

Zastosowania bibliometrii w naukach o zarządzaniu

Krzysztof Klincewicz

Artykuł prezentuje bibliometrię – ilościową analizę publikacji i patentów – oraz jej zastosowania w obszarze nauk o zarządzaniu. Szczególny nacisk położony jest na wkład bibliometrii w zarządzanie innowacjami i technologiami oraz prezentację podejścia „tech mining” (eksploracji technologii). Artykuł omawia praktyczne zastosowania bibliometrii na przykładzie analizy rozwoju technologii laserów półprzewodnikowych.

1. Wprowadzenie

Bibliometria to zbiór technik badawczych wykorzystywanych do analizy publikacji i patentów. Jest odmianą badań ilościowych, co ułatwia odróżnienie bibliometrii od analiz literaturowych i studiów bibliograficznych, które koncentrują się na treści, a nie liczbie analizowanych pozycji literaturowych.

W kolejnych częściach niniejszego artykułu zaprezentowane zostaną główne zastosowania bibliometrii, ze szczególnym naciskiem na możliwości jej wykorzystania w naukach o zarządzaniu.

Bibliometryczne badania związane z zarządzaniem można podzielić na dwa podstawowe nurty:

- metaanalizę dyscypliny, czyli historyczne analizy dyskursu o zarządzaniu, pozwalające na identyfikację zmieniających się na przestrzeni lat zainteresowań badawczych i liczących się ośrodków naukowych,
- analizę działalności badawczo-rozwojowej (B+R), czyli wykorzystanie bibliometrii dla potrzeb zarządzania innowacjami i technologiami.

Artykuł prezentuje przykłady badań reprezentujących pierwszy z tych nurtów, a następnie omawia możliwości wykorzystania bibliometrii do analiz rozwoju nowych technologii. Potencjał drugiego nurtu badawczego zostanie przedstawiony na przykładzie projektu badawczego dotyczącego decyzji technologicznych firm rozwijających niebieskie lasery półprzewodnikowe. Tekst zaoferuje wreszcie czytelnikowi praktyczne wskazówki dotyczące prowadzenia projektów, opartych na technikach bibliometrycznych.

2. Geneza i zastosowania bibliometrii

Impuls dla rozwoju bibliometrii dało stworzenie w 1963 r. *Science Citation Index*, regularnie aktualizowanej listy publikacji naukowych i spisu zawartych w nich odwołań do wcześniejszych pozycji bibliograficznych. Historyk nauki Derek J. de Solla Price zauważył istnienie liczbowych zależności w obszarze produkcji naukowej, co utwierdziło go w przekonaniu o możliwości prowadzenia ilościowych analiz osiągnięć badawczych w sposób przypominający modelowanie ekonometryczne (Solla Price 1967: 56–57). Opisał również potencjał ilościowej analizy przypisów bibliograficznych zawartych w artykułach naukowych (Solla Price 1967: 102–120). W 1969 r. Alain Pritchard zapoczątkował rozwój bibliometrii jako nowej dyscypliny badawczej, poszukując zależności statystycznych w odniesieniu do książek i innych mediów (Nowak 2006: 16).

Bibliometria koncentruje się dziś na analizach publikacji w periodykach (głównie czasopismach naukowych) ze względu na możliwość gromadzenia danych w długim horyzoncie czasowym oraz łatwość wykorzystywania komputerowych baz danych zawierających listy i streszczenia publikacji. Drugim ważnym źródłem danych do analiz bibliometrycznych są bazy patentów – ze względu na zbliżone metody i zastosowania oraz rozwiązywanie pokrewnych problemów badawczych dochodzi obecnie do zatarcia granic między bibliometrią a patentometrią, wcześniej postrzeganą jako odrębna dyscyplina (Nowak 2006: 25). OECD, Eurostat i instytucje tworzące politykę naukowo-techniczną w krajach członkowskich Unii Europejskiej opierają się na terminologii wprowadzonej przez wyznaczający standardy metodologiczne Podręcznik Oslo (*Oslo Manual*), który w odniesieniu do bibliometrii stosuje angielski akronim LBIO (ang. *literature-based indicators of innovations*, wskaźniki innowacji oparte na literaturze) (OECD 2005: 22).

Techniki bibliometryczne znajdują różnorodne praktyczne zastosowania. Najczęstszym jest **dostarczanie informacji, które mogą być wykorzystane w procesach podejmowania decyzji**, przy poszukiwaniu odpowiednich pozycji literaturowych, badaczy lub ośrodków naukowych. Ilościowa analiza dorobku publikacyjnego pozwala również na **ewaluację – ocenę dorobku indywidualnych badaczy, zespołów lub instytucji**, w tym tworzenie rankingów i obliczanie popularnych w naukach ścisłych i biologicznych wskaźników wpływu (ang. *impact factor*), obliczanych jako iloraz liczby cytatów publikacji danego autora i liczby wszystkich tekstów, opublikowanych przez niego w analizowanym okresie. Działalność naukowa od lat jest postrzegana jako obszar konkurencji, w której instytucje i badacze dążą do uzyskania jak najlepszej pozycji (Solla Price 1967: 93), a techniki bibliometryczne ułatwiają bezpośrednie porównania pozycji w poszczególnych obszarach badawczych. W niektórych ośrodkach akademickich i systemach finansowania nauki wysoka pozycja w rankingach cytawalności pozwala na awans naukowy

oraz uzyskanie dodatkowych środków na badania, a jej utrzymanie jest postrzegane jako podstawowy cel pracy naukowej. Najbardziej zaawansowanym scenariuszem jest **wykorzystywanie danych bibliometrycznych w powiązaniu z danymi z innych źródeł, najczęściej danymi socjoekonomicznymi do rozwiązywania problemów naukowych**. Trzy wymienione powyżej zastosowania bibliometrii – informacja, ewaluacja i rozwiązywanie problemów naukowych – zostaną szczegółowo zaprezentowane na przykładzie możliwości wykorzystania technik bibliometrycznych w zarządzaniu.

Dla niewtajemniczonych bibliometria może wydawać się zbiorem banalnych technik analitycznych. W rzeczywistości poprawne metodologicznie stosowanie tych technik stanowi poważne wyzwanie dla badacza, wymaga odpowiedniego przygotowania merytorycznego i doświadczenia w korzystaniu ze źródeł danych bibliometrycznych. Ograniczenia praktyczne w gromadzeniu danych doprowadziły do rezygnacji z analiz bibliometrycznych książek (Nowak 2006: 31–32). Współcześnie najczęściej stosowanymi źródłami są elektroniczne bazy recenzowanych publikacji naukowych: *ISI Web of Science/Web of Knowledge*, *INSPEC*, *Compendex*, *Scopus*, *MEDLINE*, *ProQuest ABI/Inform* oraz *EBSCO*. Wykorzystanie baz ułatwia przetwarzanie danych masowych, które byłoby niezwykle pracochłonne bez wsparcia oprogramowania komputerowego. Poszczególne bazy nie zawierają oczywiście wszystkich publikacji z danej dziedziny nauki, jednak wydawca każdej z nich dąży do gromadzenia najważniejszych, najbardziej popularnych pozycji. Dla każdego z periodyków indeksowanych w danej bazie rejestrowane są wszystkie opublikowane w nim artykuły z lat objętych indeksacją i chociaż kolekcja czasopism nie jest kompletna, przez badacza jest traktowana jako reprezentatywny przegląd dorobku naukowego. Badacze najczęściej zajmują się analizą całej populacji (czyli tzw. korpusu tekstów, pobranego z określonej bazy na podstawie określonych kryteriów). Większość analiz bibliometrycznych nie odwołuje się więc do prób losowych, często wykorzystywanych w badaniach ilościowych.

Analizy bibliometryczne dotyczą zwykle tekstów anglojęzycznych – w związku z milcząco przyjmowanym przez badaczy założeniem wyższości takich publikacji nad krajowymi, które sytuuje na zdecydowanie lepszych pozycjach badaczy, dla których angielski jest językiem ojczystym.

Specjaliści zajmujący się bibliometrią zaobserwowali zależności statystyczne, nazywane czasami „prawami” (Nowak 2006: 65–66). Przykładem mogą być: prawo Lotki, opisujące tendencje w zakresie produktywności naukowej, mierzonej liczbą publikacji pojedynczego autora (Nowak 2006: 75), czy prawo Zipfa, odnoszące się do częstotliwości występowania w tekstach naukowych określonych pojęć, w tym słów kluczowych (Nowak 2006: 90–91). „Prawa” te nie mają jednak charakteru bezwzględnego, opisują zależności obserwowane jedynie w niektórych przypadkach, a ich zastosowaniem zajmują się głównie specjaliści z obszaru nauk o informacji i bibliotekoznawstwa. Bibliometria znajduje liczne zastosowania w obszarze nauk

o zarządzaniu, gdzie wspomniane „prawa” nie są zwykle wykorzystywane, a techniki analityczne stosowane są jako sposób śledzenia rozwoju dyskursu o zarządzaniu lub w powiązaniu z analizami działalności badawczo-rozwojowej firm i uczelni.

Oprócz zestawień liczby publikacji w przekroju geograficznym, tematycznym czy chronologicznym, typowe wskaźniki bibliometryczne odwołują się m.in. do:

- częstotliwości cytowań publikacji i patentów (Schmoch i Gauch 2005),
- liczby współautorów tekstów (pozwalającej opisać procesy zbiorowego tworzenia wiedzy naukowej oraz jej transferu między współpracującymi uczestnikami zespołów badawczych oraz instytucjami),
- zróżnicowania obszarów badawczych interesujących autorów tekstów lub zatrudniające ich instytucje (Carlsson i in. 2002: 243), wskazujące na koncentrację lub dywersyfikację prac badawczo-rozwojowych.

W krajach zachodnich bibliometria nie cieszy się najlepszą sławą w środowiskach naukowych ze względu na jej nadużywanie przez osoby nieświadome praktycznych ograniczeń technik analitycznych. Mechanizmy alokacji środków na badania oraz kariery akademickie w niektórych krajach opierają się na wymiernym dorobku publikacyjnym i popularności publikacji danego badacza. W rzeczywistości gromadzone dane ilościowe nie pozwalają na ocenę jakości dorobku naukowego, a znający zasady oceny badacze znajdują sposoby na podwyższanie własnych pozycji rankingowych.

Propagowaniem naukowych zastosowań technik bibliometrycznych zajmuje się czasopismo akademickie *Scientometrics*, są one również regularnie stosowane w artykułach publikowanych w renomowanych magazynach z obszaru nauk o zarządzaniu, takich jak *Administrative Science Quarterly* czy *Research Policy*. W Polsce bibliometria pozostaje przedmiotem zainteresowań zaledwie kilku badaczy (por. przegląd polskich badań w: Kozłowski 2009: 46).

