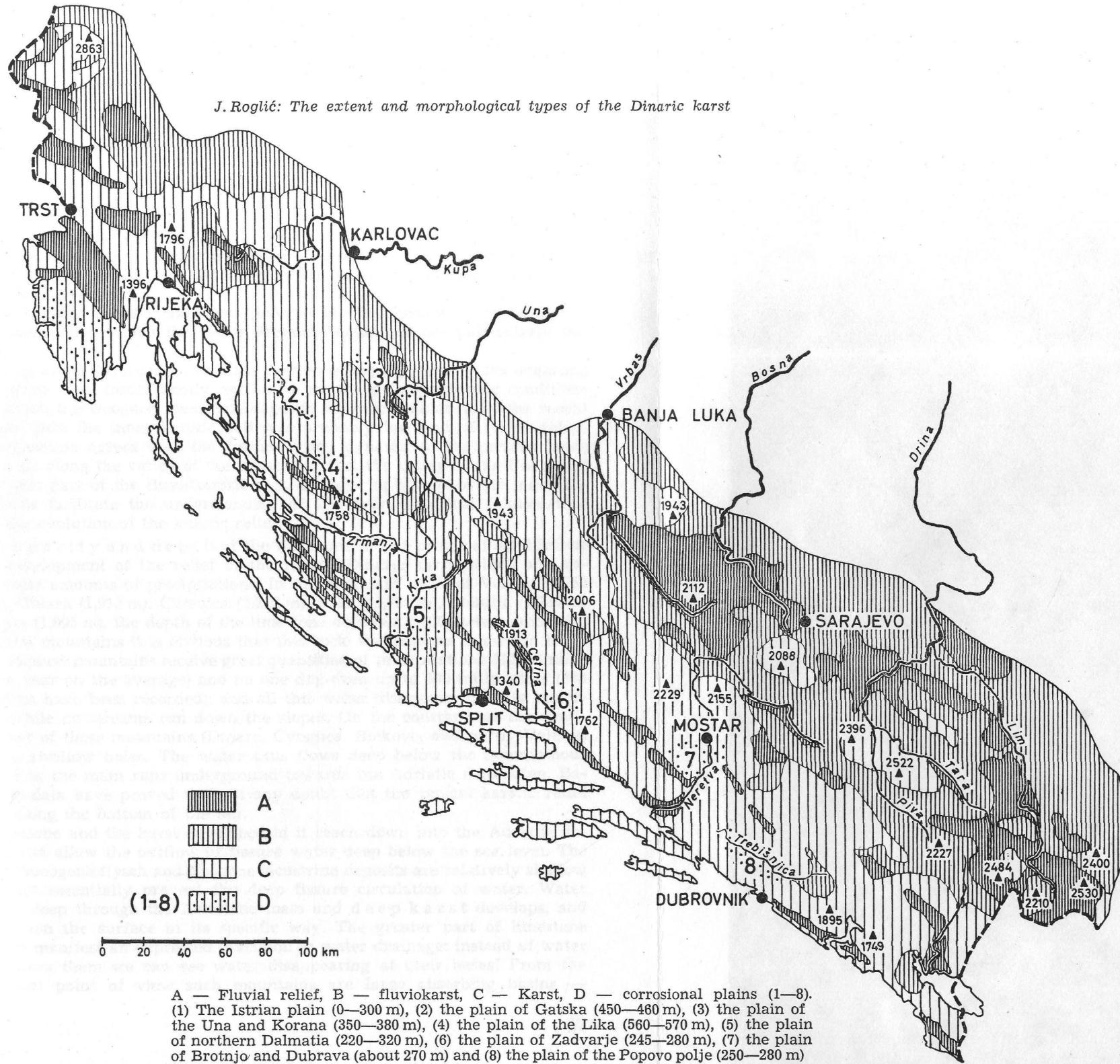
GEOLOGISCHE ÜBERSICHTSKARTE DES DINARISCHEN KARSTGEBIETES

