

Oligoceńskie skały macierzyste ropy naftowej Karpat Zewnętrznych

Konrad Mischke

Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Geologii Podstawowej
E-mail: konradmischke@gmail.com

Tutor: dr Małgorzata Bieńkowska-Wasiluk

Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii,
Instytut Geologii Podstawowej

Słowa kluczowe – *formacja menilitowa, Karpaty Zewnętrzne, macierzystość, ropa naftowa*

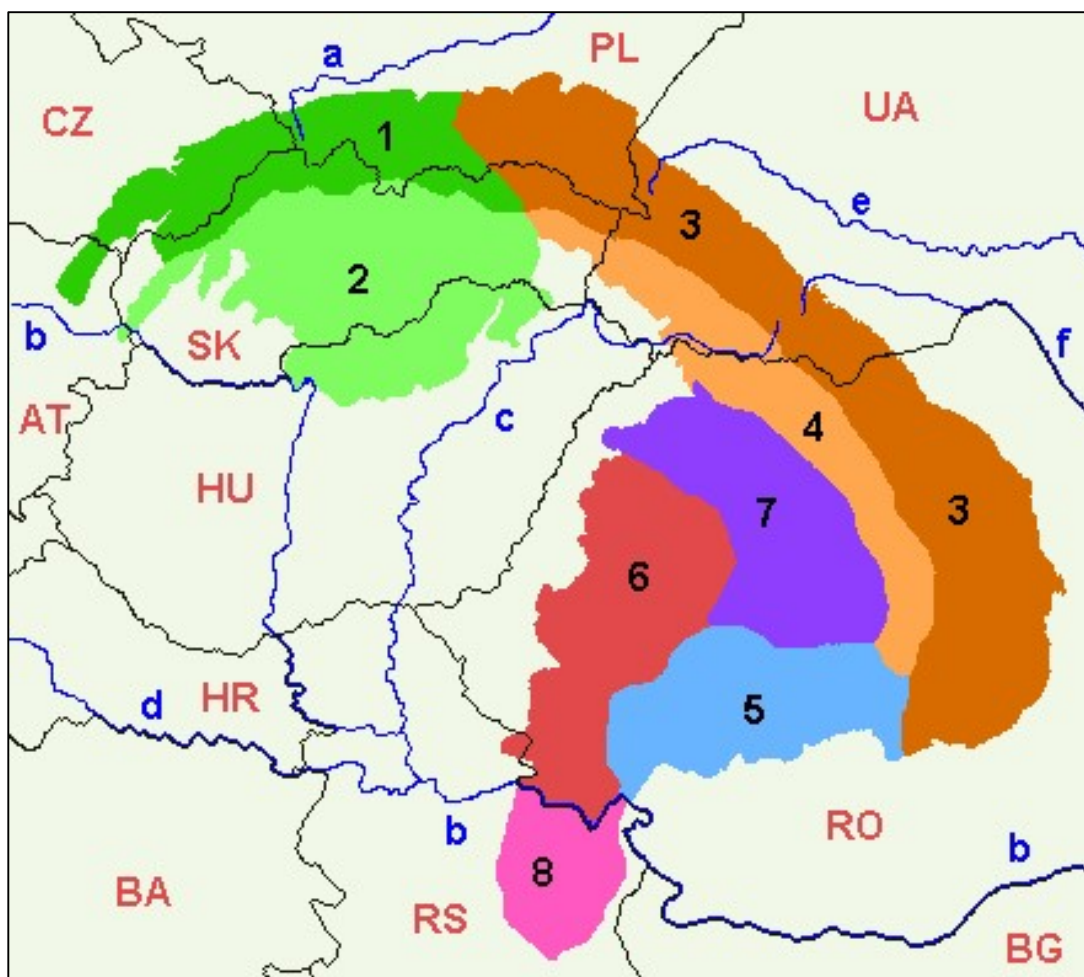
Wstęp

Karpaty należą do jednych z najpiękniejszych i najciekawszych regionów w Europie. Utworzone w trakcie orogenezy alpejskiej tworzą rozległy łuk o długości sięgającej blisko 1500 km. Są one drugim najdłuższym pasmem górskim w Europie, zaraz po Górach Skandynawskich. Karpaty obejmują swoim zasięgiem liczne państwa takie jak: Austrię, Czechy, Słowację, Polskę, Ukrainę, Węgry, Rumunię oraz Serbię. Zachwycają nie tylko pięknymi krajobrazami, unikatową fauną i florą, a także bogatą przeszłością, bowiem w ich polskiej części w połowie XIX wieku swój początek miał światowy przemysł naftowy. Już w 1854 roku w miejscowości Bóbrka na Podkarpaciu została uruchomiona pierwsza kopalnia „czarnego złota” na świecie. Do jej powstania znacznie przyczynił się m.in. Ignacy Łukasiewicz, który rok wcześniej jako pierwszy otrzymał naftę dzięki metodzie frakcjonowanej destylacji. W następnych latach, głównie dzięki polskim przemysłowcom ropa naftowa znajdowała coraz więcej zastosowań, np. była wykorzystywana do oświetlania miejskich ulic. Rekordowe wydobycie w rejonie karpackim osiągnięto prawie pół wieku później w 1909 roku, kiedy to uzyskano blisko 2 mln ton ropy naftowej. Dzięki temu, Polska stała się trzecim na świecie ośrodkiem wydobywczym tego surowca zaraz po Stanach Zjednoczonych oraz Rosji. Następnie w 1921 rozpoczęto wydobywanie gazu ziemnego na terenie polskich Karpat, a w 1958 roku odkryto jego największe nagromadzenie w kraju (złoże Przemyśl). Dotychczas zdołano udokumentować łącznie 71 złóż ropy naftowej oraz 17 złóż gazu ziemnego (Kiersnowski i in., 2015).