Niniejszy artykuł koncentruje się na zastosowaniach bibliometrii w naukach o zarządzaniu. Dwa podstawowe obszary zastosowań to: **metaanaliza dyscypliny**, czyli dyskursu o zarządzaniu, oraz **wykorzystanie bibliometrii w obszarze zarządzania innowacjami i technologiami**. Kolejne części artykułu zaprezentują poszczególne obszary zastosowań wraz z przykładami projektów badawczych oraz typowymi wyzwaniem, z jakimi muszą się zmierzyć badacze.

3. Bibliometria w naukach o zarządzaniu – metaanaliza dyscypliny

Metaanaliza dyscypliny oznacza spojrzenie „z lotu ptaka” na dorobek badaczy w obszarze zarządzania, zmieniające się na przestrzeni lat zainteresowania badawcze, powracające motywy, najczęściej cytowane pozycje literaturowe i zróżnicowane szkoły badawcze.

W nawiązaniu do przedstawionych wcześniej trzech podstawowych zastosowań technik bibliometrycznych, metaanaliza dyskursu o zarządzaniu może przydać się jako:

- źródło informacji – pozwalające zidentyfikować kluczowe publikacje związane z interesującą nas tematyką; autorów, z których dorobkiem warto się zapoznać; tematy badawcze, interesujące badaczy w innych krajach oraz mogące stanowić inspirację do dalszych badań;
- podstawa ewaluacji – przez porównanie prac określonego zespołu badawczego z analogicznym dorobkiem wiodących ośrodków badań nad zarządzaniem, a także porównanie tematyki prowadzonych badań w celu weryfikacji oryginalności prac lub ich związków z dorobkiem dyscypliny;
- punkt wyjścia do weryfikacji hipotez naukowych – dotyczących paradygmatów badawczych, formowania się perspektyw i szkół w zarządzaniu, tendencji retorycznych lub przejściowych fascynacji modnymi tematami.

Ostatnia grupa zastosowań jest szczególnie interesującą podstawą publikacji naukowych w obszarze zarządzaniu. Klasycznym przykładem są badania Barleya i Kundy (1992), którzy poddali analizie publikacje związane z zarządzaniem ludźmi, powstałe na przestrzeni z lat 1870–1988, identyfikując dwa przeciwstawne, ale regularnie powracające motywy – dążenie do podwyższania produktywności (związane ze stanowczym egzekwowaniem obowiązków pracowniczych, optymalizacją kosztów i eliminacją zbędnych stanowisk) oraz nacisk na konieczność zaspokajania potrzeb pracowników (prowadzący do rozbudowy systemów motywacyjnych, podejmowania przez organizacje odpowiedzialności za pozazawodowe obszary życia swoich pracowników oraz ponoszenia znaczących nakładów na rozwój kompetencji pracowniczych). Badacze pokazali, że oba motywy cyklicznie powracały na przestrzeni lat, tworząc podstawy dla pięciu fal w amerykańskiej teorii zarządzania (Barley i Kunda 1992: 384). W danym okresie historycznym jeden z nich wypierał drugi, kształtując stosunek do pracowników. Badacze zestawili dane bibliometryczne z danymi ekonomicznymi, co pozwoliło im na potwierdzenie związków pomiędzy sytuacją gospodarki Stanów Zjednoczonych a tendencjami w zakresie zarządzania ludźmi: w okresie spadkowym cyklu koniunkturalnego dominowały tendencje do „twardego” zarządzania, podczas gdy faza wzrostowa związana była z docenianiem pracowników i ich potrzeb (Barley i Kunda 1992: 387–391).

Innym często przywoływanym przykładem bibliometrycznych metaanaliz w zarządzaniu są badania Abrahamsona nad modami w zarządzaniu (Abrahamson 1991; Abrahamson i Fairchild 1999). Koncepcja mód w zarządzaniu dotyczy krótkotrwałych fascynacji podejściami, koncepcjami lub teoriami, które są popularyzowane przez poradniki menedżerskie, firmy doradcze, organizatorów seminariów i szkoleń. Podobnie jak opisane przez Barleya i Kundę (1992) motywy, również mody wzajemnie się wypierają (Abrahamson i Faichild 1999: 733). Na przykład popularność reinżynieringu (*Business*

Process Reengineering, BPR) jako dążenia do redukcji kosztów, optymalizacji zatrudnienia i doskonalenia procesów organizacyjnych stopniowo malała w pierwszej połowie lat 90. XX w., ustępując miejsca zarządzaniu wiedzą, które podkreślało znaczenie pracowników jako kluczowego zasobu firmy, postulowało projektowanie struktur organizacyjnych pozwalających na zachowanie redundancji wiedzy i tworzenie klimatu zaufania oraz współpracy (Klincewicz 2006: 53). Abrahamson i Fairchild poddali szczegółowym analizom rekomendacje tworzenia kół jakości (*quality circles*), które zdominowały publikacje dotyczące organizacji pracy w zakładach produkcyjnych w latach 80. XX w. (Abrahamson i Fairchild 1999: 721). Analiza liczby nawiązań do tej tematyki w tytułach i streszczeniach popularnych i naukowych artykułów związanych z zarządzaniem pozwoliła wstępnie zweryfikować określone hipotezy, dotyczące zjawiska mód w zarządzaniu (Abrahamson i Fairchild 1999), a kontynuatorzy dalej weryfikowali je w oparciu o inne mody (por. Carson i in. 2000; Klincewicz 2006). Przykłady zidentyfikowanych regularności to m.in.:

- sposoby upowszechniania mody – zwykle popularne, menedżerskie publikacje na modny temat wyprzedzają teksty naukowe, gdyż badacze podejmują modny temat, widząc jego popularność wśród praktyków zarządzania i prawdopodobnie spodziewając się wymiernych korzyści z podjęcia tej tematyki, w postaci środków na badania i możliwości prowadzenia projektów doradczych (Abrahamson i Fairchild 1999: 722);
- fakt istnienia nisz tematycznych – niszą może być np. obszar zarządzania ludźmi, a w danym okresie historycznym określona nisza może pomieścić tylko jedno dominujące podejście (Abrahamson i Fairchild 1999: 732);
- mechanizmy „zapominania” o modzie – w tym tendencje do rozmywania jej zawartości merytorycznej i płynnego przechodzenia przez autorów do nowych koncepcji, które – chociaż fundamentalnie przeciwstawne wcześniejszemu, modnemu podejściu – bywają prezentowane jako jego naturalna kontynuacja (Abrahamson i Fairchild 1999: 729–730).

Trzeci przykład zastosowań bibliometrii do analiz dorobku nauk o zarządzaniu stanowią próby budowy taksonomii dyscypliny – oddolnego wyodrębniania obszarów badawczych, podejść, szkół i teorii, opartego na analizach publikacji, a nie z góry przyjętych podziałach. Przykładowo, współcześnie rozmywają się granice między tradycyjnymi poddyscyplinami, takimi jak marketing, zarządzanie strategiczne czy teoria organizacji, a bibliometria pozwala wyodrębnić grupy wzajemnie cytujących się i współpracujących badaczy, jak również powstające paradygmaty, zgodnie z przyjętą w teorii organizacji interpretacją paradygmatów jako niewspółmiernych perspektyw badawczych, opartych na radykalnie odmiennych założeniach epistemologicznych i ontologicznych (Burrell i Morgan 1985: 23). Przykładem tego typu badań jest tekst Ramos-Rodrígueza i Ruíz-Navarro (2004), którzy

poddali analizie dyscyplinę zarządzania strategicznego, wyodrębniając najczęściej cytowane publikacje oraz wykorzystując analizę skupień do identyfikacji odmiennych szkół badawczych – grup badaczy, najczęściej powołujących się na dorobek określonych autorów.

Zaprezentowane przykłady projektów badawczych dotyczą analiz dyskursu związanego z zarządzaniem – liczby i zawartości publikacji naukowych lub popularyzatorskich. Prowadzenie analiz na poziomie meta pozwala na identyfikację istotnych zależności w dotychczasowym dorobku dyscypliny i systematyzację wiedzy naukowej. Jednocześnie przyjęta orientacja badawcza prowadzi do utraty kontaktu z podstawowym przedmiotem zarządzania – działalnością firm i decyzjami menedżerskimi. Kolejna część artykułu zaprezentuje alternatywne zastosowanie bibliometrii w zarządzaniu, które jest blisko związane ze specyfiką funkcjonowania organizacji gospodarczych, a jednocześnie jest często wykorzystywane zarówno przez zagranicznych badaczy, jak i firmy doradcze.

4. Bibliometria w naukach o zarządzaniu – analiza działalności badawczo-rozwojowej

Bibliometria jest współcześnie najczęściej wykorzystywana w obszarze zarządzania w badaniach dotyczących innowacji i technologii. Badacze podejmują się analiz dorobku innych niż zarządzanie dyscyplin nauki i techniki, które traktowane są jako obszary prac badawczo-rozwojowych, prowadzonych przez instytucje naukowe i organizacje gospodarcze. Ta perspektywa badawcza bywa określana jako *tech mining* – eksploracja technologii – w nawiązaniu do tytułu książki Portera i Cuminghama (2005).

Tech mining pozwala na analizowanie dorobku konkretnych obszarów technologicznych, np. nanotechnologii, optoelektroniki czy informatyki. Najczęściej prowadzone analizy typu *tech mining* pozwalają zaprezentować następujące zagadnienia:

- tendencje w rozwoju określonej technologii (popularność technologii wyrażaną liczbą publikacji lub patentów, jak również popularność określonych podejść badawczych powiązanych z technologią, które identyfikowane są w oparciu o słowa kluczowe lub kody w bazie danych),
- aktorów na scenie innowacji (badaczy, zespoły i organizacje, prowadzące prace badawczo-rozwojowe, jak również całe regiony lub kraje jako miejsca prowadzenia określonych badań),
- wzorce współpracy badawczej (współautorstwo artykułów przez reprezentantów różnych ośrodków naukowych krajowych i zagranicznych, jak również zaobserwowane przypadki współpracy firm z uczelniami),
- podobszary badawcze związane z daną technologią (identyfikacja wariantów technologii, alternatywnych sposobów rozwiązywania konkretnych problemów technicznych oraz pojawiających się okazji do nowych badań).