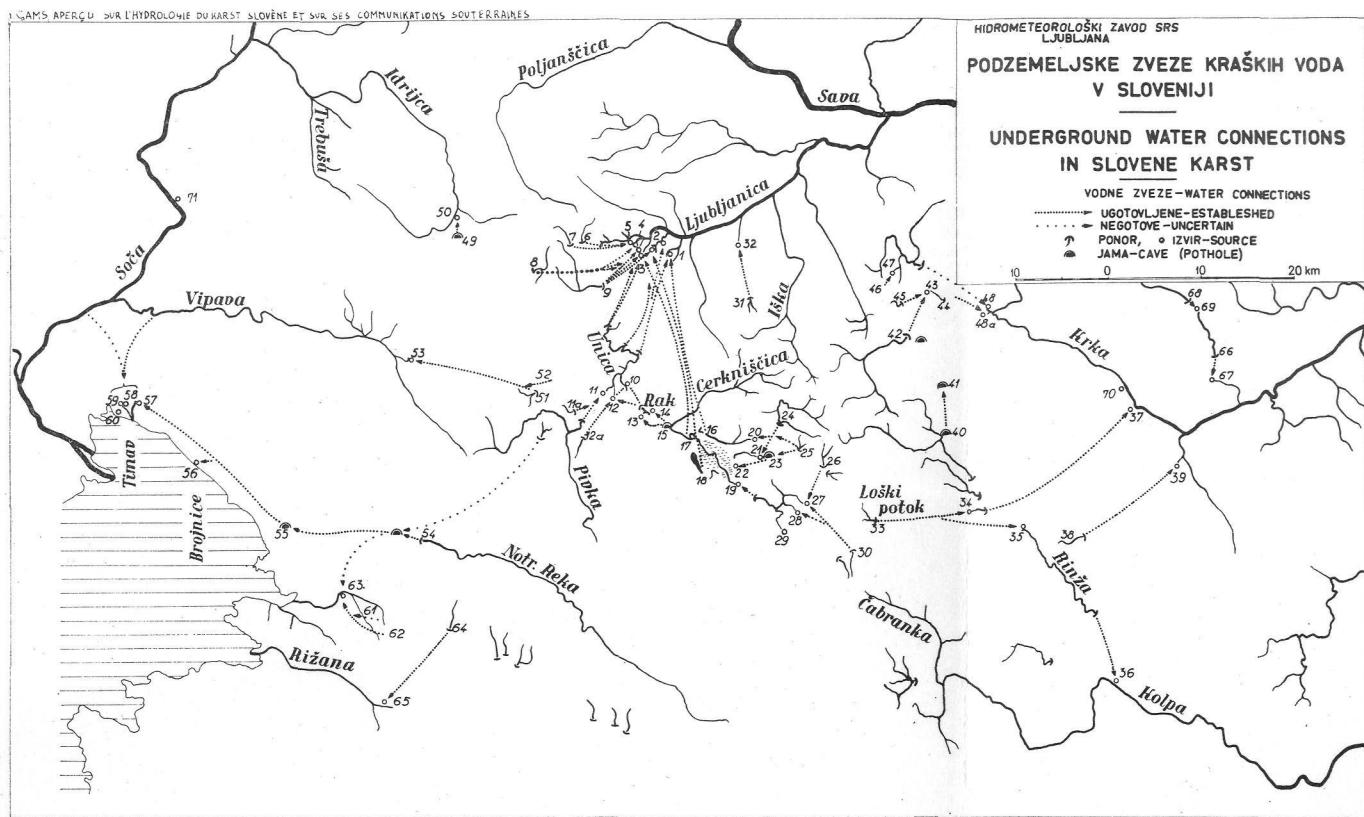
PREGLEDNA GEOLOŠKA KARTA
DINARSKOG KRŠKOG PODRUČJA



