

|               |      |         |                            |              |
|---------------|------|---------|----------------------------|--------------|
| Geol. vjesnik | 30/2 | 411—424 | 2 text-figures,<br>1 plate | Zagreb, 1978 |
|---------------|------|---------|----------------------------|--------------|

551.24:551.48(612)

## Observations on geology and hydrogeology of the Wadi Tannezuft-Marzuq basin (Libya)

Dragutin ŠIKIĆ

*OOOR Institut za primijenjenu geologiju i mineralne sirovine  
Rud.-geol.-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, YU—41000 Zagreb*

Wadi Tannezuft represents a separate lower geological, structural and water unit of the Marzuq basin, of Fezzan province in Libya. Underground water inflow can be explained only by the fault tectonics. It is from the west or south, from the area rich with precipitation, i. e. from Algeria.

### INTRODUCTION

The Marzuq basin is located in the province of Fezzan, in the outermost southwestern part of the Libyan Sahara. With an area of 320 000 km<sup>2</sup>, the Marzuq basin is the largest one in Libya. About 65—70 000 inhabitants live in the oasis, more exactly in those parts where water supplies exist.

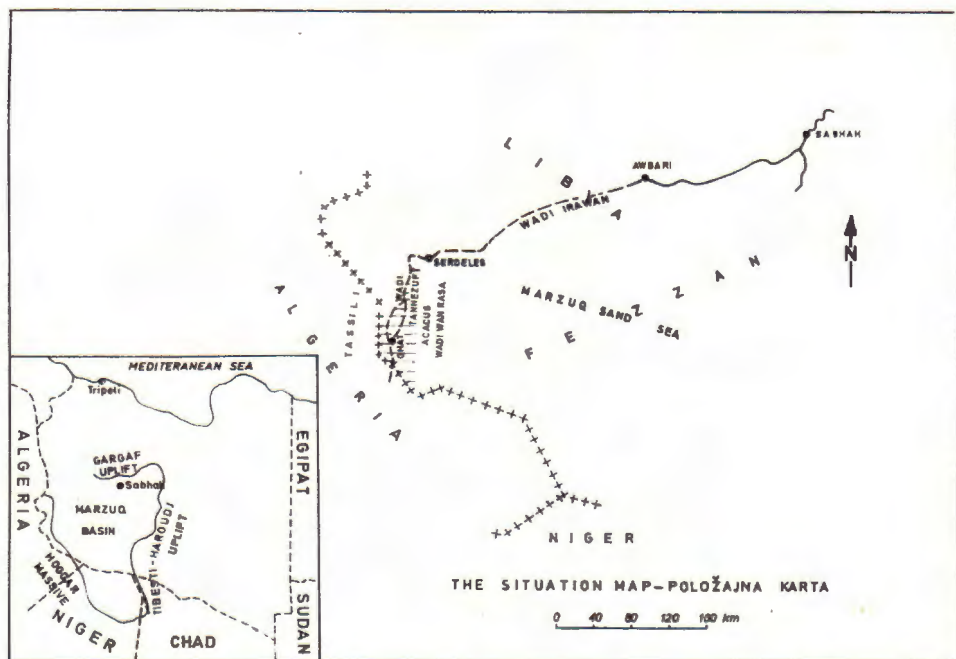
The Marzuq basin stands out as a separate geographic, geological and structurally higher unit of the Sahara which is the platform of North Africa.

The strata of the Marzuq basin consist of Precambrian metamorphic rocks and of Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic sediments. This part of the North African platform was exposed to regressions and transgressions several times. The strata of the Marzuq basin consist mostly of continental rocks, but there are marine rocks as well. Structurally, the basin represents a syncline, the central part of which is the Marzuq sand sea. Around the basin there are series of lower units which can be distinguished as smaller units in the basic syncline structure. Wadi Tannezuft is such a lower unit in the western edge of the basin.

Many authors wrote about the geology of the Marzuq basin, as well as about other parts of Libya. The most outstanding authors are Kilian (1931), Desio (1935, 1936a, 1936b), Lelubre (1948, 1949a, 1949b, 1952), Freulon (1951), Massa & Collomb (1960), Klitzsch (1963), Furst & Klitzsch (1963).

### GEOGRAPHICAL SURVEY

Geographically, Wadi Tannezuft is a lower unit of the Marzuq basin. In the west it is bounded by the Tassili Mountains which are located



Textfig. — Sl. 1

in Algeria. On the eastern side it is divided from Wadi van Kasa by the Acacus. Wadi Tanezuft located in a north-south direction, touches the region of Wadi Irawan in the north and the mountain slopes extending to Algeria, in the south. It is located from  $10^{\circ}$  longitude to the east and between  $24^{\circ} 30'$  and  $25^{\circ} 30'$  north latitude.

Wadi Tanezuft extends over the area of about 3 000 km<sup>2</sup>. About 2 000 inhabitants live there, depending largely on water supplies. The population is concentrated in the oasis in the South, in the town of Ghat and in settlements which are included in the town area. Today, some separate settlements, as Tunin, Tadarant and Tin Garaben, belong to the town area of Ghat. Feuet stands apart in the western side and El Berket in the south. Nomads and semi-nomads can be rarely seen. Settlements are situated near natural wells, sunken wells or bored wells. Water can be found at 10 m under the surface in sunken wells or on the very surface. Bored wells can reach even 170 m under the surface.

The population consist of Arabs, Berbers and Tuaregs.

Ghat, the old caravan settlement, is the political, administrative and commercial center, which kept its old architectural form as well as Tunin. Today, the new part of the town is being built and changes that form. In other settlements, old houses built of mud or stone, or cottages built of palm leaves are kept along with new buildings. Ghat is connected with the capital of Fezzan by a partly covered and partly cleared road, which continues in such a condition to the town of Awbari, and then

becomes an asphalt road. The distance between Ghat and Awbari is 420 km and from Awbari to Sabhah, the capital of the province, is 180 km.

As already mentioned, the population depends on the use of natural wells or underground water which makes primitive irrigation possible. Ghat has shops, storehouses, a hotel, a generating station, a hospital, schools, a post-office and partly built waterworks. Trade is limited to the local exchange of products and to the import of industrial food and goods. Vegetables, adequate for the local climate, are grown. Of small cattle, the breeding of goats is important, and of neat cattle, camels. Poultry raising is developed.

