

*Veslava Osínska*

Instytut Informacji Naukowej i Bibliologii  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

## Wizualizacja paradygmatów badawczych

Wizualizacja nauki – jest nowym kierunkiem badań umożliwiającym wielkoskalową analizę rozwoju naukowego, jak i historii ludzkiej aktywności. W ostatnim dziesięcioleciu stała się też ważną metodą stosowaną w wykrywaniu aktualnych trendów tematycznych i dominujących obszarów w nauce. Podstawowym materiałem analitycznym wykorzystywanym w wizualizacji są bazy bibliograficzne oraz inne dane masowe, charakteryzujące ruch sieciowy, np. logi i schematy zachowań użytkowników, treści i organizacja blogów, ścieżki pakietów komunikacyjnych. W graficznych reprezentacjach danych piśmiennictwa naukowego można odkryć zmiany krytyczne dla danej dyscypliny naukowej. Poniższy artykuł opisuje dwa takie przykłady wizualizacji w zakresie fizyki i informatyki. W pierwszym przypadku rozkład wizualny danych współcystowań artykułów na temat teorii superstrun ilustruje powstawanie i rozwój koncepcji o superstrunach, włączając zmiany skokowe. Drugi natomiast odnosi się do wyników badań prowadzonych od kilku lat przez autorkę: wizualizacji metadanych literatury informatycznej z biblioteki cyfrowej ACM. Otrzymane mapy dobrze odwzorowują rozwój metodologii i technologii równocześnie – „cloud computing”. W artykule tym zaprezentowano analityczne możliwości wizualizacji w naukoznawstwie, jednocześnie sygnalizując potrzebę korelacji pomiędzy metodami kwantytatywnymi i jakościowymi w naukometrii.

**Słowa kluczowe:** wizualizacja nauki, mapowanie nauki, paradygmaty badawcze, wizualizacja informacji.

## Visualization of Scientific Paradigms

Visualization of science – it is a new research field that allows large-scale analysis of the science evolution and historical changes in human activity. In the last decade it has become an important methodology used in the detection of current trends and both growth and fade of scientific domains. As the units of analysis bibliographic databases and the network data, such as logs, clicks, paths of users, blogs structure, communication packets are used. Due to graphical representations scientists can discover the critical changes in a proper research area and thus see scientific paradigms. Current article describes two examples of visualization in physics and computer science. In the first case, graphical pattern of citations in superstring theory illustrates the formation and development of the superstrings, including critical points – paradigms. The second one refers to the research conducted for several years by the author: visualization computer science literature from ACM Digital Library. Obtained maps well reflect the development of cloud computing methodology. The article presents an analytical potential of visualization in science. Further more it indicates the need for a correlation between the qualitative and quantitative methods in scientometrics.

**Keywords:** science visualization, science mapping, knowledge domain visualization, scientific paradigms, information visualization

### I. Wizualizacja – nowe narzędzie pomocne w różnych sferach życia

Równoległe z rozwojem technologii komputerowych szeroko pojęta wizualizacja objęła swoim zasięgiem nowe pola działalności: naukową, biznesową, jak również społeczną i rozrywkową. W wymianie idei i komunikatów międzyludzkich środki wizualne w ostatnich latach nabierają coraz większego znaczenia. Wizualizacja danych naukowych, jako pierwotne pole zastosowań tej metodologii, od dawna

jest wykorzystywana w reprezentacji i analizie informacji, płynącej ze świata mierzalnego, np. w astronomii, fizyce, geografii, meteorologii, biologii molekularnej i oczywiście w medycynie, odgrywając ważną rolę w diagnostyce i obrazowaniu. Wizualizacja jest także obecna w edukacji, biznesie i zarządzaniu. Aktualne projekty wizualizacyjne muszą przekazywać odbiorcom (użytkownikom, klientom) również pewną wartość estetyczną – zgodnie z wymogami współczesności. Zdarza się jednak, że wizualizację niesłusznie ogranicza się jedynie do stosowania prostej, popularnej i dostępnej technologicznie grafiki komputerowej. Naturalne jest, iż wizualizacja jest jej pochodną, czerpie przecież z narzędzi grafiki komputerowej i projektowania graficznego. Wystawa posterowa, dotycząca współczesnych metod wizualizacji *Places&Spaces*<sup>1</sup>, zainicjowana przez naukowców z Uniwersytetu w Indiana całościowo obrazuje, jak istotne są tutaj walory estetyczne w przekazie wizualnym informacji. Naukowcy mają więc możliwość całościowego spojrzenia na rozwój interesującej tematyki, sfery badań, grupy badawczej albo nauki w skali lokalnej, krajowej i globalnej. Powoduje to, iż w kręgach akademickich (nie tylko w USA) takie mapy nauki stają się przedmiotem naukowych i nieformalnych dyskursów o zachodzących zmianach naukowo-technicznych. Autorka widzi w nich wizualne bazy wiedzy, niosące wieloaspektowe środki pomocne w studiach naukoznawczych oraz badaniach historycznych, jak również w poszerzeniu erudycji interdyscyplinarnej i indywidualnym nowatorskim odkrywaniu nowych praw w świecie nauki.

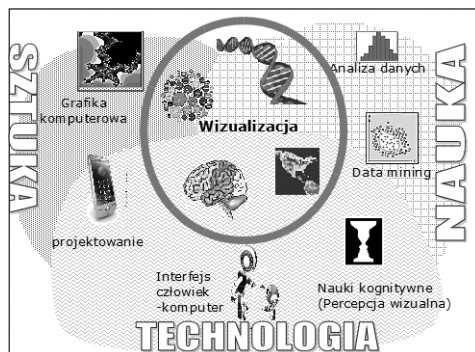
W olbrzymim strumieniu informacji, generowanym codziennie przez systemy medialne, otrzymujemy szybkie sekwencje dużych zbiorów danych w postaci graficznej. Takimi są symulacje wydarzeń sportowych, katastrof żywiołowych, danych motoryzacyjnych, wyborów parlamentarnych, prognozy pogody itp. W wizualizacji jest wykorzystywana wiedza o naturalnej zdolności człowieka do szybkiego rozpoznawania obrazów. W myśl ogólnej definicji, *wizualizacja informacji jest wizualną prezentacją przestrzeni informacyjnych i struktur w celu ułatwienia ich szybkiego przyswojenia i zrozumienia*<sup>2</sup>. Za materiał informacyjny mogą posłużyć tekst, metadane, tabele baz danych, i wreszcie dane masowe, odnoszące się do ruchu sieciowego w najszerszym znaczeniu, np. logi i schematy zachowań użytkowników, treści i organizacja blogów, ścieżki pakietów komunikacyjnych w sieci itp.

