Analiza fraktalnej struktury przestrzeni porowej przy wykorzystaniu krzywych ciśnień kapilarnych otrzymywanych metodą porozytmetrii rtęciowej

Piotr Such*

Rachunek fraktalowy jest aktualnie jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin nauki. Obejmuje szerokie spektrum zagadnień, pozwalając matematycznie opisywać formy uważane dotychczas za bezkształtne. Również wykształcenie przestrzeni porowej można badać przy pomocy rachunku fraktalowego. Praca niniejsza stanowi rezultat badań nad fraktalną strukturą przestrzeni porowej, przy czym głównym celem było stwierdzenie możliwości fraktalnej analizy krzywych rozkładu średnic porów otrzymywanych z analiz porozymetrycznych. Fraktalna struktura tego typu obiektów będzie manifestować się spełnianiem równań potęgowych. Stwierdzono, że przestrzeń porowa ogromnej większości badanych skał w pewnych zakresach zachowuje się jak fraktal. Sprawdzono również istnienie fraktalnej struktury przestrzeni porowej przy wykorzystaniu płytek cienkich.

Słowa kluczowe: *przestrzeń porowa, struktura fraktalna, wymiar fraktalny, równanie potęgowe.*

Piotr Such — **Fractal analysis of pore space structure as studied with the use of capillary pressure curves obtained by the mercury injection method.** Prz. Geol., 46: 1186–1190.

S u m m a r y. A fractal analysis of nature is actually one of the leading field of science. It makes possible to describe mathematically a wide spectrum of phenomena. This paper gives results of investigations of the fractal structure of the pore space of basic types of reservoir rocks in Poland. The main goal was to apply fractals in analysis of mercury injection capillary pressure curves. The fractal structure of such type of curves exhibits power law behaviour and can be described in terms of fractal dimensions. Almost all investigated rocks show the fractal structure of the pore space in some ranges of capillary pressure curves. Obtained results were verified by the use of image analysis of thin sections.

Key words: *pore space, fractal structure, fractal dimension, power law equation*

Początki badań nad strukturami samopodobnymi to prace Sierpińkiego, Julii, Hausdorfa, Mengera i in., publikowane na przełomie dziewiętnastego i dwudziestego wieku oraz w okresie międzywojennym. Ich rezultaty obszernie omówiono w książce Mendelbrota (Mandelbrot, 1977) oraz z pracy *Granice chaosu, fraktale* (Peitgen i in., 1995). Przez lata traktowano je jako ciekawe, lecz czysto teoretyczne rozprawy geometryczne.

W 1975 r. Mandelbrot (Mandelbrot, 1977) opublikował swoją podstawową pracę o strukturach samopodobnych *The Fractal Geometry of Nature*. W pracy tej badanym obiektom samopodobnym nadał nazwę fraktale i pokazał, że bardzo wiele procesów i obiektów naturalnych można opisać przy ich pomocy. Podał również pierwszą, klasyczną definicję fraktala. Rachunek fraktalowy jest obecnie jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin nauki, szczególnie pomocny tam, gdzie zawodzą standardowe wzory analityczne (Katz & Thompson, 1984; Katz i in.,1987; Morrow, 1976; Turcotte, 1997).

Obejmuje szerokie spektrum zagadnień, pozwalając matematycznie opisywać formy uważane dotychczas za bezkształtne.

Podstawowe definicje

Fraktale — według Stewarta (Stewart, 1994) pojawiają się w nauce na dwa sposoby, jako opisowe narzędzie służące do badania nieregularnych form i procesów oraz jako matematyczny wniosek wynikający z podstawowej dynamiki chaosu. Prawie wszystkie prace o fraktalach można wywodzić z książki Mandelbrota (Mandelbrot, 1977). W tej pracy tej autor podał definicję fraktala.

Według Mandelbrota fraktalem nazywamy:

— obiekty, które nie są określone wzorem matematycznym, lecz tylko zależnością rekurencyjną,

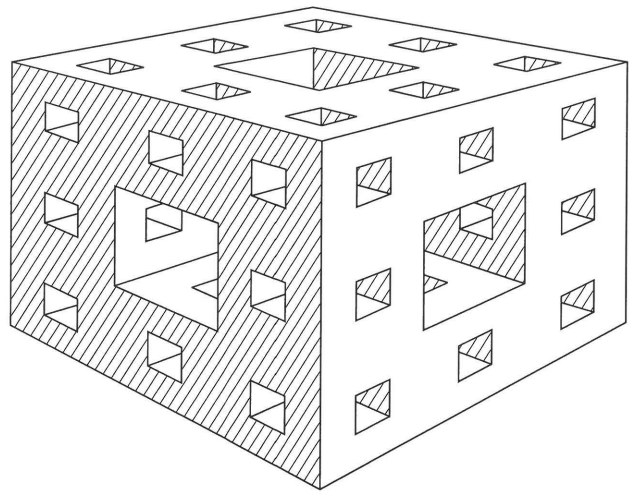
— obiekty te mają cechę samopodobieństwa,

— są obiektami, których wymiar nie jest liczbą całkowitą.

Punkt pierwszy jest zrozumiały. Pozostałe dwa wymagają dookreślenia.

Obiekt nazywa się (ścisle) samopodobny, jeżeli może być podzielony na dowolnie małe części, z których każda jest wiernym pomniejszeniem całości (Peitgen i in., 1995). Tym niemniej, dla wielu klas obiektów fraktalowych samopodobieństwo będzie bardzo trudne do ustalenia lub wręcz niemożliwe.

Skomplikowana jest również sprawa definicji wymiaru fraktalnego. Istnieje cały szereg definicji wymiaru. Są one ze sobą powiązane. W niektórych przypadkach jedne z nich



Ryc. 1. Gąbka Mengera (według Stewarda, 1994); s= 1/3, D = 2,72
Fig. 1. Menger sponge (Steward, 1994); s= 1/3, D = 2,72

*Instytut Górnictwa Naftowego i Gazownictwa, ul. Lubicz 25a, 31-503 Kraków

mają sens, inne nie, mogą prowadzić do wyznaczenia różnych wartości wymiaru dla tego samego obiektu. W dalszych rozważaniach przydatne będą, szeroko stosowane, definicje wymiaru samopodobieństwa oraz wymiaru pudełkowego.

Na ryc. 1. zamieszczono, tzw. gąbkę Mengera. Jest to ściśle samopodobny obiekt toteż jego wymiar fraktalny będzie liczony z definicji wymiaru samopodobieństwa.

Wymiar samopodobieństwa. Dla dowolnego obiektu samopodobnego istnieje związek pomiędzy współczynnikiem redukcji (wielkość charakteryzująca pomniejszenie kolejnych generacji obiektu samopodobnego) a liczbą części a na które obiekt ten może być podzielony. Jest nim:

$$D = \frac{log(a)}{log(1/s)} \qquad [1]$$

gdzie: D — wymiar samopodobieństwa, s — współczynnik redukcji, a — liczba części. Dla prostej, kwadratu i sześcianu otrzymujemy odpowiednio $D = 1, 2, 3$. Dla gąbki Mengera współczynnik redukcji wynosi 1/3, zaś ilość części dla obiektu pierwszego rzędu wynosi 20, jest więc to fraktal o wymiarze $D = \log(20)/\log(3) = 2{,}72$.

