



# Tektonika solna i archeologiczne perełki północnej Tunezji

## Salt tectonics and archaeological gems of northern Tunisia

Stanisław BURLIGA<sup>1</sup>, Marta HODBOD<sup>2</sup>, Joanna JAWORSKA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; e-mail: stanislaw.burliga@uwr.edu.pl

<sup>2</sup>Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, Warszawa; e-mail: marta.hodbod@pgi.gov.pl

<sup>3</sup>Uniwersytet Adama Mickiewicza, Instytut Geologii UAM, ul. B. Krygowskiego 12, Poznań; e-mail: veronika@amu.edu.pl

### STRESZCZENIE

Triasowe ewaporaty są badane w Tunezji od ponad 100 lat. W regionie gór Atlas na powierzchni udokumentowano kilkadziesiąt różnych typów struktur solnych zbudowanych z triasowych ewaporatów, od diapirów po ciała ekstruzywne. Jest to doskonały obszar do pogłębiania wiedzy o różnych aspektach tektoniki solnej. Obserwacje terenowe i studia literatury naukowej wykazują, że triasowe ewaporaty stanowiły jeden z elementów przyczyniających się do rozwoju tektoniki fałdowo-nasuwej Atlasu, jak również do uformowania wielu złóż surowców mineralnych, m.in. rud cynku, ołowiu i żelaza. Tektonika solna wpłynęła ponadto na ukształtowanie systemu hydrologicznego kraju, a pośrednio na rozwój wielu ośrodków cywilizacyjnych już od czasów starożytnych. Z tego względu w północno-zachodniej Tunezji występują liczne chronione stanowiska archeologiczne i architektoniczne stanowiące ogólnoswiatowe dziedzictwo kulturowe.

**Słowa kluczowe:** tektonika solna, ewaporaty, trias, góry Atlas, stanowiska archeologiczne, północna Tunezja

### WPROWADZENIE

Region północno-zachodniej Afryki należy do obszarów pionierskich badań nad tektoniką solną. Przyczyniły się do tego poszukiwania węglowodorów i surowców mineralnych prowadzone w północnej Afryce pod koniec XIX w. i na początku XX wieku, które zaowocowały m.in. powstawaniem map geologicznych krajów Maghrebu, dokumentujących obecność licznych struktur solnych w obrębie pasm fałdowo-nasuwych Atlasu i gór Rif. Struktury te były powiązane ze strefami uskokuowymi, co skierowało uwagę badaczy na związki struktur solnych ze strefami uskokuowymi. Wpływ soli kamiennych na rozwój tektonicznych odkluc i łusek w górach Rif w Maroku po raz pierwszy zasugerował Yova-

### ABSTRACT

Triassic evaporites have been studied in Tunisia for over 100 years. Dozens of different types of salt structures built of Triassic evaporites, ranging from diapirs to extrusive bodies, have been documented on the ground surface in the Atlas Mountains region. This is an excellent area for deepening our understanding of various aspects of salt tectonics. Field observations and studies of the scientific literature indicate that Triassic evaporites contributed to the development of the Atlas fold-and-thrust tectonics, as well as to the formation of numerous mineral deposits, including zinc, lead, and iron ores. Salt tectonics also influenced the formation of the country's hydrological system and, indirectly, contributed to the development of many civilizational centres since ancient times. For this reason, northwestern Tunisia has numerous protected archaeological and architectural sites that constitute world cultural heritage.

**Keywords:** salt tectonics, evaporites, Triassic, Atlas Mountains, archaeological sites, northern Tunisia

### INTRODUCTION

North-western Africa is one of the pioneering regions for research on salt tectonics. This research was driven by hydrocarbon and mineral resource exploration carried out in North Africa in the late 19th and early 20th centuries. These activities resulted, among other outcomes, in the compilation of geological maps of the Maghreb countries, documenting the presence of numerous salt structures within the fold-and-thrust belts of the Atlas and Rif Mountains. These structures were associated with fault zones, which drew researchers' attention to the links between salt structures and fault systems. The influence of rock salt on the development of tectonic décollements and thrusts in the Rif Mountains of Morocco was

novitch w roku 1922. Zapoczątkowało to długą historię badań nad rolą ewaporatów w wielkoskalowej deformacji kompleksów skalnych oraz procesami diapiryzmu, lateralnej mobilności soli i jej ekstruzji na powierzchnię ziemi. Jednym z obszarów, umożliwiających studia nad tektoniką solną jest tunezyjska część Atlasu, gdzie na powierzchni zaledwie 10 000 km<sup>2</sup> występuje ponad 40 struktur solnych (Ryc. 1) (Amri i in., 2020). Z tego względu północno-zachodnia Tunezja stała się celem wyprawy naukowej PSGS, umożliwiającej poszerzenie wiedzy w zakresie budowy geologicznej, tektoniki solnej, surowców mineralnych oraz dziedzictwa kulturowego Tunezji.

### WPLYW SOLI KAMIENNYCH NA BUDOWĘ GEOLOGICZNĄ WSCHODNIEGO KRAŃCA ATLASU

Łańcuch górski Atlasu rozciąga się na odcinku ok. 2500 km od Maroka przez Algierię po Tunezję i w większości zbudowany jest z utworów mezozoicznych i kenozoicznych. Jego segment tunezyjski formował się wieloetapowo (Troudi i in., 2017). W etapie mezozoicznym był to obszar ekstensji litosfery i rozwoju intrakontynentalnych basenów sedymentacyjnych, umożliwiających akumulację sukcesji węglanowo-ewaporatowo-klastycznej o dużej miąższości. Na przełomie kredy i paleogenu nastąpiła zmiana reżimu tektonicznego na kompresyjny, inicjująca inwersję basenów i rozwój tektoniki fałdowo-nasuwczej. Kompresja litosfery w regionie tunezyjskiego Atlasu dominowała przez większość kenozoiku, z jedynie krótkim epizodem ekstensyjnym trwającym od

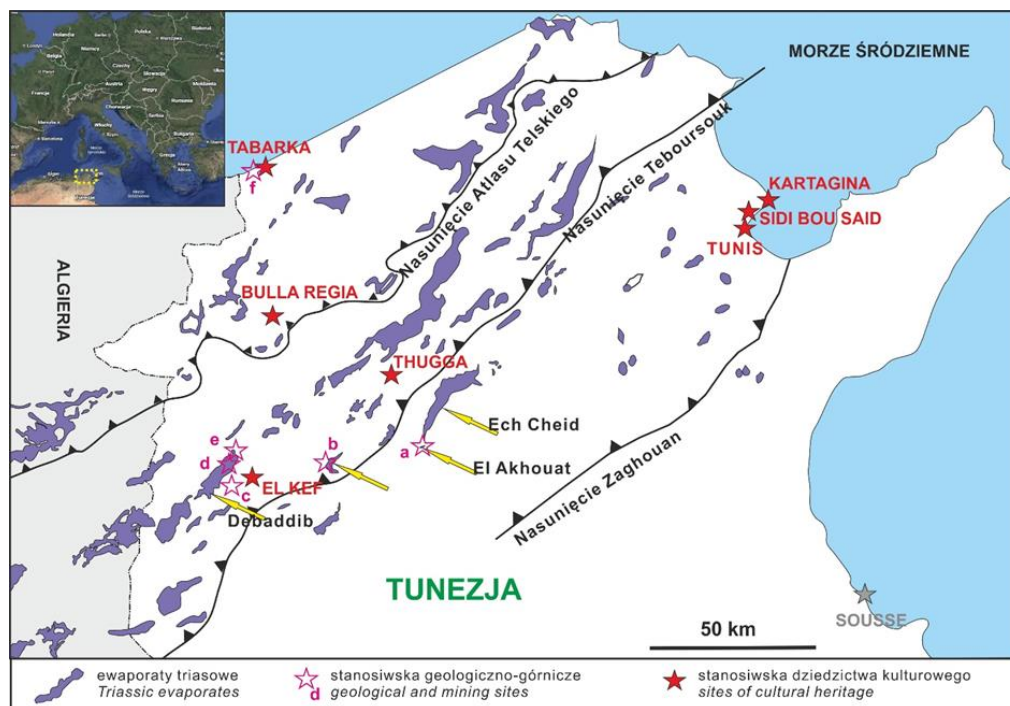
first suggested by Yovanovitch in 1922. This initiated a long history of investigations into the role of evaporites in large-scale deformation of rock complexes and the processes of diapirism, lateral salt mobility, and salt extrusion to the surface.

One of the areas enabling detailed studies of salt tectonics is the Tunisian Atlas region, where more than 40 salt structures occur within an area of only 10,000 km<sup>2</sup> (Fig. 1) (Amri et al., 2020). For this reason, north-western Tunisia became the target of a scientific expedition organized by the Polish Society of Salt Mining, aimed at expanding knowledge of the geology, salt tectonics, mineral resources, and cultural heritage of Tunisia.