Obecne wydobywanie węglowodorów w Karpatach jest znacznie mniejsze niż przeszło 100 lat temu, a wiele złóż jest już na wyczerpaniu. Jednakże, istnieją duże nadzieje na odkrycie nowych akumulacji ropy naftowej i gazu ziemnego dzięki m.in. stale rozwijającym się technologiach poszukiwawczych. Duże perspektywy wiąże się z oligoceńską formacją menilitową, powstałą blisko 23-34 mln lat temu. Na tle innych formacji wyróżnia się wysokimi zawartościami materii organicznej (TOC) oraz odpowiednimi dojrzałościami termicznymi. Dzięki czemu, formacja menilitowa zaliczana jest do skał o obiecującej macierzystości, czyli takich, które posiadają wysoki potencjał do generowania węglowodorów (Ziemianin i in., 2015).

Budowa geologiczna Karpat Zewnętrznych

Dzięki dużemu zainteresowaniu przemysłu naftowego i bogatej historii badań, Karpaty należą do dobrze rozpoznanych masywów górskich. Są one częścią wielkiego pasma alpidów europejskich, które rozciągają się przez Pireneje, Apeniny, Alpy, Balkany aż po Azję Mniejszą. Pasma karpackie jest bardzo zróżnicowane pod względem budowy geologicznej. Część zbudowana z utworów fliszowych kredy i paleogenu określana jest mianem Karpat Zewnętrznych (Ryc. 1).



Ryc. 1. Mapa przedstawiająca podział Karpat

- 1 – Zewnętrzne Karpaty Zachodnie, 2 – Wewnętrzne Karpaty Zachodnie, 3 – Zewnętrzne Karpaty Wschodnie,
4 – Wewnętrzne Karpaty Wschodnie, 5 – Karpaty Południowe, 6 – Zachodnie Karpaty Rumuńskie,
7 – Płaskowyż Transylwański, 8 – Karpaty Serbskie (źródło: en.wikipedia.org, Markussep 2005)

Ich północna granica wyznaczona jest przez struktury paleozoiczne oraz osady zapadliska przedkarpackiego. Natomiast od strony południowej zlokalizowane są Karpaty Wewnętrzne, które złożone są ze skał krystalicznych i osadowych. Ponadto, Karpaty Zewnętrzne od Wewnętrznych oddziela wąski Pieniński Pas Skałkowy, charakteryzujący się dużą rozciągłością oraz skomplikowaną budową geologiczną (Stupnicka, 1997).

