

Terrigene Permablagerungen als uranführende Sedimente in Slowenien

Mirko Protić, Staniša Radošević und Karel Grad

Vorwort

In letzten Jahren wurden in Slowenien Uranvorkommen in permischen terrigenen Sandsteinen festgestellt, die den Grödener Sandsteinen in Norditalien ähnlich sind (arenarie di Val Gardena).

Die Kupfervorkommen in den höheren Lagen derselben Sandsteine wurden schon früher bekannt.

Die Autoren stellen in der vorliegenden Arbeit die Ergebnisse der Untersuchungen dieser Ablagerungen und die Kriterien ihrer Uranführung vor.

Es wurde festgestellt daß die Uranvererzung vom Wirtschaftswert nur in Gebieten der größeren Mächtigkeit und Ausdehnung der Grödener grauen und grau-grünen Sandsteine zu erwarten ist. Eine solche Entwicklung haben die Grödener Schichten in Žirovski vrh. Hier erreichen die grauen, örtlich pechblendehaltigen Sandsteine die höchste Mächtigkeit von 350 m.

Geologie und Petrologie

Die Permablagerungen in Slowenien sind im Gebiet der Karawanken, in den Savafalten, in der Umgebung von Kočevje und in Pohorje entwickelt. Die Verbreitung der Grödener Schichten in Slowenien ist in Tafel 1 zur Arbeit von F. Drovenik, M. Drovenik, K. Grad, »Kupferführende Grödener Schichten Sloweniens« dargestellt. Stratigraphisch am besten dokumentiert sind diese Sedimente in Karawanken, wo alle drei Abteilungen des Perms nachgewiesen sind.

In das untere Perm (Rattendorfer Stufe) wird der Oberschwagerinenkalk eingereiht, entdeckt nur im kleineren Umfang. Der Trogkofel Stufe (unterer Teil des Mittel-Perms) werden Riffkalk, der örtlich fossilienreich ist, und die Tarviser Breccie zugerechnet. Sehr verbreitet sind auch Klastite, als Auswechselung des dunkelgrauen Quarzsandsteins, Schiefer, Konglomerat, und fossilführender Kalkstein. Kalkstein und Tarviser Breccie wurden nur in den Karawanken festgestellt. Trogkofeler Klastite wurden mit Fossilien in den Karawanken, in der Umgebung von Kočevje und teilweise in den Savafalten bewiesen.

In den Karawanken liegen entweder auf dem Trogkofelkalk und Breccie oder auf ihren klastischen Äquivalenten rote, seltener gräuliche Sandsteine, Siltsteine, Schiefer und Konglomerate. Nach überwiegendem roten Sandstein werden diese Ablagerungen oft vereinfacht, schlechthin roter Sandstein genannt. Die Sedimente werden mit Grödener Sandsteinen aus norditalienischen Dolomiten verglichen.

In den Savafalten überlagern ähnliche Ablagerungen die permokarbonischen Klastite, und in Pohorje die altpaläozoische Magdalensbergserie. In der Umgebung von Bohinjska Bela und im Bereich von Bled kommt gleichzeitig mit den Grödener Ablagerungen eine fossilreiche Rifkalk- und Kalkbreccienfazies vor (V. Kochansky-Devidé & A. Ramovš, 1955).

Nachdem sich die Grödener Sandsteine als uranführend erwiesen haben, wurden sie näher untersucht seitens des Belgrader »Institut za geološka istraživanja i spitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina« und des Geološki zavod Ljubljana.

Grödener Schichten enthalten praktisch keine Fossilienreste. Sporadisch findet man nur schlecht erhaltene Pflanzenreste. Das Alter des Sandsteins wurde daher nach der stratigraphischen Zugehörigkeit des Liegenden und Hangenden erschlossen. In den Karawanken entsprechen diese Ablagerungen der Sosio Stufe. In den Savafalten ist jedoch die untere Grenze nicht zuverlässig festgestellt worden. Im Liegenden der Grödener Schichten sind Quarzsandsteine, Tonschiefer und Konglomerate entwickelt. Die spärlichen Fossilienreste weisen auf Perm und auf Oberkarbon hin. Diese Ablagerungen sind in der Vergangenheit mit den Hochwipfelschichten der Karnischen Alpen verglichen worden. In letzter Zeit wurde ihnen von A. Ramovš (1965) größtenteils das permische trogkofeler Alter zugeschrieben, mit möglicher Zulassung des Oberkarbonalters für einen Teil der Schichten. Von uns werden diese Ablagerungen als permokarbonisch bezeichnet.

Die obere Grenze der Grödener Schichten ist in den Savafalten westlich Ljubljana und in einigen Profilen bei Radeče mit zahlreichen oberpermischen Fossilien im Kalkstein und Dolomit bestimmt. Auf dem restlichen Verbreitungsgebiet, auf dem Fossilienbeweise fehlen, konnte eine Fortsetzung der Ablagerung auch ins obere Perm angenommen werden.

Der rote Sandstein von Pohorje gehört den Ostalpen an. Er wurde auf die altpaläozoische Magdalensbergserie (Ordovizium, Silur) transgressiv abgelagert. Das direkte Hangende des roten Sandsteines ist nicht erhalten. Sein Alter wurde nach Vergleichen mit ähnlichen Ablagerungen in Magdalensberg-, in Griffener und St. Pauler Bergen in benachbarten Österreich angenommen. In Österreich wurde dem Sandstein entweder permisches (H. Seelmeier, 1961) oder unterskythisches Alter (P. Beck-Mannagetta, 1953) zugeschrieben.

