

PRACE NAUKOWE

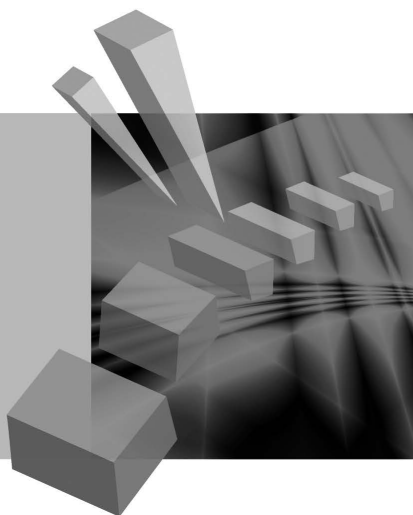
Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

238

Zastosowania badań operacyjnych Zarządzanie projektami, decyzje finansowe, logistyka



Redaktor naukowy

Ewa Konarzewska-Gubała



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2011

Recenzenci: Stefan Grzesiak, Donata Kopańska-Bródka, Wojciech Sikora,
Józef Stawicki, Tomasz Szapiro, Tadeusz Trzaskalik

Redaktor Wydawnictwa: Elżbieta Kożuchowska

Redaktor techniczny: Barbara Łopusiewicz

Korektor: Barbara Cibis

Łamanie: Małgorzata Czupryńska

Projekt okładki: Beata Dębska

Publikacja jest dostępna w Internecie na stronach:

www.ibuk.pl, www.ebscohost.com,

The Central and Eastern European Online Library www.ceeol.com,

a także w adnotowanej bibliografii zagadnień ekonomicznych BazEkon

http://kangur.uek.krakow.pl/bazy_ae/bazekon/nowy/index.php

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania znajdują się

na stronie internetowej Wydawnictwa

www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Kopiowanie i powielanie w jakiegokolwiek formie

wymaga pisemnej zgody Wydawcy

© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2011

ISSN 1899-3192

ISBN 978-83-7695-195-9

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Druk: Drukarnia TOTEM

Spis treści

Wstęp.....	9
------------	---

Część 1. Zarządzanie projektami i innowacjami

Tomasz Błaszczyk: Świadomość i potrzeby stosowania metod badań operacyjnych w pracy polskich kierowników projektów	13
Barbara Gładysz: Metoda wyznaczania ścieżki krytycznej przedsięwzięć z rozmytymi czasami realizacji zadań	25
Marek Janczura, Dorota Kuchta: Proactive and reactive scheduling in practice.....	34
Tymon Marchwicki, Dorota Kuchta: A new method of project schedule levelling	52
Aleksandra Rutkowska, Michał Urbaniak: Harmonogramowanie projektów na podstawie charakterystyk kompetencji – wrażliwość modelu na różne aspekty liczb rozmytych	66
Jerzy Michnik: Zależności między kryteriami w wielokryterialnych modelach zarządzania innowacjami	80

Część 2. Podejmowanie decyzji finansowych

Przemysław Szufel, Tomasz Szapiro: Wielokryterialna symulacyjna ocena decyzji o finansowaniu edukacji wyższej	95
Marek Kośny: Koncepcja dominacji pierwszego i drugiego rzędu w analizie wzorca zmian w rozkładzie dochodu.....	111
Agnieszka Przybylska-Mazur: Podejmowanie decyzji monetarnych w kontekście realizacji celu inflacyjnego	120
Agata Gluzicka: Analiza ryzyka rynków finansowych w okresach gwałtownych zmian ekonomicznych	131
Ewa Michalska: Zastosowanie prawie dominacji stochastycznych w konstrukcji portfela akcji	144
Grzegorz Tarczyński: Analiza wpływu ogólnej koniunktury giełdowej i wzrostu PKB na stopy zwrotu z portfela akcji przy wykorzystaniu rozmytych modeli Markowitza.....	153

Część 3. Problemy logistyki, lokalizacji i rekrutacji

Paweł Hanczar, Michał Jakubiak: Wpływ różnych koncepcji komisjonowania na czas realizacji zamówienia w węzle logistycznym	173
Mateusz Grzesiak: Zastosowanie modelu transportowego do racjonalizacji dostaw wody w regionie	186
Piotr Wojewnik, Bogumił Kamiński, Marek Antosiewicz, Mateusz Zawisza: Model odejść klientów na rynku telekomunikacyjnym z uwzględnieniem efektów sieciowych	197
Piotr Miszczyński: Problem preselekcji kandydatów w rekrutacji masowej na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa	211

