

Warsztaty pt. „Prawno-organizacyjne aspekty poszukiwania, rozpoznawania i wydobywania gazu z niekonwencjonalnych złóż w Polsce”

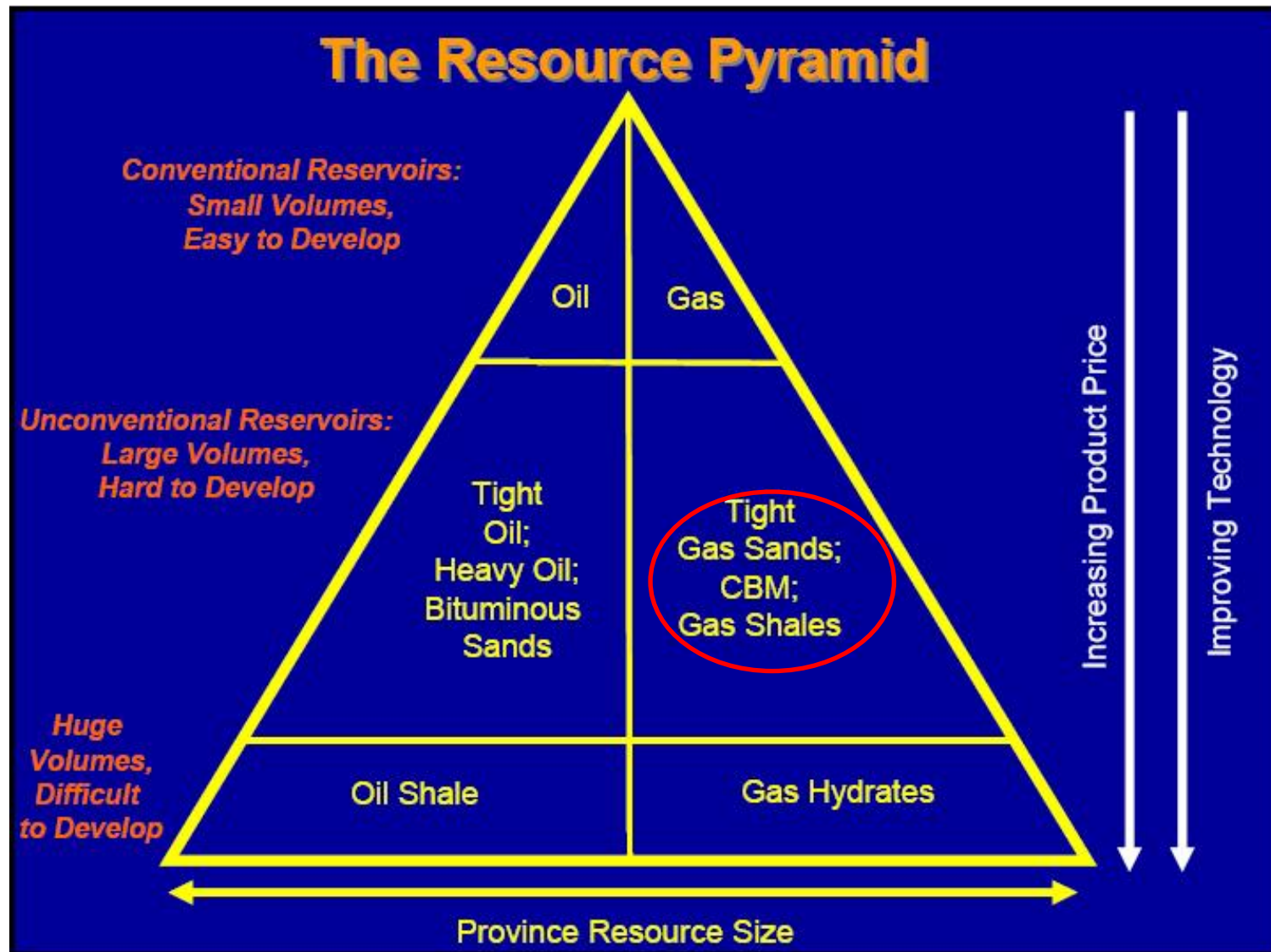
PIG – PIB, 18 czerwca 2013, Warszawa

Geologiczne uwarunkowania poszukiwania, rozpoznawania i wydobywania gazu z niekonwencjonalnych złóż w Polsce



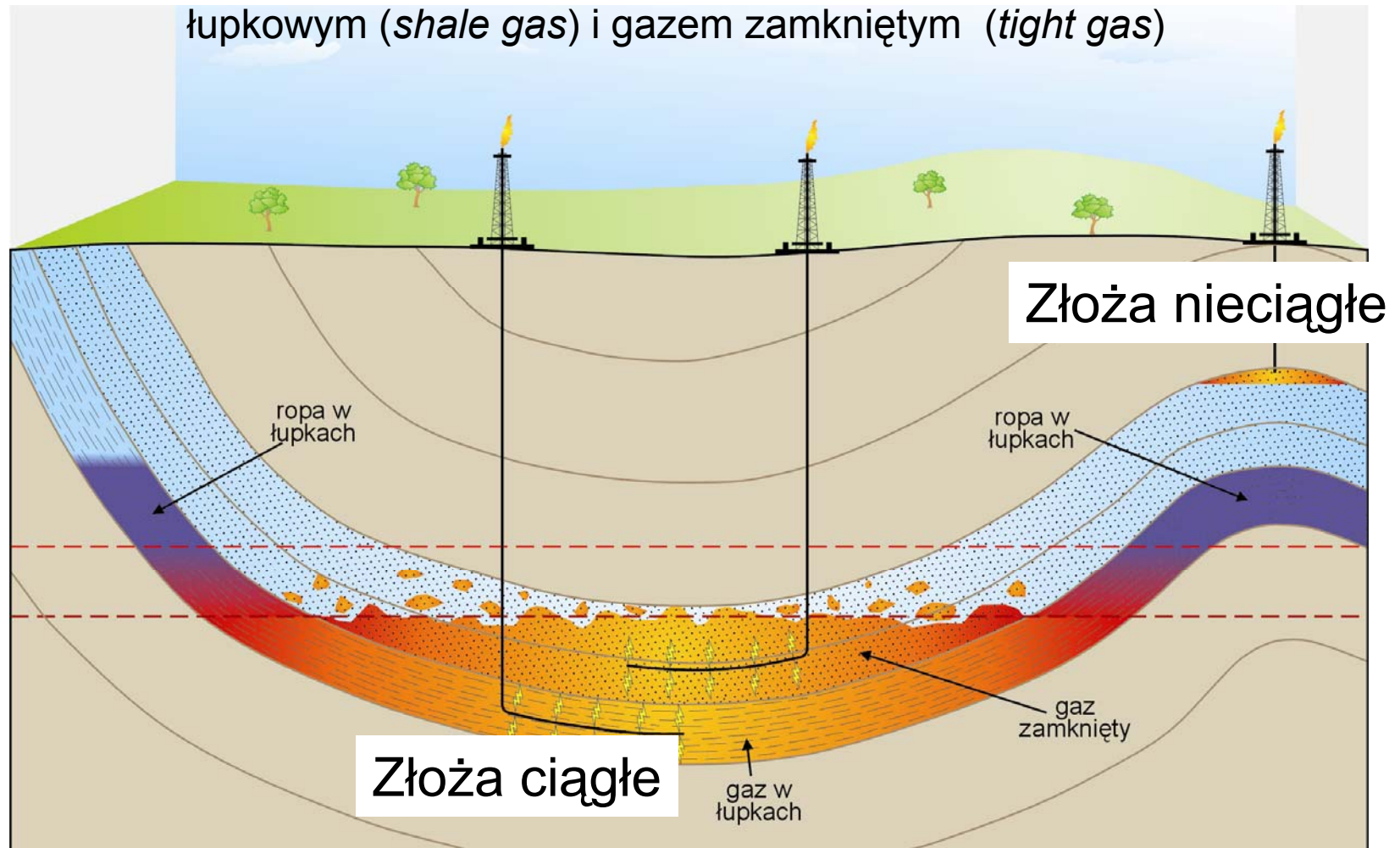
Hubert Kiersnowski
Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

Znaczenie złóż niekonwencjonalnych



NIEKONWENCJONALNE ZŁOŻA GAZU I ROPY

Schemat na podstawie przykładów z amerykańskich basenów z gazem łupkowym (*shale gas*) i gazem zamkniętym (*tight gas*)



North American shale plays (as of May 2011)

Skąd się wzięło nagłe zainteresowanie w Polsce i Europie złożami niekonwencjonalnymi

Giant shale gas/oil basins

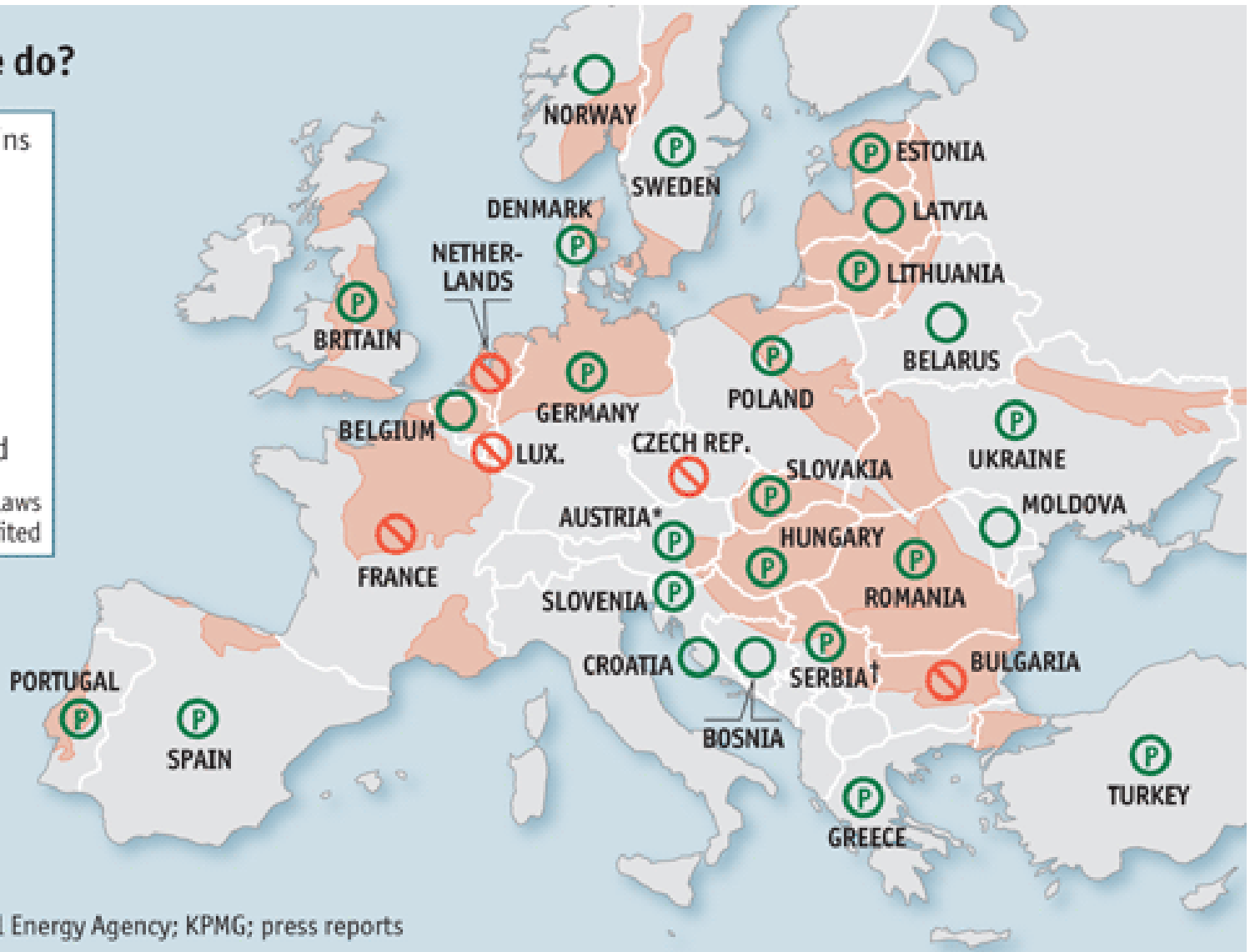


Source: U.S. Energy Information Administration based on data from various published studies. Canada and Mexico plays from ARI.
Updated: May 9, 2011



Lokalizacja basenów sedymentacyjnych w Europie z formacjami łupkowymi potencjalnie zawierającymi złoża gazu ziemnego

What shale we do?



Sources: International Energy Agency; KPMG; press reports



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

www.pgi.gov.pl

Za The Economist , 2 February 2013

Złoża ciągłe (*continuous*)

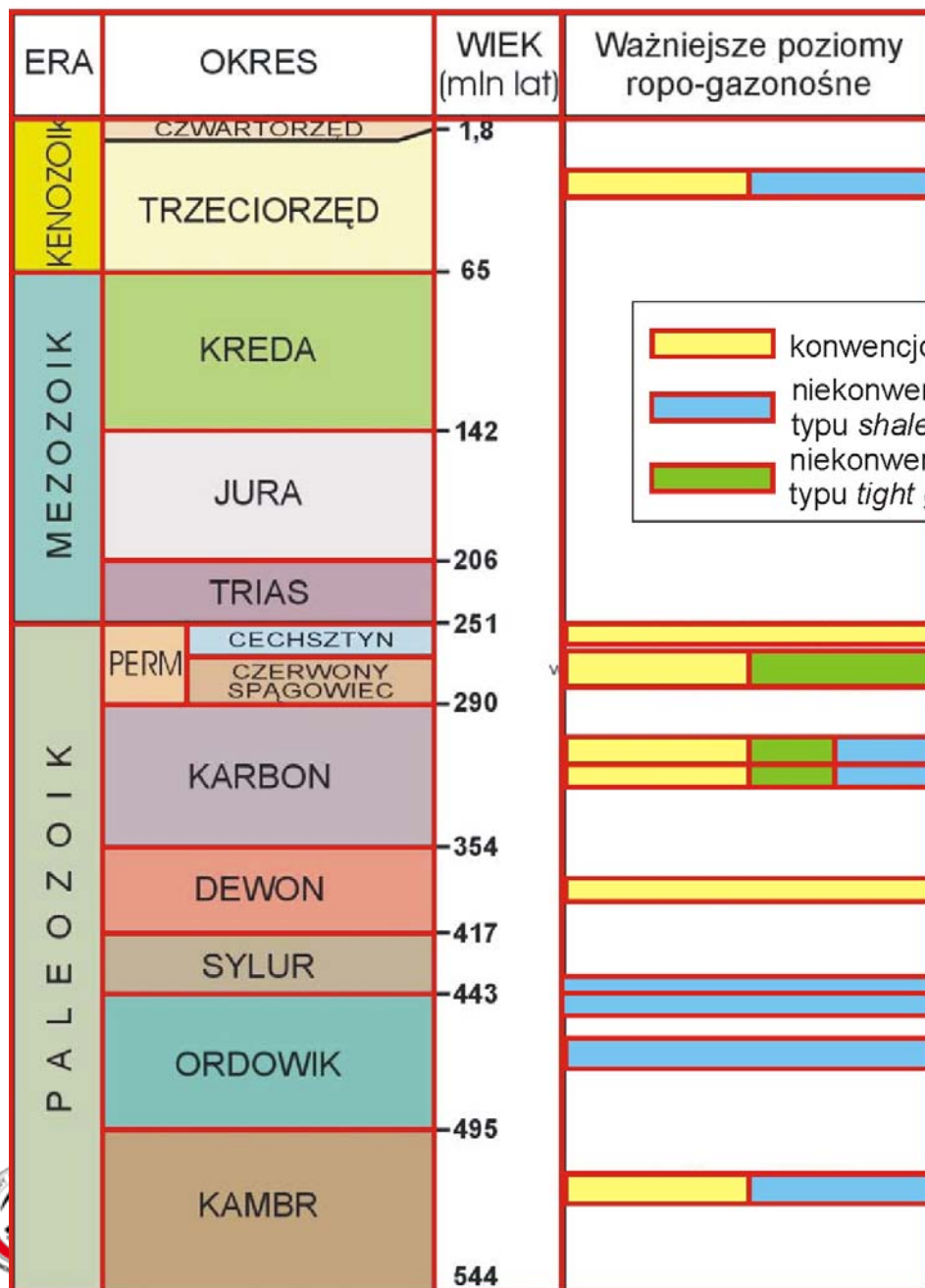
Baseny sedymentacyjne w Polsce z potencjalnymi złożami gazu ziemnego w łupkach – *shale gas*



SCHEMATYCZNA TABELA STRATYGRAFICZNA Z WAŻNIEJSZIMI POZIOMAMI ROPO-GAZONOŚNYMI W POLSCE



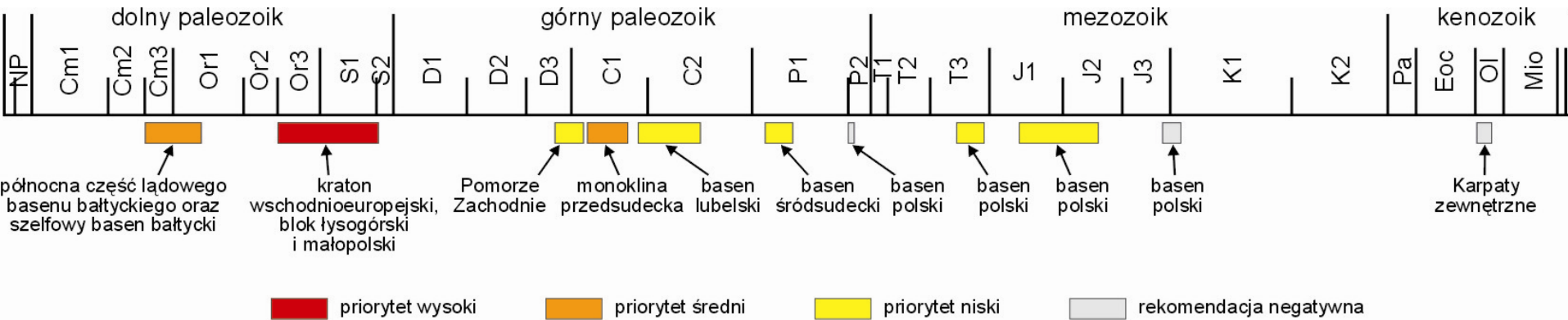
PGI – NRI
SCIENTIFIC
STUDY



- konwencjonalne złoża ropy i gazu
- niekonwencjonalne złoża ropy i gazu w łupkach typu *shale gas* i *shale oil*
- niekonwencjonalne złoża gazu w piaskowcach typu *tight gas*