Grödener Schichten sind selten gut geschichtet. Die Schichtung in den Karawanken und in Savafalten ist im großen Ausmaße durch die Transversalschieferung maskiert. Die Schichtung kann daher als ein zuverlässiges Kriterium zur Lagefeststellung nur im Falle granulometrischer Unterschiede in der Schichtenfolge dienen. Dabei kann auch die Abwech-

selung der graugrünen und roten Lagen behilflich sein. Am häufigsten läuft nämlich die Farbenwechselung parallel der Schichtung. Schräg- und Kreuzschichtung sind sehr selten und vom beschränkten Umfang.

In einigen Profilen, besonders in Tiefbohrungen aus der Umgebung von Žirovski vrh und Sovodenj, teilweise bei Škofje und Otalež, kann in Sandsteinen eine gewisse Rhythmik beobachtet werden. Die Mächtigkeit der einzelnen Rhythmen schwankt von einigen Zentimetern bis zu mehreren Metern, und auch die Anzahl der betreffenden lithologischen Glieder ist verschieden. Im allgemeinen besteht eine Tendenz für die Verfeinerung des Materials in jedem Rhythmus aufwärts. Das ist ein Merkmal von alluvialen Sedimenten was wir in Betracht nehmen sollen wenn wir über den Sedimentationsraum der Grödener Sandsteinen sprechen.

Savafalten. Die größte Ausdehnung der roten Permsandsteine in Slowenien ist an die Savafalten gebunden, an ein Gebiet von ungefähr 130 km Länge und bis 25 km Breite. Im Rahmen dieser Zone wurden die Grödener Sandsteine in einige Gebiete eingeteilt jedes mit seinen besonderen strukturellen und lithologischen Merkmalen.

Im westlichen Teil der Savafalten (westlich von Ljubljana) sind die Grödener Sandsteine nur an zwei Gebiete beschränkt die selbstständige tektonische Einheiten darstellen (F. K o s s m a t, 1910): das Idrija-Žiri Gebiet und das Škofja Loka-Polhov gradec Gebiet. Den neueren Forschungsergebnissen nach (K. G r a d, 1968) gehören die beiden Gebiete der großen Škofja Loka-Žiri Decke an. Die im Osten der Savafalten weitverbreiteten permischen Sandsteine in Umgebung von Radeče gehören dem sogenannten Litija Antiklinorium an.

Die Grödener Sandsteine in der Umgebung von Smrečje, Žirovski vrh und Sovodenj, im Idrija-Žiri Gebiet, sind in einer ununterbrochenen Ausdehnung entdeckt. Wie erwähnt, befinden sich in ihren Liegenden die Tonschiefer und Sandsteine Permokarbons und im Hangenden die oberpermischen Kalke und Dolomite. Die Gesamtmächtigkeit der Grödener Sandsteine in Žirovski vrh beträgt rund 800 Meter, was die maximale bisher festgestellte Mächtigkeit dieser Schichten in Slowenien darstellt.

Im Bereich Smrečje-Žirovski vrh können der untere Teil der Serie, vertreten mit grauem (grau-grünlichen) Sandstein als Hauptglied, und der obere Teil mit überwiegend rotem Sandstein, den grauen überlagernd, sehr klar unterschieden werden. Im höchsten Teil der Grödener Sandsteine im Raume Sovodenj-Cerkno ist häufig ein bis zu 20 Meter mächtiger Horizont von graugrünem Sandstein und Siltstein mit Einschaltungen von rotem Siltstein und seltener Sandstein zu beobachten. An diesen Horizont sind die Kupfervorkommen in Škofje, Otalež usw. gebunden.

Die Unterschiede zwischen dem oberen und unteren Teil der Grödener Sandsteine in Žirovski vrh sind auch durch geochemische Merkmale gekennzeichnet — mit dem Urangehalt und Verhältnis Th/U. Auf Grund sehr zahlreicher systematischen Analysen wurde besonders in Hinsicht auf das Verhältnis Th/U ein ausgeprägter Unterschied zwischen dem grauen Sandstein des unteren Teils der Serie und dem roten Sandstein des oberen Teils ermittelt (M. P r o t i ć, S. G o j k o v i ć, 1965).

In der Fazies des grauen Sandsteines kommen gleichnamige Ablagerungen in Paketen vor, die etliche zehn Meter mächtig sind, wechselgelagert mit dünnen Einschaltungen rötlichen Sandsteines und Siltsteines.

Grauen psammitischen Sandstein trifft man auch in Form dünner Lagen (1 bis 2 Meter) mit unregelmäßigen Grenzen im roten Sandstein und im Siltstein des oberen Teils der Grödener Schichten. Dieser grauer Sandstein unterscheidet sich jedoch nicht, im Gegensatz zu dem früher erwähnten, in geochemischer Hinsicht von dem roten Sandstein, in welchem er als Zwischenlagen auftritt. Von diesem muß man aber auch noch den Fall der epigenetischen Ausbleichung des roten Sandsteines in den Verwerfungszonen unterscheiden, die in der Gegend von Žirovski vrh beobachtet werden kann.

Der graue Sandstein des unteren Teiles der Serie hat die folgende Zusammensetzung (S. Radošević, 1961): Quarz (vulkanogen und sekundär), Quarzporphyr und Schiefer in Fragmenten, Plagioklas, Muskovit, Serizit. Der Zement ist mikrokristallin, von Kontakt- und Porentyp. Er besteht aus Quarz, Ton und Serizit, die z. T. durch Kalzit verdrängt sind. Im roten Sandstein des oberen Teiles ist der vulkanogene Anteil schwieriger erkenntlich.

