

DIE PROBLEMATIK DER ERWÄRMUNG VON  
THERMALQUELLEN UND IHRE ZUSAMMENHÄNGE ZU  
DEN GEOLOGISCH-TEKTONISCHEN VERHÄLTNISSEN IHRER  
UMGEBUNGEN AN HAND VON ZWEI BEISPIELEN NÄMLICH  
DER HEILQUELLE VON ANO LOUTRAKI BEI ARIDEA WEST  
MAZEDONIES UND VON TRAJANOUPOLIS WEST THRAKIENS

Von

E. A. CHATZIDIMITRIADIS

*Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Thessaloniki*

*Introduced by Prof. I. Melentis*

*Received, 6.3.74*

**Zusammenfassung:** *Es wurden zwei Quellen, die von Aridea und Trajanoupolis geologisch, hydrologisch und hydrogeologisch untersucht. Es handelt sich um zwei Thermalquellen, deren Temperaturen bis zu 32 und 50 Celsius Grad entsprechend aufsteigen. Im Gebiet von Aridea haben wir eine schwach radioaktive Akratotherme, weil keine besondere Salze im Thermalwasser gefunden wurden. Hydrogeologisch gesehen, haben wir im betreffenden Bereich eine aufsteigende Verwerfungsquelle, die sich genau in einem SE - NW streichenden Tal beschränkt. Die Quellenumgebung besteht aus steil einfallenden stark verkarsteten Marmoren und auch sehr steil einfallendem graphitischem Phyllitsystem, die durch ein Tal getrennt sind, welches eine Abschiebungsrichtung darstellt.*

*Da aber die schwach radioaktive Akratotherme keine besondere Indizien der post-vulkanischen Erseheinung zeigt, glaube ich, dass die Erwärmung des Wassers durch die Erdwärme erfolgte. Das Regenwasser in der genannten Quellenumgebung sickert in einer Tiefe von 550 bis 600 Metern und danach steigt mit einer Temperatur von 32 °C in die Oberfläche auf. Teilweise könnte zur Erwärmung der erwähnten Thermalquelle die radioktive Strahlung und die Reibungsstellen der Verwerfung beitragen.*

*Die Quelle von Trajanoupolis wurde als eine NaCl - schwach schwefelwasserstoffhaltige Thermalquelle charakterisiert. Hydrogeologisch betrachtet hat man hier auch eine aufsteigende Verwerfungsquelle. Gemäss den ehemischen Analysen haben wir hier postvulkanische Solfatara mit genügendem H<sub>2</sub>S, SO<sub>4</sub>, Ca, CO<sub>2</sub> NH<sub>4</sub>OH u.a.*

*Ausserdem zeigt die Thermalquelle starken Gehalt von Na, Cl. Es ist sicher, dass das juvenile heisse Wasser der Thermalquelle mit dem Stauwasser des Schuttes und noch dazu mit dem Meereswasser der näheren Umgebung gemischt wird. Es besteht kein Zweifel, dass die erwärmende Energie bei der Trajanoupolisquelle vulkanischer Ursprung ist. Ausserdem war die Aufgabe der vorliegenden Untersuchung nämlich die, die Energiearten beider Thermalquellen zu finden und dies wurde schon getan.*

## EINLEITUNG

In der vorliegenden Arbeit werden zwei bekannte Thermalwasserstellen untersucht, die als Quellen heraustreten und für verschiedenen Heilzwecke dienen. Man versucht hier zuerst die genannten Quellen hydrogeologisch einzuordnen, die geologischen Verhältnisse derselben zu studieren und bei dieser Untersuchung den variierend auftauchenden Problemen eine mögliche Lösung zu geben. Es gibt natürlich immer in der Hydrogeologie der Begriff der Thermalwässer aber die Problematik derselben ist sehr schwer. In den zwei betreffenden Quellen werden viele Fragen gestellt: sind die zwei untersuchten Quellen Thermalquellen oder nicht(?) Handelt es sich um Mineralquellen oder akrototermische Quellen? Woher könnte ihre Wärmeenergie abstammen? ist sie magmatischer (vulkanischer) Herkunft oder werden die Wässer von beiden untersuchten Quellen von irgendeiner anderen Wärmeenergieart, die durch Metamorphose oder einen Oxydationsprozess erzeugt wird, erwärmt? Welches Verhältniss besteht zwischen Energieart und Tektonik? Ist die Kenntniss der geologisch - petrographischen Verhältnisse der beiden untersuchten Thermalquellen von grosser Bedeutung, dass man für die vorher gestellten Fragen mögliche Antworten finden kann?

Ausserdem möchte ich weiters fragen, ob der Chemismus der erwähnten Quellen eine wichtige Rolle spielt, um für die Gesamtproblematik der Genese der Wärmeenergie beiden untersuchten Quellen eine logische Erklärung zu finden. Herrn Prof. Dr. J. MELENTIS danke ich herzlich für das entgegengebrachte Interesse bei dieser Arbeit.

#### 1. POSITIONEN UND GEOLOGISCH - TEKTONISCHE VERHÄLTNISSE DER UNTERSUCHTEN QUELLENUMGEBUNGEN.

Die Heilquelle von Loutrakion liegt in einer Entfernung von ungefähr 12km. westlich der kleinen Stadt Aridea (ziehe Abb. 1) und direkt am Dorf «Loutra Pozar» (ziehe geol. Karte 1 : 100.00 von Mercier in Literaturverzeichnis).

Die zweite untersuchte Heilquelle von «Trajanoupolis», genannt nach den römischen Ruinen des alten Trajanous, ist von der Stadt Alexandroupolis west Thraziens 14km. östlich entfernt.

In der weiteren Folge wird kurz zuerst die Geologie und Tektonik der Heilquellenumgebung von «Aridea» und danach derjenigen von Trajanoupolis beschrieben.

