

Agata Wawrzyniak, Barbara Wąsikowska, Karol Kuczera  
Uniwersytet Szczeciński

## ZASTOSOWANIE TEORII ZBIORÓW PRZYBLIŻONYCH W MODELOWANIU ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

### Streszczenie

W artykule zaprezentowano wyniki badań, których celem była identyfikacja czynników mających kluczowe znaczenie w procesie osiągania gotowości sieciowej (network readiness). Wykorzystano metodę zbiorów przybliżonych, należącą do obszaru sztucznej inteligencji. Otrzymane wyniki w postaci reguł decyzyjnych pokazały, iż metoda ta może być skutecznie stosowana w zarządzaniu w procesie podejmowania decyzji. Stanowi ciekawe podejście w zarządzaniu opartym o dane benchmarkingowe.

**Słowa kluczowe:** technologia komunikacyjna i informacyjna, gotowość sieciowa, konkurencyjność, zrównoważony rozwój, teoria zbiorów przybliżonych, odkrywanie wiedzy.

**Kody JEL:** O10, O21, O33

### Wstęp

Znaleźć można wiele opracowań dotyczących kluczowej roli technologii informacyjnej (IT) w rozwoju społeczeństw. Pojęcie technologii informacyjnej zastępowane jest także coraz częściej terminem „technologia komunikacyjna i informacyjna” (ICT), co podkreśla tendencję do jej wykorzystywania nie tylko w zakresie przechowywania i analizy danych, lecz także jako narzędzia pobierania i wysyłania danych, pracy zdalnej czy współpracy nie poddającej się fizycznym ograniczeniom, jak czas i przestrzeń. Można znaleźć wiele publikacji prezentujących wpływ ICT na wzrost konkurencyjności zarówno w skali mikro – przedsiębiorstw, jak i makro – miast, regionów, gospodarek. Tendencja ta widoczna jest również wyraźnie w strategii rozwoju Unii Europejskiej – dokumencie znanym jako *Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu Europa 2020. Strategia Europa 2020* obejmuje trzy wzajemnie ze sobą powiązane priorytety, do których zalicza się 1) rozwój inteligentny: rozwój gospodarki opartej na wiedzy i innowacji, 2) rozwój zrównoważony: wspieranie gospodarki efektywniej korzystającej z zasobów, bardziej przyjaznej środowisku i bardziej konkurencyjnej oraz 3) rozwój sprzyjający włączeniu społecznemu: wspieranie gospodarki o wysokim poziomie zatrudnienia, zapewniającej spójność społeczną i terytorialną. Realizacja postawionych celów osiągnana ma być zgodnie z przyjętymi 7 kluczowymi inicjatywami, w ramach których nader często pojawiają się odwołania do ICT i znaczenia, jakie ma odegrać w rozwoju Europy. Wśród inicjatyw warto zwrócić uwagę na przyjętą jako pierwszą, w maju 2010 roku, Europejską Agendę Cyfrową, w ramach której planuje się podjęcie około 100 działań, w tym 31 o charakterze legislacyjnym. Neelie Kroes, komisarz ds. Agendy Cyfrowej podkreśla przełomowe znaczenie tej części gospodarki: „Europejska gospodarka cyfrowa ma zasadnicze znaczenie dla wzrostu gospodarczego i dobrobytu. Technologie komunikacyjne i informacyjne oraz szybki Internet pełnią dzisiaj tak samo przełomową rolę jak przed ponad stu laty rozwój elektryczności i transportu. Musimy

wspierać dalszy rozwój Internetu po to, aby wszyscy obywatele mogli czerpać korzyści z gospodarki cyfrowej”<sup>1</sup>. Agenda Cyfrowa zakłada realizację siedmiu celów<sup>2</sup>:

- nowy jednolity rynek przyniesie korzyści wynikające z epoki cyfrowej,
- poprawa w zakresie tworzenia standardów ICT oraz interoperacyjności,
- zwiększenie zaufania i bezpieczeństwa,
- zwiększenie dostępu Europejczyków do szybkiego i bardzo szybkiego Internetu,
- pobudzanie pionierskich badań i innowacji w sektorze ICT,
- zapewnienie wszystkim Europejczykom umiejętności informatycznych oraz dostępności usług internetowych,
- uwolnienie potencjału ICT z korzyścią dla społeczeństwa.

Cele te mają pozwolić na wykorzystanie potencjału ukrytego w ICT oraz przyczynić się do tworzenia miejsc pracy, zrównoważonego rozwoju i włączenia społecznego.

Warta uwagi jest koncepcja gotowości sieciowej (*net readiness*) zaproponowana przez Hartmana i Sifonisa (1999) wskazujących jednocześnie na ustrukturalizowane podejście pomagające firmom w eksploracji strategii e-biznesowych. Autorzy podkreślają, iż gotowość sieciowa to nie zakupy w sieci, lecz gruntowna przebudowa oraz zmiana kształtu współpracy prowadząca do nowych zasad tworzenia wartości. Obejmuje takie zagadnienia, jak szybkość, zwinność i umiejętność przetrwania. Wskazują na cztery filary wymagające uwagi na drodze do gotowości sieciowej: przywództwo, rządy, kompetencje oraz technologia. Wydaje się, iż obecnie koncepcja nabiera nowego znaczenia i odnosi się zarówno do firm, jak i obywateli oraz całych społeczeństw, których rozwój uwarunkowany jest dostępnością, umiejętnością oraz wykorzystaniem nowoczesnych technologii.

