

Diagenetic history of the Podhale flysch basin

Diagenetyczna historia basenu fliszowego Podhala

Jan Środoń

Institute of Geological Sciences PAN, Senacka 1, 31-002 Kraków, Poland;

e-mail: ndsrodon@cyf-kr.edu.pl



Abstract: This text presents a one day field trip starting and ending in Zakopane, Poland, devoted to explaining geological history of the Tertiary flysch basin of Podhale, situated between the Tatra Mts. and the Pieniny Klippen Belt. The first stop demonstrates the rocks filling the Podhale Basin: sandstones, shales, and in particular bentonites, which are rare horizons of volcanoclastic origin, helpful in radiometric dating of the basin maximum burial. From the top of Wżar Hill (second geological stop), which itself is interesting from geotouristic standpoint for the quarries exposing its andesite sills, the topography of Podhale and Spišská Magura, which reflects higher rates of uplift in the east, is clearly visible. The flysch basin, which developed in Eocene, and in Oligocene covered entire region including the Tatra Mts., formed due to vertical down movement on the Ružbachy fault, and then, ca. 15-18 Ma ago was inverted and uplifted, again along the Ružbachy fault. The fault itself and the accompanying phenomena (thermal water discharge and travertine deposits) are visited at the final stop in Wyśné Ružbachy.

Key words: Carpathians, Podhale, Podhale flysch basin, Ružbachy fault, southern Poland, Spišská Magura, Tatra Mts.

Treść: Ten tekst przedstawia jednodniową wycieczkę geologiczną z Zakopanego, poświęconą prezentacji historii geologicznej trzeciorzędowego basenu fliszowego Podhala. Pierwszy punkt wycieczki poświęcony jest prezentacji skał wypełniających basen podhalański: piaskowców, łupków, a w szczególności bentonitów, czyli rzadkich poziomów skał pochodzenia piroklastycznego, pomocnych przy datowaniu radiometrycznym wieku maksymalnego pogrzebienia. Ze szczytu wzgórza Wżar (drugi punkt geologiczny wycieczki), które samo w sobie jest interesujące z geoturystycznego punktu widzenia, z uwagi na kamieniołomy odławiające sille andezytowe, widoczna jest dobrze topografia Podhala i Magury Spiskiej, zapisująca większe szybkości wynoszenia basenu na wschodzie. Basen fliszowy, założony w eocenie, w wyniku ruchu w dół na uskoku Ružbachów, w czasie oligocenu pokrywał cały region, włącznie z Tatrami. Basen ten od 15-18 Ma jest wynoszony, także wzdłuż uskoku Ružbachów. Ostatni punkt wycieczki w Wyśnych Ružbachach demonstruje linie uskoku i zjawiska towarzyszące: wypływy wód termalnych i tworzenie pokryw trawertynowych.

Słowa kluczowe: basen fliszowy Podhala, Karpaty, Magura Spiska, Podhale, południowa Polska, Tatry, uskoku Ružbachów

Introduction

This field trip has been designed in order to illustrate the potential of clay mineralogy combined with apatite fission track (AFT) thermochronology in basin analysis studies. It will present the burial and uplift history of the Podhale basin, revealed recently by two PhD theses: of Magdalena Kotarba, who studied clay mineralogy of the area, and Aneta Ancziewicz, who performed the apatite fission track study of the basin. Main results of these studies have been summarized in an article of Jan Środoń in the Annual Report 2007 of the Polish Academy of Sciences (pp. 97-100). With the permission of the Annual Report editors this text is included below in the presentation of the stop. No.3.

The Podhale basin study is quite exceptional in the world literature of the topic for three following reasons:

1) it combines surface data with core data from several boreholes, which penetrated entire basin fill and reached the basement rocks;

2) it combines AFT dating with K-Ar dating of bentonites and XRD identification of the degree of illitization in shales;

3) it deals with a particularly simple case: a very homogeneous basin fill and a very simple geologic history.

Such combination of factors made it possible to draw more conclusions on basin history than typically available from this kind of studies.

The trip will involve three stops related to geology and one stop (nr. 2) devoted to the cultural heritage of the area. They are marked with numbers on the map below.

Field trip stops

Stop no. 1 Małe Ciche

13 km NE of Zakopane. River bed, ca. 1.5 km from Kośne Hamry towards Małe Ciche, just pass the single house standing on a clearing in the forest, opening E of the road, when going towards Małe Ciche (200 m on foot). The river bed between Kośne Hamry and Małe Ciche offers an almost continuous outcrop of monotonous flysch shales and sandstones, gently dipping towards N. This particular site has been selected for two 2-3 cm thick bentonite beds, outcropping on the opposite banks of the river. The bed on the western bank is easier to locate, as it is situated just below a wooden footbridge. The other bed can be found a few dozen meters upstream, on the opposite bank.

