

## Kupferführende Grödener Schichten Sloweniens

*Franc Drovenik, Matija Drovenik und Karel Grad*

### Vorwort

In den Savafalten Zentralsloweniens kommen mehrere Lagerstätten vor. Wir müssen in der ersten Reihe die weltberühmte Quecksilberlagerstätte Idrija und die neuentdeckte Uranlagerstätte Žirovski vrh erwähnen. Kleinere Lagerstätten, wie zum Beispiel Litija (Pb, Zn), Pleše (Pb, Zn, Ba), Knapo (Pb, Zn) und Knapovže (Pb, Zn, Hg) sind aufgelistet.

Außerdem sind in den Savafalten schon längere Zeit auch Kupferlagerstätten bekannt, welche ausnahmslos in den Grödener Sedimenten vorkommen. In der Lagerstätte Škofje, die sich ungefähr 40 km WNW von Ljubljana befindet, wurde schon bereits vor 100 Jahren das Kupfererz abgebaut und verhüttet. Später wurde der Kupferbergbau stillgelegt.

In den letzten Jahren hat man den Kupferlagerstätten in den Savafalten wieder mehr Aufmerksamkeit gewidmet. Die alte Lagerstätte Škofje bei Cerklje ist neu untersucht worden. Die Untersuchungsarbeiten wurden aber auch auf einige andere Kupferlagerstätten und Kupfervorkommen ausgedehnt. Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, die wichtigsten Resultate der neuen Untersuchungen vorzuführen.

### Die Entwicklung der Grödener Sedimente

Dem Alter und der lithologischen Entwicklung nach entsprechen die Grödener Sedimente Sloweniens den klastischen permischen Sedimenten, die im Grödener Tal (Val Gardena) in den Dolomiten vorkommen.

Die Grödener Sedimente sind in größter Mächtigkeit und Ausdehnung in Zentralslowenien, in den sogenannten Savafalten aufgeschlossen (Tafel 1). Man kann sie mehr oder weniger kontinuierlich auf einer Länge von ungefähr 130 km und einer Breite von 25 km verfolgen. Eine etwas kleinere Verbreitung erreichen sie nördlich davon, in den Karawanken, zwischen Jesenice und Jezersko. Weiterhin kommen diese permischen Sedimente auch im Pohorje-Gebiet, das zu den Zentralalpen gehört, vor.

In den Savafalten ist der Anfang der Sedimentation der Grödener Schichten noch nicht genau bewiesen. Sie liegen auf einer über 1000 m mächtigen Serie, die aus dunkelgrauen Schiefer, Quarzmuskovitsandstein, seltener auch aus Quarzkonglomerat besteht, und spärliche und unzuverlässige Fossilien führt. Einige Autoren (Ramovš, 1965) meinen, daß

diese Sedimente ein Äquivalent der Trogkofelstufe darstellen, andere (B user, 1965; Grad, 1968) sind dagegen der Meinung, daß sie noch ins Karbon reichen können. Das Hangende der Grödener Schichten ist im westlichen Teil der Savafalten mit dunkelgrauen, unregelmäßig geschichteten oberpermischen Kalkstein und mit grauem Dolomit in einer Mächtigkeit von 150 m vertreten. Der Kalkstein ist reich an Mikro- und Makrofossilien. Sehr häufig ist die Alge *Vermiporella nipponica* Endo, welche von Foraminiferen *Agathammina* sp., *Globivalvulina* sp. und *Hemigordiopsis* sp. begleitet wird. In Gängen und Nestern sind Gips, Schwefel und seltener auch Fluorit gefunden worden.

In den Karawanken sind die Grödener Schichten zweifellos im Mittelperm entstanden. Das Liegende wird durch eine Schichtenfolge von Kalkstein, Sandstein, Schiefer und Konglomerat repräsentiert; Fossilienreste beweisen den unteren Teil des mittleren Perms. Im Hangenden der Grödener Schichten tritt zuerst ein dünner Horizont von Rauhwanke und Breccie auf. Weiter folgt ein Dolomit, in welchem typische oberpermische Fossilien gefunden worden sind (B user, 1969), z. B. *Gymnocodium bellerophontis* (Rothpl.), *Velebitella triplicata* Kochansky-Devidé und andere.

Nach Angaben aus Österreich wurden die roten klastischen Sedimente am Pohorje hauptsächlich im oberen Perm, nach einigen Autoren aber noch in der unteren Trias abgesetzt.

