



Marek Narkiewicz

Gaz łupkowy w Polsce z perspektywy geologa – fakty, przewidywania, nadzieje

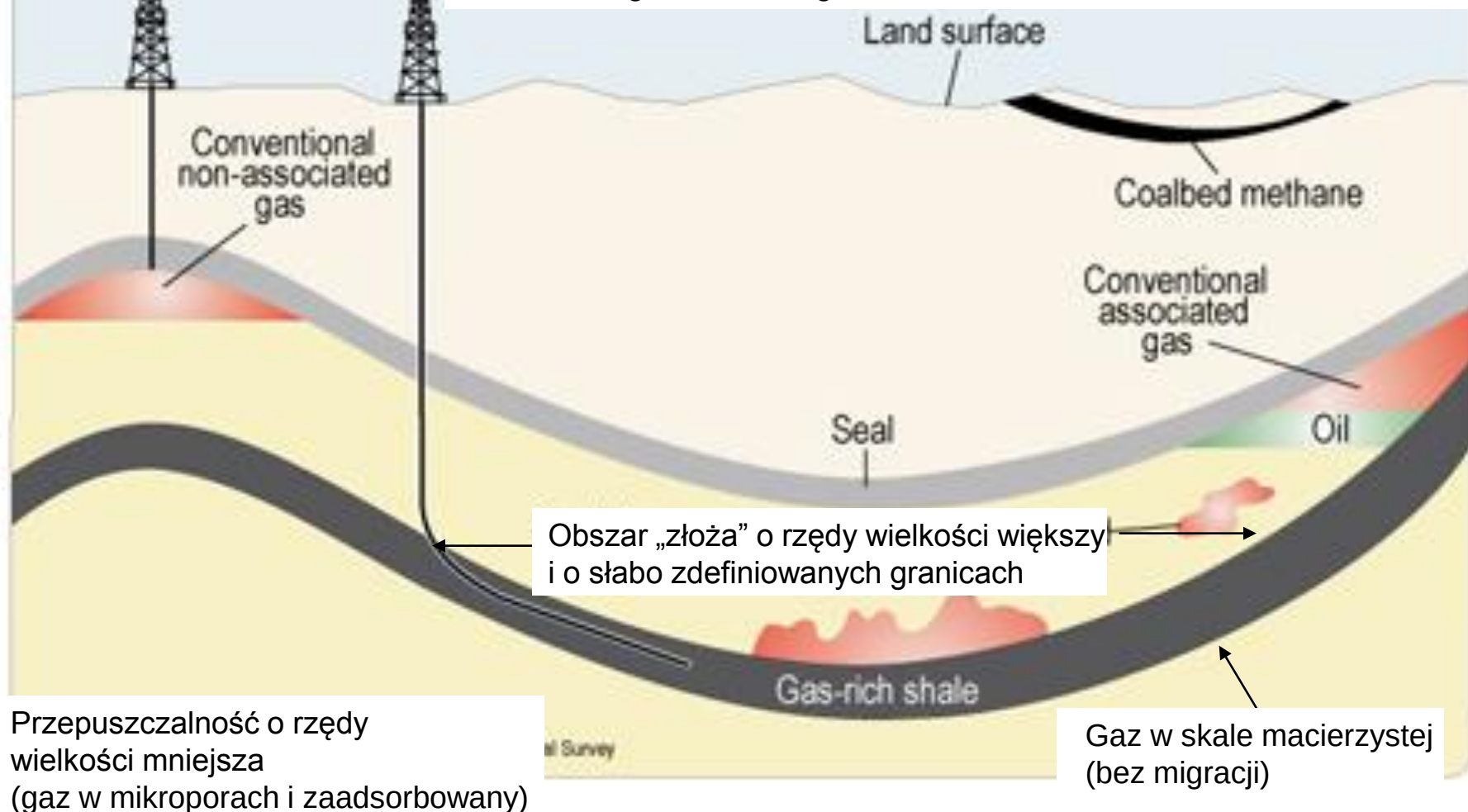
wykład wygłoszony na sesji plenarnej Wydziału III PAN
w Warszawie w dn. 7-XI-2011

— 1 cm

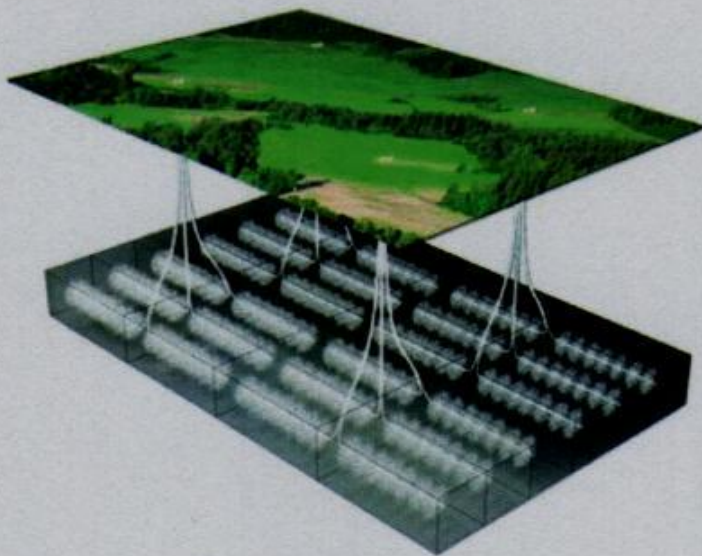
Gaz łupkowy – podstawowe cechy w porównaniu z gazem „konwencjonalnym”

Odmienne metody eksploatacji:

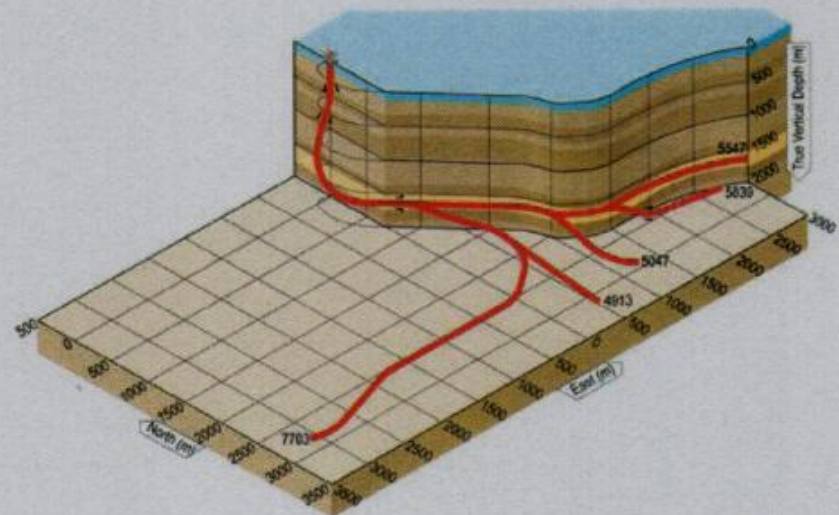
znacznie większa liczba otworów
wiercenia poziome, wielokrotne, wielopoziomowe i wielokierunkowe
zabiegi wielokrotnego szczelinowania



Pad drilling



Multi-lateral drilling



Parametry kluczowe dla oszacowania zasobów perspektywicznych gazu łupkowego:

Obszar występowania

Prosta budowa geologiczna – płaskie zaleganie, brak większych dyslokacji **(F)**

Mięszość łupków (**> 50 m**) **(F)**

Głębokość występowania (**1000 – 5000 m**)

Zawartość pierwotnej materii organicznej (**> 2 % wag. TOC**)

Dojrzałość termiczna (**> 1,0 %Ro**)

Podatność na mikrospękania (kruchość, zwięzłość –
- często utożsamiana z zawart. SiO₂) **(F)**