Dostępnych jest wiele opracowań dotyczących wpływu ICT na konkurencyjność przedsiębiorstw i gospodarek. Przyjąć można, iż relacja ta jest dwustronna i dostrzegany jest wpływ czynników charakteryzujących poziom rozwoju gospodarki na wykorzystywanie nowoczesnych technologii. Tym samym kształtuje się sprzężenie zwrotne opisujące interakcję między przedsiębiorstwami a gospodarką, jak i obywatelami a technologią telekomunikacyjną. Szeroko rozumiany rozwój gospodarczy determinuje gotowość sieciową, która wpływa na rozwój gospodarczy, a tym samym wzmacnia procesy kształtujące gotowość sieciową. Taki punkt widzenia zawarty jest także w definicjach społeczeństwa informacyjnego, mówiących, iż ten typ społeczeństwa determinowany jest poziomem rozwoju wymagającym stosowania nowoczesnej infrastruktury oraz techniki do gromadzenia, przetwarzania i przesyłania informacji. Autorzy artykułu postawili sobie za cel identyfikację czynników, które mają kluczowe znaczenie w procesie osiągnięcia gotowości sieciowej. Do realizacji celu wykorzystano metodę zbiorów przybliżonych.

## Filary konkurencyjności i indeks gotowości sieciowej

Podjęte w niniejszej pracy badania oparto na dwóch raportach prezentowanych cyklicznie przez Światowe Forum Gospodarcze. Pierwszym z dokumentów jest *The Global Competitiveness Report 2010–2011*” (Schwab 2010). Opracowanie stanowi obszerny zbiór czynników branż pod uwagę podczas oceny konkurencyjności gospodarek

<sup>1</sup> European’s Information Society Thematic Portal, Digital Agenda: investment in digital economy holds key to Europe’s future prosperity, says Commission report, 2010,

[http://ec.europa.eu/information\\_society/newsroom/cf/itemdetail.cfm?item\\_id=5789](http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/itemdetail.cfm?item_id=5789) [dostęp: 29.02.2012].

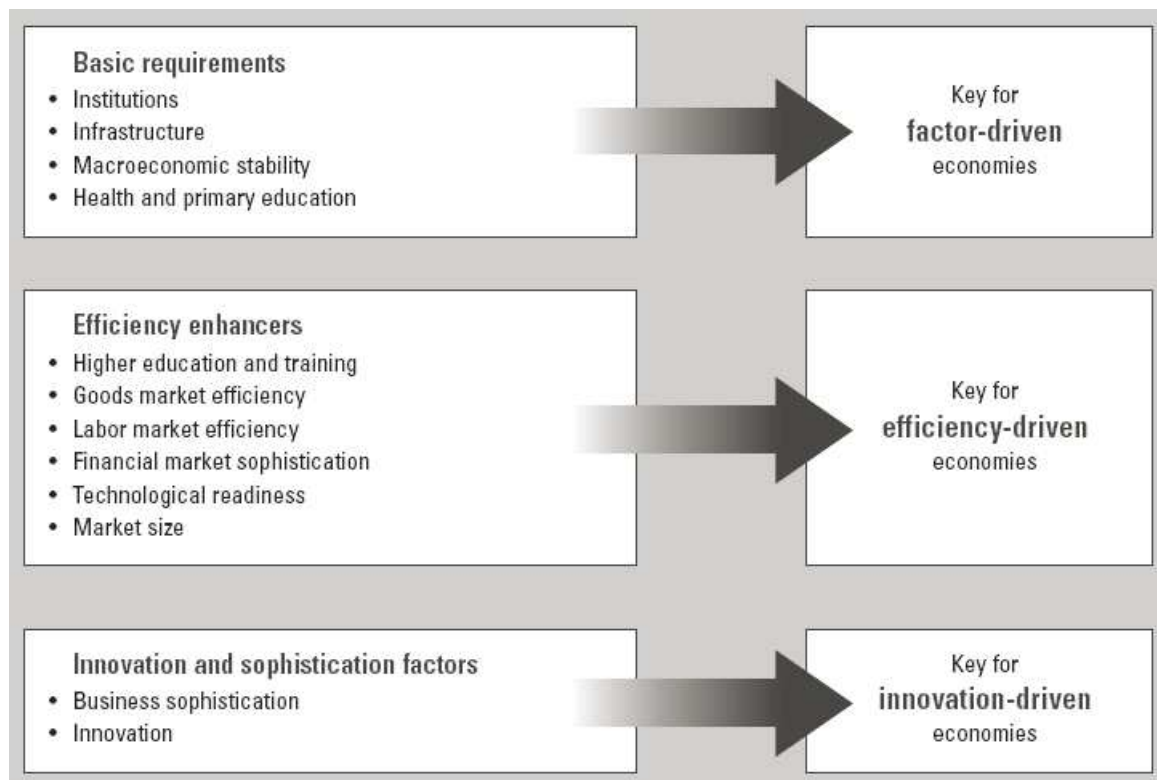
<sup>2</sup> Digital Agenda: Commission outlines action plan to boost Europe’s prosperity and well-being, Brussels 2010,

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/10/581&format=HTML&aged=1&language=EN&guiLanguage=en> [dostęp: 01.03.2012].