### THE INFLUENCE OF ROCK SALT ON THE GEOLOGY OF THE EASTERN ATLAS

The Atlas Mountain Range stretches for approximately 2,500 km from Morocco through Algeria to Tunisia and is built mostly of Mesozoic and Cenozoic deposits. Its Tunisian segment developed in multiple stages (Troudi et al., 2017). During the Mesozoic, it was an area of lithospheric extension and the development of intracontinental sedimentary basins, enabling the accumulation of a thick carbonate–evaporite–clastic succession. At the Cretaceous–Paleogene transition, the tectonic regime shifted to compression, initiating basin inversion and the development of fold-and-thrust tectonics.

Lithospheric compression in the Tunisian Atlas region dominated throughout most of the Cenozoic, with only a brief



**Ryc. 1.** Mapa rozmieszczenia struktur solnych w północno-zachodniej Tunezji (na podstawie Masrouhi i in., 2014 i Troudi i in., 2017, zmienione) oraz lokalizacji stanowisk geologiczno-górnictwa i dziedzictwa kulturowego przedstawionych w artykule.

**Fig. 1.** Map of the distribution of salt structures in northwestern Tunisia (based on Masrouhi et al., 2014 and Troudi et al., 2017, modified) and the location of sites of geological-mining and cultural heritage presented in the article.

schyłku paleocenu do schyłku eocenu. Długotrwała ekstensja i kompresja sprzyjały wieloetapowemu rozwojowi uskokuw tektonicznych: w przewodzie normalnych w mezozoiku i od późnego paleocenu do późnego eocenu oraz w przewodzie nasuwczych i inwersyjnych od przełomu kredy i paleogenu po pliocen. Wydarzenia te spowodowały rozczłonkowanie obszaru Atlasu na bloki tektoniczne, w czym olbrzymią rolę odegrały ewaporaty.

Ewaporaty na omawianym obszarze Tunezji osadzały się w triasie, od lądynu po retyk (Troudi i in., 2017). Powstawały one w środowisku płytkomorskim i sebkhy, z tej przyczyny sukcesja ewaporatowa zbudowana jest ze skał siarczanowych i soli kamiennych przewarstwionych skałami węglanowymi i klastycznymi. Ich sumaryczna miąższość szacowana na podstawie danych z otworów wiertniczych i geofizycznych przekraczała pierwotnie co najmniej 1 000 m (Zouaghi i in., 2013; Ayed-Khaled i in. 2015). Jeszcze w triasie prawdopodobnie rozpoczęła się deformacja ewaporatów w odpowiedzi na postępujące rozciąganie i ryfting litosfery. Wskazują na to bazytowe dajki i sille wieku triasowego, przecinające ewaporaty (Ryc.1, stanowisko d; Ryc. 2), jak również zmienność miąższości utworów górnego triasu i jury.

Zdaniem Perthuisota (1981) przebijanie się struktur diapirowych przez utwory nadkładu rozpoczęło się dopiero we wczesnej kredzie (apt). Ponieważ współcześnie na powierzchni ziemi struktury te posiadają wydłużone zarysy i stanowią wyróżniające się w morfologii elewacje, pierwotnie uważano je za klasyczne diapiry solne. Sukcesywny postęp eksploracji otworowej, a szczególnie badań geofizycznych ujawniły

extensional episode lasting from the late Paleocene to the late Eocene. This prolonged alternation of extension and compression favoured the multistage development of tectonic faults: predominantly normal faults during the Mesozoic and from the late Paleocene to the late Eocene, and predominantly thrust and inversion faults from the Cretaceous–Paleogene transition to the Pliocene. These events resulted in the fragmentation of the Atlas region into tectonic blocks, in which evaporites played a significant role.

Evaporites in the study area were deposited during the Triassic, from the Ladinian to the Rhaetian (Troudi et al., 2017). They precipitated in shallow-marine and sabkha environments; hence, the evaporite succession consists of sulphates and rock salt interbedded with carbonate and clastic rocks. Their total thickness, estimated on the basis of borehole and geophysical data, originally exceeded at least 1,000 m (Zouaghi et al., 2013; Ayed-Khaled et al., 2015).

Evaporite deformation most likely began in the Triassic, in response to progressive lithospheric stretching and rifting. This is indicated by Triassic mafic dykes and sills cutting through the evaporites (Fig. 1, site d; Fig. 2), as well as by thickness variations in the Upper Triassic and Jurassic deposits.

According to Perthuisot (1981), the upward penetration of diapiric structures through the overburden began only in the Early Cretaceous (Aptian). Because these structures currently display elongated surface outlines and form distinctive topographic elevations, they were originally interpreted as classic salt diapirs.



**Ryc. 2.** Wychodnia dajki bazytywowej (B) przecinającej triasowe ewaporaty (E) w strukturze solnej Kebbouch. Lokalizacja na Ryc. 1.  
**Fig. 2.** Outcrop of a Triassic basic igneous rock dyke (B) cutting through the Triassic evaporites (E) in the Kebbouch Salt Structure. Location in Fig. 1.

bardziej złożoną formę tych struktur pod powierzchnią ziemi, m.in.: obecność rozległych przewieszek solnych, wskazujących na okresy ekstruzji soli na powierzchnię dna basenów sedymentacyjnych w późnej kredzie i kenozoiku, asymetrię i nieregularność kształtu struktur diapirowych w przekroju pionowym, kilkietapową reaktywację ich pionowego wzrostu, jak również obecność odkorzenionych warstw triasowych ewaporatów w obrębie utworów młodszych (Perthuisot, 1981; Jallouli i in., 2005; Zouaghi i in., 2013; Jaillard i in., 2017; Troudi i in., 2017; Gharbi i in., 2024). Ta złożoność form i rozmiarów struktur solnych wynika ze zmienności regionalnych układów naprężeń tektonicznych, tj. nakładania się efektów deformacji kształtowanej naprzemiennie w warunkach ekstensji i kompresji mezozoiczno-kenozoicznych basenów sedymentacyjnych. Pionowy wzrost struktur diapirowych odbywał się ponad uskokami podłoża w obu etapach ekstensji litosfery na kierunkach N-S i NE-SW, a w okresach silnej subsydencji możliwa była również ekstruzja soli na dno basenu. Podczas kompresji struktura i kształty diapirów były przebudowywane tektonicznie, wzdłuż powierzchni uskokowych dochodziło do odkorzenia części ciał ewaporatowych od warstw źródłowych oraz włączenia ich w młodsze struktury fałdowe. Ostateczna forma struktur solnych ukształtowana została na etapie oligoceńsko-miocenijskiej kompresji na kierunku NW-SE, w którym ukształtował się system fałdowo-nasuwczy Atlasu, z nasunięciami o przebiegu SW-NE. To właśnie triasowe ewaporaty stały się głównymi powierzchniami odkłucia ich nadkładu i doprowadziły do odspojenia tektoniki podtriasowego podłoża od tektoniki mezozoiczno-kenozoicznego kompleksu skalnego oraz do rozdziału pasm Atlasu na bloki tektoniczne. Największa ilość struktur solnych na powierzchni odsłania się obecnie w obszarze określanym jako strefa diapirów solnych (Perthuisot, 1981; Troudi i in., 2017), pomiędzy frontalnym nasunięciem Atlasu Tellskiego a frontalnym nasunięciem jednostki tektonicznej Zaghouan (Ryc. 1). Jak wykazały obserwacje prowadzone w obrębie struktur solnych Ech Cheid, El Akhouat, Kebbouch i Debaddib (Ryc. 1 stanowiska a,b,c,d; Ryc. 3-4), przypowierzchniowe części struktur obecnie zbudowane są w przewadze z siarczanów (gips), skał węglanowych (dolomit, wapień) i skał ilastych, stanowiących melange tektoniczne rozwinięte w strefach uskokowych podczas migracji pionowej i lateralnej migracji niejednorodnych litologicznie ewaporatów oraz brekcje powstałe w procesach formowania się czap gipsowo-węglanowo-ilastych. Sole kamienne występują na większych głębokościach, co wynika z ich sukcesywnego rozpuszczania przez wody podziemne i infiltracyjne podczas formowania struktur solnych i ich czap.

Większość struktur solnych ograniczona jest przynajmniej częściowo uskokami. Uskoki te stanowiły drogi migracji rozтворów z głębokiego podłoża, umożliwiając rozwój mineralizacji kruszcowej w sąsiedztwie triasowych ewaporatów i ich

Subsequent advances in borehole exploration, and particularly in geophysical investigations, revealed a much more complex subsurface architecture of these structures. This includes the presence of extensive salt overhangs, indicative of episodes of salt extrusion onto the floors of sedimentary basins during the Late Cretaceous and Cenozoic; asymmetry and irregular geometry of diapiric bodies in vertical cross-section; multi-stage reactivation of their vertical growth; and the occurrence of detached layers of Triassic evaporites incorporated within younger formations (Perthuisot, 1981; Jallouli et al., 2005; Zouaghi et al., 2013; Jaillard et al., 2017; Troudi et al., 2017; Gharbi et al., 2024).