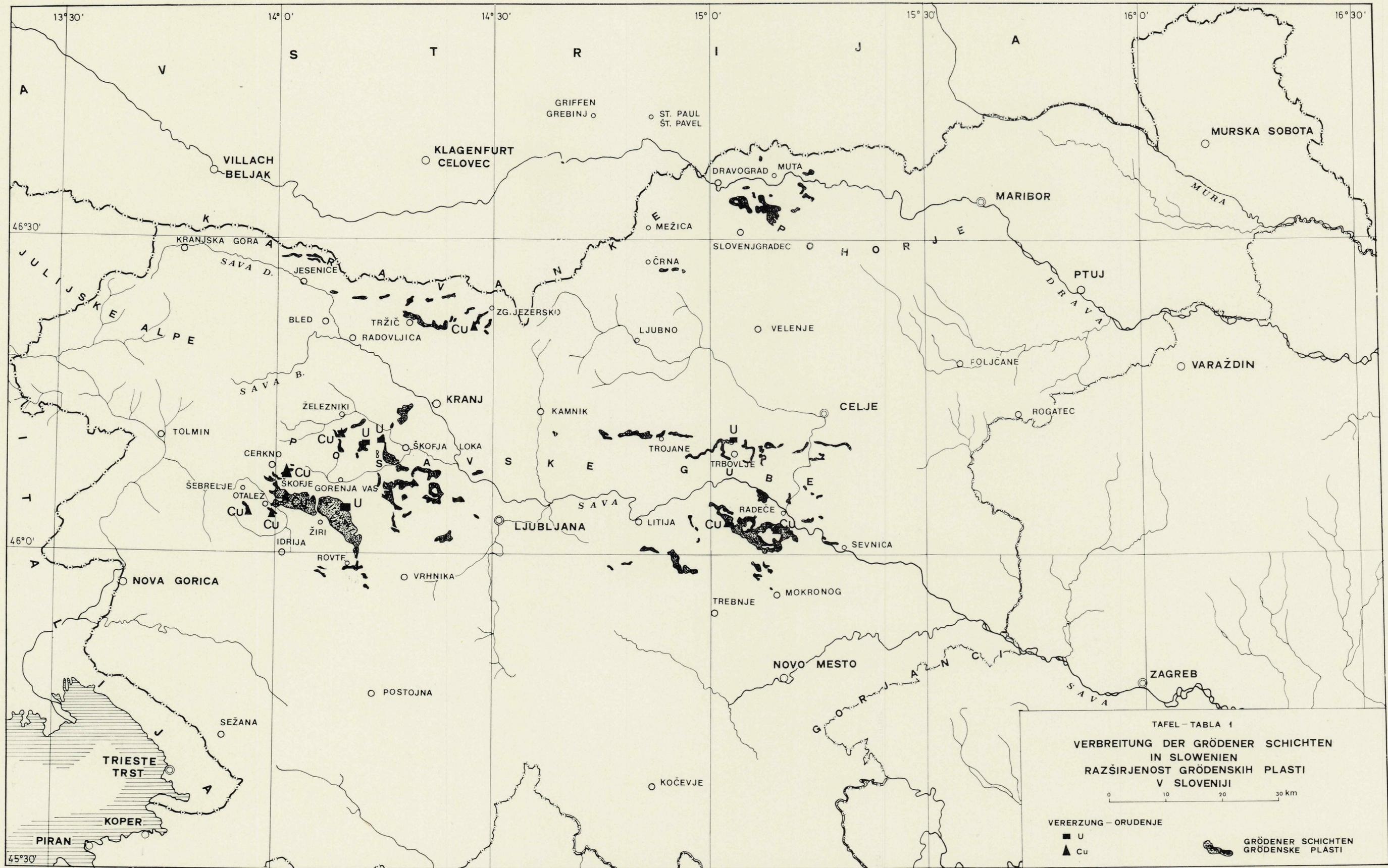
In den genannten Gebieten sind die Grödener Schichten vor allem durch Sandstein, Aleuolith und Schiefer, sporadisch aber auch durch Konglomerat vertreten. Die Mächtigkeit und die Zusammensetzung verschiedener lithologischer Gliedern variieren in vertikaler und horizontaler Richtung, was eine linsenförmige und verfingerter Struktur zur Folge hat. Sehr bemerkenswert ist schließlich die Rhythmik. Im allgemeinen sind die Rhythmen in feinkörnigen Sedimenten kleiner als in grobkörnigen, in welchen sie manchmal auch bis zu 10 m Mächtigkeit erreichen.

Die Schichtung wird durch die auffallende Schieferung stark verwischt. Sogar Konglomeratgerölle und Karbonateinschlüsse sind durch sie unorientiert worden, was besonders gut in der Lagerstätte Žirovski vrh in Erscheinung tritt.

Die Grödener Schichten sind im allgemeinen rot, einzelne Horizonte sind dagegen grün, grau und dunkelgrau. Die Farbengrenzen sind eher scharf als fließend.

### Allgemeine Charakteristiken der Vererzung

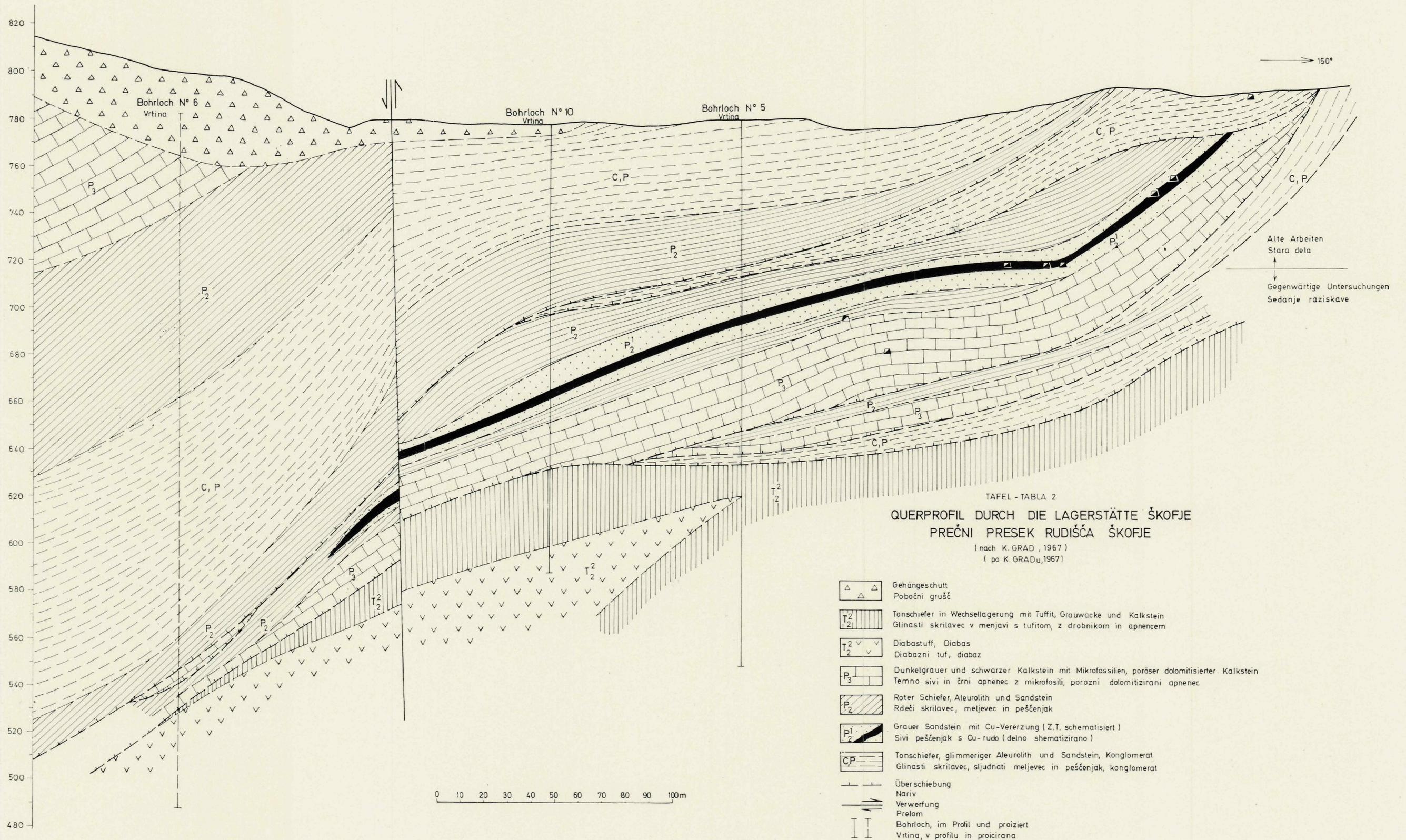
Im westlichen Teil der Savafalten führen die Grödener Schichten die Kupfervererzung im Gebiete von Cerkno (Škofje, Novine, Novaki), im Gebiete von Svodenj (Koprivnik, Hobovše), sowie in der Umgebung von Otalež (Otalež, Masore), von Šebrelje und von Zadnja Smoleva bei Železniki (Tafel 1). Im östlichen Teil der Savafalten sind auch mehrere Kupfervorkommen in der Umgebung von Radeče registriert worden, die aber noch nicht näher erschürft sind. Bis jetzt wurde nur das Gebiet