133 krajów objętych badaniem. W zamyśle autorów raportu może on przyczynić się do szerszego zrozumienia kluczowych czynników determinujących rozwój gospodarczy oraz do wyjaśniania różnic w generowanym wzroście poziomu przychodów oraz sposobnościach poszczególnych społeczeństw. Tym samym staje się użytecznym narzędziem dla polityków oraz przedsiębiorców w kreowaniu zasad i działań przyczyniających się do wzrostu ekonomicznego oraz przekształceń przedsiębiorstw. Prezentowane dane, obejmujące ponad 100 wskaźników, zgrupowane zostały w 12 filarach konkurencyjności. Autorzy przyjęli założenie, iż różne czynniki przyczyniają się do rozwoju konkurencyjności poszczególnych krajów w odmienny sposób w zależności od poziomu rozwoju ich gospodarki. Skutkuje to podziałem filarów konkurencyjności na 3 grupy, z których każda ma kluczowe znaczenie dla gospodarek na poszczególnych poziomach rozwoju mierzonych wartością PKB per capita. Filary konkurencyjności wraz z podziałem na 3 grupy sił napędowych rozwoju gospodarek w zależności od poziomu ich rozwoju przedstawiono na schemacie 1.

## Schemat 1

### Filary konkurencyjności



Źródło: Schwab (2010, s. 9).

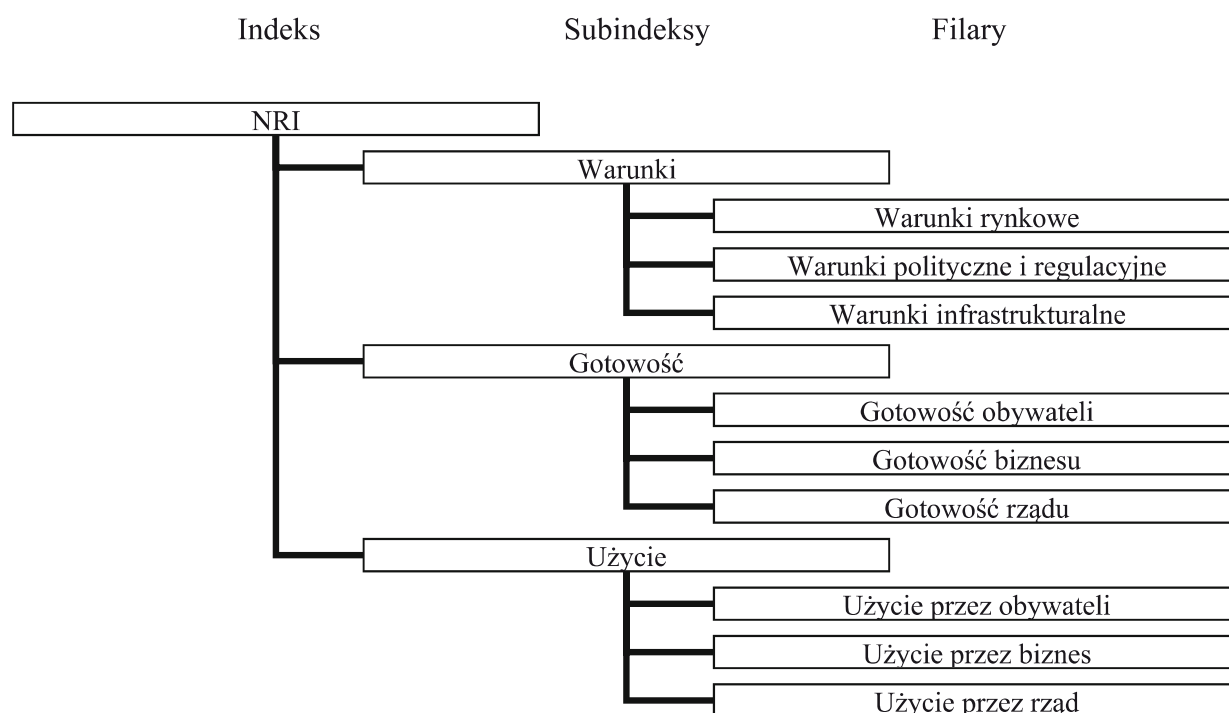
*Globalny Raport Konkurencyjności*, posługując się zebranymi danymi oraz stosownymi wagami proponuje indeks konkurencyjności stanowiący podstawę prezentacji rankingu 133 gospodarek światowych.

Drugim dokumentem wykorzystanym w niniejszym badaniu jest *The Global Information Technology Report 2009-2010. ICT for Sustainability* (Dutta, Mia 2010) będący

efektem prac ekspertów World Economic Forum oraz francuskiej szkoły biznesu INSEAD. Raport podkreśla szczególne znaczenie ICT w budowaniu strategii konkurencyjności oraz rozwoju gospodarek poszczególnych krajów. W zamyśle autorów GITR również to opracowanie stanowić może użyteczne narzędzie dla decydentów, przedsiębiorców oraz obywateli. Wykorzystane może być do monitorowania rozwoju kraju, jak również jako zbiór najlepszych praktyk i zasad przyczyniających się do coraz lepszego wykorzystywania potencjału tkwiącego w ICT. I w tym przypadku opracowany jest indeks złożony – *Networked Readiness Index* (NRI) – pozwalający na budowę rankingu gospodarek objętych badaniem. NRI identyfikuje czynniki pozwalające gospodarkom wykorzystywać technologie informacyjne i komunikacyjne w celu wzrostu konkurencyjności, staje się również benchmarkiem, do którego można odnosić osiągnięte w czasie wyniki. Struktura indeksu, zawierającego 3 subindeksy, z których każdy operuje 3 filarami, przedstawiona jest na schemacie 2.

## Schemat 2

### Struktura indeksu NRI



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Dutta, Mia (2010, s. 5).

Badanie operujące 68 zmiennymi obejmuje 133 gospodarki reprezentujące ponad 98% światowego PKB.