Both beds are soft, swelling, beige-colored clays, sharply contrasted with the surrounding dark and hard shales. The bentonites are practically monomineral. They contain ordered mixed-layer illite smectite with 26% of smectitic layers. The surrounding shales also contain mixed-layer illite-smectite,

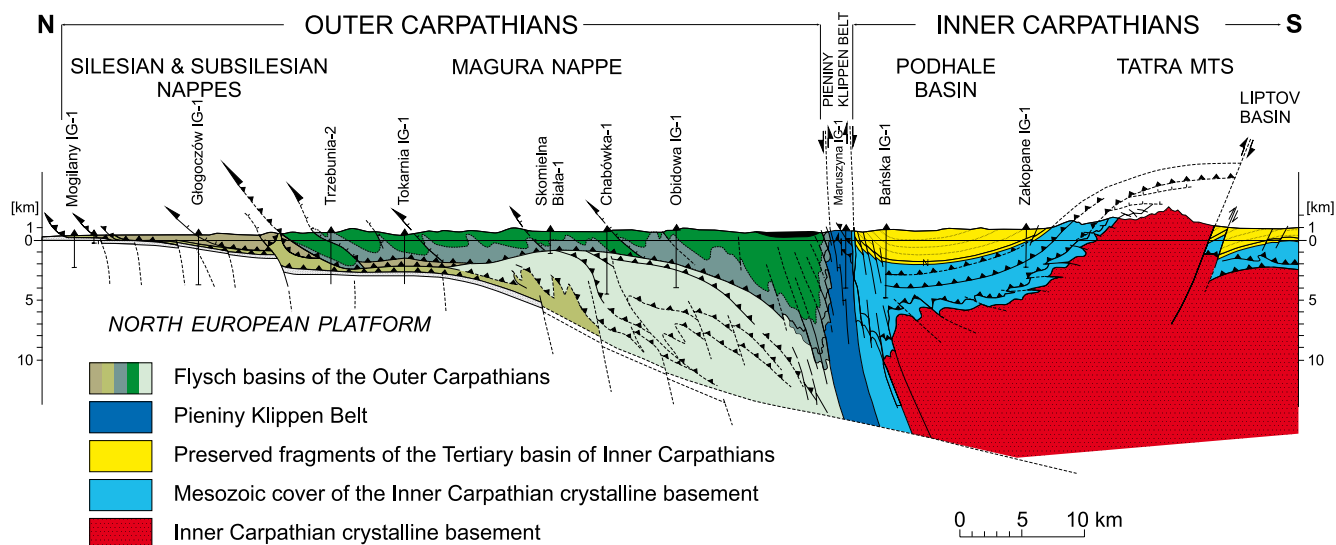


Fig. 1. Cross-section of the Carpathians along Kraków-Zakopane transect (after K. Birkenmayer), illustrating the geotectonic position of the Podhale basin