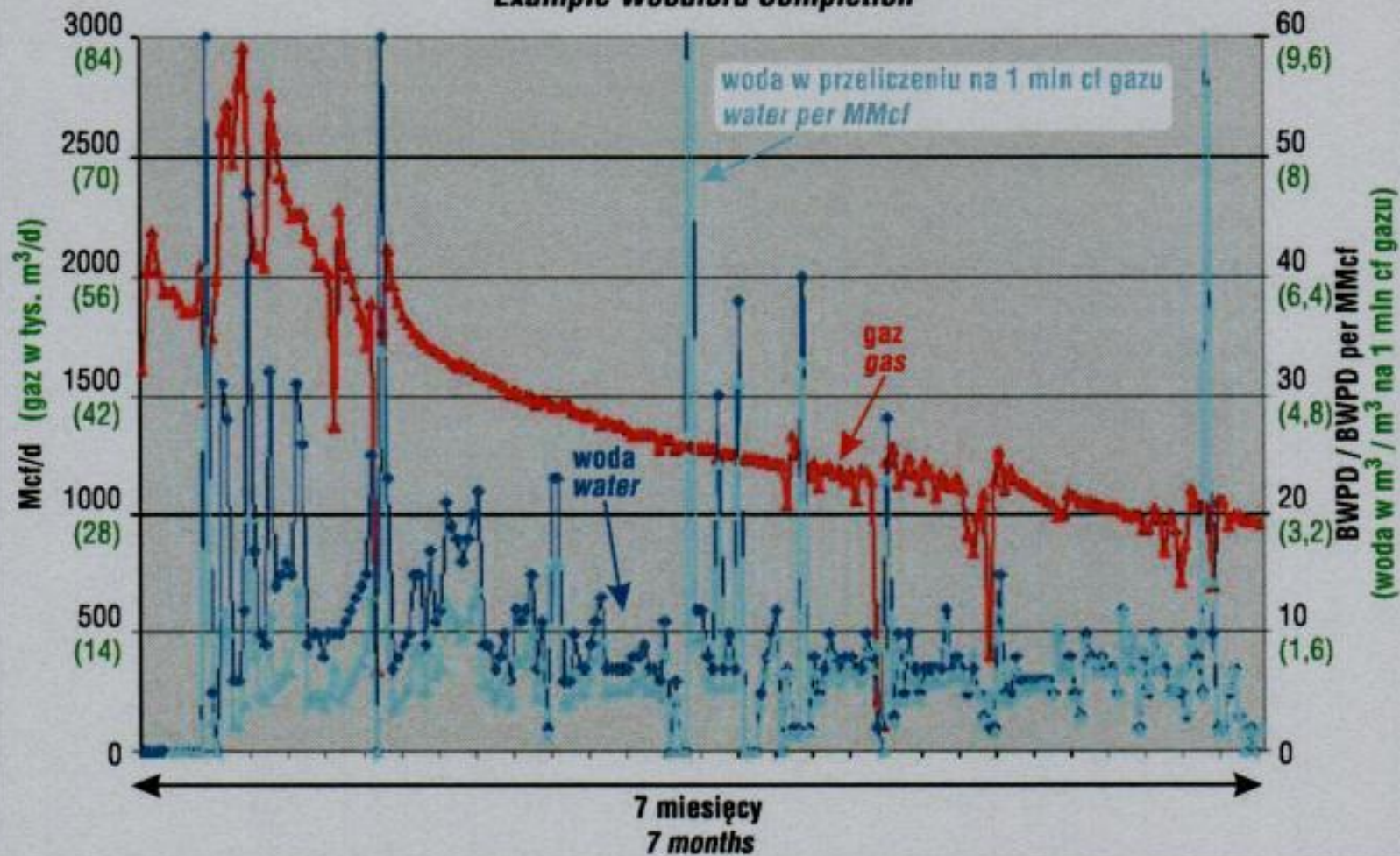
Wskaźnik wydobywalności (dane z literatury: 20-40 %) **(E)**

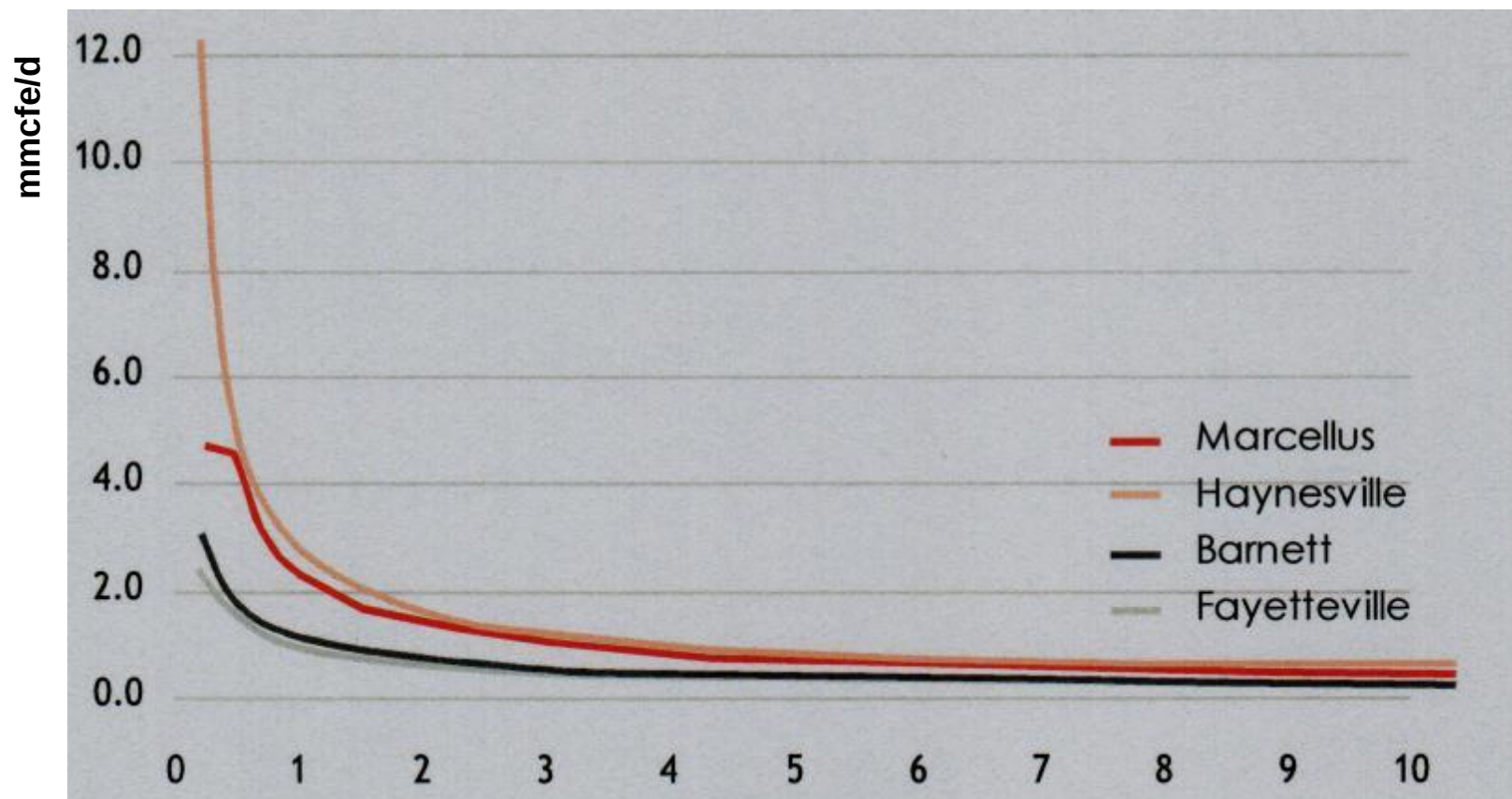
Przebieg wydajności otworów **(E)**

F - cechy ważne dla skutecznego szczelinowania

E - parametry możliwe do oszacowania po kilkuletniej eksploatacji

Przykład początkowego wydobywania gazu ze złoża Woodford Shale **Example Woodford Completion**

