

# Historia szczelinowania hydraulicznego i proppantów oraz analiza rynku proppantów



**baltic ceramics**

Marcin Zimny



**INDYGOTECH MINERALS**

Dariusz Janus

## Wstęp

Pojęcia szczelinowania hydraulicznego i gazu z łupków dobrze już zakorzeniły się zarówno w mediach jak i czasopiśmie oraz artykułach naukowych. Wiele z nich traktuje o tej metodzie oraz o sposobie jej przeprowadzania, jednak wciąż czuć w nich pewien niedosyt informacji na temat historii jej powstania, oraz wkładu polskich uczonych w jej rozwój. Artykuł ten skupi się najpierw na przypomnieniu czym jest szczelinowanie hydrauliczne a następnie na polskim wkładzie w rozwój tej metody stymulacji złóż. Mówiąc o szczelinowaniu hydraulicznym nie sposób pominąć jednego z najważniejszych jego komponentów, czyli proppantów będących składnikiem płynu zabiegowego i mających za zadanie powstrzymanie zamykania się szczelin wytworzonych w skałach. Czym są proppanty przybliżyliśmy Państwu już w poprzednich artykułach, jednak historia ich powstania i rozwoju była przedstawiona niewystarczająco. W niniejszym artykule zostanie ona zaprezentowana wraz z analizą rynku tego produktu.

## Co to jest szczelinowanie hydrauliczne?

Zanim przejdziemy do opisu historii tej metody warto przypomnieć sobie jak wygląda ten proces oraz co jest jego głównym celem.

Celem procesu szczelinowania hydraulicznego jest zwiększenie wydajności wydobywania węglowodorów z odwiertu poprzez zwiększenie powierzchni kontaktu skały z odwiertem, a co za tym idzie zwiększenie wydobywania gazu lub ropy łupkowej. Jest to możliwe dzięki stworzeniu sieci szczelin, które umożliwiają swobodny przepływ węglowodorów do odwiertu. Zanim przystąpi się do szczelinowania należy najpierw wywiercić odwiert pionowy, następnie poprzez jego kontrolowane skrzywienie (odwiert kierunkowy) przejść do odwiertu poziomego, znajdującego się na głębokości od 1,0 do nawet 5,5 km. Kolejnym etapem prac jest przeprowadzenie procesu orurowania odwiertu stalowymi rurami, oraz jego cementowania, co ma służyć uszczelnieniu odwiertu. Następnie w celu umożliwienia przepływu wydobywanych węglowodorów wykonuje się perforację odwiertu poziomego. W wyniku tej operacji powstają otwory w cementowaniu oraz w skale łupkowej. Kolejnym etapem jest szczelinowanie hydrauliczne które polega na wpompowaniu pod bardzo wysokim ciśnieniem (min. 600 atmosfer) płynu szczelinującego w głąb odwiertu. Płyn przedostaje się do odwiertu poziomego i dalej przez otwory, powodując pękanie skał łupkowych i tworzenie się rozległych (150 m) sieci wąskich (1-2 mm) szczelin, przez które wydostają się węglowodory. Aby zapobiec za-

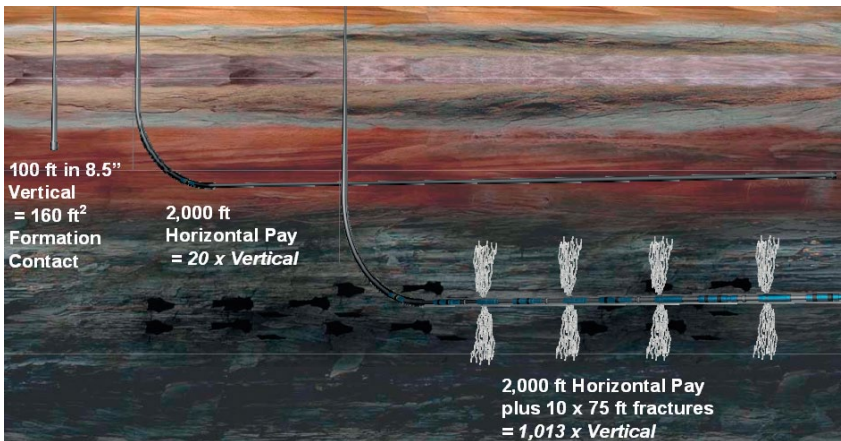
mknięciu się tych pęknięć na skutek cofnięcia się ciśnienia oraz późniejszego oddziaływania nacisku górotworu, wraz z płynem szczelinującym zatłacza się do odwiertu proppanty. Proppanty utrzymują szczeliny cały czas otwarte. Po skończonym procesie szczelinowania część zatłoczonego płynu (bez proppantów) powraca na powierzchnię, a część zostaje wewnątrz skały. Ponieważ wykonywany odwiert poziomy jest długi (średnio od 1 do 3 km), jest on dzielony na kilka – kilkanaście sekcji i każda z nich szczelinowana jest oddzielnie. Do jednego takiego szczelinowania w typowej sytuacji używa się około 70-100 ton proppantów.