Das Gebiet von Aridea gehört geotektonisch der grossen Einheit Griechenlands der «Axioszone an, welche eine innere Zone darstellt. Der Unterschied zwischen inneren und äusseren Zonen besteht daran,



Abb. 1.

dass die inneren Zonen älteren Flysch und basischen bis ultrabasischen Initialmagmatismus als Charakteristika der Orthogeosynklinalbildung aufweisen, Tatsache welche bei den äusseren Zonen nicht beobachtet wird. Nach neuer Aufnahme von MERCIER (1958 - 1965) hat man die Axioszone, an drei kleineren tektonischen Einheiten geteilt. Auf den genannten Einzelheiten kann hier nicht eingegangen werden.

Es wäre wahrscheinlich zweckmässig, dass man sich hier auf die

Geologie und Tektonik der engeren Umgebung der untersuchten Heilquellen beschränkt.

Nach der geologischen Aufnahme von MERCIER (1965) wird die Quellenumgebung von Aridea aus Kalksteinen der Oberkreide (?) und Flysch des Maastrichts bis Paläozäns aufgebaut: wie weit die eben gesagten richtig sind, kann hier nicht erläutert werden.

Meiner Untersuchungen nach befindet sich die Heilquelle von Aridea an der Stelle «Loutra Pozar» innerhalb eines Tales, das ungefähr vom NW nach SE läuft.

Von der Abb. 6, welche ein schematisches Profil der Quellenumgebung zeigt, geht hervor, dass Tonschiefer bis graphitischer Dachschiefer mit basischen bis ultrabasischen Intrusionen die rechte Seite des Tales aufbauen, während die linke Seite desselben von Marmoren besteht. Beiden Schichtenheiten streichen ungefähr NW - SE und fallen mit 50 bis 70 Grad nach NE ein. (ziehe Profil Abb. 6). Es ist klar, dass die Talrichtung parallel zur Streichrichtung geöffnet wurde, Tatsache welche für die Wassereinsickerung von grosser Bedeutung ist. Eine volle und richtige Erklärung von den oben erwähnten, gibt uns das Bild der Abb. 2.



Abb. 2. Im Bilde der Abb. 2, sehen wir die Einfallsrichtung der Schieferung der Graphitschiefer, welche an parallelen Streifen in Form von Linien geäußert wird (ziehe Pfeilrichtung). Die Streichrichtung wird von der Blickrichtung zu dem Bilde hin angegeben.

Wir sehen ganz klar die Einfallsrichtung im Bilde, welche in Pfeilrichtung mit dem Symbol (SE), d, h, Schieferungseinfällen angegeben wird.

Im Allgemeinen können wir weiters sagen, dass die genannte Phyllit- und Marmorserien stark durchbewegt sind. Die Marmore zeigen intensive Karsterscheinungen, während die Phyllite durch Schieferung und Klüftung ausgezeichnet sind.

Eine Erklärung von der eben genannten Tektonik gibt uns das Bild der Abb. 3.

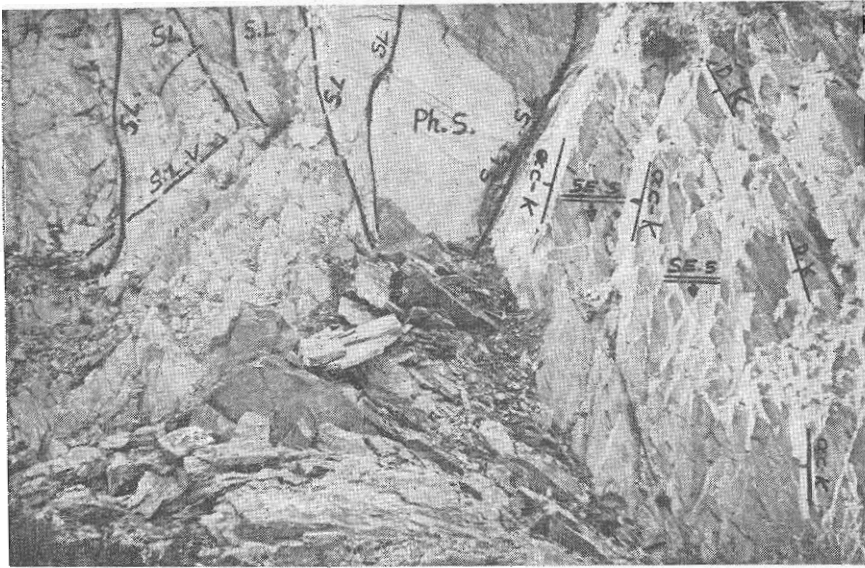


Abb. 3. Im oberen Bilde sehen wir deutlich die Einfalls- und Streichrichtung der Schieferung der graphitischen Phyllite (SE, S). Noch sind zu unterscheiden ac-Klüfte (ac-K), diagonal Klüfte (Dk), und Störungslinien (SL).

Das NW-SE verlaufende Tal, in dem sich die Heilquellen befinden, wurde in einer alten Verwerfungslinie geöffnet, deren Einfallssebene ziemlich steil sein muss und mit der Schieferungseinfällen der umgebenden Gesteine indentisch ist.

Wie von der Abb. 3 hervorgeht, ist die Verwerfung (Abschiebung) mit ac-DK-Klüfte und kleinen (SL) Störungslinien gebunden, welche zwischen sich immer gewisse chronologische Zusammenhänge aufzeigen lassen. Die nach MERCIER (1965) allgemeinen Störungslinien verlaufen hauptsächlich SW-NE, während die von mir als Verwerfung (Abschiebung) erkannte Talrichtung, in der sich auch die untersuchten

Thermalquellenreihe befinden, ist der Meinung des oben genannten Autors nach, als eine Aufschiebung aufzufassen, was mit der Wirklichkeit nicht zu tun hat.