50 0 100 km



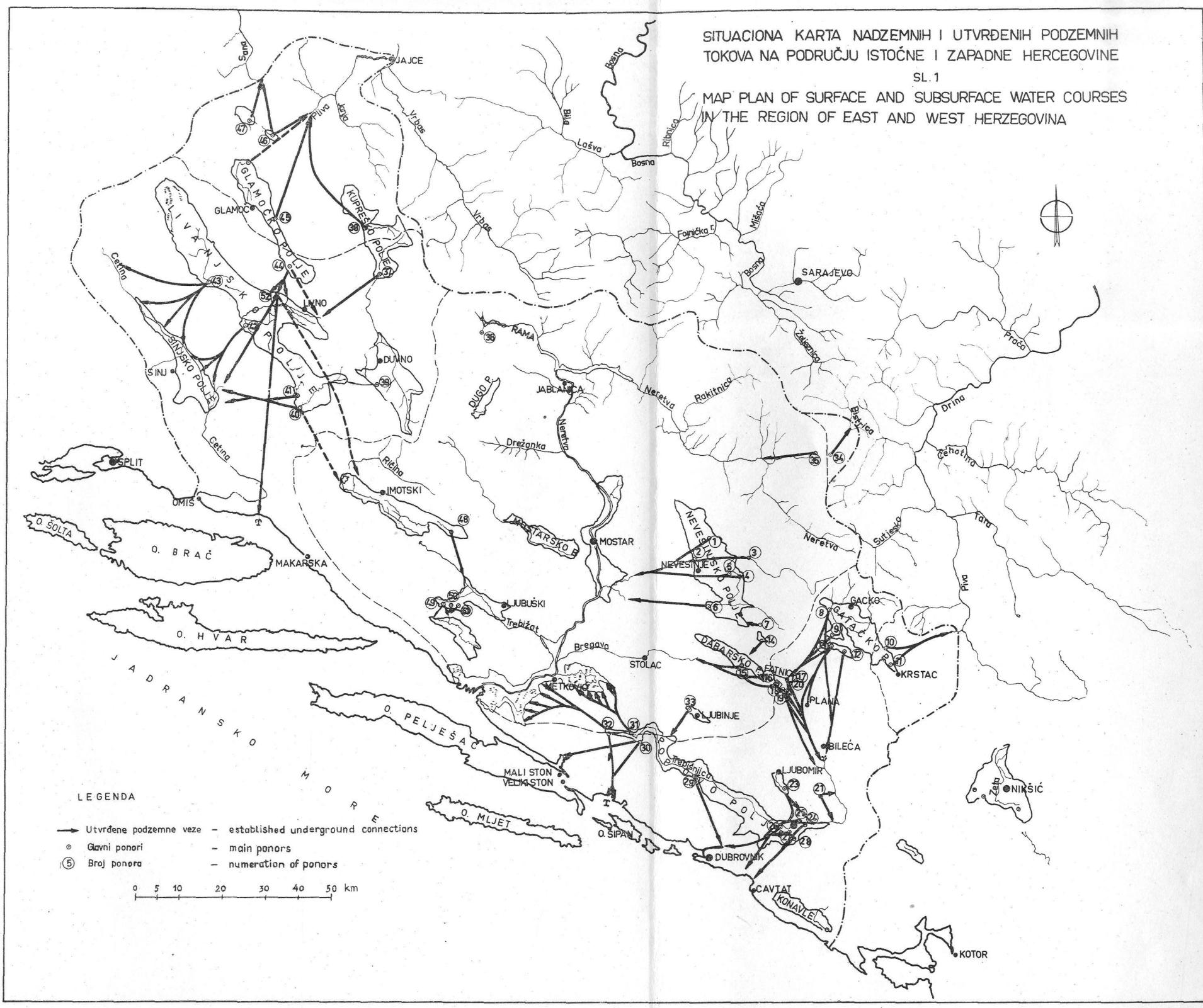