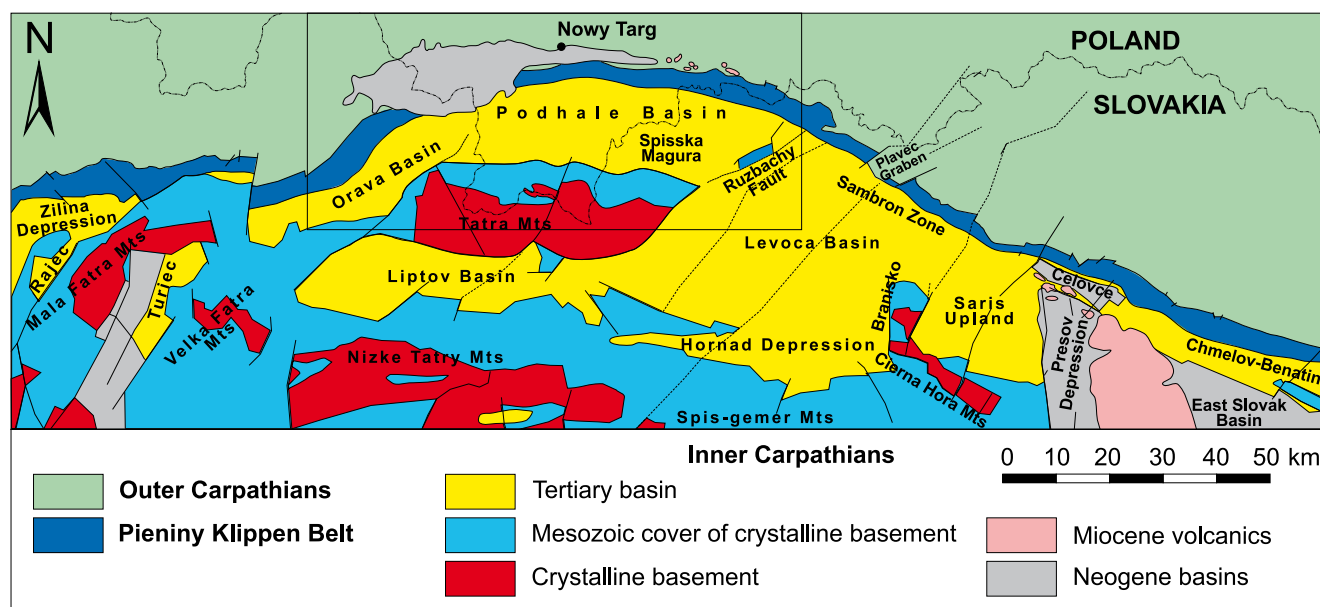


Fig. 2. Part of the geological map of the Western Carpathians (compiled by A. Łaptaś) with the study area marked by the rectangle

with similar smectite content, but mixed with discrete illite, chlorite, quartz, albite, pyrite and carbonates. Such level of smectite illitization in shales indicates the maximum paleotemperatures of ca. 130°C. K-Ar dating of three grain-size fractions of this bentonite gave identical ages of ca. 18 Ma, interpreted as the age of maximum paleotemperatures. 10 Ma AFT age measured in this area is consistent with the K-Ar date and the estimate of the maximum paleotemperatures, as it represents the time of crossing the 100-120°C isotherm during the basin uplift.

Stop no. 2 Dębno

40 km NE of Małe Ciche, on the way to stop 3. Gothic wooden church in Dębno, one of the oldest and best examples of wooden gothic architecture in Polish Carpathians. The

construction from the second half of XV century, internal paintings from ca. 1500, several gothic sculptures and details of the interior.

Stop no. 3 Wżar Hill

13 km E of Dębno. 15 min. on foot from the parking at the Snozka Pass (653 m asl) to the top of Wżar (Wdżar) Hill (767 m asl). The site selected for the presentation of the Podhale diagenetic history (see below.) It is relatively easily accessible from the paved road, and it offers a broad panorama of the Tatra Mts. and entire Podhale basin, both viewed across the Pieniny Klippen Belt. Present topography of the Podhale basin, which becomes gradually more elevated and more rugged towards the east, as a result of faster uplift, can be clearly seen.

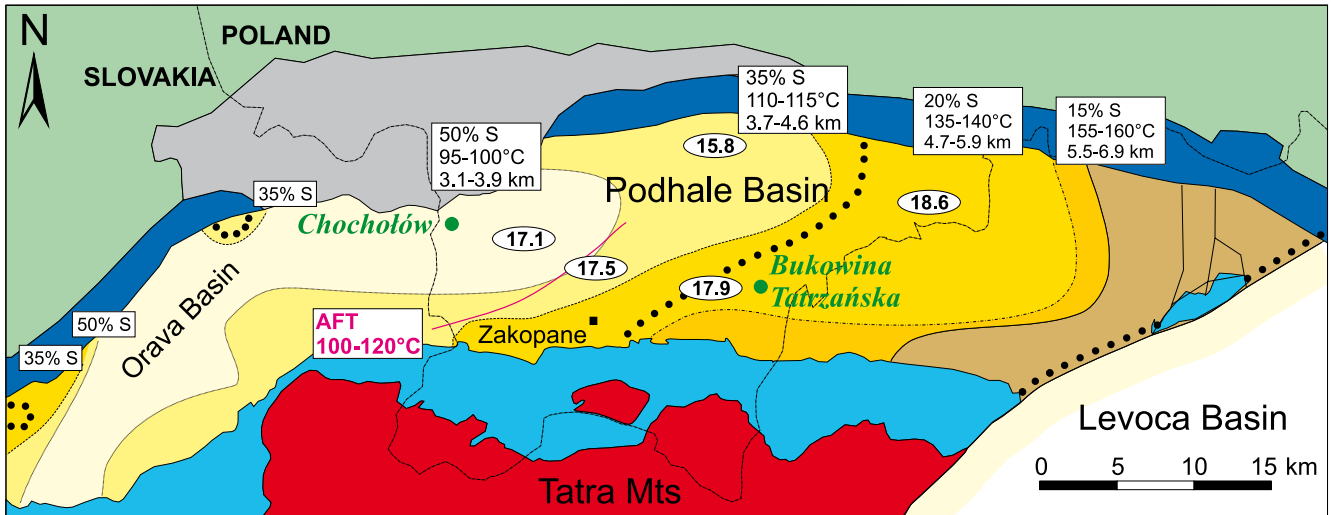


Fig. 3. Thermal history indicators for the Podhale-Orava basin. The maximum burial temperatures and the thickness of eroded cover were calculated for %S isolines, established from the XRD data, which were collected for the surface samples. Dotted lines mark the limit of kaolinite, which disappears due to diagenesis in the eastern part of the basin and reappears in the Levoca basin. The pink line separates AFT dates totally reset (east) from incompletely reset (west). K-Ar dates from bentonites in the ellipses