The climate is extremely arid. There is no precipitation. The average temperatures oscilate from 30° C maximum to 17—22° C minimum. Rare extreme temperatures reach 6° C and 50° C. Humidity is about 25%.

From April to October inclusive, daily winds blow from the southeast and night winds from the northeast. The northwest wind blows the rest of the year. Sand-storms are frequent in the spring and in the autumn and they reach the speed of 15 km/sc. The sand-storm wind Ghibli is especially strong in Wadi Tannezuft.

The relatively deep-cut, broad Wadi Tannezuft is located from 450 to 500 meters above sea-level, with the exception of the mountain slopes in the northern valley, which reach the height of 850 m. The Acacus Mountains in the East are partly 1400 m in height and on the Libyan side in West Tassili, they do not reach more than 850 m in height. Primarily, Wadi Tannezuft is a tectonically conditioned formation, developed by water-currents, then existing. The traces of water-current activities are preserved up to now. Present relief configuration points to the soil erosion by the wind.

The soil of Wadi Tannezuft is covered all over by sand, particularly towards Ghat. The thickness of sand is up to 10 m and in the dunes region even up to 100 m. Dunes extend in a longitudinal direction through the central part of Wadi Tannezuft. Sand dertituses make difficult the maintenance of cultivable soil.

#### GEOLOGICAL SURVEY

Wadi Tannezuft stands apart as a separate lower geological and structural unit of the western part of the Marzuq basin.

In Wadi Tannezuft, which is the part of the Marzuq basin syncline, well known Precambrian rocks, which are the base of other sediments, are not visible on the surface. They are visible on the surface in the Tassili Mountains in the West, on the other side of the border, in Algeria. Precambrian rocks consist of gneiss and crystal schists.

Cambrian-Ordovician rocks are not defined. According to the author (Klitzsch, 1963, p. 1411—1415), the lowest Cambrian part, Hasouna formation, is represented by marine sandstones and shales which can not be found in Wadi Tannezuft. The same can be said about Ordovician Melez Chogram formation with the exception of continental strata which are found there. In Wadi Tannezuft there is possibility that

rare occurrences of green somewhat clayey sandstones from the western edge of the valley around Feuet and northward, belong to this formation. It is more likely that shales and sandstones belong to marine and continental Memouniat formation, usually found around Ghat, to the South of El Berket and along the western edge of Wadi Tannezuft. Conglomerates, always mentioned among Cambrian-Ordovician rocks, are found in the lower part of strata and they are unknown in Wadi Tannezuft. In the boring hole in Feuet, Cambrian-Ordovician rocks contain only light, fine grained sandstones, without greenish sandstones with shale. In the westward direction of Feuet these rocks are raised and they show lower strata. At the surface, the rocks are considerably weathered and permeated with iron hydroxide, they are brown and black because of oxidation activity. The cement of sandstones is siliceous, less frequently calcareous and partly ferruginous. The surface of rocks shows considerable cracks. At Feuet boring hole passes them at thickness of 140 m and in the West, in the Tassili Mountains, it can be seen that they are notably thicker.

Silurian sediments have two parts. In lower Silurian and in the minor part of upper Silurian, basic rock consists of Tannezuft shales with some chert, silt and fine grained sandstones of a dark-grey to green and grey, and grey-red to violet colour. Sandstones are chiefly located in the upper part, above shales and in combination with them. Also the thin beds of gypsum interweave here. The marine shales of Tannezuft contain grapholites and gastropodes. Gastropodes probably belong to the genus *Euomphalus*. Sediments are thinly stratified even laminated. In such a way they wear away. The thickness of this part is up to 300 m (Fürst & Klitzsch, 1963, p. 160—164). In Wadi Tannezuft it is impossible to calculate the exact thickness because all of them are not discovered at the surface.

The sediments of the Upper Silurian are chiefly represented by Acacus continental sandstones and conglomerates. Thinly stratified sandstones and shales, which are otherwise more frequent in upper beds, are inerted into marine continental sandstones. Sandstones are chiefly fine grained, often joined with silicic ferruginous, less calcareous cement, and those that are weathered are distinctly of a brown and ferruginous colour, on transition somewhat lighter. Shale beds are lighter, almost white to brown, red and violet. Continental sandstones are crossly straticulated and on surface parts considerably cracked. Leafless Psilophytinae and crinoid calices, probably of the genus *Cyathocrinus*, are found in sandstones. The thickness of Acacus sandstones is about 300 m (Fürst & Klitzsch, 1963, p. 160—164). Observed thicknesses correspond to this.

Acacus sandstones extend along the western slopes of the Acacus Mountains and in the northern central part of Wadi Tannezuft as the eroded remnants of hills. They always lie on Tannezuft shales. Continental Tadrart sandstones extend in the eastward direction in the Acacus Mountains and they are of no importance for geological relations inside Wadi Tannezuft.

Quaternary sediments are represented by pulverized matter, sand, gravel, rubble and boulders.

Along the slopes of Acacus, in the South of Wadi Tannezuft, in the western side and in the northern central mountainous part, the aforementioned various slope material can be found and it is sorted according to the distance from the basic mass. In the next zone, chiefly pulverulent, less sandy and bigger material sets on the shales of Tannezuft. In the central part of Wadi Tannezuft and around Ghat and Feuet, thickly drifted sand dunes are formed.

The structural configuration of Wadi Tannezuft is marked by mildly inclined strata (only by a few degrees) directed towards the north and northwest. Although the configuration is complicated by the series of longitudinal faults in the north-south direction. The main faults extend along the eastern and the western side of Wadi Tannezuft and the central faults go along with them through El Berket and Ghat. In the eastern side the fault is located more towards dunes. In the northern part of Wadi Tannezuft the area of fault can be defined, because the throw between wings is noticeable. The west wing is lowered and the east wing is lifted so the throw could be considerable. The throw cannot be defined because sediments are not found in Wadi. This explains the formation of Wadi Tannezuft which is lowered by this, making a tectonic trough. In the zone of El Berket-Ghat Cambrian-ordovician sandstones remained erected in relation to Tannezuft shales, making narrow, longitudinal horst, inside the tectonic trough. A total serial of transversal faults extending in the direction of northwest to southeast, cut through the main longitudinal faults.

