

*dr hab. Iwona Skrodzka*¹ 

Zakład Metod Ilościowych
Wydział Ekonomii i Finansów
Uniwersytet w Białymstoku

Nakłady na działalność badawczo-rozwojową a pozycja innowacyjna gospodarek krajów Unii Europejskiej

WPROWADZENIE

Artykuł porusza problematykę innowacyjności gospodarek krajów Unii Europejskiej. Podjęty temat jest ważny, ponieważ innowacyjność uznaje się współcześnie za jeden z głównych czynników różnic rozwojowych, występujących pomiędzy krajami (Pangsy-Kania, 2007, s. 88–94; Ciborowski, 2016, s. 11). Znaczenie innowacyjności w procesach wzrostu i rozwoju gospodarczego stanowi przedmiot badań empirycznych prowadzonych przez różnych autorów (Freeman, 2002; Fagerberg i in., 2010; Ciborowski, Skrodzka, 2020).

Innowacyjność gospodarki można zdefiniować jako zdolność do tworzenia i wdrażania innowacji, przy czym *ex ante* jest to możliwość opracowania nowych rozwiązań, natomiast *ex post* jest to łączny efekt działalności innowacyjnej przedsiębiorstw i innych podmiotów funkcjonujących w danej gospodarce w analizowanym okresie (Weresa, 2014, s. 22–23). W nawiązaniu do powyższej definicji, wyróżnia się dwie kategorie odzwierciedlające innowacyjność gospodarki (Weresa, 2012, s. 32):

- zdolność do innowacji – oznaczającą stopień, w jakim gospodarka ma możliwość tworzenia i komercjalizacji nowych pomysłów. Do jej pomiaru służą wskaźniki odnoszące się do nakładów, np. wydatki na B+R, inne nakłady finansowe, zasoby ludzkie, infrastruktura wspierająca innowacje i ich dyfuzję.
- pozycję innowacyjną – stanowiącą efekty połączenia kreatywności społeczeństwa z zasobami finansowymi w określonym środowisku ekonomicznym i instytucjonalnym. Do jej pomiaru służą wskaźniki odnoszące się do wyników,

¹ Adres korespondencyjny: ul. Warszawska 63, 15-062 Białystok; e-mail: i.skrodzka@uwb.edu.pl. ORCID: 0000-0002-3261-8687.

np. liczba patentów, sprzedaż produktów nowych i zmodernizowanych, udział wysokiej techniki w całkowitym eksporcie.

Celem artykułu jest zbadanie siły i kierunku wpływu nakładów na działalność B+R na pozycję innowacyjną gospodarki w grupie 27 krajów UE. Weryfikacji będzie podległa następująca hipoteza badawcza: nakłady na działalność B+R mają dodatni, istotny statycznie wpływ na pozycję innowacyjną gospodarek krajów UE. Nakłady w opracowaniu rozważane są w dwóch wymiarach: kapitał finansowy oraz kapitał ludzki i w związku z tym sformułowano dwie hipotezy szczegółowe: kapitał finansowy zaangażowany w działalności B+R ma dodatni, istotny statycznie wpływ na pozycję innowacyjną gospodarek krajów UE oraz kapitał ludzki zaangażowany w działalności B+R ma dodatni, istotny statycznie wpływ na pozycję innowacyjną gospodarek krajów UE.

Rozważania zarówno teoretyczne, jak i empiryczne, dotyczące relacji między działalnością B+R a innowacyjnością były prowadzone przez różnych autorów polskich i zagranicznych (Crépon i in., 1998; Mairesse i Mohnen, 2004; Danguy i in., 2009; Gardocka-Jałowiec, 2012; Krawczyk, 2014; Borowiecki, Siuta-Tokarska, 2017; Baum i in., 2017; Poznańska, 2018). Na istotne znaczenie działalności B+R wskazują również międzynarodowe instytucje monitorujące innowacyjność gospodarek (OECD, 2017; European Commission, 2023; WIPO, 2023). Jednakże w konstruowanych syntetycznych miernikach innowacyjności (m.in. *Summary Innovation Index*, *Global Innovation Index*) nie jest brana pod uwagę zależność przyczynowo-skutkowa zachodząca pomiędzy działalnością B+R a wynikami działalności innowacyjnej. Wskaźniki B+R wykorzystywane są po prostu do budowy miernika syntetycznego. Należy również wskazać, że większość badań empirycznych, w których taka zależność podlega analizie, dotyczy poziomu przedsiębiorstw. W literaturze występuje niedosyt w zakresie badań na poziomie gospodarki jako całości. Niniejsze opracowanie wypełnia tę lukę.

Artykuł składa się z siedmiu sekcji. W sekcji 2. zaprezentowano kwestie pogięciowe związane z działalnością innowacyjną i badawczo-rozwojową. W sekcji 3. opisana została metoda badawcza – modelowanie równań strukturalnych PLS-SEM. Sekcja 4. prezentuje specyfikację modelu zastosowanego do weryfikacji hipotez badawczych. W sekcji 5. omówiono wyniki modelowania, zaś w sekcji 6. przedstawiono wnioski z badań. Sekcja 7. stanowi podsumowanie.

DZIAŁALNOŚĆ BADAWCZO-ROZWOJOWA JAKO ELEMENT DZIAŁALNOŚCI INNOWACYJNEJ

Działalność innowacyjna obejmuje wszystkie działania o charakterze naukowym, technicznym, organizacyjnym, finansowym i komercyjnym, które rzeczy-

wiście prowadzą lub mają w zamierzeniu prowadzić do wdrażania innowacji. Niektóre z tych działań mogą mieć same z siebie charakter innowacyjny, natomiast inne nie są nowością, ale stanowią niezbędny krok na drodze ku wdrożeniu (OECD, 2006, s. 21). W ramach działalności innowacyjnej podmioty podejmują następujące aktywności (OECD/Eurostat, 2018, s. 87):

- działalność badawczą i rozwojową,
- prace inżynierskie, projektowe i inne prace twórcze,
- działalność marketingową i dotyczącą wartości marki,
- działalność związaną z własnością intelektualną,
- szkolenie pracowników,
- rozwój oprogramowania i działalność związana z bazami danych,
- działania związane z nabywaniem lub dzierżawą rzeczowych aktywów trwałych,
- działalność w zakresie zarządzania innowacjami.