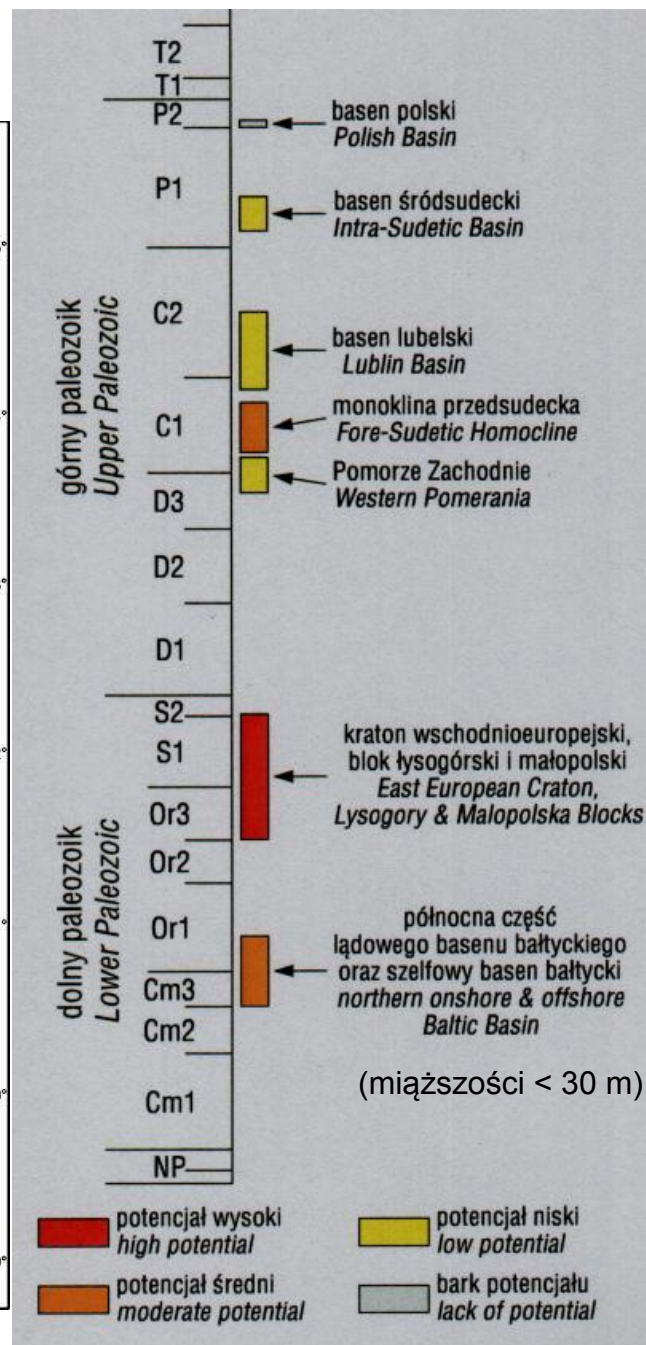
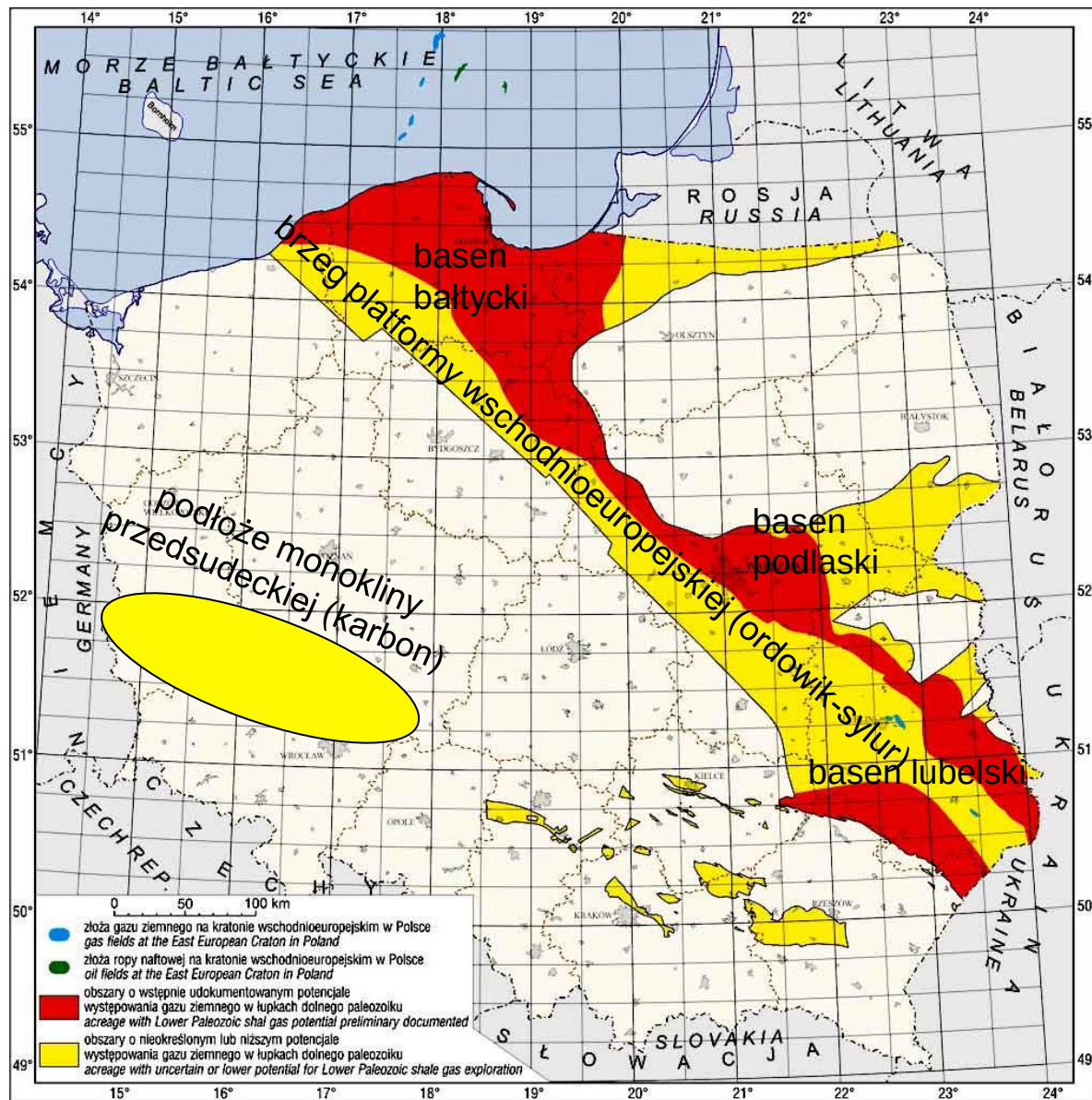




lata od początku wydobywania

1 mmcf/d = 28 320 m³/dobę

Gaz łupkowy w Polsce



źródło: Poprawa (2010)

Przewidywane zasoby wydobywalne gazu łupkowego w Polsce

2011 – **5,3 bln m³** (Advanced Resources International dla U.S. EIA)

2010 – **1,0 bln m³** (Rystad Energy)

2009 – **3,0 bln m³** (Advanced Resources International)

2009 – **1,4 bln m³** (Wood Mackenzie)



U.S. Energy Information
Administration

World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States

APRIL 2011

5,3 bln m³



Independent Statistics & Analysis
www.eia.gov

U.S. Department of Energy
Washington, DC 20585

Gaz „konwencjonalny” - dane dla Polski (2010 r.)

zasoby - **145** mld m³

roczne wydobycie – **5,5** mld m³

roczne zużycie – **14,4** mld m³

(**5,3 bln m³** wystarczy na **368 lat**)

WORLD SHALE GAS RESOURCES: AN INITIAL ASSESSMENT OF 14 REGIONS OUTSIDE THE UNITED STATES

Prepared for:
U.S. Energy Information Administration
At the U.S. Department of Energy
Washington, DC

Prepared by:
Mr. Vello Kuuskraa
Mr. Scott Stevens
Mr. Tyler Van Leeuwen
Mr. Keith Moodhe
ADVANCED RESOURCES INTERNATIONAL, INC.
Arlington, VA USA

February 17, 2011

REFERENCES (Poland)

¹ Schleicher, M., J. Koster, H. Kulke, and W. Weil. "RESERVOIR AND SOURCE-ROCK CHARACTERISATION OF THE EARLY PALAEOZOIC INTERVAL IN THE PERIBALTIC SYNECLISE, NORTHERN POLAND." *Journal of Petroleum Geology* 21, no. 1 (1, 1998): 33-56.