Im grauen Sandstein des Žirovski vrh sind zuweilen karbonatische Knollen anwesend (S. Radošević, 1961, V. Omaljev, 1967). Die zwei Arten dieser Knollen, die erste bis zu zehn Zentimeter im Durchmesser, diskoid im Durchschnitt und streng an bestimmte Horizonte gebunden, und die zweite, zentimetergroß und Trockenschlunde infolge Austrocknung der ursprünglich kolloidalen Materie zeigend, müssen unserer Meinung nach als diagenetische Bildungen gedeutet werden.

Der Index des Vulkangesteinsanteils (Vulk. Fragmente/Quarz + Feldspat) in grauen Sandsteinen des unteren Teils der Serie im Raume Žirovski vrh-Sovodenj bewegt sich zwischen 0,2 und 0,9, selten über 1. Sein Wert in Konglomeraten und Breccien in der Nähe der Uranvererzung (Tiefbohrung B-11) übersteigt 1. Im Gegenteil zeigt konglomeratischer Sandstein von Žirovski vrh niedrige Werte (rund 0,3), und der rote Sandstein des oberen Teiles der Serie im allgemeinen ca. 0,1.

Es muß erwähnt werden, daß radioaktiver grauer Sandstein des unteren Teiles der Serie (Tiefbohrung B-11) verhältnismäßig niedrige Indexwerte zeigt (unter 0,5), sowie auch radioaktiver Sandstein von der Oberfläche in Žirovski vrh (rund 0,3). Graue unmineralisierte Sandsteine aus anderen Lokalitäten zeigen gewöhnlich Indexwerte über 0,4. Es scheint also, daß die Uranvererzung nicht mit relativ erhöhtem vulkanogenen Anteil in Sandsteinen bedingt ist, so wie es man in einer Zeit vermutet hat.

Im Unterschied zur Gegend von Žirovski vrh sind die Grödener Sandsteine im weiten Škofja Loka-Polhov gradec Gebiet nicht in einer ununterbrochenen Einheit entblößt, sondern kommen in einigen größeren und kleineren Ausdehnungen vor. In diesem Gebiet sind sie im beträchtlichen Maße abgetragen worden. Die hauptsächlichsten lithologischen Komponenten sind dieselben wie im obenbeschriebenen Gebiete. Charakteristisch

sind aber kleine Diabas- und Diabastuff-Linsen in der Umgebung von Mlaka.

Im Radeče Gebiet bilden die etliche Hundert Meter mächtigen Grödener Sandsteine räumlich eine Einheit. In lithologischer Hinsicht konnte es hier den Ausbissen nach eine bessere Differenzierung der Grödener Ablagerungen erlangt werden als im Idrija-Žiri Gebiet. Teile fast ausschließlich Sandstein- oder Siltstein-Charakters sowie auch ausgesprochen konglomeratische Teile konnten hier im größeren Ausmaß festgestellt werden (Umgebung von Močilno, Radgonca).

In diesem Teil der Savafalten zeigt die größte Verbreitung der rote Sandstein und Siltstein. Grauer Sandstein dagegen fehlt in einigen Profilen ganz oder ist nur sehr untergeordnet entwickelt.

Pohorje. Permische bzw. permoskythische Klastite sind in NW-Teil des Pohorje auf rund 20 km² Oberfläche entwickelt. Größtenteils sind sie abgetragen oder durch Oberkreide- und Tertiarschichten überlagert worden. Ihre ursprüngliche Mächtigkeit wird auf einige Hundert Meter geschätzt. Obere Teile des roten Sandsteines und die Verbindung mit untertriadischen Ablagerungen sind nicht erhalten. Im Liegenden befinden sich altpaläozoische Phyllitschiefer in Abwechslung mit Sandsteinen, seltener Diabasen und ihren Pyroklastiten, sowie mit Kalkstein- und Fe-Dolomit-Linsen (Magdalensberg-Serie).

Meistens beginnen die Ablagerungen mit rotem Basalkonglomerat und Konglomeratsandstein, seltener mit grobkörnigem Sandstein. Fragmente in den Basalschichten bestehen aus Quarz, Quarzporphyr und seltener aus Hornstein. Quarz aus Eruptivgesteinen und aus Kristallinschiefern ist fast im gleichen Anteil vertreten, was für den Anteil der vulkanogenen und metamorphen Fragmente im allgemeinen gilt.

Die Basalschichten sind mit 45 bis 60 Meter grauen Sandsteines tuffitischen Charakters und Tuffit mit Zwischenlagen roten Siltsteines überlagert. Die grauen Ablagerungen sind feinkörniger als die entsprechenden roten Lithotype, im Gegensatz zu Žirovski vrh. Sie sind fein- und mittelkörnig, psammitischer Struktur, mit großem Anteil an Tuffmaterial (bis zu 65 %).

Die tuffitischen Schichten sind mit Konglomerat und Breccie wechselnder Mächtigkeit überdeckt. Das Gestein ist rotfärbig, mit bis zu 20 cm großen, teilweise gerundeten Quarzporphyr- und Keratophyr-Fragmenten (bis zu 60 % Gesamtinhalte!). In Dünschliffen mit kleinerer Granulation wurden aber bis zu 35 % Fragmente metamorpher Herkunft festgestellt.

Die größte Verbreitung und Mächtigkeit zeigt der darüberfolgende rote grobkörnige bis konglomeratische Sandstein mit dünneren Einschaltungen des mittelkörnigen und feinkörnigen Sandsteines. Örtlich findet man sogar Einlagerungen von grünen Sandstein, die jedoch nur wenige Meter mächtig sind.