Działalność B+R stanowi element działalności innowacyjnej i odgrywa istotną rolę w procesie innowacyjnym, rozumianym jako ciąg przebiegających w czasie czynności niezbędnych do urzeczywistnienia określonej koncepcji innowacyjnej i przekształcenia jej w nowy stan rzeczy (Penc, 1999, s. 165). Na znaczenie działalności B+R wskazują modele procesów innowacyjnych, zarówno te pierwszej generacji (modele liniowe), jak i współczesne modele systemów innowacji. Działalność B+R to praca twórcza podejmowana w sposób metodyczny w celu zwiększenia zasobów wiedzy – w tym wiedzy o człowieku, kulturze i społeczeństwie – oraz w celu opracowywania nowych zastosowań dla istniejącej wiedzy (OECD 2015, s. 44). Działalność ta powinna być (OECD, 2015, s. 46–48):

- nowatorska – ukierunkowana na nowe odkrycia,
- twórcza – opierająca się na oryginalnych, nieoczywistych koncepcjach i hipotezach,
- nieprzewidywalna – co do ostatecznego wyniku oraz kosztu, w tym poświęconego czasu,
- metodyczna – prowadzona w sposób zaplanowany (z określonym celem projektu B+R oraz źródłem finansowania),
- możliwa do przeniesienia lub odtworzenia – prowadząca do wyników, które mogą być odtwarzane.

Wyróżnia się trzy rodzaje działalności B+R: badania podstawowe, badania stosowane i prace rozwojowe. Badania podstawowe – eksperymentalne lub teoretyczne prace podejmowane przede wszystkim w celu zdobycia nowej wiedzy o podstawach zjawisk i obserwowalnych faktów bez nastawienia na konkretne zastosowanie lub wykorzystanie. Badania podstawowe polegają na analizie własności, struktur i zależności, a ich celem jest formułowanie i testowanie hipotez,

teorii lub praw. Badania stosowane – oryginalne prace badawcze podejmowane w celu zdobycia nowej wiedzy. Są one ukierunkowane przede wszystkim na konkretne, praktyczne cele. Prace rozwojowe to prace podejmowane w sposób metodyczny, oparte na wiedzy zdobytej w wyniku badań i doświadczeń praktycznych oraz tworzenia dodatkowej wiedzy, ukierunkowane na wytworzenie nowych produktów lub procesów bądź na ulepszenie istniejących produktów lub procesów (GUS, 2022, s. 15; OECD, 2015, s. 45).

METODA BADAWCZA

Do zbadania zależności między nakładami na działalność B+R a pozycją innowacyjną gospodarki zastosowano modelowanie równań strukturalnych (*structural equation modeling* – SEM), przy czym modele estymowano za pomocą metody cząstkowych najmniejszych kwadratów (*partial least squares method* – PLS). PLS-SEM stanowi alternatywę wobec modelowania równań strukturalnych estymowanych metodami opartymi na kowariancji (*covariance-based structural equation modeling* – CB-SEM). Modelowanie CB-SEM jest rekomendowane w przypadku, gdy cel badawczy stanowi testowanie teorii, zaś PLS-SEM – w przypadku, gdy badanie ma na celu predykcję i/lub rozwijanie teorii. Jeżeli wymagania dotyczące modelu pomiarowego ograniczają użycie CB-SEM (np. niespełnione założenia o normalności rozkładów) alternatywę stanowi modelowanie PLS-SEM. Ponadto PLS-SEM znajduje zastosowanie przy jednocześnie: małych zbiorowościach statystycznych i wysokiej złożoności modelu (Hair i in., 2019, s. 5).

Model PLS-SEM zawiera dwa rodzaje zmiennych: zmienne nieobserwowalne, zwane również ukrytymi oraz zmienne obserwowalne, zwane indykatorami. Ponadto składa się z dwóch podmodeli: strukturalnego oraz pomiarowego. Budowa modelu PLS-SEM przebiega według określonych etapów:

- Etap 1: specyfikacja modelu strukturalnego.
- Etap 2: specyfikacja modelu pomiarowego.
- Etap 3: budowa bazy danych i jej statystyczna weryfikacja.
- Etap 4: estymacja modelu.
- Etap 5: weryfikacja statystyczna modelu pomiarowego.
- Etap 6: weryfikacja statystyczna modelu strukturalnego.
- Etap 7: interpretacja wyników modelu i formułowanie wniosków.

W ramach modelu strukturalnego określa się zmienne ukryte, ich charakter oraz zależności występujące między nimi. Specyfikacja modelu pomiarowego polega na zdefiniowaniu zmiennych ukrytych za pomocą indykatorów. Definiowanie można oprzeć na jednym z dwóch podejść: dedukcyjnym lub indukcyjnym

(Rogowski, 1990, s. 25). W przypadku podejścia dedukcyjnego model pomiarowy zmiennej ukrytej określa się mianem refleksyjnego, indykatory odzwierciedlają bowiem definiowaną zmienną. W podejściu indukcyjnym zakłada się, że indykatory tworzą zmienne ukryte, stąd model pomiarowy nazywany jest modelem formatywnym. Sposób definiowania powinien wynikać z przyjętego opisu teoretycznego (Rogowski, 1990, s. 25).

Estymacji modelu PLS-SEM dokonuje się metodą PLS. Algorytm PLS szacuje jednocześnie parametry modelu wewnętrznego, tj. współczynniki ścieżkowe oraz parametry modelu zewnętrznego, tj. wagi i ładunki czynnikowe. Ponadto w wyniku estymacji uzyskuje się oszacowania wartości wszystkich zmiennych ukrytych, występujących w modelu. Szczegółowy opis metody PLS można znaleźć m.in. w pracach (Wold, 1982; Rogowski, 1990; Henseler i in., 2012).

Proces weryfikacji modelu PLS-SEM przebiega dwuetapowo. W pierwszej kolejności ocenie poddawany jest model pomiarowy. Badane właściwości zależą od rodzaju modelu. W przypadku modelu refleksyjnego weryfikowane są: spójność wewnętrzna, trafność zbieżna i trafność różnicowa indykatorów, zaś w przypadku modelu formatywnego – współliniowość, trafność zbieżna oraz istotność wag (Hair i in., 2022, s. 117–126, 143–158). Pozytywna weryfikacja modelu pomiarowego umożliwia przejście do kolejnego etapu, którym jest weryfikacja statystyczna modelu strukturalnego. Ocenie podlegają: współliniowość zmiennych ukrytych objaśniających, moc predykcyjna i dokładność predykcji modelu oraz istotność współczynników ścieżkowych (Hair i in., 2022, s. 22).