The Wzar Hill itself belongs to the Magura nappe, which is the most internal part of the accretionary prism of the Western Carpathians. The hill is located only 2 km from the tectonic contact of the accretionary prism with the Pieniny Klippen Belt, which marks the contact of the East European Craton with one of the African microplates (Alcapa). The Wzar Hill owes its elevated morphology to a swarm of almost vertical andesite dykes, penetrating the Magura flysch shales and sandstones. Two generations of the andesite as well as the flysch rocks alteration at the contact with the andesite can be observed in an abandoned andesite quarry, located just W of the footpath. Radiometric dating of the andesite intrusion is a real challenge because of the pervasive alteration of the rock, including illite and chlorite as the alteration minerals. So far, numerous K-Ar measurements produced dates younger than the AFT dates, which is a puzzle deserving further study.

History of the Podhale flysch basin revealed by K-Ar and AFT dating and XRD study of clay minerals

The shale and sandstone rocks, outcropping today in Podhale, fill a Tertiary sedimentary basin developed on the basement, composed of the Hercynian crystalline rocks and their Mesozoic carbonate cover, which itself is outcropping in the Tatra (Figure 1). The Podhale basin is a remnant of a much larger Tertiary basin, which once covered entire Inner Carpathians, but was latter broken into parts and preserved in tectonic depressions, but removed by erosion from the elevated blocks, including the Tatra block (Figure 2).

The Podhale basin continues towards the west into the Orava basin. Their northern border with Pieniny is tectonic and the contact with the Tatra is erosional (Figure 1). In the east the basin continues into Magura Spisska area and it is separated from the Levoca basin by a major Ruzbachy fault,

which is a continuation of the Tatra fault (Figure 2). The preserved column of the Tertiary basin fill reaches 3 km in the axial western part of the basin and decreases to less than 1 km in the east, close to the Ruzbachy fault. Locally, next to the fault, the Mesozoic basement is outcropping at the surface (Figure 2). The flysch strata are lying almost flat over most of the basin, steeper only close to its northern and southern border. The tectonic deformations are minimal, compared to the underlying Mesozoic basement and to the contemporary Tertiary flysch basins of the Outer Carpathians, situated further to the north (Figure 1). The present-day elevation of the basin surface increases gradually from ca. 600 m asl in the west to the maximum of 1100m close to the Ruzbachy fault. Also topography becomes slightly more rugged towards the east and the local differences in elevation increase from 200 to 600 m.

Such tranquil geology and topography offers no apparent clues to the surprising history of this basin, which was revealed recently by combined X-ray diffraction (XRD) study of clay mineralogy, radiometric K-Ar dating (Środoń et al., 2006) and apatite fission track (AFT) dating (Anczkiewicz et al., 2005).

Each of these techniques provides a specific type of information on the basin history. Clay mineralogy of sediments deposited in a basin is evolving during burial in response to increasing temperatures. XRD allows for quantification of this evolution and to evaluate the maximum paleotemperatures, in particular by measuring the ratio of smectite to illite layers (%S) in mixed-layer illite-smectite minerals separated from shales. K-Ar dating of illite-smectite separated from bentonites, i.e. from altered volcanic ash layers free of detrital contamination, provides the age of the smectite illitization process (age of locking potassium in the illite crystalline structure), which approximates the age of the maximum paleotemperatures (Środoń et al., 2002). AFT dating is based on counting defects (tracks) in the crystalline structure of detrital apatite produced by fission of uranium nuclei, both spontaneous and induced in