The complexity of the forms and sizes of salt structures reflects variations in regional tectonic stress regimes, resulting from the superposition of deformation phases associated alternately with extension and compression during the evolution of Mesozoic–Cenozoic sedimentary basins. Vertical growth of diapiric structures occurred above basement faults during both phases of lithospheric extension oriented N–S and NE–SW, and during periods of strong subsidence, salt extrusion onto the basin floor also took place.

During compressional phases, the internal structure and geometry of diapirs were tectonically reworked. Along fault zones, parts of evaporite bodies were detached from their source layers and incorporated into younger fold structures. The final geometry of the salt structures was shaped during Oligocene–Miocene NW–SE compression, which led to the development of the Atlas fold-and-thrust system, with SW–NE-trending thrusts. Triassic evaporites became the main décollement horizons, leading to the decoupling of pre-Triassic basement tectonics from Mesozoic–Cenozoic cover tectonics and to the compartmentalisation of the Atlas ranges into multiple tectonic blocks.

The greatest number of salt structures currently exposed at the surface occurs in the area known as the Diapir Zone (Perthuisot, 1981; Troudi et al., 2017), located between the frontal thrust of the Tellian Atlas and the frontal thrust of the Zaghouan tectonic unit (Fig. 1). Field observations within the Ech Cheid, El Akhouat, Kebbouch, and Debaddib salt structures (Fig. 1, sites a–d; Figs. 3–4) show that the near-surface parts of these bodies are dominated by sulphates (gypsum), carbonates (dolostone and limestone), and clay-rich rocks. These materials form tectonic mélanges developed in fault zones during vertical and lateral migration of lithologically heterogeneous evaporite successions, as well as breccias formed during the development of gypsum–carbonate–clay caprocks. Rock salt occurs at greater depths, reflecting its progressive dissolution by groundwater and infiltrating waters during the growth of salt structures and caprock formation.

The majority of salt structures are at least partially bounded by faults. These faults provided pathways for the migration of fluids from the deep basement, enabling the development



**Ryc. 3.** Hałdy odpadów poflotacyjnych w rejonie nieczynnej kopalni rud cynku i ołowiu przy strukturze solnej El Akhouat. W tle masyw struktury solnej Ech Cheid. Lokalizacja na Ryc. 1.

**Fig. 3.** Heaps of flotation waste in the area of the abandoned zinc and lead ore mine near the El Akhouat salt structure. In the background is the Ech Cheid salt structure massif. Location in Fig. 1.

obrębie. Rouvier i in. (1985) wskazują na 34 złoża z bogatą mineralizacją cynku, ołowiu oraz żelaza powiązane ze strukturami solnymi, a obecne są ponadto złoża fluorytowo-barytowe. Złoża te eksploatowane były na przemysłową skalę od XIX wieku i część z nich jest wyeksploatowana. Należy do nich m.in. złożo cynku i ołowiu eksploatowane w latach 1892-1992 w rejonie niewielkiej struktury solnej El Akhouat, stanowiącej przedłużenie ponad 20-km długości wysadu Ech Cheid. Złożo to uformowało się w strefie kontaktowej ewaporatów triasowych i skał otaczających i zawierało paragenezę galeny, sfalerytu markasytu i pirytu występujących w kalcytowej i barytowej matriks. Produkcja metali oparta była na złożonej flotacji, umożliwiającą uzyskanie koncentratów o zawartości cynku i ołowiu do kilkudziesięciu procent. Obecnie jedynymi śladami po eksploatacji są hałdy poflotacyjne i szkody pogórnice w rejonie kopalni (Ryc. 1 stanowisko a; Ryc. 3). Z kolei czynna kopalnia rud cynku i ołowiu

of ore mineralization within Triassic evaporites and their surrounding rocks. Rouvier et al. (1985) identified 34 deposits with rich zinc, lead, and iron mineralization associated with salt structures. Moreover, fluorite-barite deposits are also present near the salt structures. These deposits have been mined on an industrial scale since the 19th century, and some are now depleted.

These include a zinc and lead deposit mined between 1892 and 1992 near the small El Akhouat salt structure, which constitutes an extension of the more than 20-km-long Ech Cheid Diapir. This deposit formed at the interface between Triassic evaporites and surrounding rocks and contained a paragenesis of galena, sphalerite, marcasite, and pyrite occurring in a calcite and barite matrix. Metal production was based on complex flotation, enabling the production of concentrates with zinc and lead contents exceeding 70%. Currently, the only traces of these deposits are post-flotation dumps and mining-related damage around the mine area (Fig. 1, site a, and Fig. 3).



**Ryc. 4.** Struktura solna Kebbouch. A – Panorama ze szczytu wzgórza zbudowanego ze zwietrzelin triasowych ewaporatów (czapa siarczanowo-dolomitowo-ilasta) w rejonie czynnej kopalni rud cynku i ołowiu Kebbouch. B – parageneza galenowo-sfalerytowa z markasytem i pirytem z kopalni Kebbouch. Lokalizacja na Ryc. 1.

**Fig. 4.** The Kebbouch salt structure. A – View from the top of a hill built of weathered Triassic evaporites (sulphate-dolomite-clay caprock) in the area of the active Kebbouch zinc and lead ore mine. B – a sample of paragenesis of galena, sphalerite, marcasite and pyrite from the Kebbouch mine. Location in Fig. 1.

w obrębie wysadu Kebbouch oparta jest na złożach występujących w strefach tektonicznych w obrębie czapy gipsowo-dolomityczno-marglistej utworzonej ponad ekstrudowanymi ewaporatami triasowymi. Mineralizacja jest analogiczna jak w rejonie wysadu Ech Cheid (Ryc.1 stanowisko b; Ryc. 4), a podziemna eksploatacja prowadzona jest metodą ubierkowo-zabierkową (*cut and fill*). Szacuje się, że strefa diapirów solnych dostarczyła dotychczas sumarycznie ok. 1 mln t ołowiu, 1,5 mln t cynku, 41 mln t żelaza oraz 0,4 mln t barytu.

Złożony system uskoku utworzonych w nadkładzie triasowych ewaporatów przyczynił się również do zeszczenia i skrasowienia mezozoicznych i kenozoicznych formacji skał węglanowych, które w efekcie stały się cennymi rezerwuarami wód słodkich. Źródła wypływające w rejonach stref tektonicznych stanowią podstawę zasilania w wodę wielu społeczności w interiorze Atlasu, m.in. w rejonie największego miasta strefy struktur solnych i jednego z najstarszych miast w Tunezji – El Kef (Ryc. 5). Obecność takich źródeł wód słodkich była jedną z podstawowych przyczyn lokowania i rozwoju ośrodków cywilizacyjnych w Atlasie od czasów prehistorycznych, w tym najbardziej znanych w rejonie miast rzymskich – Thugga i Bulla Regia. Z głęboko zakorzenionymi strefami uskoku wiąże się występowanie wód termalnych. Wody takie wykorzystywane były już od czasów rzymskich, m.in. w termach zbudowanych na obrzeżach wysadu Dabiddab, w Hammam Mallegue, gdzie występują ciepłe wody chlorkowo-sodowo-magnezowe (Ryc. 1 stanowisko e;

One of the active zinc and lead ore mines is located within the Kebbouch Salt Structure. Mining focuses on deposits located in and near tectonic zones within the gypsum-dolomite-marl caprock developed above extruded Triassic evaporites. Mineralization is similar to that in the Ech Cheid Diapir region (Fig. 1, site b, and Fig. 4), and underground mining is conducted using the cut-and-fill method. It is estimated that the Diapir Zone has so far yielded approximately 1 Mt of lead, 1.5 Mt of zinc, 41 Mt of iron, and 0.4 Mt of barite.

A complex system of faults formed in the overburden of Triassic evaporites also contributed to the fracturing and karstification of Mesozoic and Cenozoic carbonate rock formations, which subsequently became valuable freshwater reservoirs. Springs emerging in these tectonic zones provide the main source of water for many communities in the Atlas interior, including the area around the largest city of the Diapir Zone and one of the oldest cities in Tunisia – El Kef (Fig. 5). The presence of such freshwater sources was one of the primary factors for the establishment and development of civilization centres in the Atlas since prehistoric times, including some of the most famous Roman towns in the region: Thugga and Bulla Regia.