## Jaka jest historia szczelinowania?

Korzenie szczelinowania hydraulicznego można wypatrywać w eksperymentach z roku 1860 przeprowadzanych w Pensylwanii, Nowym Jorku, Kentucky oraz Zachodniej Wirginii. Eksperymenty te polegały na użyciu nitrogliceryny, detonowanej na dnie odwiertu w celu powstania szczelin. Metoda ta przynosiła efekty zwiększając początkowo przepływ węglowodorów ale była skrajnie niebezpieczna. W roku 1930 rozpoczęto eksperymenty z nieeksplozywnymi płynami. Głównym składnikiem tych płynów były kwasy, mające rozpuszczać skały. Kolejnym krokiem w ewolucji tej metody, były badania Floyda Farrisa z Stanolind Oil & Gas Corporation. Przeprowadził on pierwszy test szczelinowania hydraulicznego w 1947r na złożu Hugoton w południowo-wschodnim Kansas. Jako pierwszy użył on płynu zawierającego proppanty w tym wypadku był to piasek z rzeki.



Rys. 2 Pierwsze szczelinowanie hydrauliczne na złożu Hugoton w U.S.A w 1947 r. Źródło: [www.cuadrillaresources.com](http://www.cuadrillaresources.com)



Rys. 1. Porównanie rodzajów odwiertów i szczelinowania. Źródło: Packer Plus

W październiku 1948 roku w Dallasa J.B. Clark kierownik badań produkcji tej samej firmy zaproponował nową metodę zwiększania wydajności otworów naftowych (1). Opublikowano ją w czasopiśmie „Oil and Gas Journal”. Patent o nazwie „Hydrafrac” został zgłoszony przez firmę Halliburton Oil Well Cementing Company w roku 1949. Metoda tej firmy polegała na użyciu, jako płynu szczelinującego mieszanki piasku oraz ropy naftowej. Warto zaznaczyć, że w pierwszym roku komercyjnego użytku

została ona zastosowana w 332 odwiertach zwiększając ich produktywność o 75%. W 1953 roku jako składnik płynu szczelinującego została zastosowana po raz pierwszy woda wraz z dodatkami chemikaliów oraz substancji żelujących. Przed rokiem 1950 średnio miesięcznie stosowano tę metodę w 3 000 tysiącach odwiertów. W roku 1968 ilość takich operacji wzrosła do 500 000 rocznie. Następnie zaczęto stosować ją w odwiertach pionowych w skałach łupkowych (łłowco-mółowcowych). Prawdziwa rewolucja w zastosowaniu szczelinowania hydraulicznego nastąpiła jednak dopiero, kiedy opracowano metodę wierzeń poziomych w skałach łupkowych. Dokonała tego firma Mitchell Energy na złożu Texas Barnett Shale w 1991 roku. Połączenie tych metod w roku 1998 również przez tę firmę zaowocowało pierwszym komercyjnie udanym odwiertem przy użyciu wiercenia poziomego ze szczelinowaniem typu „slick water”. Dalsza historia przedstawia ciągły wzrost wydobywania zastosowania tej metody głównie na złożach niekonwencjonalnych.

