

## ZASTOSOWANIE INDEKSÓW SIŁY W ANALIZIE STRUKTURY WŁASNOŚCIOWEJ SEKTORA BADAWCZO-ROZWOJOWEGO

Emilia Tomczyk  <https://orcid.org/0000-0002-4565-0352>

Kolegium Analiz Ekonomicznych  
Szkola Główna Handlowa w Warszawie  
e-mail: Emilia.Tomczyk@sgh.waw.pl

**Streszczenie:** Celem artykułu jest zbadanie nacisku, jaki mogą wywierać właściciele jednostek sektora badawczo-rozwojowego na zatrudnionych w nich naukowców. Na podstawie indeksów siły Shapleya-Shubika i Banzhafa stwierdzono, że sektor badawczo-rozwojowy w Polsce obejmuje w większości ośrodki, w których dominującą rolę odgrywa pojedynczy silny właściciel. Może on potencjalnie nadzorować i ingerować w prace zatrudnionych w nich naukowców, choć na pytanie, czy presja taka rzeczywiście jest w praktyce stosowana, indeksy siły nie dają odpowiedzi.

**Słowa kluczowe:** sektor badawczo-rozwojowy, koncentracja własności, teoria gier, indeksy siły

**JEL classification:** C71, I23, L25

### WSTĘP

W Polsce do sektora B+R zalicza się Polską Akademię Nauk, jednostki badawczo-rozwojowe, szkoły wyższe prowadzące działalność w zakresie B+R, jednostki obsługi nauki oraz jednostki rozwojowe, czyli przedsiębiorstwa posiadające własne zaplecze badawcze [Leśniewski 2010]. Według raportu GUS [2018], w roku 2017 nakłady na sektor badawczo-rozwojowy wynosiły 1,03% PKB i wprawdzie odsetek ten powoli rośnie, ale wciąż stanowi jedynie połowę średnich nakładów na ten cel w Unii Europejskiej. Zatrudnieni w tym sektorze naukowcy występują w rolach kierowników projektów badawczych, promotorów rozpraw naukowych, inicjatorów badań podstawowych i wdrożeniowych, mentorów, recenzentów i organizatorów życia naukowego na uczelniach, w instytucjach naukowo-badawczych i firmach sektora badawczo-rozwojowego. W obszarze działalności badawczej i rozwojowej w 2017 r. pracowało w Polsce

<https://doi.org/10.22630/MIBE.2018.19.3.28>

ponad 239 tys. osób, z których ok. 79% stanowili pracownicy naukowo-badawczy. Nie są oni jednak niezależni: z wyjątkiem instytucji *stricte* naukowych cieszących się znaczną autonomią, jak Polska Akademia Nauk czy uczelnie wyższe, podlegają ograniczeniom w działalności badawczej i naukowej ze strony właścicieli jednostek, w których są zatrudnieni. Co więcej, mobilność pracowników sektora badawczo-rozwojowego, podobnie jak zatrudnionych Polaków w ogóle, jest niewielka, co sprawia, że decyzja o zmianie miejsca pracy wskutek, na przykład, nacisków przełożonych, często nie jest realistycznym rozwiązaniem.

Jak zatem przedstawia się siła nadzoru właścicieli jednostek sektora B+R nad zatrudnionymi w nich naukowcami? Można przypuszczać, że instytucje z właścicielem większościowym są w stanie wywierać największy nacisk, a im bardziej rozproszona własność, tym mniejsza siła wpływu ze strony właścicieli na zatrudnionych naukowców. Specyficzny wydaje się przypadek dwóch równorzędnych właścicieli, który generuje możliwość „impasu”: żaden ze współwłaścicieli nie ma bezwzględnej przewagi i nie może jej uzyskać bez porozumienia się z drugim współwłaścicielem.

W artykule analizuję strukturę własnościową jednostek polskiego sektora B+R i formułuję wnioski na temat jego odporności na naciski właścicieli za pomocą indeksów siły zaproponowanych w teorii gier.