Pod względem poszukiwań złóż węglowodorów najbardziej perspektywiczne są Karpaty Zewnętrzne. Zbudowane są przede wszystkim ze skał fliszowych, które reprezentują naprzemianległe ułożone warstwy skał osadowych, głównie łupki i piaskowce. Skały te powstały z osadów niesionych przez prądy zawieszinowe (turbidyty) (Ryc. 2).



Ryc. 2. Flisz karpacki – piaskowce (szare) i łupki (czarne) widoczne w skarpie potoku
(źródło: pl.wikipedia.org, Kuran 2005)

Cechą rozpoznawczą utworów fliszowych jest ich frakcjonalne uziarnienie (wysortowanie ziaren w sekwencji od największych do najmniejszych rozmiarów). Na obszarze Karpat Zewnętrznych przeważała głównie sedymentacja osadów drobnoziarnistych. Dlatego też, najczęściej występującymi skałami są łupki iłowcowe oraz mułowcowe. Nierzadko występują również piaskowce ze zlepieńcami wraz z nielicznymi wystąpieniami margli, wapieni oraz skał krzemionkowych takich jak czerty i rogowce (Stupnicka, 1997).

Skały budujące Karpaty Zewnętrzne zostały utworzone w basenie głębokomorskim. Na jego dnie istniały liczne wyniesienia, pomiędzy którymi znajdowały się strefy głębsze. W zależności od głębokości panowały różne warunki sedymentacji. W konsekwencji, odmienne utwory osadzały się na wyniesieniach, a inne w strefach głębszych. Dlatego też, na podstawie zróżnicowania basenu Karpat Zewnętrznych wyróżniono różniące się pod względem litologii jednostki: magurską, dukielską, śląską, podśląską oraz skolską (Ślaczka i in., 2006). Podczas ruchów tektonicznych w neogenie skały Karpat Zewnętrznych zostały oderwane od podłoża, pofałdowane i przesunięte na północ na znaczne odległości.

Charakterystyka formacji menilitowej

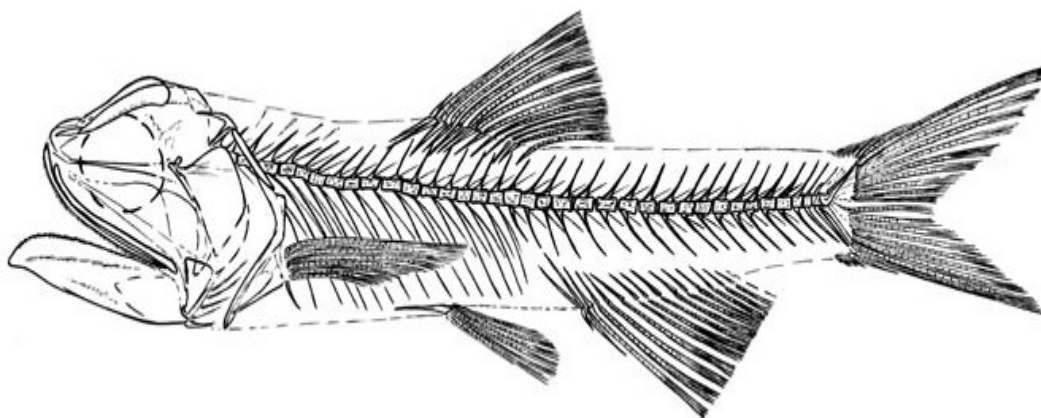
Oligoceńska formacja menilitowa należy do jednych z najbardziej interesujących kompleksów skalnych w Karpatach Zewnętrznych ze względu na dużą zawartość węgla organicznego oraz liczne skamieniałości ryb. Swoją nazwę zawdzięcza menilitowi, który jest brązowo-szarą odmianą opalu występującą w postaci konkrecji. W polskiej części Karpat Zewnętrznych łupki menilitowe są ostatnim etapem sedymentacji fliszowej (Ziemianin i in., 2015). Opisywana formacja zbudowana jest głównie z łupków o zabarwieniu szarym i czarnym. Są one przeważnie laminowane i nie zawierają