Der obere Teil der Permschichten in Pohorje ist mit einer Abwechslung der grobkörnigen bis konglomeratischen und feinkörnigen roten Sandsteine vertreten. Feldspäte sind mit sauren Plagioklasen, Albit und Orthoklas vertreten. Im allgemeinen sind die Feldspäte in Ablagerungen von Pohorje viel häufiger als in denen von Žirovski vrh und Škofja Loka.

Karawanken. Permische Grödener Ablagerungen sind hier weniger verbreitet als die Grödener Schichten in den Savafalten, und in geringerer Mächtigkeit (bis zu 300 Meter). Sie kommen vor in schmalen langen Strecken von Savske jame bei Jesenice bis zu Jezersko. Im Liegenden befinden sich die Tarviser Breccie und Trogkofelkalk des mittleren Perms oder Klastite der Trogkofelstufe.

Im Profil von Tržiška Bistrica liegen die Grödener Schichten auf der Tarviser Breccie und rötlichen Kalkkonglomeraten. In Sandsteinen sind graue Teile und Linsen entwickelt, entstanden durch den Prozeß der Entfärbung. Darüber folgen rote Breccienkonglomerate mit Quarzporphyr- und Quarzkeratophyrfragmenten. Im oberen Teil der Grödener Sandsteine nördlich von Tržič ist charakteristisch ein mindestens 20 Meter mächtiger Horizont grauen Sandsteines in Abwechslung mit Dezimeteinschaltungen eines Siltsteines, der sichtbare Beimischung von organischen Stoff enthält und eine höhere Radioaktivität aufweist.

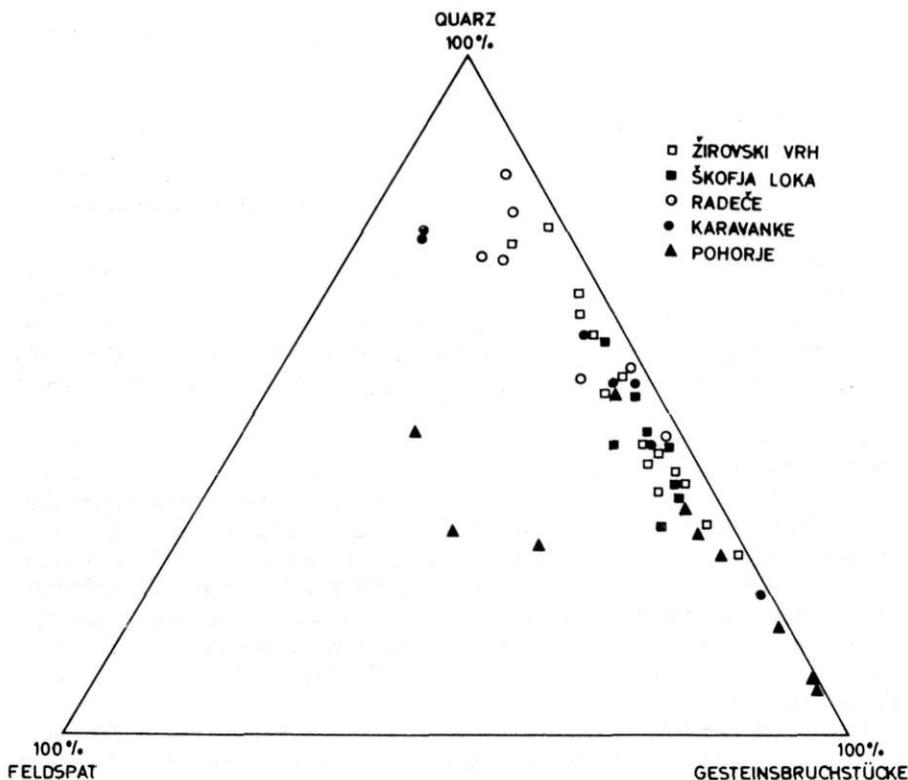


Abb. 1. Modalzusammensetzung der Grödener Sandsteine aus verschiedenen Gebieten Sloweniens

Die Entwicklung wird durch roten Sandstein mit seltenen dünnen Diabas- und Dolomiteinlagerungen beendet. Im Hangenden liegen die Dolomite und Rauhdecken des oberen Perms.

Im Bezug auf die Vertretung der Hauptgemengteile des grauen Sandsteines von Tržiška Bistrica ist zu bemerken ein niedriger (unter 10 %) Anteil von Feldspäten und auch von Glimmern (Fragmente von Quarzporphyren manchmal dominieren).

Am Diagramm (Abb. 1) ist die Modalzusammensetzung der Grödener Sandsteine aus verschiedenen Gebieten Sloweniens dargestellt.

Geochemische Charakteristiken

Das Idrija-Žiri Gebiet. In den Grödener Sandsteinen sind im Bereich Smrečje-Žirovski vrh-Sovodenj unter anderem folgende charakteristische Spurenelemente vertreten: V, Cr, Ni, Cu, angeführt nach abfallendem Inhalt in Gesteinen. Der Anteil an V sinkt mitunter unter 60 ppm, während sich die anderen nur ausnahmsweise diesem Werte nähern.

Es war nicht möglich eine Korrelation zwischen V und Cu festzustellen in den nicht mineralisierten Partien. Es besteht eine erhebliche Zunahme des Cu-Gehaltes in einigen Fällen (in den Vererzungspaketen bis auf 500 ppm).

Bezüglich der Ti- und Zr-Verteilung in Sandsteinen ist ein bezeichnender Parallelismus festgestellt worden; mit der Zunahme eines Elements wächst auch der Anteil des anderen.