W związku z wyodrębnieniem w opracowaniu dwóch rodzajów nakładów: kapitału finansowego i kapitału ludzkiego w zastosowanym do badań modelu wystąpiła zmienna ukryta wyższego rzędu. Hierarchiczność zmiennych ukrytych w modelach PLS-SEM rozumiana jest w następujący sposób (Rogowski, 1990, s. 55):

- zmienna ukryta zdefiniowana za pomocą indykatorów obserwowalnych to zmienna 1-ego rzędu,
- zmienna, którą definiują indykatory obserwowalne oraz przynajmniej jeden indykator nieobserwowalny to zmienna 2-ego rzędu,
- uogólniając: jeśli zostały określone zmienne ukryte do n -tego rzędu włącznie, zmienną ukrytą nazywa się zmienną rzędu $n+1$ -ego, jeżeli posiada ona indykatory będące zmiennymi niższych rzędów, z tym że co najmniej jeden z nich jest n -tego rzędu.

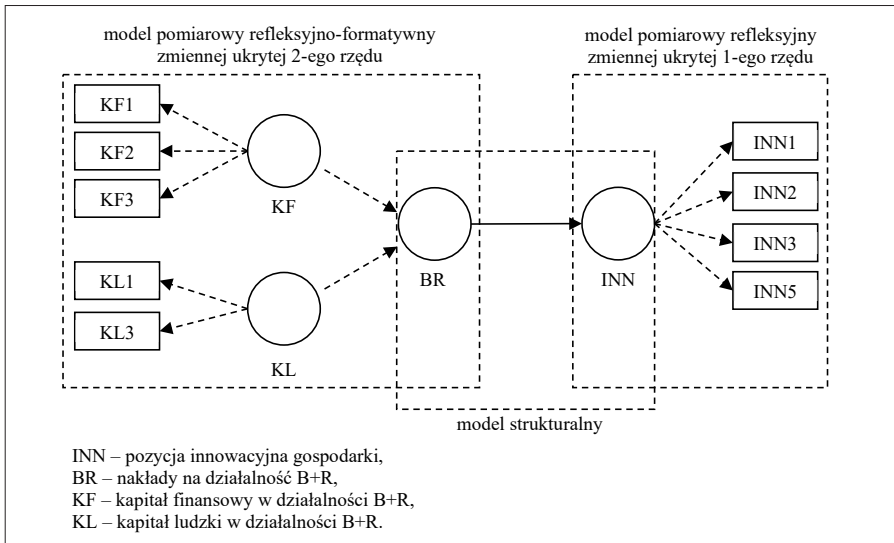
W literaturze funkcjonują różne podejścia do określania i szacowania modeli ze zmiennymi ukrytymi wyższych rzędów. Najczęściej stosowane są: podejście ze powtarzaniem indykatorów oraz podejście sekwencyjne. W przypadku pierw-

szego, zmienna ukryta wyższego rzędu jest określana za pomocą indyktorów wszystkich zmiennych ukrytych niższego rzędu ją definiujących. Z kolei w podejściu sekwencyjnym szacuje się model etapowo, np. w przypadku modelu ze zmienną ukrytą 2-go rzędu, w pierwszym etapie szacuje się model ze zmiennymi ukrytymi 1-ego rzędu, uzyskując w ten sposób oszacowania wartości tych zmiennych. W drugim etapie oszacowane wartości traktowane są jako wartości indyktorów zmiennej ukrytej 2-go rzędu i na ich podstawie szacowany jest nowy model (Becker i in., 2012, s. 365).

Weryfikacja statystyczna modelu PLS-SEM ze zmiennymi ukrytymi wyższych rzędów jest bardziej skomplikowana. Co prawda stosuje się analogiczne kryteria oceny, jak w przypadku standardowych modeli PLS-SEM, należy jednak zwrócić szczególną uwagę na to, które relacje stanowią część modelu pomiarowego, a które modelu strukturalnego. Model pomiarowy zmiennej ukrytej wyższego rzędu jest złożony z modelu pomiarowego zmiennej ukrytej niższego rzędu oraz modelu pomiarowego zmiennej ukrytej wyższego rzędu, jako całości (Sarstedt i in., 2019, s. 200–201).

SPECYFIKACJA MODELU

Schemat zastosowanego w badaniach modelu PLS-SEM prezentuje rysunek 1. Model strukturalny zawierał dwie zmienne ukryte. Pierwsza odnosiła się do nakładów na działalność B+R, druga – do pozycji innowacyjnej gospodarki. Zmienna BR została zdefiniowana za pomocą dwóch indyktorów nieobserwowalnych KF i KL oznaczających odpowiednio: kapitał finansowy i kapitał ludzki w działalności B+R. Dzięki takiemu podejściu możliwe było zweryfikowanie, która z dwóch form kapitału: finansowy czy ludzki silniej wpływa na pozycję innowacyjną gospodarki. Zmienne KF, KL i INN zostały zdefiniowane za pomocą zbioru indyktorów odzwierciedlających. Definiowanie poprzedziły studia literaturowe z zakresu pomiaru innowacyjności gospodarek. Zestaw potencjalnych indyktorów zmiennych ukrytych przedstawia tabela 1. Dane statystyczne pochodziły z raportu *European Innovation Scoreboard* (European Commission, 2023). Nie wszystkie zaprezentowane w tabeli 1. indykatory zostały zakwalifikowane do modelu. Trzy zostały odrzucone, ponieważ szacowane z nimi modele pomiarowe nie spełniały kryteriów statystycznych (indykatory nie wykazywały spójności wewnętrznej i/lub trafności zbieżnej). Ostatecznie do modelu zakwalifikowano dziewięć wskaźników, z czego pięć odzwierciedlało nakłady na działalność B+R, zaś cztery pozycję innowacyjną (zob. rys. 1.).