Wymiar pudełkowy. Jednym z najczęściej stosowanych wymiarów fraktalnych jest wymiar pudełkowy, stosowany dla obiektów dla których nie daje się wyliczyć współczynnika redukcji. Ilustracją zastosowania tego wymiaru oraz klasy obiektów do których możemy go zastosować jest ryc. 2, na którym zamieszczono obraz wybrzeża Wielkiej Brytanii i Irlandii. Fraktalny wymiar linii tego wybrzeża zauważono mierząc na mapie długość linii brzegowej i zwiększając przy kolejnych pomiarch ich dokładność. Zweryfikowano ten fakt stosując do określenia wymiaru fraktalnego linii brzegowej definicję wymiaru pudełkowego.

Rozpatrzmy ciąg siatek, dla których wielkość oczek zmniejsza się dwukrotnie przy przejściu z jednej siatki do następnej (ryc. 2). Kiedy używamy tego typu siatki dla zliczenia pudełek dla fraktala dostajemy ciąg $N(2^{-k})$, $k = 1, 2,....$ Dla $k = 0$ otrzymujemy $s = 2^0 = 1$. Nachylenie prostej, łączącej jedne dane z następnymi na wykresie logarytmicznym jest następujące:

$$\frac{logN(2^{-(k+1)}) - logN(2^{-k})}{log2^{(k+1)} - log2^{k}} = \log\frac{N(2^{-(k+1)})}{N(2^{-k})} \qquad [2]$$

Jak widać wynik jest logarytmem o podstawie 2. Ten współczynnik będzie więc oszacowaniem wymiaru pudełkowego dla danego fraktala. Inaczej mówiąc, jeśli liczba zliczonych pudełek przy przejściu z jednej siatki do następnej wzrasta o czynnik 2^D, to wymiar fraktalny wynosi D. Analiza wymiaru fraktalnego wybrzeża Wielkiej Brytanii, przy zastosowaniu powyższej w definicji potwierdziła jej fraktalny charakter. Wartość wymiaru określono na 1,30.

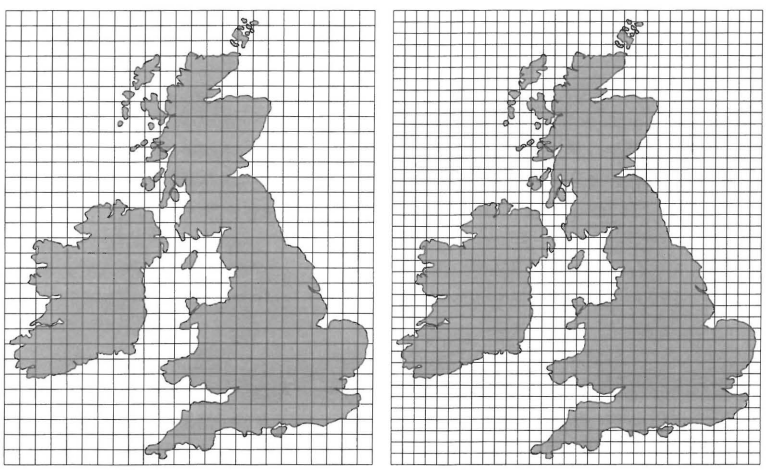
Fraktale a badania przestrzeni porowej

Kiedy spojrzymy na gąbkę Mengera, zauważamy że jest to ośrodek porowaty, przypominający przestrzeń porową dobrze wysortowanego piaskowca. Patrząc z kolei na ryc. 2. bardzo łatwo znaleźć analogie między mapą Wielkiej Brytanii a kształtami porów obserwowanymi pod mikroskopem na płytkach cienkich. Można więc, spróbować zbadać realną przestrzeń porową badanych skał pod kątem jej ewentualnej fraktalnej struktury (Peitgen i in., 1995; Turcotte, 1997). Jako pierwsi zasygnalizowali taką możliwość Katz i Thompson (Katz & Thompson, 1984; Katz i in., 1987). Potem wielu autorów rozwinęło teorię badań przestrzeni porowej, wykorzystując do weryfikacji swoich teorii płytki cienkie (Bliefnick & Kaldi, 1996; Garrison i in., 1991; Morrow, 1976). W Polsce, w naukach o ziemi, rachunek fraktalowy do analizy powierzchni i zjawisk powierzchniowych dla gleb zastosowała prof. Sokołowska z zespołem (Sokołowska, 1989; Sokołowska & Sokołowski, 1989; Sokołowska i in., 1989).

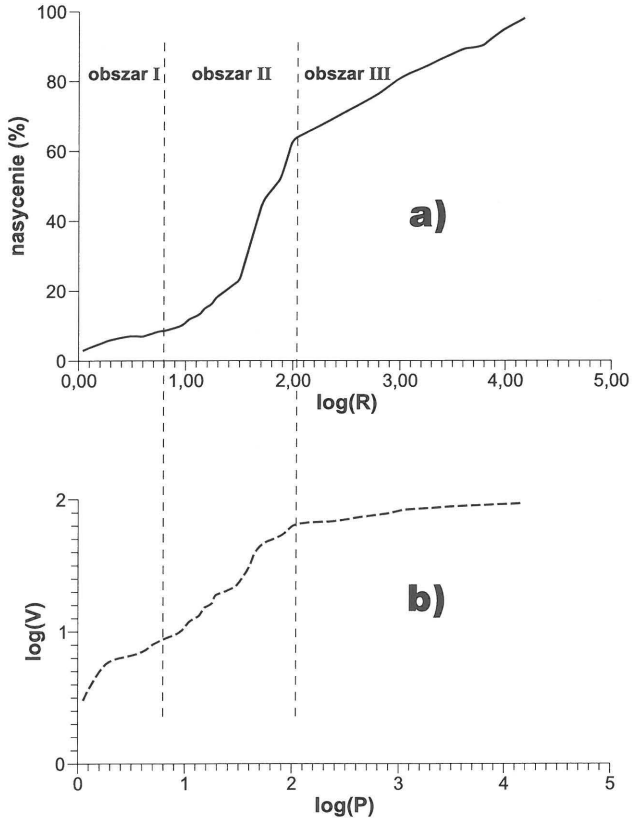
Metodykę badań fraktalnej struktury przestrzeni porowej determinować będą metody analityczne służące badaniom jej wykształcenia. Będą to krzywe rozkładu średnic porów otrzymywane z badań porozymetrycznych oraz badania na płytkach cienkich. Sposobem zaś analizy fraktalnej struktury przestrzeni będzie szukanie jej wymiaru. W ten sposób, jeśli dana przestrzeń porowa rzeczywiście wykazuje strukturę fraktalną, rozkład wielkości jej porów, ich kształty i sposoby łączenia się ze sobą charakteryzowane będą jedną liczbą, mającą swój sens matematyczny i fizyczny.

