

Die Entwicklung der Diabas-Hornstein Formation in den Innerdinariden Jugoslawiens

Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle

Von **Branislav Marković** *)

Die Diabas-Hornstein Formation, die im geologischen Aufbau der inneren Dinariden eine große Rolle spielt, wurde im Entwicklungsstadium der alpinen Geosynklinale gebildet, und zwar in zwei Phasen, in denen es zu einer intensiven Vertiefung derselben kam. Bei Berücksichtigung der Tatsache, daß diese Vertiefungen an mobile Zonen gebunden sind, war die Intensität dieser negativen Bewegungen so stark, daß es zu einem submarinen Vulkanismus (initialer Magmatismus) kam. Als Ergebnis dieser Vorgänge wurde die Diabas-Hornstein Formation triassischen Alters nach der permotriassischen Transgression gebildet; dagegen kam es zur Bildung der Diabas-Hornstein Formation oberjurassischen Alters, mit eventuellem Übergang in die Valendis-Stufe nach der oberjurassischen Transgression.

Paläogeographie

In verschiedenen Gebieten wurde der Diabas-Hornstein Formation ein verschiedenes Alter zugeschrieben. Aus diesen Gründen kam es zu verschiedenen Auffassungen über ihr Alter in ein und demselben Gebiet, ja sogar Lokalität. Diese sich unterscheidenden Meinungen können in drei Gruppen geordnet werden. Zur ersten Gruppe gehören: A. PHILIPSON, F. KATZER, F. KOSSMAT, L. LOCZY, M. GOČANIN, B. ČIRIĆ, C. RENZ, Z. BEŠIĆ u. a., die der Diabas-Hornstein Formation ein jurassisches Alter zuschreiben. Der zweiten Gruppe gehören an: F. NOPCSA, W. HAMMER, K. V. PETKOVIĆ, B. MILOVANOVIĆ, V. SIMIĆ, M. LUKOVIĆ, K. LEDEBUR u. a., die derselben ein triassisches Alter zuschreiben. Die dritte Gruppe: E. MOJSISOVIĆ, E. TITZE, A. BITTNER, B. MILOVANOVIĆ, M. PROTIĆ, Z. BEŠIĆ u. a. nehmen ein oberkretazisches Alter der Diabas-Hornstein Formation an.

Auf Grund der bisherigen Angaben über die Bildungen dieser Formation sowie auf Grund der persönlichen Untersuchungen kann über die Ausdehnung, Grenzen und faziellen Verhältnisse dieser Formation

*) Anschrift des Verfassers: Dr. Branislav Marković, Geološki Zavod, Beograd, Karadjordjeva 48.

triassischen und jurassischen Alters gesprochen werden; dagegen bestehen keine sichere Angaben, um die Frage eines oberkretazischen Alters der Diabas-Hornstein Formation berücksichtigen zu können.

Der Verlauf der Grenzen, innerhalb deren diese Formation entwickelt ist, stimmt vollständig mit den paläogeographischen Verhältnissen der Trias und des Jura in den Gebieten Serbiens und Makedoniens überein, in denen diese Formationen vertreten sind. So kann die triassische und jurassische Diabas-Hornstein Formation klar abgegrenzt werden; denn es bestehen genügend Beweise, daß die Diabas-Hornstein Formation triassischen Alters im westlichen Makedonien, Metochia, Westserbien und Bosnien entwickelt ist; die jurassische ist in der Umgebung von Beograd, Šumadija, Südserbien und im östlichen Makedonien (Demir Kapija) oder kurzgefaßt, im äußersten Randteil der Innerdinariden vertreten. Die Ausdehnung der Bildungen dieser Formation triassischen und jurassischen Alters ist fast regelmäßig an die Ausdehnung der Ophiolitzone (paläozoischen Alters) gebunden, an deren Aufbau, neben serpentinisierten Peridotiten, Gabbro, Diabas und Amphibolite (Abb. 1) teilnehmen. Diese Verbundenheit ist, im Grunde genommen, eine genetische.

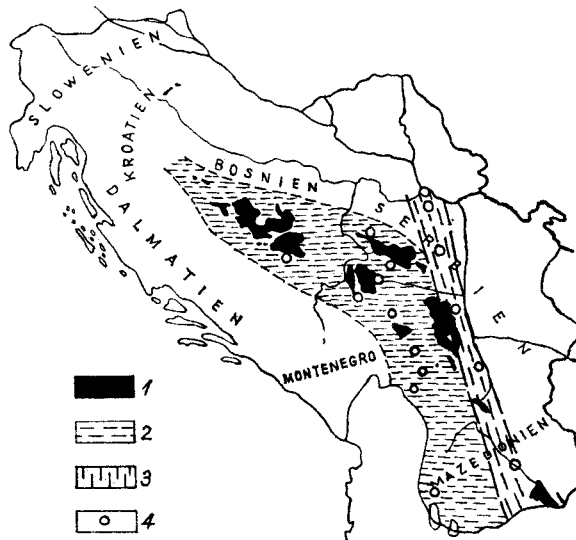


Abb. 1: — Ausdehnung der serpentinisierten Peridotite und Lage der wahrscheinlichen paläogeographischen Grenze.

1 — serpentinisierter Peridotit; 2 — wahrscheinliche paläogeographische Grenze der Diabas-Hornstein Formation triassischen Alters; 3 — wahrscheinliche paläogeographische Grenze der Diabas-Hornstein Formation jurassischen Alters; 4 — fossilführende Fundstellen

Während der Triaszeit war ein Großteil der Šumadija Festland und deshalb bestehen hier keine triassischen Bildungen. Die basischen Erup-tivgesteine waren zuerst vom oberjurassischen Meere bedeckt und dann konnten in diesen Gebieten die Bildungen der Diabas-Hornstein Forma-tion entstehen.