Wizualizacja informacji (*Information Visualization – Infoviz*, skrót często używany w literaturze angielskojęzycznej) jest stosunkowo młodą dyscypliną empiryczną o ponad 12-letniej historii, obecnie rozwijającą się bardzo dynamicznie. Infoviz wykorzystuje osiągnięcia różnych dziedzin nauki m.in.: datamining, analizy danych, interakcji człowiek-komputer (HCI), kognitywistyki i grafiki komputerowa (Rys.1). Część z wymienionych składowych odnosi się do „czystej nauki” – np. analiza danych, wywodząca się z matematyki i statystyki. W interakcji człowiek-komputer,

<sup>1</sup> [www.scimaps.org](http://www.scimaps.org)

<sup>2</sup> V. Osińska. *Wizualizacja dokumentów*. Wydawnictwo SBP. 2010, s. 15-16.

gdzie najistotniejszym jest podejście technologiczne, uczeni zajmują się projektowaniem ergonomicznego interfejsu użytkownika. Trzecim aspektem aktywności wizualizacji jest projektowanie graficzne i narzędzia grafiki komputerowej.



Rys. 1. „Miejsce wizualizacji w nauce”.

## II. O wizualizacji w nauce

Metody wizualizacji są coraz częściej stosowane dzięki rozwojowi biblio- i naukometrii również na tym polu. Tutaj jedną z najważniejszych jest statystyka, jej metody służące do wykrywania charakterystyk ilościowych jednostek mierzalnych i ich konfiguracji: czy to publikacji, czasopism i książek czy to patentów technologicznych i odkryć naukowych. Roli ilościowego podejścia w analizie danych masowych nie sposób przecenić – o czym można się przekonać, sięgając po całościowe studia zjawisk i procesów naukowych i ostatecznie formułowanie wniosków dotyczących nauki. Aparat matematyczno-statystyczny jest również często wykorzystywany przy ocenie produkcji piśmienniczej, wydawniczej oraz do badań nad historią literatury naukowej. Jak podkreśla M. Skalska-Zlat, to rozwój bibliografii miał wpływ na zapoczątkowanie badań ilościowych nad piśmiennictwem (Skalska-Zlat 2002), a twórca naszej bibliografii narodowej K. Estreicher podsumował: *Statystyka ze swymi liczbami wdziera się w kwestie filozofii, jak również narodowości, czemużby i w literaturze nie miały liczby odgrywać roli znamienitej*<sup>3</sup>. Wraz z rozwojem Internetu przedmiot analiz liczbowych i dokumentacji rozszerzył się na źródła komunikacji elektronicznej; w naukach metrycznych wytworzyły się kierunki odnoszące się do zasobów cyfrowych – cybermetria, informetria; systemy sieciowo zlokalizowane, rozproszone jak ich struktury, budowy oraz wykorzystywanej technologii – netometria, webometria, (Skalska-Zlat 2004, Pindłowa, 2005).

<sup>3</sup> M. Skalska-Zlat. *Kilka uwag o bibliometrii w dydaktyce studiów bibliotekoznawczych*. Biuletyn EBIB [on-line]. 2001, nr 1 (29) [dostęp 10 lipca 2012]. Dostępny w World Wide Web: <http://ebib.oss.wroc.pl/2001/29/zlat.html#01>

Warto przytoczyć tu podsumowanie I. Marszakowej dotyczące bibliometrii: *Podjęcie bibliometryczne umożliwia ogarnięcie całego systemu nauki*<sup>4</sup>.

Badania naukometryczne dotyczą szeroko pojętej nauki, co włącza informacje w kontekście masowym o ludziach, rzeczach, procesach, zjawiskach naukowych oraz piśmiennictwie naukowym. (Ratajewski 1993). Na łamach prasy naukowej, w szczególności polskiej, częste są polemiki, która dziedzina (biblio- czy naukometria) jest szersza, pierwotna, bazowa w stosunku do drugiej. Dyskurs ten przekształca się w gorące pytania dotyczące wartościowania publikacji naukowych i korelacji tej wartości z całościową oceną stanu nauki. Zdaniem autorki takie różnicowanie tych wzajemnie oddziałujących pojęć stwarza niepotrzebnie jakiś lokalny pseudoproblem ważności. Jeśli naukę proponuje się mierzyć w oparciu o ilość dokonanych odkryć, wynalazków i zatwierdzonych patentów, to zawsze przecież będą produkowane dokumenty (artykuły, raporty, rankingi, ankiety) potwierdzające i opisujące te fakty. Kierując się aktualną tematyką czasopism naukoznawczych, można wywnioskować, iż większość prac bazuje na bibliometrii.

Potrzebę systematycznych badań nad stanem i rozwojem nauki pierwszy w latach 60 zaczął sygnalizować V. Nalimov (Nalimov i Mul'chenko 1969) – pomysłodawca terminu „naukometria”. W drugiej dekadzie XX wieku, po zakończeniu II WŚ zanotowano skokowy wzrost aktywności społeczności akademickiej w postaci liczby wydawanych książek, nowych czasopism, organizowanych serii konferencji, zakładanych towarzystw naukowych. Nauka stała się instytucją, szybko powstawały nowe pola i kierunki badań, rozwinęły się klasyfikujące struktury dyscyplinarne. Bezpośrednim świadkiem tych procesów był założyciel Instytutu Informacji Naukowej w Filadelfii (*ISI*) E. Garfield. Swoje wspomnienia spisał w autobiograficznych materiałach (Garfield 2003), gdzie prześledził długą historię naukoznawstwa i opisał pierwsze kroki w ilościowej analizie nauki we wczesnych latach 20-tych, wymieniając kluczowe publikacje tamtego okresu. E. Garfield wielokrotnie podkreśla rolę analizy cytowań w badaniach historiograficznych (Garfield 2009). Nie zapomina też o aspekcie socjologicznym takich badań twierdząc, iż analiza materiału bibliograficznego pomaga zrozumieć wątki społecznej działalności naukowej, min. korelacje tematyczne wśród autorów. Mając szersze postrzeganie problemu, E. Garfield wypowiada się za kombinacją metod ilościowych i jakościowych przy badaniu bazy naukowej i społeczności z nią związanej. Właśnie to on wprowadził pojęcie naukoigrafii – *Scientography* (Garfield 1994), polegającej na przedstawieniu wyników analiz naukometrycznych w formie wizualnej. Pierwsze prace, gdzie użyto graficznej reprezentacji danych bibliograficznych przedstawiają bardzo schematycznie grafy w niskiej rozdzielczości. Tamte wizualizacje przeważnie wykorzystywały indeksy cytowań poszczególnych artykułów publikowanych w czasopismach naukowych (*ISI Citation Index*), jak również sumaryczny indeks liczby