TAFEL - TABLA 1  
 VERBREITUNG DER GRÖDENER SCHICHTEN  
 IN SLOWENIEN  
 RAZŠIRJENOST GRÖDENSKIH PLASTI  
 V SLOVENIJI

0 10 20 30 km

VERERZUNG - ORUDENJE  
 ■ U  
 ▲ Cu  
 GRÖDENER SCHICHTEN  
 GRÖDENSKIE PLASTI



von Cerkno, wo sich die Lagerstätte Škofje befindet, eingehender untersucht.

Meistenfalls tritt die Kupfervererzung schichtentreu im oberen Teil der Grödener Sedimente auf, in Sovodenj aber erscheint das Erz auch im mittleren Teil.

Die qualitative mineralogische Zusammensetzung des roten, erzleeren grauen und vererzten grauen Sandsteines ist sehr ähnlich. Alle drei Abarten bestehen ganz überwiegend aus Quarzkörnern, die stellenweise so häufig sind, daß es sich schon um Protoquarzit handelt. Die Quarzkörner zeigen meist wellige Auslöschung und sehr feine Risse. Am wahrscheinlichsten stammen diese Körner aus metamorphen Gesteinen. Trotzdem wird magmatische Herkunft nicht völlig abgelehnt; im letzten Falle könnte man die Deformationen der Epigenese zuschreiben. Viele Quarzkörner zeigen authigene Säume oder nur ihre Reste. Feldspäte sind immer vorhanden, obwohl sie keinen beträchtlichen Prozentsatz stellen. Dünnlamellierte Plagioklase sind häufiger als Orthoklas; sie sind durch Albit, Oligoklas und Andesin vertreten. Plagioklase weisen sehr oft einen feinen authigenen Albitsaum auf, der im vererztem Sandstein am schönsten entwickelt ist. Lithoide Körner bestehen vor allem aus Quarzit und aus verschiedenen Schiefen, stellenweise treten aber auch die Körner von karbonatischen Peliten auf, und Körner mit einer mikrokristallinen Struktur, die den Tuff oder das rekristallisierte vulkanische Glas repräsentiert. Spärlich sind noch Chalcedon, Rutil, Magnetit, Hämatit, Apatit, Turmalin und Zirkon erkennbar.

Das Bindemittel führt neben Quarz auch Feldspäte, Karbonate, Tonminerale, Muskovit und Sericit. Im roten Sandstein sollen noch sehr feinkörniger Hämatit und Eisenoxyde, im grünen, grauen und dunkelgrauen hingegen Chlorit, Anthrazit und Pyrit erwähnt werden.

Die chemische Zusammensetzung des roten Sandsteines zeigt ungefähr 70 % Kieselsäure und 22 % Karbonate. Der graue Sandstein, und zwar sowohl der taube als auch der vererzte, hat fast den gleichen Kieselsäuregehalt wie der rote, führt aber im Durchschnitt nur etwa 13 % von Karbonaten. Es soll weiter betont werden, daß die graue Varietät normalerweise mehr Tonerde und Alkalien enthält als die rote.

Aus den mikroskopischen Befunden läßt sich nachweisen, daß die detritischen Plagioklaskörner im vererzten Sandstein gleich starke Kaolinisierung und Sericitisierung aufweisen als im erzleeren. Daraus wird der Schluß gezogen, die Plagioklase waren kaolinisiert und sericitisiert bevor sie sedimentierten. Der authigene Albitsaum ist völlig unverändert, obwohl er sich öfters sogar mit Kupfersulfiden im unmittelbaren Kontakt befindet. Das soll beweisen, daß vererzter Sandstein keine hydrothermale Veränderungen erlitten hat.

Im Sandstein haben die epigenetischen Prozesse zur Mobilisation und teilweise auch zur geochemischen Differentiation geführt. Bei diesen Prozessen entstanden in tektonisch zerrütteten Teilen Quarz-, Quarz-Karbonat- und Karbonatgänge, stellenweise sogar Albitgängchen. Im Bindemittel sprossen gleichzeitig authigene Quarz-, Karbonat- und Albit-

körner. Für diese Albitkörner sind relativ breitere Zwillingslamellen charakteristisch.

Die Erzminerale haben sich vorzugsweise in derjenigen Varietät des grauen und des dunkelgrauen Sandsteines konzentriert, welche die Quarzkörnerdurchmesser von 0,2 bis 0,4 mm aufweist, und in welcher das Verhältnis Körner/Bindemittel etwa 2,5:1 erreicht. Im diesem Sandstein ist oft, obwohl nur in kleinen Mengen, auch Anthrazit anwesend.