W realizowanym przez nas badaniu przyjęto stanowisko, prezentowane przez wielu autorów, jak również jasno przedstawione w Agendzie Cyfrowej będącej ważką inicjatywą *Strategii Europa 2020*, mówiące, że technologie komunikacyjne i informacyjne odgrywają kluczową rolę w rozwoju biznesów, społeczeństw i gospodarek. Jednocześnie uważa się, że rozwój gospodarczy jest determinantą wykorzystania ICT, a tym samym pojawia się sprzężenie zwrotne pomiędzy tymi dwoma zagadnieniami. Doprowadziło to do postawienia pyta-

nia: które z czynników konkurencyjności wpływają na gotowość sieciową. Zbiór czynników konkurencyjności przyjęto za *The Global Competitiveness Report 2010-2011* (2010). Poziom gotowości sieciowej poszczególnych krajów przyjęto natomiast za *The Global Information Technology Report 2009-2010. ICT for Sustainability* (2010). W badaniu posłużono się metodą indukcji reguł decyzyjnych dzięki, którym oczekiwano otrzymania reguł wskaźujących, które czynniki konkurencyjności i jakie ich wzajemne kombinacje prowadzą do wysokiej gotowości sieciowej. Za atrybuty decyzyjne posłużyły czynniki konkurencyjności, gotowość sieciowa stanowiła w przyjętej metodzie element decyzyjny.

## Zbiory przybliżone w identyfikacji czynników wpływających na gotowość sieciową

Teoria zbiorów przybliżonych (*Rough Set Theory*) została zaproponowana przez Zdzisława Pawłaka na początku lat osiemdziesiątych (Pawlak 1982, s. 344-356). Od tego czasu była rozwijana przez wiele lat przez jej twórcę i wielu innych badaczy, stanowiąc teoretyczną podstawę różnych metod i narzędzi informatycznych, które umożliwiają m.in. indukcję reguł decyzyjnych czy też redukcję zbiorów danych. Teoria zbiorów przybliżonych zyskała dużą popularność i jest obecnie stosowana z powodzeniem m.in. w eksploracji danych i odkrywaniu wiedzy, złożonych zadaniach klasyfikacji oraz w komputerowych systemach wspomaganie decyzji. Dziedziny, w których teoria ta była dotychczas zastosowana to m.in.: medycyna, farmakologia, finanse i marketing (w tym przede wszystkim badania rynku), sterowanie produkcją, analiza obrazów i sygnałów, rozpoznawanie mowy, lingwistyka, sztuczna inteligencja, chemia, socjologia. Zastosowaniom tym towarzyszą systemy i moduły programowe. Szczegółowe opracowanie zarówno podstaw teoretycznych jak i listę zastosowań teorii zbiorów przybliżonych można znaleźć w literaturze (Komorowski i in. 1999).

Na popularność tej metody złożyło się wiele czynników. Przede wszystkim teoria zbiorów przybliżonych wraz z algorytmami ją wykorzystującymi, pozwala analizować duże zbiory danych umożliwiając przy tym redukcję zbioru cech opisujących obiekty do niezbędnego minimum (tzw. redukt zbioru atrybutów), usuwając niespójność w danych, jeśli taka ma miejsce oraz generując z danych tzw. reguły minimalne, a więc symulując postępowanie eksperta z danej dziedziny, który zazwyczaj swą wiedzę potrafiłby najszybciej przedstawiać jako takie właśnie reguły (zapisy postaci: *if ... and ... then...*). Za zalety teorii zbiorów przybliżonych należy uznać, że: nie wymaga ona założeń odnośnie do danych (np. prawdopodobieństwa czy rozmytości), zawiera szybkie algorytmy analizy danych, ułatwia interpretację wyników oraz charakteryzuje się znaczną prostotą matematyczną (Pawlak 2004). Algorytm działań związanych z wnioskowaniem ze zbiorów przybliżonych przedstawia schemat 3.

W ramach niniejszego artykułu przedstawiony został sposób wykorzystania zbiorów przybliżonych do stworzenia bazy reguł. Reguły mają wskazać które czynniki z charakterystyki gospodarek mają istotny wpływ na osiąganie wysokiego poziomu gotowości sieciowej. Opublikowane przez World Economic Forum dane zawarte w raportach dotyczących globalnej konkurencyjności i technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) (*The Global Competitiveness Report 2010*; *The Global Information Technology Report 2010*) stanowią tzw. system informacyjny, który jest jednym z wielu sposobów przedstawiania informacji o obiektach charakteryzowanych przez ten sam zbiór cech. Systemem informacyjnym nazywamy uporządkowaną czwórkę  $SI=(U, Q, V, f)$ , gdzie  $U$  jest zbior-

rem obiektów (przykładów) i jest zwany uniwersum,  $Q$  jest zbiorem cech (atrybutów),  $V = \cup_{q \in Q} V_q$  jest zbiorem wszystkich możliwych wartości cech, natomiast  $f: U \times Q \rightarrow V$  jest funkcją informacyjną (Rutkowski 2005). Szczególnym przypadkiem systemu informacyjnego są tablice informacyjne. Tablicą informacyjną nazywamy uporządkowaną piątkę  $T = (U, Q, D, V, f)$ , gdzie  $D$  jest to zbiór cech (atrybutów) decyzyjnych. Tablicowy sposób reprezentacji danych posiada dwie zasadnicze cechy: uniwersalność, co oznacza, że pozwala na gromadzenie i przechowywanie różnorodnych danych oraz efektywność co oznacza, że umożliwia w łatwy sposób komputerową analizę tak zapisanych danych.