Rys. 1. Schemat modelu PLS-SEM

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 1. Zbiór potencjalnych indykatorów zmiennych ukrytych w modelu PLS-SEM

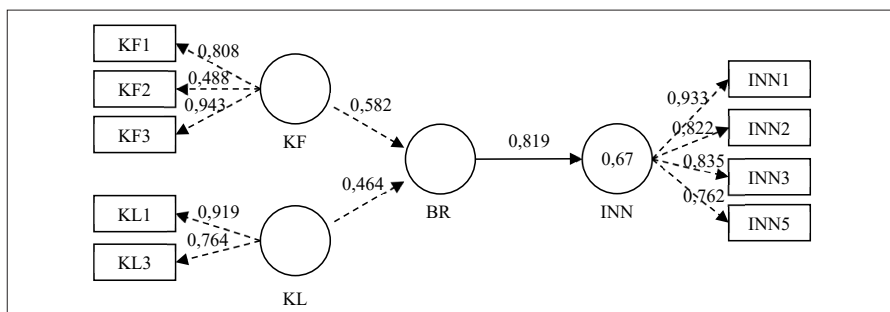
Symbol indykatora	Opis
Zmienna ukryta KF	
KF1	Nakłady na B+R w sektorze publicznym jako % PKB.
KF2	Bezpośrednie finansowanie rządowe i rządowe wsparcie podatkowe na rzecz B+R w sektorze przedsiębiorstw jako % PKB .
KF3	Nakłady na B+R w sektorze przedsiębiorstw jako % PKB.
Zmienna ukryta KL	
KL1	Liczba badaczy w przeliczeniu na pełne etaty w sektorze przedsiębiorstw jako % całkowitego zatrudnienia.
KL2	Liczba badaczy w przeliczeniu na pełne etaty w sektorze rządowym jako % całkowitego zatrudnienia.
KL3	Liczba badaczy w przeliczeniu na pełne etaty w sektorze szkolnictwa wyższego jako % całkowitego zatrudnienia.
Zmienna ukryta INN	
INN1	Odsetek przedsiębiorstw sektora MŚP wprowadzających innowacje produktowe.
INN2	Odsetek przedsiębiorstw sektora MŚP wprowadzających innowacje procesowe.
INN3	Liczba zgłoszeń patentowych do EPO w przeliczeniu na 1 miliard PKB w SSN.
INN4	Eksport wyrobów średniej i wysokiej technologii jako % eksportu produktów ogółem.
INN5	Eksport usług wiodzących jako % eksportu usług ogółem.
INN6	Sprzedż innowacji jako % obrotu w przedsiębiorstwach.

Źródło: opracowanie własne.

Rozważany model zawierał zmienną ukrytą drugiego rzędu (BR). Do jego oszacowania zastosowano podejście z powtarzanymi indykatorami, tzn. zmiennej BR przypisano wszystkie indykatory odzwierciedlające zmienne KF i KL. Model estymowano w programie SmartPLS. Oszacowania odnosiły się do trzech różnych lat: 2017, 2019 i 2021, stąd w dalszej części opracowania estymowanym modelom przypisano następujące nazwy: PLS-SEM₂₀₁₇, PLS-SEM₂₀₁₉ i PLS-SEM₂₀₂₁. Wybór okresu badawczego został podyktowany dostępnością danych statystycznych.

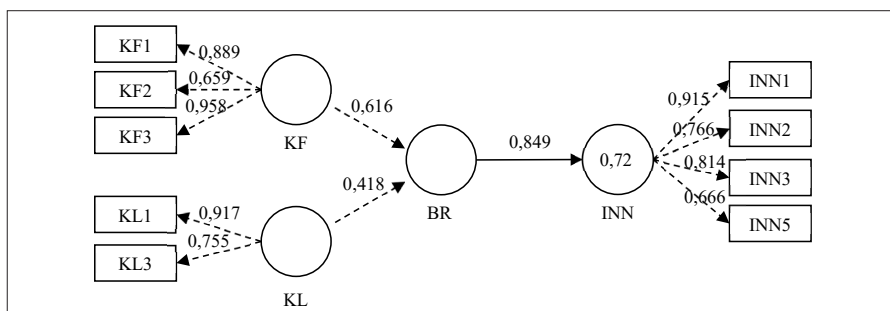
WYNIKI MODELOWANIA

Wyniki estymacji zostały zaprezentowane na rysunkach 2–4, przy czym w okręgach reprezentujących zmienną INN zapisano wartość współczynnika determinacji R². Oszacowane modele poddano kilkietapowej weryfikacji statystycznej. W pierwszej kolejności analizowano właściwości modeli pomiarowych zmiennych ukrytych pierwszego rzędu (KF, KL, INN). Wartości odpowiednich mierników przedstawiają tabele 2–4.



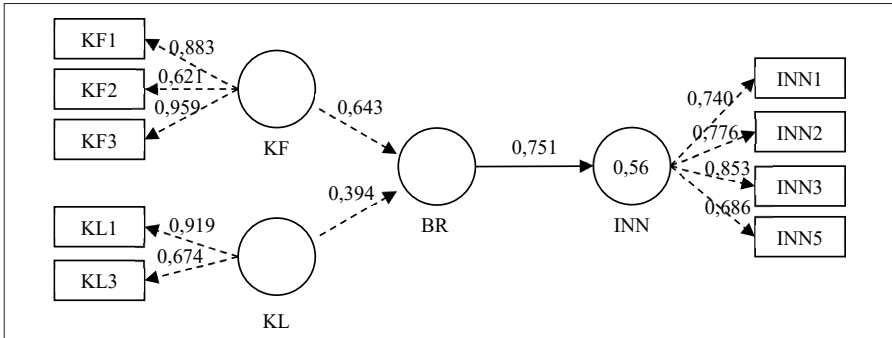
Rys. 2. Wyniki estymacji modelu PLS-SEM₂₀₁₇

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Wyniki estymacji modelu PLS-SEM₂₀₁₉

Źródło: opracowanie własne.

Rys. 4. Wyniki estymacji modelu PLS-SEM₂₀₂₁

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Weryfikacja statystyczna modelu pomiarowego refleksyjnego w modelu PLS-SEM₂₀₁₇

Indyktor	Trafność zbieżna		Spójność wewnętrzna		Trafność różnicowa
	Ładunki czynnikowe	AVE	Rzetelność kompozytowa	Alfa Cronbacha	Kryterium ładunków krzyżowych
	>0,7	>0,5	0,6-0,95	0,6-0,95	
Zmienna ukryta BRN					
KF1	0,808	0,593	0,743	0,630	spełnione
KF2	0,488				spełnione
KF3	0,943				spełnione
Zmienna ukryta BRP					
KL1	0,919	0,714	0,719	0,619	spełnione
KL3	0,764				spełnione
Zmienna ukryta PINN					
INN1	0,933	0,706	0,898	0,862	spełnione
INN2	0,822				spełnione
INN3	0,835				niespełnione
INN5	0,762				spełnione

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Weryfikacja statystyczna modelu pomiarowego refleksyjnego w modelu PLS-SEM₂₀₁₉