In den Erzanschliffen von verschiedenen Lagerstätten und Vorkommen wurden folgende primäre Minerale gefunden (Gantar, 1952; Grafenauer, 1966; M. Drovnik, 1970): Pyrit, Linneit, Bornit, Kupferkies, Kupferglanz, Domeykit, Tennantit, Bleiglanz, Zinkblende und Enargit (Abb. 1). Es soll bemerkt werden, daß in einzelnen Lagerstätten und Vorkommen, ja sogar in einzelnen Schichten und Lagen derselben Lagerstätte, praktisch nie alle primären Erzminerale auftreten. Bemerkenswert ist auch die Tatsache, daß in den meisten Fällen Kupfersulfide viel häufiger sind als Pyrit.

Bornit ist in vielen Schichten und Lagen das dominierende Erzmineral. Er ist mit Kupferkies und Pyrit oder mit Kupferglanz und Tennantit vergesellschaftet. Linneit, Bleiglanz und Zinkblende sind untergeordnet oder in Spuren vorhanden; Domeykit und Enargit stellen wohl eine mineralogische Seltenheit dar. Oxydations- und Zementationsprozesse führten zur Bildung von Malachit, Azurit, Chrysokoll, Eisenoxyde, Covellin, Kupferglanz, Neodigenit, Kupferkies und Idait.

Im Sandstein sind die Erzminerale auf verschiedene Art und Weise vorhanden:

Zuallererst sei erwähnt, daß die Sulfide überwiegend im Bindemittel erhalten sind, wo sie Imprägnationen in Größen von der Grenze der Auflösbarkeit im Mikroskop bis zu einigen mm zeigen; diejenige mit dem Durchmesser von 60 bis 120 Mikronen sind am häufigsten. Kleinere Imprägnationen sind gewöhnlich monomineralisch. Größere bestehen hingegen oft aus zwei oder sogar drei Sulfiden. Es ist wohl kennzeichnend, daß die Altersfolge der Erzminerale schwer bestimmbar ist, sowie, daß sie für ein gewisses Sulfidpaar nicht überall konstant ist. Beispiele sind bekannt, wo in demselben Anschliffe Bornit älter ist als Kupferglanz und umgekehrt. Größere Imprägnationen liegen oft schichtungsparallel und sind von authigenen Quarz-, hier und da auch von Albitkörnern umgeben.

Einen besonderen Fall der Vererzung stellen die konkordante Sulfidlagen und Sulfidlinsen dar, in welchen einige Sulfide oft Pseudomorphosen nach Pflanzenresten bilden. Pseudomorphosen zeigen erzmikroskopisch die Einzelheiten der Pflanzenstrukturen in großer Klarheit, wobei die Zellen stets undeformiert sind; ein Zeichen dafür, daß Pflanzenreste unmittelbar nach der Einbettung und vor einer stärkeren Überlagerung durch Sulfide verdrängt waren. In diesen Lagen und Linsen sind inkohlte Holzreste auch noch öfters, obwohl nur mikroskopisch nachweisbar, vorhanden.

Im tektonisch stärker durchbewegten Erze kommen die Sulfide in Quarz-, Quarz-Karbonat- und Karbonatgängen und Gängchen vor, manchmal sogar in schön entwickelten Kristallen. Es handelt sich um spätere

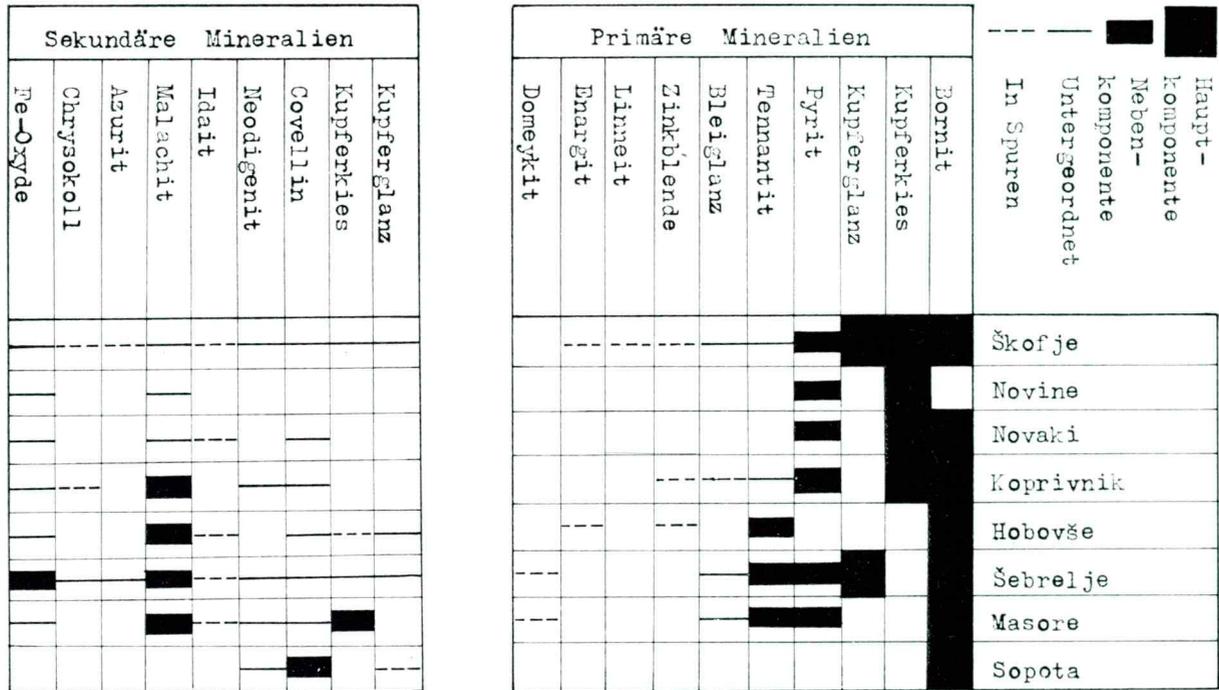


Abb. 1. Mineralparagenesen der Kupfererze in Grödener Schichten  
 Sl. 1. Mineralne parageneze bakrovih rud v grödenskih plasteh

Umlagerungen. In der Regel befinden sich in Gängen und Gängchen dieselbe Erzminerale wie im umgebenden, vererzten Sandstein.