Es ist zu betonen, daß die paläogeographischen Verhältnisse der tri-assischen und jurassischen Diabas-Hornstein Formation vollständig mit der inneren (jurassische Diabas-Hornstein Formation) und zentralen (triassische Diabas-Hornstein Formation) Ophiolitzone übereinstimmen, die gemäß den neuesten geologischen und geochemischen Untersuchungen der Ophiolite in den jugoslawischen Dinariden von K. PETKOVIĆ, 1957 abgegliedert wurde (K. PETKOVIĆ und Z. MAKSIMOVIĆ). In den erwähnten Zonen kann eine Gesetzmäßigkeit in der Anordnung der einzelnen Zonen in Bezug auf die Basität und Konsolidationszeit beobachtet werden. So ist die innere Zone, die den Rhodopen, bzw. dem alten Kristallinkern näher ist, älter als die weiterfolgenden. Dem entgegengesetzt sind die Zonen der Diabas-Hornstein Formation gegen die Rhodopen zu immer jünger. Es kann demnach gefolgert werden, daß eine Diabas-Hornstein Formation kretazischen Alters, von der viel in letzter Zeit die Rede ist, nur in der inneren Ophiolitzone erwartet werden kann.

Faziesausbildung:

Auf Grund einer strukturell-faziellen Analyse des marinen efusiv-sedimentären Komplexes der Diabas-Hornstein Formation kann gesagt werden, daß diese Formation, die Küstenebene eines offenen Schelfes darstellt und pseudoabyssalen Ablagerungen angehört (nach der Systematik der Fazies von D. V. NALIVKIN, 1956). In der Küstenebene ist ausschließlich terrigene Fazies vertreten und zwar Küstenkonglomerate, Küstensandsteine, neritische Sandsteine vom Grauwacken-Typ sowie sandige Schiefertone und tonige Sandsteine der neritischen Zone. Im Gebiete der pseudoabyssalen Ablagerungen, d. h. der Festlandsabhänge, sind Schiefertone- und Hornsteinserien vom Radiolarit-Typ, Kieselschiefer, geschichtete Hornsteinkalke, Kalke mit Hornsteinknollen, ferner Tuffite, tuffigene vulkanische Breccien und Diabase, Porphyrite und Melaphyre entwickelt.

Auf Grund einer geochemischen Klassifikation der Sedimente (K. RAN-KAMA und G. SAHAMA, 1949), könnte der Konglomerat-Sandsteinkomplex in die Resistate eingegliedert werden; in die Hydrolisate, die Schiefer-tone, Hornsteine und verkieselten Schiefer, in die Oxydate, die Mangan-vorkommen und in die Präzipitate, die Kalke mit Hornsteineinlagerungen und -knollen.

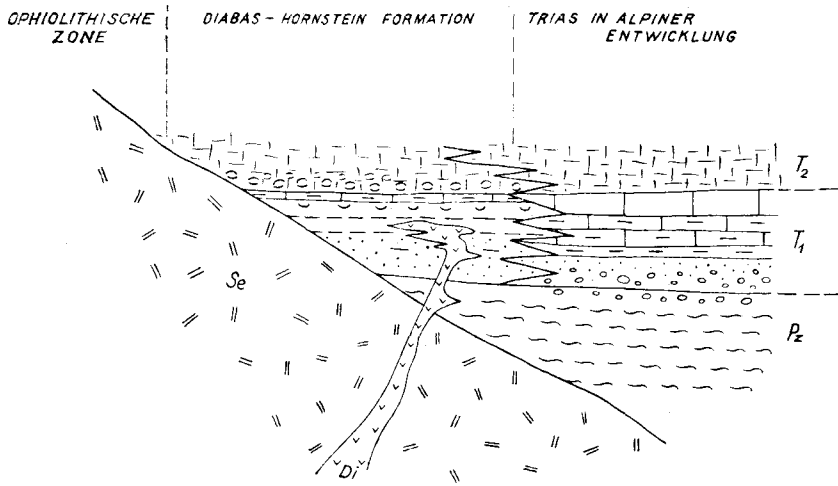


Abb. 2 — Schematische Darstellung der faziellen Verhältnisse der Diabas-Hornstein-Formation und der typischen Entwicklung der Trias am Rande der Ophiolithzone.

Se — serpentinisierter Peridotit; Di — Diabase, Porphyrite, Melaphyre u. a.; Pz — paläozoische Schiefer (Silur-Devon), Quarzkonglomerate und Sandsteine (Oberperm); T₁ — Quarzkonglomerate und Sandsteine, mergelige Kalke und Plattenkalke (alpiner Entwicklung); Diabas-Hornstein Formation: Sandsteine, Grauwackentyp, sandige Schiefertone und tonige Sandsteine, Hornsteine vom Radiolarit-Typ, mergelige Kalke; T₂ — plattige und bankige Crinoiden —, Brachiopoden- und andere Kalke (alpiner Entwicklung); Diabas-Hornstein Formation: Kalke mit Hornsteinlagen und -knollen.

Die Serien der Diabas-Hornstein Formation triassischen und jurassischen Alters wechsellagern mit Serien in normaler typischer triassischer und jurassischer Entwicklung. Neben dem horizontalen besteht auch ein vertikaler Wechsel, allerdings in geringerem Maße. Näher den Randteilen der serpentinisierten Peridotite, d. h. der Ophiolithzone, sind die Fazies der Diabas-Hornstein Formation entwickelt und weiter entfernt die anderen Serien in typischer Entwicklung der Trias (Abb. 2) und des Jura.

Lithologie:

Die Hauptkomponente dieser vulkanogen-sedimentären Formation sind Lavaergüsse von Diabasen, Porphyriten und Melaphyren, umgelagerte Tuffe, Tuffite und tufföse vulkanische Breccien, vorwiegend aus Quarzporphyrit bestehend. Von allen diesen Eruptionen kann gesagt werden, daß sie aus demselben Magmaherde stammen und daß die Differenzierung sich im Herde selbst (chemische, Kristallisation) oder während des Ergusses in die marine Mitte abwickelte. Diese Eruptiva weisen einen hohen Transformierungsgrad auf, der mit ihren Entstehungsbedingungen

in der marinen Mitte in Zusammenhang steht und ihren mineralogischen sowie chemischen Bestand, sowie die Textur- und Struktureigenschaften („Pillow“-Laven) bedingte. Diese Eruptionen waren in der unteren und mittleren Trias, sowie im oberen Jura, mehrmals den Sedimenten der Diabas-Hornstein Formation (Sandsteine, Schiefertone, Hornsteine und Kalke) zwischengelagert.