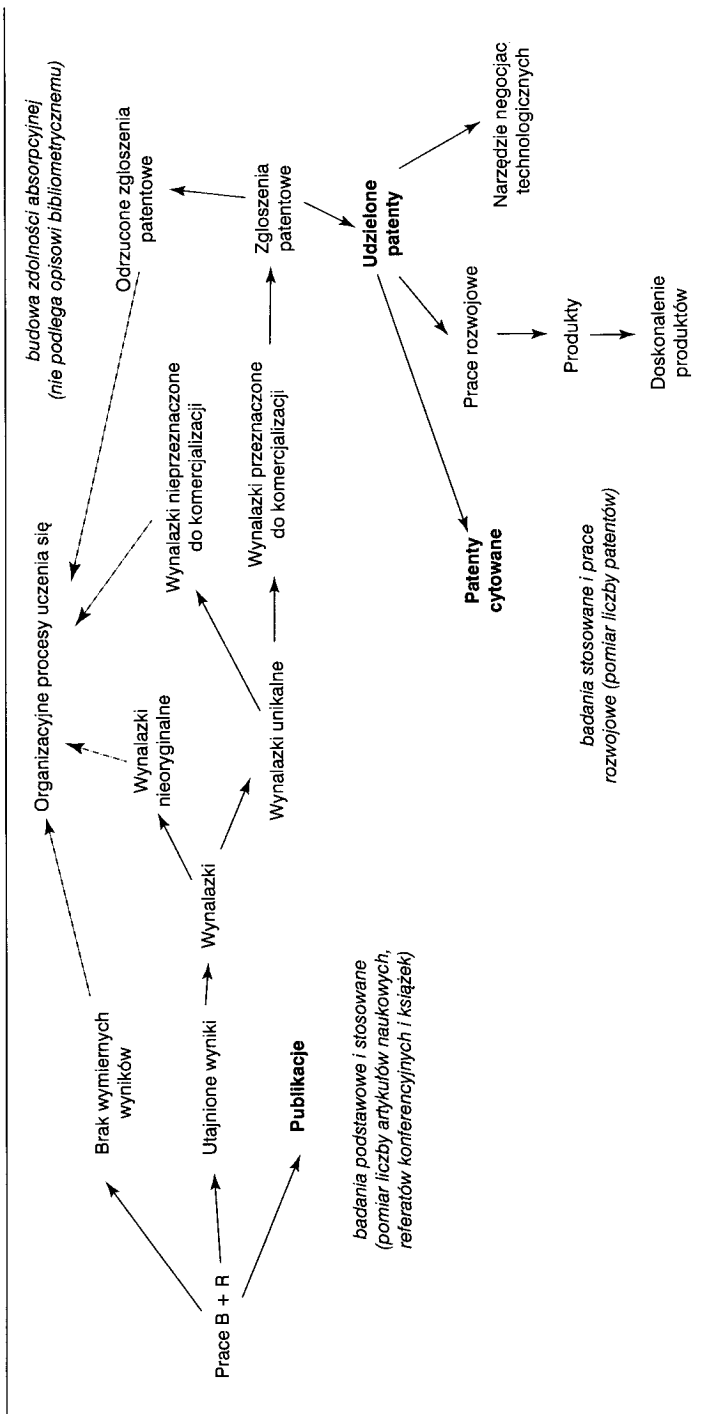
Zgodnie z zaproponowaną wcześniej typologią zastosowań bibliometrii, *tech mining* może być wykorzystywany w trzech odmiennych celach, którymi są:

- informacja – często wykorzystywana w ramach wywiadu gospodarczego do identyfikacji działań konkurentów (publikacje naukowe ujawniają szczegółowe zainteresowania badawcze firm, a zgłoszenia patentowe pozwalają przewidzieć opracowywane przez konkurenta produkty i zidentyfikować potencjalne nowe wejścia na rynek), w *headhuntingu* (gdzie poszukiwani są kompetentni badacze do działu B+R firmy), jak również przy identyfikacji możliwych aliansów strategicznych oraz celów akwizycyjnych (na rynkach technologicznych, partnerstwo lub przejęcie firmy posiadającej określoną technologię jest zwykle tańszym i szybszym rozwiązaniem niż samodzielne prace nad jej odpowiednikiem);
- ewaluacja – przy ocenie przewag i słabości organizacji lub kraju w porównaniu z innymi uczestnikami danego obszaru badawczego, co pozwala na dostosowanie poziomu aspiracji do potencjału badawczo-rozwojowego, określanie priorytetów w obszarze B+R i ustalanie realistycznych celów strategicznych;
- zastosowania naukowe – dotyczące albo historycznego spojrzenia na wybrany obszar technologiczny (m.in. analizy rozwoju technologii i aktywności poszczególnych instytucji), albo poszukiwania regularności w działaniach badawczo-rozwojowych (np. tendencji w zakresie współpracy badawczej między uczelniami a firmami, typowych dla danego obszaru kulturowego).

Badacze zajmujący się zarządzaniem technologiami nie muszą posiadać profesjonalnej wiedzy technicznej – koncentrują się na analizach danych bibliometrycznych, nie wchodząc w szczegóły konkretnych badań, które są dokumentowane w analizowanych artykułach. Zrozumienie analizowanego obszaru technologicznego będzie oczywiście przydatne na etapie analiz, grupowania publikacji czy identyfikowania motywów badawczych. Warto jednocześnie pamiętać, że bibliometria zapewnia jedynie ograniczony kontakt z faktami historycznymi, strategiami firm i procesami badawczo-rozwojowymi. Analizy prowadzone są na podstawie zagregowanych danych, dotyczących rynków lub domen technologicznych. W projektach badawczych bibliometria jest, jak się więc wydaje, dobrym uzupełnieniem technik jakościowych. Oferuje dodatkowe spojrzenie na rozwój analizowanej technologii, które pozwala zwiększyć rzetelność oferowanych interpretacji za sprawą triangulacji technik badawczych.

Warto prześledzić ukryte założenia, które przyjmują badacze stosujący bibliometrię do analiz typu *tech mining*, oraz być świadomym ograniczeń wyciąganych w ten sposób wniosków.

Po pierwsze badacze przyjmują uproszczony obraz rzeczywistości technologicznej, zgodnie z którym większa liczba opublikowanych w danym obszarze prac lub przyznanych patentów odpowiednio zwiększać będzie



Rys. 1. Prace badawczo-rozwojowe, publikacje i patentowanie jako podstawa do analiz bibliometrycznych. Źródło: opracowanie własne.

prawdopodobieństwo komercyjnego sukcesu w wyniku stworzenia innowacji. W przypadku pojedynczych organizacji takie założenie może prowadzić do mylących wniosków, jednak analizy bibliometryczne dotyczą zwykle całego rynku i służą porównaniu osiągnięć wielu organizacji. Przy dużej liczbie przetwarzanych danych oraz koncentracji na szczególnie aktywnych badawczo podmiotach, zgodnie z prawem wielkich liczb zwiększa się prawdopodobieństwo trafnego odzwierciedlenia rzeczywistych tendencji rozwojowych danej technologii.

Uzyskanie patentu nie kończy cyklu komercjalizacji technologii – aby uzyskać gotowy do wprowadzenia na rynek produkt, niezbędne są dodatkowe prace rozwojowe, a później także dalsze doskonalenie produktów wraz z rozwojem rynku i ewolucją oczekiwań klientów. Nie wszystkie opatentowane wynalazki będą jednak komercjalizowane. W okresie kilkuletniego oczekiwania na przyznanie patentu, firma może radykalnie zmienić swoją strategię, rynki docelowe i zainteresowania technologiczne. Zmianom może też ulec sam rynek i specyfika technologii, a wynalazek może okazać się przestarzały lub nieprzystosowany do nowej, dominującej formy technologii. Niektóre firmy nie myślą wreszcie o komercjalizacji wszystkich wypracowanych wynalazków, dążąc za to do budowy obszernego portfolio patentów, które staje się istotnym argumentem w ewentualnych negocjacjach technologicznych. Na przykład firma-posiadacz 50 patentów w specyficznym obszarze technologicznym wydawać się może odpowiednim partnerem, z którym inny specjalista danego rynku może podpisać umowę o wymianie praw licencyjnych.

Część takich „martwych” patentów można zidentyfikować za pomocą technik bibliometrycznych – objęte nimi wynalazki nie stanowią podstawy dla kolejnych, powiązanych zgłoszeń patentowych tej samej firmy ani też nie są cytowane przez innych wynalazców. Bazy patentów zawierają w odniesieniu do każdego zarejestrowanego patentu aktualne informacje o tym, jakie kolejne patenty odwołują się do niego – pozwalają więc wyodrębnić wynalazki postrzegane przez uczestników rynku jako istotny wkład w rozwój danej technologii od tych, które mają bardziej ograniczone zastosowania.

Zgodnie z powyższą prezentacją, bibliometria pozwala więc uchwycić tylko niektóre aspekty prac badawczo-rozwojowych. Niepodlegające opisowi bibliometrycznemu elementy procesów organizacyjnego uczenia się prowadzą zwykle do budowy zdolności absorpcyjnych firmy, nie generując jednak wymiernych rezultatów w postaci innowacji. Z kolei dla zmiennych poddających się analizom bibliometrycznym można opracować dalsze miary efektywności B+R, np. przez porównania z poniesionymi nakładami finansowymi, liczbą zaangażowanych badaczy, wynikami osiąganymi przez inne firmy lub wynikami tej samej firmy w innych obszarach technologicznych.

5. Praktyczne aspekty wykorzystania bibliometrii w zarządzaniu technologiami

Proces badawczy w bibliometrii rozpoczyna się od określenia problemu badawczego i szczegółowych pytań badawczych. Kolejnym krokiem jest decyzja, czy analiza będzie się opierać na zbiorze publikacji czy patentów oraz wybór odpowiedniej bazy danych.

Bazy wykorzystywane do analiz bibliometrycznych zawierają standardowe indeksy, prezentujące m.in. następujące dane w odniesieniu do każdej publikacji:

- autorów,
- ich afiliacje (niektóre bazy – w tym często wykorzystywana w zarządzaniu technologiami baza *INSPEC* – wymieniają jedynie afiliację pierwszego autora tekstu, co uniemożliwia analizę współpracy między różnymi ośrodkami),
- tytuł i streszczenie tekstu,
- kody opisujące zawartość tekstu (przypisywane przez wyspecjalizowanych redaktorów, pracujących dla wydawcy bazy, na podstawie przyjętej przez wydawcę taksonomii; najbardziej szczegółowy sposób opisu publikacji oferuje baza *INSPEC*, korzystająca z taksonomii opracowanej przez *Institution of Engineering and Technology* (IET); *INSPEC* oferuje również tzw. *chemical index*, wskazujący wzory związków chemicznych, które występują w danym tekście),
- słowa kluczowe (zwykle wybierane przez autorów publikowanych tekstów, co nie gwarantuje spójności klasyfikacji ani rzetelnego odzwierciedlenia zawartości indeksowanych publikacji),
- dane identyfikujące pismo akademickie lub zbiór wystąpień konferencyjnych, z którego pochodzi dany tekst.