² Hadro, Jerzy. "Shale-Gas Potential in Poland" presented at the EGU General Assembly, Vienna, Austria, April 2009.

³ Kielt, Marian. Possibility of Natural Gas Occurrence in Silurian Schist Formation of the East-European Platform: Composite Analysis of Geophysical Measurements. Geofizyka Torun, Date Unknown.

⁴ Poprawa, Pawel. "Shale gas potential of the Lower Palaeozoic complex in the Baltic and Lublin-Podlasie Basins (Poland)." *Przegląd Geologiczny* 58, no. 3 (2010).

⁵ Poprawa, Pawel. "Shale gas hydrocarbon system - North American Experience and European Potential." *Przegląd Geologiczny* 58, no. 3 (2010): 216-225.

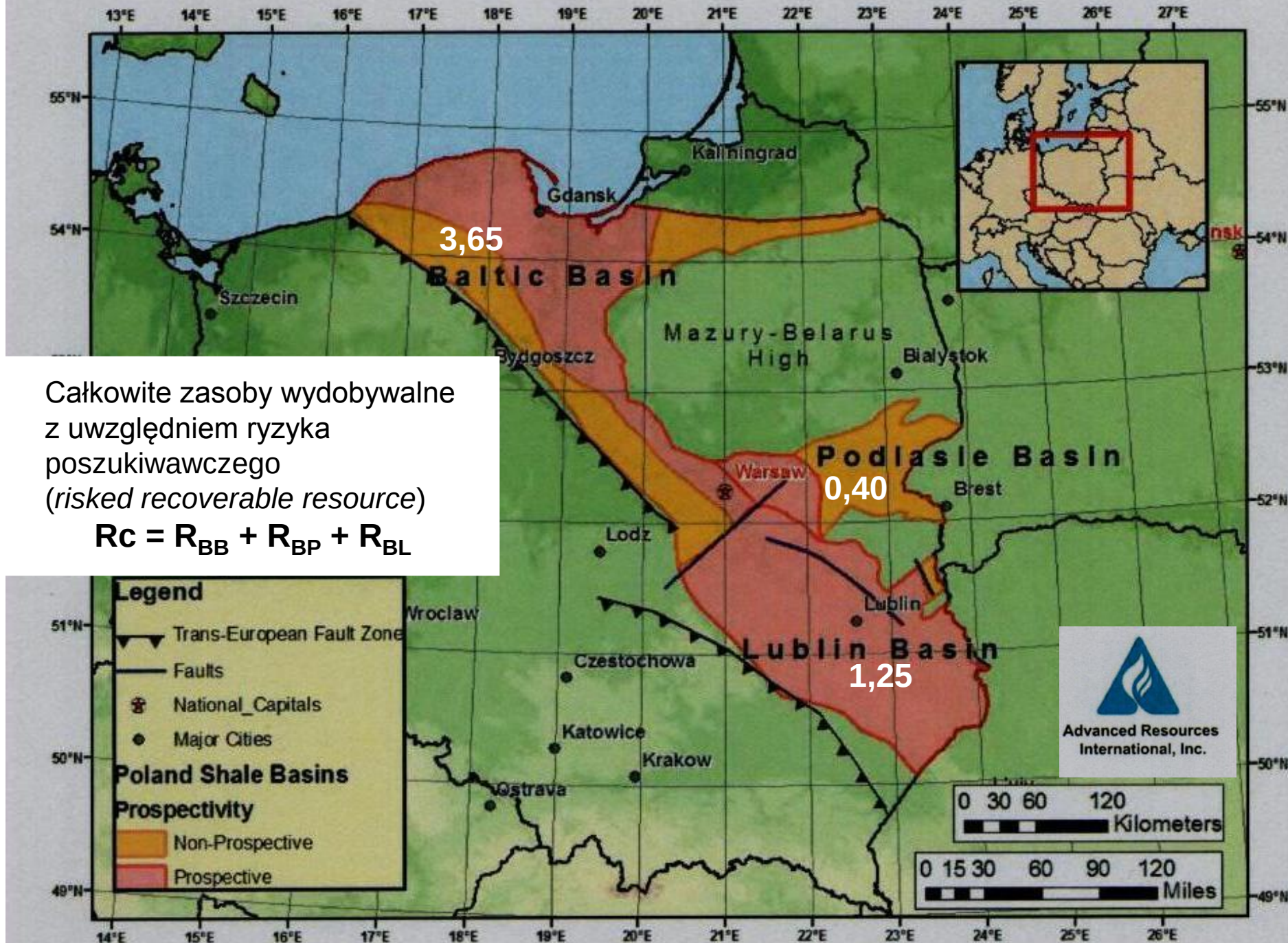
⁶ Polish Geological Institute, Map of Oil and Gas Fields in Poland, 2004. http://www.pgi.gov.pl/mineral_resources/oil_map.htm

⁷ Polish Ministry of the Environment.

⁸ Paczeńska, Jolanta, and Paweł Poprawa. "Eustatic versus tectonic control on the development of Neoproterozoic and Cambrian stratigraphic sequences of the Lublin-Podlasie Basin (SW margin of Baltica)." *Geosciences Journal* 9, no. 2 (6, 2005): 117-127.

⁹ Botor, Dariusz, Maciej Kotarba, and Paweł Kosakowski. "Petroleum generation in the Carboniferous strata of the Lublin Trough (Poland): an integrated geochemical and numerical modelling approach." *Organic Geochemistry* 33, no. 4 (April 2002): 461-476.

¹⁰ EIA Country Analysis Brief.



Całkowite zasoby wydobywalne dla basenu (R_B)

$$R_B = GIP \times W_{PSP} \times W_{PAS} \times W_{SGR}$$

gdzie:

GIP – objętość gazu *in situ* (w łupkach)

Współczynniki ustalane na podstawie doświadczeń konsultanta:

W_{PSP} – prawdopodobieństwo eksploatacji (0,6-0,8)

W_{PAS} – ryzyko geologiczne, stopień rozpoznania (0,4-0,5)

W_{SGR} – prognozowany odzysk (na podstawie przewidywanej podatności na szczelinowanie) (0,20-0,25)

Całkowite zasoby wydobywalne dla basenu (R_B)

$$R_B = \mathbf{GIP} \times W_{PSP} \times W_{PAS} \times W_{SGR}$$

$$\mathbf{GIP} = \mathbf{GIP}_F + \mathbf{GIP}_A$$

$\mathbf{GIP}_F$ – gaz wolny (w przestrzeni porowej)

$\mathbf{GIP}_A$ – gaz zaadsorbowany przez materię organiczną

$$\mathbf{GIP}_F = \frac{\mathbf{S} \times \mathbf{h} \times \phi \times (1 - \mathbf{Sw})}{\mathbf{Bg}}$$

$\mathbf{S}$ – powierzchnia obszaru perspektywicznego

$\mathbf{h}$ – średnia miąższość łupków gazowych (%TOC, %Ro)