węglanu wapnia. Bywają przewarstwione łupkami krzemionkowymi oraz rogowcami. Ponadto, w łupkach menilitowych wszystkich jednostek występują liczne wkładki piaskowców o różnej miąższości, których powstanie związane jest z prądami zawiesinowymi. Piaskowce tworzą ogniwa piaskowców z Kliwy i Cergowej, które dzielą formację menilitową na dwie części. Wraz z nimi często współwystępują szare łupki mułowcowe (Koster i in., 1998).

Miąższość formacji menilitowej jest zmienna. W jednostce śląskiej wynosi 100 m, a w jednostce skolskiej 500 m (Curtis i in., 2004). W dolnej części łupków menilitowych stwierdzono duże zawartości materii organicznej. Natomiast w stropie górnej części łupków menilitowych zaobserwowano częstsze, stopniowe przewarstwienia łupków mułowcowych wraz z piaskowcami turbidytowymi (Koster i in., 1998).

Skamieniałości ryb

Łupki menilitowe, w przeciwieństwie do pozostałych utworów fliszu karpackiego, obfitują w duże ilości fauny kopalnej. W szczególności w jednostce skolskiej znajdują się skamieniałości ryb, które mogą być przydatne m.in. do określenia środowisk sedymentacji, jakie panowały w oligocenie. Należy do nich gatunek *Oligophus moravicus* – rząd Myctophiformes (światlikokształtne) (Ryc. 3).



Ryc. 3. Rekonstrukcja ciała przedstawiciela gatunku *O. moravicus*
(źródło: Prokofiev, 2006)

Przedstawiciele tego rzędu znani są od kredy i żyją do dziś. Okazy tego gatunku znajdują się w marglach w dolnej części formacji menilitowej. Ryba *O. moravicus* cechuje się niewielkimi rozmiarami ciała (do kilku cm długości). Do jej cech charakterystycznych należy obecność fotoforów po brzusznej stronie ciała, które często zachowują się w stanie kopalnym. Czaszka oraz ciało cechują się silnym bocznym spłaszczeniem, a otwór ustny jest o stosunkowo dużych rozmiarach. Ponadto, posiada płetwę tłuszczową, a płetwy brzuszne mają najczęściej po 8 promieni. Co istotne, okazy ryb *O. moravicus*, mimo upływu milionów lat, bardzo przypominają budową ciała dzisiejszych światlikokształtnych (Ginter i in., 2012).

Wszyscy obecnie żyjący przedstawiciele światlikokształtnych są charakterystyczni dla środowisk głębokomorskich pelagicznych i bentopelagicznych (Ginter i in., 2012). Dzięki temu, można wywnioskować, że ryby z gatunku *O. moravicus* żyły w trakcie oligocenu w stosunkowo głębokim basenie. Co więcej, ryby z opisywanego gatunku są znane również z podobnego czasu z gór

Kaukazu i Europy pozakarpackiej (Ginter i in., 2012). W konsekwencji, można uznać, że prawdopodobnie występowały one w basenach o bardzo porównywalnych środowiskach.

Macierzystość formacji menilitowej

Kluczowym wskaźnikiem do określania macierzystości skał jest zawartość materii organicznej, która jest wyrażana za pomocą parametru TOC (Total Organic Carbon). Im większy udział materii organicznej, tym więcej węglowodorów można wydobyć ze złoża. Liczna obecność skamieniałych ryb nie ma jednak bezpośredniego wpływu na zawartość materii organicznej. O wartości TOC decyduje przede wszystkim nagromadzenie szczątków planktonu w skałach. Nie inaczej jest w przypadku formacji menilitowej, której wysokie zawartości materii organicznej są efektem akumulacji fitoplanktonu.