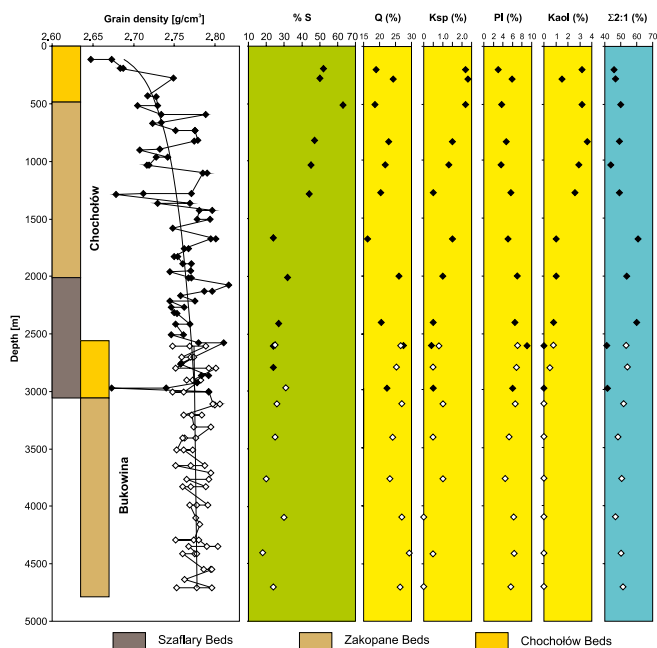


Fig. 4. Superposition of the Chochołów and Bukowina wells into one continuous diagenetic profile of the Podhale Basin based on the grain density data. The weight % of the sum of the dioctahedral 2:1 phyllosilicates ($\Sigma 2:1$) and the most prominent diagenetic trends are presented %S – percent smectite in illite-smectite, Q – quartz, Ksp – K-feldspar, Pl – plagioclase, Kaol – kaolinite

a nuclear reactor. Such tracks undergo thermal annealing (resetting) at 100–120°C, thus AFT technique provides two types of information: 1) whether the rocks were buried in the basin to >100–120°C (detrital vs. reset AFT ages), and if yes 2) when they passed the 100–120°C isotherm on the way back to the surface i.e. during uplift and erosion.

XRD studies of shales were performed over entire surface of the basin and in five boreholes. K-Ar dating was completed for three grain-size fractions of five bentonite samples collected at the surface. AFT dating was made for apatites separated from sandstone samples, which were collected both at the surface and from the Bukowina Tatrzanska borehole. The results of these measurements are presented in synthetic form in Figure 3.

The measured %S values indicate that the rocks outcropping today at the surface experienced in their burial history very different maximum paleotemperatures: from <100°C in the west to >160°C in the east. This temperature gradient across the basin surface is confirmed by the disappearance of kaolinite in the east and by the AFT dates, which are totally reset in the east and only partially reset in the west. Grain density measurements for the Chochołów and the Bukowina borehole samples confirmed that these profiles were buried to very different depths and that they can be superimposed into one continuous diagenetic profile (Figure 4). The paleothermal gradient measured from %S data is the boreholes ranges from 20 to 25°C/km, which is identical to the measured present-day gradient. Based on these values, the thickness of rocks removed by erosion from the surface of the basin can be evaluated as ranging from <3 km in the west to >7 km in the east. The basin uplift started after the maximum paleotemperatures evaluated by K-Ar measurements were reached

(16–19 Ma), as confirmed by younger reset AFT dates (6–12 Ma). Using the K-Ar values, the uplift rates can be estimated as ranging from 200m/Ma in the west to 360m/Ma in the east. A similar value of 420 m/Ma was obtained independently from the AFT dates measured in the Bukowina profile. The nature of contact of %S isolines with the basement outcropping in the Tatra indicates that the Tatra block surface was strongly inclined towards the east during the flysch sedimentation.

Using these data the Podhale basin history can be reconstructed as follows:

1) The basin developed due to uneven subsidence of the tectonic block comprising present day Podhale and Tatra area: the rate of subsidence and sedimentation was highest in the east.

2) The subsidence and sedimentation continued much longer than previously evaluated from the preserved sedimentary record: a thick layer of Lower Miocene sediments was deposited until 16–19 Ma. Only the Tatra block started to rise earlier.

3) The Podhale basin uplift was also very uneven: much faster in the east than in the west. The consequences are: a) much higher grade of diagenesis of the surface rocks, and b) more elevated and rugged topography in the eastern part of the basin.

Stop no 4 Vyšné Ružbachy

49 km SE from the Wzar Hill, 73 km E of Zakopane. Vyšné Ružbachy village located next to the Ružbachy Fault. Vertical movement on this fault has been responsible for the development (subsidence) and then for the inversion (uplift) of the Podhale Basin. The fault is clearly visible in present-day topography, which indicates a faster uplift on the western side of the fault zone. Another result of this difference in the uplift rates is a sharp contrast in the degree of diagenesis across the fault zone.