Indyktor	Trafność zbieżna		Spójność wewnętrzna		Trafność różnicowa
	Ładunki czynnikowe	AVE	Rzetelność kompozytowa	Alfa Cronbacha	Kryterium ładunków krzyżowych
	>0,7	>0,5	0,6-0,95	0,6-0,95	
1	2	3	4	5	6
Zmienna ukryta BRN					
KF1	0,889	0,714	0,846	0,791	spełnione
KF2	0,659				spełnione
KF3	0,958				spełnione

1	2	3	4	5	6
Zmienna ukryta BRP					
KL1	0,917	0,706	0,703	0,603	niespełnione
KL3	0,755				spełnione
Zmienna ukryta PINN					
INN1	0,915	0,633	0,849	0,804	spełnione
INN2	0,766				spełnione
INN3	0,814				niespełnione
INN5	0,666				spełnione

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Weryfikacja statystyczna modelu pomiarowego refleksyjnego w modelu PLS-SEM₂₀₂₁

Indykator	Trafność zbieżna		Spójność wewnętrzną		Trafność różnicowa
	Ładunki czynnikowe	AVE	Rzetelność kompozytowa	Alfa Cronbacha	Kryterium ładunków krzyżowych
	>0,7	>0,5	0,6-0,95	0,6-0,95	
Zmienna ukryta BRN					
KF1	0,883	0,695	0,845	0,770	spełnione
KF2	0,621				spełnione
KF3	0,959				spełnione
Zmienna ukryta BRP					
KL1	0,919	0,650	0,622	0,495	spełnione
KL3	0,674				spełnione
Zmienna ukryta PINN					
INN1	0,740	0,587	0,906	0,781	spełnione
INN2	0,776				spełnione
INN3	0,853				spełnione
INN5	0,686				spełnione

Źródło: opracowanie własne.

W każdym z modeli oszacowanie ładunku czynnikowego indykatora KF2 było niższe od krytycznej wartości 0,7, jednak stosunkowo wysokie wartości mierników AVE oraz rzetelności kompozytowej przesądziły o pozostawieniu indykatora w modelach. Ponadto indykator KL1 oraz INN3 nie wykazywały trafności zbieżnej w modelach PLS-SEM₂₀₁₇ i PLS-SEM₂₀₁₉, jednak ze względu na kryterium merytoryczne, indykatory pozostawiono przy zmiennych ukrytych, do których zostały one pierwotnie przypisane.

W kolejnym kroku ewaluacji poddano drugą część modeli pomiarowych zmiennej ukrytej drugiego rzędu (BR). Nieobserwowalne indykatory KF i KL wykazywały brak współliniowości (wartości miernika VIF niższe niż 5 w każ-

dym modelu). Ponadto oszacowane dla nich wagi były istotne statystycznie (zob. tabela 5.).

Tabela 5. Istotność wag w modelach pomiarowych formatywnych zmiennej BR

Relacja	Waga	Wartość t	Wartość p	95% przedział ufności	Istotność ($p < 0,05$)?
PLS-SEM ₂₀₁₇					
KF→BR	0,582	14,749	0,000	(0,504; 0,658)	Tak
KL→BR	0,464	10,513	0,000	(0,375; 0,548)	Tak
PLS-SEM ₂₀₁₉					
KF→BR	0,616	16,665	0,000	(0,546; 0,693)	Tak
KL→BR	0,418	10,389	0,000	(0,325; 0,483)	Tak
PLS-SEM ₂₀₂₁					
KF→BR	0,643	14,749	0,000	(0,504; 0,658)	Tak
KL→BR	0,394	10,513	0,000	(0,325; 0,483)	Tak

Źródło: opracowanie własne.

W ostatnim kroku dokonano weryfikacji statystycznej modeli strukturalnych. We wszystkich oszacowanych modelach zmienna BR wykazywała istotny statystycznie wpływ na zmienną INN (zob. tabela 6.). Hipoteza statystyczna o nieistotnym wpływie nakładów na działalność B+R na pozycję innowacyjną gospodarek krajów UE została odrzucona na korzyść hipotezy alternatywnej, mówiącej o tym, że nakłady na działalność B+R wpływają istotnie na pozycję innowacyjną gospodarek.

Tabela 6. Istotność współczynników ścieżkowych w modelach strukturalnych

Model	Współczynnik ścieżkowy	Wartość t	Wartość p	95% przedział ufności	Istotność ($p < 0,05$)?
PLS-SEM ₂₀₁₇	0.819	18,994	0,000	(0,747; 0,912)	Tak
PLS-SEM ₂₀₁₉	0,849	27,366	0,000	(0,793; 0,914)	Tak
PLS-SEM ₂₀₁₉	0,751	17,626	0,000	(0,684; 0,888)	Tak

Źródło: opracowanie własne.

Współczynniki determinacji wyznaczone dla równań modeli przyjęły wartości 0,56, 0,67, 0,72 (zob. rys. 2–4), co oznacza, że w stopniu umiarkowanym i wysokim zmienność zmiennej INN została wyjaśniona przez modele. Wartości Q^2 testu Stone'a-Geissera były dodatnie (zob. tabela 7.), zatem modele charakteryzowały się wysoką jakością prognostyczną.

Tabela 7. Wartości Q2 testu Stone’a-Geissera

Indykatory zmiennej ukrytej endogenicznej	Q ²		
	PLS_SEM ₂₀₁₇	PLS_SEM ₂₀₁₉	PLS_SEM ₂₀₂₁
INN1	0,446	0,427	0,107
INN2	0,274	0,241	0,174
INN3	0,577	0,569	0,533
INN5	0,203	0,158	0,139
Ogólna wartość	0,255	0,227	0,148

Źródło: opracowanie własne.

W modelowaniu PLS-SEM oprócz relacji występujących w modelach: pomiarowym i strukturalnym wyróżnia się także relacje substytucyjne. Otrzymuje się je poprzez zastąpienie zmiennej ukrytej, występującej w modelu strukturalnym, relacjami modelu strukturalnego lub pomiarowego, związanymi z tą zmienną (Rogowski, 1990, s. 46). Za pomocą relacji substytucyjnych można wyrazić wpływ pośredni nieobserwowalnych indykatorów zmiennej BR na zmienną INN. Wyniki prezentuje tabela 8. Wszystkie oszacowania były statystycznie istotne.