Furthermore, deep fault zones are associated with the occurrence of thermal waters. Such waters have been used since Roman times, for example, in the thermal baths erected on the edge of the Dabiddab dome in Hammam Mallegue, where warm sodium-magnesium-chloride waters occur (Fig. 1, site e,



**Ryc. 5.** El Kef – największe miasto strefy diapirów solnych i jedno z najstarszych miast Tunezji. A – kolaż historii miasta w ujęciu architektonicznym: z ruin miasta kartagińskiego (*Sicca*) zbudowano miasto rzymskie (*Sicca Veneria*), po którym pozostały m.in. relikty łaźni (strop kamiennej cysterny wskazany strzałką), na nich zbudowano nowe miasto w okresie arabsko-otomańskim (El Kef), a ostatecznie przeszłość zwiędziły budowle z czasów współczesnych. B – Pomimo burzliwej historii, kanały deszczowe z czasów rzymskich na niektórych ulicach miasta służą do dziś. Lokalizacja na Ryc. 1.

**Fig. 5.** El Kef – the largest city in the Diapir Zone and one of the oldest cities in Tunisia. A – a collage of the city's history from an architectural perspective: the ruins of the city from the Carthaginian period (*Sicca*) gave rise to a Roman city (*Sicca Veneria*), from which, among others, relics of Roman baths remained (the ceiling of a stone cistern indicated by an arrow), upon which a new city was built in the Ottoman period, and finally, the past was crowned by modern structures. B – In spite of its turbulent history, rainwater channels from Roman times are still in use on some streets today. Location in Fig. 1.



**Ryc. 6.** Wykorzystywana do dziś łaźnia z czasów rzymskich z wodami termalnymi w Hammam Mallegue. Lokalizacja na Ryc. 1.

**Fig. 6.** The Roman-era baths with thermal waters in Hammam Mallegue, still in use today. Location in Fig. 1.

Ryc. 6). Są to jedyne termy na świecie funkcjonujące od czasów rzymskich do dziś!

Zmiany reżimu tektonicznego na przełomie kredy i paleogenu oraz początek kompresyjnej tektoniki solnej przyczyniły się do istotnej zmiany w środowiskach sedymentacyjnych obszaru Atlasu. Doszło wówczas do znacznego spłylenia basenów morskich i relatywnie gwałtownej zmiany sedymentacji z węglanowej na klastyczną. Zmiana ta koreluje się ze zmianami światowego poziomu oceanu, jak również z okresem wielkiego wymierania fauny i flory na granicy kredy i paleogenu, przypisywanego kosmicznej kolizji, tj. zderzeniu asteroidy z Ziemią. Zapisem tego wydarzenia jest tzw. warstwa irydowa. Stratotypowy profil granicy kreda-paleogen z warstwą irydową udokumentowano również w okolicy El Kef (Molina i in., 2006; Jones i in., 2023). Niepozorna warstwa irydowa osiąga tam zaledwie milimetrową miąższość i zbudowana jest z brązowego goethytu wzbogaconego w iryd i nikloosne spinele (Ryc. 1 stanowisko c; Ryc. 7). Wyznacza ona epizod masowego wymierania organizmów na Ziemi ok. 201,3 mln lat temu. W basenie morskim rejonu Atlasu wyginęło ok. 90-95% fotosyntezujących mikroorganizmów o skorupkach węglanowych, co przyczyniło się do rozwoju warunków anoksydacyjnych w basenach wczesnego paleocenu.



**Ryc. 7.** Stratotypowy profil granicy kredy i paleogenu w rejonie El Kef. Czas katastrofy kosmicznej i masowego wymierania organizmów zapisany jest w subtelnej warstewce bogatej wzbogaconej w iryd (wskazana strzałką). Lokalizacja na Ryc. 1.

**Fig. 7.** Stratotype profile of the Cretaceous-Paleogene boundary in the area of El Kef. The period of the cosmic catastrophe and mass extinction is recorded in a subtle iridium-enriched layer (indicated by the arrow). Location in Fig. 1.

and Fig. 6). These are the only thermal baths in the world that have been in continuous operation since Roman times!

The change in the tectonic regime at the Cretaceous-Paleogene boundary and the onset of compressional salt tectonics led to a significant change in the sedimentary environment of the present Atlas Mountains area. A major shallowing event took place in marine basins, resulting in a relatively sudden shift in sedimentation from carbonate to clastic sediments. This change correlates with global sea level rise as well as the period of the great extinction of fauna and flora at the Cretaceous-Paleogene boundary, which coincided with the asteroid impact event. The so-called iridium layer is a record of this cosmic event. A stratotype profile of the Cretaceous-Paleogene boundary with the iridium layer is also documented in the area of El Kef (Jones et al., 2023). The inconspicuous iridium layer is only a millimetre thick, consisting of brown-

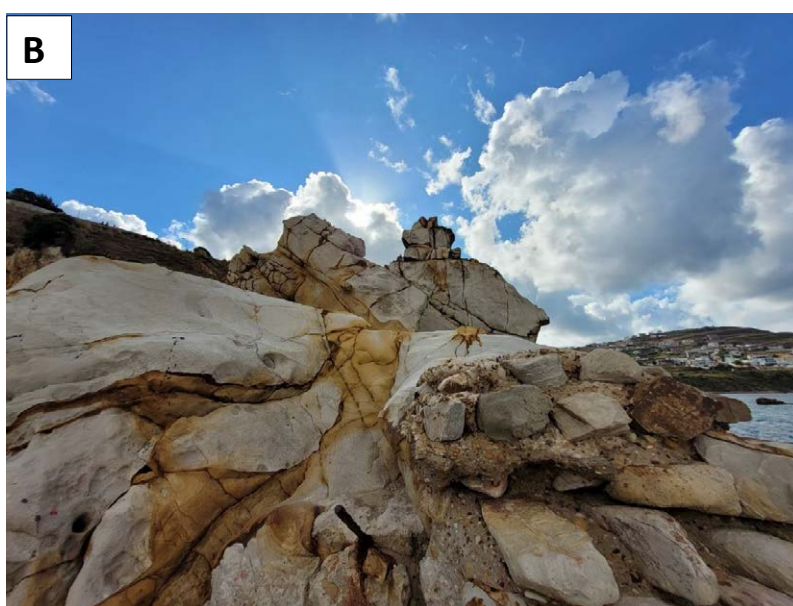
Tektonika solna pośrednio przyczyniła się również do powstania w północno-zachodniej Tunezji wielu spektakularnych form morfologicznych, m.in. form występujących w rejonie miasta Tabarka, określanych jako Igllice Tabarki (fr. *Aiguilles de Tabarka*). Buduje je ciąg masywnych, grubych bloków bogatego w żelazo piaskowca kwarcowego, o długości ok 10 m każdy. Same iglice osiągnęły wysokość ok. 25 m (Ryc.1 stanowisko f; Ryc. 8). Piaskowce należą do formacji fliszu numidyjskiego, a towarzyszą im iłowce, iłołupki, mułowce oraz zlepieńce. Jest to sekwencja turbidytów, osiągnęła maks. 2 000–2 600 m miąższości (Stow i in., 2009, Fildes i in., 2010, Riahi i in., 2010, Pinter i in., 2016), która osadzona została w głębokowodnym maghrebskim basenie fliszowym, istniejącym między Europą a Afryką w czasie ostatecznego zamykania oceanu Tetydy. Cała formacja jest datowana na wczesny oligocen-wczesny miocen (Belayouni i in., 2010; Fildes i in., 2010; Riahi i in., 2010; Belayouni i in., 2023). W czasie formowania się łańcucha Atlasu seria fliszu numidyjskiego została nasunięta z NW na SW, tzn. z maghrebskiego basenu fliszowego na północną krawędź kontynentu afrykańskiego (Stow i in., 2009, Fildes i in., 2010, Riahi i in., 2010, Belayouni i in., 2023). W wyniku przemieszczeń fałdowo-nasuwczych w strefach frontalnych nasunięć doszło do rotacji warstw sekwencji turbidytowej niemal do pionu. Selekttywne wietrzenie fizyczne i chemiczne usunęło większość

ish goethite enriched in iridium and nickel-bearing spinels (Fig. 1, site c, and Fig. 7). It marks the episode of mass extinction of organisms on Earth around 201.3 Ma ago. In the marine basin of the Atlas region, approximately 90–95% of photosynthetic microorganisms with carbonate shells died, contributing to the development of anoxic conditions in the early Paleocene basins.

Salt tectonics also indirectly contributed to the formation of many spectacular morphological features in northwestern Tunisia, including those found near the town of Tabarka, known as the Tabarka Needles (French: *Aiguilles de Tabarka*). They consist of a series of massive, thick blocks of ferruginous quartz sandstones, each approximately 10 meters long. The spiers (“needles”) themselves reach a height of approximately 25 meters (Fig. 1, site f, and Fig. 8). The sandstones belong to the Numidian Flysch formation and are accompanied by claystones, shales, mudstones, and conglomerates. This sequence of turbidites reaches a maximum thickness of 2,000–2,600 m (Stow et al., 2009; Fildes et al., 2010; Riahi et al., 2010; Pinter et al., 2016) and was deposited in the deep-water Maghrebian Flysch Basin that existed between Europe and Africa during the final closure of the Tethys Ocean. The entire formation is dated to the Early Oligocene–Early Miocene (Belayouni et al., 2010; Fildes et al., 2010; Riahi et al., 2010; Belayouni et al., 2023).