#### OBSERVATIONS ON SURFACE WATER AND UNDERGROUND WATER

The observations of water phenomena are not carried out in detail, but observed phenomena give the possibility to form logical conclusions.

Observing lithological structure, connection and compact of Cambrian-ordovician rocks, it is not difficult to reach the conclusion about the primary imporousness of those rocks. All this is shown by boring-holes, quoted under number 1 in Ghat and 20 in Feuet, bored in Cambrian-ordovician sandstones.

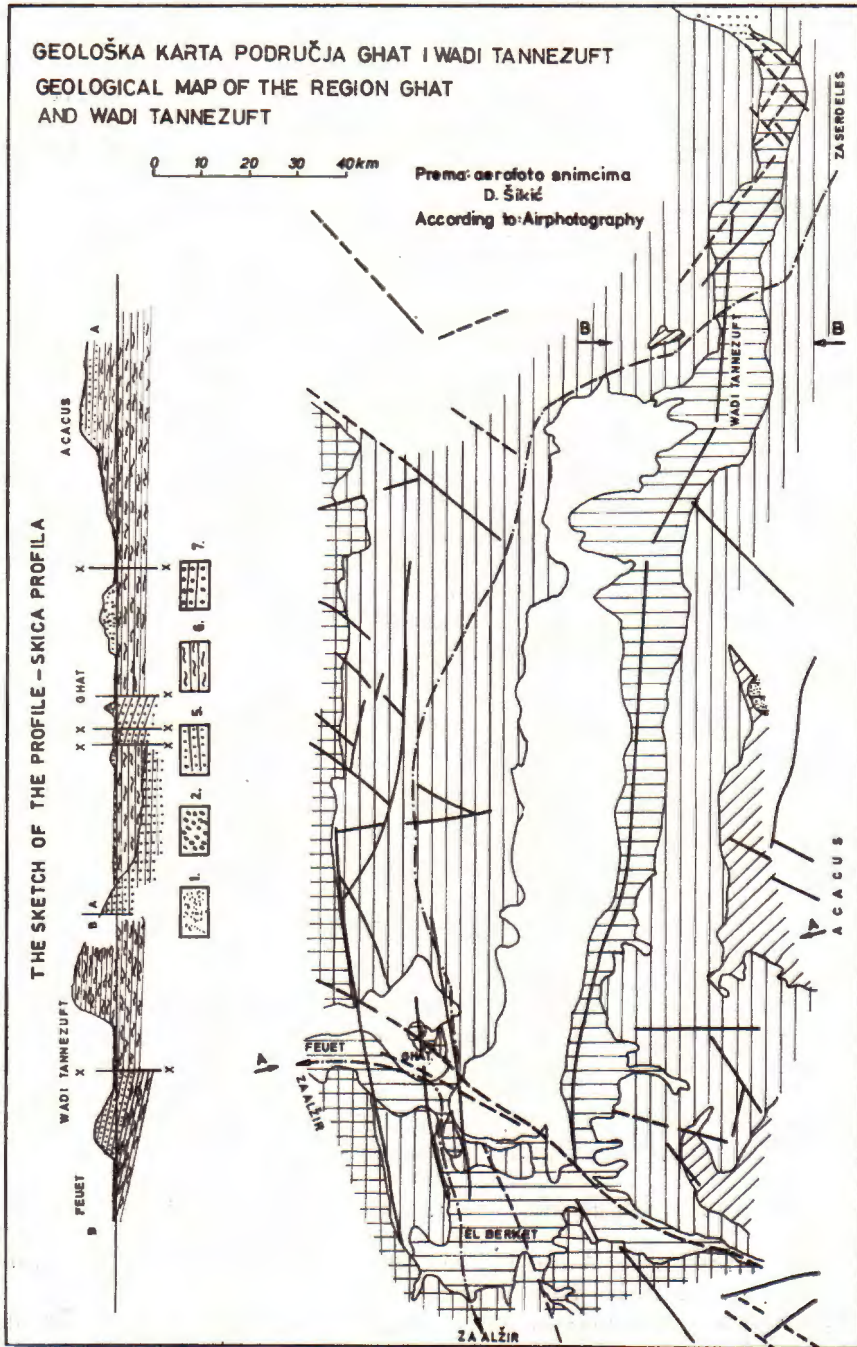
Tannezuft shales are impermeable.

Acacus sandstones interoven with shales do not show any porousness by their compactness, with the exception of weathered parts of the surface. They are located on the edge of the Acacus Mountains on Tannezuft impermeable shales and above the surface of Wadi Tannezuft. In the North of Wadi Tannezuft they are small unimportant eroded remnants, which have no influence on water conditions of the described area.

On the basis of hydrogeological data the following conclusions can be formed:

From the eastern side Wadi Tannezuft is hydrogeologically separated from the Marzuq basin by Tannezuft shales.

Tannezuft shales also extend along the western edge of Wadi Tannezuft but they do not go under Cambrian-ordovician rocks. The same can be said of the southern edge of Wadi Tannezuft.



Textfig. — Sl. 2

## Legend - Legenda



Quaternary - Kvaratar: Sands dune. Pješčane dine.



Pulver, sand, gravel, pebble, rubble and boulder  
Prašina, pijesak, šljunak, valuča, kršje i gromače.



Mixed sediments of the wadi and dune.  
Mješani sedimenti vadova i dina.



Devonian - Devon: Fine to coarse grained sandstone, continental, cement iron hydroxide and silica, Tadrat fm., thickness 270 m.  
Fini do grubozrnati pješčenjaci, kontinentalni, vezivo željezni hidroksid i silicij, Tadrat fm., debljina 270 m.



Silurian - Silur: (superior) Massive, light and brown ferruginous sandstone with thin beds sandstone and shale, marine and continental, Acacus fm., thickness 250 m. (gornji) Masivni, svijetli i smeđji željezoviti pješčenjaci sa tankim slojevima pješčenjaka i šejlom, marinski i kontinentalni, Acacus fm., debljina 250 m.