Noch ein charakteristisches Glied der Diabas-Hornstein Formation sind die Hornsteine und Kieselschiefer. Die Hornsteine der Diabas-Hornstein Formation triassischen Alters stellen den ausgeprägtesten Teil dieser Serie dar, sowohl ihrem Aussehen und Bestande nach, als auch in Bezug auf ihre Stellung in der Aufeinanderfolge. Sie sind buntgefärbt, jedoch überwiegt die Rotfärbung. Mikroskopische Untersuchungen ergaben, daß ein Großteil der Hornsteine eine lentikulare oder psammitische Struktur besitzen. In fast allen Dünnschliffen wurden Radiolarien beobachtet. Stellenweise sind dieselben so angehäuft (besonders in Hornsteinen blauer Farbe), daß man von einem typischen Radiolarit sprechen kann. Neben Radiolarien wurden auch Querschnitte anderer Mikroorganismen, von einer Gastropodenfauna begleitet, beobachtet. Auf Grund chemischer Analysen der Hornsteine triassischen oder jurassischen Alters aus verschiedenen Lokalitäten in der Zone der Innerdinariden wurde ein SiO_2 -Gehalt von 80 bis 95 Prozent festgestellt.

Die Kieselschiefer liegen durchwegs an der Basis der Hornsteinkalke und gehen seitlich in Werfener Schichten über. Dem makroskopischen Aussehen nach ist das Gestein unscheinbar, aber strukturell doch unterscheidbar. Mikroskopische und chemische Analysen decken einen sehr veränderlichen Bestand auf; in der feinkörnigen Kalzitmasse sind Quarz- und Chalcedonkörnchen verstreut; in vielen Präparaten wurden Radiolarien-Querschnitte beobachtet; in den tieferen Teilen sind die Kieselschiefer unreiner und dünkler.

Die anderen Komponenten der Diabas-Hornstein Formation sind Sandsteine vom Grauwacken-Typ, tonige Sandsteine, sandige Schiefertone und Schiefertone.

Die Sandsteine gehören den untersten Horizonten der Diabas-Hornstein Formation an. Mikroskopische Untersuchungen ergaben, daß ein Großteil der Handstücke den Grauwacken zuzuzählen sind. Nach der Verschiedenartigkeit der Bestandteile kann geurteilt werden, daß auf ihren Bestand die Stellung im Paläorelief einen großen Einfluß ausübte. Näher der Ophiolitzone enthalten die Sandsteine mehr Elemente der basischen Eruptivgesteine, was zweifelsohne das vortriassische Alter der Ophiolite bekräftigt. In vielen Präparaten wurden gut erhaltene Radiolarien beobachtet.

h. die roten sandigen Schiefertone, sowie auch die roten Hornsteine führen Manganerze (Drežnik-Svračkovo, Jasenovo in Westserbien; Mioče und Čevljanović in Bosnien) in der Diabas-Hornstein Formation triassischen und jurassischen Alters (Drača in Šumadija). Diese Sedimente besitzen eine große Bedeutung, denn vier Fünftel unserer Manganvorräte treten gerade in denselben auf (St. PAVLOVIĆ, 1953). Neben Mangan enthalten diese Sedimente Phosphat-Konkretionen, die nur selten regelmäßig in den Schiefertönen und Sandsteinen auftreten. Die Phosphat-Konkretionen enthalten bis 20 Prozent P_2O_5 .

Die geschichteten Kalke mit Hornsteinlagen und Kalke mit Hornsteinknollen sind eine unmittelbare Folge der vulkanischen Tätigkeit einerseits und des Sedimentationsmechanismus in der Wassermitte andererseits. Diese Sedimente bilden immer die obersten Teile der Diabas-Hornstein Formation.

Die geschichteten Kalke mit Hornsteinlagen liegen zwischen Kiesel-schiefern im Liegenden und den Kalken mit Hornsteinknollen, in die sie allmählich im Hangenden übergehen. Mittels mikroskopischer Analysen der Kalksteine wurde festgestellt, daß sie in der Basis ein Gemisch von Kalzit und Quarz enthalten. Die Hornsteine aus diesen Kalken wurden ebenfalls mikroskopisch wie chemisch analysiert und dabei wurden interessante Resultate gewonnen: Die Hornsteine aus den Kalken sind vor allem primären Ursprungs und wurden zur selben Zeit wie die Kalke ausgeschieden. In ihnen bestehen keine organischen Reste, zum Unterschiede von den Hornsteinen, die im Radiolarittyp entwickelt sind. Vorherrschend sind psammitische Strukturen mit einer Grundmasse aus feinem, kristallinen Chalcedon, in der immer winzige Dolomit- und Kalzitrhomboeder, sowie Pyritwürfelchen, eingeschlossen sind. Die Abwesenheit organischer Reste (Radiolarien), sowie das Auftreten von Dolomit- und Kalzitrhomboedern ist charakteristisch für die Hornsteine aus diesen Kalken in der ganzen Zone der Innerdinariden. Die chemischen Analysen ergaben, daß der SiO_2 -Gehalt größer ist als bei Hornsteinen vom Radiolarittyp. Dies ist logisch bei Berücksichtigung der Tatsache, daß die Hornsteine vom Radiolarittyp in bedeutend labilerem Milieu gebildet wurden, in denen die Änderungen des lithologischen Bestandes viel ausgeprägter sind.