### Jak wyglądał rozwój szczelinowania hydraulicznego w Polsce??

W październiku 1948 roku J.B. Clark opublikował artykuł w czasopiśmie „Oil and Gas Journal” na temat szczelinowania hydraulicznego. Skróć tego referatu w Polsce opublikował dr inż. Bronisław Fleszar, pracownik Instytutu Naftowego, w czasopiśmie „Nafta” już w październiku 1948 roku. Możemy uważać, że był to początek zainteresowania tą metodą przez naukowców. Stworzeniem podstaw teoretycznych, opisem właściwości cieczy zabiegowych (szczelinujących) i pierwszymi badaniami laboratoryjnymi w Polsce zajmował się dr inż. Bronisław Fleszar pracownik Instytutu Naftowego. W 1956 roku polski przemysł naftowy zainteresował się tym zabiegiem (1). W tym samym roku mgr. inż. Marian Ptaka powrócił z Rumuni gdzie był świadkiem szczelinowania hydraulicznego. Na podstawie wykonanych badań i notatek z podróży przeprowadzono pierwsze próby przemysłowe szczelinowania w polskim przemyśle naftowym. Zabiegi wykonane zostały w otworach naftowych „Załęże 3”, „Mrukowa 18”, „Węglówka 37” i „Bóbrka 108” (1).



Rys. 3. Inż. Bronisław Fleszar oraz jego książka. Źródło: 1

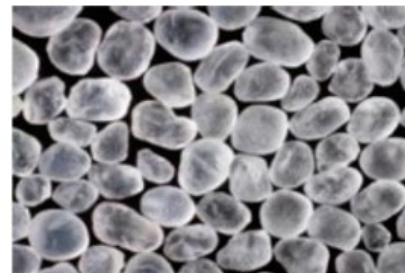
Opis, wyniki i wnioski z pierwszych zabiegów opublikowane zostały w czasopiśmie „Przegląd naftowy” nr 5. i nr 6. z 1956r w artykule p.t.: „Zwiększenie wydobywania ropy metodą hydraulicznego szczelinowania złóż” przez mgr inż. Józefa Zuzaka oraz w czasopiśmie Nafta nr 7 z 1956r w artykule p.t. „Hydrauliczne szczelinowanie w polskich warunkach złożowych”. W 1964 roku dr inż. Bronisław Fleszar opublikował książkowe wydanie „Szczelinowania złóż naftowych”. Badania nad szczelinowaniem hydraulicznym i jego zastosowaniem na polskich złożach są wykonywane już od 60 lat. Warto dodać, że w trakcie rozwoju tej metody wielokrotnie zmieniały się składy płynów zabiegowych, proppantów, wykorzystywanych bądź nie, oraz stosowanego sprzętu. Przez długi okres jako płyn szczelinujący, w tym na polskich złożach wykorzystywano ropę naftową, różnego typu oleje albo inne płyny zawierające węglowodory. Przykładowo w 1955 roku był badany i stosowany płyn, który zawierał związki chemiczne w składzie : 63% - ropa bezparafinowa, 26% - olej bunkrowy, 8% - woda, 3% - mydło naftenowe. W 1976 roku z kolei badano i zastosowano płyn, który składał się w ok. 80% z oleju napędowego ok. 15% do 20% z kwasu octowego o stężeniu około 10% oraz emulgatora Rokacet S-24 (2). Dla porównania płyn szczelinujący obecnie stosowany na całym świecie w porównaniu z początkowo stosowanymi jest bardzo mało szkodliwy i prosty do utylizacji. Składa się on głównie z wody, a środki chemiczne stanowią tylko 0,5%. Ponadto zastosowane w nim dodatki chemiczne są w produktach używanych w gospodarstwach domowych. Prawdziwy rozkwit techniki szczelinowania hydraulicznego nastąpił dopiero na początku XXI wieku. Wzrost cen ropy naftowej i gazu oraz wyczerpywanie się dostępnych złóż konwencjonalnych przyczyniły się do znacznego zwiększenia wydatków na badania i rozwój oraz poszukiwanie nowych złóż, co poskutkowało unowocześnieniem technologii, umożliwiającą opłacalne wydobywanie węglowodorów niekonwencjonalnych.