Die roten und die grauen Grödener Sandsteine enthalten (46 Analysen) als Mittelwerte (Ma) mit entsprechenden Standardabweichungen (δ):

	Ma	δ
ppm U	2,21 \pm 0,21	1,44
ppm Th	7,66 \pm 0,55	3,71
% K	1,30 \pm 0,13	0,38
Th/U	4,01 \pm 0,30	2,02

Die Korrelation zwischen U und Th ist mittelmäßig, $r = 0,59$. Ausführliche Angaben über den Inhalt radioaktiver Elemente in Grödener Sandsteinen von Žirovski vrh, und zwar getrennt in grauen und roten Sandsteinen und in roten Zwischenlagen in den grauen Sandsteinen, sind in einer früheren Arbeit dargestellt (M. Protić, S. Gojković, 1965).

Nach den erwähnten Ergebnissen enthalten die grauen Sandsteine des unteren Teils der Serie von Žirovski vrh (111 analysierte Proben):

	Grauer Sandstein		Roter Sandstein	
	Ma	δ	Ma	δ
ppm U	5,76 \pm 0,26	2,91	2,26 \pm 0,07	0,72
ppm Th	7,84 \pm 0,29	3,12	12,42 \pm 0,36	3,41
% K	1,61 \pm 0,06	0,65	2,14 \pm 0,08	0,83
Th/U	1,65 \pm 0,07	0,76	5,82 \pm 0,21	1,93

Diese Resultate zeigen klar auf Unterschiede im Inhalt und Verhältnis von U und Th im grauen und roten Grödener Sandstein, was auf verschiedene Bedingungen während der Genese dieser Sedimente hinweist.

Die roten Zwischenlagen im grauen Sandstein zeigen fast die gleichen U- und Th-Inhalte wie der rote Sandstein des oberen Teils der Serie. Im Vergleich zu dem grauen Sandstein konnte dieser Unterschied teilweise mit der etwas verschiedenen Zusammensetzung in Zusammenhang gebracht werden; die roten Einschaltungen sind nicht nur feinkörniger als der Sandstein, sondern enthalten auch einen erheblicheren Anteil der Tonmaterie.

Mit Untersuchungen der Uranlöslichkeit gegenüber dem gemeinsamen Uran wurde folgendes festgestellt. Während im grauen Sandstein das Prozent des löslichen U verhältnismäßig hoch ist (über 40 %), ist es im roten Sandstein sehr niedrig. Die Verteilungskurve des löslichen U im roten Sandstein zeigt ein regelmäßiges Fallen von den niedrigen (unter 10 %) zu den hohen Werten (bis zu 60 %).

Das Škofja Loka-Polhov gradec Gebiet. Die Analyse der Resultate semiquantitativer Sprektralanalysen (39) der Sandsteine aus verschiedenen Niveaus weist auf Unterschiede gegenüber den Sedimenten aus dem oben behandelten Gebiet hin.

Als Beimischung sind hier dieselben Elemente wie in den Grödener Sandsteinen des Idrija-Žiri Gebietes vertreten. Während aber bei den letzten die Verteilung der charakteristischen Elemente nach fallendem Inhalt die folgende war: V, Cr, Ni, Cu, so im unteren als auch im oberen Teil der Serie, ist hier dies der Fall überwiegend nur beim Sandstein des oberen Teils der Serie (petrographisch unklar von unterem differenziert). Im unteren Teil der Serie wird aber Cu von V begleitet (anwesend mit unter 60 ppm).

In einer Reihe von Fällen konnte jedoch der Unterschied in Spurenelementen zwischen rotem und grauem Sandstein, wenn beide im unmittelbaren Kontakt auftreten, nicht erörtert werden.

Im einen Fall (Zminec) wurde die Anwesenheit Zn und Pb festgestellt. Im mikroskopischen Präparat des Sandsteines wurden isolierte Körner von Zinkblende und Bleiglanz beobachtet.

Die Grödener Sandsteine in diesem Gebiet enthalten (39 analysierte Proben) als Mittelwerte (Ma) mit entsprechenden Standardabweichungen (δ):

	Ma	δ
ppm U	1,90 \pm 0,14	0,91
ppm Th	9,24 \pm 0,62	4,27
% K	1,86 \pm 0,21	1,31
Th/U	5,05 \pm 0,24	1,55

Im Unterschied zu den Sandsteinen von Žirovski vrh wurde hier eine sehr gute Korrelation zwischen U und Th festgestellt, und zwar $r = 0,89$. Die analysierten Stückproben grauen und roten Sandsteines zeigen keine erkenntlichen Unterschiede im Inhalt und Verhältnis von U und Th. Mit

Ausnahme von einigen grauen Sandsteinen von Sv. Tomaž, unterscheiden sie sich also in dieser Hinsicht vom grauen Sandstein des unteren Teils der Serie von Žirovski vrh.

Das Radeče Gebiet. Aus der Analyse der Resultate semiquantitativer Spektralanalysen (19) der Sandsteine aus verschiedenen Niveaus tritt hervor, daß der vorherrschende rote Sandstein niedrige Inhalte charakteristischer Spurenelemente aufweist. Der graue Sandstein, überwiegend in Schichten von einigen Dezimetern bis zwei Metern Mächtigkeit auftretend, zeigt (14 Analysen) in der Mehrzahl der Fälle die Inhalte an V, Cu, Cr und Ni in Grenzen der Normalwerte, und zwar übersteigt das erste nicht den Wert von 30 ppm. In zwei Fällen zog aber der erhöhte Gehalt an V (100 und 110 ppm) auch den erhöhten Inhalt an Cu nach sich, sowie auch meßbare Inhalte an Pb (im zweiten Fall 316 ppm Pb).