Über das Alter der graphitisch - chloritischen Phyllite kann hier nichts gesagt werden. Ich glaube aber, dass in Axiosmassiv ähnliche Erscheinungen auftraten, welche aus Phylliten und stark krystallisierten Kalken bestehen und für die meisten der Autoren als permocarbonische Bildungen gelten. Das von Mercier (1965) in Quellenumgebung gefundene Flysch des Paläozäns und Kalk der oberen Kreide wurde von mir nicht beobachtet.

Die Umgebung von der Trajanoupolisquelle bei Alexandroupolis wird hauptsächlich aus sauren bis basischen vulkanischen Gesteinen aufgebaut. Nach N. LIATSIKAS (1958) bestehen die oben erwähnten Gesteine aus Lipariten, Daziten, und Andesiten. Grossräumig gesehen, gehört das untersuchte Gebiet der Rhodopenmassiv an.

Nach O. KOPP (1966) verlaufen die Hauptstörungslinien mit der Richtung NE - SW ungefähr und mit diesen Dislokationslinien scheinen die jungen vulkanischen Erbküsse in Zusammenhang zu stehen. Die Lipariten sind meiner Meinung nach Miozänen Alters während die Andesite und Dazite der Quellenumgebung als Obereozänen Alters bezeichet werden.

Die Heilquelle von Trajanoupolis liegt westlich der Anhöhe «Agios Konstantinos» (ziehe Abb. 6) innerhalb von Eluvionen, die aus der Verwitterung, Transport und Ablagerung der herumliegenden Gesteinen abstammen. Die Mächtigkeit der genannten Ablagerungen scheint nicht mehr als 8 bis 12 Meter zu sein. Darunter erscheinen wieder die Lipariten.

## 2. HYDROLOGIE UND HYDROGEOLOGIE DER BEIDEN HEILQUELLEN.

### A. HYDROLOGIE.

Als Thermalwässer werden die jenigen Quellen charakterisiert, deren Temperatur über die der jahresdurchschnittlichen Temperatur liegt.

Da die untersuchten Quellen höheren Temperaturen, als diejenige der jahresdurchschnittlichen Solchen ist, aufweisen, gehören den Thermalwässern an.

Die genaue Bezeichnung und Benennung jeder untersuchten Quellenart wird nach der Erwähnung ihrer hydrologischen Eigenschaften ermöglicht. Sowohl die Quelle von Aridea als auch diejenige von Tra-

janoupolis sind von den verantwortlichen staatlichen Ämtern chemisch physikalisch und hygienisch untersucht worden.

Für die Loutrakionquelle von Aridea sind folgende hydrologische Daten zugeschrieben worden.

a) Sinnesprüfung: das Wasser der Quelle ist klar und durchsichtig, farblos bis blau, geruchlos und mit angenehmem Geschmack.

b) Physiko - chemische Eigenschaften: Temperatur des Quellenwassers 34 °C.

Mittlere Lufttemperatur im Schatten = 20,5 °C. Ph = 11,5. Dichte des Quellenwassers bei 15 °C = 0,9999. Radioaktivität des Quellenwassers = 18,9 Mache Einheiten. In einem Liter Wasser sind nach der Verdampfung bei 180 °C, 0,6440 gr. festes Material geblieben worden. Die Gesamthärte des Wassers steigt bis 13,7 d, H (deutsche Härtegrade) auf.

c) Chemische Analysen.

Die im Quellenwasser gefundenen Kationen und Anionen in gr. Liter ausgedrückt.

i) Kationen		ii) Anionen	
Kalium (K)	= 0,0073 gr.	NO <sub>3</sub>	= 0,00083 gr.
Natrium (Na)	= 0,0267 »	F	= 0,0004 »
Lithium (Li)	= 0,00001 »	Cl	= 0,0224 »
Calzium (Ca)	= 0,137 »	Br	= 0,0020 »
Magnesium (Mg)	= 0,0416 »	J	= 0,00016 »
Eisen (Fe)	= 0,00009 »	SO <sub>4</sub>	= 0,0165 »
Mangan (Mn)	= 0,00002 »	HPO <sub>4</sub>	= 0,0002 »
Gerum (Ge)	= 0,00001 »	HAsO <sub>4</sub>	= 0,0002 »
		CO <sub>3</sub>	= 0,6433 »

Bei derselbem Quellenwasser wurden noch mit anderen Methoden folgende Elemente und Verbindungen gefunden. Spuren von Schwefelwasserstoff, Strontium, Metakieselsäure und Metaborsäure.

Die eben eingeführten Untersuchungsarten sind für das Wasser der Trajanoupolisheilquelle angewandt worden, deren Ergebnisse folgende sind:

a) Sinnesprüfung: das Wasser der oben genannten Quelle ist klar und durchsichtig, farblos, rich nach Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S), und hat salzigen Geschmack.

b) Physiko - chemische Eigenschaften: Die Temperatur des Quellenwassers steigt bis 50,5 °C auf. Die mittlere durchschnittliche Jahrestemperatur ist 27 °C Grad.

Die dichte des Wassers bei 15 °C Grad ist = 1,6054 gr/cm<sup>3</sup>, während die elektrische Leitfähigkeit desselben in 0,01181 Ω berechnet wird.

Die Reaktion des Wassers ist schwach alkalisch und die Radioaktivität desselben steigt bis 5,3 Mache Einheiten auf.

Nach dem Verdampfen des eben untersuchten Wassers bei 180 °C Grad bleiben übrig 8,4 gr. Material/Liter.

c) Chemische Analysen.