(inferior) Dark green, grey and red shale with trace gypsum and sandstone, marine, Tannezuft fm., known thickness 170 m. (donji) Tamno zeleni, sivi i crveni šejlovi sa tragovima gipsa i pješčenjaka, marinski, Tannezuft fm., debljina 170 m.



Cambrian, ordovician - Kambrij, ordovicij: (superior) White, fine grained, hard sandstone, continental, Memouniat fm. (inferior) Fine grained sandstone, Melez chogran fm., cement calcium carbonate and silica, known thickness 200 m. (gornji) Bijeli fino-zrnati, tvrdi, pješčenjaci, kontinentalni, Memouniat fm., (donji) Fino-zrnati pješčenjaci, Melez chogran fm., vezivo vapneno i silicijsko, poznata debljina preko 200 m.

— Faults - Rasjedi

- - - Faults (approximate) - Rasjedi (približno)

- · - · - · Automobile way - Put za automobile

The shales lie transgressively and shallowly in the western and the southern part of Wadi Tannezuft. Older rocks are closer to the surface or on the surface. Consequently, more water is concentrated there under the small pressure.

Within Wadi Tannezuft the rocks are primarily imporous.

There is no inflow of precipitation water inside Wadi Tannezuft because of an extreme arid climate.

Water phenomena show:

That natural wells exist in Quaternary strata.

That the water for the primitive irrigation system can be reached by sunken wells located on the spot where Quaternary strata are in contact with Tannezuft shales.

That the water-level of source in El Berket and of some sunken wells is above surface, therefore under the small pressure. Some bored wells in Cambrian-ordovician rocks (1 and 20) have no water.

Water in positively bored wells comes out under the small pressure. In the settlement of Tunin (Ghat), there is thermal well (See Water objects and wells; Explanation of Pl. I).

All bored-well water is mineralized and it is not good for drinking. The water of Quaternary strata is slightly mineralized and it is suitable for drinking. The arrangement of water phenomena is bound for the direction El Berket — Ghat and Ghat — Feuet. In these zones, oases are disposed or some other vegetation exists. Vegetation also exists along the eastern side of Wadi Tannezuft.

The above conclusions point out that Wadi Tannezuft underground water flows through faults and fissures, so that arrangement of oases, vegetation and natural wells mark the arrangement and location of faults.

Underground water in older rocks and water in Quaternary coarse rocks have the same origin. Hydrogeologically observing Wadi Tannezuft, it is obvious that the inflow of water in Quaternary sediments is neither possible by precipitation nor by the inflow from neighbouring areas, because they simply do not occur there. The only possibility is an underground inflow. Oxidation and sedimentation of water in fissures and faults are very weak, and they approve when this water penetrates under the small pressure in Quaternary strata. Penetrating in Quaternary sediments (sand), the water overflows under the sand and it comes into contact with Tannezuft shales.

Since arrangement of fissures and faults is initiated by water phenomena, accordingly the eastern fault along Wadi Tannezuft is located closer to dunes in the middle of the valley where it is approximately marked by vegetation. In the northern part, the fault comes closer to the western offsprings of Tannezuft shales. Anyway, in this northern part the throw of fault is noticeable. According to the position of strata of Acacus beds eroded remnants, they should be lowered deeply on Acacus slopes. But they are considerably higher in the Acacus. It cannot occur without faulting. Since, only Tannezuft shales are on the surface here, they close the rocks with fault below, and water penetrates towards the surface in small quantities through weathered and faulted shales. That



is why there is no water phenomena on the surface, except in a sunken well, by the road, more than 20 m deep. It is located on the fault or its zone.

The underground water inflow can be explained only by the fault tectonic. Possible underground water inflow is from the West or the South, the area rich with percipitation, respectively in those parts of Algeria.

#### SUMMARY

Wadi Tannezuft represents separate geographic, geological, structural and underground water lower unit of the Marzuq basin, of Fezzan province in Libya. It is located between the Tassili and the Acacus Mountains in the southwestern Saharian part of the province. The climate is extremely arid, practically without precipitation.

Cambrian-Ordovician sediments consist of sandstones and shales with some conglomerates lying on Precambrian gneiss and crystal schist base. Cambrian-Ordovician rocks are practically primarily imporous. There is a leak along the fault and accompanying fissures.

Lower Silurian strata are represented by impermeable Tannezuft shales and upper Silurian strata by Acacus sandstones and less by shales that have no importance in Wadi Tannezuft because of their location.

Structurally, Wadi Tannezuft is a tectonic trough with smaller longitudinal, in the southern part, erected horst. Otherwise, it is formed along longitudinal faults N—S between the Tassili and the Acacus Mountains. The trough is intersected by transversal faults in NW—SE direction.

The arrangement of impermeable strata prevents water inflow from the east and north. The underground water inflow is possible from the south and the west through faults and accompanying fissures. Water flows under the ground and it rises towards the surface, under the light pressure. It springs out of natural wells or it flows through coarse Quaternary rocks over impermeable Tannezuft shales. A large quantity of water concentrates in the southern part of Wadi Tannezuft around Ghat, El Berket and Feuet, because firm homogeneous rocks with faults and fissures on the surface or near the surface exist. All this conditions the arrangement of oasis and soil with other kinds of vegetation. The fault along the eastern side of Wadi Tannezuft brings about the small inflow of underground water or rather, it conditions humidity along the faulted and dilapidated zone of shales of Tannezuft. This results in significantly poorer vegetation than in the zone of Ghat, Feuet and El Berket. So, water phenomena on the surface and accompanying vegetation indicate faults.

Quaternary water is less mineralized because of the better oxydation and sedimentation in Quaternary rocks.