<sup>4</sup> I. Marszakowa-Szajkiewicz *Bibliometryczna analiza współczesnej nauki*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, 1996, s.38.

i dynamiki cytowań wszystkich artykułów w danym czasopiśmie *Journal Citation Reports – JCR*. Na diagramach historiograficznych możemy zobaczyć, iż pierwsza sieć cytowań należy do A. Gordona Allena, kolejnymi pionierami wizualizacji danych bibliograficznych w latach 70-80 byli: Garfield, Price, Narin, Small, White i Griffith (Garfield 2009). Od połowy lat 90. następuje wyraźny skok w zainteresowaniu metodami wizualizacji danych wieloskalowych i szybki rozwój nowego kierunku w naukometrii: wizualizacja nauki (*computational and visualization turn*) (Börner i Scharnhorst 2009). Ten ilościowy skok zawdzięczamy przede wszystkim digitalizacji zasobów piśmiennictwa naukowego jak i innych źródeł wiedzy i co za tym idzie przyrost i rozwój dostępnych on-line bibliograficznych baz danych, takich jak np. ISI Web of Knowledge, Scopus, Google Scholar. Drugim czynnikiem mającym wpływ na rozpowszechnienie metod wizualizacji były nieliniowy wzrost mocy obliczeniowej komputerów, rozwój grafiki komputerowej, wykorzystywanie superkomputerów i technologii rozproszonych. Dlatego obserwujemy obecnie zbliżenie nauk o informacji, wyrastających z bibliotekoznawstwa, informatyki i naukoznawstwa z naukometrią. Ostatnie osiągnięcia w technologii informacyjno-komunikacyjnych w połączeniu z powszechną dostępnością naukowych baz danych ułatwiły analizę oraz modelowanie i wizualizację nauki w skali globalnej i z wysokim stopniem kompleksowości.

W ciągu zaledwie dwóch dekad wizualizacja ugruntowała sobie pozycję metodologii badawczej do wykrywania aktualnych trendów tematycznych i dominujących obszarów w nauce. Umożliwia też głębsze zrozumienie struktury danej dziedziny oraz jej frontów badawczych (Börner 2007, Boyack 2005, Chen 2006). Mapując dane bibliograficzne w określonym okresie czasu, odkrywamy dynamikę zmian w strukturze i organizacji danego obszaru wiedzy. E. Garfield nazwał takie reprezentacje naukoGRAFAMI (Garfield 1994). Tu warto nadmienić, iż w polskiej literaturze naukowej też pojawiły się opracowania na temat analitycznych możliwości wizualizacji, dowodzące zasadność zastosowania takiego podejścia w naukoznawstwie (Osińska 2010).

Zastosowanie mapowania i wizualizacji otwiera nowe perspektywy badawcze w dziedzinach inter- i transdyscyplinarnych. Na przykład, rozkłady graficzne ukazują wyraźnie, że nauki społeczne i humanistyczne integrują się z naukami przyrodniczymi za pomocą pól, należących do matematyki, statystyki i informatyki (Börner 2007, Chen 2006). Wizualizacja zasobów naukowych decyduje o właściwym postrzeganiu i rozumieniu danych na wszystkich poziomach organizacji wiedzy. To oznacza, że za pomocą wizualizacji można również badać społeczną strukturę nauki, min.: kreślić wzory współpracy autorów, aktywność twórców i wszystkich osób uczestniczących w procesie tworzenia wiedzy. Podstawowym pytaniem, które towarzyszy takim obserwacjom, to gdzie jest źródło nowych idei i w jakim stopniu dotyczy ona poszczególnych osób, a w jakim – wiedzy, skumulowanej w komunikacji naukowej?

Autorzy w/w prac nakreślają też ekonomiczne perspektywy tematyki wizualizacji. Dzisiaj, w warunkach tak zróżnicowanego podejścia do finansowania nauki w różnych krajach zachodzi potrzeba monitorowania jak są wydawane publiczne pieniądze na poszczególne przedsięwzięcia badawcze. Skutkiem globalnego kryzysu finansów jest obcinanie źródeł finansowania badań. Mapy wizualizacyjne w oparciu o takie jednostki jak: publikacje, granty, wynalazki, patenty, fundusze dają uogólniony obraz efektywności danej dziedziny, placówki, zespołu badawczego (Börner 2007, Boyack 2005). Wyniki wizualizacji mogą zatem być wykorzystane w planowaniu środków finansowych na poszczególne badania w polityce finansowania całej nauki np. w skali kraju.

Równolegle z wizualizacją nauki ugruntowały się takie pola badań jak konceptualizacja i modelowanie nauki, ostatecznie służących do formalnej identyfikacji struktury, cech i granic badanych systemów, ich części składowych, działających mechanizmów. W opisie modeli wykorzystywane są aparat matematyczny i złożone algorytmy obliczeniowe. Prawa dynamiki takich systemów z dużą liczbą współdziałających elementów próbuje się zrozumieć i przedstawić za pomocą metaforycznych modeli sieci złożonych tzw. *complex networks* (Scharnhrost 2003). Przedstawiane obecnie konceptualizacje nauki czerpią z filozoficznych koncepcji Bernata, Kuhn'a, Poppera oraz teorii kognitywnych, badań empirycznych (Börner i Scharnhrost 2009). Jednym z nurtów jest koncepcja budowania wielowymiarowej abstrakcyjnej przestrzeni zadań do rozwiązywanego problemu naukowego, tzw. *abstract scientific landscape* (Scharnhrost 2003).

Wydawać by się mogło, że tak wieloperspektywiczne podejście do studiów nad rozwojem nauki sprzyja dalszemu zgłębianiu tematu. Lecz w pewnym momencie nastąpiła separacja metod ilościowych i jakościowych w badaniu nauki. Świadczą o tym nazwy serii wydawniczych i organizowanych konferencji. Pomimo dużego stopnia zaawansowania metod ilościowych w ocenie bazy naukowej i naukowców, powinno się je uzupełnić o podejście jakościowe, czyli kompleks metod i technik badawczych wypracowanych przez różne dziedziny i dyscypliny nauki. Ostatnio wielu badaczy mówi o potrzebie korelacji (mostu) pomiędzy metodami kwantytatywnymi i jakościowymi w naukometrii (Börner i Scharnhrost, 2009).

### III. Wizualizacja dziedzin naukowych a paradygmat

Rozwój nowego kierunku badań: sieci złożone, wyrastającego z informatyki (projektowanie grafów, uczenie maszynowe, symulacje sztucznych sieci neuronowych) i fizyki (procesy stochastyczne, chaos deterministyczny) otwiera nowe możliwości wizualizacji informacji, min. interpretacje wyników reprezentacji graficznej pod kątem wnioskowania paradygmatów (*paradigmatic turn*).