Tabela 8. Istotność parametrów relacji substytucyjnych

Relacja	Współczynnik ścieżkowy	Wartość <i>t</i>	Wartość <i>p</i>	95% przedział ufności	Istotność (p<0,05)?
PLS-SEM ₂₀₁₇					
KF→INN	0,477	12,128	0,000	(0,407; 0,562)	Tak
KL→INN	0,389	8,880	0,000	(0,301; 0,468)	Tak
PLS-SEM ₂₀₁₉					
KF→INN	0,523	15,281	0,000	(0,461; 0,596)	Tak
KL→INN	0,355	9,248	0,000	(0,270; 0,423)	Tak
PLS-SEM ₂₀₂₁					
KF→INN	0,483	11,803	0,000	(0,428; 0,586)	Tak
KL→INN	0,296	6,766	0,000	(0,216; 0,390)	Tak

Źródło: opracowanie własne.

Modele pomiarowe i modele strukturalne zostały ocenione pozytywnie, w związku z tym kolejny etap modelowania stanowiła analiza otrzymanych wyników i formułowanie wniosków.

WNIOSKI

Analiza wyników modelu pomiarowego pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków. Kapitał finansowy był najsilniej odzwierciedlany przez in-

dykator KF3 „Nakłady na B+R w sektorze przedsiębiorstw jako % PKB”, z kolei kapitał ludzki przez indikator KL1 „Liczba badaczy w przeliczeniu na pełne etaty w sektorze przedsiębiorstw jako % całkowitego zatrudnienia”. Zatem zgodnie z oczekiwaniami, nakłady w sektorze przedsiębiorstw pełniły istotniejszą rolę niż w sektorze rządowym i sektorze szkolnictwa wyższego. Pozycja innowacyjna gospodarki wykazywała najwyższą korelację z indykatorem INN1 „Odsetek przedsiębiorstw sektora MŚP wprowadzających innowacje produktowe” w modelach z roku 2017 i 2019 oraz z indykatorem INN3 „Liczba zgłoszeń patentowych do EPO w przeliczeniu na jeden miliard PKB w SSN” w modelu z roku 2021. Z oszacowań parametrów relacji substytucyjnych wynika, że kapitał finansowy był ważniejszą kategorią nakładów na działalność B+R niż kapitał ludzki.

Oszacowania parametrów modeli strukturalnych wskazały, że nakłady na działalność B+R miały silny, dodatni, istotny statystycznie wpływ na pozycję innowacyjną gospodarek. Oznacza to, że gospodarki, które ponosiły wyższe nakłady na działalność B+R charakteryzowały się wyższą pozycją innowacyjną. Ponadto obie formy kapitału: finansowy i ludzki, zaangażowane w sektorze B+R wpływały istotnie, dodatnio na pozycję innowacyjną badanych gospodarek, przy czym silniejszy wpływ w każdym z analizowanych lat wywierał kapitał finansowy.

Uzyskane rezultaty są zbieżne z wynikami badań prowadzonych na poziomie przedsiębiorstw (Crépon i in., 1998; Mairesse, Mohnen, 2004; Danguy, 2009; Baum i in., 2017).

Modelowanie PLS-SEM dostarczyło również oszacowań wartości wszystkich zmiennych ukrytych występujących w modelu. Oszacowania te potraktowano jako wartości mierników syntetycznych i zastosowano do rangowania analizowanych gospodarek. Uporządkowanie krajów UE ze względu na wielkość nakładów na działalność B+R oraz ze względu na pozycję innowacyjną gospodarki prezentuje tabela 9., zaś ze względu na kapitał finansowy i kapitał ludzki zaangażowane w sektorze B+R – tabela 10.

Tabela 9. Uporządkowanie krajów UE ze względu na nakłady na działalność B+R oraz ze względu na pozycję innowacyjną gospodarki w latach 2017, 2019, 2021

Kraj	BR ₂₀₁₇	BR ₂₀₁₉	BR ₂₀₂₁	INN ₂₀₁₇	INN ₂₀₁₉	INN ₂₀₂₁
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Austria	7	5	7	4	3	4
Belgia	6	6	8	5	5	2
Bułgaria	25	25	24	25	24	24
Chorwacja	19	19	17	22	22	21
Cypr	14	14	6	26	26	26
Czechy	16	15	18	12	12	11
Dania	9	7	4	1	2	3
Estonia	22	16	9	14	16	12

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Finlandia	2	1	2	3	4	5
Francja	10	10	10	6	6	7
Grecja	15	13	14	16	15	13
Hiszpania	20	23	23	17	18	19
Holandia	5	3	5	8	8	8
Irlandia	4	8	12	10	10	16
Litwa	17	18	19	19	20	20
Luksemburg	8	9	11	13	13	18
Łotwa	23	22	21	24	23	23
Malta	18	20	16	23	25	25
Niemcy	3	4	3	7	7	6
Polska	26	26	26	18	19	17
Portugalia	12	11	20	11	9	9
Rumunia	27	27	27	27	27	27
Słowacja	24	24	25	20	21	22
Słowenia	11	17	15	9	11	10
Szwecja	1	2	1	2	1	1
Węgry	21	21	22	15	14	14
Włochy	13	12	13	21	17	15

Źródło: opracowanie własne.

W czołówce rankingu krajów pod względem nakładów na B+R znalazły się: Szwecja, Finlandia i Niemcy. Najniższe pozycje zajmowały Bułgaria, Polska i Rumunia. W przypadku uporządkowania ze względu na pozycję innowacyjną na pierwszych trzech miejscach w każdym z analizowanych lat znalazły się Szwecja i Dania. Wysokie pozycje zajmowały również Austria i Belgia, z kolei niskie – Rumunia, Cypr i Malta.

Tabela 10. Uporządkowanie krajów UE ze względu na kapitał finansowy i ludzki zaangażowane w sektorze B+R w latach 2017, 2019, 2021

Kraj	KF ₂₀₁₇	KF ₂₀₁₉	KF ₂₀₂₁	KL ₂₀₁₇	KL ₂₀₁₉	KL ₂₀₂₁
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Austria	1	1	1	6	5	6
Belgia	7	5	2	5	4	4
Bułgaria	23	24	24	25	24	25
Chorwacja	20	22	21	23	22	23
Cypr	27	27	25	26	26	26
Czechy	10	10	9	17	17	17
Dania	3	4	5	1	1	3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Estonia	12	15	13	15	15	15
Finlandia	5	7	7	3	3	2
Francja	6	3	6	9	8	7
Grecja	21	18	16	13	13	10
Hiszpania	16	16	17	16	18	19
Holandia	8	8	8	8	9	8
Irlandia	13	11	18	4	7	9
Litwa	19	20	20	18	19	18
Luksemburg	18	17	19	11	11	13
Łotwa	25	23	23	24	23	22
Malta	24	26	26	22	25	24
Niemcy	4	6	4	10	10	11
Polska	22	19	15	14	14	14
Portugalia	14	12	12	7	6	5
Rumunia	26	25	27	27	27	27
Słowacja	15	21	22	21	21	21
Słowenia	9	9	10	12	12	12
Szwecja	2	2	3	2	2	1
Węgry	11	13	14	20	16	16
Włochy	17	14	11	19	20	20

Źródło: opracowanie własne.