Ryc. 8. Tabarka, Igllice Tabarki.  
Fig. 8. Tabarka, Tabarka Needles.



**Ryc. 9.** A, B. Tabarka, Iglice Tabarki, formacja piaskowców numidyjskich tworzących malownicze postrzępione skałki na wybrzeżu Morza Śródziemnego.

**Fig. 9.** A, B. Tabarka, Tabarka Needles, beds of Numidian Fm sandstones forming picturesque jagged rocks on the Mediterranean coast.

najmniej odpornych warstw iłolupkowych i mułowcowych, pozostawiając ostańce bardziej odpornych ławic piaskowców, które obecnie tworzą postrzępione skałki, niekiedy łuki oraz iglice skalne (Ryc. 9).

#### ARCHEOLOGICZNE PERELKI PÓLNO-CNO-ZACHODNIEJ TUNEZJI

W rejonie tunezyjskiego Atlasu występuje kilka unikatowych obiektów archeologicznych i architektonicznych. Część z nich wpisana jest na listę światowego dziedzictwa kulturowego UNESCO (medyna w Tunisie i stanowisko ar-

During the formation of the Atlas Mountains, the Numidian flysch series was thrust from the NW to the SW, i.e., from the Maghreb Flysch Basin onto the northern margin of the African continent (Stow et al., 2009; Fildes et al., 2010; Riahi et al., 2010; Belayouni et al., 2023). As a result of fold-and-thrust displacements, layers of the turbidite sequence in the frontal zones of the overthrusts rotated almost to a vertical arrangement. Selective physical and chemical weathering removed the least resistant claystone and mudstone layers, exposing individual beds of more resistant sandstones, which now form jagged rocks and rock spires (Fig. 9).

cheologiczne Kartaginy od roku 1979, stanowisko archeologiczne Thugga od roku 1997), część aspiruje do tej listy (jak np. miejscowość Sidi Bou Said w okolicach Tunisu oraz stratotypowy profil granicy kredy i paleogenu z rejonu El Kef), a część objęta jest ochroną w ramach programu krajowego. Cały obszar Atlasu usiany jest relikami architektonicznymi i infrastrukturalnymi z okresu rzymskiego, obejmującymi całe miasta (jak Bulla Regia), ich części (np. w El Kef) jak i pojedyncze budowle, termy, akwedukty i trakty. Większość budowli i obiektów inżynierskich zbudowana została z lokalnych surowców skalnych, głównie z wapieni, a w mniejszym stopniu z piaskowców. Często wykorzystywano wapienie numulitowe i inne zawierające skamieniałości. Z tego względu obecnie są to również interesujące obiekty do studiów paleontologicznych.

**Thugga** (fr. Dougga) to stanowisko archeologiczne, położone ok. 4,5 km na południe od Tébourouk. Zajmuje powierzchnię ok. 70 ha i uznawane jest za najlepiej zachowany przykład rzymskiej architektury i urbanistyki w północnej Tunezji. Miasto założono w strategicznym miejscu, na skrzyżowaniu dróg handlowych, na wzgórzu (ok 600 m n.p.m.), 100-110 km na zachód od dzisiejszego Tunisu. Najstarsza wzmianka o tym punickim mieście pochodzi z 307 roku p.n.e. w kontekście kampanii wojennej w Afryce prowadzonej przez tyrana Syrakuz – Agatoklesa. Ok. roku 150 p.n.e. Thuggę włączono do Numidii, a po zwycięstwie Rzymu nad Kartaginą w 146 roku p.n.e. miasto weszło w skład rzymskiej prowincji afrykańskiej (Afryka Prokonsularna). Straciło na znaczeniu i podpadło w okresie bizantyjskim, a w 698 roku zajęli je Arabowie (Bahn, 2019, Aounallah i in., 2021).

Na terenie tego stanowiska archeologicznego znajduje się kilka wyjątkowych obiektów, w tym m.in.:

- Mauzoleum Atebana (wzorowany na mauzoleum w Halikarnasie), mający formę trójkondygnacyjnej, czworokątnej wieży zwieńczonej piramidą Mauzoleum zdobią płaskorzeźby oraz zachowana punicko-libijska inskrypcja, której wiek jest szacowany na III/II p.n.e.
- Kapitol (poświęcony Jowiszowi, Junonie i Minerve; Ryc. 10), wzniesiony w 166 n.e., obok którego znajduje się plac z wyjątkową mozaiką przedstawiającą różę wiatrów,
- Odnowiony amfiteatr (Ryc. 11) z 168 roku n.e., w którym mogło zasiadać ok. 3500 widzów, a także
- Łaźnie Licyniańskie, łuk triumfalny Septymiusza Sewera,
- świątynie, w tym Saturna, Junony Celestis, a także Merkurego, Plutona, Fortuny, Wenus, niektóre z początku III wieku n.e. (Khanoussi, 2003, Khanoussi i in., 2004, Aounallah i in., 2021).

W Thugga można podziwiać ruiny rzymskich willi, domów mieszkalnych, forum, łaźnie, cysterny, akwedukty oraz dobrze zachowaną sieć dróg z kanalizacją.

## ARCHAEOLOGICAL GEMS OF NORTHWESTERN TUNISIA

The Tunisian Atlas region boasts several unique archaeological and architectural sites. Some are listed as UNESCO World Heritage Sites (the Medina of Tunis and the archaeological site of Carthage since 1979, and the archaeological site of Thugga since 1997), some aspire to this list (such as the village of Sidi Bou Said near Tunis and the stratotype profile of the Cretaceous-Paleogene boundary in the El Kef area), and others are protected under a national program.

The entire Atlas region is abundant in architectural and infrastructural relics from the Roman period, including entire towns (such as Bulla Regia), parts of them (e.g., El Kef), as well as individual buildings, thermal baths, aqueducts, and roads. Most of the buildings and engineering structures were constructed from local rock materials, primarily limestone, and to a lesser extent, sandstone. Numulitic limestones and other fossil-bearing limestones were frequently used, making them interesting objects for paleontological study.

**Thugga** (French: Dougga) is an archaeological site located approximately 4.5 km south of Tébourouk. Covering approximately 70 hectares, it is the best-preserved example of Roman architecture and urban planning in northern Tunisia. The city was founded in a strategic location at a road junction, on a hill approximately 600 m above sea level, 100–110 km west of Tunis. The oldest mention of this Punic city dates back to 307 BC in connection with a war in Africa led by Agathocles, the tyrant of Syracuse. Around 150 BC, Thugga was incorporated into Numidia, and after the Roman conquest of Carthage in 146 BC, it became part of Roman Africa (Proconsular Africa). It lost importance and fell into decline during the Byzantine period and, in 698, was occupied by the Arabs (Bahn, 2019; Aounallah et al., 2021).

This archaeological site contains several unique structures, including:

- The Mausoleum of Ateban (modeled after the Mausoleum at Halicarnassus), a three-story quadrangular tower topped by a pyramid, decorated with bas-reliefs and a preserved Punic-Libyan inscription, is estimated to date from the 3rd or 2nd century BCE.
- The Capitol (dedicated to Jupiter, Juno, and Minerva; Fig. 10), built in 166 CE, next to which is a square with a unique mosaic depicting a compass rose.
- The renovated amphitheatre (Fig. 11) from 168 CE, which could seat approximately 3,500 spectators, as well as the Licinian Baths and the triumphal arch of Septimius Severus.
- Temples, including those of Saturn, Juno Celestis, Mercury, Pluto, Fortune, and Venus, some dating back to the early 3rd century CE (Khanoussi, 2003; Khanoussi et al., 2004; Aounallah et al., 2021).



Ryc. 10. Thugga, Kapitol.  
Fig. 10. Thugga, Capitol.

**Bulla Regia** to stanowisko archeologiczne położone ok. 10 km na północ od miasta Jendouba, w północno-zachodniej części Tunezji. Ta pierwotnie punnicka osada została założona prawdopodobnie przed V w. p.n.e., na płaskowyżu Mejerda, ponad 600 m n.p.m. Od roku 156 p.n.e. pełniła funkcję stolicy Numidii, stąd nazwa *Bulla Regia* oznaczająca „Królewską Bullę”. W 46 roku p.n.e. miasto podbił Juliusz Cezar i przyłączył do rzymskiej prowincji afrykańskiej (Afryka Prokonsularna). Miało status *civitas libera* (wolnego miasta) (Wilson, 2015). Straciło na znaczeniu i podupadło w okresie bizantyjskim, a w 698 roku zajęli je Arabowie. Ostatecznie miasto zostało zniszczone przez trzęsienie ziemi, opuszczone, stopniowo przysypane przez piaski i zapomniane. W 1906 roku francuska ekspedycja rozpoczęła pierwsze wykopaliska; prace na tym stanowisku są kontynuowane.