Pozycja stratygraficzna i obszary występowania najważniejszych formacji ciemnych łupków w Polsce, wg P. Poprawa, 2010



Poza rozpoznawanymi obecnie łupkami ordowiku i syluru. Inne formacje łupków są traktowane jako perspektywiczne z różnym stopniem prawdopodobieństwa



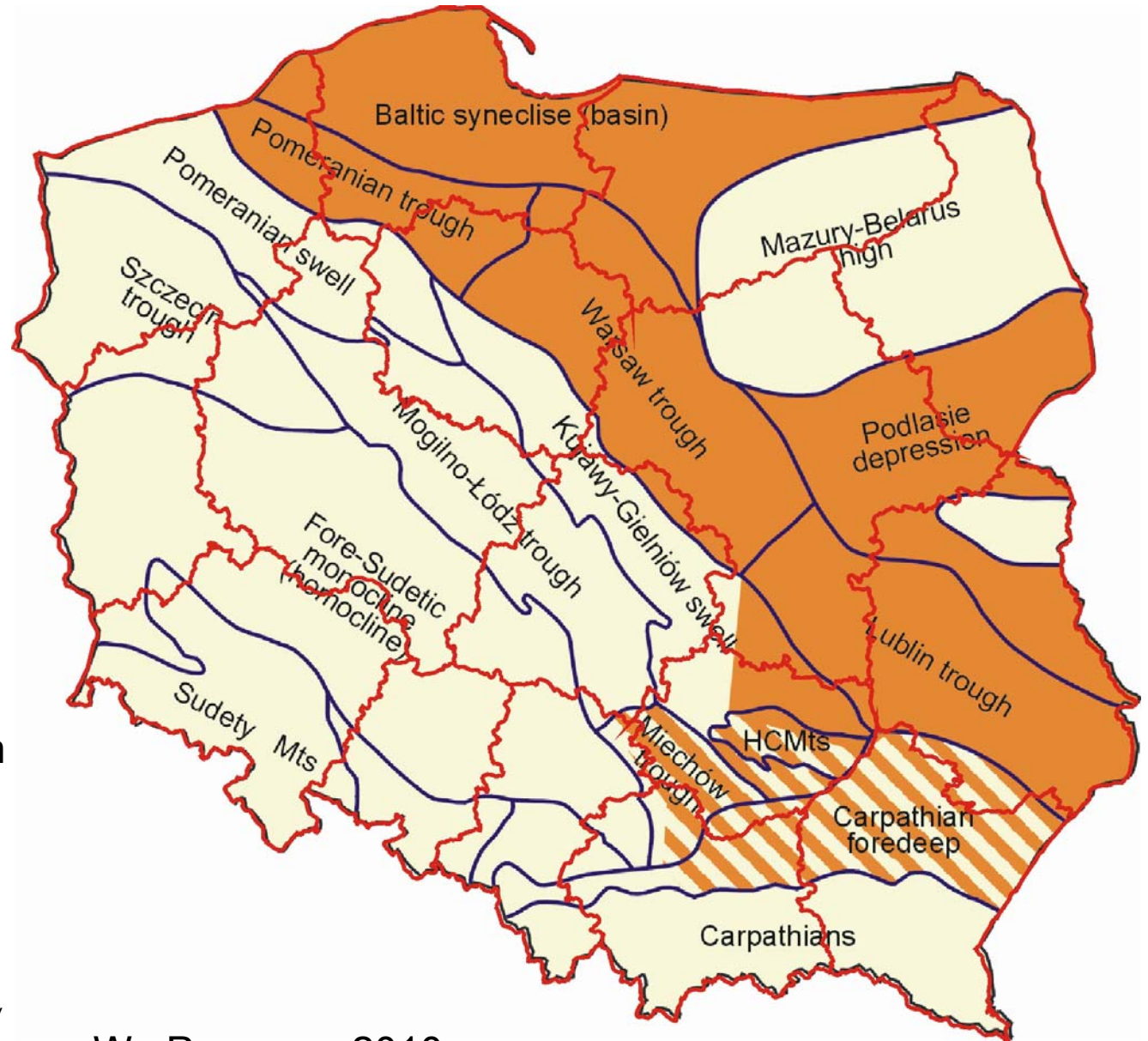
ŁUPKI AŁUNOWE I DIKCJONEMOWE – GÓRNY KAMBR oraz ORDOVIK - TREMADOK)

Łupki morskie, gazonośne o miejscowej wysokiej zawartości TOC*, o niskiej miąższości i niskiej głębokości zalegania. Niski stopień deformacji tektonicznych i niska dojrzałość termiczna.

*TOC – *total organic content* – całkowita zawartość (wagowa) węgla organicznego występującego w skale przed lub pozostałego po maturacji



ŁUPKI DOLNEGO SYLURU I GÓRNEGO ORDOWIKU



Łupki morskie, gazonośno-ropne o miejscowej wysokiej zawartości TOC, o wysokiej miąższości i znacznej głębokości zalegania. Niski stopień deformacji tektonicznych i wysoka dojrzałość termiczna.



ŁUPKI DOLNOKARBOŃSKIEGO KULMU

Łupki morskie, gazonośne o miejscowej wysokiej zawartości TOC, o wysokiej miąższości i niskiej głębokości zalegania. Wysoki stopień deformacji tektonicznych i wysoki stopień dojrzałości termicznej.



ŁUPKI GÓRNOKARBOŃSKIE - NAMUR

Łupki morskie, gazonośno-ropne o miejscowej wysokiej zawartości TOC, o korzystnej miąższości i niskiej głębokości zalegania. Niski stopień deformacji tektonicznych i niska dojrzałość termiczna.



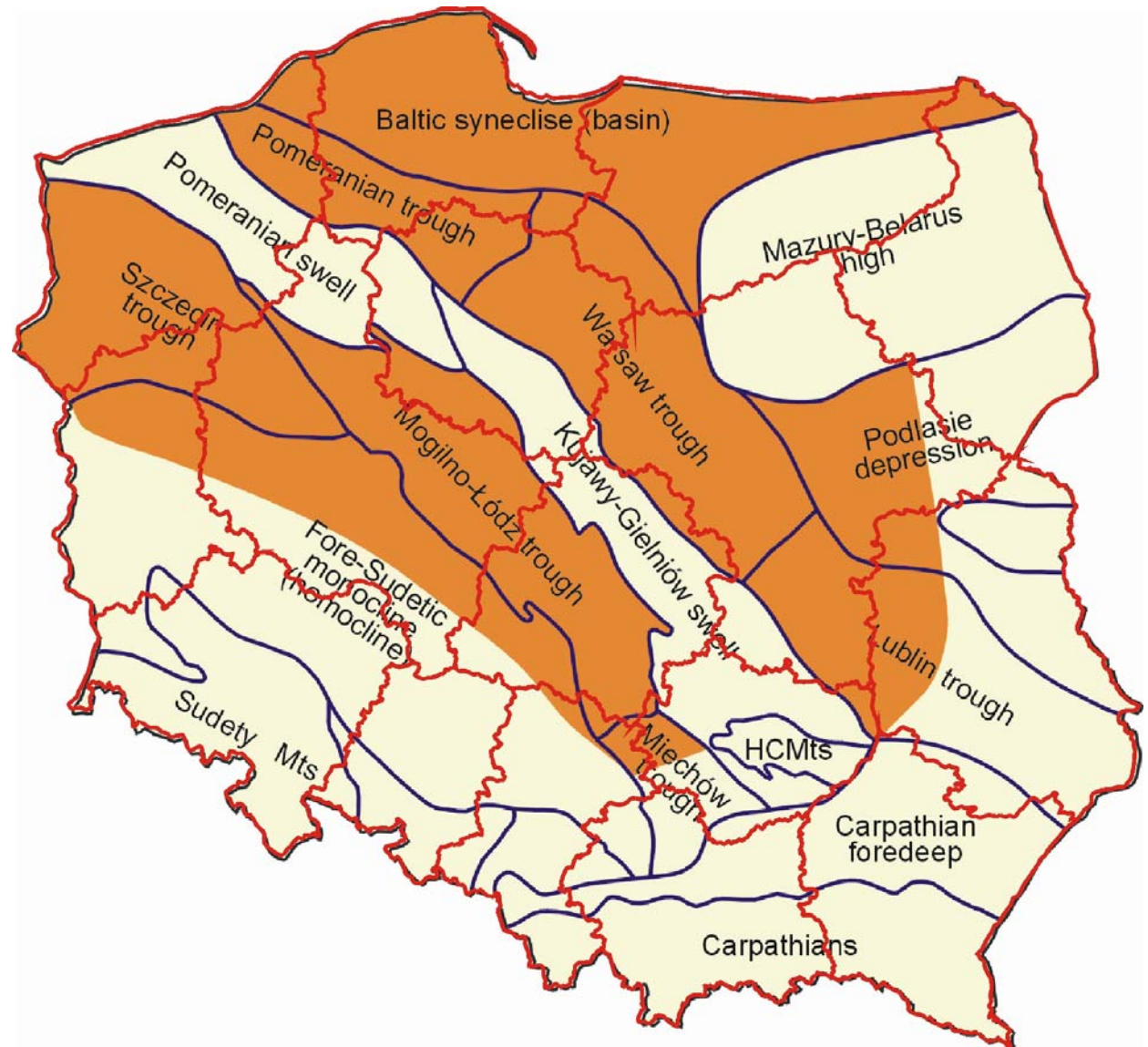
ŁUPKI DOLNEJ I ŚRODKOWEJ JURY

Łupki morskie, gazonośno-ropne o miejscowej wysokiej zawartości TOC, o korzystnej miąższości i niskiej głębokości zalegania. Niski stopień deformacji tektonicznych i niska dojrzałość termiczna.



ŁUPKI NAJWYŻSZEJ JURY DO NAJNIŻSZEJ KREDY

Łupki morskie, ropne o niskiej zawartości TOC, o niskiej miąższości i niskiej głębokości zalegania. Niski stopień deformacji tektonicznych i niska dojrzałość termiczna.



ŁUPKI MENILITOWE – DOLNY OLIGOCEN



Łupki morskie, gazonośne o wysokiej zawartości TOC, miejscami korzystnej miąższości i niskiej głębokości zalegania. Wysoki stopień deformacji tektonicznych i niska dojrzałość termiczna.



KONCESJE POSZUKIWAWCZE stan obecny

Na czerwono zaznaczone są koncesje na poszukiwanie, rozpoznawanie oraz wydobywanie gazu ziemnego i ropy naftowej „shale gas/oil”



MINISTERSTWO ŚRODOWISKA
MAPA KONCESJI NA POSZUKIWANIE GAZU ZIEMNEGO "SHALE GAS" WG STANU NA 31-03-2013 R.

- koncesje na poszukiwanie gazu ziemnego "shale gas"
 - złożone wnioski na poszukiwanie gazu ziemnego "shale gas"
 - koncesje na poszukiwanie gazu ziemnego konwencjonalnego
 - złożone wnioski na poszukiwanie gazu ziemnego konwencjonalnego
- złożone wnioski na poszukiwanie gazu ziemnego "shale gas" złożone wnioski na poszukiwanie gazu ziemnego konwencjonalnego
- złożone wnioski na poszukiwanie gazu ziemnego "shale gas" zgodnie z art. 46 ustawy Prawo geologiczne i górnicze
- złożone wnioski na poszukiwanie gazu ziemnego konwencjonalnego



Wydanie: 01-03-2013
 © Copyright by IGP 2013
 MERS: 01-03-2013

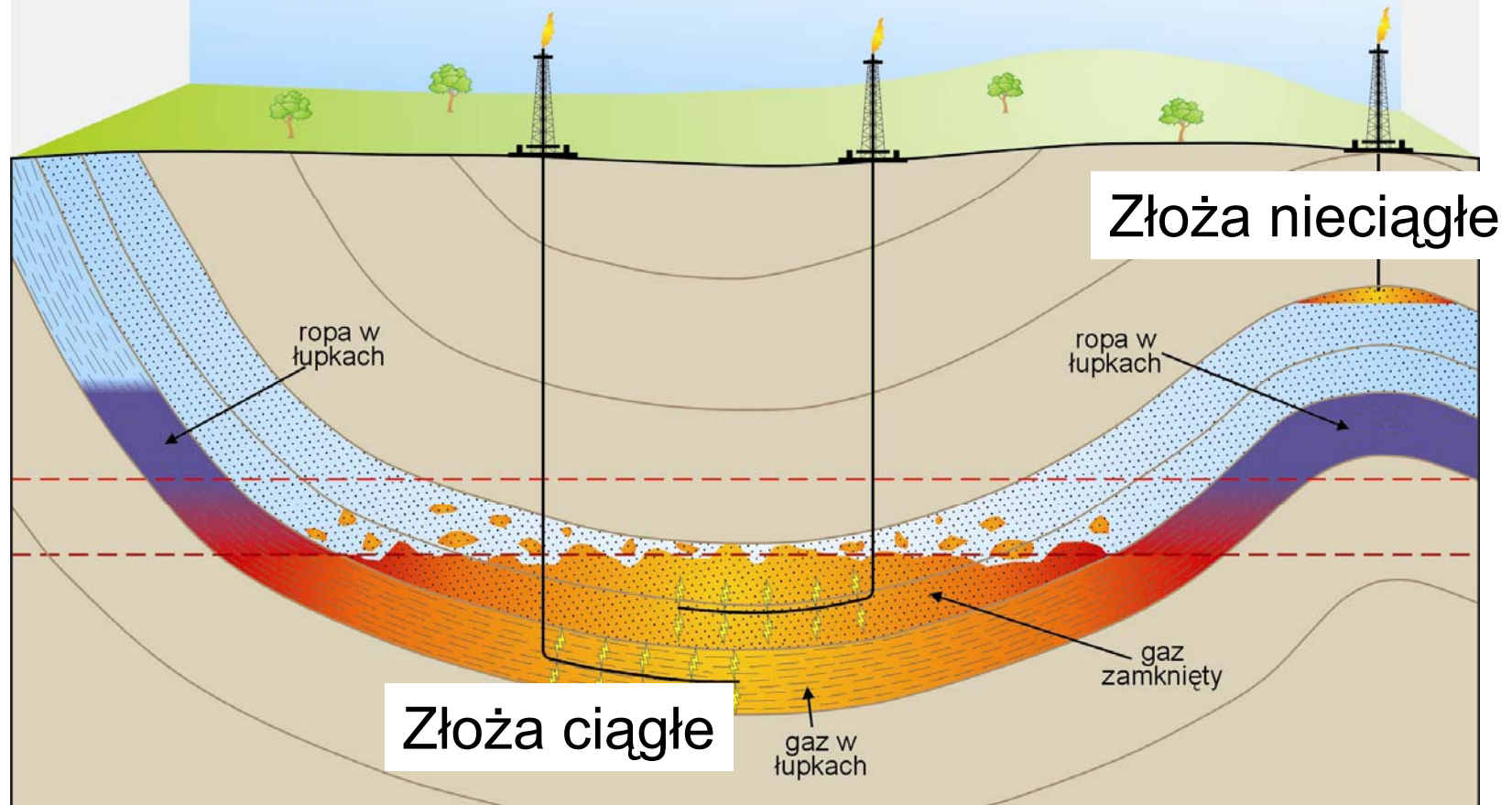
Złoża ciągłe (*continuous*)

Baseny sedimentacyjne w Polsce z potencjalnymi złożami gazu ziemnego zamkniętego (zaciśniętego) – *tight gas*

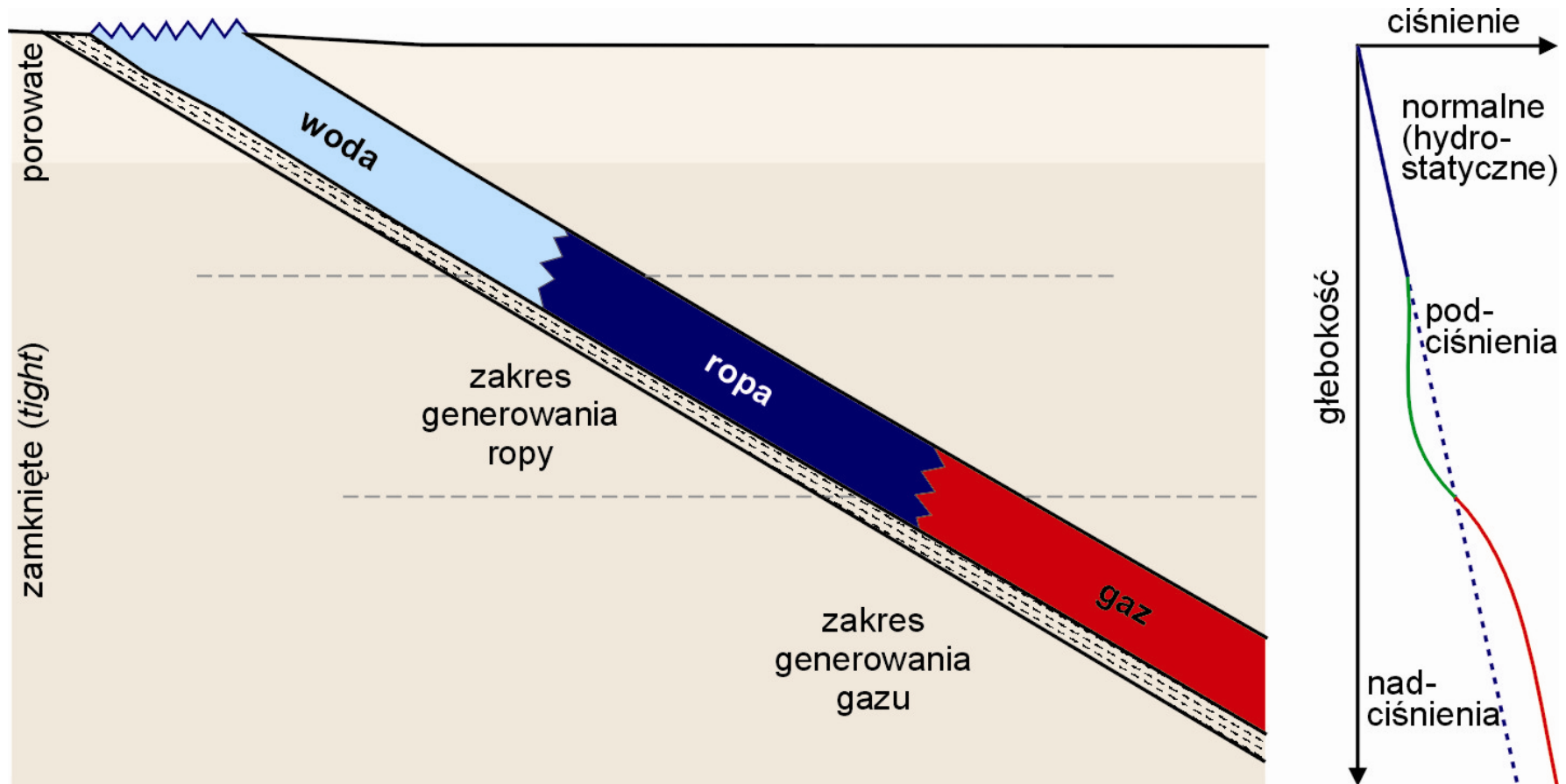


NIEKONWENCJONALNE ZŁOŻA GAZU I ROPY

Schemat na podstawie przykładów z amerykańskich basenów z gazem łupkowym (*shale gas*) i gazem zamkniętym (*tight gas*)