Die angeführten Glieder der Diabas-Hornstein Formation triassischen und jurassischen Alters besitzen ihre bestimmte Stellung in der stratigraphischen Kolonne dieser Formation, so daß eine Aufeinanderfolge vorhanden ist, die in der Diabas-Hornstein Formation triassischen Alters

viel vollständiger ausgeprägt ist, sei es in lithologischer oder stratigraphischer Hinsicht.

Entstehungsbedingungen

Die Frage der Bedingungen, unter denen SiO_2 in der marinen Mitte abgelagert wurde, sowie die Herkunft desselben, ist bis heute noch nicht endgültig klargestellt. Das heißt, die Entstehung der kieseligen Gesteine organogenen Ursprungs ist im Grunde genommen klar und die Auffassungen der verschiedenen Autoren im großen Ganzen übereinstimmend. Wenn es sich jedoch um kieselige Gesteine nicht organogenen Ursprungs handelt (Hornsteine), bleiben viele Fragen ungelöst. Grundlegend ist die Frage der Ablagerungsbedingungen und die Frage der Diagenese (Kalke mit Hornsteinknollen u. a.). Die Bedingungen unter denen die Komponenten im Meerwasser gefällt wurden, ferner was für Sedimente damals gebildet wurden und was alles daraufhin folgte bis zum heutigen Aussehen der Kalke mit Hornsteinknollen, sind Fragen, die viele Autoren nicht erklären können. Nach J. ПЕТТЮНН, (1949), der verschiedene Angaben vieler Autoren über die angeführten Probleme erwähnt, kann gefolgert werden, daß das Problem des Hornsteines nicht gelöst wurde, sei es, daß es sich um primären oder sekundären handelt, noch wurde die Siliziumquelle, die die Hauptkomponente für die Bildung dieser Sedimente lieferte, festgestellt.

V. BRUEVIĆ nimmt an, daß SiO_2 nur auf biogenem Wege gefällt werden kann, I. TEODOROVIĆ gibt zu, daß ein gewisser Teil des SiO_2 auf chemischem Wege abgesetzt wird. Andere Autoren wieder halten an der Hypothese über den anorganischen Ursprung der Hornsteinkonkretionen fest. So meint A. TARR, daß die Hornsteinknollen das Resultat einer chemisch gefällten SiO_2 -Konzentration darstellen; die Anwesenheit von Kieselskeletten hält er für Beimengungen. V. PUSTOVALOV gibt der anorganischen Herkunft der Hornsteinkonkretionen das Vorrecht, obwohl er auch einer organischen Herkunft eine untergeordnete Rolle zuschreibt, sie jedoch als epigenetisch annimmt. S. ŠVECOV nimmt an, daß ein Großteil des Hornsteines syngenetisch entstand und ein nur unbedeutender Teil epigenetisch.

Die Herkunft des SiO_2 , das sich im Meerwasser gelöst befindet, sowie die Wege, die es ging, sei es, daß es später auf organischer oder nicht organischer Weise gefällt wurde, stellt ein gesondertes Problem dar. Die Anwesenheit des Siliziums in der Lösung, in der die vulkanogen-sedimentären Bildungen entstanden, kann leicht durch submarine Exhalationen erklärt werden. Jedoch an Stellen, wo kein Vulkanismus stattfand und doch kieselige Sedimente abgelagert wurden, muß nach anderen Quellen gesucht werden. Diese Frage wurde von vielen Autoren behan-

delt. So wurde auf Grund der Untersuchungen von L. ANTONOVA u. a. (1958) festgestellt, daß die Mineralien, die am Aufbau basischer eruptiver Gesteine teilnehmen, gelegentlich eines physikalischen und nachträglich chemischen Zerfalls- bedeutende SiO_2 -Mengen abgeben (Serpentin gibt ca. 44 Prozent ab). W. FRIESE (1931, 1932) bewies mit Experimenten, daß basische Gesteine viel leichter unter dem Einfluß von fließendem Wasser zerfallen und erodieren als saure. Chemische Analysen des Grundwassers aus Dioriten ergaben, daß die Lösungen dieses Wassers dreimal mehr SiO_2 enthalten als dieselben Wässer aus Graniten. Ebenso wird der Prozentsatz der Löslichkeit zweimal erhöht, wenn dieselben Wässer Kohlensäure in Lösung enthalten (G. I. BUŠINSKIJ, 1956). Auf diese Weise könnte es erklärt werden, warum sich die Diabas-Hornstein Formation nicht oberhalb der Granite bildete und überhaupt in keinerlei genetische Verbindung mit diesen Gesteinen steht, die als Gesteine mit den höchsten Prozentsatz an SiO_2 bekannt sind, sondern räumlich und genetisch in Zusammenhang mit Ophioliten stehen. Das soll heißen, daß die Mineralien aus der Gruppe der Silikate in den Ophioliten eine solche Struktur besitzen (kettenförmig, streifig, blättrig), bei denen die Möglichkeit einer leichteren Zerreißung der Verbindung besteht und die einzelnen Elemente für die Bildung der Sedimentgesteine befreit werden. So geben Gesteine mit dem geringsten SiO_2 -Gehalt die größten SiO_2 -Mengen ab, da sie leicht zerfallen.

Die SiO_2 -Mengen, die jährlich von den Flüssen den Meeren zugeführt werden, erreichen 319,170.000 Tonnen. Nun weist jedoch die fast vollständige Abwesenheit von SiO_2 im Meerwasser darauf hin, daß das SiO_2 ausgeschieden und abgelagert wird. Ein kleinerer Teil wird von den Organismen verarbeitet; für die übrigen Mengen ist es jedoch nicht bekannt, unter welchen Bedingungen sie abgesetzt werden (NALIVKIN, 1956). I. MURRAY, ein Forscher der „Challenger Expedition“, stellte fest, daß Organismen mit Silizium oft in jenen Ozeanteilen auftreten, die am meisten sich absetzendes Material, das vom Festland und auch von submarinen, vulkanischen Eruptionen abstammt, enthalten. Auf Grund durchgeführter Experimente mit Diatomeen setzen I. MURRAY und R. IRVIN voraus, daß suspendiertes SiO_2 für das Wachstum der Diatomeen wichtiger ist als das im Meerwasser gelöste SiO_2 . Die Tiefseeproben der „Expedition Snellius“ aus dem Malaischen Archipel ergaben, daß sich die meisten Silizium enthaltenden Organismen in feinem vulkanischen Ton finden, der vorwiegend aus Silikaten besteht, und daß terrigene Tone mit quarzreichem Detritus am wenigsten kieselige Organismen enthalten (E. WENK, 1949).