Z postawienia pytania podstawowego: jak rozwija się nauka, linearnie czy skokowo, kumulatywnie czy rewolucyjnie, szukanie rewolucyjnych zmian, zwanych



paradygmatami naukowymi w całej dynamice tego procesu przybiera dodatkowo empirycznego znaczenia, gdy sięgamy po narzędzia wizualizacji informacji.

W książce *The Structure of Scientific Revolutions* opublikowanej w 1962 roku amerykański filozof i fizyk T. S. Kuhn dowodzi, że nauka nie jest jednostajnym, kumulatywnym pozyskiwaniem wiedzy (Kuhn 1968). Rozwoju nauki nie należy rozpatrywać jako jednolitego i ciągłego przebiegu zdarzeń, lecz jako *serię spokojnych okresów przerywanych przez gwałtowne intelektualne rewolucje, po których jeden koncepcyjny światopogląd jest zamieniany przez inny*. Na rewolucję składają się następujące czynniki: odnalezienie nowych materiałów naukowych, dostrzeżenie nowych faktów, zmiana sposobu myślenia naukowego. Zgodnie z poglądami Kuhna, paradygmat kieruje wysiłkiem badawczym społeczności naukowych i jest tym kryterium, które najbardziej ściśle identyfikuje obszary nauk. W danej dyscyplinie problemy naukowe są formułowane w obrębie uznawanych przez uczonych paradygmatów. W bibliotekoznawstwie *takim paradygmatami są przeświadczenia o doniosłej roli (funkcji) społecznej, jaką odgrywają przedmioty ich badań – książka i biblioteka*<sup>5</sup>. Fundamentalnym argumentem Kuhna jest to, że dla dojrzałej nauki typową drogą rozwojową jest kolejne przechodzenie w procesie zmian dynamicznych od jednego do innego paradygmatu. Gdy ma miejsce zmiana paradygmatu, *świat naukowy zmienia się jakościowo i jest jakościowo wzbogacany przez fundamentalnie nowe zarówno fakty jak i teorie*<sup>6</sup>. Takie rewolucje wywołały w swoim czasie teorie: heliocentryczna Kopernika, ewolucji Darwina czy relatywistyczna Einsteina.

Ogólnikowość i rozmytość definicji paradygmatu nie sprzyja jednak ich częstej identyfikacji w kontekście rzeczowej analizy konkretnej dyscypliny naukowej. Przyjęto więc interpretować paradygmaty w obrębie struktur filozoficznych (Small 2003). Pragmatycznie podchodząc do zagadnienia, powinno się postawić pytanie: jak i gdzie dokładnie w historii rozwoju dziedziny wyodrębnić kluczowe zmiany w myśleniu, założeniach i działaniu naukowym, jednocześnie uwzględniając procesy przemian i przenikania się dyscyplin i kierunków badawczych. Wychwycenie dynamiki naukowych paradygmatów można zbadać za pomocą analizy współcytowań w literaturze naukowej. Przy wykorzystaniu reprezentacji liczbowych współwystępowania cytowanych artykułów w kolekcji możemy zmierzyć podobieństwo tematyczne badanych dokumentów (Small 1973; Marszakowa-Szjakiewicz 1996), a stosując algorytmy mapowania (np. analiza czynnikowa, skalowanie wielowymiarowe, sieci Pathfinder, analiza ukrytych grup semantycznych, samoroganizujące mapy Kohonen'a itp. (Chen, 2006, Osińska 2006) – zwizualizować w zadanej przestrzeni. Powstają sieci naukowe (grafy), odwzorowujące strukturalne składowe dziedziny badawczej, związki społeczne autorów publikacji, współpracę wydawców. Do sumacyjnej analizy strukturalnej i tematycznej niezbędne jest zasto-

<sup>5</sup> J. Ratajewski. *Elementy naukoznawstwa I kierunki rozwoju nauki europejskiej*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, 1993, s. 128-129.

<sup>6</sup> Tamże.

sowanie w grafach algorytmów klasteryzacji i porządkowania. Tenże mechanizm sprawdza się, jeśli współcytowania zastąpić współwystępującymi w opisach bibliograficznych słowami kluczowymi, wyrazami w tekście albo hasłami przedmiotowymi. Równoległe notowanie wyrazów, nazw własnych czasopism, autorów w przestrzeni informacji naukowej pokazuje, jaka część społeczności akademickiej zajmuje się pokrewną problematyką i nawiązuje logiczne relacje i związki współpracy pomiędzy sobą.

Opisywana metoda polega na wykrywaniu wzorców sieci cytowań w dokumentach naukowych, które tworzą najbardziej znaczący i wpływowi uczeni. Według powszechnej interpretacji najczęściej cytowanym artykułom przypisuje się wysoką pozycję znaczeniową, aspirującą do odkrycia naukowego, odnowienia metody lub idei w danej dyscyplinie lub polu badawczym. Materiał bibliograficzny (cytowań powiązanych, współcytowań) w ten sposób staje się unikanym środkiem badawczym do analizy i ustalenia jednomyślnych ścieżek i połączeń intelektualnych w środowisku akademickim (Small 2003). Dynamikę zmian intelektualnej struktury oraz frontów badań można śledzić na podstawie wyników mapowania danych dokumentów masowych, cyklicznie powtarzanych co roku lub kilka lat. Eksperyment z naukoqramami wykazuje, że nowe artykuły tworzą własne skupiska (klastry) w momencie znaczącego wzrostu ich cytowalności (Garfield 1993, Small 2003). W skali czasu właściwości struktury na ogólnym poziomie przeważnie zostają zachowane, znaczącym zmianom natomiast ulegają niskopoziomowe (lokalne) obszary. Jak sugeruje H. Small, wykrywanie sumacyjnych indywidualnych frontów badań powinno ułatwić ustalanie granic stosowalności paradygmatów lokalnych (Small 2003), co Kuhn nazwałby okresem *nauki normalnej* (Kuhn 1968).

T. S. Kuhn szczególnie podkreślał znaczenie przejścia pomiędzy okresami tzw. przed- i po paradygmacie; ten ostatni włącza czas nauki normalnej, następnie kryzy dopasowania istniejących teorii z naturą i wszystko powtarza się cyklicznie.