Das Vorkommen der konkordanten, vererzten Schichten und Lagen, die Art des Auftretens der Erzminerale, sowie die Abwesenheit aller hydrothermalen Veränderungen beweisen, daß sich die Sulfide im Grödener Sandstein, Aleurolith und Schiefer während der Diagenese gebildet haben. Sie kristallisierten bei der Anwesenheit der Metallionen und des Schwefelwasserstoffs, welcher als Resultat der bakteriellen Reduktion der Sulfate angesehen wird. Später, zur Zeit der Epigenese und der retrograden Epigenese, haben sich wegen der veränderlichen physikalisch-chemischen Verhältnisse mehrere Generationen von Erzminerale sowie auch Gangminerale gebildet.

## Die Lagerstätte Škofje

### *Geologische Übersicht*

Regional betrachtet bildet die Struktur der Lagerstätte Škofje den Bestandteil einer Decke viel größeren Umfangs, die der sogenannten vierten Decke von Idrijagebiet (Mlakar, 1969) zugehört.

In der Basis dieser Decke sind mitteltriassische Sedimente festgestellt: schwarzer Tonschiefer, Grauwacke und Diabas-Tuff.

Die Decke besteht aus den Sedimenten der unteren Trias, des oberen und mittleren Perms und des Permo-Karbons. Die Decke entstand im Posteozen.

Das geologische Profil durch die Lagerstätte Škofje (Tafel 2) ist im großen und ganzen charakteristisch für dieses kupfererzführendes Gebiet. Man kann es durch eine überkippte Falte erklären, die mit ihrer Grundfläche gegen NW einfällt und die durch nachträgliche Verschiebung zerissen und im unteren Teil verschuppt worden war.

Die Kupfervererzung tritt konkordant in Grödener Schichten, und zwar im verschuppten Teile dort auf, wo die Schichtenfolge invers erscheint, d. h. wo die Grödener Schichten auf den oberpermischen karbonatischen Sedimenten liegen. Diese inverse Lagerung kann man trotz starker Tektonik auf größere Entfernung verfolgen.

Außer tangentialer Tektonik sind im genannten Gebiet auch ziemlich steile Verwerfungen, die NW—SE, N—S und auch quer zu diesen Richtungen streichen. Die NW—SE orientierten Verwerfungen wurden auch in der Grube beobachtet. Jedoch konnte man auf keine Verbindung zwischen ihnen und der Vererzung schließen.

Um eine eingehendere Vorstellung von der Vererzung der Lagerstätte zu bekommen, führen wir ein, mit Bergbauarbeiten und Bohrungen, genau untersuchtes Profil an (Abb. 2). Das Profil ist z. T. schematisiert und verfolgt die Vererzung etwa 110 m im Fallen. Wir können es als Modell für das ganze untersuchte Gebiet von Škofje annehmen.

Aus dem Profil ist ersichtlich, daß auf leicht welliger Unterlage von oberpermischen Karbonatgesteinen die graue Grödener Serie auftritt, welche z. T. vererzten Quarzsandstein und Aleurolith enthält. Die Mächtigkeit der grauen Serie ist im rechten Teil des Profils ca. 20 m, in der Mitte

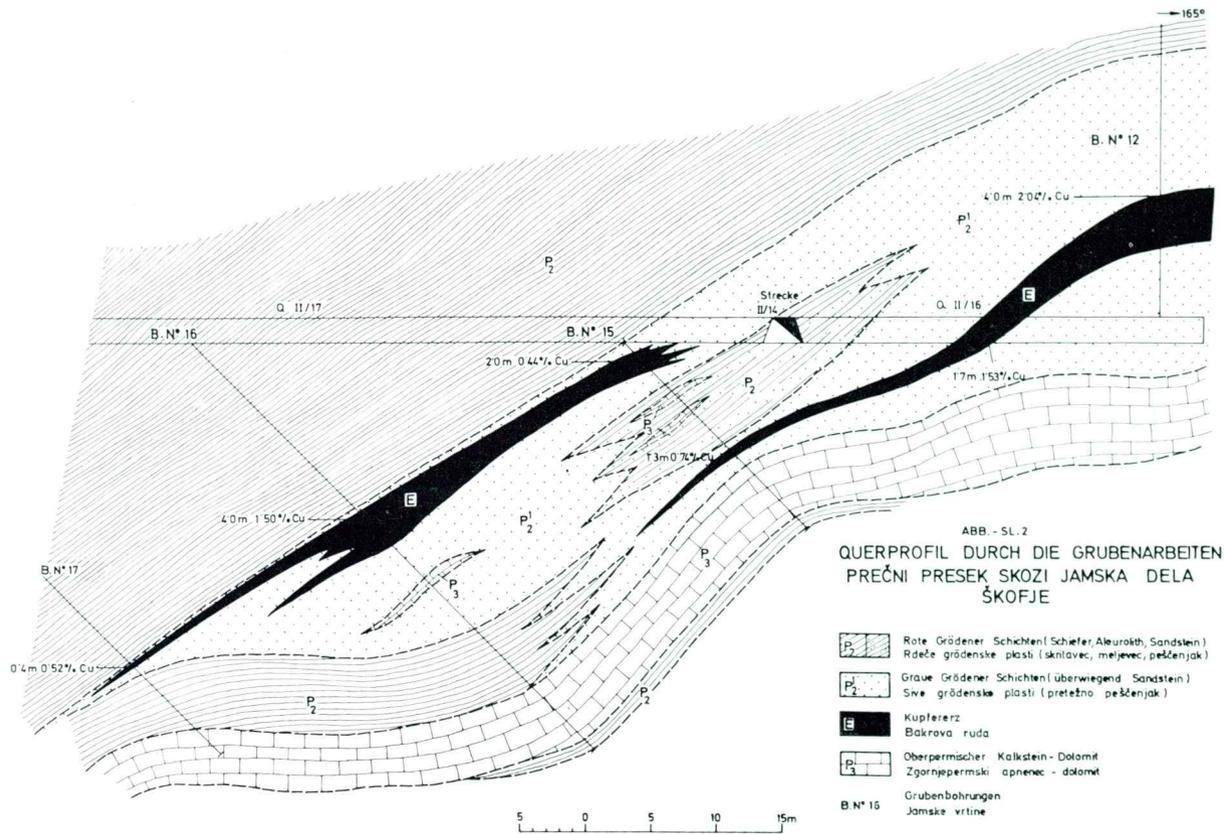


Abb. 2. Querschnitt durch die Grubenarbeiten im Bergbau Škofje  
 Sl. 2. Prečni presek skozi jamska dela Škofje