Bazy patentów stosowane do analiz bibliometrycznych to przede wszystkim bezpłatnie udostępniane w Internecie bazy *USPTO* (*United States Patent and Trademark Office*, Stany Zjednoczone) i *EPO* (*European Patent Office*, Unia Europejska). Analogicznie do baz publikacji naukowych, zgłoszenia patentowe ujawniają autorów wynalazku oraz ich miejsce pracy. Warto pamiętać, że wynalazca (ang. *inventor*) nie musi być jednocześnie właścicielem patentu (ang. *assignee*), a różnice między miejscami tworzenia wiedzy technicznej a ośrodkami kontrolującymi własność tej wiedzy są częstym tematem badań w zarządzaniu technologiami. Bazy patentowe stosują własne schematy klasyfikacyjne, w które wpisywane są poszczególne wynalazki na podstawie deklaracji zgłaszających. Praktyka gospodarcza wskazuje, że firmy zgłaszające patenty czasami świadomie dążą do przypisania własnego wynalazku do niewłaściwej klasy, aby zmylić czujność konkurentów, śledzących zgłoszenia w szczególnie interesującej ich klasie.

Wybór odpowiedniej bazy danych do badań bibliometrycznych jest zwykle uzależniony od możliwości finansowych (korzystanie z baz publikacji jest odpłatne, a uczelnie kupują licencje tylko niektórych baz) oraz ade-

kwatności dla danego obszaru technologicznego lub problematyki badawczej (np. baza INSPEC najlepiej nadaje się do analiz elektroniki i informatyki, baza MEDLINE – do nauk medycznych, a *ISI Web of Science/Web of Knowledge* – do analizy cytowań). Przy analizie patentów amerykańska baza USPTO wydaje się kolekcją najbardziej reprezentatywną dla podmiotów zaangażowanych w globalny obrót technologiami, ale europejska baza EPO lepiej pozwala odzwierciedlić aktywność wynalazczą w poszczególnych krajach kontynentu. Decyzja o wyborze bazy wpłynie na możliwości prowadzenia analiz ze względu na zróżnicowane struktury indeksów baz¹.

Sposób gromadzenia danych bibliometrycznych decyduje o rzetelności prowadzonego badania. Bazy publikacji systematycznie się powiększają – wydawcy wprowadzają świeżo publikowane artykuły, jak również podpisują umowy z redakcjami kolejnych czasopism, na podstawie których mogą dodawać zawartość ich archiwalnych numerów. Proste polecenie wyszukiwania w tej samej bazie zadane w odstępie kilku miesięcy może więc przynieść zgoła odmienne rezultaty – a więc wynik badań nie będzie powtarzalny, a raz przeprowadzone analizy nie są możliwe do replikacji, co podważa ich rzetelność. Z tego względu badacze powinni dokumentować datę pobrania danych z bazy, jak również unikać analizy publikacji najnowszych, które mogą nie być jeszcze poprawnie zindeksowane. Wydawcy baz wskazują zwykle, który rocznik publikacji jest już kompletny – zwykle zakończenie prac nad indeksowaniem rocznika następuje w pierwszej połowie kolejnego roku kalendarzowego.

Niezbędna jest staranna prezentacja konkretnego polecenia wyszukiwania, które było wykorzystane w celu wyodrębnienia podzbioru tekstów do dalszych analiz. W zależności od problemu badawczego, wyszukiwanie może dotyczyć tematyki publikacji (np. określone kody, słowa kluczowe, pojęcia występujące w tekście tytułu i streszczenia artykułu) lub autorów (nazwiska, nazwy instytucji, miast lub krajów). Bazy publikacji zawierają niestety wiele błędów, które powstały na etapie indeksowania albo zostały przejęte z oryginalnych publikacji drukowanych. Typowe są literówki w obco brzmiących nazwiskach autorów (np. zamiast *Porowski* – *Porowowski*, *Porowshi*), różne warianty nazwy tej samej instytucji (np. *Institute of Physics*, *Department of Physics*, *Faculty of Physics*) oraz błędne przypisania geograficzne. Typowe polecenia wyszukiwania mogą więc prowadzić do przeoczenia istotnych przypadków lub zależności. Jeśli poszukujemy tekstów, które zostały stworzone przez polskich autorów, pominiemy te publikacje, które zostały błędnie przypisane do innych krajów (np. pochodzące zgodnie z bazą z „*Warsaw, Czech Republic*”). Jedynym sposobem na uniknięcie tego błędu byłby przegląd artykułów ze wszystkich krajów, jednak byłby on niezwykle pracochłonny. Z doświadczeń autora niniejszego artykułu wynika, że błędy indeksowania tekstów z ostatnich lat zdarzają się rzadko – stanowiły istotny problem w odniesieniu do tekstów pochodzących z krajów Europy Środkowo-Wschodniej w pierwszej połowie lat 90. XX w. Wybraną kolekcję tekstów warto poddać operacji ręcznego czyszczenia danych – pozwoli ona

na eliminację niektórych błędnie sklasyfikowanych tekstów oraz ujednoczenie nazewnictwa instytucji i nazwisk autorów.

Gdy problem badawczy dotyczy porównań instytucji lub krajów, przydatna może się okazać normalizacja wyników tak, by odzwierciedlały one rzeczywisty potencjał analizowanego podmiotu, niezależnie od jego wielkości. Liczbę publikacji w danym obszarze można odnieść do liczby wszystkich publikacji danego podmiotu, co pozwoli wskazać na względne znaczenie obszaru. Dane bibliometryczne można też normalizować w oparciu o serie danych z innych obszarów, powiązanych z działalnością badawczo-rozwojową (np. liczba badaczy w narodowym sektorze B+R, skala krajowych wydatków na B+R). Przydatny okazuje się również indeks ujawnionych przewag technologicznych (ang. *revealed technological advantage*, RTA), nawiązujący do dorobku ekonomii międzynarodowej i obliczany analogicznie do ekonomicznych wskaźników związanych z teorią przewag komparatywnych.

Zgromadzone i wstępnie opracowane dane bibliometryczne można następnie poddać analizom, z których najczęściej stosowane są:

- statystyki opisowe, zestawienia liczebności publikacji w poszczególnych obszarach tematycznych lub geograficznych i porównania dwóch cech (diagramy rozprożeń i tabelaryczna forma prezentacji),
- analiza trendu na podstawie serii danych historycznych (specjaliści zajmujący się bibliometrią wykazali szczególną przydatność krzywej logistycznej do opisu zmian liczby publikacji, por. Porter i Cummingham 2005: 194–195),
- analiza skupień – pozwalająca zidentyfikować autorów, zespoły badawcze, instytucje lub kraje zajmujące się zbliżonymi zagadnieniami badawczymi (w naukach o zarządzaniu to podejście odpowiada analizie grup strategicznych, czyli identyfikacji podmiotów, które są podobnie wyposażone w zasoby, np. wiedzę, oraz reprezentują podobną orientację, np. zainteresowania i aspiracje w zakresie B+R),
- analiza czynnikowa – stosowana w celu identyfikacji ukrytych zmiennych (ang. *latent variables*), wspólnych charakterystyk różnych prac badawczych (np. analiza tysięcy kodów klasyfikacyjnych przypisywanych do poszczególnych publikacji pozwoli na stwierdzenie współwystępowania pewnych kodów, a następnie wyodrębnienie czynnika, który identyfikować może określoną orientację badawczą),
- analiza sieciowa – odzwierciedlająca współpracę pomiędzy indywidualnymi badaczami lub instytucjami przy tworzeniu artykułów, albo też cytowania wcześniejszych prac badawczych²,
- szczegółowe analizy jakościowe – prowadzone na podstawie zawartości streszczeń publikacji dla wybranych autorów, instytucji lub tematów w celu lepszego zrozumienia specyfiki prac badawczo-rozwojowych (zwykle jest to wstęp do dalszych badań, np. wywiadów lub badań ankietowych).

Analizy bibliometryczne wiążą się z licznymi problemami, które mogą wynikać z jakości dostępnych danych. Wspomniano już o błędach w indek-

sach baz publikacji oraz wprowadzających w błąd deklaracjach podmiotów zgłaszających patenty. Poważniejszym problemem jest sama natura bibliometrii, zainteresowanej ilością, a nie jakością publikacji – podczas gdy wiele zgromadzonych w bazach tekstów to pozycje nieistotne, o niskiej wartości naukowej lub wręcz niepoprawne metodologicznie, jak również przypadki autoplagiatów. Mimo to autor lub ośrodek, który „wyprodukuje” odpowiednio dużo publikacji, będzie przez bibliometrę traktowany jako podmiot znaczący. Jednym z rozwiązań tego problemu jest ograniczenie się do analiz wyłącznie określonych, renomowanych czasopism (co nadal nie rozwiązuje problemu, gdyż nawet najbardziej uznane pisma popełniają czasami błędy w doborze artykułów).

W przeszłości uważano, że jakość tekstów naukowych jest odzwierciedlana przez wskaźniki cytowań. Oparcie się na nich może jednak prowadzić do równie zawodnych rezultatów, gdyż prezentuje jedynie tendencje w zakresie czytania i przywoływania literatury naukowej oraz zwyczaję panujące w środowiskach akademickich poszczególnych krajów. Socjolog Robert Merton sugerował istnienie tzw. efektu Mateusza w nauce – samonapędzającej się pętli cytowań, w której najczęściej cytowani autorzy będą też najchętniej czytani przez kolejnych badaczy, a reprezentanci mniej istotnych ośrodków naukowych na zawsze pozostawać będą na peryferiach światowej nauki (Merton 1968). Znaczenie przy doborze cytowanej literatury może mieć popularność autora, dostępność pisma czy modny charakter analizowanych tematów (Kozłowski i Kopka 1995: 4). Fakt cytowania nie musi też świadczyć o uznaniu dla tekstu naukowego – częste są tzw. złe cytowania, mające na celu poddanie tekstu krytyce i wykazanie błędów, czego przykładem było częste powoływanie się fizyków na tekst opisujący, prawdopodobnie nieprawdziwe, odkrycie tzw. zimnej fuzji (Nowak 2006: 103–104).