Część 4. Pomiar dokonań, konkurencja firm, negocjacje

Marta Chudykowska, Ewa Konarzewska-Gubała: Podejście ilościowe do odwzorowania celów strategicznych w systemie pomiaru dokonań organizacji na przykładzie strategii miasta Wrocławia	231
Michał Purczyński, Paulina Dolata: Zastosowanie metody DEA do pomiaru efektywności nakładów na reklamę w przemyśle piwowarskim	246
Mateusz Zawisza, Bogumił Kamiński, Dariusz Witkowski: Konkurencja firm o różnym horyzoncie planowania w modelu Bertrand z kosztem decyzji i ograniczoną świadomością cenową klientów	263
Jakub Brzostowski: Poprawa rozwiązania negocjacyjnego w systemie <i>Nego-Manage</i> poprzez zastosowanie rozwiązania przetargowego	296

Część 5. Problemy metodologiczne

Helena Gaspars-Wieloch: Metakryterium w ciągłej wersji optymalizacji wielocelowej – analiza mankamentów metody i próba jej udoskonalenia.	313
Dorota Górecka: Porównanie wybranych metod określania wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych	333
Maria M. Kaźmierska-Zatoń: Wybrane aspekty optymalizacji prognoz kombinowanych	351
Artur Prędko: Spojrzenie na metody estymacji w modelach regresyjnych przez pryzmat programowania matematycznego	365
Jan Schneider, Dorota Kuchta: A new ranking method for fuzzy numbers and its application to the fuzzy knapsack problem	379

Summaries

Part 1. Project and innovation management

Tomasz Błaszczyk: Awareness and the need for operations research methods in the work of Polish project managers	24
Barbara Gładysz: A method for finding critical path in a project with fuzzy tasks durations	33
Marek Janczura, Dorota Kuchta: Proaktywne i reaktywne harmonogramowanie w praktyce	51
Tymon Marchwicki, Dorota Kuchta: Nowa metoda niwelacji harmonogramu projektu	64
Aleksandra Rutkowska, Michał Urbaniak: Project scheduling using fuzzy characteristics of competence – sensitivity of the model to the use of different aspects of fuzzy numbers	79
Jerzy Michnik: Dependence among criteria in multiple criteria models of innovation management	92

Part 2. Financial decision-making

Przemysław Szufel, Tomasz Szapiro: Simulation approach in multicriteria decision analysis of higher education financing policy	110
Marek Kośny: First and second-order stochastic dominance in analyses of income growth pattern	119
Agnieszka Przybylska-Mazur: Monetary policy making in context of execution of the strategy of direct inflation targeting	130
Agata Gluzicka: Analysis of risk of financial markets in periods of violent economic changes	143
Ewa Michalska: Application of almost stochastic dominance in construction of portfolio of shares	152
Grzegorz Tarczyński: Analysis of the impact of economic trends and GDP growth in the return of shares using fuzzy Markowitz models	169

Part 3. Logistics, localization and recruitment problems

Paweł Hanczar, Michał Jakubiak: Influence of different order picking concepts on the time of execution order in logistics node	185
Mateusz Grzesiak: Application of transportation model for rationalization of water supply in the region	196
Piotr Wojewnik, Bogumił Kamiński, Marek Antosiewicz, Mateusz Zawisza: Model of churn in the telecommunications market with network effects	210

Piotr Miszczyński: The problem of pre-selection of candidates in mass recruitment on the example of the chosen company.....	227
--	-----

Part 4. Performance measurement, companies competition, negotiations

Marta Chudykowska, Ewa Konarzewska-Gubała: Quantitative approach to the organization strategy mapping into the performance measurement system: case of strategy for Wrocław city	245
Michał Purczyński, Paulina Dolata: Application of Data Envelopment Analysis to measure effectiveness of advertising spendings in the brewing industry	262
Mateusz Zawisza, Bogumił Kamiński, Dariusz Witkowski: Bertrand competition with switching cost.....	295
Jakub Brzostowski: Improving negotiation outcome in the NegoManage system by the use of bargaining solution.....	309

Part 5. Methodological problems

Helena Gaspars-Wieloch: The aggregate objective function in the continuous version of the multicriteria optimization – analysis of the shortcomings of the method and attempt at improving it.....	332
Dorota Górecka: Comparison of chosen methods for determining the weights of criteria for evaluating decision variants	350
Maria M. Kaźmierska-Zatoń: Some aspects of optimizing combined forecasts.....	363
Artur Prędko: Mathematical programming perspective on estimation methods for regression models	378
Jan Schneider, Dorota Kuchta: Nowa metoda rankingowa dla liczb rozmytych i jej zastosowanie dla problemu rozmytego plecaka	389