The tectonic block just W of Vyšné Ružbachy underwent a particularly fast uplift, which resulted in the complete erosion of the flysch rocks and the appearance of the Mesozoic basement on the surface. The removal of the impermeable flysch cover resulted in a massive discharge of thermal waters (ca. 20°C) from the Mesozoic artesian aquifer in the Ružbachy area. Precipitation of calcite from these waters formed a travertine field of about 1 km diameter, well exposed in several quarries. The field is more than 350 000 years old (Michał Gradziński, personal information). It is still active and locally growing, fed by several springs. One of them created a circular pool, surrounded by travertine walls, ca. 20 m in diameter and 3 m deep. A very fast precipitation of calcite can be observed along the creek flowing of the pool. Two older, now dry pools of this kind discharge the CO₂ gas. Generally the spring waters are of HCO₃-SO₄-Ca-Mg type. Some springs contain elevated contents of H₂S. Just W of the village the Mesozoic rocks are well exposed in a steep scarp of the fault.

The mineral waters of Vyšné Ružbachy are known in literature from 1549. From the end of XVI century the village has been serving as a health resort. The first scientific description of the medical effects of the Ružbachy mineral water dates back to 1635. □

Streszczenie

Diagenetyczna historia basenu fliszowego Podhala**Jan Środoń**

Ta wycieczka zaprojektowana została w celu zilustrowania zastosowań metod badawczych z zakresu mineralogii i geochemii izotopowej w badaniach historii termicznej basenów osadowych. Obiektem geologicznym omawianym w ramach wycieczki jest basen fliszowy Podhala, wraz z przyległymi obszarami Orawy i Magury Spiskiej. Dane prezentowane w ramach wycieczki pochodzą głównie z prac doktorskich Magdaleny Kotarby i Anety Anczkiewicz, wykonanych w ING PAN w Krakowie pod kierownictwem autora niniejszego tekstu.

Prezentowane studium historii termicznej basenu podhalańskiego jest z trzech powodów unikalne w literaturze światowej:

1) jest ono oparte na danych pochodzących zarówno z prób powierzchniowych jak i z wierceń, które przebiły cały basen fliszowy i dotarły do podłoża mezozoicznego;

2) interpretacja oparta jest na kombinacji danych rentgenograficznych nt. stopnia illityzacji w łupkach, datowań K-Ar illitu-smektytu z bentonitów i datowań trakowych apatytów (AFT);

3) obiektem interpretacji jest basen o wyjątkowo prostej budowie geologicznej i historii termicznej.

Taka kombinacja czynników umożliwiła wyciągnięcie dalej idących wniosków na temat historii basenu niż było to możliwe w większości publikowanych badań tego typu. W ramach wycieczki prezentowane są trzy punkty związane z geologią i jeden (nr 2) z kulturalnym dziedzictwem regionu.

Punkt no. 1 Małe Ciche

13 km NE od Zakopanego. Łożysko potoku, ca. 1. 5 km od Kośnych Hamrów w stronę Małego Cichego, za pojedynczym domem na polanie po lewej stronie drogi (200 m pieszo). Łożysko potoku między Małym Cichem a Kośnymi Hamrami jest niemal ciągłą odkrywką piaskowców i łupków fliszu podhalańskiego, łagodnie zapadających ku północy. W wybranym do demonstracji fragmencie koryta odsłaniają się dwie 2-3 cm warstwy bentonitów, czyli przeobrażonych willit-smektyt popiołów wulkanicznych. Łatwe do identyfikacji dzięki jasnemu kolorowi i miękkiej konsystencji: jedna pod drewnianą kładką na orograficznie lewym brzegu, druga po przeciwnej stronie, kilkadziesiąt metrów w górę strumienia. Bentonity zbudowane są wyłącznie z illitu-smektytu o strukturze uporządkowanej i 26% pakietów smektytowych. Podobny poziom illityzacji stwierdzono w otaczających łupkach, w których illit-smektyt występuje w mieszaninie z kwarcem, skaleniemi, illitem, chlorytem, pirytem i węglanami. Taki poziom illityzacji wskazuje na maksymalne paleotemperatury ok. 130°C, które datowane zostały metodą K-Ar na 18 Ma. Zgodna z tą oceną jest data AFT ok. 10 Ma, która odpowiada przejściu tych skał przez izotermę 100-120°C w czasie wynoszenia basenu.

Punkt no. 2 Dębno

40 km NE od Małego Cichego, w drodze do punktu 3. Gotycki drewniany kościół w Dębnie stanowi jeden z najstarszych i najwybitniejszych przykładów drewnianej architektury polskich Karpat. Konstrukcja pochodzi z drugiej połowy XV wieku, polichromia wewnętrzna z ok. 1500, wewnątrz liczne gotyckie rzeźby i detale architektoniczne.