### Czym są proppanty i jaka jest ich historia?

Nieodzownym elementem szczelinowania są proppanty. Dzięki nim powstałe szczeliny nie zamykają się i jest możliwa eksploatacja węglowodorów. Historia proppantów jest ściśle powiązana z historią szczelinowania hydraulicznego gdyż jedno bez drugiego nie istnieje. Proppanty po raz pierwszy zostały zastosowane pod koniec lat 40-tych XX wieku w Ameryce Pół-

nocnej. Początkowo jako proppantów używano tylko piasku kwarcowego wydobywanego z dna rzeki Arkansas i innych. Podstawową zaletą tych surowców jest niska cena i dostępność. Charakteryzują się one niestety małą wytrzymałością na ściskanie, słabą sferycznością oraz kulistością co powoduje, że wydobywanie surowców przy ich

Piasek



Spiekany boksyt



Piasek otoczony żywicą



Proppanty ceramiczne



Rys. 4. Rodzaje proppantów. Źródło: opracowanie własne Baltic Ceramics



zastosowaniu na większych głębokościach jest coraz mniej efektywne. Piasek kwarcowy wykorzystywany był również w Polsce w latach 50-tych ubiegłego wieku. Warto nadmienić, że przez blisko 60 lat prac nad metodą szczelinowania hydraulicznego w Polsce, krajowi badacze przyczynili się do ustawicznego doskonalenia cieczy zabiegowych oraz urządzeń do szczelinowania. W późniejszych okresach, jako materiał podsadzkowy polscy badacze wykorzystywali m.in. glin, wapień, magnez czy krzemionkę. Mała wytrzymałość piasku połączona z chęcią eksploatacji głębszych złóż spowodowała konieczność poszukiwania proppantów, które odznaczałyby się lepszymi właściwościami fizycznymi. W latach 60-tych XX wieku prowadzono próby szczelinowania z wykorzystaniem proppantów w postaci kulek szklanych, plastikowych oraz np. rozdrobnionych łupin orzecha włoskiego. Zaletą tych ostatnich była ich niska cena oraz to, że nie pękały i nie kruszyły się. Z racji niskiego ciężaru właściwego ich zastosowanie stwarzało jednak liczne problemy. Na ich niekorzyść działało też to, że ulegały deformacjom pod wpływem ciśnienia i temperatur panujących w odwiertach. Kolejnym etapem rozwoju proppantów była próba zastosowania proppantów metalicznych. Proppanty te posiadały niestety szereg wad, między innymi: okazały się drogie w produkcji, nie były objęte w środowisku kwasowym oraz posiadały zbyt wysoki ciężar właściwy. W 1983 roku po raz pierwszy w komercyjnym zastosowaniu znalazły się proppanty otrzymane poprzez spiekanie boksytu. Otrzymane w ten sposób proppanty były bardzo wytrzymałe i niestety bardzo drogie. Następnym etapem było pokrywanie proppantów piaskowych żywicami. W kolejnych latach podjęto próby otrzymania proppantów lżejszych niż na bazie boksytu, a jednocześnie odznaczających się podobnym lub wyższym stopniem wytrzymałości na ściskanie. Przełom w tych pracach nastąpił dopiero w połowie lat 80-ych XX wieku, kiedy opracowano pierwsze lekkie proppanty ceramiczne. Od tego czasu trwają nieustanne pra-

ce zmierzające do poprawy ich właściwości. Proppanty ceramiczne poddawane są różnym technikom poprawiającym ich właściwości i są określane jako najbardziej perspektywiczna grupa proppantów. Obecnie na rynku występują następujące rodzaje proppantów:

### Czym są i jak powstają proppanty ceramiczne?

Proppanty ceramiczne produkowane są z naturalnych surowców mineralnych: ilów, boksytów i kaolinów oraz mieszanek zawierających różne proporcje tych surowców a także inne mineralne dodatki. Schematycznie proces produkcji polega na mieniu i mieszaniu surowców, wzbogacaniu ich oraz wypalaniu. Ostateczna jakość oraz cena proppantów ceramicznych uzależniona jest od odpowiedniego doboru składników i od procesu produkcyjnego. Szczegóły technologiczne produkcji proppantów ceramicznych okryte są tajemnicą. Należy podkreślić, iż proppanty ceramiczne to produkt ceramiczny o najmniejszych rozmiarach (nawet o średnicy 100 μm) sprzedawany masowo dopiero od około 15 lat. Rygor jakim ten produkt jest poddawany w trakcie produkcji oraz w trakcie jego zastosowania przy stosunkowo niedługim czasie jego rozwoju, w porównaniu do innych powszechnie sprzedawanych produktów ceramicznych powoduje, iż dostępność do wiedzy na temat ich produkcji jest bardzo ograniczona, a początkowe i późniejsze nakłady na badania i rozwój stanowią nieodłączną część działalności operacyjnej firm, które chcą produkować albo już produkują proppanty ceramiczne. Proppanty ceramiczne to obecnie jedna z najbardziej zaawansowana technologicznie grupa proppantów stosowanych w procesie szczelinowania. Właściwości fizykochemiczne proppantów ceramicznych, dzięki intensywnie prowadzonym pracom badawczo-rozwojowym, są wciąż poprawiane, dzięki czemu mają coraz lepszą odporność na działania wysokich temperatur, ciśnienia oraz płynów szczelinujących i złożowych, występujących na dużych głębokościach, czyli 3,5 do 5,5 km pod ziemią.

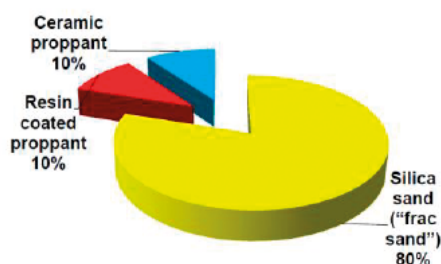
Dodatkowo ważnym atutem proppantów ceramicznych jest bardzo wysoka powtarzalność produktu w danym rozmiarze (w średnicach od 0,1-1,7 mm) oraz możliwość zachowania kształtu. Te cechy wpływają na coraz szersze zastosowanie proppantów ceramicznych, w tym przy wydobywaniu gazu łupkowego a także ropy naftowej ze skał łupkowych, niedostępnej przy stosowaniu starszych technologii wydobywczych.

### Jak wygląda światowy rynek proppantów?

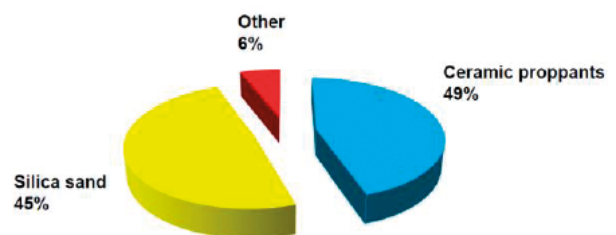
Proppanty są używane w przemyśle wydobywczym ropy i gazu ziemnego już ponad 70 lat, jednak wprowadzenie techniki wierceń kierunkowych (directional drilling) i wierceń poziomych (horizontal drilling), a w szczególności wprowadzenie szczelinowania hydraulicznego (hydraulic fracturing albo hydraulic fracking), spowodowało nowe możliwości wzrostu ich zastosowania i użycia. Z kolei dzięki nowej technologii produkcji proppantów ceramicznych, firmy wydobywcze prawie bez ograniczeń mogą dotrzeć do najgłębszych i najbogatszych w gaz pokładów gazu łupkowego, aż do poziomu ok. 5,5 km pod ziemią, zarówno na lądzie jak i off-shore.

Proppanty ceramiczne zostały po raz pierwszy użyte w USA w 1983 roku. Od tego czasu są z ogromnym sukcesem stosowane do wydobycia gazu zaciśniętego (tight gas). Od lat 90. XX wieku proppanty ceramiczne są stosowane także w Europie. Globalny rynek wszystkich rodzajów proppantów przekroczył wolumen 45 milionów ton w 2013 roku, z 28% wzrostem w porównaniu do 2012 roku. W 2013 roku było na świecie 63 producentów proppantów piaskowych, 17 producentów proppantów piaskowych otoczkowanych żywicami oraz ponad 40 producentów proppantów ceramicznych. Jednak tylko kilku producentów oferuje proppanty ceramiczne wysokiej jakości czyli klasy „premium”. Według naszych szacunków ceny proppantów ceramicznych „premium” kształtują się na poziomie od 900 do ponad 1 200 USD za tonę.