Porowatość

Idea fraktalnej struktury przestrzeni porowej opiera się na modelu tzw gąbki Mengera (Kudrewicz, 1993; Peitgen i in., 1995; Turcotte, 1997). Generalizując model gąbki Mengera Turcotte, 1997), dla mediów porowatych otrzymamy ogólne formuły dla konstrukcji zbudowanej z kostek podstawowych o gęstości ρ_0 i wymiarze podstawowym kostki r_0. Wyliczając gęstości objętościowe dla kolejnych genera-



Ryc. 2. Pudełkowy wymiar fraktalny linii brzegowej Wielkiej Brytanii i Irlandii(według Petigen i in., 1995)
Fig. 2. Fractal dimension of the coast of Great Britain and Ireland (Petigen at al., 1995)



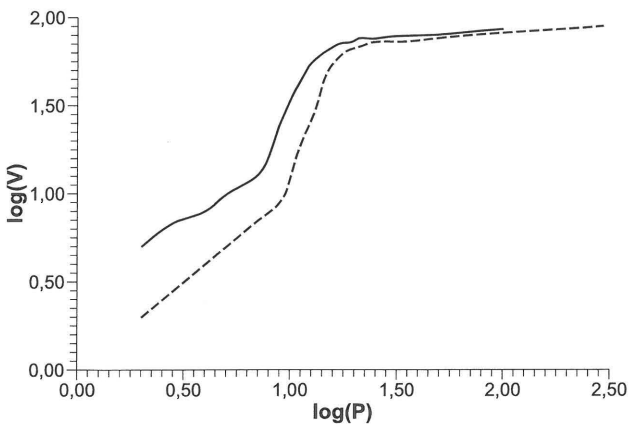
Ryc. 3. Wyznaczanie zakresu krzywej otrzymanej z badań porozymetrycznych, dla którego przestrzeń porowa wykazuje strukturę fraktalną
Fig. 3. a — cumulative curve of pore diameter distribution; b — Log-log-type curve

cji gąbki Mengera o współczynniku redukcji $s = 1/3$, wykorzystując definicję wymiaru samopodobieństwa (tj. wykorzystując zależność $a = 1/(s^D)$ i dzieląc wyniki otrzymywane dla kolejnych generacji stronami otrzymujemy zależność potęgową

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \left(\frac{r_0}{r}\right)^{3-D} \qquad [4]$$

Szukając powiązania tej formuły z wykonywanymi w praktyce analizami można przeprowadzic nastepujące rozumowanie. Dla realnej przestrzeni porowej wykonujemy analizy porozymetryczne. Polegają one na wstrzykiwaniu cieczy niezwilżającej (rtęci) do przestrzeni porowej. Ciśnienie które należy przyłożyć do rtęci aby napełnić pory o określonych promieniach jest odwrotnie proporcjonalne do tych promieni. Rezultatem pomiaru porozymetrycznego jest krzywa: objętość rtęci, która została wstrzyknięta do porów w funkcji przyłożonego ciśnienia kapilarnego

$$V = f(P) = f(1/r) \qquad [5]$$



gdzie:
V — objętość rtęci wstrzykniętej do próbki,
P — ciśnienie kapilarne. Wstrzykując rtęć do gąbki Mengera o objętości V_1 otrzymujemy wzrost masy gąbki proprocjonalny do objętości wstrzykiwanej cieczy i powiązany z promieniem r relacją [5]. Wstawiając te zależności do wzoru [4] otrzymujemy:

$$V \approx P^{(3-D)} \qquad [6]$$

gdzie:
V — objętość przestrzeni porowej zajetej przez rtęć,
P — ciśnienie kapilarne,
D — wymiar fraktalny. Jest to zależność otrzymywana z pomiarów porozymetrycznych. Logarytmując ją otrzymujemy:

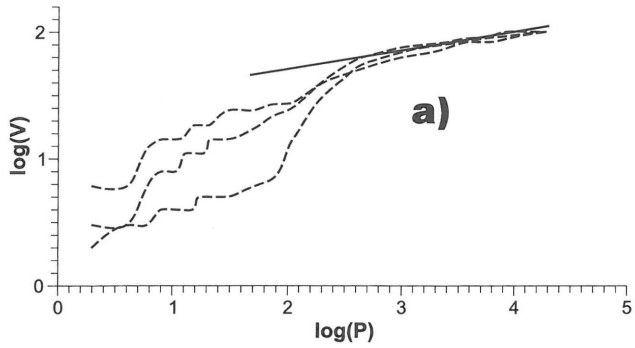
$$log\ (V) \approx (3-D) \qquad [7]$$

Jeśli przestrzeń porowa ma strukturę fraktalną otrzymuje się linię prostą o współczynniku kierunkowym równym $(3–D)$ [1].

Przeprowadzone badania

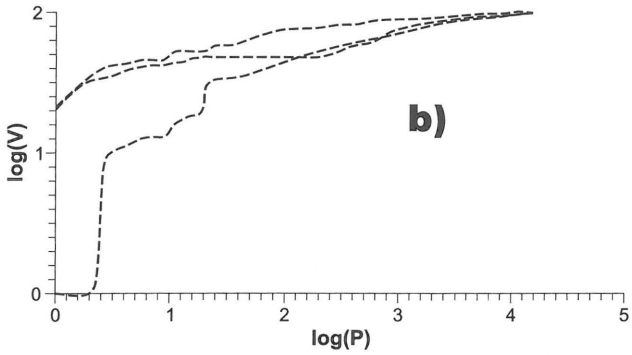
Dotychczasowe rozważania pozwoliły na dobranie narzędzi do badań fraktalnej struktury przestrzeni porowej. Będą to analizy krzywych ciśnień kapilarnych bazujące na modelu gąbki Mengera (a więc wychodzące z definicji samopodobieństwa) oraz badania płytek cienkich bezpośrednio korzystające z definicji fraktalnego wymiaru pudełkowego.

Ryc. 4. Multifraktalna struktura przestrzeni porowej
Fig. 4. Multifractal structure of pore space



Ryc. 5. Porównanie krzywych typu log-log dla skał czerwonego spągowca; a — piaskowce eoliczne, b — piaskowce fluwialne

Fig. 5. a — fractal structure of pore space of eolian Rotliegend sandstones; b — fractal structure of pore space of fluvial Rotliegend sandstones



Z posiadnych krzywych ciśnień kapilarnych wybrano 80 rezprezentujących podstawowe skały zbiornikowe w Polsce (piaskowce karbonu i kambru, utwory czerwonego spągowca ze wszystkich środowisk sedymentacyjnych). Jedynym kryterium wyboru była porowatość wyższa od 8%, dzięki czemu zminimalizowano wpływ efektu brzegowego na przebieg krzywych. Dla wybranych krzywych wykonano wykresy typu $log(V) = f[\log(P)]$. Zbadano w jakich zakresach ciśnień krzywe typu log–log wykonane na podstawie wyników badań porozymetrycznych odwzorowują fraktalną strukturę przestrzeni porowej. Objętość rtęci migrującej do badanych próbek znormalizowano do 100.

Dla 10 próbek o zróżnicowanych rozmiarach ziaren wykonano płytki cienkie barwione i wykonano dla nich zdjęcia mikroskopowe o wymiarach 10 x 15 cm. Dla nich wykonano oznaczenia wymiaru pudełkowego biorąc podstawową sieć o wymiarze 1 x 1 cm i zagęszczając ją następnie do 5 x 5 mm i 2,5 x 2,5 mm. Weryfikowano fraktalność struktury porowej badanych próbek sporządzając wykresy log (liczba pudełek) — log (liczba zliczeń).