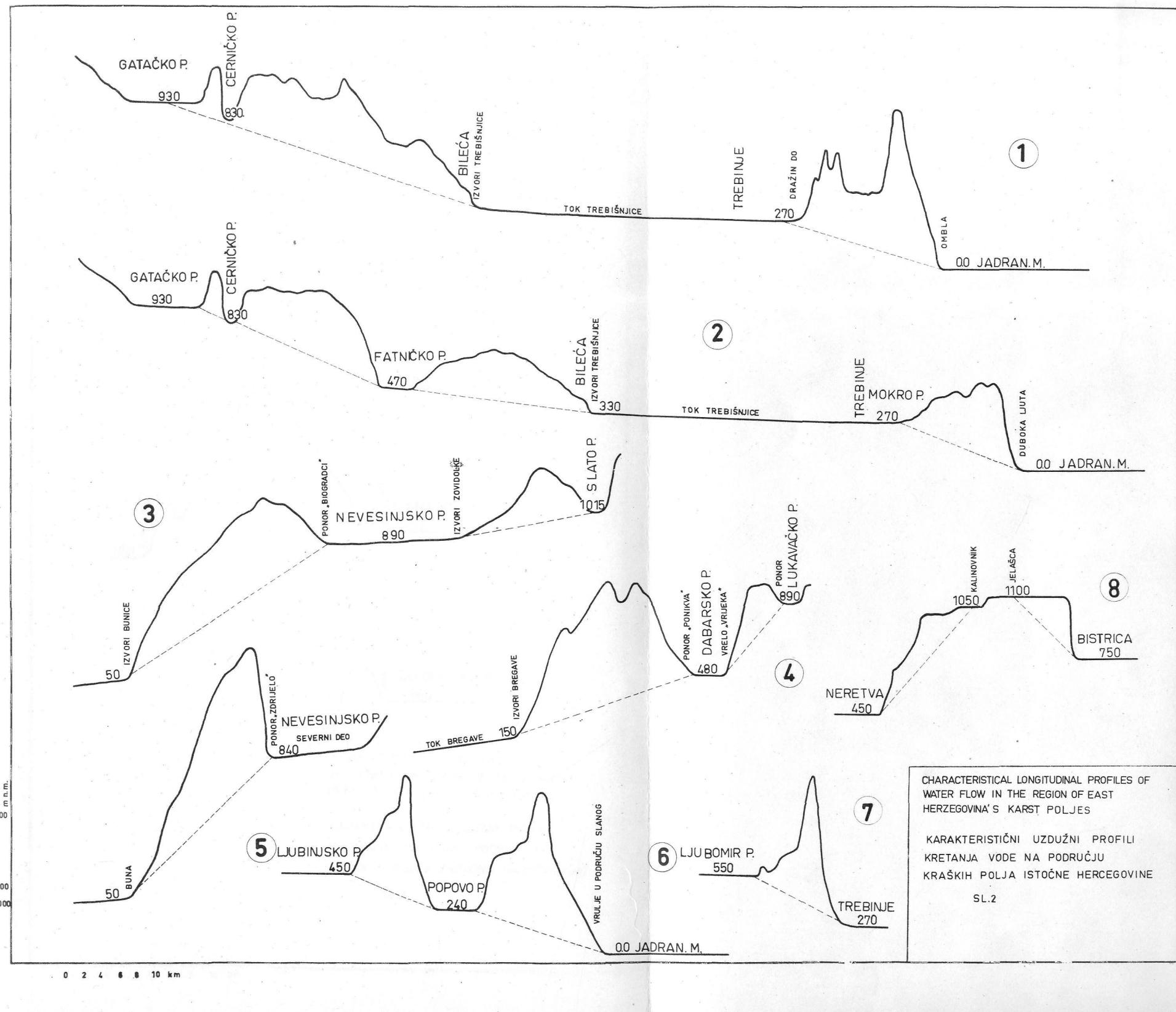


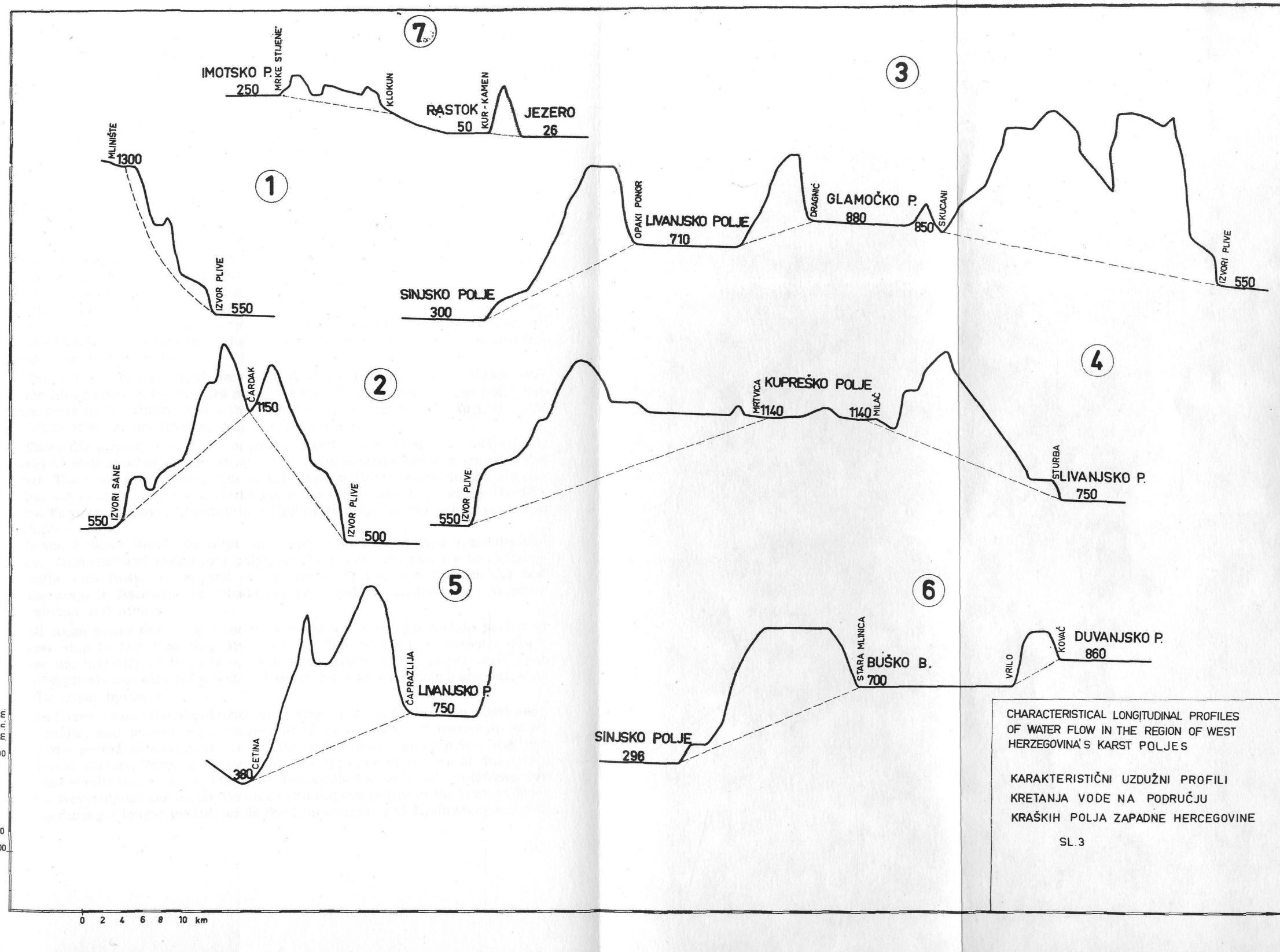
**LISTE DES SOURCES, ENTONNOIRS ABSORBANTS
ET RIVIERES A PERTE**