Die in einen Liter Wasser gefundenen Kationen und Anionen in gr. ausgedrückt.

i) Kationen		ii) Anionen	
K	= 0,3389 gr.	NO <sub>3</sub>	NO0,0097 gr.
Na	= 2,3176 »	Cl	4,5069 »
NH <sub>4</sub>	= 0,066 »	Br	= 0,0106 »
Ca	= 0,653 »	SO <sub>4</sub>	= 0,4928 »
Mg	= 0,0208 »	HSO <sub>4</sub>	= 0,000298 »
Fe	= 0,00068 »	H <sub>2</sub> S	= 0,00012 »
Mn	= 0,00092 »		
Al	= 0,00004 »		

Die Gesamthärte des eben analysierten Wassers steigt bis 65,3 d,H (deutsche Härtegrade) auf.

Gemäss den vorher erwähnten allgemeinen Physiko - chemischen Daten für beiden untersuchten Quellenarten können wir sie wie folgt charakterisieren.

Da die Thermalquelle von Aridea keine besonderen Salze gelöst enthält, kann sie als eine «borhaltige schwach radioaktive Akratotherme» bezeichnet werden. Die Trajanoupolisthermalquelle darf als eine «Natrium - Chlorit schwefelwasserstoffhaltige Thermalquelle» genannt werden.

## B. HYDROGEOLOGIE.

Die schwach radioaktive Akratotherme von Aridea besteht aus mehreren Quellen, die sich innerhalb einer Fläche von nicht mehr als 200 (m)<sup>2</sup> beschränken. Sie liegen in einem Tal, das SE - NW streicht und tektonisch als Abschiebung erkannt wurde (ziehe Abb. 4).

Die Umgebung der Akratotherme (Gesamtzahl der Thermalquellen) besteht aus stark zerklüfteten Marmoren und steil stehenden Phylliten, die nach NE mit mehr als 60 Grad einfallen. Die Marmoren zei-



gen intensive Verkarstung, welche das Einsickern des Regenwassers begünstigt.

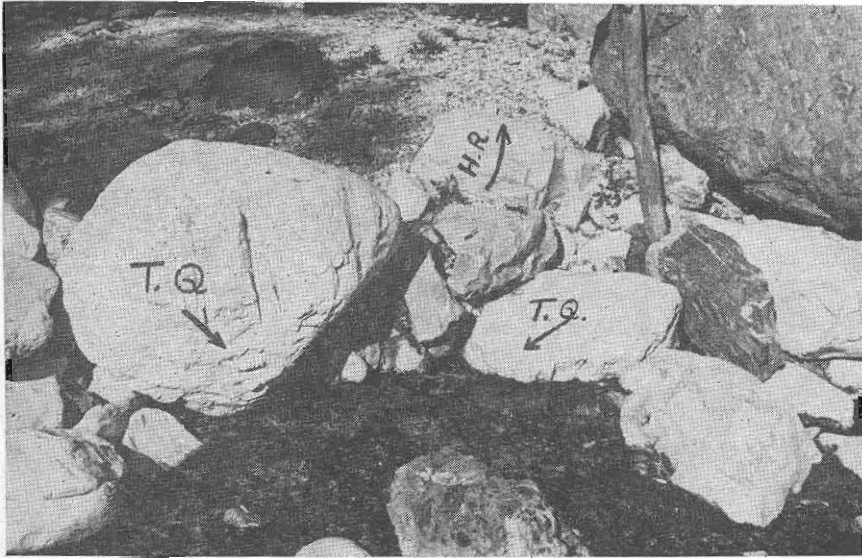


Abb. 4. Zeigt eine Thermalquelle (T. Q.) im Bilde, die innerhalb eines SE - NW streichenden Tales heraustritt. Die Hangrichtung (H. R.) zeigt die Richtung der Verwerfung an.

Das Bild der Abb. 5 erklärt einigermaßen die oben zitierten Behauptungen. Wir sehen ganz klar das Einzugsgebiet (Abb. 5) und ist uns nun deutlich, dass das Marmorsystem als ein wasserleitender Horizont angesehen werden muss. Ausserdem die graphitischen Phyllite mit der starken Zerklüftung und dem steilen Einfallen, dienen ebenfalls in kleinerem Masse als die Marmoreu sind, als Wasserleiter (Abb. 2, 3).

Wir müssen uns die ganze hydrogeologische Situation des oben genannten Bereiches so vorstellen: sowohl durch den Marmor als auch durch das Phyllitsystem sickert das Wasser durch die verschiedenen tektonischen Wege (Klüfte, Störungen, Karsterscheinunen) in die Tiefe ein und aus dem Tale, das eine Bruchlinie darstellt und SE - NW streicht, an die Oberfläche in Form von Quellen heraustritt (Abb. 4, 5, 6).

Das in der Abb. 6 dargestellte Profil zeigt den ganzen Mechanismus der Einsickerung des Regenwassers und das Heraustreten desselben durch die Verwerfung in Form von Quellen. Im betreffenden Fall

haben wir aus der hydrogeologischen Standpunkt her eine «aufsteigende Verwerfungsquelle.