Na terenie tego obiektu archeologiczne zachowały się:

- Kapitol (poświęcony Jowiszowi, Junonie i Minervie),
- świątynie Apollina, Izydy i Saturna,
- amfiteatr i biblioteka,
- łaźnie publiczne (w tym Łaźnie Memmijskie – Julli Memmii), a także
- forum, bazyliki.

Plan miasta oparty był na hellenistycznej siatce ulic. Na terenie Bulla Regia odsłonięto pozostałości domów, którym nadano nazwy, np. Dom Amfitryty (Ryc. 12), Dom Orfeusza, Dom Fauna, Dom Łowiecki/Polowania, Nowy Dom Łowiecki/Polowania, Dom Rybaka, Dom Mozaik, Skarbiec, nawiązując do odkrytego motywu kunsztownych mozaik zdobiących posadzki w tych obiektach. Te mozaiki są uznawane za jedne z najlepiej zachowanych i najpiękniejszych w całej Afryce Północnej. Przedstawiają sceny mitologiczne, zwierzęta i motywy geometryczne (<https://web.archive.org/>). Część z tych domów była dwupiętrowa. W tych luksusowych rezydencjach dolna kondygnacja znajdowała się częściowo pod ziemią, a górna – nad ziemią. Dolne piętro było wykorzystywane najprawdopodobniej latem w celu izolacji przed



Ryc. 11. Thugga, amfiteatr.  
Fig. 11. Thugga, amphitheater.

In Thugga, one can admire the ruins of Roman villas, residential houses, a forum, baths, cisterns, aqueducts, and a well-preserved road network with a sewage system.

**Bulla Regia** is an archaeological site located approximately 10 km north of Jendouba, in northwestern Tunisia. This originally Punic settlement was probably founded before the 5th century BC on the Mejerda Plateau, over 600 m above sea level. From 156 BC, it served as the capital of Numidia, hence the name Bulla Regia, meaning “Royal Bull.” In 46 BC, the city was conquered by Julius Caesar and incorporated into the Roman province of Africa (Africa Proconsular). It held the status of a *civitas libera* (free city) (Wilson, 2015). It declined during the Byzantine period and, in 698 AD, was occupied by the Arabs. Ultimately, the city was destroyed by an earthquake, abandoned, gradually buried by sand, and forgotten. In 1906, a French expedition began the first excavations; work at the site continues.

Archaeological remains include:

- The Capitol (dedicated to Jupiter, Juno, and Minerva),
- Temples of Apollo, Isis, and Saturn,
- An amphitheatre and library,
- Public baths (including the Memmian Baths – Julia Memmia),
- A forum and basilicas.

The city plan was based on the Hellenistic street grid. Remains of houses were discovered and given names such as the House of Amfitrite (Fig. 12), the House of Orpheus, the House of the Faun, the Hunting House, the New Hunting House, the House of the Fisherman, the House of Mosaics, and the Treasury, reflecting the elaborate mosaics decorating the floors. These mosaics are considered among the best-preserved and most beautiful in North Africa, depicting mythological scenes, animals, and geometric motifs (<https://web.archive.org/>).

Some houses were two-story; the lower floor was partially underground for summer insulation, while the upper floor was

nadmiernym upałem, natomiast górne – zimą (Ryc. 13). Mozaikowe posadzki pełniły funkcję klimatyzacji – polewane wodą w gorące dni – parując, chłodziły. Większość budowli wzniesionych w tym miejscu pochodzi z II i III wieku p.n.e. (Beschaouch i in., 1977, Moormann, 2011, <https://www.wmf.org/projects/bulla-regia>).

**Tunis** to stolica i największe miasto Tunezji, położone w północnej części kraju, na wybrzeżu Morza Śródziemnego. Jest ważnym centrum politycznym, gospodarczym i kulturalnym państwa, łączącym nowoczesność z bogatą historią sięgającą starożytności. Historycznym sercem Tunisu jest medyna. Jest jednocześnie jednym z najlepiej zachowanych zespołów staromiejskich w świecie arabskim. Powstała w VII wieku wraz z rozwojem miasta islamskiego i do dziś zachowała średniowieczny układ urbanistyczny. Medyna to labirynt wąskich uliczek, suków i dziedzińców, w których koncentruje się tradycyjne życie miasta. Znajdują się tu liczne zabytki, m.in. Wielki Meczet Zajtuna, medresy, pałace, hammamy. Jest to także ważne centrum rzemiosła i handlu, gdzie można kupić rękodzieło, przyprawy i wyroby lokalne, a całość tworzy wyjątkową atmosferę łączącą historię, kulturę i codzienność Tunisu.

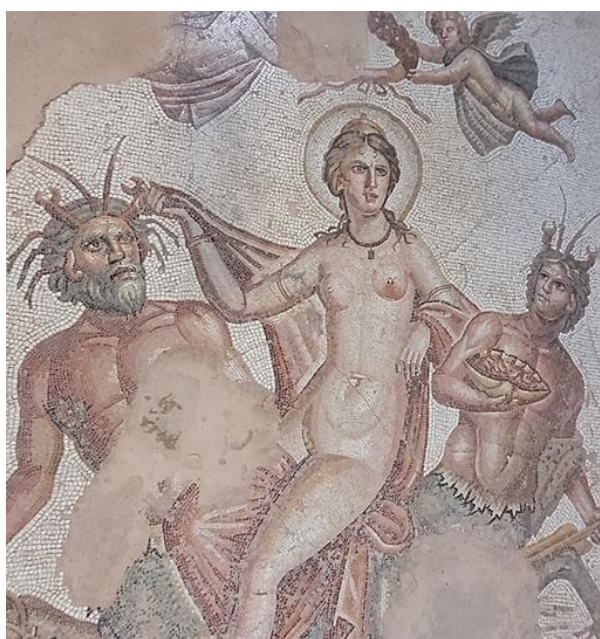
**Sidi Bou Said** to urokliwa miejscowość, obecnie w aglomeracji Tunisu, położona na stromym wzgórzu nad Morzem Śródziemnym. Jest znana z jednolitej, biało-niebieskiej architektury: białych ścian domów, niebieskich drzwi, okien i zdobionych bram (Ryc. 14). Wąskie, brukowane uliczki, kwiaty bugenwilli i liczne galerie sztuki tworzą wyjątkowy, spokojny klimat. Nazwa miejscowości pochodzi od XIII-wiecznego mistyka sufickiego Abu Said ibn Khalef ibn Yahia Al-Tamimi Al-Baji, którego mauzoleum znajduje się na wzgórzu. Od

used in winter (Fig. 13). Mosaic floors served as air conditioning—sprinkled with water on hot days, they cooled the air as it evaporated. Most structures date from the 2nd and 3rd centuries BC (Beschaouch et al., 1977; Moormann, 2011; <https://www.wmf.org/projects/bulla-regia>).

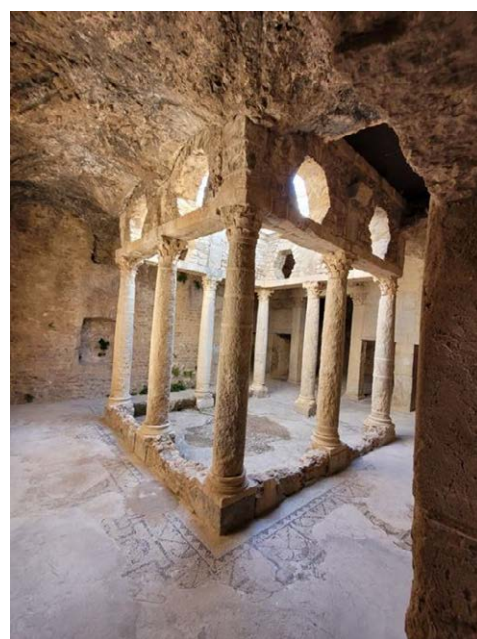
**Tunis**, the capital and largest city of Tunisia, is located in the northern part of the country on the Mediterranean coast. It is an important political, economic, and cultural centre, combining modernity with a rich history dating back to antiquity. The historic heart of Tunis is the medina, one of the best-preserved old town complexes in the Arab world. Founded in the 7th century alongside the development of the Islamic city, it retains its medieval urban layout. The medina is a labyrinth of narrow streets, souks, and courtyards, housing numerous historical monuments, including the Great Mosque of Zaytoun, madrasas, palaces, and hammams. It is also an important centre of crafts and commerce, offering handicrafts, spices, and local products, combining history, culture, and everyday life.

**Sidi Bou Said**, now part of the Tunis metropolitan area, is a charming village on a steep hill overlooking the Mediterranean Sea. It is known for its uniform blue and white architecture: white walls, blue doors, windows, and ornate gates (Fig. 14). Narrow cobblestone streets, bougainvillea, and art galleries create a peaceful atmosphere. The village is named after the 13th-century Sufi mystic Abu Said ibn Khalef ibn Yahia Al-Tamimi Al-Baji, whose mausoleum is on the hill. Since the early 20th century, it has attracted artists, writers, and musicians, becoming a symbol of Tunisian culture and art. Today, it is one of Tunisia's most recognizable attractions.