*Received 30 March 1977.*

## REFERENCES

- Desio, A. (1935): Studi geologici sulla Cirenaica sul Deserto libico sulla Tripolitania e sul Fezzan Orientali. — *Missione scient, R. Acc. d'Italia a Cufra, 1931*, vol. I, Roma.
- Desio, A. (1936a): Prime notizie sulla presenza del Silurico fossilifero nel Fezzan. — *Boll. Soc. Geol. Ital., 55/1*, Roma.
- Desio, A. (1936b): Riassunto sulla costituzione geologica del Fezzan. — *Boll. Soc. Geol. Ital., 55/1*, Roma.
- Freulon, I. M. (1951): Sur la série primaire du Fezzan nord-occidental. — *C. R. Soc. Géol. France 12*, 216—218, Pariz.
- Fürst, M. & Klitzsch, E. (1963): Late Caledonian Paleogeography of the Murzuk basin. — *Revue de l'Institut Français du Pétrole, 18/10*, 1472—1484, Paris.
- Kilian, C. (1931): Sur l'age des grès à Harlania et sur l'extension du Silurien dans le Sahara oriental. — *C. R. Ac. Sci. Paris, 192/26*, 1742—1743, Paris.
- Klitzsch, E. (1963): Geology of the north-east flank of the Murzuk basin (Djebel ben Ghnema — Dor el Gussa area). — *Revue de l'Institut Français du Pétrole, 18/10*, 1411—1428, Paris.
- Lelubre, M. (1948): Le Paléozoïque du Fezzan sud-oriental. — *C. R. Soc. Géol. France, fasc. 4*, 79—81, Paris.
- Lelubre, M. (1949a): Sur la tectonique du Sahara central. — *C. R. Ac. Sci. Paris, 228/5*, 405—406, Paris.
- Lelubre, M. (1949b): Géologie du Fezzan Oriental. — *Bull. Soc. Géol. France, (5)*, 19/1, 14—56, Paris.
- Lelubre, M. (1952): Aperçu sur la géologie du Fezzan. — *Bull. Serv. Carté Geol. Algérie. Travaux recents des Collaborateurs, fasc. 3*, 109—148, Algere.
- Massa, D. & Collomb, G. R. (1960): Observations nouvelles sur la région d'Aoulnet Qouenine et du Jebbel Fezzan (Libye). — *Congres Geologique International, XXI Sesion, Copenhagen*.

### Zapažanja o geologiji i hidrogeologiji Wadi Tannezuff — Marzuq bazen (Libija)

D. Sikić

Wadi Tannezuff predstavlja zasebnu nižu strukturno-geološku i vodnu jedinicu Marzuq bazena provincije Fezzan u Libiji. Priliv podzemne vode može se objasniti jedino rasjednom tektonikom, sa zapada ili juga, iz područja u kojima ima oborina, odnosno iz Alžira.

#### UVOD

Marzuq bazen smješten je u provinciji Fezzan na krajnjem jugozapadnom dijelu libijske Sahare.

Veličinom od 320 000 km<sup>2</sup> bazen Marzuq je najprostraniji u Libiji. U njemu obitava oko 65—70 000 stanovnika nastanjenih u oazama, odnosno krajevima u kojima je moguće snabdjevanje vodom.

Bazen Marzuq izdvaja se kao zasebna geografska, geološka i strukturna viša jedinica saharskog dijela, platforme Sjeverne Afrike.

Stijenski kompleksi Marzuq bazena zastupljeni su metamorfiziranim prekambrijem i sedimentima paleozoika, mezozoika i kenozoika. Ovaj dio sjevernoafričke plat-

forme više je puta bio podvrgnut regresijama i transgresijama. U Marzuq bazenu se naslage sastoje od pretežno kontinentalnih ali ima i marinskih stijena. Strukturno bazen predstavlja sineklizu čiji centralni dio je Marzuq pješčano more. Okolo njega ima niz nižih jedinica koje možemo izdvojiti kao manje cjeline u osnovnoj strukturi sineklize. Takva niža jedinica je Wadi Tannezuft na zapadnom obodu bazena.

O geologiji Marzuq bazena kao i o drugim krajevima Libije pisali su mnogi autori. Ističu se Kilian (1931), Desio (1935, 1936), Lelubre (1948, 1949, 1952), Freulon (1951), Massa & Collomb (1960), Klitzsch (1963), Fürst & Klitzsch (1963).

### GEOGRAFSKI PREGLED

Wadi Tannezuft je geografski niža jedinica Marzuq bazena. Zapadno je ograničen Tassili gorjem smještenim unutar Alžira. Sa istočne strane Acacus gorje ga dijeli od Wadi wan Kasa. Smještena uzdužno sjever—jug, Wadi Tannezuft dotiče se u sjevernom dijelu prostora Wadi Irawan, a na jugu pobrđa koja prelaze u Alžir. Nalazi se istočno od meridijana 10°, između 24°30' i 25°30' sjeverne širine.

Wadi Tannezuft prostire se površinom od cca 3 000 km<sup>2</sup>. Oko 2 000 stanovnika živi ovdje ovisno o snabdjevanju vodom. Stanovništvo je koncentrirano u oazama na jugu u gradu Ghat i naseljima koji se uklapaju u njega. Pod gradsko područje Ghata spadaju danas nekad odvojena naselja Tunin, Tadarant i Tin Garaben. Na zapadnoj strani izdvojen je Feuët, a južno El Berket. Nomadi i polunomadi susreću se rijetko. Naselja su smještena uz prirodne izvore i kopane bunare ili bušene bunare. Voda u kopanim bunarima je do 10 m ispod površine ili uz samu površinu. Bušeni bunari dosižu i do 170 m.

Stanovništvo sačinjavaju Arapi, Berberi i Tuaregi.

Političko administrativni i trgovački centar je staro karavansko naselje Ghat, koje je sa Tuninom zadržalo svoj stari arhitektonski lik. Noviji dio naselja, danas u izgradnji mijenja taj lik. U ostalim naseljima, uz novosagrađene, zadržane su stare blatom i kamenom zidane kuće ili kolibe od palmina lišća. Sa glavnim gradom Fezzana Ghat je povezan djelomično nasutom, a dijelom raskrčenom automobilskom pistom, koja se u tom smislu održava sve do grada Awbari, a dalje se nastavlja asfaltna cesta. Udaljenost Ghat-Awbari iznosi 420 km, a od Awbari do Sabhah, glavnog grada provincije, ima 180 km.

Već spomenuti život stanovništva ovisan je o korištenju prirodnih izvora ili podzemne vode koja omogućava primitivnu irigaciju. Ghat ima trgovine i skladišta, hotel, električnu centralu, bolnicu, škole, poštu i djelomično izgrađen vodovod. Trgovina je vezana za lokalnu razmjenu produkata i uvoz industrijske hrane i potrepština. Proizvodi se povrće prikladno tamošnjoj klimi. Od sitne stoke značajne su koze, a od krupne kamile. Razvijeno je peradarstvo.