Podstawy geologii złóż w piaskowcach *tight*

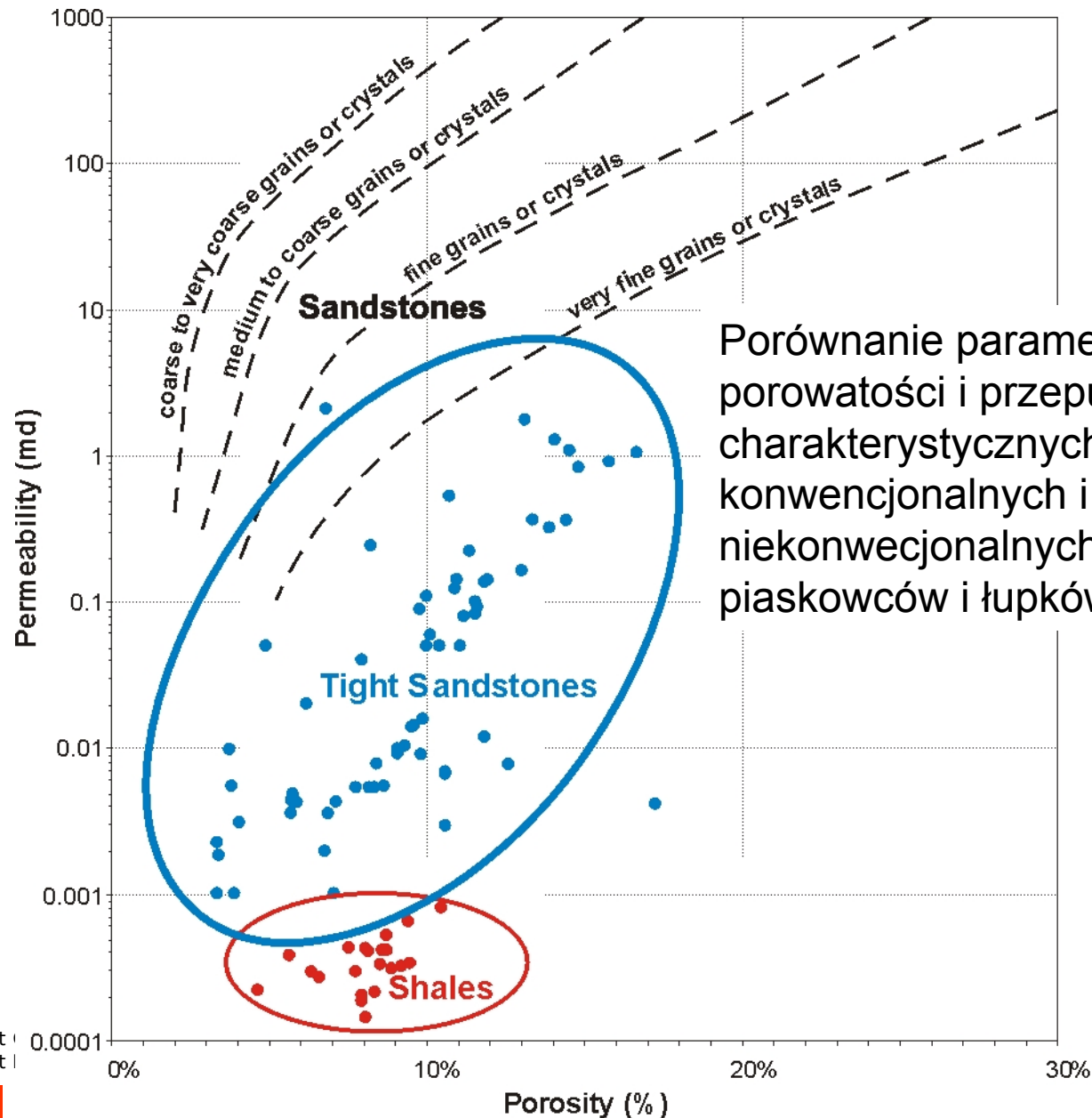


według: Meckel & Smith (1993)

Schemat rozkładu płynów złożowych oraz ciśnień w górotworze w systemie węglowodorowym z gazem w centrum basenu (*basin centered gas*)



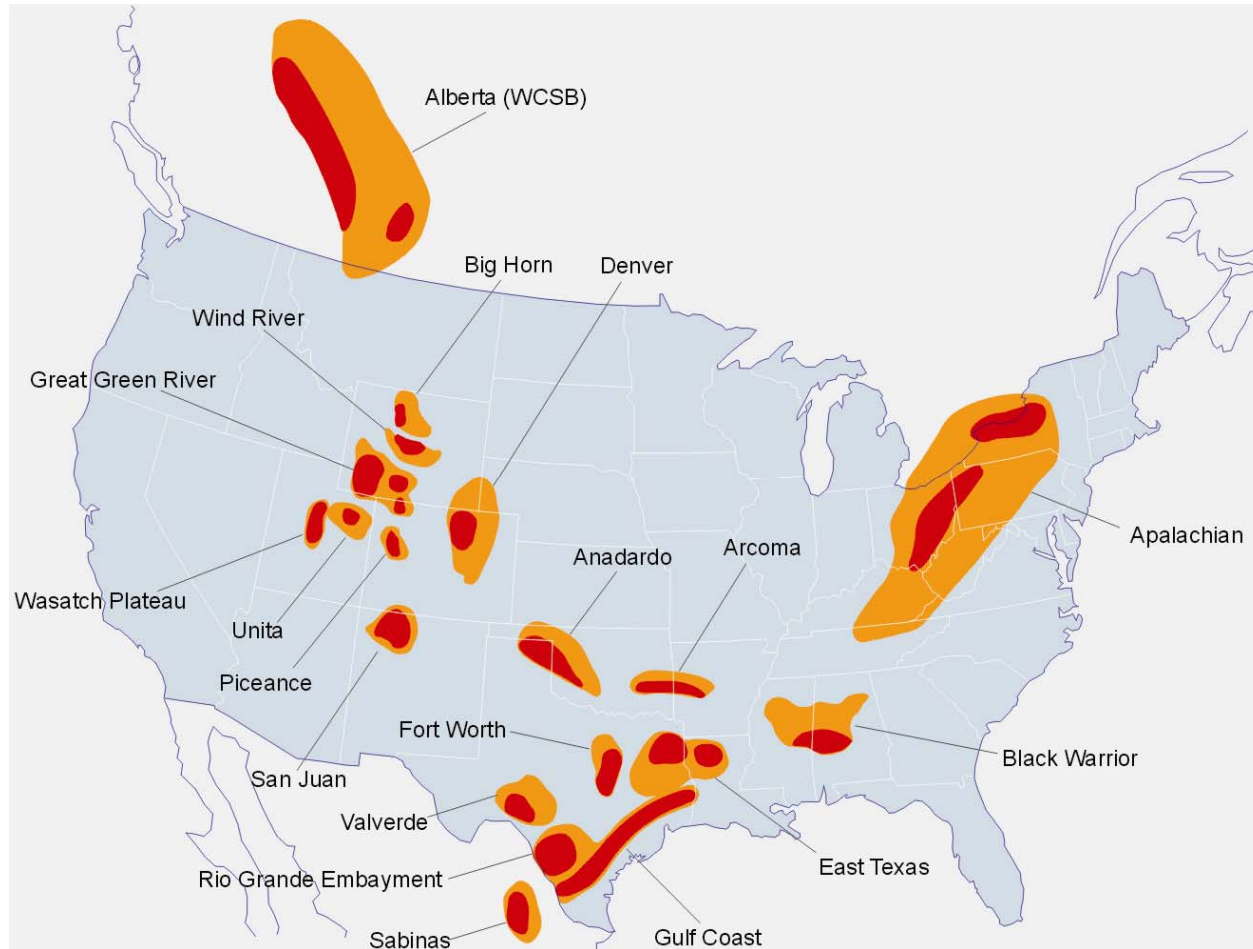
Podstawy geologii złóż w piaskowcach *tight*



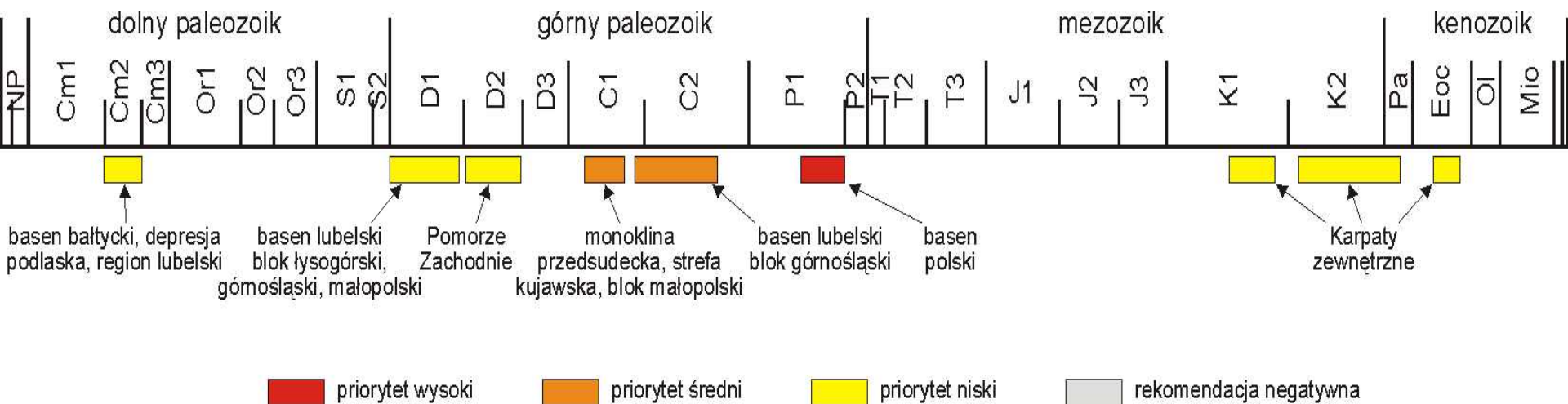
Porównanie parametrów porowatości i przepuszczalności charakterystycznych dla złóż konwencjonalnych i niekonwencjonalnych - zwięzłych piaskowców i łupków



Lokalizacja głównych basenów sedymentacyjnych w Północnej Ameryce, produkujących gaz ziemny zamknięty „tight gas”.



Pozycja stratygraficzna i obszary występowania najważniejszych formacji piaskowców potencjalnie typu *tight* w Polsce.



Ranking kompleksów piaskowców w Polsce pod kątem możliwości występowania w nich gazu ziemnego zamkniętego (*tight gas*)

Wg Poprawa, Kiersnowski, 2010



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

www.pgi.gov.pl

PIASKOWCE KAMBRU

Piaskowce morskie, gazonośne, o wysokiej miąższości i niekiedy niskiej głębokości zalegania. Niski stopień deformacji tektonicznych. Niskie porowatości i częsty brak przepuszczalności.



PIASKOWCE DOLNEGO DEWONU (FACJI OLD RED)

Piaskowce morskie i lądowe, gazonośne, o wysokiej miąższości i niekiedy niskiej głębokości zalegania. Niski stopień deformacji tektonicznych. Niskie porowatości i przepuszczalności.



PIASKOWCE KARBONU DOLNEGO (Wizen – Namur A)

Piaskowce głębokomorskie, gazonośne, o wysokiej miąższości sumarycznej i niekiedy niskiej głębokości zalegania. Wysoki stopień deformacji tektonicznych. Niskie porowatości i częsty brak przepuszczalności.



PERM - PIASKOWCE CZERWONEGO SPĄGOWCA

Piaskowce lądowe (eoliczne), gazonośne, o wysokiej miąższości i wysokiej głębokości zalegania. Niski stopień deformacji tektonicznych. Wysokie porowatości i częsty brak przepuszczalności.

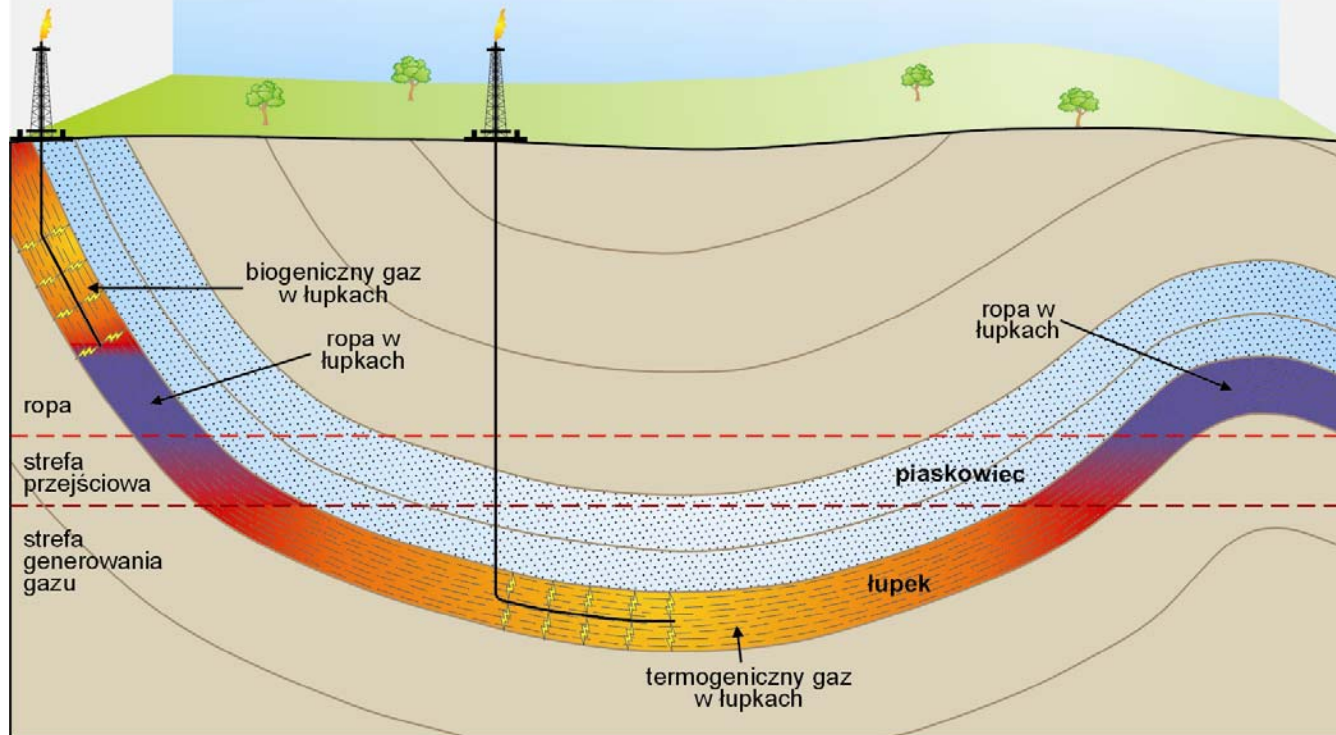


PIASKOWCE FLISZOWE KREDY I PALEOGENU (KARPATY)

Piaskowce głębokomorskie, gazonośne, o wysokiej miąższości i niekiedy niskiej głębokości zalegania. Wysoki stopień deformacji tektonicznych. Niekiedy wysokie porowatości i brak przepuszczalności.



Podstawy geologii łupków gazonośnych



Schemat ilustrujący zasadnicze cechy i specyfikę systemu węglowodorowego z gazem ziemnym w łupkach oraz ropą naftową w łupkach. Schemat ilustruje złoża termogenicznego gazu w centralnej części basenu oraz biogenicznego gazu w płytszych, mniej dojrzałych strefach o kontakcie z wodami meteorycznymi, jak również złoża ropy naftowej w łupkach znajdujących się w zakresie dojrzałości termicznej odpowiadającej oknu ropnemu.



Podstawy geologii łupków gazonośnych

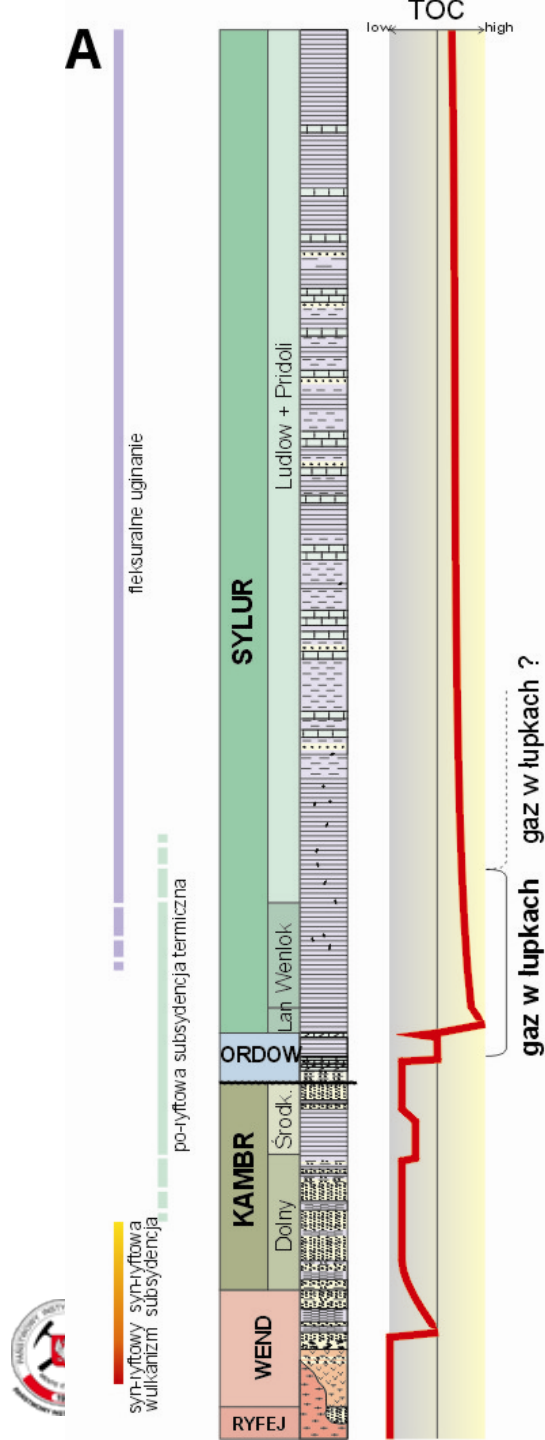
Rozpoznanie możliwości występowania złóż typu *shale gas*

Warunki występowania gazu:

- zasobność w substancję organiczną (TOC), która powinna być zestawiona z potencjałem węglowodorowym, określonym na podstawie analizy pirolitycznej Rock-Eval.
- typ występującego kerogenu (typ I, II lub III),
- właściwości łupków (m.in. ich kruchość, skład mineralogiczny),
- występowanie gazu *in situ*,
- stopień dojrzałości termicznej łupków (VRo),
- ich miąższość.
- ilość wolnego gazu,
- ilość gazu zaadsorbowanego,
- głębokość zalegania formacji łupkowej.