ϕ – porowatość całkowita

$\mathbf{Sw}$ – porowatość zawodniona

$\mathbf{Bg}$ – współcz. objętościowy (korekta P-T)

$$\mathbf{GIP}_A = \mathbf{S} \times \mathbf{h} \times \mathbf{d} \times \mathbf{Gc}, \quad \text{przy czym} \quad \mathbf{Gc} = \frac{\mathbf{V}_L \times \mathbf{P}}{\mathbf{P}_L + \mathbf{P}}$$

$\mathbf{Gc}$ – zawartość gazu zaadsorbowanego w jednostce masy łupku

$\mathbf{V}_L$ i $\mathbf{V}_P$ – objętość i ciśnienie Langmuira (na podst. analogii ?)

$$\text{GIP} = \text{GIP}_F + \text{GIP}_A$$

GIP_F – gaz wolny (w przestrzeni porowej)

GIP_A – gaz zaadsorbowany przez materię organiczną

$$\text{GIP}_F = \frac{S \times h \times \phi \times (1 - S_w)}{B_g}$$

$$\text{GIP}_A = S \times h \times d \times G_c$$

S – powierzchnia obszaru perspektywicznego

h – średnia miąższość łupków

ϕ – porowatość całkowita

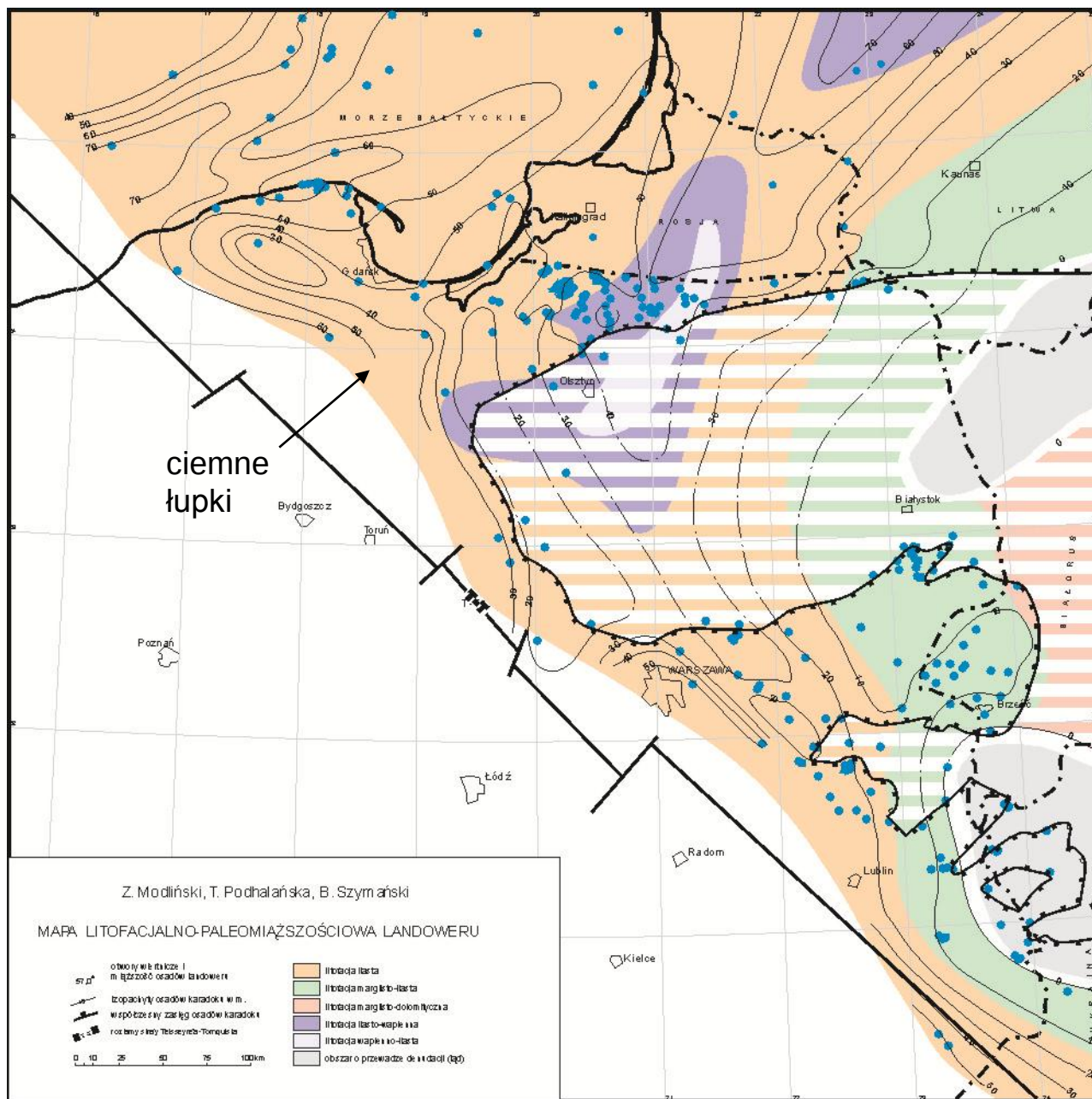
S_w – porowatość zawodniona

B_g – współcz. objętościowy (korekta P-T)