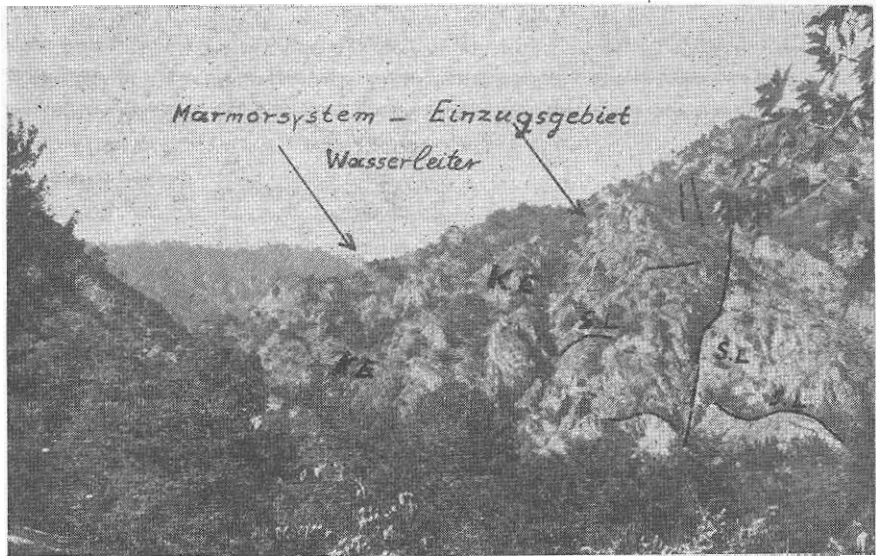


Abb. 5. Zeigt verkarsteten und zerklüfteten Marmor. Mit dem Symbol (KE) werden die Karsterseheinungen angedeutet. Ausserdem sehen wir noch (SL) Störungslinien. Das ganze Marmorsystem bildet die südwestliche Hänge der Thermalquellenumgebung.

Im Gegensatz zum Gebiet der Akratotherme von Aridea sind die geologischen Verhältnisse der Umgebung von NaCl - Thermalquelle der Trajanoupolis ganz anders. Vom Profil der Abb. 7 geht hervor, dass die Thermalquelle sich innerhalb von Schuttablagerungen und in einem Abstand 100 Meter westlich von der Kirche «Agios Konstantinos» befindet. Im eben beschriebenen Fall stellt man fest, dass die oben genannte Thermalquelle von drei verschiedenen Stellen gespeist wird.

Gerade östlich der Thermalquelle sickert das Regenwasser in die Klüfte der Liparitgesteinen ein (Abb. 7) und wird an der Verschuttungsstellen gestaut und mit dem magmatischen Wasser der NaCl - Thermalquelle gemischt. Ausserdem strömt von Südwesten her Meerwasser (Abb. 7, M.W) und mischt sich mit den vorher erwähnten zwei Wasserarten der Thermalquelle ein.

Hydrogeologisch betrachtet, kann man hier auch mit Sicherheit sagen, dass die eben Beschriebene Thermalquelle eine «aufsteigende

Verwerfungsquelle» ist, bei der aber die Existenz vom Juvenilwasser nicht auszuschliessen ist.

### 3. DIE HERKUNFT DER ERWÄRMENDEN ENERGIE DER UNTERSUCHTEN QUELLENWÄSSER.

Die wärmende Energie der Thermalwässer beruht in mehreren Ursachen, von denen die wichtigsten sind:

- a) Erwärmung des Quellenwassers durch die Erdwärme. b) Erwärmung des Quellenwassers durch verschiedenen Erdgase.
- c) Durch radioaktive Strahlung. d) Durch verschiedenen Oxydatationsprozesse. e) Durch tektonische Vorgänge (Reibung). f) Durch magmatischen Prozesse.

Es könnte man wahrscheinlich noch anderen Thermalquellenwässer wärmenden Energien nennen, aber sie sind zur Zeit für die Arbeit unwichtig.

Natürlich hat man manchen Indizien über die Erklärung der wärmenden Energie beider untersuchten Thermalquellen aber immer hin, sie können nicht als sichere Beweise herangezogen werden.

Ich werde weiters versuchen manchen geologisch - tektonischen und chemischen Daten beider untersuchten Stellen im Vergleich zu bringen und davon Schlüsse zu ziehen über die wärmende Energie jeder untersuchten Thermalquellenwässer getrennt.

Die Thermalwässer von Aridea bestehen aus mehreren Thermalquellen, die mit einer Verwerfung gebunden sind und als eine aufsteigende schwach radioaktive - Akratotherme bezeichnet wurden. Durch die Analysen des Wassers begreift man, dass soviel die gefundenen Anionen als auch die Kationen das typische Analysenbild einer normalen Quelle anzeigen. Die schwache Radioaktivität der Quelle beruht an Mineralien, wie etwa der Biotit, der Muskowit und der Zirkon sind, die radioaktive Elemente (Th, U), enthalten, und in Form von mechanischen Detritus in Graphyphylliten vorkommen. Das  $\text{CaCO}_3$  des Wassers stammt sicherlich von den nebenbeiliegenden Marmoren ab.

Die charakteristischen Verbindungen, wie etwa  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , die später  $\text{NaCl}$ ,  $\text{FeCl}_3$  u.s.w. bilden, werden bei der oben genannten Quelle nicht beobachtet. Die geologischen Verhältnisse der näheren Umgebung auch zeigen keine jungvulkanischen Gesteine, mit denen man die Erwärmung der Aridea Quellenwässer im Zusammenhang bringen könnte. Die morphologische Betrachtung bei dem graphitischen

Phyllitsystem lässt auch keine tiefere magmatisch - vulkanischen Anzeichen erkennen.

Die einzige sichere Methode, mit der man die Herkunft der Wärmeenergie bei den betreffenden Thermalwässern finden könnte wäre nämlich die mit den Sauerstoffisotopen  $O_{16}$  -  $O_{18}$ . Obwohl die letztgenannte Methode nicht angewandt wurde, glaube ich, dass das Thermalwasser von Aridea keine Abhängigkeit mit irgendeinem Magmatismus zeigt. Dafür sprechen sowohl die chemischen Analysen des Wassers als auch die geologischen Verhältnisse ihrer Umgebung.

Die tektonische Situation aber der oben erwähnten Quelle zeigt, dass das Regenwasser durch die in Marmor vorhandenen Karsterscheinungen und der Klüftung und steilen Einfallens der graphitischen Phyllite ziemlich in die Tiefe sickert und nach seiner Erwärmung durch die Erdwärme herauf steigt, in Form von Thermalquellen. Bei seiner aufsteigenden Tätigkeit benutzt das Thermalwasser die verschiedenen tektonischen Wegen und vorallem die Abschiebung, welche Marmoren und Phyllite trennt.