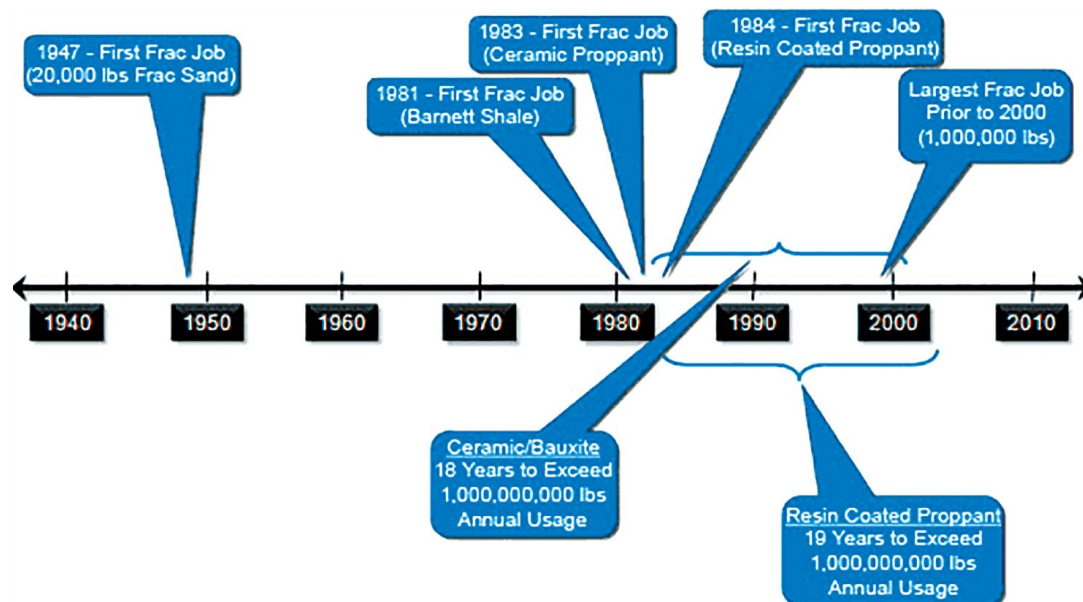
Proppant market share by volume (60bn lbs 2011)



Proppant market share by value (\$3.7bn 2011)



Rys. 5. udziały ilościowe i wartościowe proppantów w rynku w roku 2011. Źródło: Freedomia 2011



Rys. 6. Historia zużycia proppantów. Źródło: momentivefracline.com

Warto zaznaczyć, że według danych z 2011 r. proppanty piaskowe mają 80% udziału w wolumenie rynków, ale tylko 45% w wartości rynku proppantów. Natomiast proppanty ceramiczne mają 10% udziału w wolumenie rynków, ale za to 49% udział w wartości rynku proppantów, co oznacza, że mimo wyższej ceny na proppanty ceramiczne istnieje zapotrzebowanie.

Dynamiczny wzrost zużycia proppantów ceramicznych obserwujemy od początku XXI wieku, kiedy zostały powszechnie zastosowane do poziomego szczelinowania hydraulicznego. W latach 2002-2010 średnioroczny wzrost zużycia proppantów ceramicznych wyniósł 23,3%. Poniższa linia czasowa przedstawia jak historycznie zmieniło się zużycie proppantów.

Głównym rynkiem zbytu proppantów ceramicznych w procesie wydobywania gazu łupkowego są Stany Zjednoczone i Kanada, jednak w ostatnim czasie obserwujemy wzrost zużycia proppantów ceramicznych również w Chinach i w innych krajach. Szacujemy, że około 75% proppantów ceramicznych wykorzystywane jest do wydobywania gazu i ropy łupkowej w procesie szczelinowania hydraulicznego, zaś pozostałe 25% do wydobywania innych węglowodorów ze złóż konwencjonalnych i niekonwencjonalnych, w tym w innych procedurach wydobywczych np. gravel packing. W Europie proppanty ceramiczne są stosowane przy wydobywaniu gazu zaciśniętego (tight gas) w Niemczech i w Holandii, oraz przy wydobywaniu węglowodorów z odwiertów off-shore m.in. w Norwegii, Danii, Holandii i Wielkiej Brytanii. Obecnie rynek amerykański zużywa rocznie około 70% światowej produkcji proppantów ceramicznych, ale rosnąca produkcja gazu łupkowego i ropy łupkowej