### Schemat 3

#### Algorytm działań związanych z wnioskowaniem ze zbiorów przybliżonych



Źródło: Wawrzyniak (2010).

Z danych źródłowych zawartych w raporcie konkurencyjności, z ponad 100 właściwości opisujących gospodarki wybrano metodą ekspercką 46 cech. Redukcja polegała na wyeliminowaniu cech, które wydały się nieistotne przez pryzmat przyjętego celu badania. Wśród pominiętych cech wymienić można dla przykładu siłę oddziaływania malarii na prowadzenie biznesu w tym śmiertelność, zachorowania, koszty leczenia i pogrzebów itp. Wybrane dane dotyczące globalnej konkurencyjności oraz Networked Readiness Index (NRI) pochodzący z raportu dotyczącego technologii informatycznych zostały przez autorów uporządkowane w postaci elektronicznej tabeli i stanowią tzw. pierwotną tablicę informacyjną (por. tabela 1). Do tabeli tej trafiły kraje, które zostały ujęte w obu raportach, różnice w tym zakresie pomiędzy dokumentami były niewielkie, łącznie pominięto 8 krajów, ujętych jedynie w jednym z raportów, wśród których znalazły się m.in. takie kraje afrykańskie, jak Republika Surinamu czy Królestwo Suazi, atlantycka Republika Zielonego Przylądka oraz Iran czy Mołdawia. Przyjąć można, iż pominięcie tych krajów nie wpływa na ogólną procedurę wnioskowania.

Pierwotna tabela informacyjna została następnie, w wyniku przeprowadzonej dyskretyzacji, przekształcona we wtórna tablicę informacyjną zgodnie z wymogami teorii zbiorów przybliżonych (por. tabela 2). Dyskretyzacja polegała na podzieleniu zakresu wartości, jakie przyjmował dany atrybut warunkowy na 4 równe przedziały poprzez wyznaczenie dolnego i górnego kwartylu oraz mediany. Każdej części nadano odpowiednio numery

z zakresu od 1 do 4. Pierwsza kolumna zawiera numery nadane poszczególnym państwom (od nr p1 do p132). W kolejnych 46 kolumnach znajdują się wartości atrybutów warunkowych, według których przeprowadzona została analiza danych. W ostatniej kolumnie znajduje się atrybut decyzyjny informujący o wartości indeksu NRI. Tak przygotowane wstępnie dane poddano analizie metodą zbiorów przybliżonych używając do tego programu DAT (Data Analysis Toolbox) działającego w środowisku MATLAB R2010a.

**Tabela 1****Fragment pierwotnej tablicy informacyjnej**

Nazwa kraju	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	...	q46	NRI
Albania	3,1	3,4	4,0	4,6	6,1	5,2	4,8	4,0	3,5		3,1	3,1
Algieria	2,8	3,3	2,3	3,6	4,4	5,1	4,1	3,9	3,9		4,5	4,5
Argentyna	2,2	2,4	2,0	3,5	6,5	6,0	3,6	3,6	2,8		2,9	2,9
Armenia	1,9	2,1	2,6	3,5	6,4	4,2	4,2	3,5	3,3		4,0	4,0
Australia	2,8	3,4	3,1	4,5	6,4	5,4	3,9	3,2	3,4		3,7	3,7
Austria	4,6	4,4	3,4	5,2	5,5	6,2	5,5	5,2	5,3		4,5	4,5
Azerbejdżan	4,0	4,2	3,6	5,3	6,7	6,6	5,0	4,8	6,3		4,7	4,7
Bahrajn	3,1	3,4	3,7	4,5	5,9	5,0	4,2	3,8	3,8		4,0	4,0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Zimbabwe	2,6	2,5	3,1	4,3	6,6	6,1	4,8	4,6	3,2		2,9	2,7

gdzie:

q1 – protekcja w decyzjach urzędników rządowych

q2 – niegospodarność w wydatkach rządowych

q3 – obciążenia związane z rządowymi regulacjami

q4 – przejrzystość polityki rządowej

q5 – koszty biznesowe ponoszone w związku z terroryzmem

q6 – przestępczość zorganizowana

q7 – skuteczność nadzoru korporacyjnego

q8 – ochrona interesów akcjonariuszy mniejszościowych

q9 – jakość infrastruktury kolejowej

q46 – dostępność do kadry naukowej i inżynierskiej

NRI – Networked Readiness Index

Źródło: *The Global Competitiveness Report 2010-2011* (2010); Dutta, Mia (2010).

Na podstawie przeprowadzonych wstępnie obliczeń tj. wyznaczeniu zbiorów elementarnych (czyli zbiorów przykładów zawierających te same wartości atrybutów warunkowych), konceptów decyzyjnych (czyli zbiorów przykładów zawierających tę samą wartość decyzji) podjęto próbę zredukowania zbioru atrybutów warunkowych zarówno w sposób względny, jak i bezwzględny. W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano redukt względny zawierający następujące atrybuty warunkowe: {q1, q4, q7, q19, q38}. Zbadano również istotność poszczególnych atrybutów warunkowych obliczając dla każdego z atrybutów znormalizowany współczynnik istotności (por. tabela 3). Z analizy tabeli 3 wynika, że istotność każdego z wybranych atrybutów jest większa niż zero, co potwierdza fakt, że nie można żadnego z nich usunąć z tablicy decyzyjnej – wszystkie atrybuty są w mniejszym lub większym stopniu istotne.