Badacze w wielu ośrodkach naukowych są jednocześnie świadomi metod oceny ich dokonań badawczych, nawiązującej do cytowań i wskaźnika *impact factor*, próbują więc aktywnie wpływać na ich wartości. Takie działania ujawniają się szczególnie tam, gdzie występuje silna zawodowa lub finansowa motywacja do podnoszenia wskaźników cytowalności własnych prac. Mogą wtedy powstawać „koleżeńskie układy”, których uczestnicy dodają nazwiska współautorów, którzy nie wnosili rzeczywistego wkładu w opracowanie badań i publikacji, lub wzajemnie cytować prace znajomych (Nowak 2006: 104). W niektórych kulturach i instytucjach można zaobserwować niepisany obowiązek cytowania prac zwierzchników akademickich lub dopisywania przełożonych jako współautorów tekstów akademickich. Zhou i Leydesdorff (2006) pokazali, jak chińskim badaczom zajmującym się chemią udało się awansować w światowych rankingach cytowalności dzięki intensyfikacji wzajemnych, grzecznościowych cytowań (Zhou i Leydesdorff 2006: 89–91), co może świadczyć nie tyle o naukowej doniosłości ich prac badawczych, ile o występowaniu planowanych działań, mających doprowadzić do wzrostu prestiżu chińskich ośrodków naukowych.

Obecnie stosowane techniki bibliometryczne nie oferują sposobów łatwego oczyszczenia danych z cytatów publikacji własnych lub pracowników tego samego ośrodka naukowego, choć bywa, że właśnie one stanowią znaczącą część cytatów. Kolejnym problemem jest nieetyczne (jednak prawdopodobnie relatywnie częste) zjawisko kopiowania referencji z innych prac do swojego tekstu bez zapoznawania się z treścią w ten sposób „cytowanych” publikacji (Nowak 2006: 104). Warto wreszcie pamiętać, że istotne teksty naukowe dostrzegane są dopiero po pewnym czasie, a długi cykl publikacji odsuwa w czasie moment pojawienia się pierwszych cytowań – dlatego analiza cytowań wydaje się szczególnie mało użyteczna w odniesieniu do nowych, dynamicznie rozwijających się technologii.

Odmierna jest sytuacja cytowań w bazach patentów – zgłoszenia patentowe powinny zawierać odwołania do stanu techniki (ang. *prior art*), czyli wcześniejszych wynalazków i publikacji naukowych z pokrewnych obszarów. Jeśli zgłaszający przeoczy lub przemilczy fakt istnienia pokrewnego wynalazku i nie wykaże oryginalności swojej propozycji, jego aplikacja może zostać odrzucona przez urząd patentowy. Ponieważ zgłaszający wynalazki mają silną ekonomiczną motywację do starannego przygotowania kompletnego wniosku, cytaty w bazach patentowych wydają się bardziej wartościowym źródłem informacji niż cytaty w bazach publikacji. Analizy cytowań patentów pozwalają na wyodrębnienie tzw. niszy innowacyjnych (Podolny i Stuart 1995: 1229) z kluczowymi wynalazkami, stanowiącymi punkt odniesienia dla pokrewnych zgłoszeń patentowych oraz zwykle pozwalającymi na osiągnięcie kontrolującym je podmiotom ponadprzeciętnych zysków. Interesującym obszarem do możliwych eksploracji, na razie jeszcze rzadko wykorzystywanym przez badaczy, jest analiza cytowań publikacji naukowych w bazach patentowych – fakt docenienia praktycznej przydatności konkretnego tekstu naukowego przez wynalazcę wydaje się dobrym kryterium różnicowania prac badawczych.

6. Przykład zastosowania bibliometrii – analiza rozwoju laserów półprzewodnikowych

Dalsza część niniejszego artykułu jest praktycznym przykładem wykorzystania technik bibliometrycznych w zarządzaniu. Prezentowane analizy są wycinkiem badań prowadzonych w ramach projektu dotyczącego oceny polskiego wkładu w rozwój technologii niebieskiego lasera półprzewodnikowego³. Niniejszy artykuł koncentruje się na prezentacji bibliometrii jako ilościowej metody badawczej w zarządzaniu, dlatego bibliometryczne aspekty rozwoju laserów półprzewodnikowych będą dalej prezentowane w formie fragmentarycznej, jako przykład sposobu możliwej analizy tego typu.

Omawiany projekt badawczy dotyczył historycznego rozwoju technologii laserów półprzewodnikowych (ang. *semiconductor lasers*), wykorzystywanych m.in. w napędach dysków optycznych, narzędziach chirurgicznych, instrumentach pomiarowych oraz rozwiązaniach do wykrywania zanieczyszczeń

środowiska. Polski rząd zainwestował na początku XXI w. znaczące środki w doskonalenie rodzimej technologii niebieskiego lasera półprzewodnikowego, opracowanej przez zespół badaczy z Polskiej Akademii Nauk, jednak mimo istotnych osiągnięć badawczych, rodzimy produkt przegrał na rynkach międzynarodowych z rozwiązaniami japońskimi, a omawiane badanie miało pomóc w identyfikacji przyczyn tej porażki. Bibliometryczna analiza prac badawczo-rozwojowych związanych z laserami półprzewodnikowymi była uzupełnieniem technik jakościowych – historiograficznej analizy rozwoju strategii technologicznych firm, które zajmowały się poszukiwaniem i rozwojem niebieskich laserów. Triangulacja technik badawczych oferowała dwa odmienne spojrzenia na działalność tych samych podmiotów – przez pryzmat podejmowanych przez nie decyzji technologicznych (na podstawie danych jakościowych) oraz z perspektywy uzyskiwanych, wymiernych wyników prac badawczo-rozwojowych (dzięki zastosowaniu bibliometrii).

Bibliometryczna część projektu miała za zadanie ujawnić tendencje w rozwoju technologii laserów półprzewodnikowych – m.in. okres intensyfikacji badań, zróżnicowanie geograficzne prowadzonych prac, udział sektora prywatnego, uczelni oraz instytucji publicznych, jak również odmiennosc zainteresowań badawczych poszczególnych aktorów sceny innowacji (tj. wykorzystywanie odmiennych metod produkcji podłoży dla laserów oraz technologii materiałowych). Praktyczną korzyścią z prowadzonych analiz miało być uplasowanie dorobku polskich badaczy na tle międzynarodowych osiągnięć naukowych, wskazanie najważniejszych uczestników analizowanego obszaru badawczo-rozwojowego oraz przewag i słabości w obszarze B+R.

Analizy były prowadzone na podstawie bazy publikacji INSPEC oraz bazy patentów USPTO, a dane pobrano z obu baz wiosną 2007 r. dla lat 1989–2005. Z bazy USPTO pobrano dane o patentach, przyporządkowując je do lat, w których patenty zostały faktycznie udzielone przez urząd patentowy, a nie lat zgłoszenia przez wynalazcę. W obu bazach polecenia wyszukiwania opierały się na standardowych kodach klasyfikacyjnych, jednoznacznie odzwierciedlających publikacje lub patenty dotyczące laserów półprzewodnikowych. W bazie INSPEC wyselekcjonowano publikacje, przypisane do kodu *B4320J*, a w bazie USPTO poddano analizom patenty przypisane do klasy nr *372/43.01*. Warto zaznaczyć, że tak wygodne metody identyfikacji interesujących badacza zbiorów danych są rzadkością w bibliometrii – kompleksowe technologie przypisywane są zwykle do wielu różnych klas, a badacze muszą odwoływać się do gwarantującego mniejszą trafność wyników wyszukiwania pełnotekstowego w tytułach i streszczeniach publikacji i patentów.

Już na wstępnym etapie analiz ujawniło się interesujące wyzwanie analityczne, gdy okazało się, że poddany analizie podzbiór publikacji i patentów nie obejmuje wielu wyników badań, które wydawały się istotne dla rozwoju niebieskich laserów półprzewodnikowych⁴. W wyniku przeprowadzonej weryfikacji danych okazało się, że nie był to bynajmniej błąd badawczy. Niebieskie lasery półprzewodnikowe powstały w wyniku fuzji różnorodnych

technologii – połączenia dorobku badań nad laserami, materiałami półprzewodnikowymi (m.in. azotkiem galu) oraz zaawansowanymi technikami ceramicznymi (w tym tzw. epitaksją). Większość przełomowych dla rozwoju niebieskiego lasera publikacji i patentów dotyczyło w rzeczywistości obszarów innych niż sam laser i nie mogło być jednoznacznie przypisanych jako osiągnięcia związane z rozwojem lasera.

Rysunek 2 prezentuje liczby publikacji i patentów dotyczących laserów półprzewodnikowych, które pojawiły się w poszczególnych latach. Uzyskane serie danych udało się dobrze dopasować do określonych funkcji – dla publikacji:

$$\ln(C) = 1,3548 * \ln(Y) + 2,9435$$

(współczynnik determinacji $R^2 = 0,92$),

a dla patentów:

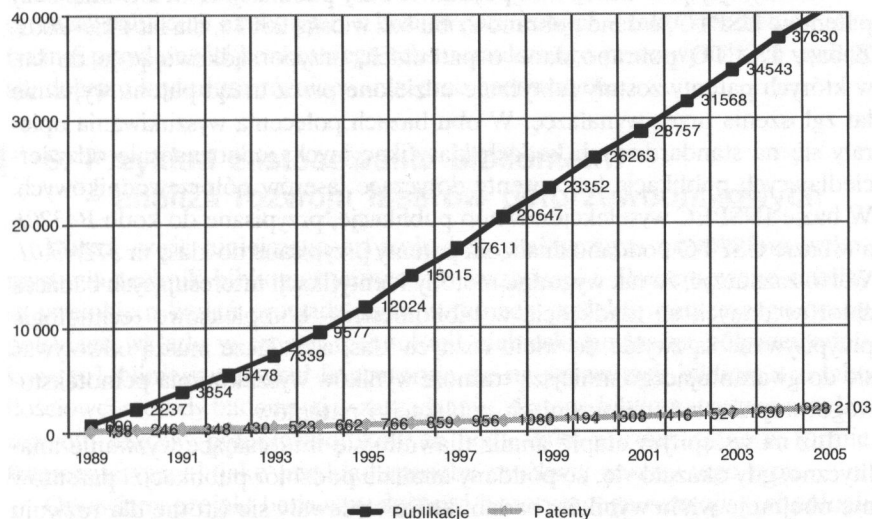
$$C = 116,71 * Y - 40,16$$

(współczynnik determinacji $R^2 = 0,99$),

gdzie:

C – skumulowana liczba publikacji/patentów dotyczących laserów półprzewodnikowych,

Y – kolejny numer roku (seria 17 punktów danych, rok 1989 = 1, rok 2005 = 17).



Rys. 2. Skumulowana liczba publikacji i patentów dotyczących laserów półprzewodnikowych z lat 1989–2005. Źródło: bazy INSPEC i USPTO.