A



Podstawy geologii łupków gazonośnych

Profil geologiczny dolnego paleozoiku z kratonu wschodnioeuropejskiego z obszaru basenu lubelskiego.

Na profilu zaznaczone są kompleksy przedstawiające maksymalny potencjał akumulacyjny dla niekonwencjonalnych złóż węglowodorów - głównie gazu ziemnego w łupkach ordowiku i syluru.

Krzywa TOC (Total Organic Carbon) oznacza procentową zawartość wagową węgla pochodzenia organicznego.

za P. POPRAWA, 2010
i 2012



syn-ryftowa
wulkanizm
subsydencja

po-ryftowa subsydencja termiczna



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

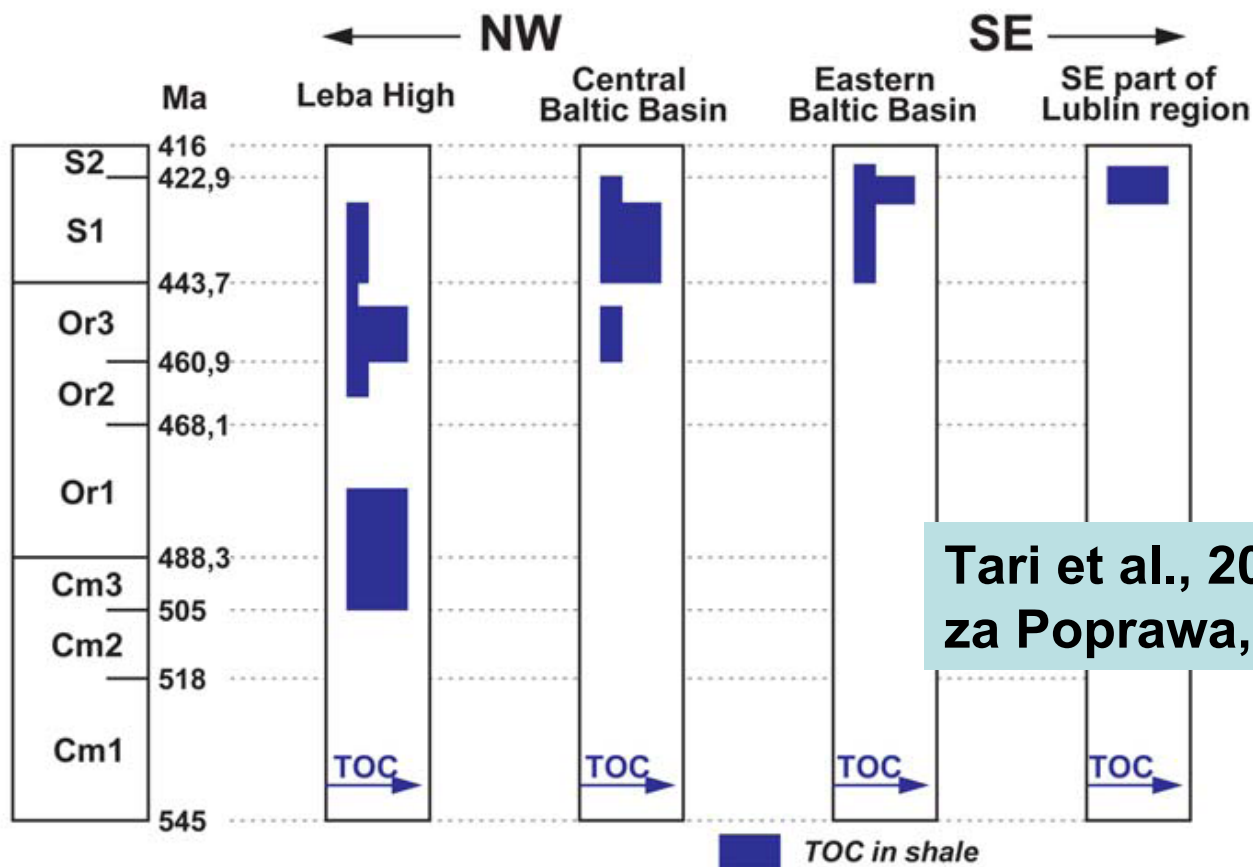
www.pgi.gov.pl

Problemy z zakresu geologii łupków gazonośnych

Warunki występowania gazu W ŁUPKACH: Wg Instytut Nafty i gazu, Raport, 2012

- zasobność w substancję organiczną (TOC), która powinna być zestawiona z potencjałem węglowodorowym, określonym na podstawie analizy pirolitycznej Rock-Eval. – **ROZPOZNANIE WYCINKOWE**

- **WIDOCZNE ZMIANY ZAWARTOŚCI TOC W SKALI BASENU**



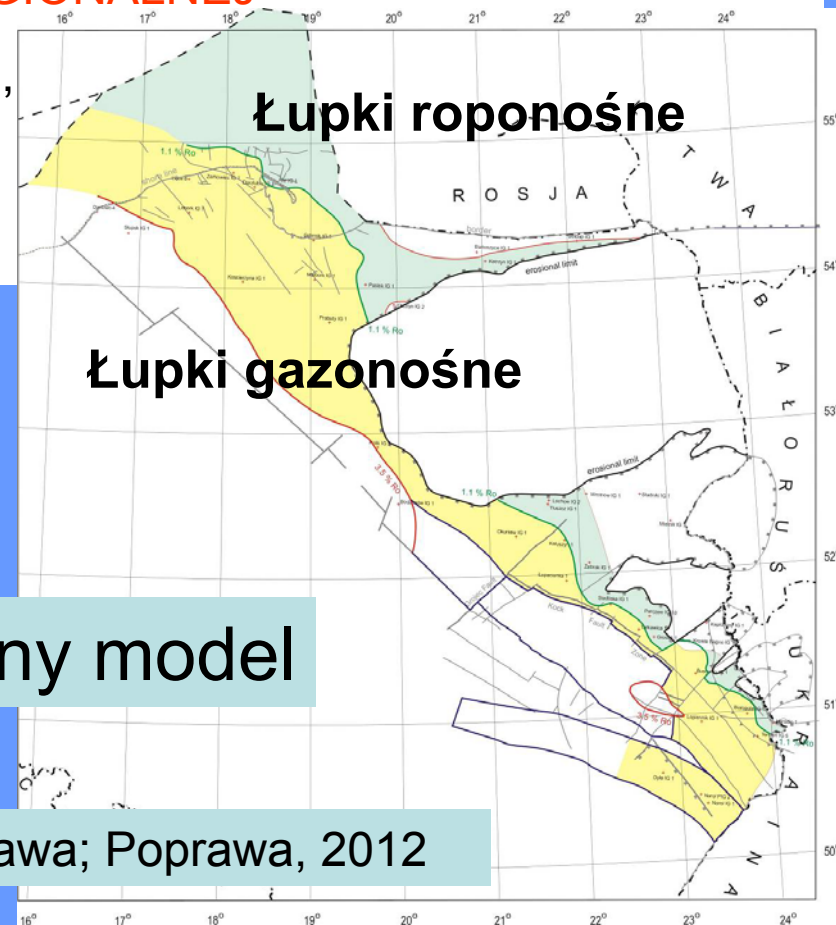
Tari et al., 2012
za Poprawa, 2010



Problemy z zakresu geologii łupków gazonośnych

Warunki występowania gazu W ŁUPKACH: Wg Instytut Nafty i gazu, Raport, 2012

- typ występującego kerogenu (typ I, II lub III), - **ROZPOZNANY W SKALI BASENU**
- właściwości łupków (m.in. ich kruchość, skład mineralogiczny), - **ROZPOZNANIE PUNKTOWE, BRAK MODELU W SKALI REGIONALNEJ**
- stopień dojrzałości termicznej łupków (VRo), **ROZPOZNANIE PUNKTOWE, MODEL W SKALI REGIONALNEJ**



Obecny model

Wg Grotek, Poprawa; Poprawa, 2012

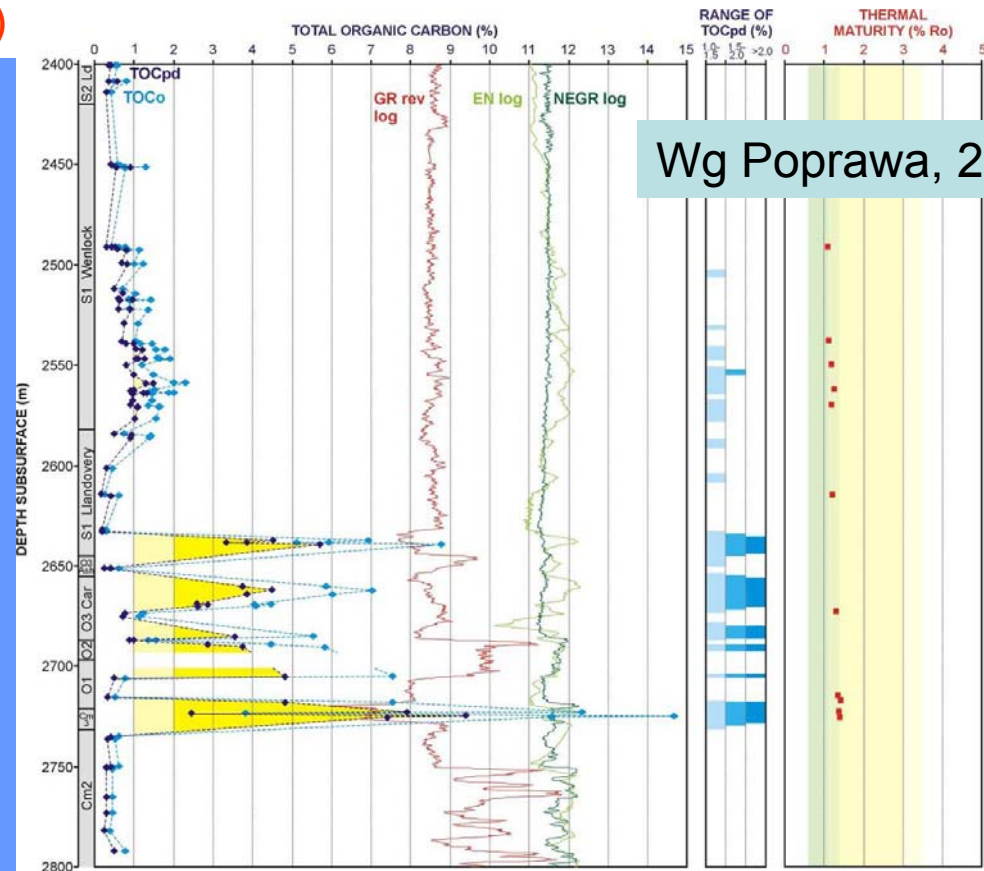


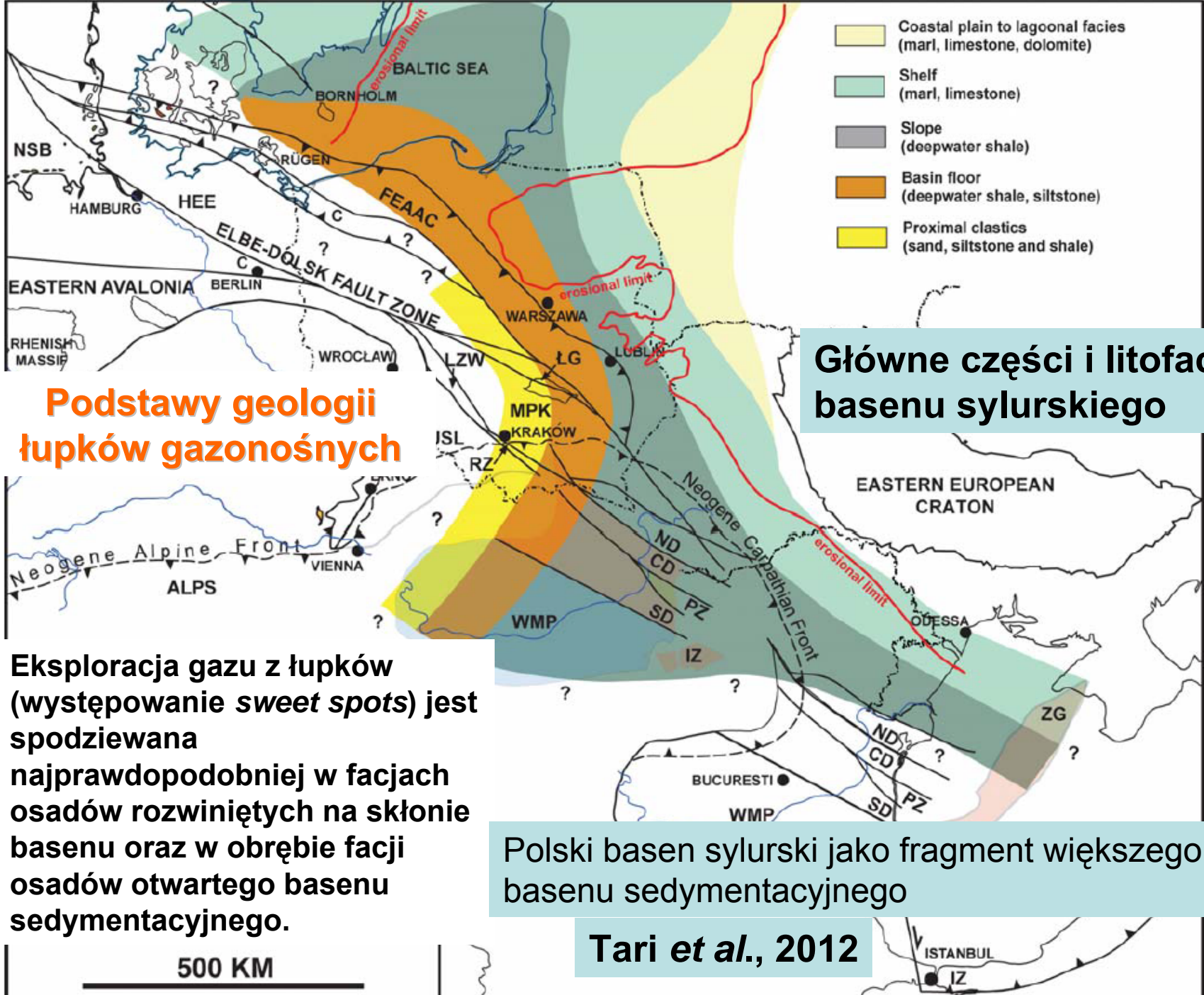
Problemy z zakresu geologii łupków gazonośnych

Warunki występowania gazu W ŁUPKACH: Wg Instytut Nafty i gazu, Raport, 2012

- miąższość łupków zasobnych w gaz **ROZPOZNANE PUNKTOWO, MODELE**
- ilość wolnego gazu, **PUNKTOWE WYNIKI**
- ilość gazu zaadsorbowanego, **PUNKTOWE WYNIKI I MODELE EMPIRYCZNE**
- głębokość zalegania formacji łupkowej. **ROZPOZNANIE DOBRE (SEJSMIKA, WIERCENIA I STRATYGRAFIA)**

Basen Bałtycki (wiercenie Żarnowiec IG 1). TOCpd – obecna zawartość wagowa TOC. TOCo – rekonstruowana pierwotna zawartość TOC. GR – krzywa promieniowania gamma (wzrost wartości w lewą stronę). EN, EL – krzywe pomiarów oporności (wzrost wartości w prawą stronę). NEGR – krzywa pomiarów neutron-gamma (wzrost wartości w prawą stronę).





- Coastal plain to lagoonal facies (marl, limestone, dolomite)
- Shelf (marl, limestone)
- Slope (deepwater shale)
- Basin floor (deepwater shale, siltstone)
- Proximal clastics (sand, siltstone and shale)

Główne części i litofacje basenu sylurskiego

Podstawy geologii łupków gazonośnych

Eksploracja gazu z łupków (występowanie *sweet spots*) jest spodziewana najprawdopodobniej w facjach osadów rozwiniętych na skłonie basenu oraz w obrębie facji osadów otwartego basenu sedimentacyjnego.

Polski basen sylurski jako fragment większego basenu sedimentacyjnego

Tari et al., 2012

500 KM

Podstawy geologii łupków gazonośnych

Czynniki geologiczne istotne dla ciągłych akumulacji gazu w łupkach o własnościach zbiornikowych (różne źródła danych)	Specyfika łupków z Polskiego basenu ordowicko-sylurskiego
Rozpoznana podstawowa budowa geologiczna: stratygrafia, tektonika, litofacje i zasięgi występowania.	Dobre, ale nierównomierne rozpoznanie geologiczne. Nowe dane modyfikują zasięg osadów O-S, ich miąższość oraz ujawniają nierozpoznane wcześniej uskoki tektoniczne.
Głębokość od powierzchni do łupków (serie potencjalnie produktywne) Pograżenie i związana z tym kompaktacja mechaniczna i chemiczna (przejścia od smektytu do illitu związane z postępującym pograżeniem) (Jędrzejowska-Tyczkowska, 2012)	Basen bałtycki: od 1000 m (część E) do 4500 m (część W) Obniżenie Podlaskie: od 500 m (na E) do 4000 m (część W) Basen Lubelski: 1000 m (część E) do 3500 m (4330 m) w części W. Strefa Biłgoraj – Narol do >1000 m.