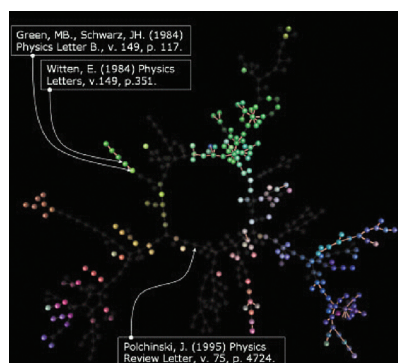
### **Wizualizacja paradygmatów w teorii superstrun**

Znakomitym przykładem zastosowania idei Kuhna, dotyczącej zmiany paradygmatów naukowych jest wizualizacja przez Ch. Chena – twórcy pojęcia *Knowledge Domain Visualization* – rozwoju teorii strun, wykorzystując siłę powiązań współcytowań (Chen 2003). Pomimo krytycznych opinii w ostatnich latach, wielu widzi w tej teorii potencjał rozwiązania podstawowego problemu w fizyce z ostatniego półwiecza: unifikacji wszystkich sił w przyrodzie poprzez dopasowanie ogólnej teorii względności i kwantowej teorii pola. Zarzuca się jej brak potwierdzających doświadczeń, a zatem, że nie ma jakiegokolwiek sposobu, by ją zweryfikować i ewentualnie obalić. W teorii strun przestrzeń ma więcej niż 3 wymiary, ale dodatkowe wymiary są zwinięte do mikroskopijnych rozmiarów (strun) rzędu  $10^{-31}$ m. W ewolucji teorii strun znane są dwa koncepcyjne przełomy licząc od lat 80-tych.



Pierwsza rewolucja (1984 r.) polegała na eliminacji wszystkich anomalii ze struktury matematycznej teorii, dzięki czemu stała się ona spójna logicznie, wprowadzeniu supersymetrii, pokazującej dualizm pomiędzy polem a materią cząsteczkową (Kopczyński i Trautman 1984; Smolin 2008). Te założenia przewidują istnienie wszechświata o 10 wymiarach (9 wymiarów przestrzennych i 1 czasowy), a my natomiast doświadczamy empirycznie dostępnej 4-wymiarowej warstwy tego wszechświata. Druga rewolucja superstrun wiąże się z M-teorią (1995 r.), przewidującą istnienie superstrun, supercząstek i różnych wariacji bran (Kaku 2005; Smolin 2008).

Na rysunku 2 przedstawiona jest jedna z faz procesu odwzorowania obu rewolucji superstrun. Za zbiór danych posłużyły artykuły z bazy Web of Science z ilością cytowań co najmniej 35 z okresu 1981–2002. Kolekcja ta liczyła 375 obiektów i 62 588 połączeń pomiędzy nimi. Za pomocą znanej metody w statystyce – analizy czynnikowej wyodrębniono trzy wiodące specjalności badawcze, które oznakowano kolorami zielonym, czerwonym i niebieskim. Na podstawie ekstrakcji najczęściej występujących słów zidentyfikowano te grupy, jako opisujące problematykę z okresów rewolucji pierwszej i drugiej oraz czarnych dziur<sup>7</sup>. Stosując algorytm mieszania się kolorów bazowych, wszystkie artykuły pokolorowano w zależności od składu trypletu głównych tematów. Użyto również stopni jasności kolorów: ciemniejsze wskazują na wcześniej opublikowane prace (z w/w/ okresu), jaśniejsze – na później. Dynamikę zmian przedstawiono za pomocą sekwencji obrazów dla pięcioletnich cykli, aby wykryć obszary gwałtownych skoków wzrostu klastrów. Pozwoliło to na obserwację rozkładu aktualnych tematów badawczych, jak również ich przenikanie, zbliżenie i oddalenie w czasie. Na rysunku oznaczono również położenie najbardziej reprezentacyjnych dla okresów pierwszej i drugiej rewolucji superstrun dokumentów autorstwa: M.B. Green'a i J. H. Schwarz'a oraz J. Polchinskiego odpowiednio.



Rys. 2. Wizualizacja pierwszej i drugiej rewolucji koncepcyjnej w teorii superstrun na podstawie współcytowań artykułów z bazy WoS w okresie 1981 – 2002 (Chen 2003).

<sup>7</sup> Kolorowe wersje map i w większej ilości są dostępne w źródłowym artykule (Chen 2003).

Wizualizacja ta potwierdza, iż najczęściej cytowane, czyli z największą wagą artykuły skupiają wokół siebie inne prace, tym samym tworząc „archipelagi intelektualne”.

#### IV. Paradygmat *Cloud computing*

Tak jak wspomniano wyżej, do mapowania literatury naukowej można również użyć współwystępujących kategorii tematycznych. V. Osińska i P. Bała dokonali wizualizacji dokumentów o tematyce komputerowej z biblioteki cyfrowej ACM (*Association for Computing Machinery*), wykorzystując klasyfikację Computing Classification System (Osińska 2010, Osinska i Bala 2010). Na pierwszym etapie zmapowano wszystkie występujące klasy i podklasy (345); następnie wykorzystując koncepcję geometryczną, rozłożono na powierzchni sfery, jako najbardziej ergonomicznej przestrzeni, przypisane do tych klas/podklas dokumenty (32 tys.). Badania powtórzono dla 10 letnich cykli w zakresie czasowym 1968-2009. Kolorowe wersje rozkładów graficznych klas i artykułów na powierzchni sfery oraz ich kartograficzną projekcję oprócz w/w prac są także dostępne na stronie<sup>8</sup>. Kolory obiektów na mapach reprezentują 11 klas głównych klasyfikacji ACM CCS, jasność odpowiada poziomowi podklasy w drzewie klasyfikacyjnym oraz wielkość wskazuje na liczebność klasy/podklasy. W ten sposób, do kodowania hierarchicznej informacji – drzewa klasyfikacji, użyto 34 atrybutów.

Niniejszy artykuł jest przedstawieniem wyników rozkładu graficznego artykułów o badanej tematyce, a także potencjału analitycznego, zawartego w serii map wizualizacyjnych opisanego procesu. Do analizy przedmiotowej wybrano temat badań *cloud computing* (chmura obliczeniowa) ze względu na to, że jest nowym pojęciem i gwałtownie rośnie jego popularność w każdej sferze życia.

#### Wprowadzenie do tematu *cloud computing*

Obliczenie w chmurze można rozpatrywać jako sposób dostarczenia użytkownikowi zasobów obliczeniowych i gotowej do wykorzystania infrastruktury informatycznej, opierający się na usługach i aplikacjach dostępnych w sieci. Pojęcie „chmury” to metafora odnosząca się do architektury oferowanych na tej zasadzie usług. To oznacza pracę z danymi w zdecentralizowanym środowisku, słusznie kojarzoną z rozproszoną przestrzenią, czyli chmurą. Używając poczty elektronicznej, prowadząc bloga, rozmawiając ze znajomymi na Facebooku – wirtualnie jesteśmy w chmurze (Mroczek 2009). Takie rozwiązanie jest tańsze i wygodniejsze dla klientów łączących się z serwerem/ami w chmurze, ponieważ nie ma konieczności zakupu licencji czy potrzeby instalowania i administracji oprogramowaniem.