Otrzymane wyniki

Badania krzywych ciśnień kapilarnych. Wykorzystuje się w nich walcowy model przestrzeni porowej sparametryzowany wzorem Washbournea (Such, 1996). Model parametryzacji przestrzeni porowej w badaniach ciśnień kapilarnych pozwala na zorientowanie się, w jakim przedziale promieni porów możemy spodziewać się odwzorowania fraktalnej struktury przestrzeni porowej przez krzywą. Na ryc. 3a krzywą kumulacyjną rozkładu średnic porów podzielono na trzy przedziały. Odpowiadający jej wykres typu log-log zamieszczony na ryc. 3b pokazuje granice fraktalnej struktury porów. Pierwszy odszar zaznaczony na krzywej kumulacyjnej odpowiada wolnej migracji rtęci do porów znajdujących się tuż przy powierzchni próbki oraz nielicznych dużych porów dostępnych dla rtęci. Po osiągnięciu ciśnienia progowego nasycenie próbki rtęcią zaczyna gwałtownie rosnąć (Such, 1996a, b). W momencie osiągnięcia ciśnienia progowego rtęć może migrować do kanałów zapewniających ciągły przepływ rtęci przez próbkę. Gdyby przestrzeń porowa składała się wyłącznie z takich kanałów, fraktalna struktura byłaby zachowana i krzywa kumulacyjna wiernie oddawałaby rozkład promieni porów. Tak wykształcone skały są jednak rzadkością, przeważnie makroporowe dobrze wysortowane piaskowce o dużej prowatości i bardzo regularnej budowie przypominającej w rzeczywistości model walcowy. Dla większości skał przestrzeń porowa wykształcona jest w ten sposób, że kanały o średnicach równych i nieco większycvh od średnicy progowej łączą ze sobą większe puste przestrzenie miedzyziarnowe. Do nich wlewa się rtęć dając w rezultacie efekt dużego wzrostu nasycenia próbki rtęcią. Pomiar porozymetryczny nie jest w stanie odtworzyć rozkładu promieni tych przestrzeni. Rezultatem takiego stanu rzeczy jest niemożliwość odtworzenia fraktalnej struktury porów dla tego przedziału ciśnień (średnic). Ten obszar zaznaczono na ryc. 3a jako obszar drugi. Obszar trzeci, obejmujący pory mniejsze od średnicy progowej, to obszar odwzorowania fraktalnej struktury przestrzeni porowej przez krzywą porozymetryczną. Na ryc. 3b jest to prostoliniowa część krzywej typu log-log. W sumie, odtwarzając fraktalną strukturę przestrzeni porowej z krzywych ciśnień kapilarnych określamy granice występowania dużych wolnych przetrzeni w próbkach, a więc jednocześnie weryfikujemy zakres stosowalności krzywych do wyznaczenia struktury porowej próbki (Angul, 1992; Kozak, 1991). Mając te dane oraz wyznaczoną krzywą osuszania (Such, 1996a) dla rtęci można oszacować objętość tych dużych wolnych przetrzeni miedzyziarnowych. Fraktalny wymiar wyznaczony dla mniejszych porów pozwala skorelować go z wynikami badań petrograficznych wykonywanych dla tych samych skał. W obserwowanych przypadkach zachowania struktury fraktalnej w podbliżu średnicy progowej potwierdzamy podobieństwo jej wykształcenia do teoretycznego modelu walcowego oraz dla porów większych od wartości średnicy progowej. Często obserwuje się w takich przypadkach multifraktalną strukturę przestrzeni po-

rowej. Przypadek taki zamieszczono na ryc. 4. Jest to krzywa typu log-log wykonana dla doskonale wysortowanego piaskowca o dużej porowatości. Widać, zachowanie fraktalnej struktury dla całego zakresu badanych ciśnień, chociaż wymiar fraktalny jest inny dla porów dużych, dla zakresu zbliżonego do cisnienia progowego oraz dla porów mniejszych.

Przeprowadzono badania pozwoliły na określenie zakresu stosowalności badań struktury fraktalnej w określaniu wykształcenia przestrzeni porowej. Po pierwsze zaburzenia i odstępstwa od fraktalnej struktury przestrzeni porowej są jedynym dostępnym narzędziem w szacowaniu objętości i miejscach umocowania dużych wolnych komór w przestrzeni porowej. Po drugie wymiary fraktalne są syntetycznym wskaźnikiem charakteryzującym wykształcenie przestrzeni porowej. Jego użyteczność stwierdzono, badając wymiar fraktalny eolicznych piaskowców czerwonego spągowca. Dla statystycznie dobranych próbek otrzymano ten sam wymiar fraktalny (ryc. 5a). Wybrane losowo próbki piaskowców fluwialnych czerwonego spągowca wykazały natomiast duży rozrzut tego parametru (ryc. 5b).

Badania płytek cienkich. Przeprowadzone badania na płytkach cienkich, dla tych samych próbek co badania porozymetryczne potwierdziły fraktalną strukturę przestrzeni porowej, także w zakresie dużych wolnych przestrzeni międzyziarnowych. Dla dwuwymiarowego obrazy mikroskopowego otrzymano wyniki mieszczące się w zakresie 1,65, 1,8. Wydaje się, że badania tego typu będą użyteczne w wydzielaniu klas podobieństwa badanych próbek skalnych (Such, 1996b) i określaniu czynnika kształtu badanych porów. Badania wykonywane na płytkach cienkich obejmują swoim zakresem największe pory, w tym również wolne komory zaburzające pomiar porozymetryczy, a mogące również wykazywać strukturę fraktalną.

Podsumowanie

1. Struktura fraktalna przestrzeni porowej wydaje się być rzeczą bezsporną, potwierdzono ja zarówno badaniami na płytkach cienkich jak i na krzywych ciśnień kapilarnych. Badania tej struktury mogą dać bardzo dobre rezultaty w doborze klas podobieństwa oraz w charakterystyce wykształcenia przestrzeni porowej. Wymiar fraktalny, będący konkretną liczbą i charakteryzujący w sposób syntetyczny tą przestrzeń jest idealnym parametrem do korelacji z wynikami innych badań.

2. Sposób badania przestrzeni porowej narzuca zarówno sposób podejścia do badania struktury tej przestrzeni, jak również determinuje zakres możliwych obserwacji. Każda z metod badawczych ma swoje plusy i minusy. Analiza fraktalnej struktury przestrzeni porowej na podstawie badań krzywych ciśnień kapilarnych jest szybka i wygodna. Niestety sama zasada wykonywania krzywej ciśnień kapilarnych, oparta na parametryzacji przestrzeni porowej modelem walcowej wiązki kapilarnej ogranicza w bardzo dużym stopniu możliwości badania realnej struktury dużych porów. W rezultacie podstawowym rezultatem analizy fraktalności przestrzeni porowej będzie określenie zakresu ciśnień, w którym jest ona zaburzona, a więc możliwość oszacowania objetości dużych komór występujących w badanej realnej przestrzeni porowej. Badania płytek cienkich. dają bezpośrednią możliwość analizy realnej struktury dużych porów, są jednak badaniami czasochłonnymi. W dodatku istnieje problem propagacji otrzymanych wyników z płaszczyzny do przetrzeni trójwymiarowej oraz powiązanie struktury dużych porów z resztą przestrzeni porowej.