ca. 10 m, im linken Teil keilt sie aber allmählich aus und wird durch rote Grödener Schichten, die auch das Hangende der Serie bilden, verdrängt. Im beschriebenen Profil meldet sich das Kupfererz in zwei Sandsteinschichten, die etwa 10 m voneinander entfernt sind; jedoch ist die Grenze der vererzten Schichten nicht so viel lithologisch als durch die chemischen Analysen nachgewiesen worden. Im mittleren Teil der grauen Serie kommt eine Schicht vor, in welcher grüner und roter feinkörniger Sandstein — Aleurolith wechsellagern. Diese buntfarbige auffällige Schicht, jedoch viel dünner, ist sonst sehr typisch für den erzführenden Horizont. Sie ist gewöhnlich mit einigen Prozent von Pyrit gekennzeichnet (Kombinationen von Pentagondodekaeder mit Würfel).

Die Mächtigkeiten und die Kupfergehalte im gezeigten Profil sind:

I. Schicht:		Mächtigkeit m	% Cu
	Bohrloch V <sub>12</sub>	4,0	2,04
	Querschlag II/16	1,7	1,53
	Bohrloch V <sub>15</sub>	1,3	0,74
	Durchschnitt	2,3	1,68
II. Schicht:			
	Bohrloch V <sub>15</sub>	2,0	0,44
	Bohrloch V <sub>17</sub>	0,4	0,52
	Bohrloch V <sub>16</sub>	4,0	1,50
	Durchschnitt	2,1	1,42

Solange unsere Untersuchungen nur mit Tiefbohrungen von der Oberfläche in Abständen von 150—200 m ausgeführt wurden, haben wir die Vorstellung von nur einer kontinuierlichen Erzschieht gehabt. Mit detaillierten Bergbauarbeiten sind wir aber zur Erkenntnis gekommen, daß es sich nicht um eine, sondern um mehrere, bis zu viermal sich wiederholende linsenförmige Schichten handelt. Um die Dimensionen dieser Schichten feststellen zu können, waren aber unsere Untersuchungsarbeiten noch immer zu spärlich. Wir vermuten jedoch, daß die Schichtenfläche höchstens 50 × 50 m beträgt.

In aderen, weniger untersuchten Profilen, werden ähnliche Verhältnisse festgestellt. Die graue Grödener Serie ist 18—20 m mächtig, die Vererzung kann so im unteren, wie auch im mittleren oder im oberen Teil auftreten.

Die Kupfersulfide stellen die Vererzung in den erwähnten Schichten und Lagen dar. Das Verhältnis zwischen ihnen ist aber sehr veränderlich, so daß man drei Haupterzsorten unterscheiden kann: Bornit-Kupferkieserz, Bornit-Kupferglanzerz und Kupferkies-Pyrit. Die Verbreitung der einzelnen Erzsorten innerhalb des erzführenden Horizontes ist nicht regelmäßig. Es ist kennzeichnend, daß das Bornit-Kupferkieserz, welches neben den beiden Haupterzmineralien noch Pyrit, Kupferglanz und Tennantit, in Spuren aber auch Linneit sowie Zinkblende enthält, vorherrscht. Einzelne Erzsorten treten in getrennten Schichten und Lagen auf, die aber manchmal dicht nebeneinander liegen. Verschiedene mine-

ralogische Zusammensetzung der benachbarten Schichten und Lagen beweisen ungleichartige physikalisch-chemische Verhältnisse während der Diagenese: Eh und die  $H_2S$  Konzentration sollten vor allem stärker variieren.

Die Erzminerale bilden in Erzschieften und Erzlagen feine Imprägnationen, die aber eine Größe von 1 mm im allgemeinen nicht überschreiten. Außerdem treten im westlichen Teil der Lagerstätte, der durch die Tektonik stärker beansprucht war, die Kupfersulfide auch in Quarz-, Quarz-Karbonat- und Karbonatgängen und Gängchen vor. Stellenweise wurden auch dünne Sulfidlagen und kleine Sulfidlinsen gefunden.

Schwefelisotopen-Untersuchungen der Sulfide haben als wichtigstes Merkmal (M. D r o v e n i k et. al. 1970) eine Anreicherung des Isotopes  $^{32}S$  — des »leichteren« Schwefels — ergeben. Die  $\delta S^{34}$ -Werte schwanken nämlich zwischen  $-8,79\text{‰}$  und  $-37,93\text{‰}$ , und zeigen eine Streuung von  $30\text{‰}$ . Eine so starke Streuung kann nur mit der Teilnahme des durch die sulfatreduzierenden Bakterien erzeugten  $H_2S$  bei der Kristallisation der Sulfide erklärt werden. Die gewonnenen Isotopen-Meßergebnisse bestätigen also die diagenetische Entstehung von Erzminerale in der Lagerstätte Škofje.

#### *Bergbauarbeiten*

In der Lagerstätte Škofje wurde die Lage der vererzten Schichten aus den alten Grubenplänen bekannt. Weil aber die alten Stollen schon längst eingebrochen sind, hat man unterhalb d. h. auf der Kote 657 m, einen neuen Stollen im Streichen des vererzten Horizontes als Hauptuntersuchungstollen angesetzt. Nach einer Länge von 250 m steigt dieser mittels eines Aufbruchs auf die Kote 690 m; seine ganze Länge beträgt ungefähr 800 m. In entsprechenden Entfernungen, meist alle 50 m, ist der Erzhorizont querschlägig durchschnitten worden. Zwecks eines schnelleren Vortriebs wurde der Stollen in rotem Grödener Schiefer angesetzt, weil sonst der Vortrieb im harten Quarzsandstein schwieriger, d. h. langsamer und teurer gewesen wäre.