Über die Entstehung der Hornsteine in Zusammenhang mit der Ent-

wicklung der Diabas-Hornstein Formation in unseren Gebieten befaßte sich von unseren Autoren nur L. MARIĆ. Er unterschied, auf Grund mikroskopischer Analysen der Hornsteine aus Stara Raška, zwei Typen: Typus A: SiO₂-reiche Hornsteine und Typus B: CaCO₃-reiche Hornsteine. Seiner Auffassung nach sind diese Hornsteine genetisch verbunden, mit Sandsteinen einerseits und über silifizierte Kalke, mit Kalken andererseits (siehe das Schema in der Arbeit von L. MARIĆ). „In der Richtung von links nach rechts, d. h. von Sandsteinen und Radiolarien-Sandsteinen über Hornsteine beider Typen bis silifizierte Kalke und Kalke, verringert sich auch die Korngröße dieser mechanischen Sedimente. Es sind dies Sedimente eines verschiedenen Dispersitäts-Grades, die fortlaufend ineinander übergehen“ (L. MARIĆ, 1933).

Auf Grund der oben angeführten Angaben, sowie auf Grund vieljähriger Untersuchungen in der Diabas-Hornstein Formation, sowie dank der festgestellten Aufeinanderfolge und Analyse des Serienbestandes, konnten die Entstehungsbedingungen dieser Formation einigermaßen erkannt und erklärt werden, als Ganzes sowie auch deren einzelne lithologische Glieder.

Die wichtigsten Komponenten für die Bildung dieser vulkano-sedimentären Formation stammen zweifelsohne von einem submarinen Vulkanismus, sowie von den basischen Magmatiten der Unterlage. Diese Komponenten wurden auf verschiedenartige Weise befreit, jedoch können wir zur Zeit drei Gruppen unterscheiden:

1. Der submarine Vulkanismus der Diabase, Porphyre und Melaphyre führte dem Meerwasser die größten Si-Mengen und andere Komponenten unter denen am wichtigsten Ca (HCO₃)₂ ist, zu.

2. Die basischen Eruptivgesteine der Ophiolithzone in der Unterlage, die von der permo-triassischen Transgression immer mehr erfaßt wurde, lieferten durch ihren Zerfall am Festland wesentliche Komponenten dem Meerwasser, unter denen am wichtigsten SiO₂ war.

3. Infolge der Halmyrolyse, d. h. der unterseeischen Zerstörung der Gesteine, wurden dem Meerwasser die entsprechenden Komponenten zugeführt.

Auf diese Weise wurden die Bedingungen für die Bildung eines efusiv-sedimentären Komplexes geschaffen, dessen Kolonne in zwei Teile geteilt werden kann:

1. Der untere Teil der Kolonne wird durch Si-Komponenten terrigeno-organogenen Ursprungs deutlich gekennzeichnet und stellt eines der Entwicklungsstadien der Diabas-Hornstein Formation dar.

2. Der obere Teil wird durch Kalk-Komponenten terrigen-chemischen Ursprungs charakterisiert und ist auf eine vorangegangene vulkanische Tätigkeit zurückzuführen.

Beide Teile der Kolonne stellen eigentlich das Resultat einer physikalisch-chemischen Differenziation dar, die sich zur Zeit der Entstehung bis zum Reifestadium der damaligen Geosynklinale abwickelte.

Das terrigen-organogene Stadium erfolgte während der permo-triassischen Transgression im Laufe der unteren Trias, als die sandig-tonigen und die Hornstein-Sedimente abgelagert wurden. Die tiefsten Horizonte der Diabas-Hornstein Formation sind, wie bekannt, aus Sandsteinen — Typus Grauwacke oder einen Übergang zu Grauwacken bildend — aufgebaut. In jener Zeit, als noch kein submariner Vulkanismus erfolgt war, wurden dem Meerwasser nicht nur terrigene sondern auch koloidale Komponenten zugeführt, unter denen SiO_2 hervorzuheben ist. Die zweite wichtige Komponente $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ wurde in diesem Zeitabschnitt nur in geringen Mengen zugeführt.

Mit den submarinen Diabas-, Porphy- und Melaphyr-Ergüssen und dem entsprechenden Auswurfsmaterial kam es zu wesentlichen Änderungen der Ablagerungsbedingungen. Zu dieser Zeit herrschen in der Lösung SiO_2 -Gele vor und am Seeboden werden erst tonige Sandsteine und sandige Schiefertone, nachher feinkörnige Tone abgelagert. Die Sedimentation wickelte sich in einer Lösung mit SiO_2 in koloidalem Zustande und in Form mechanischer Dispersionen ab. Die dispersen Teilchen verlieren sich allmählich und ständig durch die Ablagerung und ermöglichen eine reiche Entwicklung der Radiolarien, der Mikrofauna mit Kalzitschalen und der begleitenden Gastropoden-Fauna. So wurden Hornsteine verschiedener Farbe gebildet, die mit Schiefertönen eng verbunden sind und mit denen sie in den tieferen Horizonten in allen Richtungen wechsellagern. Die im Radiolarit-Typus entwickelten Hornsteine enthalten neben Radiolarien auch bedeutende Mengen an mineralischem Detritus, der eine der letzten Etappen der mechanischen Differenziation in den Lösungen des damaligen Beckens darstellt. In jener Zeit werden auch Mn- und Fe-Oxyde gefällt, die der Lösung durch unterseeische Eruptionen zugeführt wurden und nicht nur physikalisch-chemisch, sondern auch mittels biologischer Faktoren abgesetzt wurden. Als Quelle der Fe-Zufuhr in die Lösung dienten auch basische Magmatite des Untergrundes.