## INDEKSY SIŁY<sup>1</sup>

Przyjmijmy, że w ciele ustawodawczym jest  $n$  ugrupowań ( $i = 1, \dots, n$ ), a  $i$ -te ugrupowanie, nazywane dalej graczem, ma  $l_i$  przedstawicieli. Niech  $d$  oznacza liczbę członków ciała ustawodawczego taką, że jeśli wniosek popiera co najmniej  $d$  osób („większość”), to wniosek zostaje przegłosowany. Układ  $(d; l_1, \dots, l_n)$  nazwijmy ważoną grą większości, zaś liczbę  $l_i$  – wagą  $i$ -tego gracza. Podzbiór  $K$  zbioru wszystkich ugrupowań  $N$  nazwijmy koalicją; koalicja jest większością, jeśli dysponuje większością głosów, czyli obejmuje co najmniej  $d$  graczy. Zdefiniujmy dodatkowo funkcję charakterystyczną gry  $v$ , określającą wypłatę koalicji graczy. Wypłatę koalicji  $K$  oznaczmy przez  $v(K)$ ; jest ona równa 1, jeśli koalicja jest większością, i 0 w przeciwnym przypadku.

Możemy teraz zdefiniować indeks siły jako funkcję, która każdej ważonej grze większości przyporządkowuje podział wypłaty między graczy, spełniający dodatkowo pewne szczególne własności. W teorii gier zaproponowano kilka indeksów siły spełniających różne zbiory aksjomatów i odzwierciedlające różne układy siły. Na potrzeby analizy siły współwłaścicieli jednostek sektora badawczo-rozwojowego w Polsce zastosuję dwa podstawowe indeksy: Shapleya-Shubika

<sup>1</sup> Opis indeksów siły opracowany na podstawie: Sosnowska H. (1999) Indeksy siły, [w:] Sosnowska H. (red.) Grupowe podejmowanie decyzji. Elementy teorii, przykłady zastosowań. Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa.

[Shapley 1953; Shapley-Shubik 1954] oraz znormalizowany Banzhafa [Banzhaf 1965; Coleman 1971].

Dla  $n$ -osobowej ważonej gry większości o funkcji charakterystycznej  $v$  indeks Shapleya-Shubika dany jest wzorem

$$Sh_i(v) = \sum_{K \subseteq N} \left[ \frac{k!(n-k-1)!}{n!} \right] \cdot [v(K \cup \{i\}) - v(K)] \quad (1)$$

gdzie  $k$  jest liczbą elementów koalicji  $K$ ,  $i = 1, \dots, n$ . Indeks Shapleya-Shubika opisuje prawdopodobieństwo, że  $i$ -ty gracz jest „języczkiem u wagi” (jest graczem krytycznym) koalicji; bez niego straciłaby ona większość, przy założeniu, że wszystkie permutacje są równie prawdopodobne.

Przez  $c_i$  oznaczmy liczbę koalicji, w których  $i$ -ty gracz jest krytyczny; znormalizowany indeks Banzhafa „mierzy udział koalicji, w których  $i$ -ty gracz jest krytyczny, w zbiorze wszystkich koalicji, w których jakikolwiek gracz jest krytyczny, przy czym każda koalicja jest liczona tyle razy, ilu ma graczy krytycznych” [Sosnowska 1999, s. 108]:

$$Bz_i = \frac{c_i}{(c_1 + \dots + c_n)} \quad (2)$$

Podstawowa różnica między indeksami Shapleya-Shubika i Banzhafa polega na kolejności włączania graczy do koalicji. Konstrukcja indeksu Shapleya-Shubika zakłada, że gracze włączają się do koalicji pojedynczo i w ustalonym porządku; siła gracza lub koalicji graczy mierzona jest odsetkiem uporządkowań (*voting sequences*), w których dany gracz lub koalicja jest krytyczna, we wszystkich uporządkowaniach. Indeks Banzhafa natomiast opisuje sytuację, w której koalicje tworzą się jednorazowo, a kolejność przystępowania do nich nie ma znaczenia.

Trudno z góry ustalić, który z dwóch tradycyjnych indeksów siły jest odpowiedni w przypadku jednostek sektora B+R, zatem zastosowane zostaną oba. Nie należy się jednak spodziewać znacząco rozbieżnych wyników, gdyż oba indeksy mają podobne własności. Między innymi: dyktator (gracz, od którego głosu zależy wynik każdego głosowania, na przykład większościowy udziałowiec) ma w nich siłę równą 1, a każdy gracz nie będący dyktatorem – siłę mniejszą od 1. Co więcej, w obu indeksach siła gracza jest proporcjonalna do liczby przypadków, w których jest on graczem krytycznym.