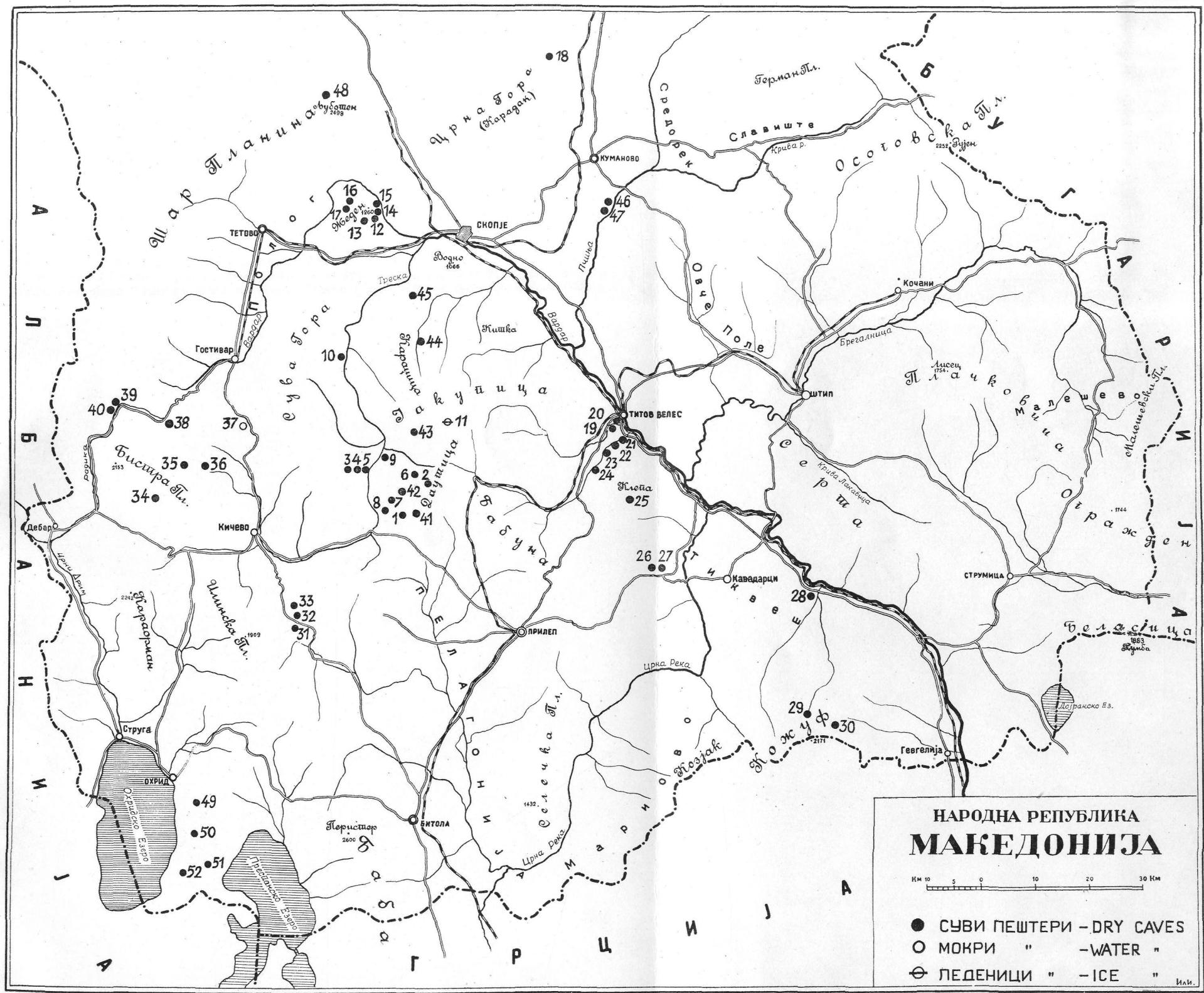
SEZNAM IZVIROV, PONOROV IN PONORNIC

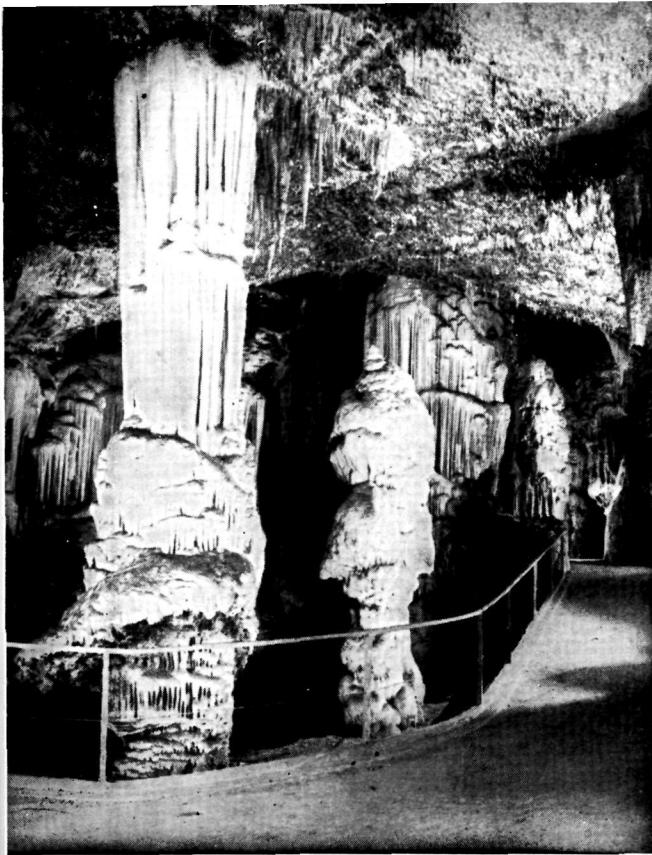
1. Bistra (3 izviri)
2. Lubija (3 izviri)
3. Vel. Ljubljanica (3 izviri)
4. Mala Ljubljanica (2 izv.)
5. Hribščica
6. Petkovc
7. Rovtarica
8. Hotenka
9. Logaščica
10. Izviri v Malnih
11. Pivški rokav } Planinske
12. Rakov rokav } jame
- 11a. Črni potok
- 12a. Javorniški tok
13. Prunkovec in Kotlič
14. Zelške jame
15. Velika Karlovica
16. Retje (ponor)
17. Rešeta (ponor)
18. Češlenica (ponor)
19. Gor. Jezero (3 izviri)
20. Žerovniščica
21. Lipsenščica
22. Gorički potok
23. Križna jama
24. Bloščica (ponor Bečka)
25. Farovščica
26. Studenec v Ravnah
27. Veliki Obrh
28. Bajer
29. Mali Obrh
30. Trbušovica v Prezidu
31. Rakitniški potok
32. Ponikve pri Preserju
33. Loški potok
34. Rakitnica (izviri)
35. Rinža (izvir)
36. Bilpa
37. Tominčev studenec
38. Šalkovski potok
39. Radeščica
40. Tržiščica (ponor Tentera)
41. Kompoljska jama
42. Raščica
43. Izvir Šice
44. Zatočna jama (ponor)
45. Močile — potok
46. Krokarica
47. Izvir pri Trontelnu
48. Izviri Krke
49. Habečkov brezen
50. Podroteja (izvir)
51. Predjama (Lokva)
52. Izviri Belščice in Mrzlenk
53. Izviri Vipave
54. Škočjanske jame
55. Jama Labodnica
56. Brojnica (izviri)
57. Izviri Timava
58. Sardoč
59. Moščenice
60. Lizert
61. Ponor pri Ocizli
62. Ponor pri Beki
63. Izvir Boljunec
64. Ponor pri Odolini
65. Izviri Rižane
66. Gorička vas
67. Luknja (izvir Prečna)
68. Ponikva (ponor)
69. Zijalka (izvir)
70. Šica — Dvor
71. Mrzlek











LA DIRECTION DE LA GROTTE
DE POSTOJNA

vous invite à visiter le monde merveilleux de la