<sup>8</sup> [www.umk.pl/~wiewo/Infoviz](http://www.umk.pl/~wiewo/Infoviz).

Z perspektywy epistemologicznej *cloud computing* jest popularnym kierunkiem rozwoju branży IT w ostatnich latach i najczęściej używanym terminem, którego znaczenie rozszerza się. Idea udostępniania programów i usług w ten sposób nie jest nowa. Model ten ewoluował z sieci tzw. gridowych, czyli systemów udostępniających usługi, korzystając z podłączonych w sieci zasobów. Historycznie rzecz ujmując, to z początkiem ery informatyzacji (koniec lat 60-tych) obliczenia dokonywane były na jednostkach centralnych (mainframe), a stacje robocze służyły (terminale) do komunikacji z nimi i wykorzystania udostępnionych zasobów – to właśnie charakteryzuje model sieciowy (gridowy). W erze wykorzystywania komputerów osobistych względy ekonomii i organizacji pracy zdecydowały do powrotu do sieci. W dzisiejszym modelu cloud pojawił się nowy ważny czynnik – potrzeby użytkownika. Kiedy zatem pojawiło się pojęcie cloud? Obecnie nie ma na to pytanie jednogłośnej odpowiedzi. Pierwsze udokumentowane użycie tego terminu zanotowano w artykule pod tytułem *Internet Solutions Division Strategy for Cloud Computing* z roku 1996. W akademickich kręgach określono go jako nowy paradygmat, gdzie zakres usług obliczeniowych wyznaczany będzie przede wszystkim przez czynniki ekonomiczne w miejsce, jak przedtem technologicznych. W późniejszych latach do 2006 roku tylko pojedyncze firmy próbowały rozwiązań chmury na potrzeby magazynowania danych, przeprowadzania obliczeń i usług dostarczania aplikacji biznesowych (salesforce.com, Amazon) (Gałęzowski 2012). Prędko przekonano się o ekonomicznych walorach cloud. Biorąc pod uwagę znaczenie *cloud* w makroskali, uważa się, iż pojęcie to wykształciło się na przełomie lat 2006–2007, kiedy zaczęto masowo implementować architekturę cloud (Armbrust 2010, Banerjee 2011).

### Wizualizacja Cloud computing

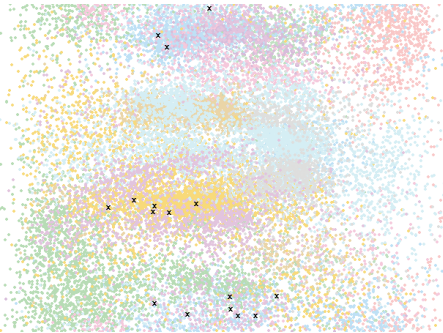
Pomimo popularności i marketingowego nadużywania terminu *cloud computing*, można dostrzec w nim najważniejszą zmianę paradygmatu w ostatnim dziesięcioleciu (Armbrust 2010). W niniejszej pracy postanowiono zatem prześledzić, jak rozkłada się wzór artykułów o tematyce chmury obliczeniowej na mapie wizualizacyjnej literatury informatycznej. W przygotowanej, poindeksowanej bazie danych wystąpienie szukanego wyrażenia przypadło na lata: 2007 (w ilości 13), 2009 (175) i 2011 (1503).

Na pierwszej wizualizacji z roku 2007 (Rys. 3a<sup>9</sup>) widoczne są trzy pierwotne skupiska dokumentów cloud, z których później zaczyna się gwałtowny wzrost liczby artykułów. Pojawiły się one w otoczeniu następujących kategorii tematycznych: organizacja systemów komputerowych (klasa C), Oprogramowanie (D) i systemy informacyjne (H). Słowa kluczowe artykułów zgrupowanych w klastrze centralnym

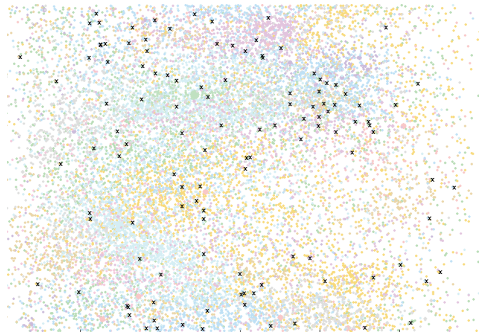
<sup>9</sup> Kolorowa wersja wizualizacji jest dostępna pod adresem [www.umk.pl/~wiewo/infovis2009](http://www.umk.pl/~wiewo/infovis2009)

wskazują na tematykę obliczeń grid, architektury serwisów WWW, datamining, technologii P2P, sieci semantycznej. Nieliczne dokumenty dotyczą też fizyki fazy skondensowanej, kondensatu Bosego-Einsteina i formalizmu reprezentacji wiedzy. Publikacje dolnego klastra specjalizują się w formułowaniu zapytań wyszukiwawczych, algorytmów obliczeń nieprecyzyjnych. Tematyka dokumentów z górnego obszaru zorientowana jest sieciowo: bezpieczeństwo i problematyka pracy w sieci. Artykuły z roku 2007 o nowej tematyce obliczeń w chmurze omawiają algorytmiczne, programistyczne i techniczne aspekty systemów komputerowych. Wskazują one również na ścisłą relację do tematyki obliczeń rozproszonych i dowodzą, że źródłem idei cloud były sieci gridowe.

Na mapie z 2009 roku (Rys. 3b) widzimy ciągły rozkład znalezionych dokumentów, gdzie możemy śledzić najwyższe korelacje i ścieżki spójności tematów badawczych. Artykuły cloud odwzorowują rozkład dokumentów klasy I – Metodologie. Ta kategoria jest najbardziej zróżnicowana pod względem zastosowania komputera; dotyczy ona sztucznej inteligencji, reprezentacji wiedzy, uczenia maszynowego, przetwarzania obrazów, symulacji i modulowania. Zaobserwowano również powstanie nowego skupiska cloud wokół obszaru wypełnionego przez dokumenty kategorii systemów informacyjnych (klasa H). Wizja perspektywiczna dostarcza informacji o bliskim sąsiedztwie badanych węzłów z rozkładem klas reprezentowanych przez aplikacje (J) i zagadnienia środowiska komputerowego (K).



a)



b)

Rys. 3. Rozkład dokumentów o tematyce *cloud computing* w kolekcji artykułów biblioteki cyfrowej ACM z roku 2007 (a) i 2009 (b).