Der Inhalt an Ba ist im grauen Sandstein unter 300 ppm, im Gegensatz zu grauem Sandstein von Žirovski vrh und Škofja Loka, wo der Ba-Gehalt gewöhnlich über 400 ppm liegt, und wo in einer großen Zahl der Proben Baryt auch unter Schwermineralien festgestellt worden ist.

Die Grödener Sandsteine des Radeče Gebietes (46 analysierte Proben) zeigen folgende Mittelwerte (Ma) mit entsprechenden Standardabweichungen (δ):

	Ma	δ
ppm U	1,66 \pm 0,12	0,82
ppm Th	7,50 \pm 0,43	0,92
% K	1,00 \pm 0,11	0,73
Th/U	5,21 \pm 0,31	2,12

Die Korrelation zwischen U und Th ist ziemlich gut, $r = 0,73$. Das Verhältnis Th/U ist größer als 2 und geht in einigen Fällen sogar über 8. Die Mediane befindet sich bei 5.

Der graue Sandstein in Abwechslung mit dem roten zeigt in allen bisher erforschten Fällen ähnliche Charakteristiken wie der letzterwähnte, das heißt einen niedrigen Inhalt an U und ein Verhältnis Th/U über 3. Es soll aber erwähnt werden, daß roter und dunkelroter Sandstein von Podkum im Verhältnis Th/U und U-Gehalt Ähnlichkeit mit grauem Sandstein von Žirovski vrh aufweist.

Pohorje. Der Urangehalt in Ablagerungen von Pohorje bewegt sich zwischen 1 und 11 ppm, meistens um 2 ppm. In roten Lithotypen ist er ziemlich ausgeglichen, dagegen schwankt er in den grauen, besonders in den grauen limonitisierten Sandsteinen. Eine erhöhte Radioaktivität wurde im roten Konglomerat mit vulkanogenem Material festgestellt.

Der Thoriumgehalt erreicht bis rund 15 ppm. Es wurden aber weder Unterschiede im Thoriumgehalt verschiedener Lithotypen festgestellt, noch eine eventuelle Abhängigkeit vom Urangehalt. Im allgemeinen ist die Korrelation zwischen Uran und Thorium verhältnismäßig schlecht ausgedrückt.

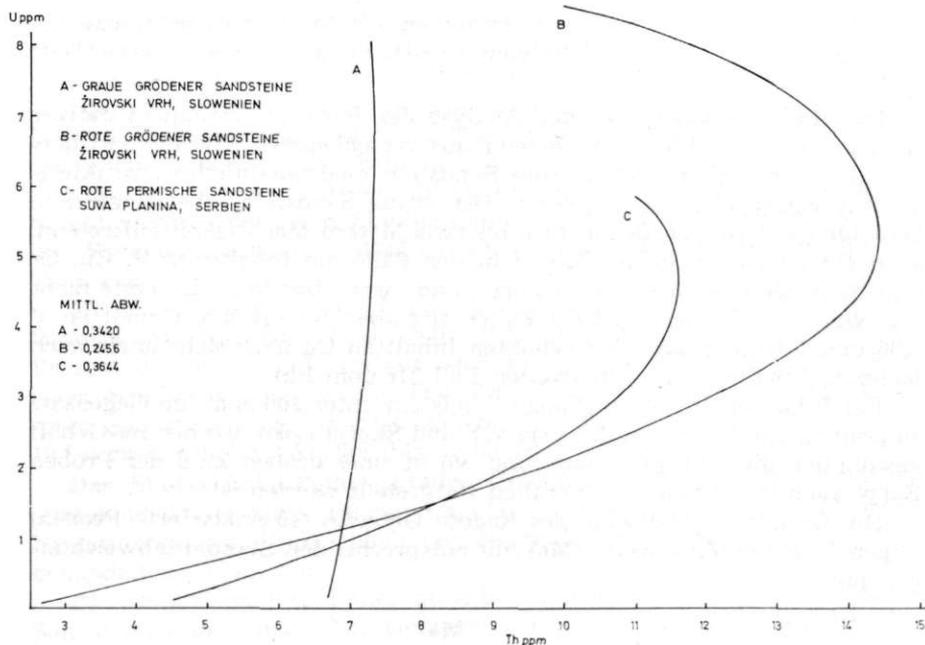


Abb. 2. Elektronisch verarbeitete Daten radiometrischer Analysen von Grödener Sandsteinen aus Žirovski vrh und von permischen roten Sandsteinen aus Ostserbien

Karawanken. Es wurde eine gewisse Zunahme an Inhalt des V, Pb und Ba im grauen Sandstein und im unterliegenden roten tuffitischen Sandstein beobachtet. Dagegen ist der Kupfergehalt sehr niedrig.

In Hinsicht auf die Radioaktivität ist der rote Sandstein in diesen Gebiet ziemlich ähnlich dem grauen. Auf Grund einer beschränkten Zahl der Proben konnte man Uranwerte von 1 bis 4 ppm feststellen. Dagegen ist aber der Thoriumgehalt größeren Schwankungen unterworfen, von 5 bis 19 ppm. Der Korrelationskoeffizient zwischen Uran und Thorium ist ziemlich hoch ($r = 0,71$).

Am Diagramm (Abb. 2) sind die elektronisch verarbeitete Daten radiometrischer Analysen von Grödener Sandsteinen aus Žirovski vrh und von permischen roten Sandsteinen aus Ostserbien dargestellt.

Schlußbemerkungen

Die bedeutendsten Uranvorkommen in Permablagerungen Sloweniens sind an Grödener Sandsteine von Žirovski vrh gebunden. Die Uranvererzung ist an gewisse Teile des grauen Grödener Sandsteines beschränkt, in Gesamtmächtigkeit von rund 150 Meter. Die vererzten Linsen enthalten einen ziemlich schwankenden, zuweilen aber sehr hohen Urangehalt.