**Tabela 2**  
**Fragmęnt wtórnej tablicy informacyjnej**

U	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	...	q46	d
p1	3	3	4	3	3	2	3	2	1		1	1
p2	2	2	1	1	1	2	1	2	2		3	1
p3	1	1	1	1	4	1	1	1	1		2	1
p4	2	3	2	3	4	3	1	1	4		2	1
p5	4	4	3	4	2	4	4	4	2		3	4
p6	4	4	3	4	4	4	4	3	2		4	4
p7	3	3	3	3	3	2	1	1	4		2	2
p8	3	4	4	3	2	4	4	4	4		3	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
p132	1	1	2	2	4	4	3	3	4		1	1

gdzie:

U – zbiór przykładów (obiektów)

$U = \{p1, p2, p3, \dots, p132\}$

Q – zbiór atrybutów warunkowych

$Q = \{q\}$

D – zbiór atrybutów decyzyjnych

$D = \{d\}$

Źródło: opracowanie własne.

**Tabela 3**  
**Istotność poszczęgólnych atrybutów warunkowych**

Atrybut	Istotność
q1	0,1121
q4	0,0862
q7	0,0517
q19	0,1724
q38	0,2241

Źródło: jak w tabeli 2.

Kolejnym krokiem było dokonanie aproksymacji (przybliżenia) zbioru, czyli wyznaczenie dolnych i górnych przybliżeń, brzegu zbioru oraz obszarów pozytywnych i negatywnych zbioru [dokładne wyjaśnienie tych pojęć oraz odpowiednie wzory można znaleźć między innymi w pracach (Piegat 2005/2006; Rutkowski 2005; Mrózek i Płonka 1999)]. Na podstawie otrzymanych wyników obliczono współczynnik jakości przybliżenia gamma, który informuje o tym w ilu procentach analizowane przykłady oraz atrybuty wa-



runkowe pozwalają wyznaczyć reguły pewne. Jakość przybliżenia zbioru  $F$  wyraża się następującym wzorem:

$$\gamma_{\tilde{Q}}(F) = \frac{\text{card}(\text{Pos}_{\tilde{Q}}(F))}{\text{card}(U)} \quad (1)$$

gdzie w liczniku znajduje się liczebność przykładów zawartych w pozytywnym regionie zbioru a w mianowniku liczebność przykładów zawartych w całym uniwersum zbioru. W tym wypadku wartość współczynnika gamma wyniosła 0,8788, co oznacza że na podstawie 87,9% przykładów zebranych w tablicy można otrzymać reguły, które są w 100% pewne. W wyniku przeprowadzenia dalszych analiz otrzymano tablicę decyzyjną zawierającą 99 reguł. Tabelę tę podzielono na część dobrze i źle zdefiniowaną. W części dobrze zdefiniowanej zawarte zostały reguły pewne, których suma wyniosła 95, natomiast w części źle zdefiniowanej zawarte zostały reguły sprzeczne (w sumie 4 reguły). W następnym kroku dokonano uproszczenia reguł podobnych z części dobrze zdefiniowanej (liczbę reguł udało się zredukować do 22, co znacząco zwiększyło użyteczność bazy reguł w podejmowaniu decyzji). W tabeli 4 przedstawiono algorytm decyzyjny zawierający reguły poparte największą liczbą przypadków.

**Tabela 4**

**Algorytm decyzyjny**

Nr reguły	Reguła	Liczba przypadków popierających regułę
1	Jeżeli $q_1=1$ i $q_4=1$ i $q_7=1$ i $q_{19}=1$ i $q_{38}$ różne od 4 to $d=1$	9
2	Jeżeli $q_1=1$ i $q_4=1$ lub 2 i $q_{19}$ różne od 4 i $q_{38}=1$ to $d=1$	9
3	Jeżeli $q_1=3$ i $q_4$ różne od 4 i $q_{19}=1$ lub 2 i $q_{38}=1$ lub 2 to $d=1$	8
4	Jeżeli $q_1=2$ i $q_4=2$ i $q_7$ różne od 4 i $q_{19}=1$ lub 2 i $q_{38}=1$ to $d=1$	6
5	Jeżeli $q_1=1$ i $q_{19}=2$ lub 3 i $q_{38}$ różne od 1 to $d=2$	18
6	Jeżeli $q_1=2$ i $q_4=2$ lub 3 i $q_{38}=2$ lub 3 to $d=2$	11
7	Jeżeli $q_1=3$ i $q_4$ różne od 4 i $q_7$ różne od 4 i $q_{38}=2$ lub 3 to $d=2$	10
8	Jeżeli $q_1=3$ i $q_4$ różne od 1 i $q_{19}$ różne od 1 i $q_{38}=3$ lub 4 to $d=3$	7
9	Jeżeli $q_1=4$ i $q_4=3$ lub 4 i $q_7=3$ lub 4 i $q_{19}$ różne od 1 i $q_{38}$ różne od 1 to $d=3$	5
10	Jeżeli $q_1=4$ i $q_4$ różne od 1 i $q_7=3$ lub 4 i $q_{19}=4$ i $q_{38}=3$ lub 4 to $d=4$	5
11	Jeżeli $q_1=3$ i $q_4=4$ lub 3 i $q_7$ różne od 1 i $q_{19}=4$ i $q_{38}=4$ to $d=4$	5

Źródło: jak w tabeli 2.