Przemysław Szufel, Tomasz Szapiro

Szkoła Główna Handlowa w Warszawie

WIELOKRYTERIALNA SYMULACYJNA OCENA DECYZJI O FINANSOWANIU EDUKACJI WYŻSZEJ

Streszczenie: W tekście zaproponowano procedurę optymalizacji w warunkach podejmowania decyzji wielokryterialnych, w których przyporządkowanie ocen wariantom decyzji nie ma jawnej reprezentacji. Rozważany problem dotyczy identyfikacji i optymalizacji skutków projektów reform systemu edukacji wyższej modyfikujących system finansowania opłat za studia, a w szczególności wprowadzenia współpłatności. W opracowaniu przedstawiono model systemu edukacyjnego, który został wystylizowany i skalibrowany danymi z polskiej gospodarki. Za pomocą metod symulacji wieloagentowej wyznaczono wielokryterialne oceny decyzji regulatora o finansowaniu systemu edukacji wyższej (średni dochód, nierówności, wydatki budżetowe). Wyboru niezdominowanych ocen dokonano zgodnie z preferencjami reprezentowanymi za pomocą stożkowej relacji dominacji.

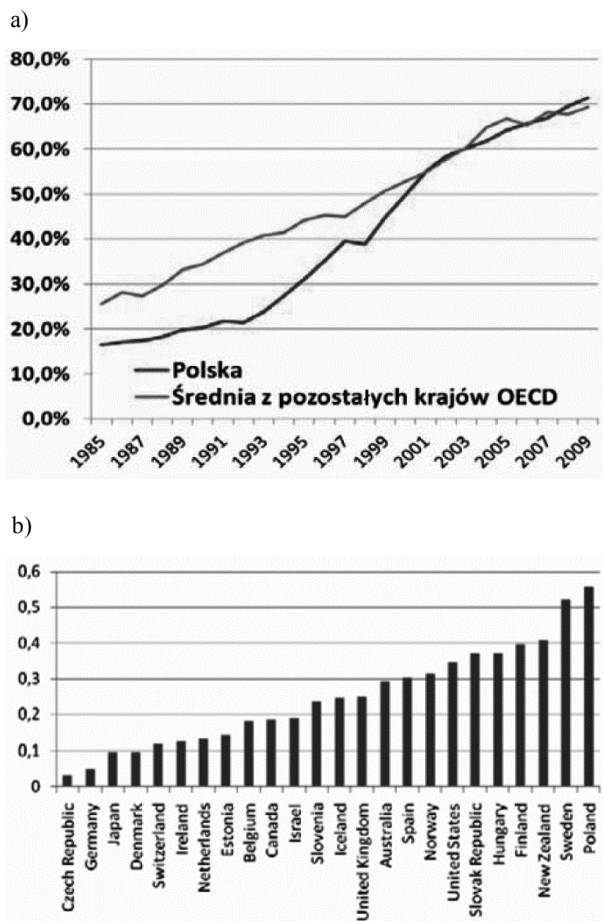
Słowa kluczowe: edukacja wyższa, polityka edukacyjna, symulacja wieloagentowa.

1. Wstęp

Celem opracowania jest przedstawienie metody wyznaczania niezdominowanych wielokryterialnych ocen decyzji o strukturze finansowania systemu edukacji wyższej ze środków publicznych.

Geneza problemu wynika z jego skali i skali potencjalnych zagrożeń nieoptymalnością decyzji. Zgodnie z danymi Banku Światowego [2011] każdego roku w Polsce liczba osób studiujących stanowi około 71% populacji w wieku 19–24 lat. Jest to na poziomie średniej dla krajów OECD, która wynosi 70%, co zapewnia Polsce 23 miejsce na świecie pod względem odsetka osób podejmujących edukację wyższą. W latach 1991–2001 nastąpił skokowy wzrost liczby studentów w Polsce, w tym wzrost odsetka studentów zaocznych (obecnie pod tym względem Polska zajmuje pierwsze miejsce wśród krajów OECD; por. rys. 1).