Liczba publikacji przyrastała na przestrzeni lat bardziej dynamicznie niż liniowy przyrost liczby patentów – co odzwierciedla spodziewaną selektywność procesów badawczo-rozwojowych, wyrażającą się w znaczącej liczbie publikacji oraz odpowiednio mniej imponującymi wynikami wynalazczymi. Funkcje opisujące przyrosty liczby publikacji i patentów mogą być wykorzystywane do celów prognozowania, jednak ich praktyczne zastosowania wydają się ograniczone. Prognozowanie na podstawie szeregów czasowych stosują głównie specjaliści zajmujący się polityką naukowo-technologiczną, analizujący sferę B+R z pozycji instytucji rządowej, czyli decydentów, rozważających celowość alokacji środków na określone inicjatywy badawcze. Dynamika rozwoju technologii nie jest w pełni przewidywalna za sprawą przełomowych innowacji, które mogą radykalnie zmienić zainteresowania badaczy oraz potencjał określonych technologii. Badania technologii osiągają również nasycenie, gdy prace B+R dotarły do granicy fizycznych możliwości określonej technologii, a dalszy postęp technologiczny możliwy jest wyłącznie na podstawie alternatywnej technologii. W zarządzaniu technologiami to zjawisko opisuje klasyczny model krzywej S-kształtnej ze stopniowo słabnącą dynamiką rozwoju technologii (Ford i Ryan 1981), podczas gdy funkcje trendu zakładają stałe, proporcjonalne przyrosty liczby publikacji i patentów.

Tabela 1 na s. 148 prezentuje zestawienie danych bibliometrycznych dla najaktywniejszych badawczo krajów. Przedstawiony zbiór danych obejmuje wiele zagadnień, które w oryginalnym projekcie badawczym były odrębnie analizowane – w niniejszym artykule pozwala on zaprezentować możliwe sposoby opracowywania danych bibliometrycznych. Oprócz bezwzględnej liczby publikacji i patentów dotyczących laserów półprzewodnikowych, przedstawione zostały też znormalizowane dane, które lepiej wydają się odzwierciedlać aktywność badawczą i potencjał poszczególnych krajów. Wskaźnik ujawnionych przewag technologicznych RTA (ang. *revealed technological advantage*) pozwala zidentyfikować obszary specjalizacji poszczególnych krajów, nawet w przypadku, gdy bezwzględna liczba wszystkich publikacji lub patentów z danego kraju nie jest znacząca, i jest obliczany z wzoru:

$$RTA = \frac{(P_{ij} / \sum_i P_{ij})}{(\sum_j P_{ij} / \sum_i \sum_j P_{ij})}, \quad (1)$$

gdzie: P_{ij} – liczba publikacji/patentów w obszarze i , pochodzących z kraju j .

Wartość wskaźnika RTA powyżej 1,0 wskazuje na istnienie względnej przewagi konkurencyjnej, a wartość poniżej 1,0 – względnej słabości. Wskaźnika RTA dla patentów nie obliczono dla podmiotów amerykańskich, ze względu na brak możliwości uzyskania w bazie USPTO informacji o łącznej liczbie patentów zgłoszonych na przestrzeni lat przez wnioskodawców ze Stanów Zjednoczonych.

Kraj	Liczba publikacji	Indeks RTA dla publikacji	% publikacji pochodzących z firm	Średnia roczna liczba publikacji na 1 mld USD GERD	Średnia roczna liczba publikacji na 1000 badaczy	Liczba patentów	Indeks RTA dla patentów	% patentów cytowanych
USA	11 330	1,11	36,05	2,76	0,52	283	bd	34,63
Japonia	6 660	1,73	61,90	4,08	0,58	344	2,72	26,16
Niemcy	3 249	1,31	17,93	3,84	0,72	29	0,42	27,59
Wielka Brytania	2 814	1,23	24,04	6,16	1,03	11	0,48	45,45
Chiny	2 433	0,79	0,95	bd	bd	0	-	-
Francja	1 785	1,05	31,73	3,13	0,62	14	0,80	57,14
Korea Południowa	1 191	1,50	19,35	3,56	0,51	25	1,15	8,00
Rosja	1 325	0,84	4,33	bd	bd	2	1,92	100,00
Kanada	861	0,80	20,57	3,34	0,52	9	0,49	0,00
Tajwan	728	1,20	2,33	bd	bd	8	0,25	12,50
Włochy	732	0,61	9,01	2,85	0,56	2	0,50	0,00
Szwajcaria	658	1,51	23,32	6,81	1,70	4	1,15	50,00
Holandia	485	0,90	42,31	3,65	0,72	1	1,21	0,00
Szwecja	442	1,17	16,99	3,00	0,61	3	0,68	33,33
Hiszpania	373	0,61	1,36	2,99	0,33	0	-	-
Australia	374	0,63	7,73	2,91	0,33	0	-	-
Polska	363	0,73	2,61	8,62	0,36	0	-	-

Tab. 1. Wybrane wskaźniki bibliometryczne dotyczące badań nad laserami półprzewodnikowymi w najaktywniejszych badawczo krajach w latach 1989-2005. Źródło: bazy INSPEC, USPTO i OECDStat.

Tabela 1 prezentuje możliwości porównania międzynarodowej aktywności badawczej. Kolumna 4. tabeli 1 ujawnia zestawienie stopnia udziału sektora prywatnego w badaniach nad laserami półprzewodnikowymi – kraje, w których firmy odgrywały znaczącą rolę w badaniach naukowych, okazały się jednocześnie odnosić największe sukcesy komercyjne w analizowanym obszarze: w Japonii aż 61,90% publikacji stworzyli badacze zatrudnieni w sektorze prywatnym, analogiczny wskaźnik wyniósł dla Holandii 42,31%, dla Stanów Zjednoczonych 36,05%, a dla Francji 31,73%. O wiele słabiej wypadła pod tym względem Polska, mogąca pochwalić się jedynie 2,61% publikacji tworzonych przez firmy, co pokazuje, że polskie badania nad laserami półprzewodnikowymi były w znaczącym stopniu prowadzone przez instytucje publiczne, zwykle w ograniczonym stopniu interesujące się wdrażaniem praktycznych rozwiązań technologicznych.

Przedstawiona w kolumnie 5. tabeli 1 średnia liczba publikacji przypadających na 1 mld USD łącznych krajowych nakładów na działalność badawczo-rozwojową, określanych mianem GERD (ang. *Gross Expenditure on Research & Development*), wskazuje na związki pomiędzy skalą publicznych i prywatnych inwestycji w rozwój technologii oraz wymiernymi osiągnięciami badawczymi. Polska sfera B+R okazuje się szczególnie produktywna w relacji do ponoszonych nakładów – co zgodne jest z widocznym zainteresowaniem polityków i środowisk akademickich projektem rozwoju niebieskiego lasera półprzewodnikowego. Polska ze średnią roczną liczbą 8,62 publikacji naukowych przypadających na 1 mld USD poniesionych nakładów GERD jest liderem rankingu. Analogiczny wskaźnik dla Japonii ma o ponad połowę mniejszą wartość: 4,08 (por. kolumna 5. tabeli 1). Średnia liczba publikacji przypadających na 1000 badaczy, zaprezentowana w kolumnie 6. tabeli 1, świadczy z kolei o produktywności zasobów ludzkich, zatrudnionych w sferze B+R – pod tym względem Polska spada na dalsze miejsca międzynarodowego rankingu (wskaźnik dla Polski: 0,36, a dla Japonii: 0,58).

Aktywność w zakresie publikacji nie przełożyła się w Polsce na wyniki w komercjalizacji osiągnięć naukowych – polskie podmioty nie mogą pochwalić się żadnymi amerykańskimi patentami bezpośrednio dotyczącymi laserów półprzewodnikowych (por. kolumna 7. tabeli 1). Istotną rolę w rozwoju technologii laserów odegrały jednak rodzime wynalazki, dotyczące wytwarzania podłoży dla półprzewodników, które zostaną odrębnie omówione. Tabela 1 zawiera również informacje o odsetku patentów, które były przynajmniej 1 raz cytowane (kolumna 9. tabeli 1) – można założyć, że patenty, które nie doczekały się cytowań, nie są znaczące komercyjnie ani istotne dla rozwoju technologii.

Dalszy przykład wykorzystania technik bibliometrycznych dotyczy analizy specjalizacji technologicznych (tabela 2 na s. 151). Lasery półprzewodnikowe próbowano stworzyć, opierając się na trzech alternatywnych rodzajach związków chemicznych, stanowiących podłoże lasera – w optoelektronice okre-

ślano je mianem związków II-VI, III-V i IV-VI w nawiązaniu do grup układu okresowego pierwiastków (ostatecznie rynek zdominowały podłoża grupy III-V, jednak wiele firm przez wiele lat bezowocnie próbowało doskonalic lasery oparte na dwóch pozostałych rodzajach podłoży). W procesie wytwarzania lasera podejmowano próby wykorzystania kilku alternatywnych procesów produkcyjnych (tzw. epitaksji), spośród których najważniejsze były metody określane mianem MOCVD (ang. *metal-organic chemical vapor deposition*) i MBE (ang. *molecular beam epitaxy*).

Analiza zbioru publikacji wybranych z bazy INSPEC pozwoliła, w odniesieniu do części publikacji, na określenie, jakiego podłoża i jakiego procesu produkcyjnego dotyczą. Podział dotyczący podłoży opierał się na zawartości indeksu chemicznego (ang. *chemical index*) bazy INSPEC, czyli wykazu związków chemicznych, które opisywane są w poszczególnych publikacjach. Metody MOCVD i MBE identyfikowano na podstawie słów kluczowych występujących w opisach i streszczeniach publikacji. Podział publikacji nie był ani rozłączny (niektóre artykuły dotyczyły jednocześnie dwóch grup), ani wyczerpujący (nie wszystkie publikacje dało się przypisać do którejkolwiek z grup). W celu weryfikacji poprawności klasyfikacji obliczono współczynniki korelacji między przypadkami przypisania publikacji do poszczególnych grup i były one na niskim poziomie⁵, co sugerowało satysfakcjonującą rozłączność podziału.