TURNER, A (1967) hat durch die Hilfe einer mathematischen Formel die Tiefe und die Temperatur von Thermalwässern berechnet:

$$tm = \frac{m - h}{l}$$

$$tm = \text{Temperatur der Tiefe}; to = \text{mittlere Jahrestemperatur}; m = \text{Tiefe der Schicht}; h = \text{Tiefe der neutralen Zone}; l = \text{geothermische Tiefenstufe.}$$

Durch die oben erwähnte Formel können wir ohne weiters die Tiefe der Schicht berechnen, in der das Regenwasser von der Untersuchungsstelle der Arideaumgebung sickert, um dort sich zu erwärmen und als Thermalquelle an der Oberfläche herauszutreten.

Wenn wir die oben genannte Gleichung für die Tiefe der Schicht als unbekannt lösen gilt folgendes:  $m = l(tm - to) + h$ .

Bei der Akratotherme von Aridea haben wir die folgenden Daten:  $tm = 32^{\circ}\text{C}$ ,  $to = 16^{\circ}\text{C}$ ,  $h = 20$  Meter,  $l = 33$  Meter  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Durch die Formel  $m = l(tm - to) + h$  und Ersetzen der eben genannten Werte haben wir:  $m = 33(32 - 16) + 20 = 548$  Meter. Mit anderen Worten muss man hier begreifen, dass das Regenwasser mehr als 550 bis 600 Meter in die Tiefe sinkt, dort erwärmt sich durch die Erdwärme und wahrscheinlich auch durch die radioaktive Strahlung und wird danach an die Oberfläche von der Abschiebungsfläche gebracht, in Form von mehreren Thermalquellen, die sich in einer Linie von 80 bis 100 Meter in NW - SE Richtung verbinden (ziehe Prof. Abb. 6), die als Abschiebungsrichtung verstanden wurde. Ich glaube persönlich, dass in der

Tiefe von mehr als 600 Meter die Abschiebungsfläche verheilt oder verkeilt sein muss.

Im Gegensatz zu den Thermalwässern von Arideaumgebung hat man bei Trajanoupolis anderen Verhältnissen.

Vom Profil der Abb. 7 ist zu ersehen, dass die schwach - schwefelwasserstoffhaltige NaCl - Thermalquelle von Trajanoupolis sich innerhalb von vulkanischen Gesteinen und besonders von Lipariten beschränkt. Die Thermalquelle bricht 5 bis 10 Metern vulkanisches Schuttmaterial, bis ihr Wasser die Oberfläche erreicht: ziemlich tiefer als 10 Meter sieht man Lipariten wieder. Es besteht kein Zweifel darüber, dass das Süßwasser der näheren Umgebung, welches durch die Klüfte bis an der Schuttstelle der Thermalquelle kommt, mischt sich mit dem Meereswasser, welches nicht weit entfernt von der Thermalquellenumgebung ist. Die Richtigkeit der eben ausgedrückten Behauptung sieht man von der chemischen Analyse des Wassers der betreffenden Thermalquellen. Man betrachtet ganz klar, dass die Na-Kationen dem Gehalt vom 2,3176 gr/l und Chlorionen dem von 4,5 gr/l ausmachen, Tatsache welche, dem untersuchten Thermalwasser einen salzigen Geschmack gibt.

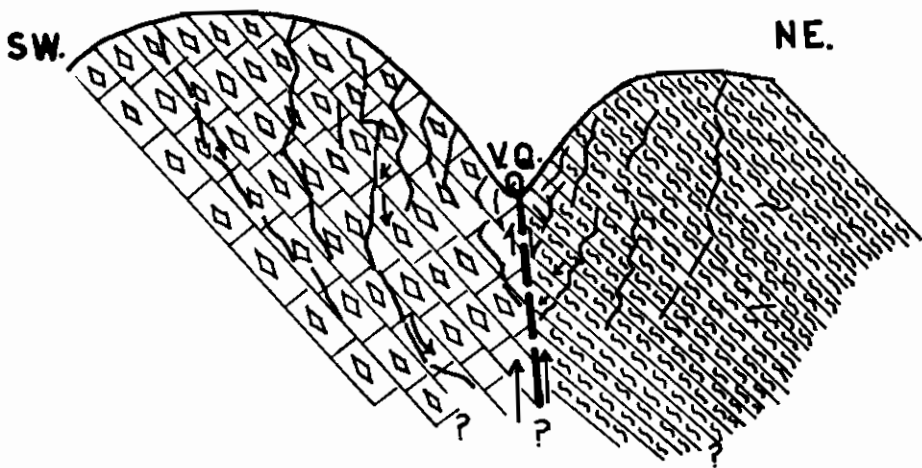


Abbildung 6.

Sowohl das Regenwasser als auch das Meereswasser werden in einer Verwerfung mit juvenilem Wasser gemischt, das auch die dort gemessene Wärme des Gesamtwassers verursacht. Die genannte Wärme der NaCl - Thermalquelle von Trajanoupolis steigt bis auf 50 °C Grad. Das Vorhandensein vom Schwefelwasserstoff als auch von  $\text{SO}_4$  Ionen

ist bei der Trajanoupolisquelle viel reichlicher, als es der Fall mit der Arideaakratotherme ist. Ausserdem hat man hier viel mehr Ca und  $\text{NH}_4\text{OH}$  pro Literwasser als in Arideaathermalquelle der Fall ist. Das in grösseren Mengen Vorkommen von  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , und andere, sind gute Indizien dafür, dass der Thermalquelle von Trajanoupolis aufwirkende Wärmeenergie den postvulkanischen Erscheinungen des Liparits beruht. Dafür spricht auch das Vorhandensein von viel Ca Kationen und  $\text{CO}_2$ -Ionen. Mit anderen Worten könnten wir sagen, dass bei der Trajanoupolis Thermalquelle eine typische Solfatara vorhanden ist, welche die Wärme der Trajanoupolisquelle verursacht.