Badania geochemiczne wykazały, że zawartość materii organicznej w formacji menilitowej jest bardzo wysoka. Średnia wynosi 3,6%, a miejscami sięga nawet do 17% (Kosakowski i in., 2009). Dla porównania, minimalny udział TOC, aby skała charakteryzowała się dobrą macierzystością wynosi 2%. Łupki menilitowe w różnych lokalizacjach i różnych jednostkach tektonicznych cechują się niejednorodnością pod względem zawartości materii organicznej. Może to wynikać, z odmiennych środowisk sedymentacji, które panowały w oligocenie na obszarze basenu Karpat Zewnętrznych (Ziemianin i in., 2015).

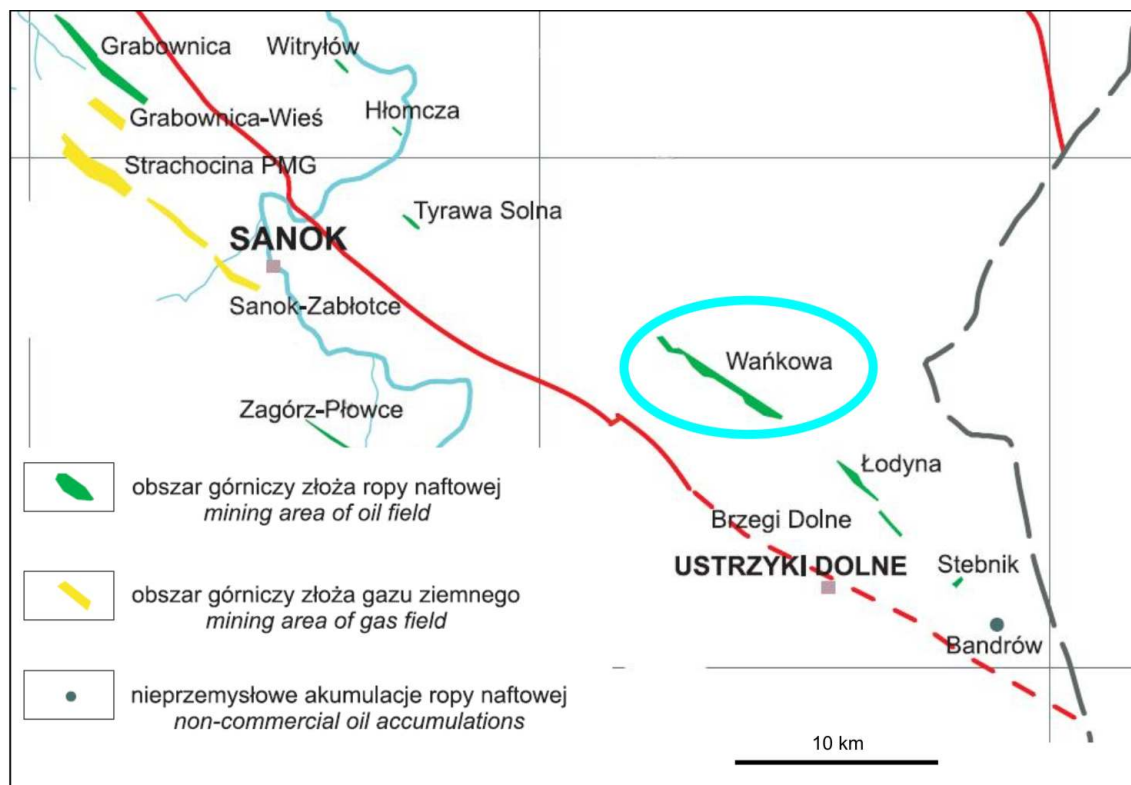
Oprócz parametru TOC ustala się także typ kerogenu. Za jego pomocą definiuje się środowisko sedymentacji materii organicznej oraz jej pochodzenie. Dla łupków menilitowych jest to głównie ropotwórczy i gazotwórczy II typ kerogenu, który pochodzi z planktonicznej materii organicznej, powstałej w warunkach morskich. W formacji menilitowej występuje także wyłącznie ropotwórczy I typ kerogenu, który powstaje w środowisku jeziornym i zbudowany jest przeważnie z alginitu. W znacznie mniejszych ilościach stwierdzono również III typ kerogenu. Jest on typowy dla złóż gazu ziemnego. Tworzony jest przez wityrynit i powstaje w warunkach lądowych (AAPG, 2016).