Der Fall von Žirovski vrh wies auf die Möglichkeit hin, auch in anderen Gebieten der gleichen Fazialentwicklung und größeren Mächtigkeit der grauen Grödener Sandsteine ähnliche Uranvererzungen erwarten zu können. Als Ausgangspunkt galt die Annahme, daß die syngenetisch-diagenetischen Bedingungen als Primärfaktor die Urankonzentrationen an gewissen Stellen bedingt haben mögen.

Die Ergebnisse der lithofaziellen Forschungen zeigen, daß die grauen (graugrünen) Sandsteine nicht immer die Merkmale aufweisen, um als Fazies charakterisiert zu sein, und folglich auch nicht hoffnungsvoll als uranführend sein können. So haben sich zum Beispiel die grauen Sandsteine als unperspektivisch ausgewiesen, die als wenig mächtige Zwischenlagen mit unregelmäßigen Grenzen in den roten Sandsteinen, mit denen sie aber kompositionsmäßig identisch sind, auftreten.

Im Falle des faziellen Auftretens des grauen Sandsteines ist die Annahme möglich, daß es sich um frühe diagenetische Entfärbung handelt, begleitet mit geochemischer Differentiation. Die Entfärbung der roten Ablagerungen in größeren Ausmassen und die diagenetische Differentiation konnten in denjenigen Teilen des Sedimentationsraumes verlaufen, wo organischer Stoff anwesend war. Unter dem Einfluß der organischen Materie konnte sich die Reduktion der ursprünglich roten losen sandigen und tonigen Partikeln vollziehen.

Literatur

Beck-Mannagetta, P. 1953, Zur Kenntnis der Trias der Griffener Berge. Kober-Festschrift, Wien.

Grad, K., Hinterlechner-Ravnik, A., Ramovš, A. 1962, Regionalna ispitivanja razvoja gredenskih slojeva u Sloveniji. Referati V. Save-tovanja geologa SFRJ, Beograd.

Grad, K. 1968, Tolmač kao osnovni geološki karti, list Kranj, 1:100.000. Arhiv Geol. zavoda. Ljubljana.

Hinterlechner-Ravnik, A. 1965, Magmatske kamenine v grödenskih skladih v Sloveniji. Geologija, Razprave in poročila, 8. knj. Ljubljana.

Kochansky-Devidé, V. & Ramovš, A. 1955, Neoschwagerinski skladi in njih fuzulinidna favna pri Bohinjski Beli in Bledu. Razprave Slov. akad. znan. in umet., razr. IV, 3, Ljubljana.

Kossmat, F. 1910, Erläuterungen zur geologischen Karte Bischoflack und Idria. Wien.

Omaljev, V. 1967, Razvoj gredenskih slojeva i uranove mineralizacije u ležištu Žirovski vrh. Radovi Instituta za geol.-rud. istraž. i ispit. nukl. i drugih mineralnih sirovina. Beograd.

Protić, M. 1963, Izveštaj o proučavanju gredenskih peščara u Posavskim borama (litofacijalno razviće i geohemijska obeležja). Fond stručne dokumentacije Instituta za geol.-rud. istraž. i ispit. nukl. i drugih mineralnih sirovina. Beograd.

Protić, M. i Gojković, S. 1965, Odnos Th/U u klastičnim stenama kao indikator geohemijskih facija. I. Simpozijum iz geohemije Srp. geol. društva. Beograd.

Radošević, S. 1961, Petrografski sastav sedimenata Žirovskog vrha u Sloveniji. Fond stručne dokumentacije Instituta za geol.-rud. istraž. i ispit. nukl. i drugih mineralnih sirovina. Beograd.

Radošević, S. 1969, Litofacijalne karakteristike permskih terigenih sedimenata Pohorja i njihovo upoređenje sa istim sedimentima Žirovskog vrha i

Škofje Loke u Sloveniji. Radovi Instituta za geol.-rud. istraž. i ispit. nukl. i drugih mineralnih sirovina. Beograd.

Ramovš, A. 1965, O »hochwipfelskih skladih« v Posavskih gubah in o »karbonskih plasteh« v njihovi soseščini. Geol. vjesnik 18/2, Zagreb.

Seelmeier, H. 1961, Ein Beitrag zur Stratigraphie der St. Pauler Berge, Sitzber. d. Akad. Wis. Wien.

Terrigenous Permian Sediments as the Uranium-Bearing Formation in Slovenia

Mirko Protić, Staniša Radošević, and Karel Grad

SUMMARY

The Middle Permian formation in Slovenia is composed of different facies of Gröden terrigenous sandstones. They are mainly confined to the Sava folds, although they occur also in the Karavanke area. Sandstones of Permo-Scythian age similarly developed are on Pohorje. In respect of uranium distribution, the most important are the Gröden sandstones of Žirovski Vrh in the western part of the Sava folds.

The Gröden sandstone has been studied from the point of view of mineral composition, with a particular regard to the presence of volcanic material, variations in colour and geochemical features.

The Gröden sediments of the Sava folds are composed of sandstone, siltstone, shale and conglomerate of red and grey colour. All these sediments have undergone a mild alteration. The slight silicification and carbonatization in the Žirovski Vrh area could not be ascribed to hydrothermal activity.

In the Žirovski Vrh area the lower part of the Gröden beds consists of grey sandstone interbedded with red sandstone and siltstone. The red sandstone appears mainly in the upper part including intercalations of the grey sandstone.