**Carthage** is a unique archaeological site located approximately 15 km from Tunis. Carthage was an ancient city-state



Ryc. 12. Bulla Regia, mozaika w Domu Amfitryty.  
Fig. 12. Bulla Regia, a mosaic in the House of Amphitrite.



Ryc. 13. Bulla Regia, dolna kondygnacja rezydencji.  
Fig. 13. Bulla Regia, lower floor of a residence.

początku XX wieku miejsce to przyciągało artystów, pisarzy i muzyków, stając się symbolem kultury i sztuki Tunezji. Dziś Sidi Bou Said jest jedną z najbardziej rozpoznawalnych atrakcji kraju. Spacerując jej uliczkami można podziwiać piękne widoki na Zatokę Tuniską, tradycyjne kawiarnie oraz zabytkowe pałace, a także zwiedzić wnętrza jednego z zabytkowych domów mieszkalnych – Dar El Annabi.

**Kartagina** jest unikatowym stanowiskiem archeologicznym usytuowanym ok. 15 km od Tunisu. Kartagina była starożytnym miastem-państwem położonym w Afryce Północnej, na terenie dzisiejszej Tunezji. Została założona ok. 814 r. p.n.e. przez Fenicjan z Tyru jako ważny ośrodek handlowy nad Morzem Śródziemnym. Dzięki flocie i kupiectwu Kartagina szybko stała się potęgą morską, kontrolując handel w zachodniej części Morza Śródziemnego. Największym rywalem Kartaginy był Rzym. Konflikt między nimi doprowadził do trzech wojen punickich (lata 264–146 p.n.e.), z których najślynniejsza była druga wojna punicka z udziałem wodza Hannibala. Ostatecznie Kartagina została pokonana w trzeciej wojnie punickiej, zburzona w 146 r. p.n.e., a jej mieszkańcy sprzedani w niewolę. Później Rzymianie założyli na tym miejscu nowe miasto rzymskie. Na terenie tego stanowiska archeologicznego znajdują się m.in.:

- Termy Antoniusza – jedne z największych i najlepiej zachowanych łaźni rzymskich w Afryce Północnej, zbudowany w II wieku n.e., za panowania cesarza Antoninusa Piusa. Pełniły one ważną funkcję społeczną oraz rekreacyjną. Kompleks obejmował sale z gorącą, ciepłą i zimną wodą, baseny, gimnazja oraz ogrody. Był bogato zdobiony marmurami i mozaikami, a jego monumentalna architektura świadczyła o potędze i znaczeniu rzymskiej Kartaginy (Ryc. 15). Zachowane do dziś ruiny, reprezentują jedynie potężne podziemia term i fragmenty murów, jednak pozwalają wyobrazić sobie skalę i splendor tego miejsca.
- Wzgórze Byrsa – najważniejsze i najstarsze miejsce starożytnej Kartaginy, gdzie znajdowało się pierwotne centrum miasta założone przez fenicką królową Dydonę. Pełniło funkcję akropolu i serca życia religijnego oraz

located in North Africa, in present-day Tunisia. Founded around 814 BC by Phoenicians from Tyre as a major trading centre on the Mediterranean Sea, Carthage quickly became a maritime power thanks to its fleet and trade in the western Mediterranean. Carthage's greatest rival was Rome. The conflict between them led to three Punic Wars (264–146 BC), the most famous of which was the Second Punic War, fought by Hannibal. Ultimately, Carthage was defeated in the Third Punic War, destroyed in 146 BC, and its inhabitants were sold into slavery. The Romans later founded a new Roman city on the site. This archaeological site includes:

- Antonius Baths – one of the largest and best-preserved Roman baths in North Africa, built in the 2nd century AD

during the reign of Emperor Antoninus Pius. They served important social and recreational functions. The complex included halls with hot, warm, and cold water, swimming pools, gymnasiums, and gardens. Richly decorated with marble and mosaics, its monumental architecture testified to the power and importance of Roman Carthage (Fig. 15). The ruins preserved today represent only the vast basement of the baths and fragments of the walls, but they offer a glimpse into the scale and splendour of this site.

- Byrsa Hill – the most important and oldest site of ancient Carthage, the site of the original city centre founded by the Phoenician Queen Dido. It served as an acropolis and the heart of Carthaginian religious and political life. In Punic times, Byrsa was densely built

up with temples and houses (Fig. 16), and after the destruction of Carthage by the Romans, it was rebuilt as a Roman administrative centre. Today, the hill is home to the Cathedral of St. Louis and the National Museum of Carthage, and numerous archaeological excavations reveal the remains of Punic and Roman architecture.

## SUMMARY

Northwestern Tunisia is one of the most interesting areas for studying salt tectonics and the role of evaporites in shaping regional geological structures, which can be analyzed



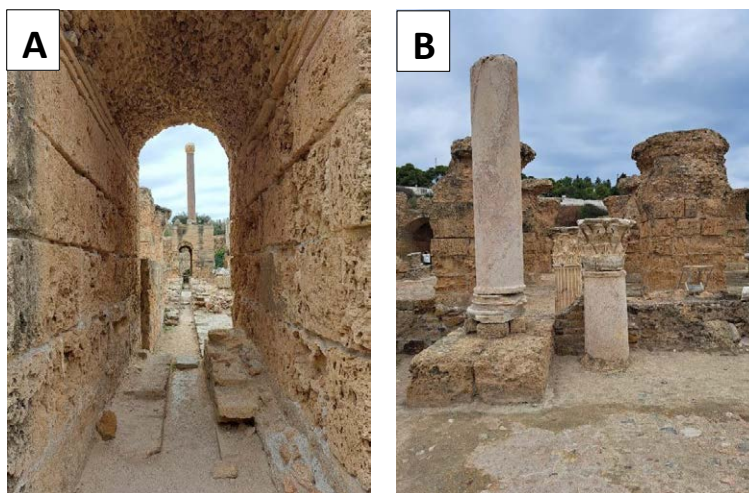
Ryc. 14. Malownicza uliczka Sidi Bou Said.

Fig. 14. Picturesque street of Sidi Bou Said.

politycznego Kartagińczyków. W czasach punickich Byrsa była gęsto zabudowana świątyniami i domami (Ryc. 16), a po zniszczeniu Kartaginy przez Rzymian została przebudowana na rzymskie centrum administracyjne. Dziś na wzgórzu znajduje się katedra św. Ludwika oraz Muzeum Narodowe Kartaginy, a liczne wykopaliska archeologiczne ukazują pozostałości zabudowy punickiej i rzymskiej.

### PODSUMOWANIE

Północno-zachodnia Tunezja jest jednym z ciekawych obszarów do studiowania zagadnień tektoniki solnej i roli ewaporatów w kształtowaniu regionalnej budowy geologicznej, gdyż obecnie można ją analizować zarówno w bezpośrednich badaniach powierzchniowych oraz na bazie danych geofizycznych. Ok.100-letnia historia badań struktur solnych w Tunezji pozwoliła odtworzyć dość precyzyjnie kształt i ewolucję części z nich, niemniej budowa i ewolucja wielu struktur wciąż pozostaje przedmiotem dyskusji. Przegląd literatury naukowej wskazuje, iż istnieje pewne podobieństwo w ewolucji struktur solnych na obszarze Polski i Tunezji w zakresie dwuetapowości ich rozwoju: najpierw następował wzrost struktur diapirowych w warunkach ekstensji litosfery i długotrwałej subsydencji intrakontynentalnego basenu sedymentacyjnego (w Polsce od permu po późną kredę), a następnie ich kształt został przebudowany podczas inwersji basenu sedymentacyjnego w warunkach kompresyjnych (w Polsce również między późną kredą a wczesnym paleogenem). Z powyższego względu wiedzę o budowie struktur solnych i ich ewolucji na obszarze Tunezji można wykorzystać do studiów porównawczych w zakresie rozwoju struktur solnych na obszarze Polski, gdzie w interpretacjach bazujemy jedynie na skąpych danych otworowych i danych sejsmicznych. Walorem wyprawy naukowej do Tunezji była niewątpliwie możliwość zgłębienia zagadnień niedostępnych do obserwacji w Polsce: relacji ewaporatów z intruzywnymi ciałami magmowymi, roli struktur solnych w formowaniu złóż surowców rudnych oraz stratotypowego stanowiska granicy kredy i paleogenu, wyznaczającej okres



**Ryc. 15.** A, B. Kartagina, pozostałości term Antoniusza.  
**Fig. 15.** A, B. Carthage, remains of the Baths of Antonius.

both through direct surface studies and geophysical data. Approximately 100 years of research on salt structures in Tunisia have enabled a relatively precise reconstruction of some structures, although many remain debated. Literature review shows similarities between the evolution of salt structures in Poland and Tunisia, with two-stage development: first, diapiric structures grew under lithospheric extension and long-term subsidence of an intracontinental sedimentary basin (in Poland, from the Permian to Late Cretaceous); second, they were geometrically rearranged during basin inversion under compressional conditions (in Poland, between the Late Cretaceous and Early Paleogene).