Po przeanalizowaniu reguł w tablicy z części dobrze zdefiniowanej poddano analizie również reguły sprzeczne. Spośród 4 reguł jedna para reguł sprzecznych zwróciła szczególną uwagę autorów:

jeżeli  $q_1=4$  i  $q_4=4$  i  $q_7=4$  i  $q_{19}=4$  i  $q_{38}=4$  to  $d=4$  (13/ 14),

jeżeli  $q_1=4$  i  $q_4=4$  i  $q_7=4$  i  $q_{19}=4$  i  $q_{38}=4$  to  $d=1$  ( 1/ 14);

Choć są to reguły sprzeczne, to należy zwrócić uwagę na to, ile przypadków popiera daną regułę. Pierwszą z przedstawionych reguł popiera aż 13 przypadków na 14 zawierających takie same wartości atrybutów warunkowych (informuje o tym charakterystyka zwana siłą reguły). Tym czasem regułę do niej sprzeczną, drugą z przedstawionych powyżej, popiera tylko jeden przypadek. Należało by się więc zastanowić, czy nie wziąć pod uwagę słuszności pierwszej z reguł, a odrzucić drugą z nich jako stanowiącą wyjątek. W sytuacji takiej reguła nr 10 w tabeli 4 zostanie poparta 18 przypadkami.

Pod atrybutami warunkowymi uwzględnionymi w powyższych regułach kryją się następujące czynniki konkurencyjności:

- $q_1$  – faworyzowanie w decyzjach urzędników państwowych (w skali 1-7, gdzie 1 faworyzowanie zawsze widoczne, faworyzowanie nigdy nie jest widoczne);
- $q_4$  – przejrzystość polityki rządowej (w skali 1-7, gdzie 1 oznacza niemożliwość pozyskania informacji dotyczącej zmian w polityce rządu i regulacji wpływających na działalność biznesu, 7 oznacza skrajną łatwość w dostępie do informacji);
- $q_7$  – skuteczność nadzoru korporacyjnego (w skali 1-7, gdzie 1 oznacza niewielką odpowiedzialność zarządu przed inwestorami i radą nadzorczą, 7 oznacza silny nadzór korporacyjny);
- $q_{19}$  – lokalna dostępność specjalistycznych usług badawczych i szkoleniowych (w skali 1-7, gdzie 1 oznacza brak, 7 szeroką dostępność);
- $q_{38}$  – odsetek abonentów szerokopasmowego Internetu – przyjął wartości o 0 do 41,1.

We wszystkich analizowanych zmiennych warunkowych przyjąć można, że wyższe wartości interpretowane są jako korzystniejsze.

## Wnioski z przeprowadzonych badań

Celem niniejszego opracowania jest identyfikacja cech, które mają kluczowe znaczenie dla osiągnięcia wysokiego poziomu gotowości sieciowej. Tym samym istotne wydają się reguły, w których atrybut decyzyjny  $d$  przyjął wartość maksymalną – 4. Dyskretna wartość 4 odpowiada przedziałowi wartości ciągłych  $(4,65-6,00>$  charakteryzujących kraje o najwyższym stopniu wykorzystania nowoczesnych technologii. W grupie tej znalazły się m.in. Stany Zjednoczone, Kanada, Hong Kong, Tajwan, Zjednoczone Emiraty Arabskie czy Australia. Europę reprezentują wszystkie kraje skandynawskie, Szwajcaria, Holandia, Wielka Brytania, Niemcy, Francja i inne. Grupa ta liczy łącznie 26 krajów, wszystkie z nich odnotowują wysoki poziom przychodów.

Atrybut decyzyjny przyjął wartość 4 w regułach 10 i 11, przy czym reguła 10 posiada poparcie 18 przypadkami, tzn. 18 z 26 wytypowanych krajów posiada przedstawioną regułą zbiór wartości cech.

Reguła 10, która przyjęła postać:

Jeżeli  $q_1=4$  i  $q_4$  różne od 1 i  $q_7=3$  lub 4 i  $q_{19}=4$  i  $q_{38}=3$  lub 4 to  $d=4$

interpretowana jest, przy użyciu pierwotnych wartości ciągłych, jako:

„Jeżeli wskaźnik faworyzowania w decyzjach urzędników państwowych ( $q_1$ ) przyjmuje wartość  $(3,8-6,0>$  (najwyższe czyli najlepsze) i wskaźnik przejrzystości polityki rządowej ( $q_4$ ) przyjmuje wartość  $(3,85-6,3>$  (nie najniższe) i wskaźnik skuteczności nadzoru korporacyjnego ( $q_7$ ) przyjmuje wartość  $(4,5-5,9>$  (wyższe i najwyższe)

i wskaźnik lokalnej dostępności do specjalistycznych badań i usług szkoleniowych (q19) przyjmuje wartość (4,7–6,5> (najwyższe) i wskaźnik abonamentów Internetu szerokopasmowego (q38) przyjmuje wartość (4,6–41,1> (wyższe i najwyższe) to wartość NRI wynosi (4,65–6,00> czyli najwyżej wśród badanych gospodarek”.

Analogiczną interpretację przedstawić można dla reguły 11 o postaci:

Jeżeli  $q1=3$  i  $q4=4$  lub  $3$  i  $q7$  różne od  $1$  i  $q19=4$  i  $q38=4$  to  $d=4$

„Jeżeli wskaźnik faworyzowania w decyzjach urzędników państwowych (q1) przyjmuje wartość (3,0–3,8> (wyższe lecz nie najwyższe) i wskaźnik przejrzystości polityki rządowej (q4) przyjmuje wartość (4,3–6,3> (wyższe i najwyższe) i wskaźnik skuteczności nadzoru korporacyjnego (q7) przyjmuje wartość (4,2–5,9> (nie najniższe) i wskaźnik lokalnej dostępności do specjalistycznych badań i usług szkoleniowych (q19) przyjmuje wartość (4,7–6,5> (najwyższe) i wskaźnik abonamentów Internetu szerokopasmowego (q38) przyjmuje wartość (18,1–41,1> (najwyższe) to wartość NRI wynosi (4,65–6,00> czyli najwyżej wśród badanych gospodarek”.