Only the grey sediments are uranium-bearing. They are characterized by a high facial variation both in vertical and horizontal directions. The volcanic material (quartz of volcanic origin, pebbles of quartz-porphry and keratophyre) gives the rock a tuffaceous appearance.

The mineralization is conditioned by the dispersed organic matter in the sandstone cement.

The study of geochemical features included the investigation of trace elements. As to the uranium and thorium contents and their mutual ratios, there is a difference between the red and grey sandstone. Whereas most of the sandstones have highly contrasting Th/U ratios, pointing out to their continental or marine origin, these ratios in some parts of the sandstone are not clearly expressed.

The grey sandstone, similar to that of Žirovski Vrh, has not been found in the eastern part of the Sava folds. In the Karavanke mountains, however, the grey sandstone occurs in the upper part of Gröden strata. According to geochemical and other investigations here, this sandstone cannot be considered as an uranium-bearing formation.

The sandstone in Pohorje is very similar to that of Žirovski Vrh, the percentage of volcanic material being higher in Pohorje.

Generally speaking, no relation between the uranium contents and the quantity of volcanic material in terrigenous sediments has been established, nor in Žirovski Vrh neither in other areas.

DISCUSSION

Socolescu: Welche sind die Hauptminerale, Uraninit oder Pechblende?

Protić: Das werden Sie näher im nächsten Vortrag hören. Pechblende.

Socolescu: Mit was ist sie begleitet? Mit Karbonaten, mit Thucholith?

Protić: Im allgemeinen ist Uran mit Zement verknüpft und dispergiert in der organischen Substanz im Sandstein.

Socolescu: Kommt er zusammen mit Eisenoxyden, Sulfiden oder mit Karbonaten?

Protić: Nein, so eine Korrelation mit Eisenoxyd und Karbonaten ist nicht gefunden. Sulfiden sind gefunden, wo Pechblende anwesend ist, in sehr winzigen Prozentsätzen als Begleiter, aber nur mikroskopisch. Nachgewiesen wurden am meistens Pyrit, Markasit und auch andere.

Mittempergher: I have a very short question. You called this a terrigenous sandstone. Do you have some evidence about the environment of deposition of these sandstones? Is it an alluvial sandstone, a deltaic sandstone or a wind-deposited sandstone?

Protić: The sedimentological investigation is difficult, because the alpine tectonic is very complicated. We have only some exposures of cross-bedding in very restricted areas. It is difficult to decide upon the origin. The rhythmicity and the tendency for refining sediments upwards in the Žirovski Vrh area may be a proof of alluvial origin.

Mittempergher: It is the same in Italy. We studied the sandstones in the Southern Alps and we found that about to 90 % of the Gröden sandstones, are of alluvial origin. But it is very difficult now, because of the diagenesis, to make the reconstruction of the direction of the stream deposition.

Protić: We need exposures and samples not so tectonically disturbed to make reliable observations.

Drovenik: Sie haben sehr viel geochemisch gearbeitet und Sie erwähnten mehrere Gebiete von permischen Sandsteinen. In einem solchen Gebiet befindet sich schon eine Lagerstätte. Es sind aber noch drei andere Gebiete. Kann man nach den geochemischen Angaben sagen, welches von diesen drei Gebieten am interessantesten ist für weitere Prospektions- und Untersuchungsarbeiten, und warum?

Protić: Nach bisherigen Resultaten können wir sagen, daß am interessantesten das Škofja Loka-Žiri Gebiet ist. Ich glaube, daß man nach weiteren Untersuchungen vielleicht ähnliche Fazies wie am Žirovski vrh finden kann.

Drovenik: Und was meinen sie über Karawanken, Pohorje und Radeče?

Protić: Die Resultate aus diesen Gebieten sind nicht sehr erfreulich, aber in Karawanken gibt es einige radioaktive Anomalien mit Sandsteinen verknüpft, und auch im Radeče Gebiet. Sie sollen weiter untersucht werden.

Duhovnik: Sie haben in Ihrem Vortrag erwähnt, daß das Verhältnis zwischen Uranium und Thorium nicht ständig ist, so daß im Gebiete von Žirovski vrh Thorium zu Uran ziemlich niedrig steht. Nicht aber in Karawanken und anderen Gebieten, besonders in Suha planina. Ich möchte wissen, ob diese Differenziation schon primär ist und hängt sie von der Löslichkeit von Uran und Thorium ab, oder soll dieses Phänomen nur von diagenetischen Prozessen abhängig sein.

Protić: Ich bin nicht sicher, ob ich Sie ganz verstanden habe. Aber ich glaube, daß im Žirovski vrh Gebiet diagenetische Prozesse mehr entwickelt sind als in anderen Gebieten. Dort ist auch zu einer Anreicherung von Uran gekommen. Und mit dem Thorium ist vielleicht das gleiche.

Duhovnik: Ich meine, es wäre sehr schön, wenn wir auf Grund dieser Ergebnisse auch diese primäre Lagerstätte finden können, von wo diese Uran- und Thoriumgehalte ausgelaugt worden sind. Aber in Österreich hat man gefunden, daß dort Uranlagerstätten beziehungsweise -Vorkommen viel reicher an Thorium sind als im unseren Lande. Und es ist auch möglich, daß beide diese Lagerstätten nicht von demselben primären Batholit kommen. Ich möchte noch wissen, wie die Verhältnisse zwischen diesen beiden zwei Elementen in unseren Lande stehen?

Protić: Es ist mir nicht möglich, alle Resultate hier anzugeben; einige sind schon publiziert worden. Über die Herkunft von Uran im Žirovski vrh sprechen M. Ristić und C. Markov (1967).