Pod względem dojrzałości termicznej, duża część formacji menilitowej jest niedojrzała. Oznacza to, że materia organiczna nie była dotychczas poddana odpowiednio wysokim temperaturom i ciśnieniom, wynikającym przede wszystkim z przykrycia osadów dużą ilością nadległych skał. Obecnie istnieją miejsca, gdzie łupki menilitowe można zaobserwować na powierzchni w postaci odsłoneń: w kamieniołomach, skarpach dróg i rzek. Jednakże, zalegają one również na znacznych głębokościach wynoszących do kilkuset metrów. Dla przykładu, ślady węglowodorów w łupkach menilitowych stwierdzono na głębokościach od 50 do 1200 m, a wydobywanie prowadzono na głębokościach od 100 do 750 m (Marcinkowski i Szewczyk, 2008). Stosunkowo mały obszar występowania łupków menilitowych na powierzchni i znacznych głębokościach zaliczany jest do końcowej fazy okna ropnego, w którym generowane są duże ilości tego węglowodoru (Kosakowski i in., 2009).

Złoże ropy naftowej Wańkowa

Największym nagromadzeniem ropy naftowej w polskiej części Karpat jest złoże Wańkowa. Zlokalizowane jest przy granicy z Ukrainą, kilkadziesiąt kilometrów na wschód od Sanoka (Ryc. 4).

Złoże zostało odkryte w 1885 roku i jego eksploatacja trwa do czasów obecnych. W ciągu przeszło 120 lat wydobyto ze złoże ponad 1,5 mln ton ropy naftowej (Marcinkowski i Szewczyk, 2008). Dla porównania w 2015 roku w całej Polsce uzyskano łącznie blisko 0,9 mln ton tego surowca (Czapigo-Czapla i Brzeziński, 2016). Ponadto, złoże Wańkowa stanowi około 80% całkowitej produkcji ropy naftowej z formacji menilitowej w zasięgu jednostki skolskiej (Marcinkowski i Szewczyk, 2008).



Ryc. 4. Mapa złóż węglowodorów w części polskich Karpat Zewnętrznych. Błękitnym okręgiem zaznaczono lokalizację złoże ropy naftowej Wańkowa (źródło: Marcinkowski i Szewczyk, 2008)

Skalę macierzystą dla złoże Wańkowa stanowią oligoceńskie łupki menilitowe bogate w materię organiczną i o dojrzałości termicznej pozwalającej na generację ropy naftowej. Natomiast skalę zbiornikową tworzą piaskowce kliwskie, które wyróżniają się bardzo dobrymi własnościami fizycznymi. Znaczne porowatości wynoszące od 2 do 23% oraz wysoka przepuszczalność osiągająca maksymalnie 115 mD, pozwalają na akumulację znacznych ilości węglowodorów w skale. Ze wszystkich złóż, dla których piaskowce kliwskie stanowią skały zbiornikowe wydobyto dotychczas blisko 1,8 mln ton ropy naftowej (Marcinkowski i Szewczyk, 2008).