W ten sam sposób odczytywane mogą być także wartości przypisane do wytypowanych cech, które przekładają się na podstawie otrzymanych reguł na niższe poziomy indeksu gotowości sieciowej (NRI).

Jednocześnie wart zauważenia, jest fakt, iż parametry decyzyjne q1, q4 i q7 należą do 1 grupy a q19 i q38 do drugiej grupy czynników wywierających wpływ na konkurencyjność gospodarek (por. schemat 1). Tym samym nasuwa się wniosek, iż o gotowości do wykorzystywania nowoczesnej technologii w dużej mierze decydują „fundamentalne” czynniki konkurencyjności. Ponadto trzy (q1, q4, q7) z pięciu wytypowanych zmiennych uwarunkowane są działaniami rządowymi, pozostałe 2 częściowo kształtowane mogą być droga interwencjonizmu państwowego.

## Podsumowanie

Przedstawione w artykule badania koncentrowały się na analizie danych dotyczących czynników konkurencyjności gospodarek oraz gotowości do korzystania z nowoczesnych rozwiązań teleinformatycznych. Poszukiwano odpowiedzi na pytanie, które z czynników konkurencyjności przyczyniają się do wysokiego poziomu wykorzystania technologii komunikacyjnych i informatycznych w społeczeństwie. Indukcja reguł stanowić może z powodzeniem element procesu decyzyjnego, a tym samym znajduje miejsce w szeroko pojętym zarządzaniu, zarówno w skali makro, dotyczącej całych społeczeństw, jak i w ramach wyborów podejmowanych przez pojedyncze przedsiębiorstwa. Zgodnie z intencjami autorów raportów, które posłużyły w prezentowanym badaniu jako dane, stały się one *benchmarkami* (Dutta, Mia 2009, s. 4). W takim ujęciu prowadzone działania, które dzięki zastosowaniu zbiorów przybliżonych, pozwoliły na indukcję reguł, wpisują się w podejście znane w literaturze pod pojęciem benchmarkingu. Realizacja tego podejścia to jest szczególnie pożądana w takich krajach, jak Polska, które borykają się z koniecznością nadgania różnic w poziomie rozwoju gospodarczego w stosunku do np. wielu krajów członkowskich UE, a jednocześnie, ze względu na opóźnienie, dysponują obrazem pożądanego kierunku rozwoju dzięki analizie charakterystyki krajów wysoko rozwiniętych.

## Bibliografia

- Dutta S., Mia I. (eds.) (2009), *The Global Information Technology Report 2008-2009*, World Economic Forum, INSEAD, Genewa.
- Dutta S. Mia I. (eds.) (2010), *The Global Information Technology Report 2008-2010*, World Economic Forum, INSEAD, Geneva.
- Hartman A., Sifonis J., Kador J. (1999), *Met-Ready-Strategies for Success in the E-economy*, McGraw-Hill Companies.
- Komorowski J., Pawlak Z., Polkowski L., Skowron A. (1999), *Rough sets: A tutorial*, (w:) Pal S.K. and Skowron A. (eds.), *Rough fuzzy hybridization: A new trend in decision making*, Springer-Verlag, Singapore.
- Mrózek A., Płonka L. (1999), *Analiza danych metodą zbiorów przybliżonych. Zastosowania w ekonomii, medycynie i sterowaniu*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa.
- Pawlak Z. (1982), *Rough sets*, "International Journal of Information and Computer Science", No. 341(11).
- Pawlak Z. (1990), *Rough Sets. Theoretical Aspects of Reasoning about Data*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1990.
- Pawlak Z. (2004), *Zbiory przybliżone nowa matematyczna metoda analizy danych*, (w:) „Miesięcznik Politechniki Warszawskiej” nr 5:  
[http://bcpw.bg.pw.edu.pl/Content/1949/zb\\_przyb.pdf](http://bcpw.bg.pw.edu.pl/Content/1949/zb_przyb.pdf).
- Pawlak Z., Słowiński K., Stefanowski J. (2002), *Teoria zbiorów przybliżonych w analizie danych*, (w:) Nałęcz M. (red.), *Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna, tom 7: Systemy Komputerowe i Teleinformatyczne w Służbie Zdrowia*, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa.
- Piegat A. (2005/2006), *Zastosowania zbiorów przybliżonych w ekonomii*, wykłady – rękopis powielony, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin.
- Rutkowski L. (2005), *Metody i techniki sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- The Global Competitiveness Report 2010-2011* (2010), World Economic Forum 2010. Dostępny w Internecie: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GlobalCompetitivenessReport\\_2010-11.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2010-11.pdf)
- The Global Information Technology Report 2009-2010. ICT for Sustainability* (2010), World Economic Forum 2010, [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GITR\\_Report\\_2010.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GITR_Report_2010.pdf).
- Wawrzyniak A. (2010), *Zastosowanie teorii zbiorów przybliżonych do identyfikacji reguł zachowań rynkowych na przykładzie urzędów gminnych województwa zachodniopomorskiego*, „Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą”, nr 36.

## Application of Rough Set Theory in Modelling of Sustainable Development

### Summary

In the article, the results of research, which was aimed to identify the factors having the key importance in process of achieving the network readiness, were presented. The method of rough sets belonging to the field of artificial science was used. The obtained results in the form of decision-making rules showed that the method can be efficiently used in managing decision-making support process. This represents an interesting approach to data management based on benchmarking.