Klima je ekstremno aridna (pustinjska). Oborina nema. Prosječne temperature kreću se do 30°C u maksimumu i 17—22°C u minimumu. Ekstremne rijetke temperature dosižu 6°C i 51°C. Vlažnost zraka kreće se u prosjeku oko 25%.

Od aprila do zaključno oktobra dnevni vjetrovi pušu sa jugoistoka, a noćni sa sjeveroistoka. U ostalo vrijeme nailazi sjeverozapadni vjetar. Pješčane oluje česte su u proljeće i jesen, a dosižu brzinu do 15 m/sek. Pješčani olujni vjetar Ghibli naročito je jak u dolini Tannezuft.

Relativno duboko urezan široki Wadi Tannezuft se nalazi na nadmorskoj visini od 450—500 m, koju remeti pobrđe u sjevernom dijelu, koje se diže do 850 m. Acacus gorje, istočno, ima mjestimice visinu do 1400 m, a Tassili sa zapada, na libijskoj strani, ne prelazi 850 m. Wadi Tannezuft primarno je tektonski uvjetovan oblik, razrađen vodenim tokovima, dok ih je bilo, sa tragovima toga sačuvanim do danas, Današnji oblik reljefa ukazuje na vjetreno trošenje.

Tlo Wadi Tannezuft prekriveno je pijeskom, naročito prema Ghatu. Pijesak je debeo i do 10 m, a u području dna ima i do 100 m. Dine se protežu uzdužno sredinom Wadi Tannezufta. Pješčani nanosi otežavaju održavanje kulturnih površina.

## GEOLOŠKI PREGLED

Wadi Tannezuft izdvaja se kao zasebna niža geološka i strukturna jedinica zapadnog krila Marzuq bazena.

U Wadi Tannezuft, krilu Marzuq bazena, inače sineklize, poznate prekambrijske stijene, koje su podloga ostalih sedimenata, nisu vidljive na površini. One su na površini u Tassili gorju, s onu stranu granice, zapadno, u Alžiru. Prekambrijske stijene sastoje se od gnajsa i kristalinskih škriljavaca.

Kambrijsko ordovicijske stijene su nedefinirane. Prema literaturi (Klitzsch, 1963, p. 1411—1415) najniži kambrijski dio, Hasouna formacija, predstavljen je marinskim pješčenjacima i šejlovima, koji nisu vidljivi u Wadi Tannezuft. Isto je i sa ordovicijskom Melez Chogram formacijom s tim, što se u njoj javljaju i kontinentalni slojevi. U Wadi Tannezuft postoji mogućnost da ovoj formaciji pripadaju manje pojave zelenih, ponešto glinovitih pješčenjaka sa zapadnog oboda doline, oko Feueta i sjevernije. Vjerojatnije je, da su to šejlovi i pješčenjaci marinske i kontinentalne Memouniat formacije, koju inače nalazimo oko Ghata, južno od El Berketa i zapadnim obodom Wadi Tannezuft. Konglomerati, koje uvijek spominju među kambrijsko ordovicijskim stijenama nalaze se u donjem dijelu naslaga i nisu poznati u Wadi Tannezuft. U bušotini kod Feueta kambrijsko-ordovicijske stijene sadrže isključivo svijetle sitnozrne pješčenjake bez zelenkastih pješčenjaka sa šejlom. Te su stijene zapadno od Feueta uzdignute i pokazuju niže slojeve. Stijene na površini su znatno rastrošene, prožete željeznim hidroksidom, smeđe i crne boje uslijed djelovanja oksidacije. Vezivo pješčenjaka je silicijsko, manje vapneno, a dijelom željezovito. Površinski dio stijena pokazuje znatnu ispucalost. Bušotina kod Feueta prošla ih je u debljini od 140 m, a zapadno u Tassili gorju, vidi se da su znatno deblje od toga.

Silurski sedimenti imaju dva dijela. U donjem siluru i manjem dijelu gornjeg silura osnovnu stijenu sačinjavaju Tannezuft šejlovi sa nešto čerta, silta i sitnozrnih pješčenjaka, tamnosivih do zelenih i sivih i sivocrvenih do ljubičastih boja. Smješteni su pretežno u gornjem dijelu iznad šejlova i u izmjeni sa njima. Tu se prepliću i tanki proslojci gipsa. Marinski šejlovi Tannezufta sadrže graptolite i gastropode. Gastropodi pripadaju vjerojatno rodu *Euomphalus*. Sedimenti su tanko uslojeni do listićavi. Tako se i troše. Debljina ovog dijela iznosi do 300 m (Fürst & Klitzsch, 1963, p. 160—164). U Wadi Tannezuft im točnu debljinu nije moguće izračunati, jer nisu sve otkrivene na površini.

Sedimenti gornjeg silura predstavljeni su pretežno Acacus kontinentalnim pješčenjacima i uz njih konglomeratima. Unutar marinskih kontinentalnih pješčenjaka ubacuju se tanko uslojeni pješčenjaci i šejlovi koji su inače češći u gornjem dijelu naslaga. Pješčenjaci su pretežno sitnozrni, često vezani silicijskim željezovitim, manje vapnenim vezivom, a trošeni su izrazito smeđe i željezovite boje, na prelazu nešto svijetliji. Proslojci šejlova su svijetli, skoro bijeli do smeđi, crveni i ljubičasti. Kontinentalni pješčenjaci su ukršteno slojani, u površinskim dijelovima znatno ispucali. U pješčenjacima su nađene bezlisne Psilophytinae i čaške krinoida, vjerojatno roda *Cyathocrinus*. Debljina Acacus pješčenjaka iznosi cca 300 m (Fürst & Klitzsch, 1963, p. 160—164). Promatrane debljine odgovaraju ovima.

Acacus pješčenjaci prostiru se zapadnim padinama Acacus gorja i u sjevernom centralnom dijelu Wadi Tannezuft kao erodirani ostaci brežuljaka. Uvijek leže na šejlovima Tannezufta.

Kontinentalni Tadrart pješčenjaci protežu se dalje istočno u gorju Acacus i nisu bitni za geološke odnose unutar Wadi Tannezuft.