Auf Grund chemischer Analysen der Sandsteine und Schiefertone, die über den Diabasen liegen, ist ersichtlich, daß die Al_2O_3 -Komponente in Bezug auf K_2O - Na_2O - CaO immer mehr anwächst. Ebenso geht Na_2O , das in den Diabasen bedeutend besser vertreten ist als K_2O , in den

Sandsteinen und Schiefertönen immer mehr zurück, K_2O wächst an. Die chemischen Analysen der Hornsteine ergaben, daß die graublauen und grünen Hornsteine einige Prozente mehr SiO_2 enthalten auf Rechnung von Al_2O_3 , als Hornsteine roter Farbe. Demnach enthalten blaue und graue Hornsteine Radiolarien und weniger Nebenbestandteile als Hornsteine roter Farbe.

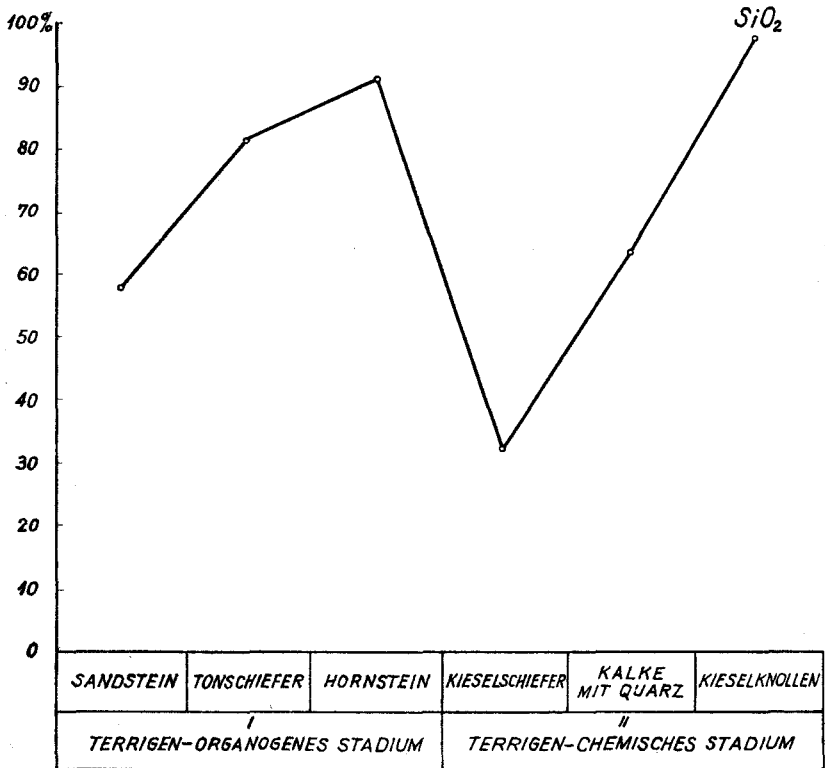


Abb. 4 — Kurve, den Prozentsatz an SiO_2 in kieseligen Gesteinen der Kolonne der Diabas-Hornstein Formation triassischen Alters darstellend.

Schon in diesem Stadium, wenn die Komponente $Ca(HCO_3)_2$ in der Lösung in solchem Maße vertreten ist, daß sie am Aufbau der Sedimente der Diabas-Hornstein Formation teilnehmen kann, entsteht ein Gleichgewichtszustand der Komponenten SiO_2 und $Ca(HCO_3)_2$, die gemeinsam gefällt werden und sich am Boden des Beckens absetzen. Damit beginnt das zweite Stadium. Ebenso ist die Transformation der Komponente $Ca(HCO_3)_2$, während ihrer Zufuhr in die Lösung viel lebhafter als es mit SiO_2 der Fall ist: Ein Großteil der $Ca(HCO_3)_2$ -Mengen, die die Orga-

nismen für den Aufbau ihrer Schalen verarbeiten, kehrt infolge der Auflösung der Schalen der abgestorbenen Organismen in die Lösung wieder zurück, noch bevor sie auf den Seeboden fallen. Die Skelette der Organismen, deren Schalen aus SiO_2 aufgebaut sind, fallen dagegen nach dem Absterben auf den Meeresboden und häufen sich an. Auf diese Weise geht die SiO_2 -Komponente in der Lösung verloren und das Gleichgewicht verliert sich allmählich zu Gunsten der $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ -Komponente (Abb. 4 und Tabelle 1).

Tabelle 1:

Tabellarische Übersicht der chemischen Analysen der wichtigsten lithologischen Glieder der Diabas-Hornstein Formation Triassischen Alters.

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO_2	53,02	75,56	57,89	81,47	91,87	32,38	63,26	97,17
Al_2O_3	15,92	12,17	19,40	7,15	2,84	11,30	15,79	1,09
Fe_2O_3	5,28	1,49	4,79	2,05	0,77	4,69	4,80	0,23
FeO	1,82	0,42	2,24	1,56	1,58	2,88	1,10	—
MnO	0,08	0,07	0,06	0,07	0,04	0,95	0,11	0,02
TiO_2	0,75	0,17	0,90	0,31	0,07	0,65	0,65	—
P_2O_5	—	—	0,09	—	—	0,38	0,13	—
CaO	10,41	1,51	0,98	0,82	0,70	19,15	1,45	0,44
MgO	4,43	1,13	2,12	1,15	0,71	5,63	2,23	0,38
K_2O	0,98	1,78	3,02	0,72	0,23	0,73	2,52	0,26
Na_2O	4,25	3,64	1,27	0,80	0,02	0,75	0,73	0,13
H_2O —	0,46	0,38	1,65	0,96	0,12	0,68	1,99	—
H_2O +	2,87	2,02	6,24	3,25	0,84	1,03	5,33	0,54
CO_2	—	—	—	—	—	19,54	—	—
	100,27	100,34	100,61	100,31	99,79	100,74	100,09	101,17