W Polsce rozważa się różne koncepcje reformowania systemu edukacyjnego (m.in. bony edukacyjne, częściową odpłatność za studia na uczelniach publicznych [Konferencja Rektorów... 2010], likwidację stypendium naukowego [Ernst&Young,



a) Stosunek liczby studentów do liczby osób w wieku odpowiadającym pierwszemu pięciu latom po skończeniu edukacji średniej oraz b) Udział studentów zaocznych w programach edukacji 3 stopnia w krajach OECD

Rys. 1. Polska na tle krajów OECD

Źródło: opracowanie własne na podstawie OECD – StatExtracts <http://stats.oecd.org>.

IBnGR 2010]). Zmiana sposobu finansowania systemu edukacji wyższej w różny sposób może prowadzić do poważnych skutków dla gospodarki, a w szczególności – do zmiany ocen decyzji edukacyjnych przez potencjalnych studentów i tym samym zmiany dokonywanych przez nich wyborów edukacyjnych. Pośrednim następstwem decyzji edukacyjnych jest przyszła produktywność absolwentów, a więc ich przyszłe dochody oraz poziom produkcji w gospodarce. Sposób finansowania edukacji może prowadzić do wyrównywania szans społecznych i ten sposób pozwala ograniczać poziom nierówności dochodów. Wybory edukacyjne studentów determinują również

nakłady przeznaczane przez regulatora systemu edukacji wyższej na funkcjonowanie tego systemu (np. nieobsadzone miejsca na studiach dziennych na uczelniach publicznych oznaczają mniejsze wydatki regulatora).

Sposób regulacji rynku edukacyjnego wpływa na strukturę wykształcenia i – pośrednio – na wiele aspektów związanych z dobrobytem. Grossman [2006] zauważa, że wykształcenie wpływa na poziom bezrobocia, zdrowie, poziom przestępczości, postawy obywatelskie i utrzymanie demokracji, kształtowanie sieci społecznych. Skutkiem innych wyborów edukacyjnych może być też zmiana poziomu wydatków ponoszonych przez państwo na funkcjonowanie systemu edukacji wyższej.

Wybór sposobu finansowania systemu edukacyjnego stwarza trzy typy problemów: po pierwsze – wyznaczenie zbioru decyzji dopuszczalnych, po drugie – wyznaczenie skutków decyzji, a po trzecie – wielokryterialne porównanie tych skutków. Trudność wyznaczenia zbioru decyzji dopuszczalnych wiąże się m.in. z ograniczeniem środków budżetowych regulatora, a jednocześnie niezajomością wpływu decyzji o zmianie finansowania na wielkość wydatków. Z kolei wyznaczenie skutków decyzji regulatora wymaga uwzględnienia współzależności decyzji podmiotów na rynku edukacyjnym¹, a także uwzględnienia heterogeniczności podmiotów w systemie edukacyjnym². Wielokryterialna analiza skutków decyzji regulatora wymaga wyznaczenia zbioru ocen rozwiązań niezdominowanych i wyboru pomiędzy decyzjami o niezdominowanych ocenach.

Problem wyboru struktury finansowania systemu edukacyjnego może być reprezentowany przez wielokryterialny model optymalizacyjny, ale jego specyfikacja i analiza napotyka trudności m.in. ze względu na istnienie wielu heterogenicznych decydentów o współzależnych decyzjach. W zaproponowanej tu symulacji wieloagentowej uwzględniono złożoność procesów decyzyjnych, wielu decydentów i heterogeniczność ich ocen oraz wiele kryteriów decyzji już na etapie wyznaczania elementów zbioru rozwiązań dopuszczalnych i przy analizie skutków różnych decyzji.

Układ tekstu jest następujący: w sekcji 2 przedstawiono wybrane aspekty systemowego ujęcia rynku edukacji wyższej oraz model decyzyjny regulatora tego rynku. W sekcji 3 przedstawiono implementację wieloagentowego modelu systemu edukacyjnego oraz wybrane wyniki symulacji. Tekst zamykają uwagi końcowe.

2. System edukacyjny i decyzje regulatora

Celem tej części tekstu jest przedstawienie decyzyjnego ujęcia problemu regulacji systemu edukacyjnego: charakterystyki systemu edukacyjnego (2.1), struktury decyzyjnej regulatora (2.2) oraz sposobu wyboru ocen niezdominowanych (2.3). Zagadnienie wyznaczania ocen poszczególnym decyzjom regulatora omówiono w sekcji 3.

¹ Decyzje regulatora wpływają na oceny decyzji edukacyjnych przez potencjalnych studentów, decyzje kandydatów o wyborze uczelni wpływają na szanse przyjęcia innych kandydatów.