Zastosowana klasyfikacja publikacji ujawniła odmienne orientacje badawcze krajów oraz firm – co w projekcie badawczym dotyczącym laserów półprzewodnikowych uzupełniało historyczny opis inicjatyw badawczo-rozwojowych. Tabela 2 oferuje zestawienie orientacji badawczych najaktywniejszych badawczo firm. Kolumny 3., 4. i 5. tabeli 2 prezentują procentowe udziały publikacji odwołujących się do konkretnego typu podłoża lasera w podzbiorze wszystkich publikacji związanych z laserami półprzewodnikowymi, autorstwa pracowników danej firmy. Poszczególne kolumny prezentują dane dotyczące związków chemicznych typu II-VI (kolumna 3. tabeli 2), typu III-V (kolumna 4. tabeli 2) oraz typu IV-VI (kolumna 5 tabeli 2). Porównanie pozwala wyjaśnić przyczyny porażek niektórych z uczestników rynku, którzy dokonali wyboru niewłaściwego podłoża – ostatecznie tylko podłoża oparte na związkach III-V są wykorzystywane do produkcji niebieskich laserów. Na przykład, zgodnie z danymi prezentowanymi w kolumnie 5. tabeli 2, w badania nad wykorzystaniem związków typu IV-VI do rozwoju laserów półprzewodnikowych zaangażowały się japońskie firmy Oki, Hamamatsu oraz amerykańskie koncerny IBM i HP (wraz z wyodrębnioną później spółką Agilent). Ich dorobek badawczy w omawianym obszarze nie nadawał się do bezpośredniej komercjalizacji ze względu na ograniczenia technologii materiałowych. Przez wiele lat znaczący uczestnicy rynku laserów liczyli na możliwość wytworzenia niebieskiego lasera opartego na związkach typu II-VI – liderem badań w tym obszarze była japońska firma Sony, która opracowała prototyp takiego lasera już w 1992 r., jednak w związku

Firma	Liczba publikacji	% publikacji dotyczących typu podłoża lasera			% publikacji dotyczących procesu produkcyjnego	
		% związki II-VI	% związki III-V	% związki IV-VI	% MOCVD	% MBE
Bell	1 490	1,95	44,77	5,23	3,62	3,76
NTT	1 076	1,86	37,36	6,88	4,83	2,79
NEC	678	2,21	38,35	3,83	11,50	1,92
LG	450	0,89	24,89	3,78	3,78	2,67
Lucent	398	1,01	31,41	3,27	1,76	2,51
Alcatel	332	1,51	35,24	3,92	4,82	5,72
Fujitsu	330	3,64	52,42	5,76	6,67	2,42
Hitachi	330	2,42	60,61	3,64	6,36	1,21
Mitsubishi	249	7,63	55,02	3,21	10,44	2,81
Matsushita	234	13,68	59,83	6,41	3,85	2,56
IBM	202	1,49	66,83	8,42	0,99	3,47
Philips	193	14,51	48,19	2,59	5,18	1,04
Furukawa	184	1,09	65,22	4,89	13,04	9,24
British Telecom	183	1,09	20,22	4,37	3,83	0,55
Sony	178	33,15	54,49	2,81	14,04	7,30
Oki	173	0,58	43,35	15,61	9,83	2,89
HP + Agilent	149	0,00	40,94	6,71	11,41	3,36
Toshiba	140	6,43	65,71	2,86	7,14	2,14
Samsung	119	10,08	54,62	2,52	9,24	3,36
Siemens	118	3,39	47,46	5,08	11,02	4,24
Hamamatsu	101	8,91	17,82	9,90	0,00	2,97
Nichia	98	3,06	97,96	3,06	4,08	1,02

Tab. 2. Typy podłoży i procesów wytwarzania lasera w publikacjach, autorstwa pracowników firm najaktywniejszych badawczo w obszarze badań nad laserami półprzewodnikowymi w latach 1989–2005. Źródło danych: baza INSPEC.

z problemami technicznymi po kilku latach zrezygnowała z wewnętrznego projektu, nawiązując współpracę z liderem rynku, firmą Nichia. Wczesną orientację badawczą Sony widać w kolumnie 3. tabeli 2 – aż 33,15% firmowych publikacji związanych z laserami półprzewodnikowymi odnosi się właśnie do wykorzystania podłoży typu II–VI. Analogiczne, i jak się później okazało błędne, decyzje technologiczne podjęły firmy Matsushita, Philips i Samsung (kolumna 3. tabeli 2). Odmienna była z kolei strategia firmy Nichia, która stała się liderem innowacji na rynku laserów, m.in. za sprawą koncentracji na badaniach początkowo mało popularnego podłoża typu

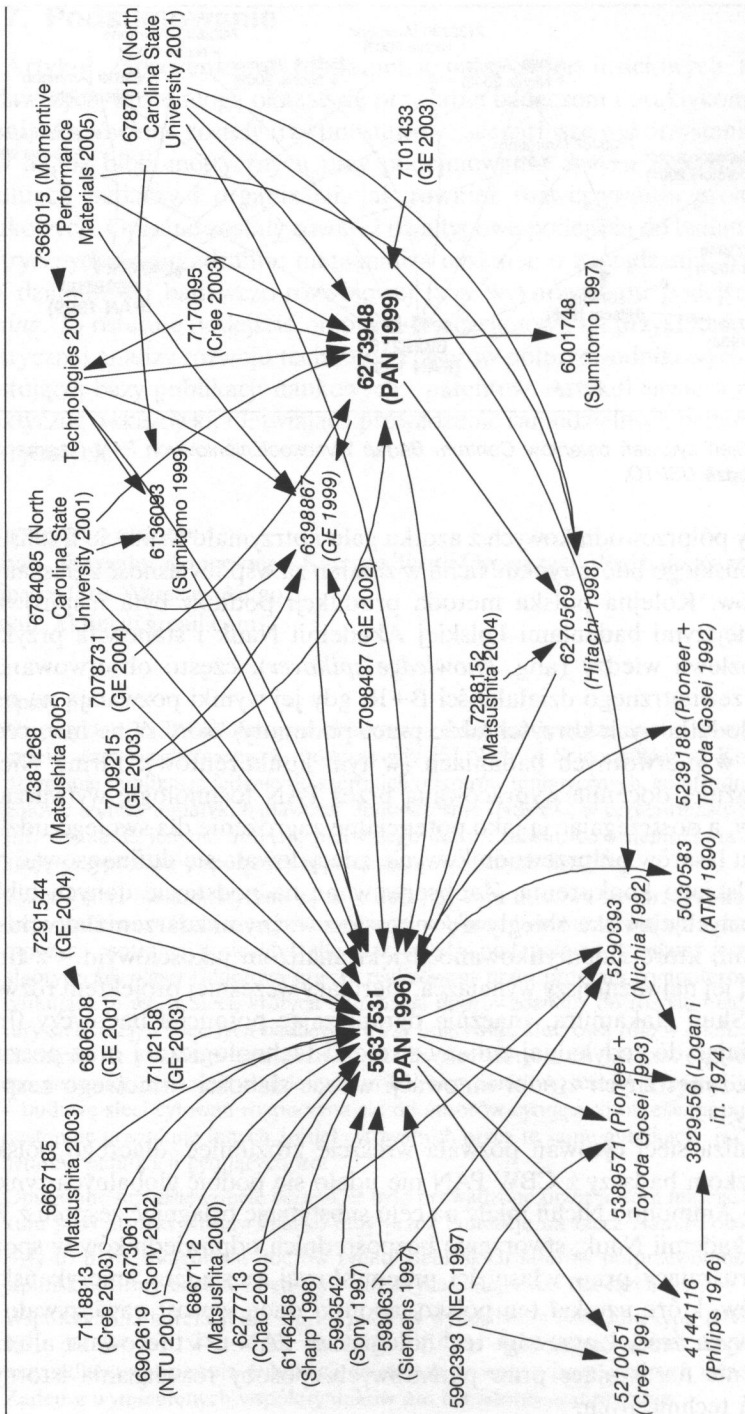
III–V (por. kolumna 4. tabeli 2 – aż 97,96% publikacji Nichii dotyczy omawianego materiału).

W podobny sposób można scharakteryzować technologiczne ślepe zaułki związane z decyzjami o wykorzystaniu specyficznych procesów produkcyjnych (kolumny 6. i 7. tabeli 2). Przez wiele lat niebieskie lasery udawało się wytwarzać jedynie przy wykorzystaniu procesów epitaksjalnych MOCVD, które badały firmy takie jak NEC, Mitsubishi, Furukawa, Sony, HP czy Siemens (kolumna 6. tabeli 2). Dopiero w 2004 r. ogłoszono pierwszy prototyp niebieskiego lasera stworzonego przy wykorzystaniu procesu MBE. Ta technologiczna alternatywa interesowała na przestrzeni lat m.in. firmy Furukawa, Alcatel i Sony (kolumna 7. tabeli 2), co w przyszłości może ułatwić im zdobycie udziałów w rynku.

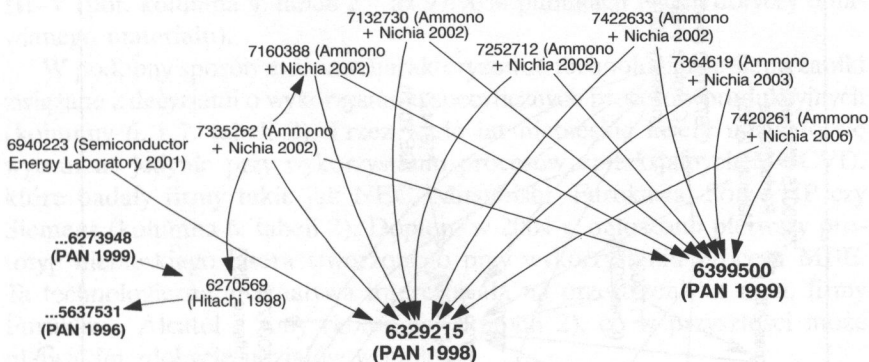
Zaprezentowana analiza danych bibliometrycznych uzupełnia historyczny opis procesów konsekwentnej budowy kompetencji technologicznych przez najważniejszych uczestników rynku.