Grotte de Postojna

Horaire

1. Du 1^{er} avril au 31 octobre à 8.30, 10.30, 13.30, 16 et 18 heures
2. Du 1^{er} novembre au 31 mars à 9.30 et 13.30 heures
3. Du 1^{er} juillet au 31 août comme sous 1., et aussi à 12.30 heures

Prix d'entrée (billet du chemin de fer souterrain et guide inclus)

Entrée normale:

adultes	1500 din
enfants de 6 à 12 ans	750 din
Membres des organisations de masse yougoslaves:	
adultes	450 din
enfants de 6 à 12 ans	200 din
Elèves d'écoles secondaires et étudiants yougoslaves en groupe	200 din
Elèves d'écoles primaires et soldats yougoslaves en groupe	100 din
Visites spéciales en dehors des horaires, sur demande adressée à la Direction, pour 4 personnes (Toute personne supplémentaire — prix double d'une entrée normale)	10000 din

NOUS RECOMMANDONS AUSSI LA VISITE DES AUTRES CURIOSITÉS DU KARST

Les Grottes de Škocjan: Cañons souterrains gigantesques parcourus par la Notranjska Reka. Eclairage électrique. Visite tous les jours à 10^h, du 1^{er} avril au 31 octobre aussi à 15^h.

Pivka et Črna jama: Gouffre profond de 70 m où on aperçoit la Pivka souterraine. Eclairage électrique. Visites tous les jours. Du 1^{er} avril au 31 octobre à 8, 10, 14 et 16 heures. En juillet, août et septembre aussi à 12^h. Sur demande à n'importe quelle heure.

Château de Predjama: Ce vieux château est construit dans l'entrée d'une grotte située au milieu d'une paroi verticale haute de 120 m. Musée et collections archéologiques. Visites tous les jours.

Prix d'entrée réduits pour la jeunesse scolaire et les membres des organisations de masse

La Direction