² Zróżnicowanie jakości uczelni, zróżnicowanie dochodów gospodarstw domowych, zróżnicowanie zdolności studentów.

2.1. Systemowe ujęcie rynku edukacyjnego

Przyjmujemy, że system to zbiór wzajemnie powiązanych elementów, który można wyodrębnić z większej całości – jego otoczenia (por. też [Jajuga i in. 1993]). Na opis systemu edukacyjnego składa się opis elementów wchodzących w jego skład oraz relacji pomiędzy nimi. Uwzględniono cztery klasy elementów systemu edukacyjnego: indywidua (występujące w roli studentów lub pracowników), uczelnie, firmę oraz regulatora.

2.1.1. Indywiduum

Indywidua są to osoby korzystające z usług edukacyjnych lub podejmujące pracę. Celem indywiduów jest maksymalizacja oczekiwanej użyteczności. Źródłem użyteczności jest spodziewany strumień przyszłych przychodów. Decyzjami podejmowanymi przez indywidua są: decyzja o studiowaniu i związana z tym decyzja o wyborze uczelni lub o podjęciu pracy. Z kształceniem związane są jednak koszty, które mogą przewyższać dochody gospodarstwa domowego indywiduum – stąd zbiór dostępnych dla indywiduum decyzji jest dodatkowo ograniczony posiadanymi środkami, które mogą być przeznaczone na finansowanie studiów. W szczególności gdy koszt studiowania jest wysoki i indywiduum nie może liczyć na pomoc państwa, jedyną dostępną dla indywiduum decyzją może być decyzja o podjęciu pracy.

Rozważanym kryterium oceny decyzji o studiowaniu i wyborze uczelni jest różnica pomiędzy poniesionymi kosztami (w tym utraconymi zarobkami) a zdyskontowanymi przyszłymi przychodami z pracy. Indywiduum podejmuje decyzję, maksymalizując swoją subiektywną oczekiwaną użyteczność na zbiorze decyzji spełniających ograniczenie budżetowe.

Ponadto w modelu przyjęto założenie o tym, że indywidua łączą się w pary, posiadają potomstwo i tworzą w ten sposób gospodarstwa domowe, a koszty studiów dzieci są finansowane przez rodziców, których poziom dochodów zależy od wcześniej uzyskanego przez nich wykształcenia. Uzasadnieniem merytorycznym dla przyjętego podejścia wielopokoleniowego jest fakt, że badania³ wskazują na silną pozytywną korelację poziomu wykształcenia dzieci i rodziców. Oznacza to, że skutki decyzji edukacyjnych rodziców są również obserwowane w kolejnych pokoleniach – w decyzjach edukacyjnych dzieci. W szczególności od poziomu dochodu rodziców zależy zbiór uczelni rozważanych przez indywidua przy podejmowaniu studiów. Dlatego wartości ocen skutków regulacji są w modelu odczytywane⁴ cztery pokolenia później, niż nastąpiło ich wprowadzenie.

³ Na przykład Behrman i Rosenzweig [2002] wykazali występowanie pozytywnej korelacji pomiędzy wykształceniem dzieci i wykształceniem rodziców, szczególnie wykształceniem matki. Wyniki badań dla Polski, opisane przez Sztanderską [2004], również potwierdzają ten wynik.

⁴ Dokładniej jest porównywany m.in. stan symulowanej gospodarki cztery pokolenia po decyzji o zmianie regulacji ze stanem gospodarki cztery pokolenia po decyzji o niewprowadzaniu regulacji.

2.1.2. Uczelnia

Uczelnia to jednostka organizacyjna finansowana ze środków publicznych lub prywatnych, prowadząca działania edukacyjne, których efektem jest podnoszenie poziomu wykształcenia osób. Cele działalności uczelni obejmują cele misyjne oraz cele ekonomiczne i zarządcze. Cele misyjne wynikają z wartości, z którymi identyfikuje się uczelnia, i obejmują kształcenie, prowadzenie badań naukowych, zapewnienie społeczeństwu dostępu do wiedzy, kształtowanie elit oraz tworzenie wzorców kulturowych i przekazywanie wartości. Cele ekonomiczne i zarządcze związane są z bieżącą organizacją działania uczelni – tu je pomijamy. Uczelnie zostały podzielone, ze względu na formę własności, na dwie klasy – uczelnie publiczne oraz uczelnie niepubliczne. Zarządy uczelni podejmują decyzje o przyjęciu studentów. Ponadto w uczelniach niepublicznych podejmowane są decyzje o tworzeniu dodatkowych miejsc (w przypadku uczelni publicznych przyjęto założenie, że liczba miejsc jest stała). Ocena decyzji uczelni uwzględnia ich skutek dla sytuacji finansowej i realizacji celów misyjnych. W uczelniach podejmowane są więc decyzje, które zapewniają napływ studentów o kompetencjach najbardziej odpowiednich dla danego profilu nauczania i które zapewniają maksymalizację przychodów.