### Interpretacja

Z obu wzorów możemy wywnioskować, że idea chmury w krótkim okresie przeszła ewolucję od koncepcji metodologicznych do praktycznych zastosowań, rozwijających się w duże systemy informacyjne. Pierwotną kategorią, zawar-

tą w klasie sieci komputerowych, dla cloud były systemy rozproszone (gridowe w szczególnym przypadku). Wobec tego, przy zachowaniu koncepcji współdzielenia zasobów informacyjnych i współtworzenia infrastruktury informatycznej wygrały ekonomiczne podejście i interes użytkownika. Na początku skupiano się nad zagadnieniami technicznymi takich rozwiązań. Późniejsze wykorzystanie cloud zaczyna wiązać się z aspektami społecznymi, organizacyjnymi i bezpieczeństwa sieciowego, co świadczy o szybkiej ekspansji tych nowoczesnych technologii i usług w jednym. Cloud computing w ciągu tych dwóch i następnych lat rozszerzył swój zasięg poza garstkę wyspecjalizowanych użytkowników w kierunku masowości usług dostępnych dla każdego (Gałęzowski 2012, Mroczek 2009).

Opisana metoda wizualnej reprezentacji dostarczyła informacji o załączkach powstawania nowego pojęcia w świecie technologii. Przeniesienie procesu zbierania i mapowania na oś czasu pozwoliło na odślonę dynamiki zmian i wykrycie skokowych przejść, charakterystycznych w paradygmatach naukowych. Żadne inne sposoby ilościowej obróbki danych nie są aż tak skuteczne, bezpośrednie i wielowątkowe w pogłębieniu wiedzy o tak skomplikowanych procesach, jakimi są ewolucje dyscyplin naukowych.

## V. Podsumowanie i wnioski

Za pomocą tych dwóch przykładów wizualizacji: rewolucji w teorii superstrun oraz paradygmatu cloud computing w artykule zaprezentowane zostały możliwości metod graficznej reprezentacji danych bibliograficznych w całościowej analizie danej domeny naukowej. Metodologia mapowania współwystępujących charakterystyk dokumentów (cytowań, kategorii, klas, autorów) poprzez adaptację koncepcji Kuhna o strukturze rewolucji naukowych ukierunkowana jest na zbadanie struktury wizualizacji i wykrywanie krytycznych w rozwoju wiedzy naukowej. Jak pisze Ch. Chen (Chen 2009), właśnie strukturalne różnice we wzorach rozkładów graficznych przed i po rewolucji naukowej wskazują na jej wyraźny wpływ na badany obszar nauki.

Z rozwojem paradygmatu struktura w zasadzie nie powinna się zmieniać. Natomiast powinniśmy zauważyć i prześledzić wielokierunkową propagację wcześniej wykształconych ognisk sieci naukowej. Tak w przypadku pierwszej i drugiej rewolucji superstrun nastąpił skok wzrostu cytawalności prac M. B. Green'a i J. H. Schwarz'a oraz J. Polchinskigo, a na mapie reprezentujące węzły zaczęły skupiać wokół siebie pozostałe artykuły. Model chmury obliczeniowej ma źródło w architekturze sieci rozproszonych i to wyraźnie widać w rozkładzie wizualizacji z 2007 roku: trzy pierwotne klastry organizują się w sąsiedztwie klasy sieci. Technologia wirtualizacji, rozwój szybkich łączy internetowych i wprowadzenie uniwersalnych standardów oprogramowania w ostatnich latach przyczyniły się do ekspansji usług cloud computing. Mapa z 2009 roku odzwierciedla drogi rozprzestrzenienia się

tego konceptu w społecznych, technologicznych i biznesowych zastosowaniach. Tym samym wizualizacja dowodzi, iż cloud computing jest jedną z najważniejszych zmian paradygmatu w ostatnim dziesięcioleciu.

Jak udowodnili w szeregu prac uznani na świecie specjaliści Infoviz (Chen 2006, Börner 2005, Boyach 2005), metody wizualizacji w nauce mogą pomóc w identyfikacji subdyscyplin lub obszarów badawczych i ich wzajemnych powiązaniach w ramach konkretnej dziedziny. W dobie znaczącego powiększenia globalnych zasobów wiedzy, jej uniwersalizacji, współdzielenia się w całym przekroju społeczności akademickiej owocami poznania, ulepszania metod badawczych, przenikania idei naturalnym staje się, że taksonomicznie różne dyscypliny zbliżają się ku sobie w przestrzeni intelektualnej, tworząc nowe pola i kierunki zainteresowań naukowców; rośnie też waga obszarów i inter- i transdyscyplinarnych. Dlatego dzisiejszą naukę winniśmy uważać za nieporównywalnie skomplikowany system wzajemnie nieliniowo powiązanych czynników i elementów. Racjonalne porównanie tej struktury z modelem sieci złożonych, pozwala nam zastosować liczne narzędzia badające strukturę i dynamikę za pomocą praw dynamiki, rozkładów losowych, teorii grafów, mapowania przestrzennego, skalowania Pathfinder itp. Przedstawione tu przykłady analizy współcystowań i współwystępujących kategorii tematycznych wykorzystują przede wszystkim naturę sieciową (czyli niehierarchiczną, nieliniową) powiązań pomiędzy jednostkami bibliograficznymi lub innymi pochodzącymi z treści, wytypowanymi do analizy, tak jak np. słowa w tekście, tytuły, hiperłącza, podpisy pod rycinami. Niektórzy specjaliści utrzymują, iż badanie ewolucji sieci cytowań pozwala nawet na predykcję trendów badawczych oraz oszacowanie rozpiętości oddziaływań społecznych nauki w przyszłości (Samoylenko 2003). Niepodważalną cechą jest to, iż mapy nauk stymulują poznawanie współczesnego stanu wiedzy i nawet mogą przyczynić się do dokonania odkryć naukowych. Przy tak szerokim spektrum możliwości analitycznych wizualizacji nie można dopuścić do nadinterpretacji we wnioskowaniu końcowym. Wizualizacja przede wszystkim ma za zadanie poszerzyć nasze (zarówno obserwatora, tak i analityka, i użytkownika) możliwości percepcyjno-kognitywne w badaniu skomplikowanych wzorów i szybką (zaliczając sprzężenie zwrotne), równoległą ocenę relacji badanych obiektów. Ta metoda naturalnie jawi się nie jako alternatywa dla istniejących schematów różnych czynności badawczych, ani myślenia krytycznego, ani filozofii nauki, lecz jako nowoczesna, dostosowana do aktywnego odbiorcy technologia, wspomagająca analizę rozwoju dyscyplin naukowych.