3. Wydaje się, że większość badanych skał wykazuje strukturę multifraktalną.

4. Na podstawie dotychczas otrzymanych wyników, wydaje się celowe rozwijanie badań zarówno na płytkach cienkich (badania dużych porów i okreslenia współczynników kształtu) jak i na krzywych rozkładu średnic porów (analiza odstępstw realnej struktury przestrzeni porowej od modelu walcowego).

Literatura

ANGULO R.F., ALVARADO V. & GONZALEZ H. 1992 — Fractal Dimensions from Mercury Intrusion Capillary Tests. Soc. Petrol. Eng., 23695.

BLIEFNICK D.M. & KALDI J.G. 1996 — Pore Geometry: Control on Reservoir Properties, Walker Creek Field. Columbia and Lafayette Counties, Arkansas, AAPG Bull., 80: 1027–1044.

GARRISON J.R., PEARN W.C. & VON ROSENBERG D.U. 1991 — The Fractal Nature of Geological Data Sets: Power Law Processes Everywhere, Soc. Petrol. Eng., 22842.

KOZAK E., STAWIŃSKI J. & WIERZCHOŚ J. 1991 — Reliability of Mercury Intrusion Porosimetry Results for Soils, Soil Science, December, 152: 405–413.

KATZ A.J.& THOMPSON A.H. 1984 — Fractal Sandstone Pores: Implications for Conductivity and Pore Formation, Phys. Rev. Lett., 54: 1325–1328.

KATZ A.J., THOMPSON A.H. & RASCHKE R.A. 1987 — Quantitative Prediction of Permeability in Sandstones. Soc. Petrol. Eng., 16794.

KUDREWICZ J. 1993 — Fraktale i chaos, Wyd. Nauk. Techn.

MANDELBROT B.B. 1977 — The Fractal Geometry of Nature. Freeman and Company, New York.

MORROW N.R. 1976 — Capillary Pressure Correlations for Uniformly. Wetted Porous Media, JPT, October–December: 49–57.

NOVY R.A., DAVIS H.T. & SCRIVEN L.E. — Capillary Pressure, Water Relative Permeability, Electrical Conductivity and Capillary Dispersion Coefficent of Fractal Porous Media at Low Wetting Phase Saturations. Soc. Petrol. Eng. Advanced Technology Deries, 2: 136–141.

PEITGEN H.O., JURGENS H. & SAUPE D. 1995 — Granice chaosu— fraktale. PWN.

ROSS C.M., CALLENDER C.A., TURBEVILLE J.B. & FUNK J.J. 1995 — Modeling of Capillary Pressure Behavior Using Standard Open Hole Wireline Log Data: Demonstrated on Carbonates from the Middle East. Soc.Petrol. Eng., 30543.

SHEN PINGPING, LI KEVIN & JIA FENSHU 1995 — Quantitative Description for the Heterogeneity of Pore Structure by Using Mercury Capillary Pressure Curves. Soc. Petrol. Eng., 29996.

SOKOŁOWSKA Z. 1989 — On the Role of Energetic and Geometric Heterogeneity in Sorption of Water Vapour by Soils: Application of a Fractal Approach, Geoderme, 45: 251–265.

SOKOŁOWSKA Z. & Sokołowski S. 1989 — Water Sorption by Soil: The Role of Energetic and Geometric Heterogeneity, International Agrophysics, 5: 247–259.

SOKOŁOWSKA Z., STAWIŃSKi J., PATRYKIEJEW A. & SOKOŁOWSKI S. 1989 — A Note on Fractal Analysis of Adsorption Process by Soils and Soil Minerals. Internetional Agrophysics: 3–12.

STEWART I. 1994 — Czy Bóg gra w kości, PWN.

SUCH P. 1996a — Model fizyczny przestrzeni filtracji basenu czerwonego spągowca, Pr. IGNiG, 88.

SUCH P. 1996b — Badania parametrów przestrzeni porowej w charakterystyce właściwosci filtracyjnych i uszczelniających skał, VII Międzynarodowa Konf. Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji otworowej i gazownictwie, Cracow 20–21 June: 203–211.

TURCOTTE D.L. 1997 — Fractals and Chaos in Geology and Geophysics, Cambridge University Press.

Geologia inżynierska z geotechniką jako nauka i jako rzemiosło

Witold Cezariusz Kowalski*

Jakieś inżyniersko-geologiczne myślenie rozpoczęło się od pierwszych siedzib ludzkich. Geologia inżynierska wydzieliła się z nauk geologicznych ok. 100 lat temu. Polska Grupa Narodowa IAEG zorganizowała się ok. 30 lat temu. II Sympozjum: „Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce" i opublikowana pod tym samym tytułem książka stały się przyczyną rozmów o obecnej pozycji geologii inżynierskiej w naukach geologicznych i technicznych i w praktyce inwestycyjnej: w projektowaniu, wykonawstwie i eksploatacji różnych obiektów inwestycyjnych (budowlanych i górniczych). Wyniki sympozjum i analizy porównawcze literatury krajowej i zagranicznej pozwalają określić pozycję geologii inżynierskiej wśród nauk geologicznych i technicznych, jej zastosowań i sprawdzania wyników w praktyce i ujawniają, jak te zastosowania mogły być przekształcone w nietwórcze mechanistyczne rzemiosło geotechniczne.

Słowa kluczowe: *geologia inżynierska, geotechnika, badania inżyniersko-geologiczne, badania geotechniczne, rzemiosło geotechniczne*

Witold Cezariusz Kowalski — **Engineering geology with geotechnics as a science and as a craft.** Prz. Geol., 46: 1191–1194.

S u m m a r y. Some engineering-geological thinking has begun from the first prehistoric human habitations. Engineering geology has been separated from geological sciences about 100 years ago. The Polish National Group of IAEG was established about 30 years ago. The II Symposium: Recent Engineering-Geological Problems in Poland and the published book of the same title have been reasons of discussion about the actual position of engineering geology in geological and technical sciences and investment practices: in design, execution and exploitation of different investment objects (building and mining). Results of this Symposium and comparative analyses of domestic and foreign literatures have allowed to estimate the position of engineering geology in geological and technical sciences and its applications and controls of its results in practice and to exhibit how these applications might be transformed into a noncreative, mechanistic, geotechnical craft.

Key words: *engineering geology, geotechnics, engineering-geological studies, geotechnical studies, geotechnical craft*

Rozważania nad pozycją geologii inżynierskiej i geotechniki, w systemach nauk przyrodniczych (z geologicznymi) i technicznych oraz praktyk budowlanych i górniczych, należy rozpocząć od przedstawienia wyników analizy wieloletnich studiów nad lokalizacją ludzkich siedlisk w jeszcze naturalnych, współczesnych ich powstawaniu warunkach środowiska człowieka (Kowalski, 1988, 1994). Analiza ta doprowadziła do wniosku, że ówczesne, pierwotne sposoby myślenia i działania prehistorycznego człowieka, poczynając od najbardziej prymitywnych społeczności ludzkich, już wtedy stanowiły zaczątek racjonalnego myślenia i działań, rozwijających się stopniowo, coraz bliższych współczesnym inżyniersko-geologicznym. Tak więc, nagromadzony przez wiele ludzkich pokoleń ogólny zasób wiedzy znacznie później — po naukowym przeanalizowaniu, uporządkowaniu, sklasyfikowaniu i systematyzacji — doprowadził do kolejnego wydzielenia się z ogólnej wiedzy różnych dyscyplin nauk przyrodniczych, a wśród nich geologicznych. Takie stwierdzenia mogą wydawać się, niektórym współczesnym naukowcom i znakomitym praktykom, nieco dziwne wobec faktu wyłonienia się przed zaledwie stu laty geologii inżynierskiej, jako samodzielnej dyscypliny geologicznej na jej styku z górnictwem i budownictwem. W każdym razie praktyka działalności ludzkiej stale wzbogacała i nadal wzbogaca ogólną obecnie wiedzę, dostarczając kolejnych elementów do formułowania aktualnych teorii naukowych i konstruowania nowych modeli rzeczywistości. Praktyka kontroluje też słuszność dotychczasowych teorii i zgodność skonstruowanych modeli geologicznych z rzeczywistością.