Podsumowanie

Oligoceńska formacja menilitowa zbudowana jest głównie z czarnych i szarych łupków iłowcowych oraz mułowcowych wraz z wieloma przewarstwieniami piaskowców. Tworzyła się w basenie głębokomorskim z udziałem prądów zawieszinowych. W jej utworach występują liczne skamieniałości ryb, a wśród nich ryby głębokowodne należące do rzędu świetlikokształtnych. Łupki menilitowe wyróżniają się na tle innych skał Karpat Zewnętrznych dużą zawartością materii organicznej, która pochodzi głównie z fitoplanktonu. Udział materii organicznej miejscami wynosi do

17%, co czyni formację menilitową bardzo obiecującą skałą macierzystą do generacji węglowodorów. W łupkach menilitowych dominuje II typ kerogenu, który potwierdza pochodzenie materii organicznej z morskiego planktonu. Miejscami, przede wszystkim na znacznych głębokościach skały te osiągnęły dojrzałość termiczną, dzięki czemu doszło do generacji węglowodorów z formacji menilitowej i utworzenia złóż, jak np. złoża Wańkowa. Eksploatacja ropy naftowej na terenie Karpat rozpoczęta jeszcze w połowie XIX wieku sprawiła, że rejon ten był jednym z głównych ośrodków wydobywczych na świecie. Choć od tego czasu minęło ponad 100 lat, oligoceńska formacja menilitowa nadal budzi zainteresowanie nie tylko ze względu na bogatą historię, a także na jej zasoby, które ciągle stanowią ważny ułamek polskiego wydobycia ropy naftowej.

Literatura

- AAPG, 2016. American Association of Petroleum Geologists. <http://wiki.aapg.org/Kerogen>, [dostęp: 06.03.2017].
- Curtis, J. B., Kotarba, M. J., Lewan, M. D., Wieclaw, D., 2004. Oil/source rock correlations in the Polish Flysch Carpathians and Mesozoic basement and organic facies of the Oligocene Menilite Shales: insights from hydrous pyrolysis experiments. *Organic Geochemistry*, 35, 1573–1596.
- Czapigo-Czapla, M., Brzeziński, D., 2016. http://geoportal.pgi.gov.pl/surowce/energetyczne/ropa_naftowa [dostęp: 05.03.2017].
- Ginter, M., Szrek, P., Bienkowska-Wasiluk, M., 2012. *Ryby kopalne*. Warszawa: Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego.
- Kiersnowski, H., Dyrka, I., Janas, M., Sidorczuk, M., Rudnicki, A., Jureczka, J., 2015. *Oil & Gas In Poland New Opportunities*.: Państwowy Instytut Geologiczny.
- Kosakowski, P., Więclaw, D., Kotarba, M. J., 2009. Charakterystyka macierzystości wybranych utworów fliszowych w przygranicznej strefie polskich Karpat Zewnętrznych. *Geologia*, 35(4/1), 155–190.
- Koster, J., Kotarba, M., Lafargue, E., Kosakowski, P., 1998. Source rock habitat and hydrocarbon potential of Oligocene Menilite Formation (Flysch Carpathians, Southeast Poland): an organic geochemical and isotope approach. *Org. Geochem.*, 29(1-3), 543–558.
- Marcinkowski, A., Szewczyk, E., 2008. Produktywność karpaccich skał zbiornikowych w świetle historii wydobycia węglowodorów. *Geologia*, 34, 405–421.
- Stupnicka, E., 1997. *Geologia regionalna Polski*. Warszawa: Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego.
- Ślaczka, A., Kruglov, S., Golonka, J., Oszczytko, N., Popadyuk, I., 2006. Geology and hydrocarbon resources of the Outer Carpathians, Poland, Slovakia, and Ukraine: General geology. *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir*, 84, 221–258.
- Ziemiański, K., Brzuszek, P., Słoczyński, T., Jankowski, L., 2015. Dispersed organic matter in shales from Menilite Beds within Polish Outer Carpathians – preliminary diagnosis. *Nafta i Gaz*, 9, 615–623.

Krótką notką o autorze: Student I roku II stopnia geologii na specjalności sedymentologia i stratygrafia na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego. Obecnie zajmujący się zagadnieniami sedymentologicznymi oraz petrografią skał klastycznych na obszarach występowania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Swoje zainteresowania realizuje na dwóch tutorialach na Wydziale Geologii oraz poprzez pisanie pracy magisterskiej na ten temat.