Podstawy geologii łupków gazonośnych

Pożądaną są łupki zalegające horyzontalnie w basenach przedorogenicznych lub na kratonach, nie zaburzone tektonicznie. Jakkolwiek powinny być również brane pod uwagę łupki w strefach pasów orogenicznych (przykładem są produktywne łupki Conasauga w Alabamie zalegające w zewnętrznej strefie pasa nasunięć Appalachów).

Występowanie konwencjonalnych złóż gazu związanych z występowaniem gazu w łupkach. Zależność taką stwierdzono w niektórych basenach amerykańskich.

Skąły łupkowe O-Z OZ występują na kratonie gdzie jest nisko znaczenie deformacji tektonicznych. W strefie krawędzi kratonu wschodnioeuropejskiego występują ciągle i nieciągle deformacje tektoniczne skał łupkowych, w tym wyniesione bloki tektoniczne. Strefy te nie są do tej pory przetestowane pod kątem potencjału złożowego.

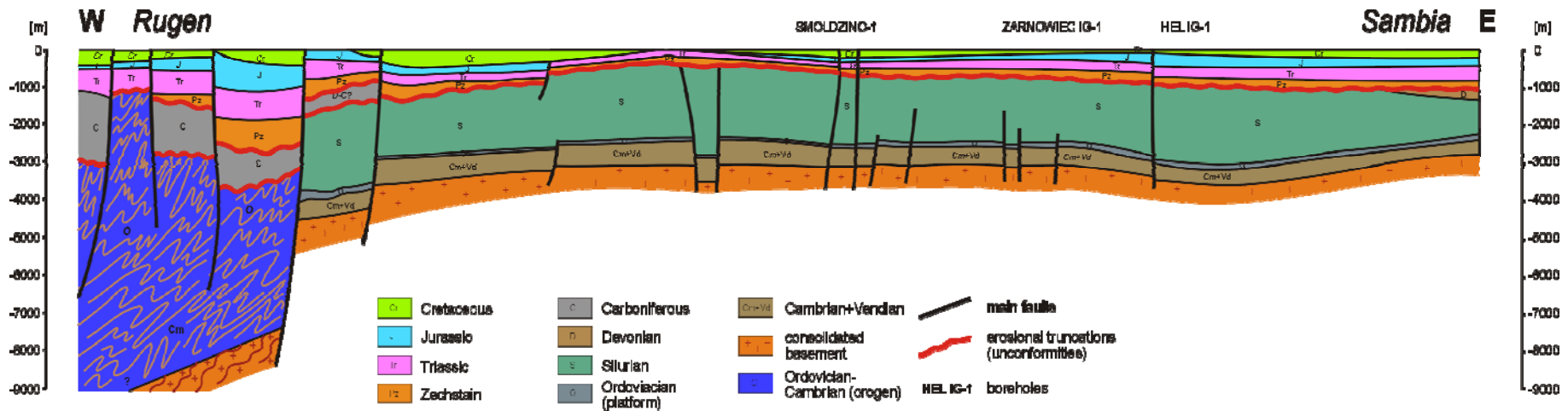
Jak dotąd w polskim basenie O-S nie stwierdzono takiej zależności w odniesieniu do gazu. Natomiast może ona występować w odniesieniu do złóż ropy w piaskowcach kambru.

Kiersnowski, Dyrka, 2013. Przegląd Geologiczny 6, v. 61



Podstawy geologii łupków gazonośnych

Regionalna budowa geologiczna - Pomorze



Kolorem ciemnozielonym oznaczono łupki sylurskie

Uproszczony przekrój geologiczny (E – W) przez dolno-paleozoiczny basen bałtycki ukazujący relatywnie prostą budowę strukturalną, korzystną dla poszukiwań i wydobywania gazu z łupków (za Witkowski, 1989).

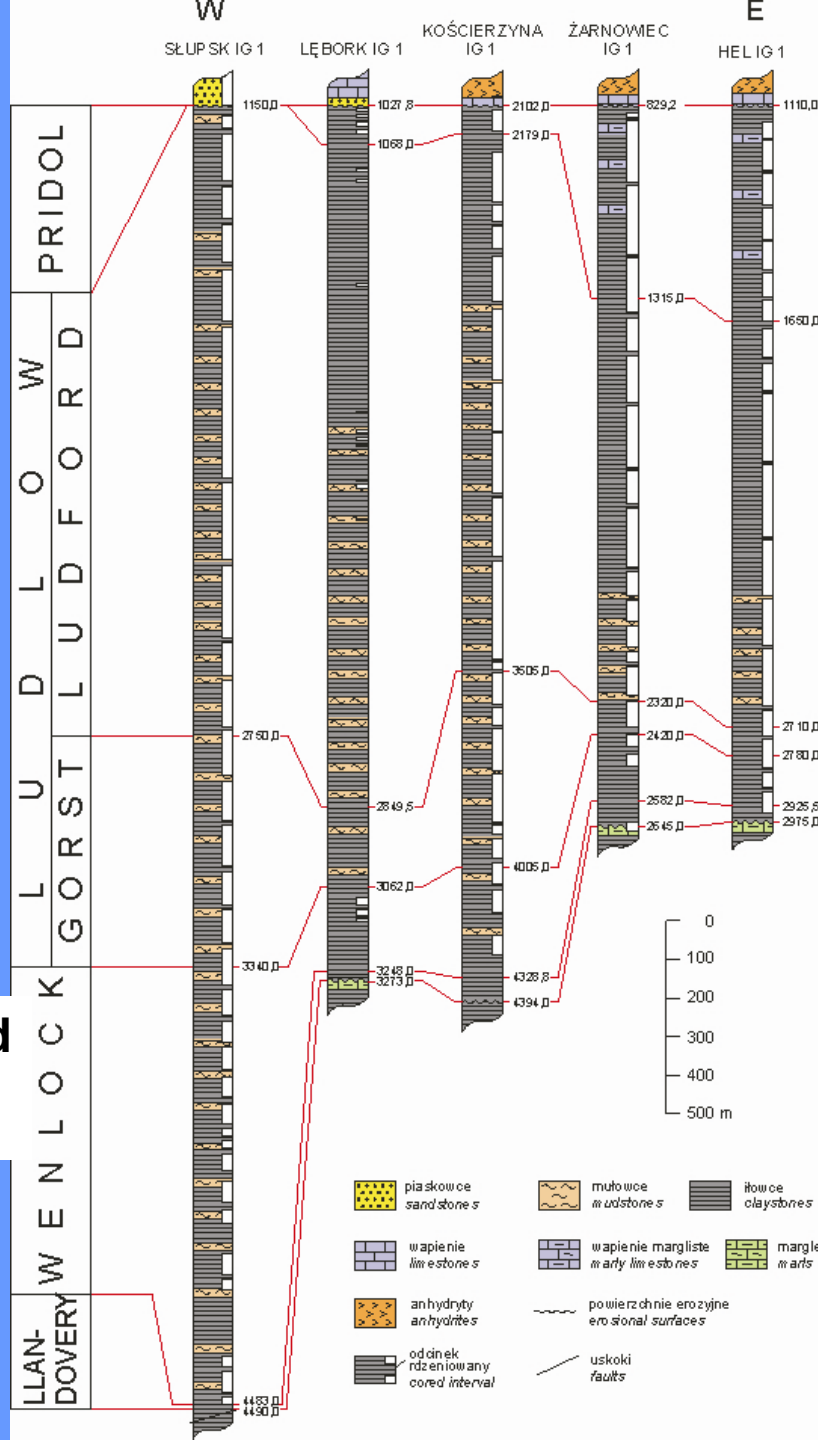


Podstawy geologii łupków gazonośnych

STRATIGRAPHY AND LITHOLOGY

Occurrence of **dark shales** in the **Silurian** of selected sections of the northern Poland (after Podhalańska, Modliński, 2006)

Huge shale thickness, but only selected units has promising shale potential





PGI – NRI
SCIENTIFIC
STUDY

Podstawy geologii łupków gazonośnych

Litofacje dolnosylurskiej gazonośnej formacji Landoweru od południowo-wschodniej Polski po obszar Bałtyku



Mięszkość osadów (łupków) Landoweru zazwyczaj wynosi od 20 do 70 m z generalną tendencją wzrostu miąższości osadów w kierunku zachodnim (Modliński i inni, 2006). Dolna część osadów należących do formacji Landower, w znacznej części basenu sylurskiego charakteryzuje się wysokimi zawartościami TOC (Klimuszko, 2002). Najwyższa zmierzona zawartość TOC w łupkach Landoweru osiąga 20%, kiedy uśrednione wartości zawartości TOC wynoszą od 1% do 3% (Poprawa, 2010b).



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

www.pgi.gov.pl
www.pgi.gov.pl



Za P. POPRAWA

Podstawy geologii łupków gazonośnych

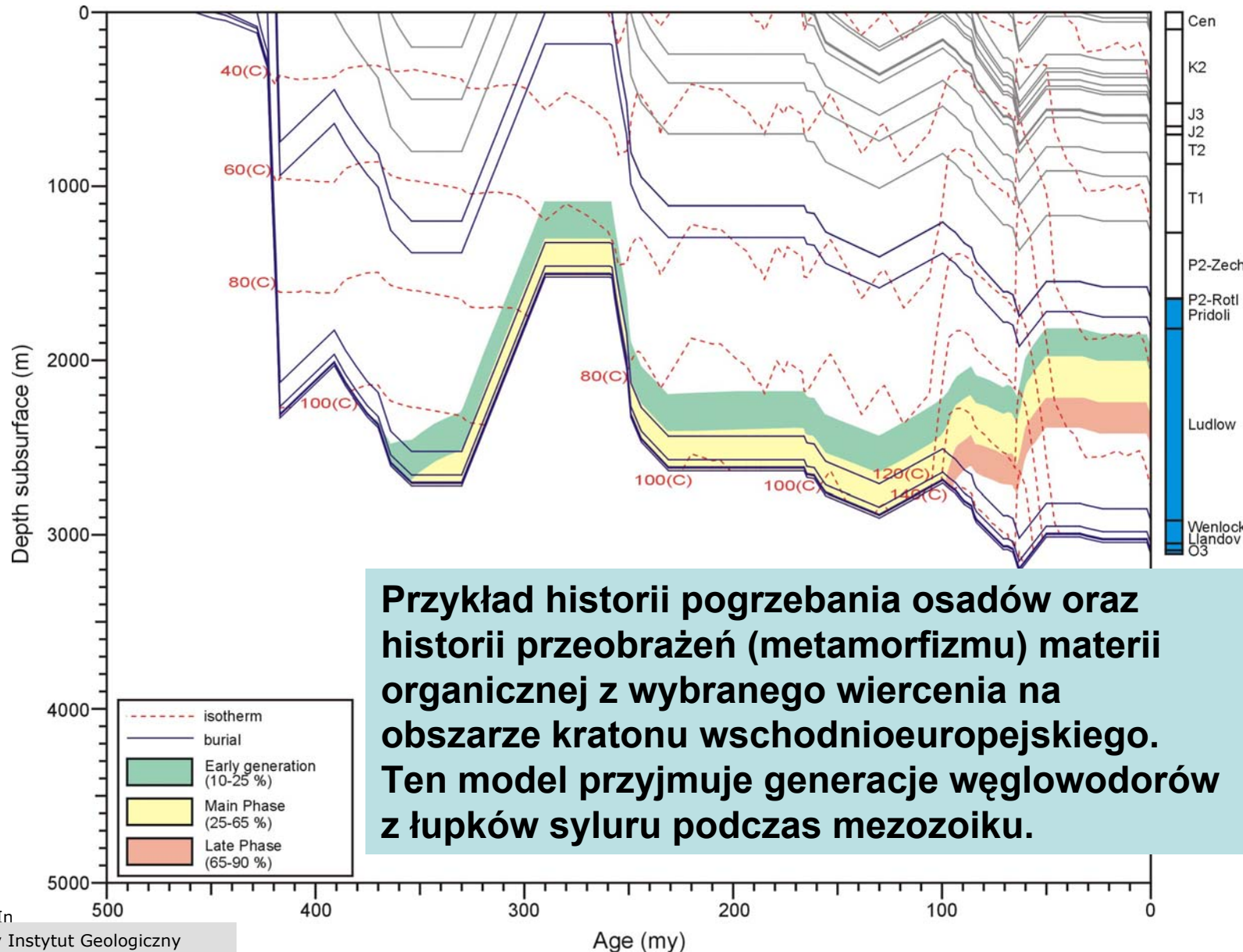
<p>Obecność formacji łupków o miąższości (grubości jednolitej warstwy) co najmniej 15 m. Uważa się również, że odcinki z wysokim GR powinny odpowiadać miąższości >20 m</p>	<p>Odcinki o takiej charakterystyce i miąższości występują w profilach O-S.</p>
<p>TOC % wagowy co najmniej 2%</p>	<p>Odcinki profili o takich parametrach występują wielokrotnie w łupkach ordowiku i dolnego syluru.</p>
<p>Dojrzałość materii organicznej (współczynnik refleksyjności witrynu $R_o\%$) oraz alternatywnie TAI.</p>	<p>W polskim basenie O-S przyjęto okno gazowe (gaz mokry i suchy) w przedziale 1,1 – 3,5% R_o. Istnieje relatywnie duża ilość pomiarów. Konieczność przeliczania (VRE – <i>vitritinite equivalent value</i>) wartości R_o z powodu występowania w O-S łupkach alginitów (kerogen II)</p>
<p>Zawartość gazu w łupkach > 100 SCF/ton* (~2,8 m³/tonę) Zawartość gazu w łupkach (GIP) w wysokości 30 Bcf na milę kwadratową uważane jest za dobry wynik. Wskaźnik węglowodorowy kerogenu (HI) większy niż 250 mg HC/g</p>	<p>Wg BNK Polska dla otworu Lębork S-1 zawartość gazu wynosi: dla dolnego syluru 1,1 m³/tonę (~40 SCF/ton), w utworach ordowiku i syluru 7,58 m³/tonę (~268 SCF/ton) osiągając w niektórych interwałach 12,76 m³/tonę (~451 SCF/ton).</p>





Podstawy geologii łupków gazonośnych

PGI – NRI
SCIENTIFIC
STUDY

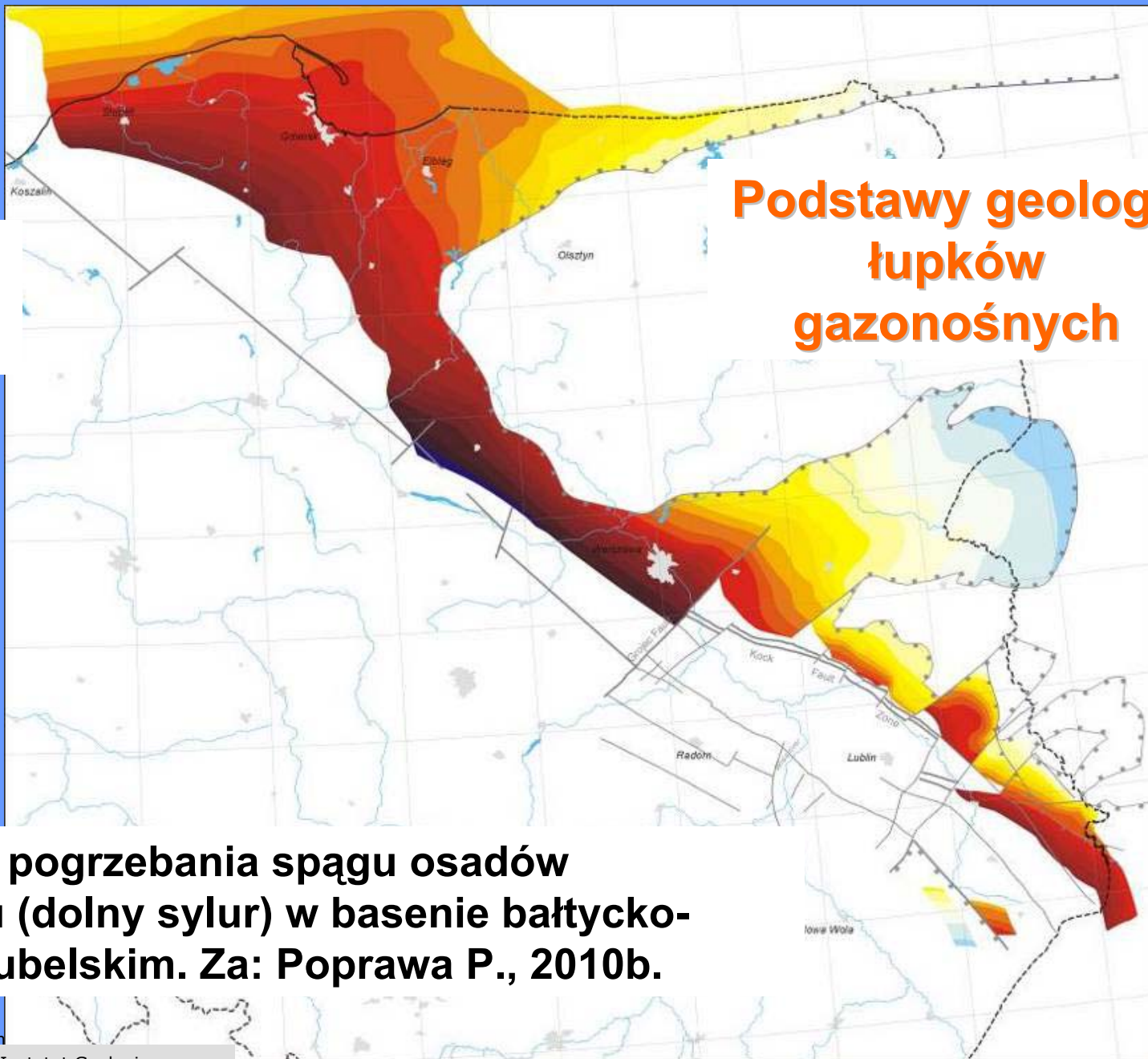


Przykład historii pogrzebienia osadów oraz historii przeobrażeń (metamorfizmu) materii organicznej z wybranego wiercenia na obszarze kratonu wschodnioeuropejskiego. Ten model przyjmuje generacje węglowodorów z łupków syluru podczas mezozoiku.