Historia rozwoju poszczególnych dyscyplin nauk przyrodniczych, a wśród nich geologicznych wraz z geologią inżynierską ujawnia, że okresy ich najintensywniejszego rozwoju z reguły pokrywają się z okresami racjonalnej symbiozy tych dyscyplin z praktyką działalności ludzkiej. Praktyka bowiem, nieuwzględniająca najnowszych teorii nauk przyrodniczych, zazwyczaj szybko przeistacza się w proste, tylko mechanistycznie powtarzane rzemiosło, zaspokajające wprawdzie w danym okresie potrzeby społeczności, ale bez jakiegokolwiek postępu, stale na tym samym poziomie jakościowym. Takie rzemiosło niewątpliwie daje jakieś indywidualne profity, ale z reguły nie wzbogaca ono ogólnej wiedzy, nie prowadzi do modyfikowania ani tworzenia nowych teorii naukowych i konstruowania nowych modeli rzeczywistości, ani do zaspokajania stale rosnących, coraz to nowych potrzeb społecznych.

Relacje między teoretyczno-poznawczymi rozważaniami, osiągnięciami i badaniami, uprawianymi w ramach geologii inżynierskiej, z racjonalnym wykorzystaniem jej osiągnięć w praktyce oraz z często ściśle mechanistycznie pojmowanym— najczęściej pozbawionym elementów poznania i nowości, rzemiosłem geotechnicznym — były i są istotnym kryterium, nieraz zupełnie względem siebie odmiennych ocen geologii inżynierskiej.

W różnych grupach naukowców–przyrodników, niektórzy uważają geologię inżynierską za prostą aplikację w praktyce budowlanej i górniczej. W różnych zawodowych grupach techników–specjalistów budowlanych i górniczych, niektórzy uważają wszystkie opracowania inżyniersko-geologiczne jako zbyt przemądrzałe, nakierunkowane na rozwiązanie teoretycznych problemów nauk geologicznych, nie mające związków z bezpośrednimi, aktualnymi potrzebami praktyki budowlanej i górniczej.

Odpowiedź na pytania: na ile geologia inżynierska wraz z geotechniką jest dyscypliną geologiczną, której rzeczywiste osiągnięcia teoretyczno-poznawcze mogą być również zastosowane w praktyce, uprawianej w kraju działalności ludzkiej: budowlanej i górniczej; a na ile stają się tylko

*Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

Tab.1. Grupy tematyczne II Ogólnopolskiego Seminarium nt.*Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce*

Grupa tematyczna	Liczba artykułów (Na)	Liczba autorów (N)
I. Referaty programowe	3	8
II. Metody badań i oceny warunków geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych	14	25
III. Metody badań laboratoryjnych i uogólniona geologiczno-inżynierska charakterystyka gruntów o specyficznych właściwościach	10	14
IV. Geologia inżynierska, geotechnika i hydrogeologia a ochrona środowiska	8	11
V. Egzogeniczne procesy geologiczne i geologiczno-inżynierskie i ich prognoza	12	15
Inne problemy	5	6
Razem	**52**	**79**

prostym, mechanistycznie powtarzanym rzemiosłem geotechnicznym wymaga w pierwszej kolejności rzetelnego poznania i obiektywnej oceny jej stanu w Polsce.

Bezpośrednim impulsem do sformułowania odpowiedzi na tak stawiane w ostatnich latach pytania po już prawie półwieczu istnienia warszawskiej szkoły geologii inżynierskiej, po ok. 30-letnim okresie działalności Polskiej Grupy Narodowej Międzynarodowej Asocjacji Geologii Inżynierskiej — IAEG oraz po upływie ok. ćwierćwiecza od I Krajowego Sympozjum Geologii Inżynierskiej w Warszawie, stały się pięknie opublikowane *Materiały II Ogólnopolskiego Sympozjum w Kiekrzu k/Poznania 28–30 maja 1998 r.* Sprawnym organizatorem tego sympozjum był Instytut Geologii Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu, przy współpracy Polskiej Grupy Narodowej IAEG — a personalnie sześcioosobowy Komitet Organizacyjny pod przewodnictwem znakomitego uczonego, prof. dr hab. Jerzego Liszkowskiego, wysoce cenionego w kraju i zagranicą geologa inżynierskiego, współtwórcy i przedstawiciela warszawskiej szkoły geologii inżynierskiej, aktualnego przewodniczącego Polskiej Grupy Narodowej IAEG, obecnie profesora Uniwersytetu Poznańskiego.

W wydanej pod redakcją Liszewskiego książce pt. *Współczesne problemy geologii inżynierskiej* zostały opublikowane — opracowane przez 79 autorów — (Na) 52 artykuły — referaty — (N), zgrupowane w sześciu grupach tematycznych (I–VI) — tab. 1.

Bardzo ogólnie określoną w tytule prezentowanej książki problematykę II Ogólnopolskiego Sympozjum Geologii Inżynierskiej uściślają tytuły grup tematycznych podane w tab. 1. Tematyka grupy II wynika z działu geologii inżynierskiej — kartowanie inżyniersko-geologiczne, grupy III z gruntoznawstwa oraz częściowo z mechaniki gruntów i skał, grupy IV z regionalnej geologii inżynierskiej i ekogeologii, oraz grupy V z geodynamiki inżynierskiej.

Jako kryteria jakości artykułów opublikowanych w recenzowanej książce przyjęto zawarte w nich nowości, oryginalne osiągnięcia naukowe i interesujące ujęcia prezentowanych treści, na tle systematycznie prowadzonej analizy porównawczej stale wzbogacanej literatury o tematyce inżynierskogeologicznej wraz z geotechniczną. W tym aspekcie artykuły te można ocenić jako odpowiadające co najmniej średniemu poziomowi publikacji i materiałów z najważniejszych międzynarodowych sympozjów i kongresów, poświęconych geologii inżynierskiej, górnictwu, mechanice skał i gruntów, fundamentowaniu i geotechnice.

Na ogół można zauważyć niekiedy w polskiej literaturze pewne opóźnienia w odniesieniu do stosowania niektórych najnowszych, kosztownych metod badania. Referaty II Ogólnopolskiego Sympozjum Geologii Inżynierskiej nie wydają się opóźnione nawet w tym zakresie, a redakcyjne opracowanie całości i forma wydania może stanowić wzorzec dla następnych naukowych sympozjów i konferencji. Podana w tab. 1 liczba autorów — 79 większa od liczby artykułów — 52 o ok. 50% wskazuje na wyraźną wolę ich autorów przyśpieszenia badań i publikowania wyników ich prac przez współdziałanie i współautorstwo specjalistów różnych dyscyplin i specjalności.