Austria i Szwecja były liderami rankingów ze względu na kapitał finansowy zaangażowany w sektorze B+R. Najniższe pozycje w tych rankingach zajmowały Cypr, Rumunia i Malta. W uporządkowaniu pod względem kapitału ludzkiego pierwsze trzy miejsca należały do Danii, Szwecji i Finlandii, z kolei Rumunia, Cypr i Bułgaria znajdowały się w najtrudniejszej sytuacji.

PODSUMOWANIE

W opracowaniu zaprezentowano wyniki badań empirycznych nad zależnością pomiędzy nakładami na działalność B+R a pozycją innowacyjną gospodarek krajów UE. Ze względu na nieobserwowalność obu analizowanych kategorii do realizacji celu badań i weryfikacji sformułowanych hipotez zastosowano modelowanie PLS-SEM. Oszacowano trzy modele na podstawie danych odnoszących się do następujących lat: 2017, 2019 i 2021. Wyniki estymacji pozwoliły na sformułowanie kilku wniosków. Po pierwsze, nakłady na działalność B+R były w badanych latach istotnym czynnikiem wpływającym na pozycję innowacyjną

gospodarek krajów UE. Po drugie, zarówno kapitał finansowy, jak i kapitał ludzki wpływały dodatnio na pozycję innowacyjną gospodarek. Po trzecie, wpływ kapitału finansowanego był silniejszy niż kapitału ludzkiego. W artykule dokonano również porządkowania krajów UE ze względu na poziom każdej z badanych kategorii.

Przeprowadzone badania, oparte na modelowaniu PLS-SEM, stanowią pewną propozycję rozwiązania problemu analizy zależności przyczynowo-skutkowej pomiędzy nakładami (działalność B+R) a wynikami (pozycja innowacyjna) działalności innowacyjnej na poziomie gospodarek. Zaprezentowany model może zostać wykorzystany w badaniach dotyczących innych grup krajów lub innych okresów badawczych. Warto również rozważyć rozbudowanie modelu poprzez wprowadzenie zmiennych odnoszących się do innych czynników innowacyjności. Proponowana metoda nie jest jednak pozbawiona wad. Dyskusji mogą podlegać zestawy wskaźników służące do pomiaru badanych kategorii ekonomicznych, liniowy charakter modelu, czy też wybór sposobu estymacji. Ograniczenia dotyczą również liczby zmiennych ukrytych występujących w modelu strukturalnym (jest ona zależna od liczby obserwacji). Niemniej jednak podejście stanowi interesujący kierunek przyszłych badań nad innowacyjnością gospodarek.

BIBLIOGRAFIA

- Baum, Ch.F., Lööf, H., Nabavi, P., Stephan, A. (2017). A new approach to estimation of the R&D – innovation – productivity relationship. *Economics of Innovation and New Technology*, 26(1–2), 121–133. DOI: 10.1080/10438599.2016.1202515.
- Becker, J.-M., Klein, K., Wetzels, M. (2012). Hierarchical latent variable models in PLS-SEM: guidelines for using reflective-formative type models. *Long Range Planning*, 45(5), 359–394. DOI: 10.1016/j.lrp.2012.10.001.
- Borowiecki, R., Siuta-Tokarska, B. (2017). Problemy innowacyjności gospodarki Polski, ze szczególnym uwzględnieniem działalności badawczo-rozwojowej. *Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy*, 50(2), 163–176. DOI: 10.15584/nsawg.2017.2.10.
- Crépon, B., Duguet, E., Mairesse, J. (1998). Research and development, innovation and productivity: an econometric analysis at the firm level. *Economics of Innovation and New Technology*, 7(2), 115–158. DOI: 10.1080/10438599800000031.
- Ciborowski, R.W. (2016). *Międzynarodowy transfer technologii a innowacyjność krajów Europy Środkowo-Wschodniej*. Białystok: Wydawnictwo PTE.
- Ciborowski, R.W., Skrodzka, I. (2020). International technology transfer and innovative changes adjustment in EU. *Empirical Economics*, 59(3), 1351–1371. DOI: 10.1007/s00181-019-01683-8.
- Danguy, J., de Rassenfosse, G., van Pottelsberghe de la Potterie, B. (2009). The R&D-patent relationship: An industry perspective. *European Investment Bank Papers*, 14(1), 170–195.

- European Commission. (2023). *European Innovation Scoreboard 2023*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. DOI: 10.2777/119961.
- Fagerberg, J., Srholec, M., Verspagen, B. (2010). Innovation and Economic Development. W: B.H. Hall, N. Rosenberg (red.), *Handbook of the Economics of Innovation*, t. 2 (s. 833–872). Amsterdam: North-Holland. DOI: 10.1016/S0169-7218(10)02004-6.
- Freeman, C. (2002). Continental, national and sub-national innovation systems – complementarity and economic growth. *Research Policy*, 31(2), 191–211. DOI: 10.1016/S0048-7333(01)00136-6.
- Gardocka-Jałowicz, A. (2012). Nakłady na działalność badawczo-rozwojową a innowacyjność polskiej gospodarki. *Ekonomista*, 1, 79–99.
- GUS. (2022). *Zeszyt metodologiczny. Działalność badawcza i rozwojowa*. Szczecin/Warszawa: Urząd Statystyczny w Szczecinie.
- Hair, J.F., Hult, G.T.M., Ringle, C.M., Sarstedt, M. (2022). *A primer on partial least squares structural equation modelling (PLS-SEM)*. Thousand Oaks: Sage.
- Hair, J.F., Risher, J.J., Sarstedt, M., Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review*, 31(1), 2–24. DOI: 10.1108/EBR-11-2018-0203.
- Henseler, J., Ringle, C.M., Sarstedt, M. (2012). Using partial least squares path modeling in international advertising research: basic concepts and recent issues. W: S. Okazaki (red.), *Handbook of research in international advertising* (s. 252–276). Cheltenham: Edward Elgar. DOI: 10.4337/9781781001042.00023.
- Krawczyk, M. (2014). Wydatki przedsiębiorstw na działalność badawczo-rozwojową a pomiar innowacyjności. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 326, 115–122.
- Mairesse, J., Mohnen, P. (2004). The Importance of R&D for Innovation: A Reassessment Using French Survey Data. *The Journal of Technology Transfer*, 30, 183–197. DOI: 10.1007/s10961-004-4365-8.
- OECD. (2006). *Podręcznik Oslo. Zasady gromadzenia i interpretacji danych dotyczących innowacji*, wyd. 3. Warszawa: Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.
- OECD. (2015). *Frascati manual 2015: guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development, The measurement of scientific, technological and innovation activities*. Paris: OECD Publishing. DOI: 10.1787/9789264239012-en.
- OECD. (2017). *OECD Science, Technology, and Industry Scoreboard 2017: The digital transformation*. Paris: OECD Publishing. DOI: 10.1787/9789264268821-en.
- OECD/Eurostat. (2018). *Oslo Manual 2018: guidelines for collecting, reporting and using data on innovation, 4th edition, The measurement of scientific, technological and innovation activities*. Paris: OECD Publishing/Luxembourg; Eurostat. DOI: 10.1787/9789264304604-en.
- Pangsy-Kania, S. (2007). *Polityka innowacyjna państwa a narodowa strategia konkurencyjnego rozwoju*. Gdańsk: Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.
- Penc, J. (1999). *Innowacje i zmiany w firmie*. Warszawa: Placet.
- Poznańska, K. (2018). Działalność badawczo-rozwojowa determinantą innowacyjności przedsiębiorstw przemysłowych w Polsce. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 538, 347–358.