Kvartarni sedimenti predstavljeni su prahom, pijescima, šljunkom, ulomcima i gromadama.

Uz obronke Acacusa, na jugu Wadi Tannezuft, na zapadnoj strani i u sjevernom centralnom brdovitom dijelu nalazi se spomenuti raznoliki obronačni materijal sortirajući se prema udaljenosti od osnovne mase. U slijedećoj zoni na šejlovima Tannezufta slaže se pretežno prašinsti manje pjeskoviti i krupniji materijal. U centralnom dijelu Wadi Tannezuft i oko Ghata i Feueta formirane su debelo nanešene pješčane dine.

Strukturna građa Wadi Tannezuft obilježena je blago, svega nekoliko stupnjeva nagnutim slojevima usmjerenim prema istoku i sjeveroistoku. Građa se ipak komplicira nizom uzdužno pružajućih rasjeda sjever—jug. Glavni rasjedi protežu se istočnom i zapadnom stranom Wadi Tannezuft, a usporedo ih prate oni u sredini

koji prolaze kroz El Berket i Ghat. Rasjed sa istočne strane smješten je više prema dinamama. U sjevernom dijelu Wadi Tannezuft rasjed se površinski može definirati, jer se zamjećuje skok među krilima. Zapadno krilo je spušteno, a istočno uzdignuto, te bi skok mogao biti znatan. Skok se ne može definirati, jer u wadu sedimenti nisu otkriveni. To objašnjava postanak Wadi Tannezuft, koja je ovim spuštena gradeći tektonsku grabu. U zoni El Berket—Ghat kambrijsko ordovicijski pješčenjaci zaostali su uzdignuti u odnosu na Tannezuft šejlove gradeći uski, izduženi horst unutar tektonske grabe. Čitav niz poprečnih rasjeda pružanja sjeverozapad—jugozapad—jugozapad presjeca glavne uzdužne rasjede.

#### ZAPAZANJA O POVRŠINSKOJ I PODZEMNOJ VODI

Promatranja vodnih pojava nisu vršena detaljno, ali promatrano pruža mogućnost da se izvedu logični zaključci.

Promatrajući litološki sastav, vezanost i kompaktnost kambrijsko-ordovicijskih stijena nije teško doći do zaključka o nepropusnosti tih stijena. Na to ukazuje bušotina navedena pod brojem 1 u Ghatu i bušotina broj 20 u Feuetu izvedene u kambrijsko ordovicijskim pješčenjacima.

Tannezuft šejlovi su nepropusni.

Acacus pješčenjaci protkani šejlovima svojom kompaktnošću ne ukazuju na nikakovu propusnost osim u površinski rastršenim dijelovima. Smješteni su na obodu Acacus gorja na Tannezuft nepropusnim šejlovima, a iznad površine Wadi Tannezuft. U Wadi Tannezuft, na sjeveru, to su mali erodirani ostaci bez značaja, te nemaju utjecaja na vodne prilike za opisivano područje.

Na osnovu podataka u hidrogeološkom smislu mogu se izvesti slijedeće konstatacije:

Wadi Tannezuft je sa istočne strane hidrogeološki odvojena od Marzuq bazena Tannezuft šejlovima.

Tannezuft šejlovi prostiru se i zapadnim obodom Wadi Tannezuft, ali se ne podvlače pod kambrijsko ordovicijske stijene. Isto je i na južnom obodu Wadi Tannezuft.

Tannezuft šejlovi leže transgresivno i plitko u zapadnom i južnom dijelu Wadi Tannezuft. Starije stijene su bliže površini ili na površini, te se stoga tu koncentriše više vode, pod malim pritiskom.

Stijene unutar Wadi Tannezuft su nepropusne.

Priliva vode oborina unutar Wadi Tannezuft nema uslijed aridne izrazito puštinske klime.

Vodene pojave pokazuju:

Da u kvartarnim naslagama postoje prirodni izvori.

Da se kopanim bunarima na kontaktu kvartarnih naslaga i Tannezuft šejlova dolazi do vode za provođenje primitivne irigacije.

Da je nivo vode na izvorištu u El Berketu i u nekim kopanim bunarima iznad površine, dakle pod malim pritiskom.

Neki bušeni bunari u kambrijsko ordovicijskim stijenama (1 i 20) nemaju vode.

Voda u pozitivno bušenim bunarima izlazi pod malim pritiskom. U naselju Tunin (Ghat) postoji termalni izvor (vidi VODNI OBJEKTI I IZVORI; tumač table I).

Vode bušenih bunara su sve mineralizirane i slabo pogodne za piće.

Vode iz kvartarnih naslaga su slabo mineralizirane i pogodne za piće.

Raspored vodnih pojava vezan je za pravac El Berket—Ghat i Ghat—Feuet. U tim zonama raspoređene su oaze ili raste drugo raslinje. Raslinja ima i duž istočne strane Wadi Tannezuft.

Gornje konstatacije navode da podzemne vode Wadi Tannezuft protiču rasjedima i pukotinama, odnosno oaze i pojave raslinja i prirodnih izvora obilježavaju raspored i smještaj rasjeda.

Podzemne vode u starijim stijenama i vode u kvartarnim rastresitima stijenama imaju isto porijeklo. Promatrajući hidrogeološki Wadi Tannezuft vidljivo je da priliv vode u kvartarne sedimente nije moguć oborinama ili iz susjednog područja, jer ih tamo jednostavno nema. Moguć je jedino priliv iz podzemlja. Oksidacija i taloženje iz vode u pukotinama i rasjedima je vrlo slabo, a kad te vode

pod slabim pritiskom prodru u kvartarne naslage oksidacija i taloženja se poboljšaju. Prodorom u kvartarne sedimente (pijeske) vode se razlijevaju pod pijskom i prostiru na kontaktu sa šejlovima Tannezufta.