O ile dane tab. 1 pozwalają na ogólną ocenę potencjału twórczego w skali całego kraju, to dane z tab. 2 ułatwiają ocenę stanu geologii inżynierskiej w różnych zlokalizowanych w większych miastach–ośrodkach badań inżynierskogeologicznych. Według danych, przedstawionych w tab. 2, przyjmując liczby i jakość opublikowanych artykułów w recenzowanej książce jako kryterium możliwości twórczych tych ośrodków w zakresie geologii inżynierskiej wraz z geotechniką, można by wyróżnić następujące kategorie centrów badawczych w poszczególnych miastach polski:

— przodujące — powyżej 10 artykułów: Warszawa;

— wiodące — od 5 do 9 artykułów: Poznań i Kraków;

— bardzo prężne — od 2 do 4 artykułów: Bydgoszcz, Koszalin, Szczecin i Wrocław;

— prężne (na miarę lokalnych możliwości): Gdańsk, Lublin, Łódź, Olsztyn, Opole, Zielona Góra

Zgodnie z przyjętą klasyfikacją, do prężnych centrów należałoby zaliczyć leżący poza granicami Polski Lwów.

W uzupełnieniu danych w tab. 2 należy wymienić instytucje działające w zakresie geologii inżynierskiej wraz z geotechniką i zatrudnionych w nich autorów opublikowanych w recenzowanej książce artykułów.

I tak wyliczając instytucje w kolejności liczb opublikowanych artykułów i autorów, w porządku alfabetycznym:

W Warszawie:

Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego z zakładami: Geologii Inżynierskiej, Gruntoznawstwa, Geomechaniki, Mechaniki Ośrodków Ciągłych i Geofizyki — M. Barański, A. Dziedzic, E. Falkowska, I. Gawriuczenkow, B. Grabowska-Olszewska, R. Kaczyński, W.C. Kowalski, T. Krynicki, M. Krzynówek, K. Laskowski, R. Mieszkowski, E. Myślińska, J. Pinińska, P. Zysk;

Państwowy Instytut Geologiczny — J. Bażyński, Z. Frankowski;

Katedra Technologii i Organizacji Prac Wodnych i Melioracyjnych Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego — T. Falkowski, H. Złotoszewska-Niedziałek;

Katedra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego — A. Drągowski;

Instytut Techniki Budowlanej — L. Wysokiński
Instytut Budowy Dróg i Mostów — B. Kłosiński i S. Wierzbicki;
Departament Geologii i Koncesji Geologicznych Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa — Z. Ćwiertniewska
W Poznaniu:
Instytut Geologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza — J. Górski, E. Liszkowska. J. Liszkowski, A. Pawuła, R. Radaszewski;
Instytut Inżynierii Lądowej z Zakładem Geotechniki i Geologii Inżynierskiej Politechniki Poznańskiej — Z. Biedrowski, J. Jeż, J. Rzeźniczak, M. Troć, W. Tschuschk, J. Wierzbicki, A.T. Wojtasik;
W Krakowie:
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej z Katedrą Geologii Inżynierskiej i Geotechniki Środowiska — J. Antoniuk, R. Kaczmarczyk, J.W Mościcki, S. Rybicki, H. Woźniak;
Centrum Podstawowych Problemów Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk - J. Dziewański, D. Grodecki.
W Bydgoszczy:
Zakład Geotechniki Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiskowej Akademii Techniczno-Rolniczej — M.K. Kumor, W. Dłużewski, K. Szpakowski;
W Koszalinie:
Katedra Geotechniki Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiskowej Politechniki Koszalińskiej: J. Hauryłkiewicz, M. Żurek-Pysz.
W Szczecinie:
Przedsiębiorstwo Geologiczne Geoprojekt Szczecin — M. Tarnowski;
Katedra Geotechniki Politechniki Szczecińskiej — R. Racinowski, R. Coufal.
We Wrocławiu:
Instytut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego — A. Szynkiewicz;
CBPM Cuprum i KGHM Polska Miedź — A. Markiewicz;
Przedsiębiorstwo Geologiczne Proxima — P. Faleński;
W Gdańsku:
Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Gdańskiej — W. Subotowicz;
W Lublinie:
Katedra Inżynierii Ekologicznej Politechniki Lubelskiej — I. Wiatr, H. Marczak;
W Łodzi:
Katedra Geotechniki i Budowli Inżynierskich Politechniki Łódzkiej — M. Jaromińska;
W Opolu:
Katedra Nauk o Ziemi Wydziału Budownictwa Politechniki Opolskiej — Jan Jaremski;
W Zielonej Górze:
Zakład Ochrony Środowiska Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Zielonogórskiej M. Kołodziejczyk.
A także we Lwowie (na Ukrainie):
Państwowy Uniwersytet Lwowski im. Franko — A. Boguckij, P. Wołoszyn, R. Wołoszyn.

Z tab. 2 wynika, że miastami przodującymi i wiodącymi, jako centra badań inżyniersko-geologicznych wraz z geotechnicznymi są duże miasta uniwersyteckie. Taką pozycję tych miast potwierdzają systematycznie prowadzone analizy publikacji z zakresu geologii inżynierskiej wraz z geotechniką. W świetle tych analiz wynikający z tab. 2 ranking miast z bardzo prężnymi i prężnymi centrami badań inżyniersko-geologicznych wraz z geotechnicznymi mógłby wypaść nieco inaczej, gdyby terminarze zakańczania własnych badań inżyniersko-geologicznych wraz z geotechnicznymi i przygotowania publikacji na te tematy zgadzały się z terminarzami tego i innych tego rodzaju sympozjów i konferencji. Wśród bardzo prężnych i prężnych centrów badań inżyniersko-geologicznych wraz z geotechnicznymi w Polsce znaleźć się powinny niewymienione w tab. 2: Katowice z Sosnowcem, Białystok i Rzeszów.

Tab. 2. Inżyniersko-geologiczne centra badawcze w poszczególnych miastach i liczby pochodzących z nich artykułów — N według grup tematycznych oraz procentowy udział artykułów w odniesieniu do łącznej liczby artykułów — 52

Miasto	Grupy tematyczne												Razem		
	I		II		III		IV		V		VI				
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	
Warszawa	3	6	2	4	5	9	3	6	3	6	3	6	19	37	przodujące
Poznań	–	–	4	8	1	2	1	2	3	6	–	–	9	17	
Kraków	–	–	2	4	–	–	2	4	2	4	–	–	6	10	wiodące
Bydgoszcz	–	–	2	4	2	4	–	–	–	–	–	–	3	6	
Koszalin	–	–	–	–	1	2					2	4	3	6	bardzo prężne
Szczecin	–	–	1	2	–	–	–	–	1	2	–	–	2	4	
Wrocław	–	–	2	4	–	–	–	–	–	–	–	–	2	4	
Gdańsk	–	–	–	–	–	–	–	–	1	2	–	–	1	2	
Lublin	–	–	–	–	–	–	–	–	1	2			1	2	
Łódź	–	–	–	–	–	–	1	2	–	–	–	–	1	2	prężne
Olsztyn	–	–	–	–	1	2	–	–	–	–	–	–	1	2	
Opole	–	–	–	–	–	–	1	2	–	–	–	–	1	2	
Zielona Góra	–	–	–	–	–	–	–	–	1	2	–	–	1	2	
Lwów (Ukraina)	–	–	2	4	–	–	–	–	–	–	–	–	1	2	bardzo prężne
Razem	3	6	14	28	10	20	8	16	12	24	5	16	52	100	

Każdy aktywny uczestnik II Ogólnopolskiego Sympozjum: *Współczesne Problemy Geologii Inżynierskiej* z łatwością zauważył tak, jak i później zauważa każdy wnikliwy czytelnik prezentowanej książki, że wygłoszone na sympozjum referaty i opublikowane w tej książce artykuły ułożyć można w jeden łańcuch.