Diese Untersuchung wurde mit 33 Tiefbohrungen von der Oberfläche (insgesamt 8600 m) und mit 17 Bohrungen (insgesamt 500 m) innerhalb der Grube ergänzt. Somit ist eine genauere Vorstellung über das Auftreten der Erzschieften und -Lagen und eine präzisere Probenahme ermöglicht worden. Nach Angaben der Grubenuntersuchungsarbeiten, Tiefbohrungen und Probenahmen hat man 1 270 000 t Erz mit  $0,97\%$  Cu bzw. 12 300 t Kupfermetall festgestellt.

#### *Geophysikalische und geochemische Untersuchungen*

Hinsichtlich der ziemlichen Bedecktheit des untersuchten Geländes wurde die engere und breitere Umgebung von Škofje auch mit geophysikalischen und geochemischen Methoden untersucht.

Die Bedingungen für erfolgreiche geophysikalische Untersuchungen sind nicht günstig, deswegen wurden diese Untersuchungen später vollkommen aufgelassen. Das Kupfererz tritt nämlich in linsenförmig ent-

wickelten, verhältnismäßig dünnen Schichten von grauem Sandstein auf und enthält nur 1—2 % Sulfiden, die z. T. an der Oberfläche ausgelaugt oder oxydiert sind. Außerdem ist die geologische Lage der untersuchten Gebiete verwickelt und der erzführende Horizont ist manchmal mit anderen Schichten bedeckt, d. h. an der Oberfläche treten keine Ausbisse auf.

Folgende geophysikalische Methoden wurden verwendet: Eigenpotential, scheinbarer spezifischer Widerstand und induzierte Polarisation.

In gegebenen Verhältnissen hat sich die IP Methode als die wirkungsvollste gezeigt, im großen und ganzen genommen wurden aber mit erwähnten Methoden keine neuen Erzvorkommen entdeckt. Trotzdem sei hier ein Beispiel erwähnt, bei welchem, an einer geologisch günstig bedingten Stelle, d. h. am Kontakt vom oberpermischen Kalk und Grödener Schichten, mit der IP Methode eine umfangreiche Anomalie festgestellt wurde (etwa 4,5 % IP). Ein Nachweis mit Bohrungen hat kein positives Resultat gegeben. Nachträglich hat man diese Anomalie mit der Erscheinung einer elektrolytischen Polarisation erklärt, die sehr wahrscheinlich von fein verteilten organischen Substanz und Tonmineralien verursacht wurde.

Mit der gegenseitigen Anwendung der erwähnten geophysikalischen Methoden hat man mehr Erfolg bei genauerer Ermittlung der bedeckten Kontakte von Karbonatgestein mit Schiefer und Sandstein gehabt.

Geochemische Untersuchungen wurden unter der Voraussetzung, daß die primäre Streuung (Aureole) wenig oder überhaupt nicht entwickelt ist, ausgeführt. Infolgedessen haben wir uns für die Probenahme der Schlammablagerung in Bächen und des Wassers in den Quellen entschlossen. Es sei hier erwähnt, daß das Gelände außer klastischen Grödener Sedimenten auch von anderen Gesteinen, z. B. karbonatischen, und von schwarzem karbonischen Schiefer aufgebaut ist. Gewässer, die ihren Ursprung in karbonatischen Gesteinen haben, verursachen eine rasche Neutralisierung, und auf diese Weise vermindern sie die Beweglichkeit der Metallionen. Durch den schwarzen karbonischen Schiefer, welcher an sich schon einen angereicherten Metallinhalt aufweist, wird das Bild der Verteilung von Haupt- und Nebenelementen stark verzerrt. Gegenseitiger Einfluß mehrerer solcher Faktoren außerhalb unserer Kontrolle bereitete auf diese Weise bei geochemischen Untersuchungen ziemlich große Schwierigkeiten.

Im folgenden werden einige Angaben angeführt, die trotz der Unzulänglichkeit beider Methoden, nach unserer Meinung, interessant erscheinen:

Mit der Schlammniederschlagsprobenahme haben wir die nächste Umgebung der alten Bergbauarbeiten bei Škofje, welche als Modell dienen soll, erfaßt, nebst der Umgebung von Sovodenj, die uns am Anfang als zweitaussichtsvollste erschien. In dem sehr stark entwickelten hydrographischen Netz dieses Gebietes (etwa 40 km<sup>2</sup>) hat man eine systematische Schlammprobenahme durchschnittlich auf alle 100 m ausgeführt, um mit der Siebung die Fraktion minus 80 mesh zu erreichen. Alle Proben sind auf Cu, Pb und Zn, eine Hälfte auf Ni, Ag und Hg und in seltenen Fällen auch auf Co und V analysiert worden.

Die Resultate dieser umfangreichen Arbeit (etwa 5000 Analysen) sind bis jetzt noch nicht gänzlich interpretiert. Es ist aber vollkommen klar, daß man mit diesen Untersuchungen keine neuen Erzvorkommen entdeckt hat. Dagegen hat man stellenweise alte Bergarbeiten und Wege, die einst zum Transport der Kupfererze dienten oder die absichtlich mit Haldenmaterial aufgeschüttet wurden, markiert.

Weiter hat man festgestellt, daß das Kupfererz ziemlich sicher von Zink und im bestimmten Ausmaß auch von Ni und Hg als Indikatoren begleitet wird. Zink ist in erzführenden Schichten sehr selten in Mineralform als Sphalerit in der Begleitung von Galenit gefunden worden, dagegen sind Ni- und Hg-Mineralien in der Lagerstätte nicht bekannt (Hg erscheint möglicherweise im Tennantit).

In der Nähe der anomalen Kupferwerte (400 bis 1000 ppm) erhöht sich der Zinkwert auf 150—200 ppm, Ni auf 40—50 ppm und Hg auf 0,75—1,0 ppm. Es muß betont werden, daß es sich bei den genannten Beispielen um Schlammproben handelt, welche bachabwärts von alten Halden und Wegen herkommen. Es ist fraglich, wie das Verhältnis zwischen diesen Metallionen wäre, wenn es sich etwa um Ausschwemmungen aus Erzausbissen handeln würde.

Co gibt es normalerweise weniger als 10 ppm, inzwischen variiert V von 50 bis 125 ppm ohne Rücksicht auf eventuelle Kupferanomalien. Jedoch verfügen wir über eine zu geringe Anzahl von Analysen, als daß man endgültige Schlüsse daraus ziehen könnte.