Budući da vodne pojave iniciraju smještaj rasjeda i popratnih pukotina, istočni rasjed duž Wadi Tannezuft je prema tome smješten bliže dinama u sredini doline, gdje ga približno obilježava raslinje. U sjevernom dijelu rasjed se približava zapadnim izdancima Tannezuft šejlova. Uostalom, u ovom sjevernom dijelu skok rasjeda je i vidljiv. Prema položaju slojeva erodiranih ostataka Acacus naslaga, one bi na padinama Acacusa morale biti duboko spuštene. Međutim u Acacusu one su znatno više. To ne može biti bez rasjedanja. Budući su ovdje na površini samo Tannezuft šejlovi, oni zatvaraju stijene sa rasjedom ispod, a vode prema površini prodiru u vrlo malim količinama kroz rastrošene i rasjedanjem razorene šejlove. Radi toga na površini nema vodnih pojava osim u kopanom bunaru uz cestu, koji je dubok više od 20 m. Bunar je smješten na rasjedu ili u njegovoj zoni.

Priliv podzemne vode može se objasniti jedino rasjednom tektonikom. Mogući priliv podzemne vode je sa zapada ili juga iz područja u kojima ima oborina, odnosno tih dijelova Alžira.

#### SAŽETAK

Wadi Tannezuft predstavlja zasebnu geografsku, geološku, strukturnu i podzemno vodnu nižu jedinicu Marzuq bazena, provincije Fezzan u Libiji. Smješten je između Tassili i Acacus gorja u jugozapadnom saharskom dijelu provincije. Klima je ekstremno aridna, bez oborina.

Kambrijsko ordovicijski sedimenti sastoje se od pješčenjaka i šejlova sa nešto konglomerata koji leže na prekambrijsko gnajnsnoj i kristalinskoj škriljavoj osnovi. Kambrijsko ordovicijske stijene su praktično nepropusne. Postoji propusnost duž rasjeda i pratećih im pukotina.

Donjo silurske naslage predstavljene su nepropusnim Tannezuft šejlovima, a naslage gornjeg silura Acacus pješčenjacima i manje šejlovima, koji u hidrogeološkom smislu radi svog smještaja nemaju uloge u Wadi Tannezuft.

Wadi Tannezuft je strukturno tektonska graba sa manjim uzdužno, u južnom dijelu, izdignutim horstom. Formirana je inače duž uzdužnih rasjeda S—J između Tassili i Acacus gorja. Graba je ispresjecana poprečnim rasjedima pružanja SZ—JI.

Raspored nepropusnih naslaga sprečava priliv vode sa istoka i sjevera. Priliv podzemne vode je omogućen sa juga i zapada kroz rasjede i prateće pukotine. Voda pritječe podzemno i pod laganim pritiskom se izdiže prema površini i izliva se na prirodnim izvorima ili razliva kroz rastresite kvartarne stijene po nepropusnim Tannezuft šejlovima. Veće količine vode koncentriraju se u južnom dijelu Wadi Tannezuft oko Ghata, El Berketa i Feueta, jer su tu čvrste homogene stijene sa rasjedima i pukotinama na površini ili bliže površini. Time je uvjetovan i raspored oaza i tla sa drugim raslinjem. Rasjed duž istočne strane Wadi Tannezuft uvjetuje mali priliv podzemne vode ili bolje rečeno vlage duž rasjedno razlomljene i trošne zone u šejlovima Tannezufta, što uvjetuje i rast raslinja ali znatno oskudnije nego u zoni Ghata, Feueta i El Berketa. Prema tome pojave vode na površini i prateće raslinje indiciraju rasjede.

Kvartarne vode su slabije mineralizirane zbog bolje oksidacije i taloženja u kvartarnim stijenama.

*Primljeno 30. 03. 1977.*

WATER OBJECTS AND WELLS — Explanation to Plate I

- 1, 4, 20 Bored wells in Cambrian-Ordovician rocks, without water. Bored well number 20 is supplied with water which comes in the boring from Quaternary sand.
- 5, 15, 18 Wells bored in Cambrian-Ordovician sand. The water comes out under the small pressure. The water is mineralized and ferruginous.
- 8, 10, 11 Wells sunken within Quaternary strata, sometimes partially in older rocks under Quaternary sand. Water in them is above the surface level and under small pressure.
- 7, 9, 12, 13, 14, 17, 19, 21 Wells sunken in Quaternary sand which is located in shales of Tannezuft fm. Only the well number 17 is in its lower part in Cambrian-Ordovician sand. Depth to the is 1—8 m.
- 2, 6 More natural wells which spring within Quaternary sand. Water flows from the fault in older rocks where under small pressure it flows through impermeable base to the place of welling out. The water is drinkable, it is not tempered.
- 16 Natural well. The level of the water is above the surface and it is under small pressure. The water is drinkable, it is not tempered.
- 3 Captive termal well. The water is mineralized, ferruginous drinkable. It springs under the pressure from Cambrian-Ordovician sandstones.

VODNI OBJEKTI I IZVORI — Tumač uz tablu I

- 1, 4, 20 Bunari bušeni u kambrijsko ordovicijskim stijinama, bez vode. Bunar br. 20 ima nešto vode koja u bušotinu dolazi iz kvartarnih pijesaka.
- 5, 15, 18 Bunari bušeni u kambrijsko ordovicijskim pješčenjacima. Voda izlazi pod malim pritiskom. Voda je mineralizirana željezovita.
- 8, 10, 11 Bunari kopani unutar kvartarnih naslaga, nekad manjim dijelom u starijim stijinama ispod kvartarnih pijesaka. Voda u njima je iznad nivoa površine pod malim pritiskom.
- 7, 9, 12, 13, 14, 17, 19, 21 Bunari kopani u kvartarnim pijescima koji se nalaze na šejlovima Tannezuft fm. Samo je bunar br. 17 iskopan donjim dijelom u kambrijsko ordovicijskom pješčenjaku. Dubina do vode iznosi 1—8 m.
- 2, 6 Više prirodnih izvora koji izviru unutar kvartarnih pijesaka. Voda dotiče sa rasjeda u starijim stijinama, gdje je pod malim pritiskom i teče po nepropusnoj podlozi do mjesta izviranja. Voda je pitka, nije temperirana.
- 16 Prirodno izvorište. Voda je razinom iznad površine tla pod malim pritiskom. Voda je pitka, nije temperirana.
- 3 Termalni kaptirani izvor. Voda je mineralizirana, željezovita, podnošljiva za piće. Izvire pod pritiskom iz kambrijsko ordovicijskih pješčenjaka.