Pierwszym ogniwem tego łańcuch są teoretyczno-poznawcze rozważania o wynikach badań budowy i dynamiki badanych fragmentów skorupy ziemskiej w warunkach pierwotnie naturalnych i później w już zmienionych, w wyniku różnorodnej działalności człowieka — w warunkach inżynierskogeologicznych — co stanowi jeden z istotnych, podstawowych elementów geologii inżynierskiej, jako jednej z dyscyplin nauk geologicznych, a nawet nauk przyrodniczych. Pośrednimi ogniwami tego łańcucha są artykuły o wdrożeniach teoretyczno-poznawczych osiągnięć geologii inżynierskiej w praktyce działalności ludzkiej oraz o kontroli przez tę praktykę zgodności tych osiągnięć z rzeczywistością. Z drugiej strony tego łańcucha — jego przeciwległym ogniwem — są artykuły o ściśle praktycznych, najszybszych i najtańszych poszukiwaniach sposobów rozwiązywania geotechnicznych zagadnień racjonalnej lokalizacji i właściwego rodzaju posadowienia, wykonawstwa i eksploatacji poszczególnych obiektów inwestycyjnych i ich współdziałania z bezpośrednim ich podłożem i najbliższym ich otoczeniem.

W przypadku projektowania, wykonawstwa i eksploatacji niewielkich, prostych konstrukcji inżynierskich w terenach stabilnych, w nieskomplikowanych warunkach inżynierskogeologicznych bezpośredniego podłoża i najbliższego otoczenia tych konstrukcji na wielu obszarach wobec dużego ilościowego zapotrzebowania na opinie i ekspertyzy geotechniczne, badania geotechniczne mogły się przekształcać i stopniowo przekształcały się w zwykłe, dające profity proste rzemiosło geotechniczne. Rzemiosło to w swojej istocie jest oparte o znajomość przepisów, norm, instrukcji budowlanych i górniczych, bez niezbędnej wiedzy inżynierskogeologicznej, a nawet bez lub przy bardzo ograniczonej znajomości elementarnej geologii ogólnej. Podobnie jak w Polsce rzemiosło geotechniczne rozwinęło się w wielu innych krajach, bo to i taniej i szybciej (Wysokiński, 1998, s. 23).

Historia opublikowanych katastrof, awarii budowlanych i górniczych oraz protokoły sądów, a także sprawozdania powołanych rzeczoznawców i specjalistycznych komisji ujawniają, że projektanci i wykonawcy uszkodzonych czy zniszczonych obiektów, mimo że uprzednio wypowiadali się, że warunki inżynierskogeologiczne danego terenu były proste, nie wymagające badań inżynierskogeologicznych, to po katastrofie lub awarii były określaneone przez te same osoby jako główna przyczyna niepowodzenia. Jednak często późniejsze badania inżynierskogeologiczne nie potwierdzały tego twierdzenia, gdyż okazywało się, że często głównymi przyczynami katastrof i awarii budowlanych były błędy w projektach technicznych, wykonawstwie i niewłaściwej eksploatacji obiektów inwestycyjnych. W późniejszych kontrolnych badaniach inżynierskogeologicznych, prowadzonych po katastrofie lub awarii wbrew poprzednim nieuzasadnionym założeniom okazywało się również, że grunty głębszego podłoża i dalszego otoczenia różnych konstrukcji budowlanych i górniczych nie były ani jednorodne i izotropowe, ani nośne i stabilne, co wskazywało na większą złożoność warunków inżynierskogeologicznych, niż to pierwotnie przyjmowano.

Tak więc brak właściwego rozpoznania budowy geologicznej, dynamiki i warunków inżynierskogeologicznych danego terenu w niezbędnej skali, już w fazie planowania lokalizacji obiektów inwestycyjnych budowlanych lub górniczych, a tym bardziej w stadium ich projektowania, jest niejednokrotnie bezpośrednią główną przyczyną komplikacji i wzrostów kosztów wykonawstwa, a później eksploatacji tych obiektów, a nawet ich awarii i katastrof, powodujących nie tylko znaczne straty materialne, ale nawet okaleczenia i śmierć ludzi. Aby tych strat uniknąć lub je maksymalnie zminimalizować, niezbędne są odpowiednie regulacje, zarówno w prawach, ustawach, normach i instrukcjach krajowych, jak też eurokodach, które w najbliższej przyszłości zapewne staną się w kraju obowiązujące, a które — jak się wydaje — w mniejszym stopniu zabezpieczają interes społeczny, niż przepisy krajowe.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że wbrew poglądom niektórych geologów, oderwanych od życia i potrzeb społeczeństwa, geologia inżynierska (wraz z jej działami: gruntoznawstwem, mechaniką skał i gruntów, geodynamiką inżynierską, regionalną geologią inżynierską i geotechniką) nie jest prostym, geotechnicznym rzemiosłem uprawianym tylko w budownictwie i górnictwie. Wbrew opiniom niektórych inżynierów budownictwa i górnictwa, nieznających nauk geologicznych, nie stanowi ona tylko eklektycznego zbioru ogólnikowych danych geologicznych, nieprzydatnych w lokalizowaniu, projektowaniu i eksploatacji obiektów inwestycyjnych budowlanych i górniczych. Każdy aktywny uczestnik II Ogólnopolskiego Sympozjum nt. *Współczesne problemy geologii inżynierskiej* i wnikliwy czytelnik opublikowanego zbioru artykułów w książce pod tym samym tytułem, na tle analizy porównawczej treści współczesnej literatury inżynierskogeologicznej i geotechnicznej, krajowej i zagranicznej, może z łatwością ocenić jaka jest rzeczywista pozycja geologii inżynierskiej i geotechniki w systemie nauk geologicznych i w systemie techniki oraz jak dochodzi do powstania mechanistycznie uprawianego, prostego rzemiosła geotechnicznego w zwykłych przypadkach często potrzebnego, chociaż niejednokrotnie, jak się okazuje w przypadkach późniejszych awarii i katastrof nawet prostych konstrukcji w pozornie nieskomplikowanych warunkach, społecznie szkodliwego.

Literatura

KOWALSKI W.C. 1988 — Geologia inżynierska. Wyd. Geol. Warszawa.
KOWALSKI W.C. 1994 — Origin and development of engineering-geological thinking. Proc. 7th Inter. Cong. IAEG 4857–4862.
LISZKOWSKI J. (red.) 1998 — Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce. Wyd. Wind-J. Wojewoda, Wrocław.
WYSOKIŃSKI L. 1998— Problemy harmonizacji polskich norm gruntowych z systemem europejskim. [W:] Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce. Wyd. Wind-J. Wojewoda, Wrocław.