Punkt no. 3 góra Wżar

13 km E od Dębna. 15 min. pieszo z parkingu na przełęczy Snozka (653 m npm) na szczyt Wżaru (Wdżaru) (767 m npm). Góra Wżar jest częścią płaszczowiny magurskiej, czyli najbardziej wewnętrznej strefy przyzmy akrecyjnej Karpat Zachodnich. Usytuowana jest w odległości 2 km od kontaktu przyzmy akrecyjnej z pienińskim pasem skałkowym, który jest interpretowany jako kontakt kratonu wschodnioeuropejskiego z Alcapą, czyli jedną z mikropląt afrykańskich. Samotne wyniesienie Wżaru jest związane z odpornością na erozję sillu andezytowych, których cały rój tnie w tym miejscu skały fliszowe. W opuszczonym kamieniołomie koło ścieżki na szczyt można obserwować dwie generacje andezytu oraz przeobrażenia termiczne na kontakcie andezytu z fliszem. Datowanie radiometryczne andezytu jest bardzo utrudnione z uwagi na późniejsze przeobrażenia. Dotychczas otrzymane daty K-Ar są młodsze niż daty AFT, co stanowi zagadkę wymagającą wyjaśnienia.

Ten punkt został wybrany na prezentację historii geologicznej Podhala z uwagi na relatywnie łatwy dostęp z szosy oraz wyjątkową panoramę Tatr i Podhala, widoczną poprzez pieniński pas skałkowy. Ze szczytu Wżaru można obserwować stopniowe podnoszenie się powierzchni topograficznej Podhala i większe urozmaicenie rzeźby w kierunku wschodnim, co jest związane z szybszym wynoszeniem w tamtym rejonie.

Basen fliszowy Podhala jest ocalałym w tektonicznej depresji fragmentem ogromnego basenu fliszowego rozwiniętego w eocenie na terenie Karpat wewnętrznych, włącznie z Tatrami, na podłożu hercyńskich skał krystalicznych i ich mezozoicznej pokrywy. W kierunku zachodnim przechodzi w sposób ciągły w basen orawski, na wschodzie odgraniczony jest od basenu spiskiego uskokiem Rużbachów. Północna granica z pienińskim pasem skałkowym jest tektoniczna, a południowa z Tatrami – erozyjna (Fig.1). Obecnie zachowana miąższość osadów fliszowych zmienia się od 3 km na zachodzie do mniej niż 1 km na wschodzie, gdzie lokalnie skały podłoża pojawiają się na powierzchni (Fig. 2). Warstwy skalne zalegają niemal poziomo, z wyjątkiem wąskich stref w pobliżu Pienin i Tatr. Powierzchnia topograficzna podnosi się w kierunku wschodnim od 600 do 1100 m npm, a lokalne różnice elewacji od 200 do 600 m. Ta prosta budowa geologiczna i łagodna topografia nie oferuje jednoznacznych przesłanek dla zrozumienia niespodziewanej historii geologicznej tego obszaru, która wyszła na jaw dzięki badaniom mineralogicznym i geochronologicznym.

Basen osadowy w swojej najprostszej historii geologicznej przechodzi kolejno przez etap subsydencji, w którym osady są akumulowane i pograżane do maksymalnych głębokości, a więc poddawane działaniu maksymalnych temperatur, a następnie etap inwersji, kiedy skały wynoszone są ku górze, przechodząc kolejno w strefy coraz to niższych temperatur, aż

do pojawienia się na powierzchni. Ta historia basenu zapisuje się w postaci specyficznych zmian charakterystyki mineralogicznej i geochemicznej, których odczytanie umożliwia wnioskowanie o historii basenu. Wzrostowi temperatur towarzyszy proces illityzacji, a stopień illityzacji, możliwy do pomiarzenia metodą rentgenograficzną, jest miarą wielkości maksymalnych paleotemperatur. Illityzacja smektytu wiąże potas w strukturze illitu, zatem wiek maksymalnych paleotemperatur można datować metodą K-Ar. Wykorzystuje się w tym celu bentonity, jako skały wolne od domieszki detrytycznych mik. Datowanie etapu wynoszenia możliwe jest metodą trakową zastosowaną do apatyty. Traki, czyli ślady spontanicznego rozpadu jąder uranu w apatyty, zbliżniają się całkowicie w przedziale temperatur 100-120°C. O ile skała z apatytem przeszła w swej historii geologicznej przez wyższe temperatury, zegar trakowy rozpoczyna działalność dopiero na etapie wynoszenia, w momencie przekroczenia izotermy 100-120°C, co daje możliwość datowania tego etapu historii basenu. Wszystkie trzy techniki zastosowane zostały do badań fliszu podhalańskiego, co pozwoliło na skonstruowanie obrazu przedstawionego w sposób syntetyczny na Fig. 3.