Indeksy siły Shapleya-Shubika i Banzhafa zostały zdefiniowane w teorii gier bardzo ogólnie, dla koalicji graczy; na potrzeby analizy struktury własnościowej polskiego sektora B+R należy sprecyzować terminologię. Pojedyncza jednostka sektora B+R (uczelnia wyższa, instytut badawczy, agencja rządowa czy przedsiębiorstwo) stanowi ciało ustawodawcze, a graczami są współwłaściciele tej jednostki, dysponujący określonymi odsetkami własności. Przez „większość” rozumiemy większość absolutną, czyli ponad 50% „głosów” (w tym przypadku, udziałów we własności jednostki sektora B+R).

Warto podkreślić, że równa siła poszczególnych właścicieli nie oznacza, że mają oni równe odsetki własności. „Indeks (Shapleya-Shubika) nie zależy bowiem od liczności ugrupowania, ale od jego niezbędności do tworzenia koalicji większościowych” [Sosnowska 1999, s. 106]. Na przykład, trzech partnerów o procentowych udziałach 48%, 48% i 4% ma równą siłę; ale równą siłę ma też trzech z czterech partnerów w układzie 34%, 34%, 28% i 4% (ostatni ma siłę zerową). Stąd wynika przewaga indeksów siły nad odsetkami własności w pomiarze faktycznej siły współwłaścicieli.

## DANE

Dane empiryczne zostały zaczerpnięte z bazy Amadeus [<https://amadeus.bvdinfo.com>], w której zarejestrowanych jest 1631 aktywnie działających jednostek przypisanych do kategorii NACE M72 (prace naukowo-badawcze w dziedzinie nauk przyrodniczych, inżynieryjnych, społecznych i humanistycznych). Jednak nie wszystkie można poddać szczegółowej analizie ze względu na strukturę własności, gdyż status własnościowy blisko połowy z nich (761) nie jest znany. Spośród 870 jednostek sektora B+R, których status własnościowy jest opisany w bazie danych, zdecydowana większość (679) ma bezpośredniego lub pośredniego właściciela większościowego, czyli jeden z udziałowców posiada ponad 50% własności, a jego siła mierzona indeksami Shapleya-Shubika i Banzhafa jest równa 1.

Największą grupę większościowych właścicieli jednostek sektora B+R stanowią osoby fizyczne. Drugą pod względem liczebności grupę stanowią ministerstwa i agencje rządowe; trzecią – polskie i zagraniczne przedsiębiorstwa przemysłowe. Wśród właścicieli większościowych zdecydowanie zatem dominują podmioty niewielkie (osoby fizyczne, przedsiębiorstwa – łącznie 554 jednostek), a instytucje państwowe stanowią grupę znacznie mniej liczną (125 jednostek), choć na pewno nie mniej znaczącą dla sektora B+R, biorąc pod uwagę wielkość zatrudnienia, możliwości finansowania badań czy nawiązywania współpracy z zagranicą.

Pozostałe 191 jednostek sektora B+R ani bezpośrednio, ani pośrednio nie pozostaje pod kontrolą jednego właściciela. Konieczne jest jednak odrzucenie kolejnych 28 firm z powodu niekompletnych danych (w tym braku odsetków własności dla niektórych właścicieli lub odsetków sumujących się do wartości niższej niż 1 i braku informacji, ilu właścicieli brakuje w zestawieniu) lub błędów danych (odsetków własności sumujących się do wartości większej niż 1). W rezultacie wyznaczenie indeksów siły Shapleya-Shubika i Banzhafa jest możliwe dla 163 jednostek sektora B+R.

## WYNIKI ANALIZY EMPIRYCZNEJ

Do wyznaczenia wartości indeksów siły zastosowany został program udostępniony przez Tomomi Matsui z Tokyo Institute of Technology [Matsui, Matsui 2000]. Zgodnie z oczekiwaniami, nie wystąpiły żadne jakościowe różnice między wynikami uzyskanymi za pomocą indeksu Shapleya-Shubika i znormalizowanego indeksu Banzhaffa. Poniższe wnioski oparte są na indeksie Shapleya-Shubika.

- 679 jednostek sektora B+R ma większościowego właściciela, a więc indeks siły właściciela równy 1.
- 51 jednostek ma dwóch współwłaścicieli o równych wartościach indeksów siły (0,5 – 0,5).
- 53 jednostek ma trzech współwłaścicieli o równych wartościach indeksów siły (0,33 – 0,33 – 0,33).
- 59 jednostek ma czterech lub więcej współwłaścicieli; w tej grupie znajdują się zarówno jednostki o równych, jak i o zróżnicowanych wartościach indeksów siły.