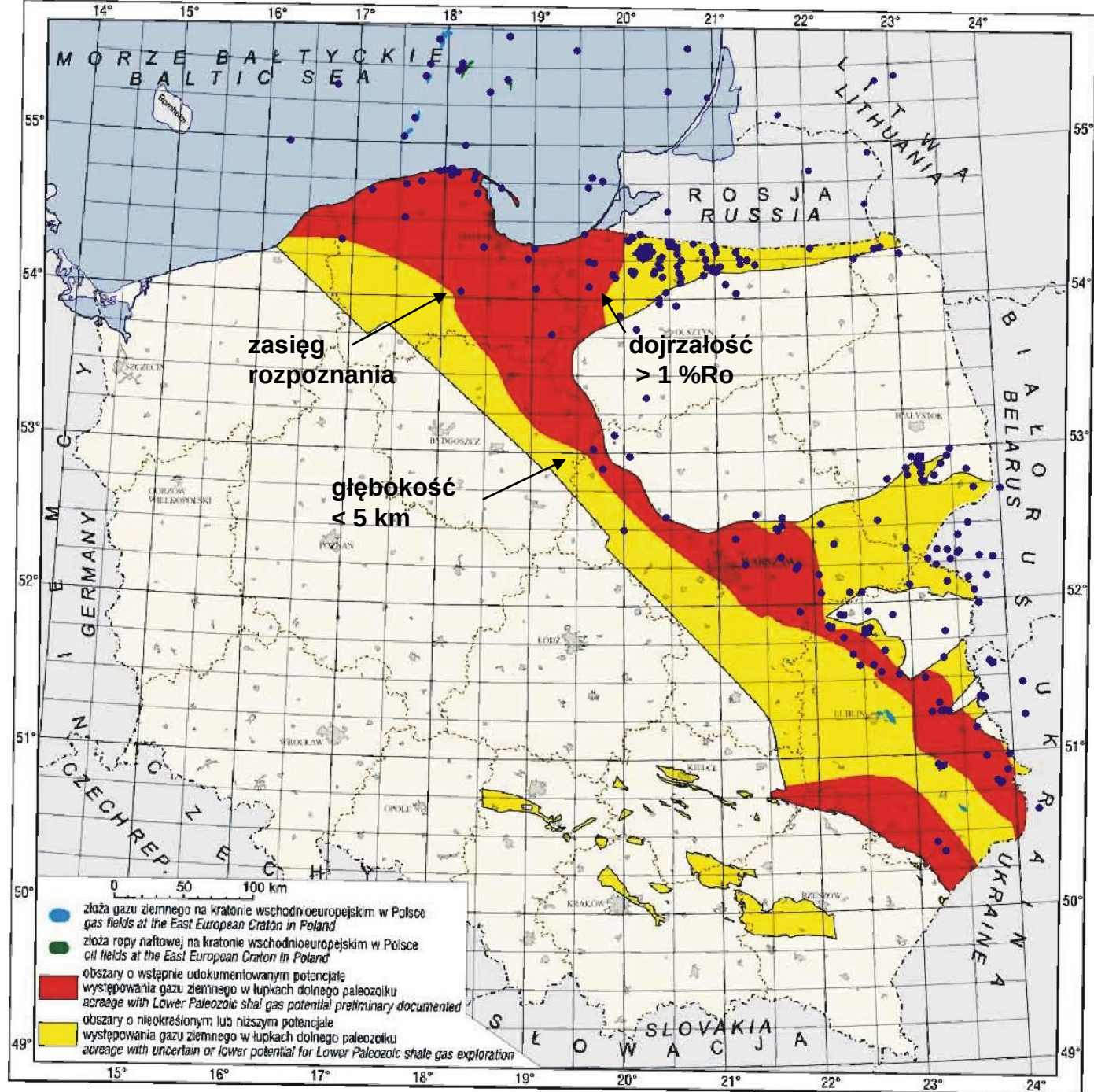
ϕ, S_w, B_g – brak dostatecznych danych

Baseny sylurskie wzdłuż brzegu platformy wschodnioeuropejskiej

zagęszczenie otworów
wiertniczych
(niebieskie kropki)



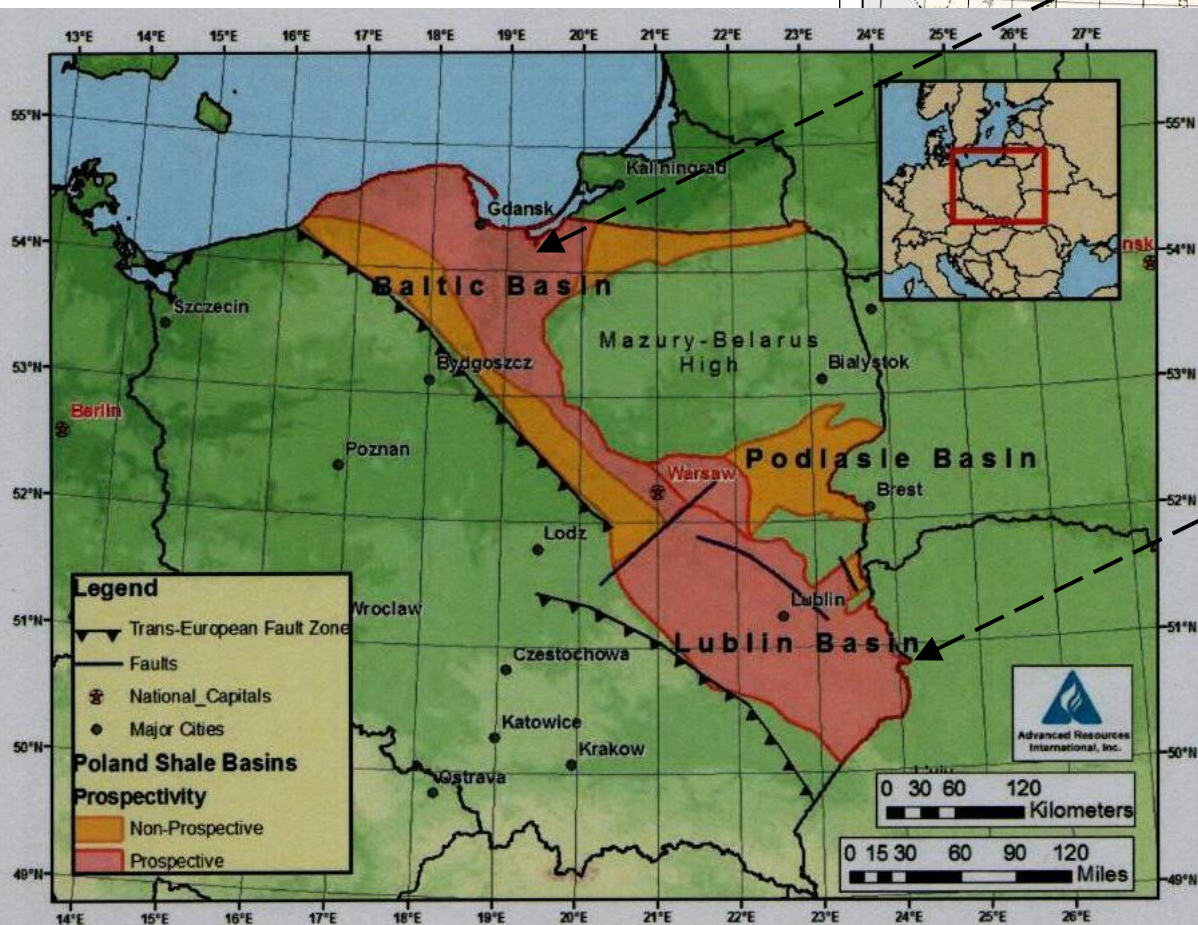
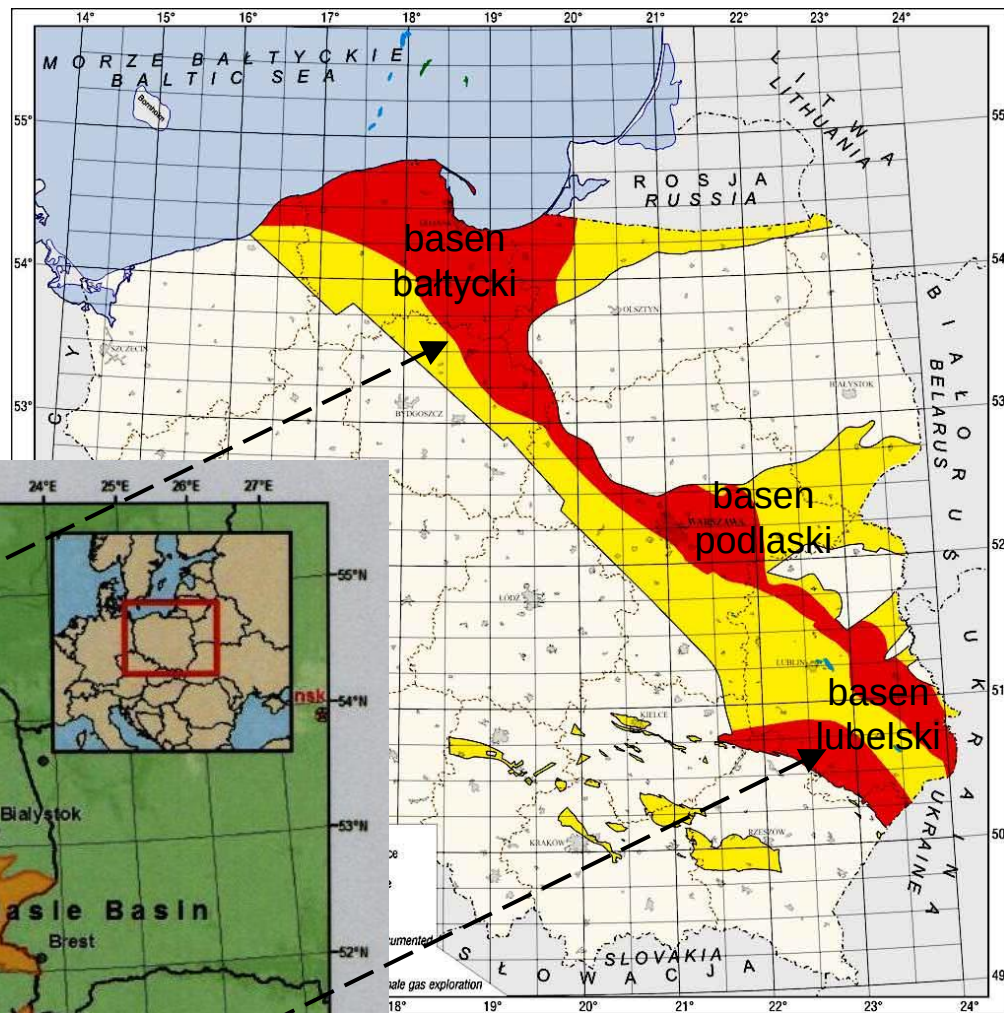
źródło: Modliński (red.), 2009