1. Augit-Diabas von Gradina aus dem Profil südlich der Kote 664 bei Jelići (am Westfuß des Zlatibor). Parameter: II', 5, 3, 4, (5) 2, 1, (2) 3, 2 (3) An = 38%
2. Quarzporphyr aus dem Profil am linken Flußufer der Katušnica (am Ostfuß des Zlatibor). Parameter: 1, 3, 2, 4' An 19%
3. Sandstein vom Grauwackentyp aus dem Profil südlich der Kote 664 bei Jelići (am Westfuß des Zlatibor).
4. Schiefer mit Radiolarien aus dem Profil am rechten Bachufer östlich der Kote 664 (am Westfuß des Zlatibor).
5. Hornstein grüner Farbe aus dem Profil am rechten Flußufer des V. Rzav westlich von Vidići (am Ostfuß des Zlatibor).
6. Kieselschiefer aus dem Profil am linken Bachufer östlich der Kote 664 (am Westfuß des Zlatibor).
7. Kalkstein mit Quarzanhäufungen aus dem Profil am rechten Bachufer östlich der Kote 664 (am Westfuß des Zlatibor).
8. Feuerstein aus den Kalken vom Kršić bei Drežnik (am Ostfuß des Zlatibor).

Das terrigen-chemische Stadium. Gleichzeitig, als die Hauptmassen der unteren Horizonte der Diabas-Hornstein Formation abgelagert wurden, d. h. die Sedimente mit großen Silizium-Mengen, wurde die Festlands Oberfläche, die aus basischen eruptiven Gesteinen aufgebaut war, auf ein Minimum beschränkt. Dies führte zu einem Aufhören des Einflusses der exogenen Faktoren auf die aufgedeckten Massen der basischen eruptiven Gesteine, so daß die Silizium-Zufuhr in die Lösung

bedeutend geringer war. Zu dieser Zeit nimmt auch der submarine Vulkanismus sein Ende, was ebenfalls eine Verminderung des Siliziums in der Lösung bewirkt. So werden aus der Lösung die letzten Reste der Hydrosol SiO_2 , gemeinsam mit $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, das immer vorherrscht, abgelagert. In dieser Zeit werden die Ablagerungen der höheren Horizonte der Diabas-Hornstein Formation gebildet und stellen eigentlich eine direkte Folge des submarinen Vulkanismus im gegebenen Becken dar.

Am Anfang dieses Stadiums werden auch die letzten Reste von mineralischem Detritus abgelagert, der die Bildung der Kieselschiefer, von der unteren in die mittlere Trias reichend, bedingte. In der mittleren Trias kommt es dann zu chemischen, vielleicht auch physikalisch-chemischen Reaktionen, die zu Koagulationen der noch zurückgebliebenen SiO_2 -Mengen in der Lösung führten. Die Ablagerungen geben nach einer Diagenese ein charakteristisches Glied der höheren Horizonte der Diabas-Hornstein Formation — die Kalke mit Hornsteinen in Form von Lagen und Knollen.

Aus den chemischen Analysen des Hornsteins ist ersichtlich, daß der Prozentsatz an SiO_2 größer ist als bei den Hornsteinen vom Typus Radiolarit aus den tieferen Horizonten (Abb. 4, Tab. 1), auf Kosten der Komponenten Al_2O_3 , Fe_2O_3 und FeO . Daraus geht hervor, daß die unteren Horizonte in einer Mitte gebildet wurden, die bedeutend labiler war und in der die lithologischen Änderungen viel ausgeprägter waren. Außerdem ist der Charakter der unteren Horizonte der Diabas-Hornstein Formation ausgesprochen für Seichtwasserbildungen bezeichnend.

Die Kalke mit Hornsteinlagen und Hornsteinknollen erhielten, wie erwähnt, ihr heutiges Aussehen im Laufe der Diagenese. Unmittelbar nach der erfolgten Sedimentation, im Prozeß der frühen Diagenese, wurden in der gelartigen Masse, die aus SiO_2 und CaCO_3 besteht, Tröpfchen aus SiO_2 gebildet (ähnlich wie Öltröpfchen in einer Emulsion). Diese Tröpfchen häuften sich allmählich in größeren Zusammenballungen an, ähnlich Konkretionen, so daß in noch fast flüssigem Zustand eine Ausscheidung der einzelnen Komponenten erfolgte. Das schwere Silizium wird zuerst ausgeschieden und konzentriert sich in den tieferen Zonen. Die Bildung der Hornsteinkalke ist an die Zeit gebunden, in welcher in der Lösung die gleichen Mengen an SiO_2 und $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ vorhanden waren und infolge der herrschenden physikalisch-chemischen Bedingungen eine abwechselnde Fällung der einen oder anderen Komponente erfolgte. Dies dauerte so lange, bis $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ nicht überwog, was eintrat, wenn die SiO_2 -Zufuhr unterbrochen war. Dann wird SiO_2 und $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ in einem solchen Verhältnis gefällt, daß später, gelegentlich der Diagenese,

Hornsteine in Form von Konkretionen in den Kalken gebildet wurden. Dies dauert solange an, bis sich SiO_2 nicht aus der Lösung verliert und reine Kalksteine abgelagert werden.

Das wechselnde Auftreten von Kalksteinhorizonten mit Hornsteinkonkretionen und Hornsteinlagen und Kalksteinhorizonten ohne Hornsteinen, erklären A. TARR und H. TWENHOFEL damit, daß SiO_2 -Solen in der Meerwasserlösung hydratisiert und akkumuliert werden, ohne gleich gefällt zu werden. Zur selben Zeit wird normal die Kalkkomponente gefällt. Gelegentlich einer allmählichen Anreicherung des Meerwassers mit SiO_2 kommt es zu einer solchen Konzentration in der Lösung, wobei die Lösung instabil wird, unter Einwirkung des Elektrolyts im Meerwasser koaguliert und rasch gefällt wird. Dieses Akkumulieren und Fällern des SiO_2 tritt abwechselnd ein, so daß nach der Diagenese eben Kalkschichten mit Hornsteinlagen vorhanden sind.