Ostatni wycinek omawianych badań to przykład zastosowania analizy sieci cytowań patentów. Artykuł ogranicza się do graficznej prezentacji sieci, jednak w odniesieniu do rozbudowanych sieci cytowań możliwe są również analizy ilościowe (por. wskazówki zawarte w przypisie 2). Sieć przedstawiona na rysunkach 3 i 4 została opracowana na podstawie danych z bazy USPTO – odwołania do 4 patentów, które uzyskał polski uczestnik wyścigu w rozwoju niebieskiego lasera półprzewodnikowego, Centrum Badań Wysokociśnieniowych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie (CBW PAN). Patenty nie dotyczyły bezpośrednio laserów półprzewodnikowych, koncentrując się na metodach wytwarzania podłoży półprzewodnikowych przez krystalizację wielowarstwowych struktur pod wysokim ciśnieniem (patent nr 5637531, rysunek 3) i uzyskiwaniu podłoża z azotku galu (patent nr 6273948, rysunek 3) oraz na epitaksjalnych metodach przygotowania tych podłoży do spełniania funkcji półprzewodnika (patenty nr 6329215 i 6399500, rysunek 4). Dwa pierwsze patenty okazały się szczególnie ważnym punktem odniesienia dla innych wynalazców i były często cytowane w kolejnych zgłoszeniach patentowych do USPTO (m.in. przez Cree, General Electric, Hitachi, Matsushitę, Momentive Performance Materials, NEC, North Carolina State University ze spółką odpryskową uczelni Kyma Technologies, NTU Ventures, Sharpa, Siemens, Sony i Sumitomo Electric Industries – por. rysunek 3). Dwa nowsze patenty były również wielokrotnie cytowane, jednak z wyjątkiem pojedynczego odwołania się przez japońskie Semiconductor Energy Laboratory wszystkie pozostałe cytaty pojawiły się we wspólnych zgłoszeniach wynalazków polskiej firmy Ammono i jej japońskiego partnera Nichii (por. rysunek 4).

Analizy bibliometryczne pomogły zdobyć pośrednie potwierdzenie scenariusza współpracy między tymi firmami, które nie było możliwe w drodze badań jakościowych ze względu na brak informacji od obu firm. Ammono opracowało alternatywną wobec podejścia CBW PAN metodę wytwarzania



Rys. 3. Sieć cytowań patentów Centrum Badań Wysokociśnieniowych PAN (segment 1). Źródło: baza USPTO.



Rys. 4. Sieć cytowań patentów Centrum Badań Wysokociśnieniowych PAN (segment 2). Źródło: baza USPTO.

podłoży półprzewodnikowych z azotku galu i otrzymało wsparcie finansowe od japońskiego lidera rynku Nichii w zamian za współwłasność zgłaszanych patentów. Kolejna polska metoda produkcji podłoży była inspirowana wcześniejszymi badaniami Polskiej Akademii Nauk i stanowiła przykład tzw. rozlewu wiedzy (ang. *knowledge spillover*), często obserwowanego efektu zewnętrznego działalności B+R, gdy jej wyniki pozwalają na osiągnięcie dodatkowych korzyści także przez podmioty, które same nie uczestniczyły w pierwotnych badaniach (w tym konkurentów). Firma Nichia najwyraźniej doceniła wypracowaną przez PAN technologię wytwarzania podłoży, a postrzegając ją jako potencjalne zagrożenie dla swojego udziału w rynku laserów półprzewodnikowych, zdecydowała się dofinansować rozwój polskiego konkurenta. Zaobserwowane na podstawie danych bibliometrycznych zjawiska zbiegły się w czasie z ważnymi zdarzeniami w historii Nichii, które zidentyfikowano dzięki analizom jakościowym – z firmy odszedł jej najważniejszy wynalazca, kierujący wcześniej projektem rozwoju lasera Shuji Nakamura, znacznie ograniczając potencjał badawczy firmy i skłaniając do radykalnej zmiany strategii technologicznej oraz poszukiwania zewnętrznych źródeł innowacji wobec słabości firmowego zespołu badaczy.

Analiza sieci cytowań pozwala wreszcie zrozumieć, dlaczego polskim wynalazcom badaczy z CBW PAN nie udało się podbić globalnych rynków – prace Ammono i Nichii miały na celu substytucję osiągnięć zespołu z Polskiej Akademii Nauk, stworzenie bezpośrednich odpowiedników w sposób nie naruszający praw własności przemysłowej, a siedem amerykańskich patentów, które uzyskał ten polsko-japoński duet, wprost nawiązywało do kluczowych źródeł przewagi technologicznej PAN-u i oferowało alternatywne, nie naruszające praw patentowych sposoby rozwiązania istotnych wyzwań technicznych.

7. Podsumowanie

Artykuł zaprezentował bibliometrię jako zbiór ilościowych technik badawczych, które mogą okazać się przydatne badaczom i praktykom zarządzania. Omówione zostały trzy podstawowe scenariusze wykorzystania wyników analiz bibliometrycznych przy podejmowaniu decyzji menedżerskich, ewaluacji badaczy i organizacji, jak również rozwiązywaniu problemów naukowych. Opisane zostały również dwa typowe podejścia do badań bibliometrycznych w zarządzaniu: metaanaliza dyskursu o zarządzaniu oraz analiza działalności badawczo-rozwojowej przy wykorzystaniu podejścia *tech mining*. To ostatnie podejście omówiono szczegółowo na przykładzie bibliometrycznej analizy rozwoju technologii laserów półprzewodnikowych, wykorzystującej bazy publikacji naukowych i patentów. Artykuł zawiera również praktyczne wskazówki, ułatwiające prowadzenie samodzielnych badań bibliometrycznych.

Informacje o autorze

Dr hab. Krzysztof Klinczewicz – Katedra Teorii Organizacji Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego.

E-mail: kklinc@gmail.com.

Przypisy

- ¹ Na przykład INSPEC oferuje rozbudowaną taksonomię obszarów badawczych oraz indeks wzorów chemicznych, podczas gdy ISI Web of Science/Web of Knowledge przypisuje publikacje jedynie do szerokich obszarów tematycznych, co utrudnia szczegółowe analizy tematyki badawczej. Jednocześnie INSPEC, w przeciwieństwie do baz ISI, wymienia jedynie afiliację pierwszego autora tekstu, co uniemożliwia identyfikację przypadków współpracy reprezentantów różnych instytucji.
- ² Zwykle sieci bibliometryczne są zbyt duże, by była możliwa ich przejrzysta prezentacja graficzna, a badacze ograniczają się do obliczania wskaźników, np. świadczących o pozycji centralnej w sieci lub sile więzi między podmiotami. Przydatny jest też tzw. algorytm *key player* (kluczowy gracz), realizowany przez program komputerowy, identyfikujący te węzły sieci, których eliminacja doprowadziłaby do rozpadu całej struktury sieciowej, a więc tych badaczy, którzy odgrywają kluczową rolę w analizowanych obszarze. Ze względów praktycznych analizy sieci dotyczą zwykle tzw. ego-sieci (ang. *ego network*), czyli sieci skupionych wokół określonej, wcześniej wybranej jednostki – budowę sieci cytowań rozpoczyna się od autorów cytujących określoną publikację, następnie poszukuje innych źródeł cytowanych przez te same publikacje, jak również cytatów publikacji cytujących itd.
- ³ Opisywane przedsięwzięcie badawcze było prowadzone przez autora niniejszego artykułu jako projekt własny finansowany przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej.
- ⁴ Były to m.in. osiągnięcia liderów rynku niebieskich laserów półprzewodnikowych – japońskiej firmy Nichia Chemicals i amerykańskiej Cree Research.
- ⁵ Współczynniki korelacji dla 3 grup podłoży wynosiły dla związków typu II-VI i III-V: 0,01; dla II-VI i IV-VI: 0,01; dla III-V i IV-VI: -0,01. Współczynnik korelacji dla przypadków przypisania publikacji do dwóch procesów produkcyjnych wynosił 0,04. Zaden z wymienionych współczynników nie był istotny statystycznie.

Bibliografia

- Abrahamson, E. 1991. Managerial fads and fashions: The diffusion and rejection of innovations. *Academy of Management Review*, Vol. 16, nr 3, s. 586–612.
- Abrahamson, E. i G. Fairchild. 1999. Management fashions: Lifecycles, triggers, and collective learning processes. *Administrative Science Quarterly*, Vol. 44, s. 708–740.
- Barley, S.R. i G. Kunda. 1992. Design and devotion: Surges of rational and normative ideologies of control in managerial discourse. *Administrative Science Quarterly*, Vol. 37, s. 363–399.
- Burrell, G. i G. Morgan. 1985. *Sociological Paradigms and Organisational Analysis*, Aldershot: Gower Publishing.
- Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmen, M. i A. Rickne. 2002. Innovation systems: Analytical and methodological issues. *Research Policy*, Vol. 31, s. 233–245.
- Carson, P.P., Lanier, P.A., Carson, K.D. i B.N. Guidry. 2000. Clearing a path through the management fashion jungle: some preliminary trailblazing. *Academy of Management Journal*, Vol. 43, nr 6, s. 1143–1158.
- Ford, D. i C. Ryan. 1981. Taking technology to market. *Harvard Business Review*, Vol. 81, nr 2, s. 117–126.
- Klincewicz, K. 2006. *Management Fashions. Turning Best-selling Ideas into Objects and Institutions*, New Brunswick–London: Transaction Publishers.
- Kozłowski, J. 2009. *Statystyka nauki, techniki i innowacji w krajach UE i OECD. Stan i problemy rozwoju*, Warszawa: Departament Strategii Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, http://www.nauka.gov.pl/_gALLERY/52/67/52670/20090612_Statystyka_nauki_tehniki_i_innowacji_w_krajach_UE_i_OECD_Wersja_B.pdf, data dostępu: 17 września 2009 r.
- Kozłowski, J. i Z. Kopka. 1995. *Miejsce nauki polskiej w świecie 1990–1994 w świetle badań naukometrycznych Science Citation Index, Social Science Citation Index*, Warszawa: Komitet Badań Naukowych.
- Merton, R. K. 1968. The Matthew effect in science. *Science*, Vol. 159, s. 56–63.
- Nowak, P. 2006. *Bibliometria. Webometria. Podstawy. Wybrane zastosowania*, Poznań: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Adama Mickiewicza.
- OECD. 2005. *Oslo Manual. Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data*. 3rd Edition, Paris: OECD – Eurostat.
- Podolny, J.E. i T.E. Stuart. 1995. A Role-based ecology of technological change. *American Journal of Sociology*, Vol. 100, nr 5, s. 1224–1260.
- Porter, A.L. i S.W. Cumingham. 2005. *Tech mining. Exploiting new technologies for competitive advantage*, Hoboken, New Jersey: John Wiles & Sons, Inc.
- Ramos-Rodríguez, A.-R. i J. Ruiz-Navarro. 2004. Changes in the intellectual structure of strategic management research: A bibliometric study of the ‘Strategic Management Journal’, 1980–2000. *Strategic Management Journal*, Vol. 25, s. 981–1004.
- Schmoch, U. i S. Gauch. 2005. *Leistungsfähigkeit und Strukturen der Wissenschaft im internationalen Vergleich. Studien zum deutschen Innovationssystem*, Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung.
- Solla Price, D.J. de. 1967. *Mata nauka – wielka nauka*, Warszawa: PWN.
- Zhou P. i L. Leydesdorff. 2006. The emergence of China as a leading nation in science. *Research Policy*, Vol. 35, s. 83–104.