Basen lubelski
powierzchnia obszaru perspektywicznego
- zawyżona o 60 – 80 %

30 200 km² → 12 000 – 6 000 km²

1,25 bln m³ → 0,5 - 0,25 bln m³



Basen lubelski – zawartość pierwotnej materii organicznej w łupkach sylurskich

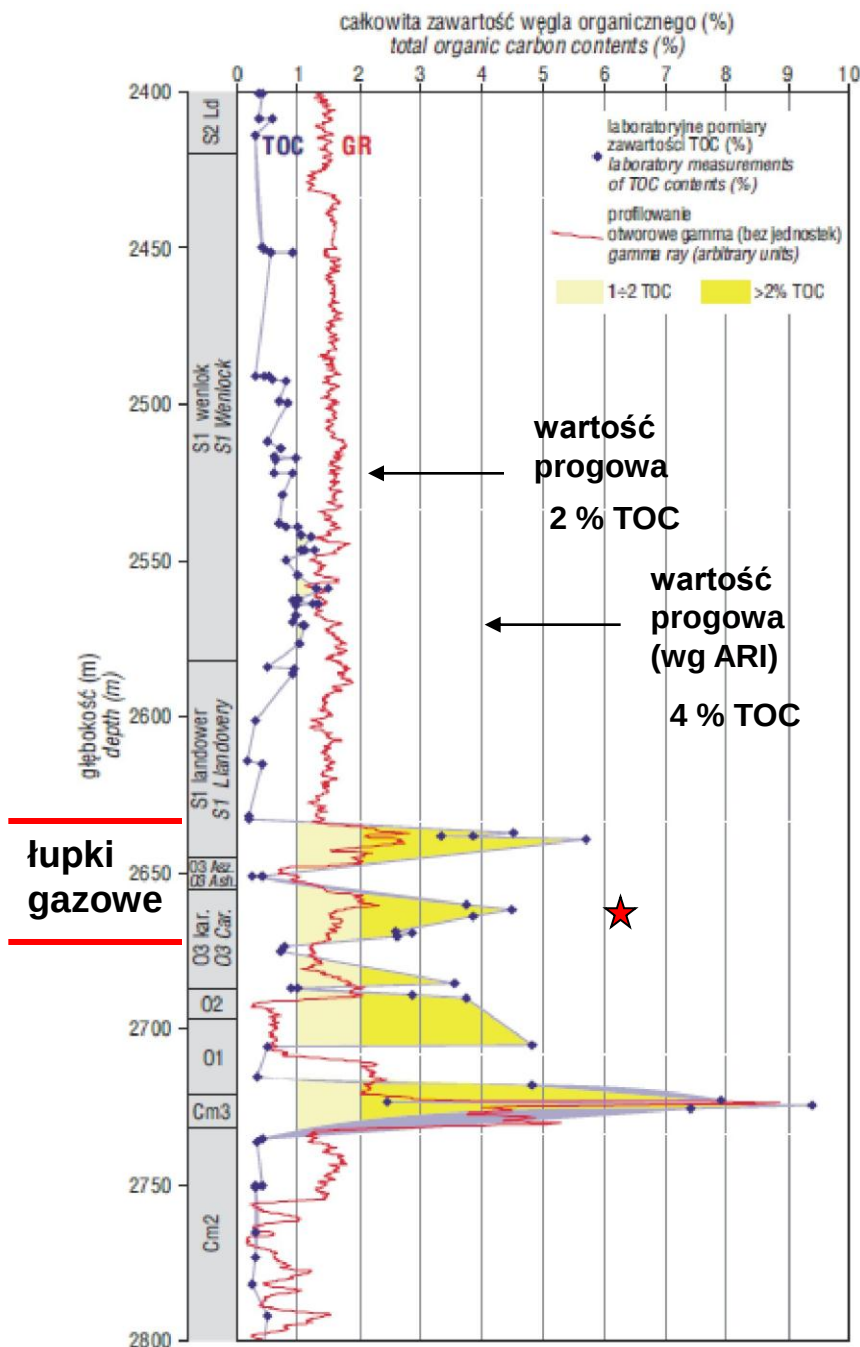
Nieliczne dane (ok. 100 analiz – Klimuszko, 2002, mat. własne)
wskazują na znaczną zmienność pionową i umiarkowane wartości
na ogół < 2 % wag. TOC przy ogólnie niskich miąższościach (< 70 m)

Dolne szacunki zasobów (0,25 bln m³) - bardziej realne

[illegible]

Legenda:

- 0-200 m n.p.m. (0-200 m above sea level)
- 200-400 m n.p.m. (200-400 m above sea level)
- 400-600 m n.p.m. (400-600 m above sea level)
- 600-800 m n.p.m. (600-800 m above sea level)
- 800-1000 m n.p.m. (800-1000 m above sea level)
- 1000-1200 m n.p.m. (1000-1200 m above sea level)
- 1200-1400 m n.p.m. (1200-1400 m above sea level)
- 1400-1600 m n.p.m. (1400-1600 m above sea level)
- 1600-1800 m n.p.m. (1600-1800 m above sea level)
- 1800-2000 m n.p.m. (1800-2000 m above sea level)
- 2000-2200 m n.p.m. (2000-2200 m above sea level)
- 2200-2400 m n.p.m. (2200-2400 m above sea level)
- 2400-2600 m n.p.m. (2400-2600 m above sea level)
- 2600-2800 m n.p.m. (2600-2800 m above sea level)
- 2800-3000 m n.p.m. (2800-3000 m above sea level)
- 3000-3200 m n.p.m. (3000-3200 m above sea level)
- 3200-3400 m n.p.m. (3200-3400 m above sea level)
- 3400-3600 m n.p.m. (3400-3600 m above sea level)
- 3600-3800 m n.p.m. (3600-3800 m above sea level)
- 3800-4000 m n.p.m. (3800-4000 m above sea level)
- 4000-4200 m n.p.m. (4000-4200 m above sea level)
- 4200-4400 m n.p.m. (4200-4400 m above sea level)
- 4400-4600 m n.p.m. (4400-4600 m above sea level)
- 4600-4800 m n.p.m. (4600-4800 m above sea level)
- 4800-5000 m n.p.m. (4800-5000 m above sea level)
- 5000-5200 m n.p.m. (5000-5200 m above sea level)
- 5200-5400 m n.p.m. (5200-5400 m above sea level)
- 5400-5600 m n.p.m. (5400-5600 m above sea level)
- 5600-5800 m n.p.m. (5600-5800 m above sea level)
- 5800-6000 m n.p.m. (5800-6000 m above sea level)
- 6000-6200 m n.p.m. (6000-6200 m above sea level)
- 6200-6400 m n.p.m. (6200-6400 m above sea level)
- 6400-6600 m n.p.m. (6400-6600 m above sea level)
- 6600-6800 m n.p.m. (6600-6800 m above sea level)
- 6800-7000 m n.p.m. (6800-7000 m above sea level)
- 7000-7200 m n.p.m. (7000-7200 m above sea level)
- 7200-7400 m n.p.m. (7200-7400 m above sea level)
- 7400-7600 m n.p.m. (7400-7600 m above sea level)
- 7600-7800 m n.p.m. (7600-7800 m above sea level)
- 7800-8000 m n.p.m. (7800-8000 m above sea level)
- 8000-8200 m n.p.m. (8000-8200 m above sea level)
- 8200-8400 m n.p.m. (8200-8400 m above sea level)
- 8400-8600 m n.p.m. (8400-8600 m above sea level)
- 8600-8800 m n.p.m. (8600-8800 m above sea level)
- 8800-9000 m n.p.m. (8800-9000 m above sea level)
- 9000-9200 m n.p.m. (9000-9200 m above sea level)
- 9200-9400 m n.p.m. (9200-9400 m above sea level)
- 9400-9600 m n.p.m. (9400-9600 m above sea level)
- 9600-9800 m n.p.m. (9600-9800 m above sea level)
- 9800-10000 m n.p.m. (9800-10000 m above sea level)
- 10000-10200 m n.p.m. (10000-10200 m above sea level)
- 10200-10400 m n.p.m. (10200-10400 m above sea level)
- 10400-10600 m n.p.m. (10400-10600 m above sea level)
- 10600-10800 m n.p.m. (10600-10800 m above sea level)
- 10800-11000 m n.p.m. (10800-11000 m above sea level)
- 11000-11200 m n.p.m. (11000-11200 m above sea level)
- 11200-11400 m n.p.m. (11200-11400 m above sea level)
- 11400-11600 m n.p.m. (11400-11600 m above sea level)
- 11600-11800 m n.p.m. (11600-11800 m above sea level)
- 11800-12000 m n.p.m. (11800-12000 m above sea level)
- 12000-12200 m n.p.m. (12000-12200 m above sea level)
- 12200-12400 m n.p.m. (12200-12400 m above sea level)
- 12400-12600 m n.p.m. (12400-12600 m above sea level)
- 12600-12800 m n.p.m. (12600-12800 m above sea level)
- 12800-13000 m n.p.m. (12800-13000 m above sea level)
- 13000-13200 m n.p.m. (13000-13200 m above sea level)
- 13200-13400 m n.p.m. (13200-13400 m above sea level)
- 13400-13600 m n.p.m. (13400-13600 m above sea level)
- 13600-13800 m n.p.m. (13600-13800 m above sea level)
- 13800-14000 m n.p.m. (13800-14000 m above sea level)
- 14000-14200 m n.p.m. (14000-14200 m above sea level)
- 14200-14400 m n.p.m. (14200-14400 m above sea level)
- 14400-14600 m n.p.m. (14400-14600 m above sea level)
- 14600-14800 m n.p.m. (14600-14800 m above sea level)
- 14800-15000 m n.p.m. (14800-15000 m above sea level)
- 15000-15200 m n.p.m. (15000-15200 m above sea level)
- 15200-15400 m n.p.m. (15200-15400 m above sea level)
- 15400-15600 m n.p.m. (15400-15600 m above sea level)
- 15600-15800 m n.p.m. (15600-15800 m above sea level)
- 15800-16000 m n.p.m. (15800-16000 m above sea level)
- 16000-16200 m n.p.m. (16000-16200 m above sea level)
- 16200-16400 m n.p.m. (16200-16400 m above sea level)
- 16400-16600 m n.p.m. (16400-16600 m above sea level)
- 16600-16800 m n.p.m. (16600-16800 m above sea level)
- 16800-17000 m n.p.m. (16800-17000 m above sea level)
- 17000-17200 m n.p.m. (17000-17200 m above sea level)
- 17200-17400 m n.p.m. (17200-17400 m above sea level)
- 17400-17600 m n.p.m. (17400-17600 m above sea level)
- 17600-17800 m n.p.m. (17600-17800 m above sea level)
- 17800-18000 m n.p.m. (17800-18000 m above sea level)
- 18000-18200 m n.p.m. (18000-18200 m above sea level)
- 18200-18400 m n.p.m. (18200-18400 m above sea level)
- 18400-18600 m n.p.m. (18400-18600 m above sea level)
- 18600-18800 m n.p.m. (18600-18800 m above sea level)
- 18800-19000 m n.p.m. (18800-19000 m above sea level)
- 19000-19200 m n.p.m. (19000-19200 m above sea level)
- 19200-19400 m n.p.m. (19200-19400 m above sea level)
- 19400-19600 m n.p.m. (19400-19600 m above sea level)
- 19600-19800 m n.p.m. (19600-19800 m above sea level)
- 19800-20000 m n.p.m. (19800-20000 m above sea level)
- 20000-20200 m n.p.m. (20000-20200 m above sea level)
- 20200-20400 m n.p.m. (20200-20400 m above sea level)
- 20400-20600 m n.p.m. (20400-20600 m above sea level)
- 20600-20800 m n.p.m. (20600-20800 m above sea level)
- 20800-21000 m n.p.m. (20800-21000 m above sea level)
- 21000-21200 m n.p.m. (21000-21200 m above sea level)
- 21200-21400 m n.p.m. (21200-21400 m above sea level)
- 21400-21600 m n.p.m. (21400-21600 m above sea level)
- 21600-21800 m n.p.m. (21600-21800 m above sea level)
- 21800-22000 m n.p.m. (21800-22000 m above sea level)
- 22000-22200 m n.p.m. (22000-22200 m above sea level)
- 22200-2240



otwór Żarnowiec IG 1 – sylur dln.:
 śr. dla miąższości 63 m – 1,76 % TOC
 w tym:
 górne 52 m – 0,45 %
 dolne **11 m** – 4,36 %

Przy śr. miąższości 30 m
 zasoby wg ARI zawyżone ~3-krotnie:

3,65 bln m³ → 1,2 bln m³

*Po uwzględnieniu wartości progowej 4 % TOC
 - średnie miąższości jeszcze bardziej maleją*

Szacunkowe zasoby gazu łupkowego w Polsce po uwzględnieniu najważniejszych („grubych”) zastrzeżeń do obliczeń ARI
(w nawiasach):

Basen lubelski **0,25 (1,25) bln m³**

Basen podlaski **0,40 (0,40) bln m³**

Basen bałtycki **1,20 (3,65) bln m³**

Ogółem: 1,85 (5,3) bln m³

Do wartości obliczonych należałoby zastosować obniżone współczynniki ryzyka (W_{PSP} i W_{PAS}), ponieważ:

- brak pomiarów otworowych wskazujących na zakładane przez ARI nadciśnienia
- brak objawów gazowych w dotychczasowych otworach (stan na 2010 r.)
- słabo rozpoznana zawartość pierwotnej materii organicznej (TOC) – ogólnie niższa i silniej zmienna w porównaniu z basenami amerykańskimi

Przy zastosowaniu minimalnych „polskich” współczynników dla basenu bałtyckiego:

zasoby basenu bałtyckiego - 0,72 bln m³

łączne zasoby polskie – 1,37 bln m³

Dotychczasowe oceny zasobów perspektywicznych gazu łupkowego są **wysoce hipotetyczne**. W szczególności, zasoby **5,3 bln m³** (2011 r. - EIA/ARI) **oparto na wątplych, a częściowo wątpliwych podstawach geologicznych**. Pobieżne przeliczenia wskazują na co najwyżej **1,4-1,85 bln m³**

Takie urealnione zasoby są dalej ogromne, ale ich wysokość jest już porównywalna z zasobami prognostycznymi dla złóż konwencjonalnych – **1,73 bln m³** (Górecki w: PIG, 2011)

Dokładniejsza ocena zasobów możliwa po uzyskaniu nowych danych otworowych, a także ustaleniu specyficznej dla polskich złóż dynamiki wydajności wydobywania gazu (> 1 rok ciągłej eksploatacji)



Gaz łupkowy w Polsce z perspektywy geologa – fakty*, przewidywania**, nadzieje***

* skąpe

** hipotetyczne

*** wielkie i ciągle rosnące

Dziękuję za uwagę