## Bibliografia

1. Armbrust M. [2010]: *A View of Cloud Computing*. Communications of the ACM, Vol. 53 No. 4, ss. 50-58.
2. Banerjee U. [2011]: *Cloud Computing – Important Events till 2010*. [on-line]. Technology Trend Analysis, [dostęp 10 lipca 2012]. Dostępny w World Wide Web: <http://setandbma.wordpress.com/>.



3. Börner K. [2010]: *Atlas of Science*. MIT Press, s. 50-58.
4. Börner K., Chen Ch., Boyack K. W. [2005]: *Visualizing Knowledge Domains*. W: B. Cronin (red.). *Annual Review of Information Science & Technology*. Medford, NJ: Information Today, Inc./American Society for Information Science and Technology, Vol. 37, ss. 179-255.
5. Börner K., Scharnhorst A. [2009]: Visual Conceptualizations and Models of Science. *Journal of Informetrics*, 3(3), s. 161-172.
6. Boyack K. W. i in. [2005]: *Mapping the Backbone of Science*. *Scientometrics*, Vol. 64, nr 3, ss. 351-374.
7. Chen Ch., Kuljis J. [2003]: *The rising landscape: a visual exploration of superstring revolutions in physics*. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 54(5), ss. 435-446.
8. Chen Ch. [2006]: *Information Visualization*. Beyond the Horizon. 2nd ed. London: Springer, s. 157-171.
9. Gałęzowski G.: *Cloud computing dla niewtajemniczonych*. [on-line]. [dostęp 10 lipca 2012]. Dostępny w World Wide Web: <http://gsgalezowski.pl/?p=553>.
10. Garfield E.: *From the science of science to scientometrics visualizing the history of science with HistCite*. W: Proceedings of ISSI 2007, 1, 21-26. Dostępny w World Wide Web: [garfield.library.upenn.edu/papers/issiproc/1p21y2007.pdf](http://garfield.library.upenn.edu/papers/issiproc/1p21y2007.pdf).
11. Garfield E.: *Essays/Papers on "Mapping the World of Science"* [on-line]. Eugene Garfield, Ph. D. Home Page [dostęp 10 lipca 2012]. Dostępny w World Wide Web: <http://garfield.library.upenn.edu/mapping/mapping.html>.
12. Garfield E. [1994]: *Scientography: Mapping the tracks of science*. W: Current Contents: Social & Behavioural Sciences, nr 7(45), ss. 5-10.
13. Kaku M. [2005]: *Hiperprzestrzeń: Wszechświaty równoległe, pętle czasowe i dziesiąty wymiar*. Warszawa: Prószyński i S-ka.
14. Kopczyński W., Trautman A. [1984]: *Czasoprzestrzeń i grawitacja*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, R. 1.
15. Kuhn Th. S. [1968]: *Struktura rewolucji naukowych*, tł. Helena Ostromęcka, wyd. I: Warszawa: PWN, s. 206.
16. Marszakowa-Szajkiewicz I. [1996]: *Bibliometryczna analiza współczesnej nauki*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, s. 32-38.
17. Mroczek W. [2009]: *Twoje dane w chmurze – czym jest cloud computing*. [on-line]. Openzone.pl, [dostęp 10 lipca 2012]. Dostępny w World Wide Web: <http://openzone.pl/news,twoje-dane-w-chmurze-czym-jest-cloud-computing,2574>.
18. Nalimov V. V., Mul'chenko Z. M. [1969]: *Naukometriya. Izuchenie Nauki kak Informatcionnogo Protessa* (*Scientometrics. The Study of Science as an Information Process*). Moscow: Nauka, s. 195-232.
19. Osińska V. [2006]: *Przybliżenie semantyczne w wizualizacji informacji w Internecie i bibliotekach cyfrowych*. Biuletyn EBIB [on-line], nr 7 (77) [dostęp 10 lipca 2012]. Dostępny w World Wide Web: <http://www.ebib.info/2006/77/osinska.php>.
20. Osińska V. [2010a]: *Rozwój metod mapowania domen naukowych i potencjał analityczny w nim zawarty*. W: *Zagadnienia Informacji Naukowej*. Warszawa: SBP, s. 15-16.
21. Osińska V. [2010b]: *Wizualizacja dokumentów*. Wydawnictwo SBP, s. 15-48.
22. Osińska V., Bala P. [2010]: *New Methods for Visualization and Improvement of Classification Schemes: The Case of Computer Science*. *Knowledge Organization*, nr 37, ss. 157-172.
23. *Places&Spaces. Mapping Science*. Wystawa on-line. [dostęp 10 lipca 2012]. Dostępny w World Wide Web: <http://www.scimaps.org>.
24. Pindłowa W. [2005]: *Cybermetria*. W: *Profesjonalna informacja w Internecie*, Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, s. 58-61.

25. Ratajewski J. [1993]: *Elementy naukoznawstwa I kierunki rozwoju nauki europejskiej*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, s. 127-134.
26. Samoylenko I. i inn. [2006]: *Visualizing the scientific world and its evolution*. Journal of the American Society for Information Science and Technology, Vol. 57 (11), s. 1461-1469.
27. Scharnhorst A. [2003]: *Complex Networks and the Web: Insights From Nonlinear Physics*. [on-line]. Journal of Computer-Mediated Communication, 8(4), [dostęp 10 lipca 2012]. Dostępny w World Wide Web: <http://jcmc.indiana.edu/vol8/issue4/scharnhorst.html>.
28. Skalska-Zlat M. [2002]: *Bibliografia w Polsce 1945-1996, naukoznawcza analiza dyscypliny*. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego.
29. Skalska-Zlat M. [2004]: Cybermetrics, Netometrics, Webometrics – nowe pojęcia i zadania informatyki. W: *Przestrzeń informacji i komunikacji społecznej*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, ss. 159-168.
30. Skalska-Zlat M. [2001]: *Kilka uwag o bibliometrii w dydaktyce studiów bibliotekoznawczych*. Biuletyn EBIB [on-line], nr 1 (29) [dostęp 10 lipca 2012]. Dostępny w World Wide Web: <http://ebib.oss.wroc.pl/2001/29/zlat.html#01>.
31. Small H. [1973]: Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science*, 24, ss. 265-269.
32. Smolin L. [2008]: *Kłopoty z fizyką. Powstanie i rozkwit teorii strun*. Warszawa: Prószyński i S-ka.
33. Sosińska-Kalata B. [2002]: Klasyfikacja. Struktury organizacji wiedzy, piśmiennictwa i zasobów informacyjnych. Warszawa: SBP, s. 230-234.