Therefore, knowledge of salt structures in Tunisia can be used for comparative studies in Poland, where interpretations rely on limited borehole and seismic data. The scientific expedition to Tunisia offered the opportunity

to explore geological sites otherwise unavailable in Poland, including the relationship between evaporites and intrusive igneous bodies, the role of salt structures in ore deposit formation, and the stratotype site of the Cretaceous-Paleogene boundary, marking a major shift in Earth's life evolution. An additional advantage was exploring Tunisia's unique historical and cultural heritage.



**Ryc. 16.** Kartagina, ruiny punickich domostw na wzgórzu Byrsa.  
**Fig. 16.** Carthage, ruins of Punic houses on Byrsa Hill.

dramatycznej zmiany w ewolucji życia na Ziemi. Niewątpliwą zaletą była również możliwość poznania unikalnego dziedzictwa historycznego i kulturowego Tunezji.

#### PODZIĘKOWANIA

Materiały do artykułu zebrano podczas wyprawy naukowej Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego w dniach 22-29.09.2025 r. Autorzy dziękują Zarządowi za podjęcie wyzwania organizacji tego wyjazdu.

#### LITERATURA/REFERENCES

- AMRI Z., NAJI C., MASROUHI A., BELLIER O., 2020. Interconnection salt diapir–allochthonous salt sheet in northern Tunisia: The Lansarine–Baoula case study. *Journal of African Earth Sciences* 170, 103876 p.
- AOUNALLAH S., BROUQUIER-REDDÉ V., ABIDI H., BEN ROMDHANE H., CHÉRIF A., CUZEL P., 2021. Topographie, architecture et épigraphie culturelle de Dougga. [In:] De Carthage à Carthagène, Bâtir En Afrique Et En Ibérie Durant l'Antiquité. L. Ben Abid, F. Prados Martinez, Mohamed Gira (Eds). IN-APH, Colleccion PETRACOS 4: 445–483.
- AYED-KHALED, A., ZOUAGHI, T., ATAWA, M., GHANMI, M., 2015. New evidence on the geologic setting of Medjerda Valley plain (northern Tunisia) from integrated geophysical study of Triassic evaporite bodies. *Annals of Geophysics* 58 (3) S0326.
- BAHN P. (red.), 2019. Historia archeologii. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- BELAYOUNI H., BRUNELLI D., CLOCCHIATTI R., BRUNELLI D., CLOCCHIATTI R., DI STASO A., HASSANI I.E.E.A.E., GUERRERA F., KASSAA S., OUAZAA N.L.M., MANUEL M.M., SERRANO F., TRAMONTANA M., 2010. La Galite Archipelago (Tunisia, North Africa): stratigraphic and petrographic revision and insights for geodynamic evolution of the Maghreb Chain. *Journal of African Earth Sciences* 56: 15–28.
- BELAYOUNI H., GUERRERA F., MARTIN-MARTIN M., LE BRETON E., TRAMONTANA M., 2023. The Numidian formation and its Lateral Successions (Central-Western Mediterranean): a review. *International Geology Review* 65 (22): 3570–3602; <https://doi.org/10.1080/00206814.2023.2199429>
- BESCHAOUCH A., HANOUNE R., THÉBERT Y., 1977. Les ruines de Bulla Regia. *Collection de l'École française de Rome* 28, 144 p.
- FILDES C., STOW D., RIAHI S., SOUSSI M., PATEL U., MILTON A.J., MARSH S., 2010. European provenance of the Numidian Flysch in northern Tunisia. *Terra Nova* 22: 94–102.
- GHARBI M., BOOTE D., MOUAKHAR H., GABTNI H., GRAVELEAU F., SOUA M., 2024. Role of the pre-orogenic rifting and preexisting Mesozoic salt tectonics on the deformation of the Southern Atlas front of Tunisia. *Italian Journal of Geosciences* 143 (3): 345–364.
- JAILLARD E., BOUILLIN J-P., OUALI J., DUMONT T., LATIL J-L., CHIHAOUI A., 2017. Albian salt-tectonics in Central Tunisia: Evidences for an Atlantic-type passive margin. *Journal of African Earth Sciences* 135: 220–234.
- JALLOULLI CH., CHIKHAOUI M., BRAHAM A., TURKI M.M., MICKUS K., BENASSI R., 2005. Evidence for Triassic salt domes in the Tunisian Atlas from gravity and geological data. *Tectonophysics* 396: 209–225.
- JONES H.L., WESTERHOLD T., BIRCH H., HULL P., NEGRA M.H., RÖHL U., SEPÚLVEDA J., VELLEKOOP J., WHITESIDE J.H., ALEGRET L., HENEHANI M., ROBINSON L., VAN DIJK J., BRALOWER T., 2023. Stratigraphy of the Cretaceous/Paleogene (K/Pg) boundary at the Global Stratotype Section and Point (GSSP) in El Kef, Tunisia: New insights from the El Kef Coring Project. *Geological Society of America Bulletin* 135 (9/10): 241–247; <https://doi.org/10.1130/B36487.1>.
- KHANOUSSE M., 2003. L'évolution urbaine de Thugga (Dougga) en Afrique proconsulaire: de l'agglomération numide à la ville africo-romaine. CRAI.
- KHANOUSSE M., RITTER S., VON RUMMEL P., 2004. The German-Tunisian project at Dougga: First results of the excavations south of the Maison du Trifolium (Introduction en Français). *Antiquités africaines* 40-41: 43–66; <https://doi.org/10.3406/antaf.2004.1386>
- MOLINA E., ALEGRET L., ARENILLAS I., ARZ J.A., GALLALAN, HARDENBOL J., SALIS K.V., STEURBAUT E., VANDENBERGHE N., ZAGHBIB-TURKI D., 2006. The global boundary stratotype section and point for the base of the Danian stage (Paleocene, Paleogene, Tertiary, Cenozoic) at El Kef, Tunisia—original definition and revision: *Episodes* 29: 263–273.
- MOORMANN E.M., 2011. Divine Interiors: Mural Paintings in Greek and Roman Sanctuaries. Amsterdam University Press, 145 p.
- PERTHUISOT V., 1981. Diapirism in northern Tunisia. *Journal of Structural Geology* 3: 231–235.
- PINTER P.R., BUTLER R.W.H., HARTLEY A.J., MANISCALCO R., BALDASSINI N., DI STEFANO A., 2016. The numidian of sicily revisited: A thrust-influenced confined turbidite system. *Marine and Petroleum Geology* 78: 291–311; <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.09.014>.
- RIAHI S., MOHAMED S., BOUKHALFA K., BEN ISMAIL LATRACHE K., DORRIK S., KHOMSI S., BEDIR M., 2010. Stratigraphy, sedimentology and structure of the Numidian Flysch thrust belt in northern Tunisia. *Journal of African Earth Sciences* 57: 109–126.
- ROUVIER H., PERTHUISOT V., MANSOURI A., 1985. Pb-Zn Deposits and Salt-Bearing Diapirs in Southern Europe and North Africa. *Economic Geology* 80: 666–687.
- STOW D.A.V., RIAHI S., SOUSSIM., FILDES C., PATEL U., MARSH S., JOHANSSON M., 2009. Reservoir characteristics of deepwater massive sandstones: case studies from the Numidian Flysch and Mediterranean region. Abstract AAPG Annual Meeting, Denver.

- TROUDI H., TARI G., CANTARELLA G., ALOUANI W., 2017. Styles of salt tectonics in central Tunisia: an overview. [In:] Permo-Triassic Salt Provinces of Europe, North Africa and the Atlantic Margins. Tectonics and Hydrocarbon Potential. Elsevier Book, Chapter 25: 543-561.
- WILSON R.J.A., 2015. Oxford Classical Dictionary; <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199381135.013.1194>.
- YOVANOVITCH, B., 1922. La géologie du pétrole au Maroc. *Bulletin de la Societe Geologique de France* 22 (8–9): 234–245.
- ZOUAGHI, T., BÉDIR, M., AYED-KHALED, A., LAZZEZ, M., SOUA, M., AMRI, A., INOUBLI M., 2013. Autochthonous versus allochthonous Upper Triassic evaporites in the Sbiba graben, central Tunisia. *Journal of Structural Geology* 52: 163–182.  
<https://www.wmf.org/projects/bulla-regia> (data dostępu: 27.12.2025)  
[https://web.archive.org/web/20160304060746/http://looklex.com/tunisia/bulla\\_regia.htm](https://web.archive.org/web/20160304060746/http://looklex.com/tunisia/bulla_regia.htm) (data dostępu: 27.12.2025)