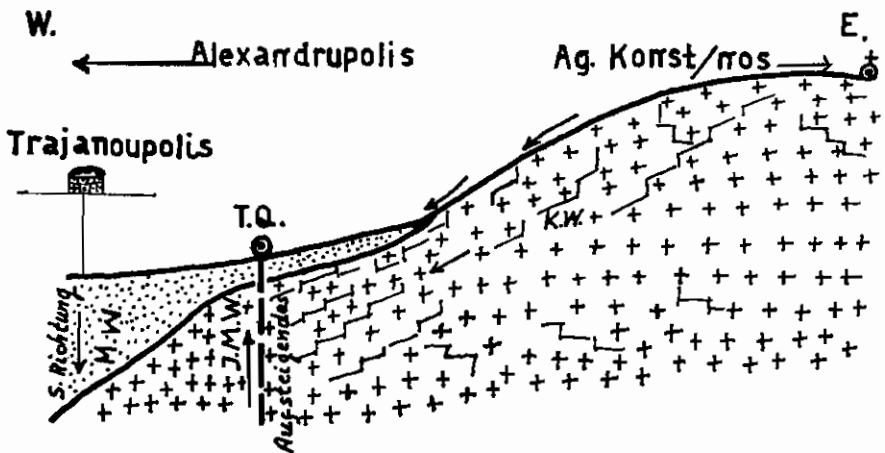


Abbildung 7.

## LITERATURVERZEICHNIS

- ENGELHARD, W.: Der Porenraum der Sedimente, Springer Verlag Berlin - Göttingen Heidelberg, (1960).
- FREIER, K. R.: Wasseranalyse, Walter de Gruyter Co, Berlin, (1964).
- HÖHL, R.: Hydrogeologie: Entwicklungsgeschichte der Erde Band I, Verlag, Werner Dausien Hanau/M, (1970).
- ΜΑΡΑΒΕΑΑΚΗΕ Μ. - ΧΑΡΙΤΑΝΤΗΣ (1960): 'Ανακοίνωσις ἐπὶ τῆς γεωλογικῆς θέσεως τῶν πηγῶν Νέου Λουτρακίου περιοχῆς Ἀριδαίας καὶ τῆς ραδιενεργείας αὐτῶν. Χημικὰ Χρονικά.
- MERCIER, J.: Carte Geologique de la Macedoine echell 1 : 100.000, (1968).
- RITTMANN, A.: Vulkane und ihre Tätigkeit Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, (1960).
- SAUKOW, A. A.: Geochemie, Verlag Technik Berlin, (1953).
- TURNER, A.: Hydrogeologie Springer Verlag, Wien - New York, (1967).
- WINKLER, H. G. F.: Die Genese der metamorphen Gesteine 2. Auflage. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, (1967).

## ΠΕΡΙΛΗΨΙΣ

### ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΕΩΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΠΗΓΩΝ ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ (Κ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ) ΚΑΙ ΤΡΑΓΙΑΝΟΥΠΟΛΕΩΣ (Δ. ΘΡΑΚΗΣ) ΚΑΙ Η ΕΞΑΡΤΗΣΙΣ ΤΟΥΤΟΥ ΕΚ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Υ π ό

Ε. Α. ΧΑΤΖΗΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗ

(*Εκ του Έργαστηρίου Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας  
Άριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης*)

Εἰς τὴν παροῦσαν μελέτην καταβάλλεται προσπάθεια, ἵνα ἐξηγηθῇ ἡ προ-  
έλευσις τῆς θερμικῆς ἐνεργείας, ἥτις προκαλεῖ τὴν αὐξησιν τῆς θερμοκρασίας  
τῶν ὑδάτων τῶν πηγῶν Λουτρακίου Ἀριδαίας καὶ Τραϊανουπόλεως Δυτικῆς  
Θράκης.

Ἡ θερμικὴ αὐτὴ ἐνέργεια εἶναι δυνατὸν νὰ εἶναι ἠφαιστειακῆς προελεύ-  
σεως ἢ νὰ προέρχεται ἐκ τῆς γηγενοῦς θερμότητος, ἐκ γητίνων ἀερίων, ἐξ ἀκτι-  
νοβολίας ραδιενεργῶν στοιχείων, ἐκ χημικῶν ἀντιδράσεων ἢ ἐξ ἄλλων τεκτο-  
νικῶν αἰτίων.

Κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς ὡς ἄνω μελέτης ἐλήφθησαν ὑπ' ὄψιν τόσον αἱ  
γεωλογικαί, τεκτονικαὶ καὶ πετρολογικαὶ συνθήκαι τοῦ περιβάλλοντος, ὅσον  
καὶ αἱ χημικαὶ ἀναλύσεις τῶν ὑδάτων ἐκάστης θερμοπηγῆς κεχωρισμένως.  
Ἐπραγματοποιήθησαν ἐπίσης ὑδρογεωλογικαὶ καὶ ὑδρολογικαὶ παρατηρήσεις,  
τῇ βοήθειᾳ τῶν ὁποίων κατελήξαμεν εἰς τὰ ἀκόλουθα συμπεράσματα.