w najbliższych 5-10 latach zwiększy zapotrzebowanie na proppanty w Europie, Afryce (część północna i RPA), Azji (w szczególności w Chinach), w Ameryce Północnej (Meksyk), w Ameryce Południowej (Argentyna) i w Australii. Szacuje się, że popyt na proppanty ceramiczne będzie przewyższał podaż w najbliższej dekadzie, co doprowadzi do dalszego wzrostu ich cen. Prognozy te dotyczą proppantów ceramicznych wysokiej jakości. Według danych z PropTester Report, wartość światowego rynku proppantów ceramicznych w 2010 roku wyniosła 1,2 mld USD, w 2011 roku około 1,7 mld USD, w 2012 roku około 1,8 mld USD, w 2015 roku powinna wynieść 2,6 mld USD, zaś w 2020 roku wyniesie już 5,2 mld USD. Wzrost rynku osiągnęty jest zarówno przez wzrost wolumenu jak i wzrost cen. Oznacza to, że w perspektywie trwającej dekady, światowy rynek proppantów ceramicznych co 5 lat będzie podwajał swoją wartość. Należy przy tym nadmienić, że branża związana z wydobywaniem węglowodorów ze skał łupkowych jest we wczesnej fazie rozwoju i posiada bardzo wysoki potencjał dalszego wzrostu. Światowy rynek proppantów ma przed sobą dobre perspektywy również ze względu na fakt, że gaz ziemny odgrywa coraz większą rolę na światowym rynku surowców i energii. Rosnące zapotrzebowanie na ten surowiec, a także stosunkowo wysokie ceny zmuszają rządy wielu krajów do podjęcia działań mających na celu odkrycie i eksploatację nowych niekonwencjonalnych złóż gazu ziemnego. W szczególności związane jest to z faktem, że gaz ziemny jest nie tylko nośnikiem energetycznym, ale także podstawowym surowcem petrochemicznym, z którego produkuje się większość tworzyw sztucznych na świecie.

## Podsumowanie

Celem niniejszego artykułu było przedstawienie historii szczelinowania hydraulicznego i proppantów zarówno na świecie jak i w Polsce, oraz przedstawienie analizy rynku proppantów. Na podstawie przedstawionych danych można stwierdzić, że szczelinowanie hydrauliczne zarówno na świecie jak i w Polsce ma długą historię. Nie da się ukryć faktów, iż metoda ta była stosowana zarówno w Europie jak i w Polsce od kilkudziesięciu lat i jak do tej pory nie odnotowano żadnych poważniejszych problemów z nią związanych. Warto zaznaczyć iż w tym okresie skład płynu szczelinującego uległ diametralnej zmianie i stał się bardziej przyjazny dla środowiska. Przedstawiony w niniejszym opracowaniu rozwój proppantów, w tym pojawienie się proppantów ceramicznych przyczynił się do wzrostu efektywności całego procesu, oraz do jego rozprzestrzenienia na głębiej zalegające złoża. Biorąc pod uwagę analizy rynku oraz szacunki, rynek proppantów ceramicznych w najbliższych latach będzie ulegał ciągłemu wzrostowi.

## Przypisy

1. Józef Zuzak, 4/2013, *Historia Hydraulicznego Szczelinowania w Polskim Przemśle Naftowym, część pierwsza podstawy teoretyczne, Wiek Nafty*
2. Józef Zuzak, 1/2014, *Historia Hydraulicznego Szczelinowania w Polskim Przemśle Naftowym, część – Technologia, Technika i organizacja, Wiek Nafty*
3. <http://frackingresource.org/>

Marcin Zimny  
BALTIC CERAMICS S.A.

Dariusz Janus  
CEO, IndigoTech Minerals SA