- Rogowski, J. (1990). *Modele miękkie. Teoria i ich zastosowanie w badaniach ekonomicznych*. Białystok: Wydawnictwo Filii UW w Białymstoku.
- Sarstedt, M., Hair, J.F., Cheah, J.-H., Becker, J.-M., Ringle, C.M. (2019). How to specify, estimate, and validate higher-order constructs in PLS-SEM. *Australian Marketing Journal*, 27(3), 197–211. DOI: 10.1016/j.ausmj.2019.05.003.
- Weresa, M.A. (2012). *Systemy innowacyjne we współczesnej gospodarce światowej*. Warszawa: PWN.
- Weresa, M.A. (2014). *Polityka innowacyjna*. Warszawa: PWN.
- WIPO. (2023). *Global Innovation Index 2023. Innovation in the face of uncertainty*. Geneva: WIPO. DOI:10.34667/tind.48220.
- Wold, H. (1982). Soft modeling: the basic design and some extensions. W: K.G. Jöreskog, H. Wold (red.), *Systems under indirect observations: causality, structure, prediction*, t. 2 (s. 1–54). Amsterdam: North-Holland.

Streszczenie

Artykuł porusza problematykę innowacyjności krajów Unii Europejskiej. Innowacyjność gospodarki jest rozumiana jako zdolność do tworzenia i wdrażania innowacji. Cel prowadzonych badań stanowi określenie siły i kierunku wpływu nakładów na działalność B+R na pozycję innowacyjną uniijnych gospodarek. Pozycja innowacyjna to jedna z dwóch kategorii opisujących innowacyjność gospodarki. Wyraża efekty połączenia kreatywności społeczeństwa z zasobami finansowymi w określonym środowisku ekonomicznym i instytucjonalnym. Z kolei nakłady na działalność B+R są istotnym czynnikiem determinującym zdolność danej gospodarki do innowacji, tj. stopnia, w jakim ma ona możliwość tworzenia i komercjalizacji nowych pomysłów. W artykule nakłady rozpatrywane są w dwóch kategoriach: kapitału finansowego i kapitału ludzkiego. Weryfikacji podlega hipoteza główna mówiąca o tym, że nakłady na działalność B+R mają dodatni, istotny statystycznie wpływ na pozycję innowacyjną gospodarki. Do realizacji celu badań oraz weryfikacji sformułowanej hipotezy zastosowano modelowanie równań strukturalnych PLS-SEM (*partial least squares structural equation modeling*). Modele PLS-SEM oszacowano na podstawie danych przekrojowych dotyczących 27 krajów UE. Dane odnosiły się do trzech lat: 2017, 2019 i 2021. Wyniki modelowania wskazały, że w badanym okresie nakłady na działalność B+R wywierały silny, dodatni, istotny statystycznie wpływ na pozycję innowacyjną gospodarek krajów UE. Zarówno kapitał finansowy, jak i kapitał ludzki wpływały istotnie, dodatkowo na pozycję innowacyjną analizowanych gospodarek, przy czym większe znaczenie miał kapitał finansowy. W artykule dokonano również porządkowania krajów UE ze względu na wielkość nakładów na B+R, kapitał finansowy i ludzki oraz pozycję innowacyjną gospodarki.

Słowa kluczowe: nakłady na działalność B+R, innowacyjność gospodarki, pozycja innowacyjna, modelowanie równań strukturalnych, PLS-SEM.

Research and development inputs and innovation performance of European Union economies

Summary

The paper discusses the issue of the innovativeness of European Union countries. The innovativeness of an economy is defined as the ability to create and implement innovations. The purpose of the research

is to examine the strength and direction of the influence of R&D inputs on the innovation performance of EU economies. Innovation performance is one of two categories describing the innovativeness of the economy. It expresses the outcome stemming from a combination of society's creativity and the financial assets of a given economic and institutional environment. In turn, R&D inputs are an important factor determining the innovation capacity, i.e. the extent to which an economy is capable of creating and commercialise new ideas. In the paper, R&D inputs are considered in two categories: financial capital and human capital. The main hypothesis to be verified is that R&D inputs have a positive, statistically significant impact on the innovation performance of the economy. PLS-SEM (*partial least squares structural equation modelling*) was used to achieve the research goal and verify the formulated hypothesis. PLS-SEM models were estimated based on cross-sectional data from 27 EU countries. The data related to three years: 2017, 2019 and 2021. The modelling results indicated that, in the analysed period, R&D inputs had a strong, positive, statistically significant impact on the innovation performance of the economies in EU countries. Both financial and human capital had a significant, positive impact on the innovation performance of the analysed economies, with financial capital being more important. The paper also ranks EU countries according to R&D inputs, financial and human capital, and the innovation performance of the economy.

Keywords: R&D inputs, innovativeness of economy, innovation performance, structural equation modelling, PLS-SEM.

JEL: C59; O30.