#### *Διὰ τὴν πηγὴν Λουτρακίου*

1) Τὸ ὕδωρ τῆς ἰαματικῆς πηγῆς «Λουτρακίου» Ἀριδαίας παρουσιάζει  
θερμοκρασίαν  $32^{\circ}\text{C}$ , περιέχει μικρὰν ποσότητα βορικοῦ ὀξέως καὶ ἔχει ἀσ-  
θενὴ ραδιενεργὸν ἀκτινοβολίαν. Δύναται ἐπομένως ἡ πηγὴ νὰ χαρακτηρισθῇ  
ὡς βορικοῦχος, ἀσθενῶς ραδιενεργὸς ἀκρατοθέρμη.

2) Ὑδρογεωλογικῶς ἡ πηγὴ χαρακτηρίζεται ὡς ἀνερχομένη θερμοπηγὴ,  
ρηγματογενοῦς προελεύσεως.

3) Τὸ βόριον ὑποθέτομεν ὅτι προέρχεται ἐκ τῶν γραφιτικῶν φυλλιτῶν,

οἷτινες ὡς θαλάσσια ἰζήματα περιέχουν βόριον εἰς μικράν ποσότητα.

4) Ἡ ραδιενέργεια τοῦ θερμοῦ ὕδατος προέρχεται ἐκ τῶν ἐντὸς τῶν φυλλιτῶν ὑπαρχόντων θραυσμάτων ζirkονίου καὶ βιοτίτου, ὀρυκτά, ἅτινα περιέχουν ραδιενεργὰ στοιχεῖα ὡς U. Th. κ.ἄ.

5) Ἡ χημικὴ ἀνάλυσις τοῦ ὕδατος τῆς θερμοπηγῆς οὐδὲν διαφέρει μιᾶς τοιαύτης κανονικῆς ψυχρᾶς πηγῆς.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω στοιχείων ἐξάγεται ὅτι ἡ θερμικὴ ἐνέργεια δὲν δύναται νὰ ἔχη ἠφαιστειακὴν τουλάχιστον προέλευσιν.

Εἰκάζεται ὅτι τὸ ὕδωρ τοῦτο θερμαίνεται ἐκ τῆς γηγενοῦς θερμότητος, ἥτις εἰς τὴν περιοχὴν ταύτην ἀνέρχεται κανονικῶς 1° C ἂνὰ 33 μέτρων βάθους (γεωθερμικὴ βαθμῖς). Εἰς τὴν προκειμένην περίπτωσιν τὸ ὕδωρ τῶν ἀτμοσφαιρικῶν κατακρημισμάτων κατέρχεται διὰ τῶν ρωγμῶν καὶ τῶν καρστικῶν ἀσυνεχειῶν μέχρι καὶ τοῦ βάθους τῶν 600 μέτρων περίπου ἕνα, ἐν συνεχείᾳ, θερμαινόμενον ἀνέλθη, δι' ἐνὸς ρήγματος, εἰς τὴν ἐπιφάνειαν ὑπὸ μορφὴν θερμοπηγῆς. Δὲν ἀποκλείεται εἰς τὴν αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας τῶν ὑδάτων νὰ συμβῆ ἀλλή ἐν μέρει καὶ ἡ ραδιενεργὸς ἀκτινοβολία τῶν μητρικῶν πετρωμάτων τῆς περιοχῆς.

#### *Διὰ τὴν πηγὴν Τραϊανουπόλεως*

1) Ἡ ἰαματικὴ πηγὴ «Τραϊανουπόλεως» δὲν χαρακτηρίζεται ὡς ἀκρατοθέρμη, ἀλλὰ ὡς χλωριονατριῶχος θερμοπηγὴ (ἀλιπηγή), καθ' ὅσον τὸ ὕδωρ ταύτης, θερμοκρασίας 50 °C, περιέχει ἀρκετὴν ποσότητα διαλελυμένου NaCl εἰς τὸ ὅποιον καὶ ὀφείλεται ἡ ἀλμυρὰ αὐτοῦ γεῦσις.

2) Ὑδρογεωλογικῶς καὶ ἡ πηγὴ αὕτη χαρακτηρίζεται ὡς ἀνερχομένη θερμοπηγὴ ρηγματογενοῦς προελεύσεως, ἥτις εὐρίσκεται ἐντὸς προσχώσεων πάχους 8 - 10 μέτρων ἠφαιστειακῆς προελεύσεως.

3) Ἡ χημικὴ ἀνάλυσις ἀπέδειξεν, ὅτι τὸ ὕδωρ τῆς ὡς ἄνω θερμοπηγῆς περιέχει ἱκανὴν ποσότητα  $H_2S$ ,  $SO_4^{--}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $CO_3^{--2}$ ,  $FeCl_3$ ,  $NH_4$  κ.ἄ., ἡ παρουσία τῶν ὁποίων χαρακτηρίζει κυρίως μεταφαιστειακὰ φαινόμενα, ὡς εἶναι αἱ ἀνθρακοθειωνιαὶ (σουλφατάραι καὶ μοφφέται).

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω στοιχείων ἐξάγεται ὅτι εἰς τὴν περίπτωσιν τῆς θερμοπηγῆς τῆς «Τραϊανουπόλεως» ἡ θερμικὴ ἐνέργεια εἶναι μᾶλλον μεταφαιστειακῆς προελεύσεως συνδεδεμένη μετὰ τῶν μειοκαινικῶν ἐκχύσεων τῆς ἐν λόγῳ περιοχῆς.

Εἰς τὸ μαγματικῆς προελεύσεως ὕδωρ τῆς πηγῆς (νεαρὸν) προστίθεται κατὰ πᾶσαν πιθανότητα καὶ θαλάσσιον τοιοῦτον ὡς τοῦτο συμβαίνει εἰς ἀπάσας τὰς πλησίον τῶν ἀκτῶν ἐμφανιζομένας θερμοπηγὰς (Μυτιλήνη, Χαλκιδικὴ κλπ.).