PGI – NRI
SCIENTIFIC
STUDY



**Głębokość pogrzebienia spągu osadów
Landoweru (dolny sylur) w basenie bałtycko-
podlasko-lubelskim. Za: Poprawa P., 2010b.**



Państwowy In

Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

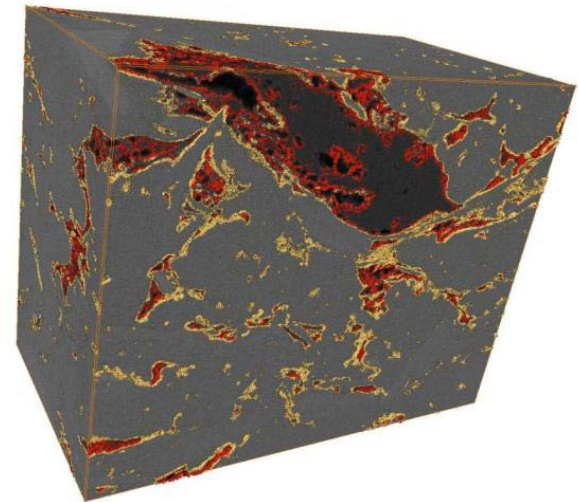
www.pgi.gov.pl

Warunkiem obecności dobrego systemu typu *shale gas/shale oil* jest występowanie dobrej jakości skał macierzystych o wysokim potencjale generacyjnym, możliwość zachodzenia procesów pierwotnego oraz wtórnego krakingu kerogenu i rezydualnej ropy naftowej, wystarczająca absorpcja ropy naftowej w skale, która ulega krakingowi, wzrost porowatości na skutek destrukcji materii organicznej oraz skład mineralogiczny o właściwościach zapewniających łamliwość (kruchość) skał.

Dla skał macierzystych ważne jest określenie jednocześnie wszystkich poniższych parametrów:

Podstawy geologii łupków gazonośnych

- zasobności w substancję organiczną (TOC),
- poziomu dojrzałości termicznej (VRo),
- klasyfikacji typu kerogenu (Typ I, II lub III),
- oznaczenie wartości potencjału węglowodorowego jako HI (wskaźnik węglowodorowy w mg HC/g TOC),
- rekonstrukcja początkowych wartości zawartości substancji organicznej w odniesieniu do parametru TOCo i Hlo.



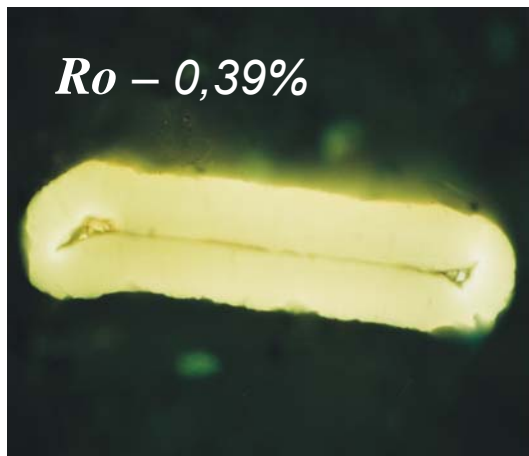
Wyznaczanie poziomu dojrzałości termicznej ($R_o\%$) autogenicznej materii organicznej

Determination of thermal maturity level from autogenic organic matter



PGI – NRI
SCIENTIFIC
STUDY

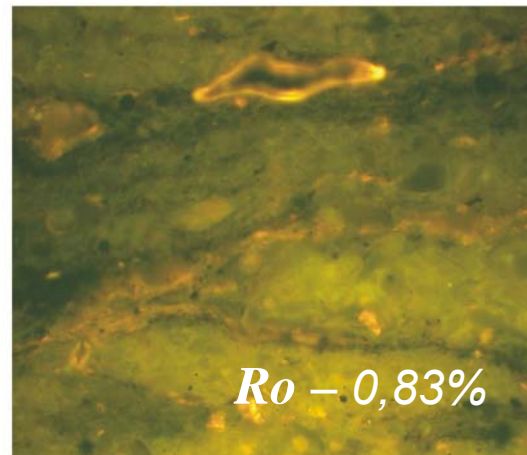
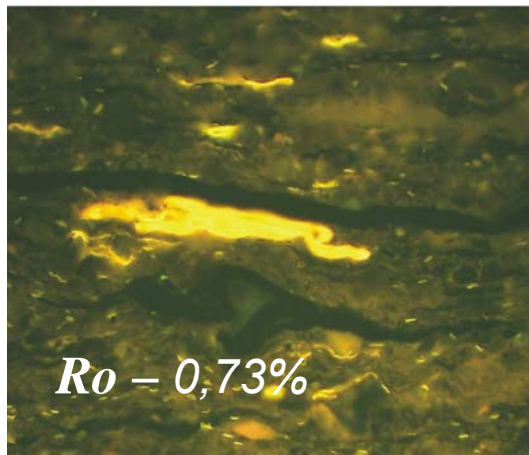
Algae immature, algi w fazie niedojrzałej



Algae early mature, algi w fazie niskiej dojrzałości



Łupki z fragmentami
roślinnych szczątków
organicznych (algi)
*Shales with marine
flora remnants (algae)*



By courtesy of
Dr Izabella Grotek

*Algae and bitumen impregnation – oil window,
algi i impregnacja bituminami w fazie okna ropnego*



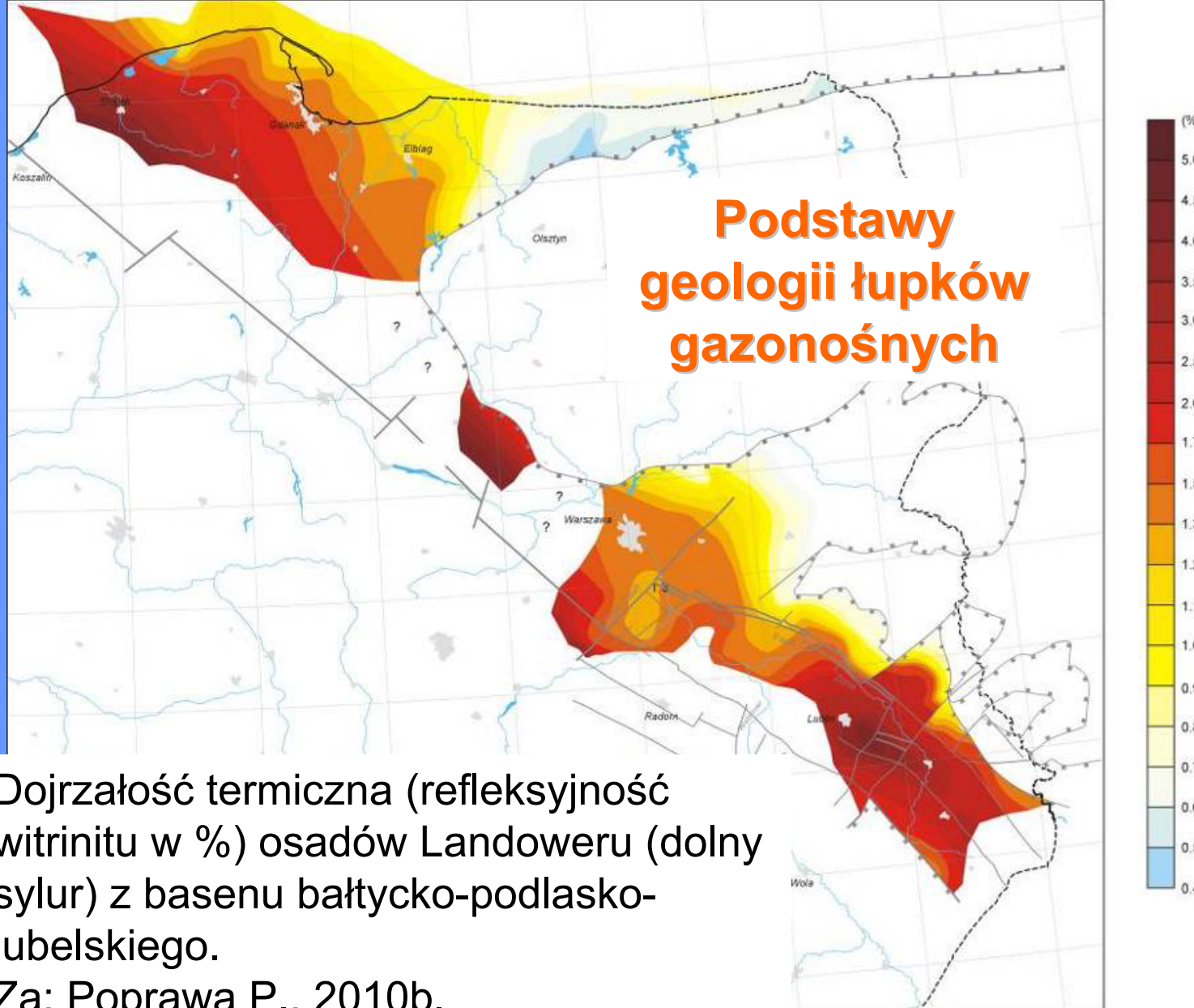
Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

www.pgi.gov.pl



PGI – NRI
SCIENTIFIC
STUDY

Podstawy geologii łupków gazonożnych



Dojrzałość termiczna (refleksyjność witrinitu w %) osadów Landoweru (dolny sylur) z basenu bałtycko-podlasko-lubelskiego.

Za: Poprawa P., 2010b.



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

www.pgi.gov.pl

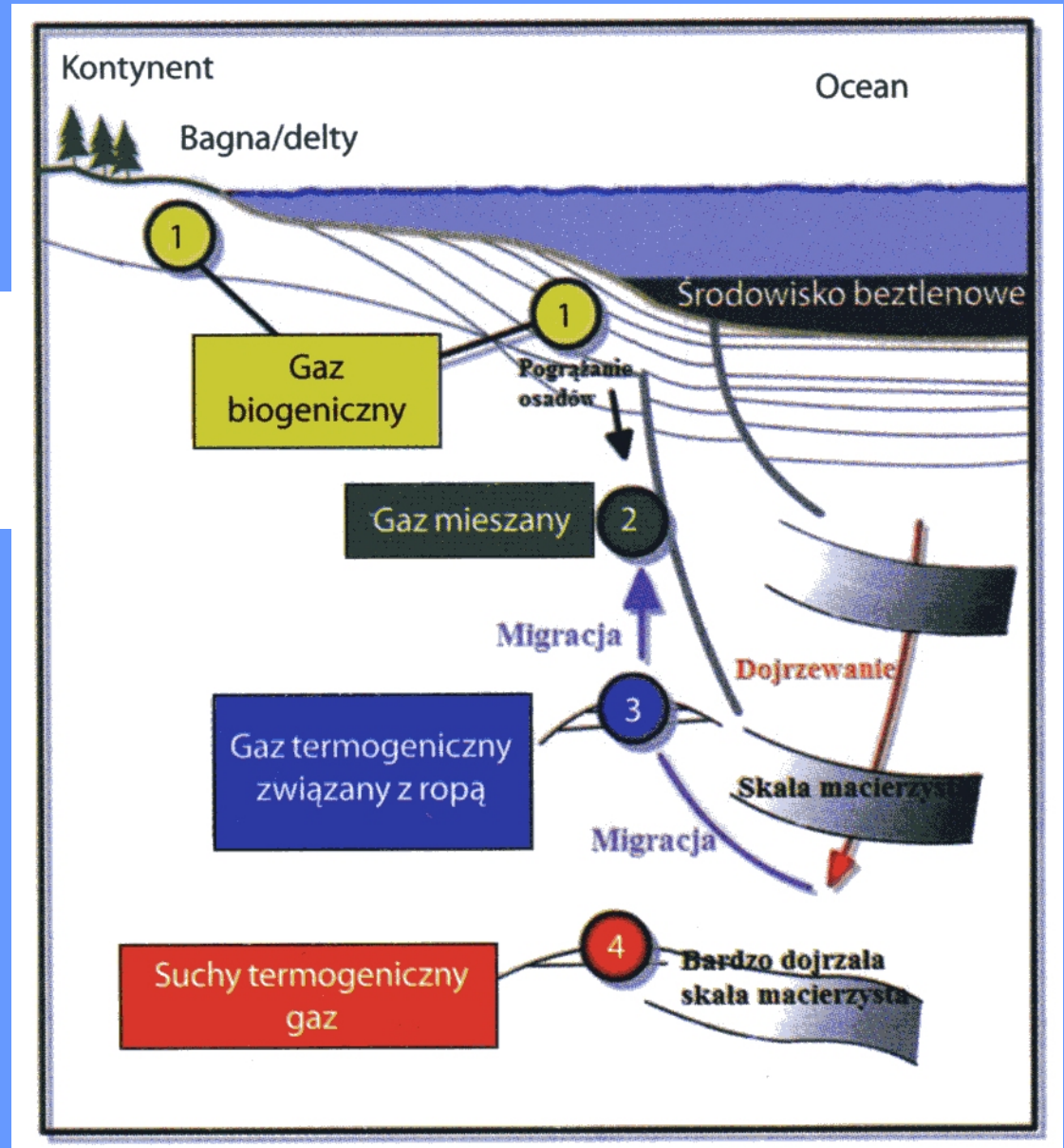
Podstawy geologii łupków gazonośnych

<p>Strefy (w obrębie skał łupkowych) z występującym nadciśnieniem. Wysoko produktywne łupki w basenach amerykańskich mają nadciśnienia >0.45 psi/ft.</p>	<p>W wielu wierceniach nie stwierdzono istotnych nadciśnień. Jakkolwiek na obszarze Pomorza stwierdzono nadciśnienia rzędu 0,57 psi/ft co stanowi $>30\%$ ciśnienia „naturalnego” na danej głębokości.</p>
<p>Występowanie naturalnych szczelin (mikroszczelin) i porowatość związane z własnościami geomechanicznymi skały (Leśniak, 2012) determinowanymi poprzez wartości impedancji akustycznej (pożądana niska), współczynnik Poissona (pożądan niski) i moduł Younga (pożądan wysoki), oraz kierunkiem regionalnego stresu tektonicznego.</p>	<p>Wyniki z pojedynczych wierceń. Brak danych dla większej grupy otworów, które mogły by pomóc we wskazaniu obszarów o lepszych parametrach zbiornikowych. W części pomorskiej występowania łupków stwierdzono silną szczelinowatość naturalną w połączeniu z wysokim współczynnikiem kruchości. Istnieją pomiary regionalnego stresu tektonicznego.</p>
<p>Relatywnie mała zawartość minerałów ilastych poniżej 40% (łupki Barnett zawierają tylko 27% minerałów ilastych). Szczególnie pożądana niska zawartość minerałów ilastych, pęczniejących w kontakcie z wodą. Wysoki współczynnik kruchości skał związany z występowaniem kwarcu.</p>	<p>Jak dotąd nie stwierdzono analogów zbliżonych do parametru procentowej zawartości minerałów ilastych w łupkach Barnett.</p>
<p>Generalnie brak barier litologicznych (przeważnie wapieni) stanowiących przeszkodę dla właściwego szczelinowania (“Mechanical stratigraphy”) W niektórych przypadkach bariery takie są pożądane dla zwiększenia produkcji gazu (wg McKeon, Halliburton, 2011).</p>	<p>W Polskim basenie O-S, łupki ordowiku i częściowo dolnego syluru poprzedzielana są poziomami wapieni, stanowiącymi bariery dla propagacji szczelin (przykład profil wiercenia Lubocino).</p>



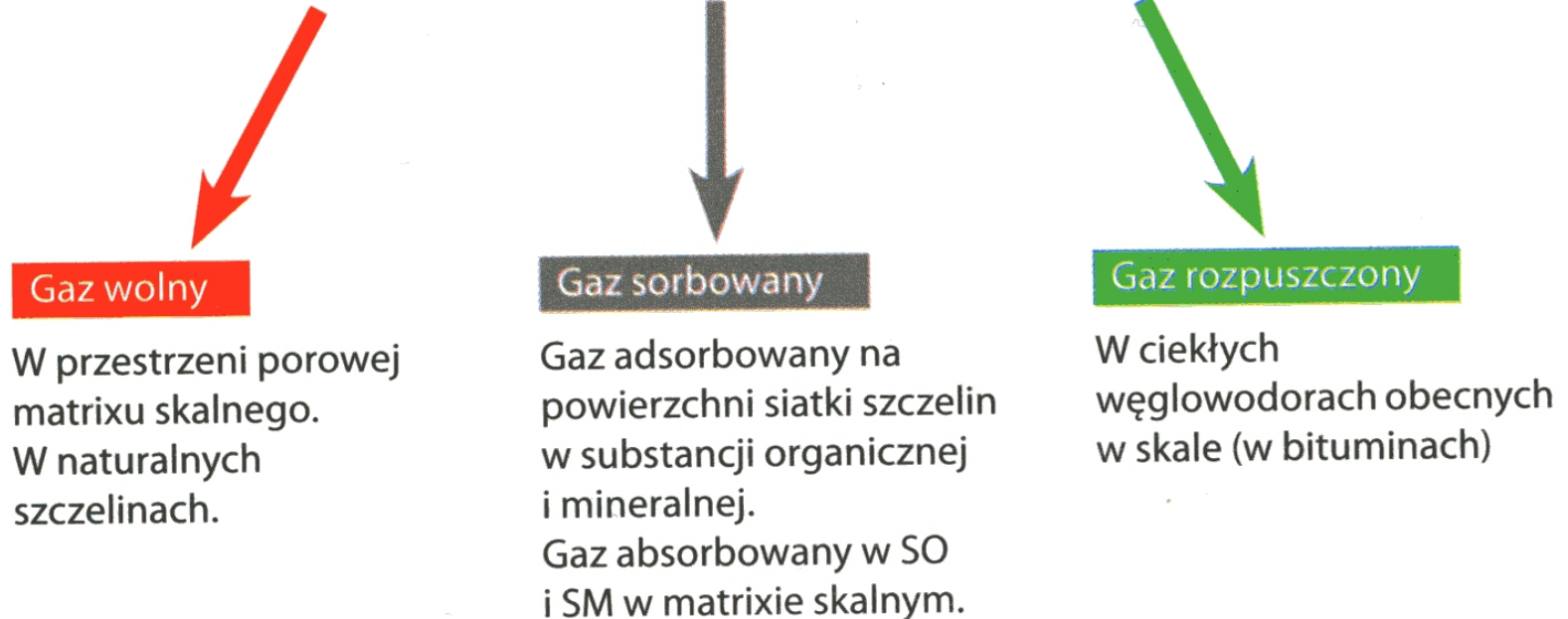
Podstawy geologii i geochemii łupków gazonośnych