Gleichzeitig mit der Schlammprobenuntersuchung hat man im erwähnten Gebiet auch das Wasser von Quellen (insgesamt 194 Proben) analysiert. Hier wurden K, Na, Cl, SO<sub>4</sub>, trockener Rückstand, pH-Wert, Pb, Zn, Cu, As, Hg und in einigen Fällen auch Ag, Bi, Mo, Ni, V, Al, Cr und Fe ermittelt.

In allen Fällen handelt es sich um Kontaktquellen, die an der Grenze zweier Schichten verschiedener Permeabilität mit kürzerem und langsamerem unterirdischen Fluß auftreten.

Obwohl eine Menge von Proben den pH-Wert zwischen 5 und 6 gezeigt hat, ist der Kupfergehalt im Wasser fast unter dem Durchschnittsgehalt für normale Süßwässer geblieben. Auch die übrigen Metallionen wurden nicht in bemerkenswerten Mengen festgestellt, und auf diese Weise haben uns auch die hydrogeochemischen Untersuchungen zu keinen neuen Kupfervorkommen geführt. Es ist interessant zu erwähnen, daß sogar Wasserproben aus den alten Stollen keinen erhöhten Kupfergehalt aufweisen, was mit der Anwesenheit der Karbonatgesteine, die Kupferausfall verursachen, erklärt werden kann.

Mit den geophysikalischen und geochemischen Methoden hat man also keine neuen Erzausbisse gefunden. Die erfolgreichste Methode bleibt auch weiterhin die geologische Detailaufnahme, die berücksichtigen soll, daß sich die erzführenden Schichten in der Regel in grauen und grünen klastischen Sedimenten in der Nähe von hängendem oberpermischen Karbonatgestein befinden. Mit solch genauer Arbeit wurden in entsprechenden geologischen Bedingungen in Šebrelje weitere Ausbisse von Kupfererzen entdeckt (Drovenik, F. et al., 1966—1970).

## Literatur

- Buser, S. 1965, Tolmač k osnovni geološki karti SFRJ, list Ribnica 1:100 000. Arhiv Geološkega zavoda. Ljubljana.
- Buser, S. 1969, Razvoj triadnih plasti med Jezerskim in Jesenicami. 2. simpozij o geologiji Karavank 23. do 25. maja 1969. Ljubljana.
- Drovenik, F. et al. 1966—1970, Raziskave bakra Cerkno. Letna poročila v arhivu Geološkega zavoda Ljubljana (neobjavljena).
- Drovenik, M. 1970, Nastanek bakrovega rudišča Škofje. Prvi kolokvij o geologiji Dinaridov 2. del. Ljubljana.
- Drovenik, M. et al. 1970, Izotopna sestava žvepla v sulfidih nekaterih jugoslovanskih rudišč. Rudarsko-metalurški zbornik 2-3. Ljubljana.
- Gantar, I. 1952, Rudarsko-geološka študija rudišča Škofje. Diplomsko delo. Ljubljana.
- Grad, K. 1968, Tolmač k osnovni geološki karti SFRJ, list Kranj 1:100 000. Arhiv Geološkega zavoda. Ljubljana.
- Grafenauer, S. 1966, Metalogenija i mineraloške karakteristike bakarnih pojavov u Sloveniji. Referati VI. svetovanja, Savez geoloških društava SFRJ. Ohrid.
- Mlakar, J. 1969, Krovna zgradba idrijsko-žirovskega ozemlja, Geologija 12. Ljubljana.
- Ramovš, A. 1965, O »hochwipfelskih skladih« v posavskih gubah in o karbonskih plasteh v njihovi soseščini. Geološki vjesnik 18/2. Zagreb.

## Copper-Bearing Gröden Beds of Slovenia

*Franc Drovenik, Matija Drovenik, and Karel Grad*

### SUMMARY

In the Sava folds of central Slovenia many ore occurrences are found: Idrija (Hg), Škofje (Cu), Žirovski vrh (U), Knapovže (Hg), Pleše (Ba, Pb, Zn), Litija (Pb, Zn). Mineralized are Carboniferous and Permian strata and in some localities the Triassic beds as well. This paper will discuss the copper occurrences in Gröden beds of Middle Permian.

The Gröden beds are composed of quartz sandstone, conglomerate, siltstone and shale. The beds are red and grey coloured, but the grey beds include red intercalations and *vice versa*. Consequently they are characterized by the alternation of lithological development in the horizontal and vertical directions.

The copper sulfides are bound to the lenses of grey sandstone. The common primary ore minerals are bornite, chalcopyrite and chalcocite. No hydrothermal alterations have been noted.

Up to now the best explored is the Škofje deposit in the western part of the Sava folds. In this area the exploration and mining works are at least 100 years old. From time to time the deposit was also mined but the total output has not exceeded 500 t of metallic copper. Recently (1966—1970) the explorations comprised detailed geological mapping, geophysical, geochemical, mining, drilling, and laboratory investigations. The results of these works are as follows:

The ore bearing horizon occurs close to the overlying Upper Permian limestone and dolomite. The strike of ore lenses is NE—SW and the dip

is 30° NW. The explorations show an irregular distribution of ore lenses in the length of 750 m and 200—300 m to the dip.

The geologic structure and the laboratory investigations of polished sections indicate a diagenetic origin of the ore deposit with concentration and redeposition during the epigenesis, which is proven by several generations of ore minerals. The biogenous origin of the sulphur is established by the ratio of isotopes  $S^{32}/S^{34}$  measured on different sulfide minerals from Škofje.

In similar geologic conditions copper occurrences are found in some other localities of Sava folds and in the Karavanke range.

It is interesting to note that the uranium deposit at Žirovski Vrh occurs in the lower part, but the Škofje deposit in the upper part of Gröden beds. In both ore deposits the alpine tectonic is reflected on their overthrust and imbricate structures. At Škofje the ore occurs in the imbricated part of Gröden beds showing inverse position. The ore sheet is together with the hanging wall and footwall thrust over the Middle Triassic strata, consisting of clay shale intercalated with diabase, tuffaceous rocks, greywacke, and limestone. In the U-deposit of Žirovski Vrh, however, the Carboniferous and Permian beds were thrust over the Upper Triassic beds.