Reasumując, siła właścicieli jednostek sektora B+R wydaje się być znaczna. W wyraźnej większości przypadków (679) indeks siły przybiera maksymalną wartość 1; zaledwie 59 jednostek ma na tyle rozproszoną strukturę własności, że siła pojedynczych współwłaścicieli jest niewielka, a wynikająca z niej możliwość wywierania nacisków na zatrudnionych w nich naukowców – ograniczona. Niewiele (51) jest też jednostek, w których siły dwóch współwłaścicieli są dokładnie wyrównane.

Należy jednak przypomnieć, że poza zakresem analizy pozostaje:

- 761 jednostek, których status własnościowy jest nieznanym,
- 28 jednostek, które nie mają inwestora większościowego, ale dane na ich temat są niekompletne lub błędne.

W celu uogólnienia wniosków analizy empirycznej na te jednostki podjęto próbę analizy porównawczej, biorąc pod uwagę wyniki finansowe (mierzone przychodami z działalności) i wielkość pominiętych jednostek (mierzoną liczbą zatrudnionych i wielkością aktywów). Niestety analizę taką utrudniają liczne braki danych: w przypadku przychodów i aktywów, w jednostkach o nieznanym statusie własnościowym brakuje 83-85% obserwacji. Jednak pod względem przychodów i aktywów firmy o nieznanym statusie własnościowym są bardziej podobne do firm z właścicielem większościowym niż do pozostałych jednostek sektora B+R. Jedynie pod względem wielkości zatrudnienia są bardziej podobne do jednostek bez właściciela większościowego; tu jednak porównanie utrudnia wysoki odsetek braków danych wśród firm o znanym statusie własnościowym (49-54%). Reasumując, wydaje się, że jednostki, których status własnościowy nie jest znany, są bardziej podobne do jednostek z właścicielem większościowym, a zatem można

ostrożnie uznać, że wyznaczenie dla nich indeksów siły doprowadziłoby do uzyskania wartości 1 dla dominującego właściciela – z zastrzeżeniem, że jest to wniosek wstępny, oparty na szacunkowej analizie porównawczej utrudnionej przez liczne braki danych.

## PODSUMOWANIE

Celem artykułu była analiza struktury własnościowej jednostek polskiego sektora badawczo-rozwojowego oraz sformułowanie wniosków na temat odporności zatrudnionych w nich naukowców na potencjalne naciski właścicieli jednostek. Zastosowano w tym celu indeksy siły Shapleya-Shubika i Banzhafa, wprowadzone przez teoretyków gier jako narzędzie pomiaru siły poszczególnych członków koalicji graczy (w tym przypadku, koncentracji własności w rękach właścicieli). Wyniki analizy empirycznej wskazują, że w znaczącej większości ośrodków badawczych właściciel dysponuje siłą dyktatora: indeks siły pojedynczego decydenta jest równy 1. Jednostek o rozproszonej własności, pozostających pod kontrolą więcej niż trzech współwłaścicieli o podobnej sile, jest niewiele (zaledwie 59 wśród 842 jednostek poddanych analizie). Wynik ten może oznaczać dużą podatność sektora B+R na presję ze strony właścicieli ośrodków badawczych; należy jednak podkreślić, że indeksy siły mierzą siłę potencjalnych, a nie faktycznych nacisków. Za ich pomocą nie można ustalić, czy presja ta jest w rzeczywistości wywierana na zatrudnionych w tych jednostkach pracowników. Sformułowanie takich wniosków wymagałoby indywidualnej analizy każdego z ośrodków badawczych oraz dostępu do bardzo szczegółowego zbioru danych, w tym informacji poufnych.

Warto też zauważyć, że wśród właścicieli większościowych zdecydowanie dominują podmioty niewielkie (osoby fizyczne, przedsiębiorstwa), a instytucje państwowe stanowią grupę znacznie mniej liczną. Mimo mniejszej liczebności, zapewne mają one duże znaczenie dla sektora B+R w Polsce ze względu na wielkość zatrudnienia, możliwości finansowania badań czy nawiązywania współpracy z zagranicą. Niestety analiza siły właścicieli z innej perspektywy niż liczba jednostek jest utrudniona ze względu na braki danych (w przypadku liczby zatrudnionych) lub subiektywny charakter i zupełny brak danych liczbowych (w przypadku skłonności do finansowania badań naukowych czy współpracy w tym zakresie z innymi ośrodkami badawczymi).