SCHEMAT POWSTAWANIA ZŁÓŻ GAZU I ROPY W ŁUPKACH ZAWIERAJĄCYCH MATERIĘ ORGANICZNĄ



Podstawy geologii i geochemii łupków gazonośnych

Trzy sposoby magazynowania gazu

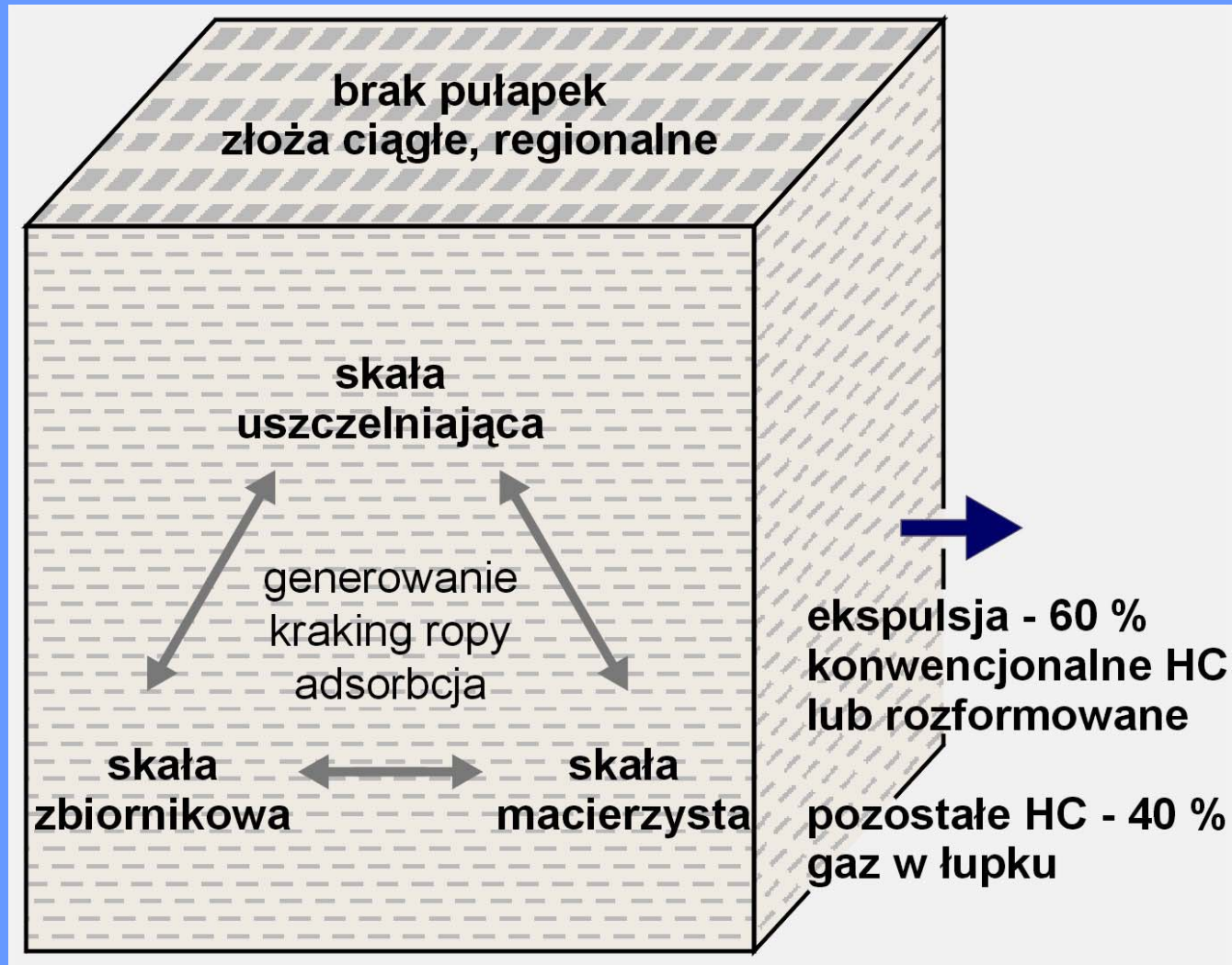


$$\text{Zawartość całkowita gazu} = \text{Gaz wolny} + \text{Gaz sorbowany} + \text{Gaz rozpuszczony}$$

Rzeczpospolita łupkowa, Prace Naukowe IGNiG, nr 183, 2012



Podstawy geologii i geochemii łupków gazonośnych

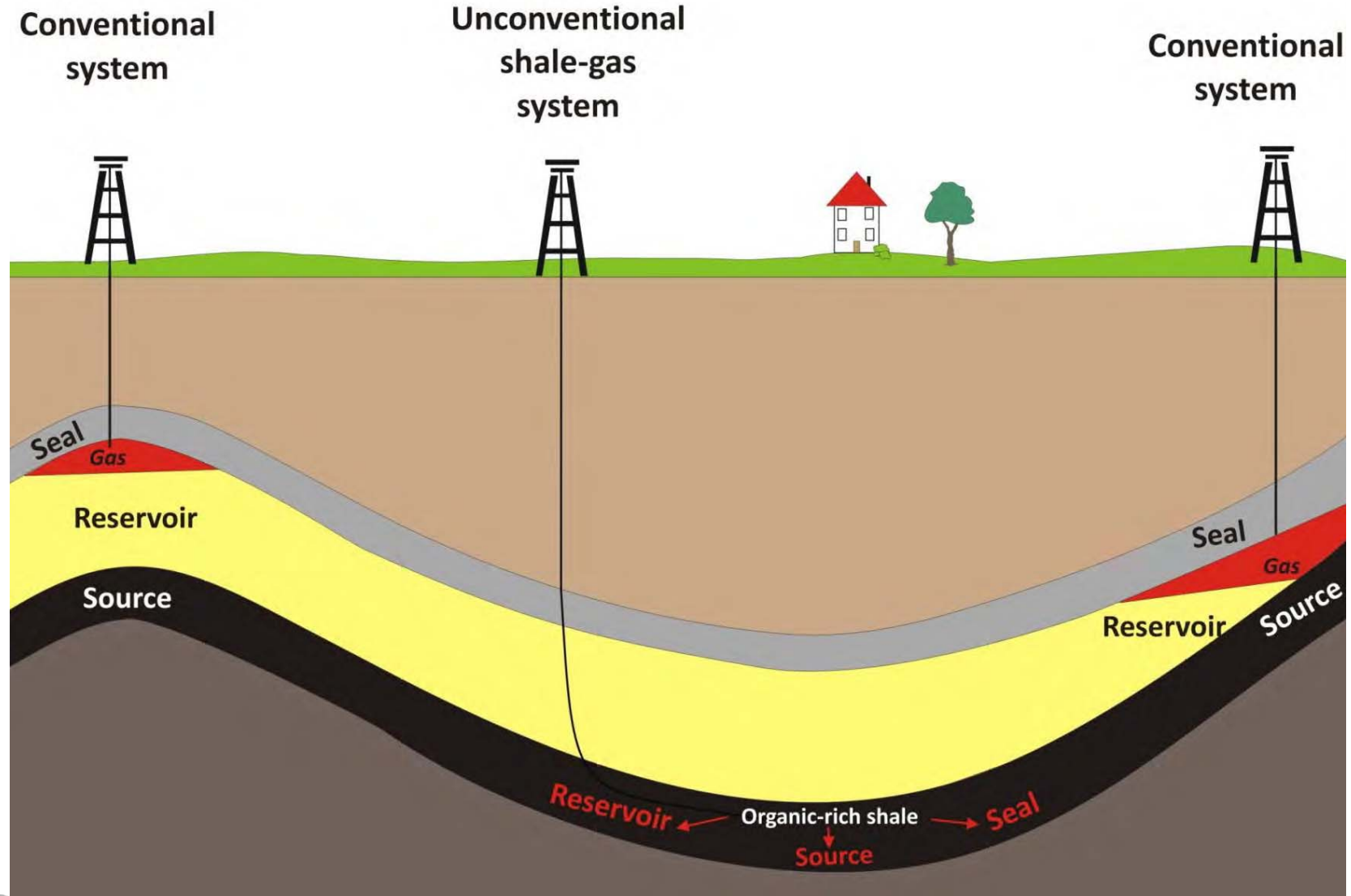


Metody poszukiwań i eksploatacji niekonwencjonalnych złóż węglowodorów

Złóża ciągłe (*continuous*)



Zasadnicza różnica w eksploatacji złóż konwencjonalnych i niekonwencjonalnych



Zagęszczenie wierceń nie do zaakceptowania w warunkach europejskich

Przykład z USA

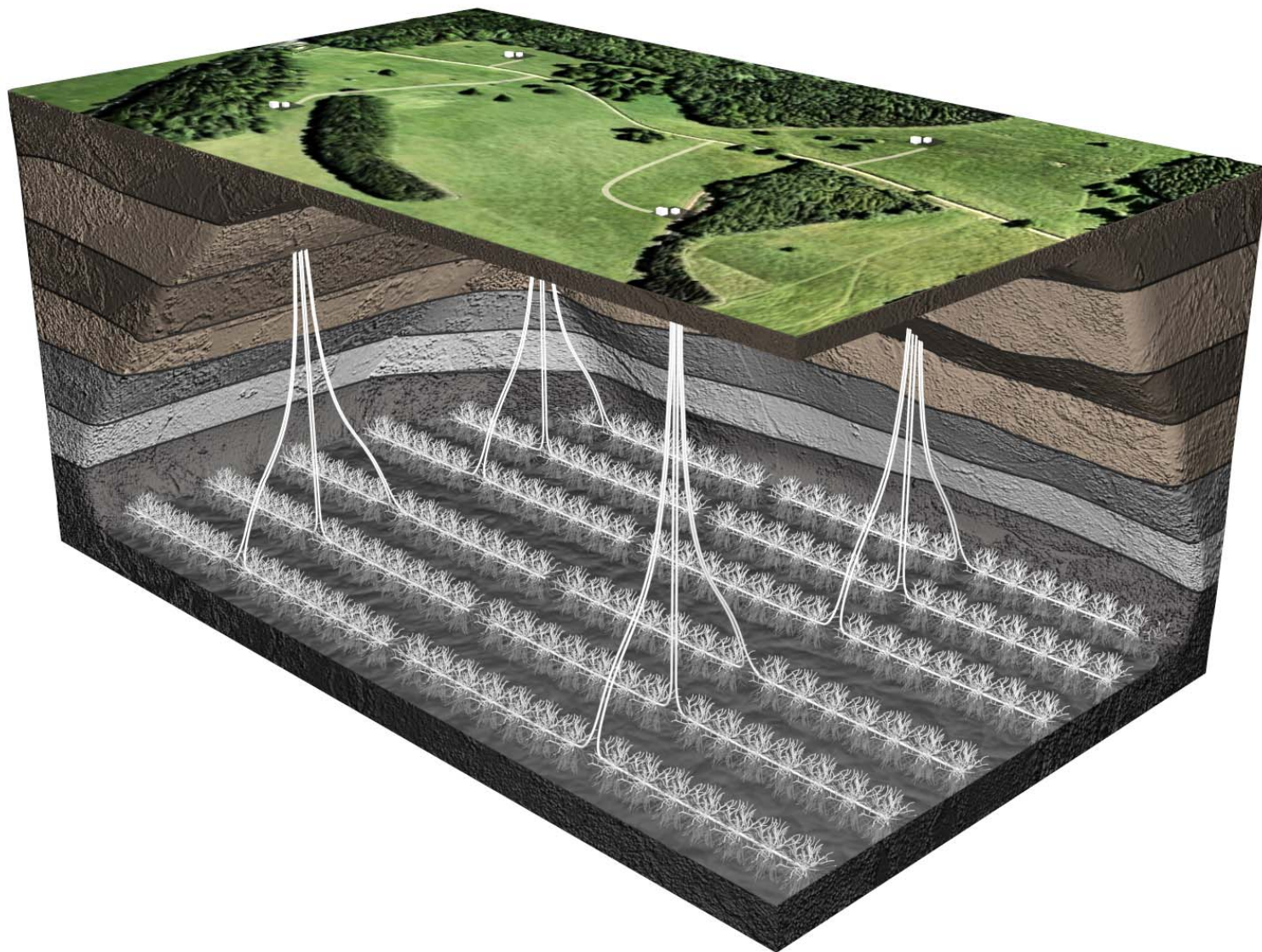


Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

www.pgi.gov.pl

Technologia wielokrotnego szczelinowania łupków z jednego wiercenia

Zespolone wiercenia tzw. pady – do zastosowania w warunkach ochrony środowiska, znacznej urbanizacji oraz dużej gęstości zaludnienia



Podstawowe kryteria parametrów złożowych dla łupków gazonośnych

PODSTAWOWE DEFINICJE WAŻNE DLA ZŁÓŻ TYPU TIGHT GAS I SHALE GAS

Porowatość skały w geologii to zawartość pustych przestrzeni - porów.

Wyróżniamy porowatość:

efektywną to zawartość porów, które łączą się z sobą i z zewnętrzną powierzchnią skały (czyli porów otwartych), pozwalająca na ruch cieczy i gazu poprzez ośrodek.

zakrytą to zawartość porów zamkniętych

ogólną (całkowitą) - suma porowatości odkrytej i zakrytej

Szczególnym przypadkiem jest **porowatość szczelinowa** polegająca na obecności szczelin powstałych wskutek pęknięcia lub rozbicia skał poprzednio mniej przepuszczalnych (przypadek skał łupkowych).

Wartość porowatości ośrodków porowatych jest różna i zależy ona między innymi od kształtu ziaren budujących szkielet ośrodka. W przypadku osadów luźnych może dochodzić nawet do 50%. W przypadku skał porowatych, np. piaskowców będących zazwyczaj kolektorami dla złóż ropy naftowej i/lub gazu ziemnego porowatość wynosi zwykle od kilku do 20-30%.

Paradoksalnie, łupki są na ogół bardziej porowate - ich porowatość dochodzić może nawet do 50%, lecz ich przestrzeń porową tworzą pory o bardzo małych rozmiarach. Natomiast porowatość skał typu węglanowego jest niska i wynosi maksymalnie do kilku procent. Jest to zwykle porowatość typu szczelinowego.



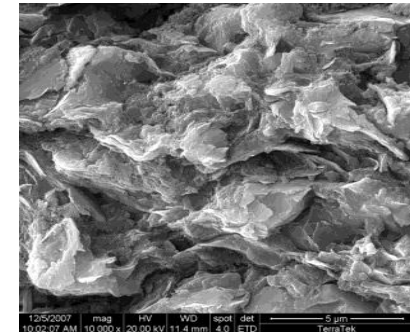
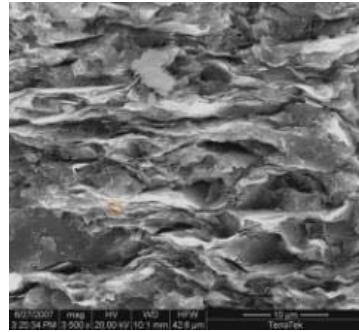
Podstawowe kryteria parametrów złożowych dla łupków gazonośnych

Barnett

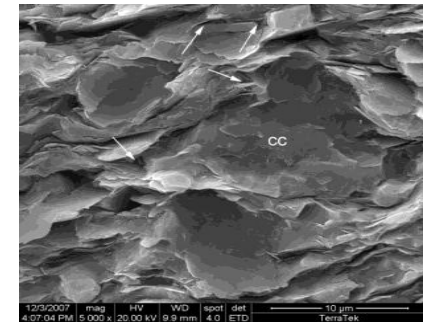
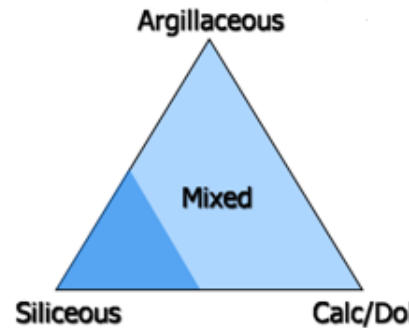
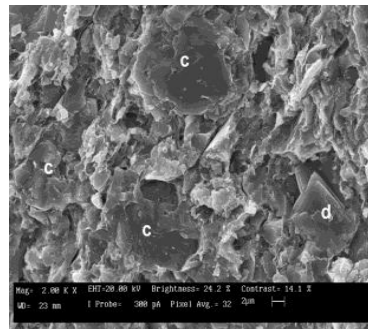
gazonośnych

Marcellus

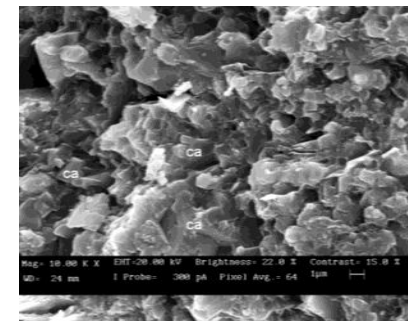
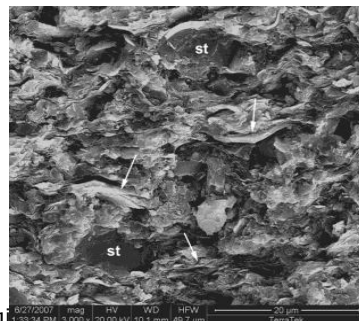
Łupki ilaste



Łupki wapniste



Łupki kwarcowe
(krzemionkowe)



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

www.pgi.gov.pl

Doug Bentley, Schlumberger, 2013

Podstawowe kryteria parametrów złożowych dla łupków gazonośnych

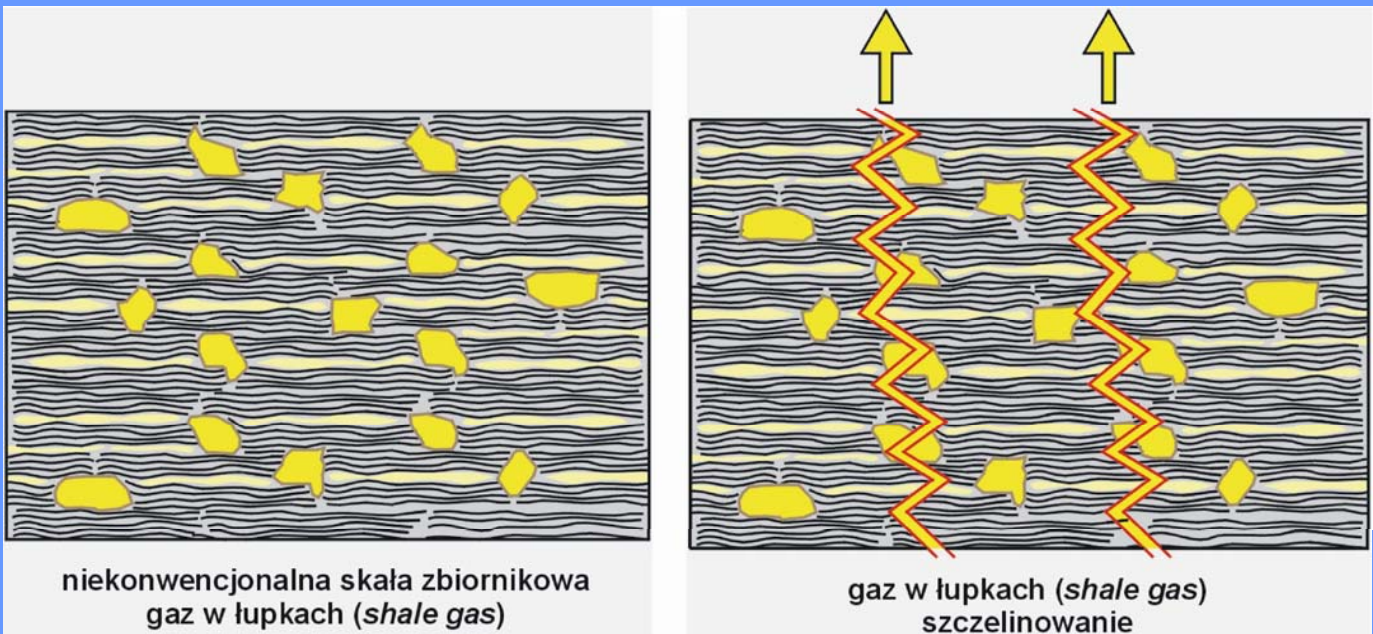
Kryteria dla szczelinowań

Bardzo istotne dla oceny ekonomicznej przedsięwzięcia poszukiwawczego są kryteria petrofizycznych właściwości skał. Należą do nich zarówno cechy mineralogiczne, które wpływają na zaprojektowanie hydraulicznego szczelinowania oraz własności określane jako zbiornikowe, czyli porowatość, przepuszczalność oraz wielkości przestrzeni porowej zajęte przez poszczególne media.