Die Diagenese wird durch typische Mineralien gekennzeichnet, die regelmäßig als Einschlüsse in der aus Chalcedon bestehenden Grundmasse der Hornsteinknollen und Hornsteinlagen auftreten. Es sind dies neben seltener auftretenden Pyritwürfelchen Mikrokristalle (Rhomboeder) aus Dolomit oder Kalzit. Das Auftreten dieser Minerale wurde bisher von mehreren Autoren in ihren Arbeiten behandelt: L. CAYEUX (1929), V. NAPRSTEK (1954), B. MARKOVIĆ (1957), V. HVOROVA (1958).

Auf Grund der oben angeführten Angaben kann gefolgert werden, daß es im Laufe des Mesozoikums — in verschiedenen Teilen der innerdinarischen Eugeosynklinale — zweimal zu komplizierten und nicht synchronen sedimentären Vorgängen kam, unter Mitwirkung eines initialen Magmatismus. Auf diese Weise entstanden die Bildungen der Diabas-Hornstein Formation, deren Verbundenheit mit der Ophiolitzone genetisch ist, im geotektonischen wie im strukturell-faziellen Sinne.

Literatur:

- Antonov, L., i dr., 1958: Narčnik po inžinerna geologija. — Derž. izd. „Nauka i izkustvo“, Sofija
- Bešić, Z., 1951: Prilog poznavanju rasporeda i starosti geološke gradje u Dinaridima. — Glasnik Prirod. muz. srp. zemlje, Ser. A, knj. 4, Beograd.
- Bušinskij, G. I., 1958: Kremniste porodi. — Spravočnoe rukovodstvo po petr. osadoč. porod., t. II, Gostoptehizdat., Leningrad.
- Čirić B., 1956: Neka zapažanja o dijabaz rožnačkoj formaciji Dinarida. — Vesnik Zavoda za geol. i geof. istraž. NRS, knj. XI, Beograd.
- Ginzburg, I. I., 1946: Stadijnoe vivetivanie mineralov. — Vopros. mineral. geohem. i petrogr., Moskva-Leningrad.
- Gočani, M., 1938: Novi podaci za okolinu Beograda. Zap. srp. geol. društva za 1937, Beograd.
- Hammer, W., 1921: Die Diabas-Hornstein-Schichten. — Denkschr. d. Akad. der Wiss., math.-nat. Klasse. Bd. 98, Wien.
- Hvorova I. V., 1958: Atlas karbonatnih porod srednevo i verhnego karbona Russkoj platformi. — Izd. An. SSSR, Moskva.

- Karamata S., 1960: Prilog poznavanju magmatizma dijabaz rožnačke formacije, Zbornik Rudarsko-geološkog fakulteta, sv. 6, Beograd.
- Klenova, M. V., 1948: Geologija morja, Učpedgiz, Moskva.
- Kossmat, F., 1924: Geologie der zentralen Balkanhalbinsel. Verlag. Bornst., Berlin.
- Luković, M., 1938: Geološki sastav i tektonika istočnog dela planine Crne Gore/Karadaga/.—Vesnik GIKJ, knj. VII, Beograd.
- Marić, L., 1933: Prilog petrografiji Stare Raške. — Glas srpske kralj. akad., CLVIII, prvi razred, Beograd.
- Marković, B., 1957: Dijabaz rožnačka formacija na obodu Zlatiborskog masiva, Beograd.
- Milovanović, B., 1934: Geološki i tektonski problemi Zlatiborskog masiva. — Geol. an. B. P., knj. XII, deo I, Beograd.
- Nalivkin D. V., 1956: Učenje o facijah, I i II. — Izd. AN SSSR, Moskva-Leningrad.
- Naprstek V., 1954: Prispjevek k rešeni otázky sedimentace, dolomitace a silicifikace svrchnosilurskych vrstev Barrandienu. — Acta Univ. Carolinae, 2: Geologica, Praha.
- Pavlović S., 1953: Mangan u FNRJ i u svijetu. — I Savetovanje geologa FNRJ u Zagrebu, Zagreb.
- Petković, V. K., 1958: Neue Erkenntnisse über den Bau der Dinariden. — Jahrb. d. Geol. Bund., 101. Bd., H. 1, Wien.
- Petković, V. K., Marković B. i dr., 1960: Das Mesozoikum Jugoslawiens. — Verhandl. der mesozoischen Konferenz. — Annal. Inst. geol. Publ. Hungarici, vol. XLIX, fasc. 1, Budapest
- Pettijohn, F. J., 1949: Sedimentary rocks, New York.
- Pilger, A., 1951: Die tektonischen Probleme des initialen Magmatismus. — Geolog. Jahrbuch, Bd. 65, Hannover.
- Rankama K. and Sahama, Th. G., 1950: Geochemistry, Chicago.
- Simić, V., 1937: O stratigrafskom položaju dijabaz rožnačke formacije u blizini Medvednika. — Vesnik Geol. inst., knj. V, Beograd.
- Sujkovski, Zb., 1958: Diagenesis. — Bull. of The Americ Assoc. of Petrol. Geol., vol. 42, Num. 11, Tulsa, Oklahoma.
- Švecov M. S., 1958: Petrografija osadočnih porod. — Gosgeoltehzidat, Moskva.
- Teodorovič, G. I., 1957: Osobnosti izučenija kremnistih porod. — Metodi izučenija osadočnih porod, t. II, Gosgeoltehzidat, Moskva.
- Twenhofel, W. H., 1950: Principles of sedimentation, New York.
- Wenk, E., 1949: Die Assoziation von Radiolarienhornsteinen mit ophilithischen Erstarrungsgesteinen als petrogenethisches Problem. — Experientia, Vol. V/6, Bassel.

Bei der Schriftleitung eingelangt am 13. Jänner 1965.