Powierzchniowa mapa stopnia illityzacji (%S) ilustruje systematyczne malenie tego wskaźnika (wzrost illityzacji) w kierunku wschodnim, gdzie radykalne odwrócenie tego trendu następuje na uskoku Drużbachów. Maksymalne paleotemperatury skał występujących obecnie na powierzchni, oszacowane na podstawie %S, rosną od 95-100°C na zachodzie do 155-160°C na wschodzie, co przy założeniu stopnia geotermicznego zbliżonego do współczesnego oznacza od 3.1-3.9 km erozji na zachodzie do 5.5-6.9 km na wschodzie. Oznaczenia AFT potwierdzają ten obraz: skały położone na wschód od linii Zakopane - Nowy Targ mają traki całkowicie zresetowane (wieki mioceńskie), a więc były pogrążone do strefy paleotemperatur wyższych niż 100-120°C. Przebieg izolinii %S na kontakcie z obszarem Tatr wskazuje na przykrycie całych Tatr >3km warstwą fliszu, oraz na głębsze zanurzenie wschodniej części Tatr na etapie pogrążenia. Wiek maksymalnego pogrążenia pomierzony metodą K-Ar wzrasta od 16 do 19 Ma w kierunku uskoku Rużbachów.

Obraz zmian powierzchniowych jest zgodny z wynikami badań rdzeni wiertniczych, które umożliwiły zrekonstruowanie niemal kompletnego profilu diagenety w basenie poprzez zestawienie wierceń Chochołów i Bukowina Tatrzańska (Fig. 4). Tempa wynoszenia Podhala, oszacowane niezależnie z pomiarów %S i AFT wahają się w granicach 200-400 m/Ma i rosną w kierunku wschodnim.

Geologiczna interpretacja powyższych danych wymaga przyjęcia, że całe Podhale wraz z Tatrami uległo najpierw subsydencji a następnie wynoszeniu na uskoku Rużbachów, gdzie jeden i drugi proces był najintensywniejszy, a wygasła na zachód od tego uskoku. Sedymentacja na obszarze Podhala trwała znacznie dłużej niż dotychczas zakładano, czyli do środkowego miocenu. Tylko gruba warstwa osadów mioceńskich jest w stanie wyjaśnić wysoki stopień diagenety i zresetowane wieki AFT na współczesnej powierzchni erozyjnej Podhala. Szybsze tempo wynoszenia na wschodzie znajduje swe odbicie w dzisiejszej morfologii terenu, dobrze widocznej ze szczytu Wzaru.

Punkt no. 4 Vyšné Ružbachy

49 km SE od Wzaru, 73 km E od Zakopanego. Wieś Vyšné Ružbachy położona w bezpośrednim sąsiedztwie uskoku Rużbachów. Pionowe ruchy na tym uskoku spowodowały najpierw subsydencję, a następnie wynoszenie basenu Podhala. Uskok zaznacza się wyraźnie w topografii i w zróżnicowaniu stopnia diagenety wzdłuż jego linii. Blok tektoniczny na E od wsi uległ szczególnie intensywnemu wynoszeniu, co spowodowało wynurzenie się mezozoicznych skał podłoża na powierzchnię i skoncentrowany wypływ wód termalnych (on. 20°C). Powstało pole trawertynowe o średnicy ok. 1 km, datowane na ponad 350 tys. lat, ciągle aktywne. Jedno z wypływających na nim źródeł utworzyło okrągły basen o średnicy ok. 20m, głęboki na 3m. Wody typu HCO₃-SO₄-Ca-Mg, czasami z podwyższoną zawartością H₂S. Skarpa uskoku zbudowana ze skał mezozoicznych dobrze widoczna na skraju wsi. Wody mineralne Rużbachów znane są w literaturze od 1549. Wieś służyła jako kurort już od XVI wieku. Pierwszy naukowy opis własności leczniczych tych wód pochodzi z 1635.

References (Literatura)

- Anczkiewicz A.A., Zattin M., Środoń J. (2005) Cenozoic uplift of the Tatras and Podhale basin from the perspective of the apatite fission track analyses. *Prace Specjalne PTMin.*, 25, 261-264.
- Środoń J., Clauer N., Eberl D.D. (2002) Interpretation of K-Ar dates of illitic clays from sedimentary rocks aided by modelling. *American Mineralogist*, 87, 1528-1535.
- Środoń J., Kotarba M., Biroň A., Such P., Clauer N., Wójtowicz A. (2006) Diagenetic history of the Podhale-Orava basin and the underlying Tatra sedimentary structural units. (Western Carpathians): evidence from XRD and K-Ar of illite-smectite. *Clay Minerals*, 41, 747-770.