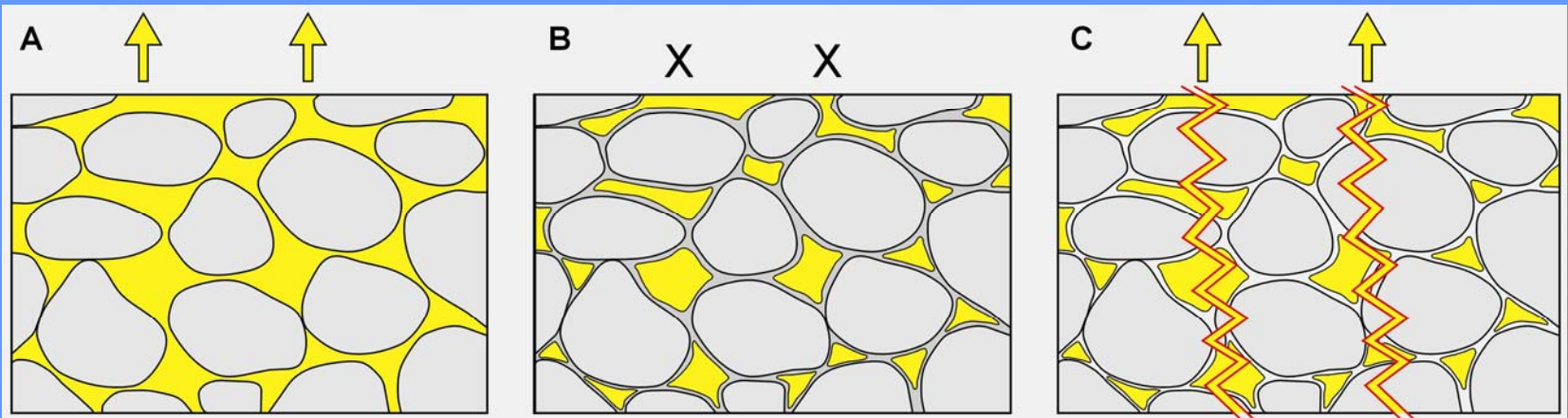
Największa produkcja z łupków Barnett uzyskiwana jest ze stref o zawartości 45% kwarcu i tylko 27% minerałów ilastych. Kruchość łupków, czyli podatność na szczelinowanie jest podstawowym parametrem określającym warunki stymulacji przyływu z otworów. Dzięki niej możliwe jest stworzenie odpowiedniej ilości szczelin łączących otwór siecią mikroporów wypełnionych gazem. Z drugiej strony, cementacja węglanowa może ograniczać przepustowość już istniejących szczelin. Obecność dużej ilości węglanów oraz pęczniejących minerałów ilastych wpływa na wzrost ryzyka poszukiwawczego za gazem łupkowym.



Szczelinowanie hydrauliczne łupków umożliwia wydobyć zawarty w nich gaz



Dla porównania szczelinowanie hydrauliczne piaskowców



 dopływ gazu do otworu
 gas flow into borehole
  brak dopływu gazu do otworu
 lack of gas flow into borehole
  przestrzeń porowa nasycona gazem
 gas saturated porosity
  szczelinowanie
 fracturing



Zarys technologii wydobywania – szczelinowanie

„Doskonała stymulacja szczelinowania i otrzymany system szczelin wymaga aby uzyskać:

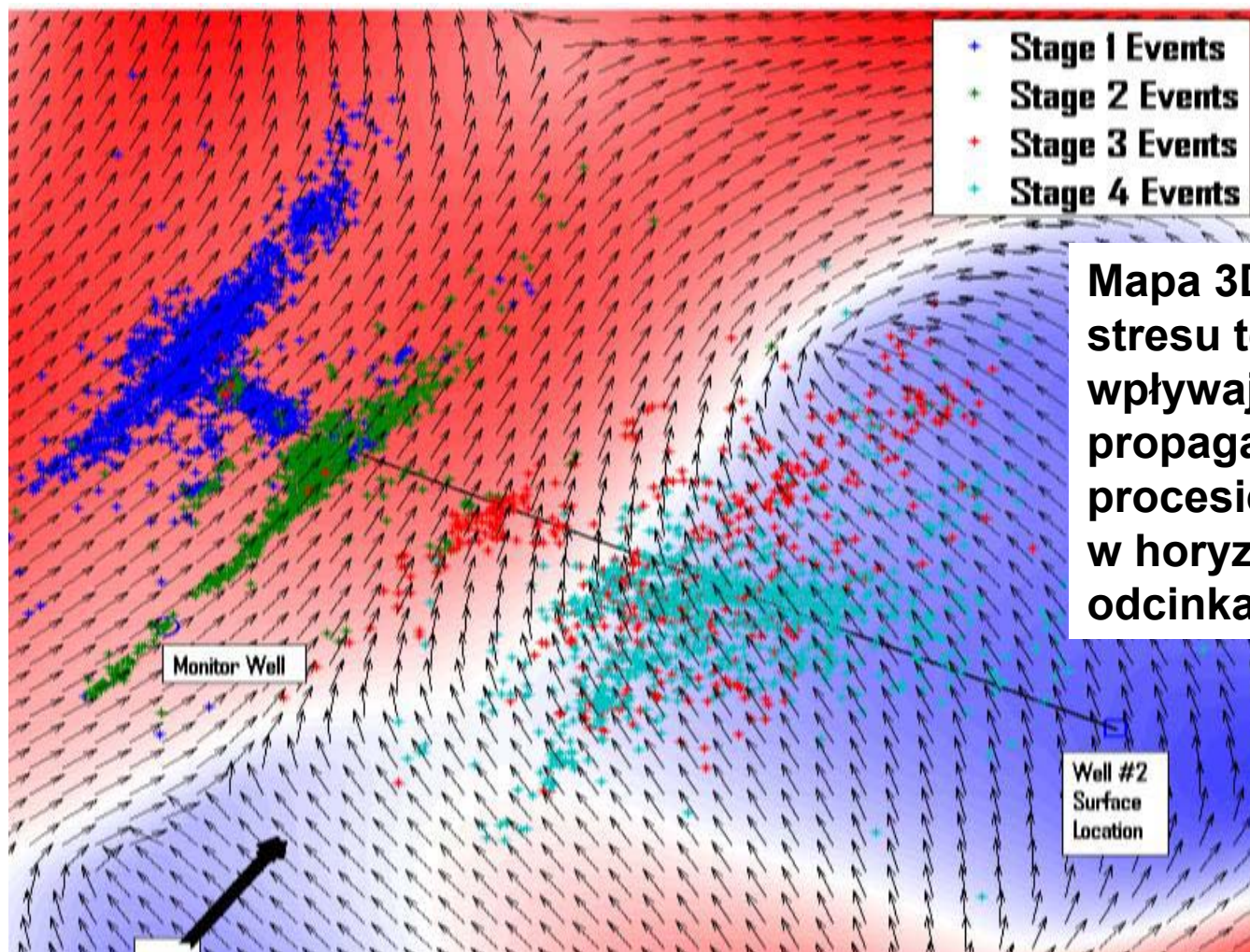
Minimalną krętość szczelin, żeby podsadzka (propant) nie była nadmiernie przemieszczona ze strefy przyodwiertowej, wysoką gęstość przyodwiertową podsadzki, wysoką przewodność przepływu, szybki zwrotny przepływ płynu zabiegowego, minimalne obciążenie płynem zabiegowym.

Udane szczelinowanie i wprowadzenie podsadzki nie wystarcza by zapewnić, że otwór będzie produktywny. Na produktywność radykalnie może wpłynąć również uszkodzenie złoża towarzyszące stymulacji. Płyny do stymulacji, stosowane by utworzyć szczelinę, w szczególności płyny na bazie wody (w przypadku „łupków”) mogą spowodować uszkodzenie złoża (wydłużony kontakt płynu ze złożem). Krytyczną kwestią jest aby zminimalizować czas pomiędzy pierwszą stymulacją - szczelinowaniem, a momentem kiedy otwór wiertniczy jest płukany w celu oczyszczenia. Chociaż tradycyjne płyny na bazie wody mogą być zastąpione mniej szkodliwymi (z punktu widzenia uszkodzenia złoża) środkami takimi jak N₂, CO₂, piana lub propan, to mogą one nie być łatwo dostępne dla planowanych zabiegów szczelinowań”.

Wg Paul Higginson, Packer Plus, Shale Gas investment Guide/Poland, 2012



Zarys technologii wydobywania – szczelinowanie



Mapa 3D kierunków stresu tektonicznego wpływającego na propagację szczelin w procesie szczelinowania w horyzontalnych odcinkach wierceń



Zarys technologii wydobywania – szczelinowanie

Stosowane materiały podsadzkowe

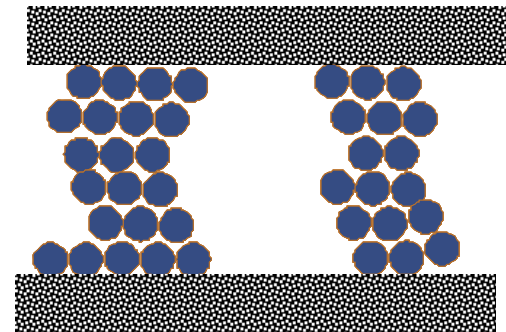
- *piasek*
- *piasek żywiczny*
- *materiały ceramiczne*
- *boksyty*



Cechy materiałów podsadzkowych

- *duża wytrzymałość na ściskanie*
- *odpowiednia wielkość ziaren i ich jednorodność*
- *kulistość i gładkość ziaren*
- *odpowiedni ciężar właściwy*

Zastosowanie podsadzki dla podtrzymania drożności szczelin



Zarys technologii wydobywania – szczelinowanie

Płyn szczelinujący

wykorzystuje m.in.:

- niskie opory przepływu podczas tłoczenia
- odpowiednią stabilną lepkość
- zdolność do upłynniania i usunięcia go ze szczeliny po zakończeniu zabiegu
- małą filtrację w ścianie szczeliny
- dobre właściwości transportowe podsadzki

zapewnia m.in.:

- otwarcie szczeliny i transport podsadzki
- kontrolę filtracji w ośrodku skalnym
- zabezpieczenie przed pęcznieniem minerałów ilastych i degradacją łupków
- zatrzymanie degradacji polimerów przez bakterie



Zarys technologii wydobywania – szczelinowanie

Dodatki stosowane do płynu szczelinującego pn. *slickwater*

- *środki redukujące opory przepływu – najczęściej oparte na poliakryloamidach, stężenie 0,25-1 dm³/1m³ wody*
- *środki bakteriobójcze (biocydy) – stosowane do zapobiegania rozwojowi bakterii, które mogą zmieniać właściwości płynów, a czasem prowadzić do powstania siarkowodoru*
- *inhibitory wytrącania się osadów nieorganicznych*
- *stabilizatory minerałów ilastych*
- *środki powierzchniowo czynne dla obniżenia napięcia powierzchniowego oraz wzrostu kąta zwilżalności*



Obecny stan poszukiwań i rozpoznania *shale gas*

Złoża ciągłe (continuous)

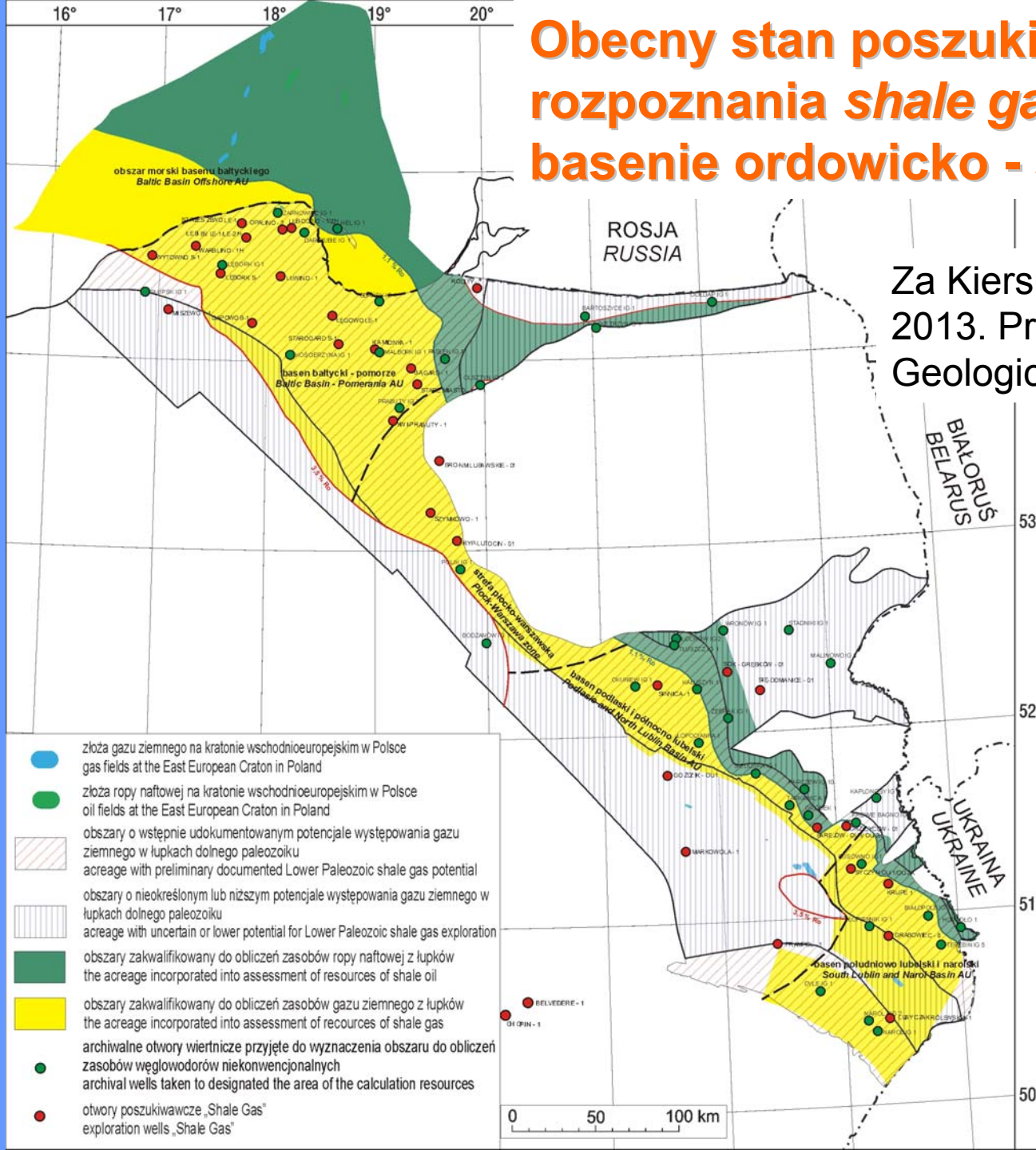
Odkrycie gazu w skałach łupkowych w Polsce spowodowało pojawienie się szeregu dotąd nieznanych lub nie rozpatrywanych kwestii takich jak:

- Określenia zasobów całkowitych i wydobywalnych gazu/ropy w złożach niekonwencjonalnych oraz wprowadzenia nowych metod oszacowań
- Wyznaczania obszaru (powierzchni) złóż niekonwencjonalnych gazu/ropy
- Kodyfikacji i kategoryzacji złóż niekonwencjonalnych gazu/ropy
- Regulacji dotyczących przyznawania koncesji poszukiwawczych i wydobywczych dla złóż niekonwencjonalnych



Obecny stan poszukiwań i rozpoznania *shale gas* w Polskim basenie ordowicko - sylurskim

Za Kiersnowski, Dyrka, 2013. Przegląd Geologiczny 6, v. 61



W sprawie informacji dotyczących oszacowań zasobów gazu w łupkach
zapraszamy do tekstu w

Przegląd Geologiczny, vol. 61, nr 6, 2013

Hubert Kiersnowski, Ireneusz Dyrka

**Potencjał złożowy ordowicko-sylurskich łupków
gazonośnych w Polsce: omówienie
dotychczasowych raportów i propozycje
udoskonalenia metodyki oceny zasobów gazu w
raporcie w 2014 r.**

Ordovician-Silurian shale gas resources potential in Poland: evaluation of Gas Resources Assessment Reports published to date and expected improvements for 2014 forthcoming Assessment.



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

www.pgi.gov.pl