Zastosowanie indeksów siły do analizy struktury własnościowej i, pośrednio, odporności sektora B+R na naciski ze strony właścicieli, nie jest pozbawione wad. Po pierwsze, własności indeksów siły nie zawsze są intuicyjnie zrozumiałe i interpretowalne, na co wskazują opisane w literaturze paradoksy, w tym paradoks redystrybucji i paradoks rozmiaru [Mercik 1999]. Ten ostatni występuje w sytuacji, gdy ze wzrostem liczby członków koalicji (w tym przypadku, odsetka własności) maleje indeks siły Shapleya-Shubika tej koalicji. Trudno byłoby uzasadnić taki wynik w analizie siły decydenta – współwłaściciela ośrodka badawczego.

Po drugie, analizując koalicje między graczami warto byłoby wziąć pod uwagę fakt, że nie wszystkie koalicje są równie prawdopodobne. Współwłaściciele jednostek sektora B+R mogą być bardziej skłonni do zawierania porozumień z wybranymi współnikami, z innymi – mniej lub wcale. Zaproponowano na przykład modyfikację indeksu Shapleya-Shubika, w której tworzenie koalicji zależy od indywidualnej inicjatywy graczy i „przyciągania” do istniejących już koalicji [Radzik, Wieczorek 2007]. Niestety zaproponowane przez Autorów metody pomiaru „atrakcyjności” koalicji dla graczy wymagają albo pełnej informacji o procesie formowania koalicji, albo eksperymentalnych danych o przebiegu danej gry, przy czym „współczynniki przyciągania” są zależne od rodzaju rozgrywanej gry. Żadna z tych metod nie wydaje się praktycznie użyteczna w przypadku analizy struktury własnościowej sektora B+R; nie istnieje też baza danych ani praktyczny sposób nawiązania indywidualnego kontaktu z wszystkimi jednostkami sektora i sprawdzenia, w jakie koalicje byliby skłonni wchodzić ich współwłaściciele.

## BIBLIOGRAFIA

- Banzhaf J. (1965) Weighted Voting Doesn't Work: a Mathematical Analysis. *Rutgers Law Review*, 19, 317-343.
- Coleman J. S. (1971) Control of Collectives and the Power of a Collectivity to Act. [in:] Lieberman B. (Eds.) *Social Choice*. Gordon and Breach, New York, 269-300.
- GUS (2018) Działalność badawcza i rozwojowa w Polsce w 2017 r. Opracowanie sygnałne. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Leśniewski Ł. (2010) Sektor badawczo-rozwojowy w Polsce. Polska Agencja Informacji i Inwestycji Zagranicznych S. A., Warszawa.
- Matsui T., Matsui Y. (2000) A Survey of Algorithms for Calculating Power Indices of Weighted Majority Games. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 43, 71-86.
- Mercik J. W. (1999) Siła i oczekiwania: decyzje grupowe. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Radzik T., Wieczorek A. (2007) Measuring Initiative and Attraction by Means of Deviations from the Shapley Value. *Optimization*, 36, 167-180.
- Shapley L. S. (1953) A Value for N-Person Game. *Annals of Mathematical Studies*, 28, 307-317.
- Shapley L. S., Shubik M. (1954) A Method for Evaluating the Distribution of Power in a Committee System. *American Political Science Review*, 48, 787-792.
- Sosnowska H. (1999) Indeksy siły. [w:] Sosnowska H. (red.) *Grupowe podejmowanie decyzji. Elementy teorii, przykłady zastosowań*. Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa.

---

**ANALYSIS OF OWNERSHIP STRUCTURE OF POLISH RESEARCH  
AND DEVELOPMENT SECTOR WITH POWER INDICES**

**Abstract:** The article aims to analyze the pressure that can be exerted by owners of research and development (R+D) companies in Poland over their employees. To analyze the power of co-owners of the R+D companies, cooperative game theory tools are used, namely, Shapley-Shubik and Banzhaf power indices. It is found that there is an owner with a dictatorship power, with power index equal to 1, in the vast majority of the companies, and there are few cases with dispersed ownership. Therefore, the R+D sector in Poland is comprised primarily of the units in which the single powerful owner plays the major role. Pressure exercised over the scientists employed in these companies may follow; however, whether the pressure is actually exerted, cannot be determined by analysis of power indices.

**Keywords:** research and development, concentration of ownership, game theory, power indices