2.1.3. Firma

Firmy za pomocą kapitału finansowego oraz kapitału ludzkiego wytwarzają produkt. Produktywność pracowników w firmie zależy od ich poziomu kapitału ludzkiego, który uzyskali w wyniku procesu kształcenia. Wyższa jakość uczelni oznacza dla firm wyższy poziom kapitału ludzkiego pracowników i tym samym ich wyższą produktywność. Przyjęto w uproszczeniu, że istnieje jedna, homogeniczna firma, która oferuje zatrudnienie wszystkim chętnym po stawce zależnej od poziomu kapitału ludzkiego i wymiaru czasu pracy (zakłada się łączenie pracy na niepełny etat ze studiami niestacjonarnymi). W połączeniu z założeniem o maksymalizacji użyteczności mierzonej dochodem przez indywidualia oznacza to, że w modelu nie występuje bezrobocie.

2.1.4. Regulator

Regulator określa zasady finansowania czesnego studentów. Celem regulatora rynku edukacyjnego jest maksymalizacja dobrobytu, ograniczanie nierówności społecznych oraz kontrola ponoszonych nakładów z budżetu państwa na funkcjonowanie systemu edukacyjnego. Decyzje regulatora dotyczą poziomu finansowania czesnego studentów na studiach stacjonarnych, niestacjonarnych na uczelniach publicznych i niepublicznych. Regulator ocenia decyzje ze względu na ich skutki dla wzrostu gospodarczego, nierówności społecznych oraz budżetu państwa. Kryterium oceny decyzji jest zmiana wartości produktu przypadającego na mieszkańca, zmiana wartości przeciętnego obciążenia podatkowego oraz zmiana poziomu nierówności. Regulator, dokonując wyboru, stara się minimalizować skutki decyzji dla budżetu państwa oraz mak-

symalizuje poziom dobrobytu. Jednocześnie preferuje on decyzje, które prowadzą do wyrównywania szans i zmniejszania nierówności społecznych.

Sytuacja decyzyjna regulatora została opisana poniżej.

2.2. Model decyzyjny regulatora rynku edukacji wyższej

Decyzje regulatora dotyczą poziomu finansowania produktów edukacyjnych, co wymaga określenia produktu edukacyjnego, opisu decyzji oraz kryteriów oceny tych decyzji i sposobu wyboru decyzji niezdominowanych.

2.2.1. Produkt edukacyjny

Niech \mathbf{G}_U oznacza zbiór indeksujący uczelnie w gospodarce. Każdą uczelnię opisuje zestaw n_1, n_2, \dots, n_m wartości m atrybutów. Atrybuty te oznaczamy symbolami $\mathcal{A}_1, \mathcal{A}_2, \dots, \mathcal{A}_m$. Dla każdego atrybutu \mathcal{A}_k zadany jest zestaw \mathcal{W}_k poziomów wartości tego atrybutu, $n_k = |\mathcal{W}_k|$, gdzie $|A|$ oznacza moc zbioru A . Zatem $\mathcal{W}_k = \{w_k^1, w_k^2, \dots, w_k^{n_k}\}$, $k = 1, 2, \dots, m$. Wartości w_k^j , $k = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, \dots, n_k$, będą też nazywane *poziomami atrybutu* \mathcal{A}_k . Tym samym każda uczelnia jest charakteryzowana przez zestaw poziomów, które przyjmują atrybuty.

Przykład. Niech zbiory $\mathcal{W}_w, \mathcal{W}_f, \mathcal{W}_r$ odpowiadają trzem charakterystykom uczelni: *własności uczelni* (\mathcal{A}_w) oraz *formie i rodzajowi oferowanych studiów* (\mathcal{A}_f i \mathcal{A}_r):

$$\mathcal{W}_w = \{\text{uczelnia publiczna, uczelnia niepubliczna}\}$$

$$\mathcal{W}_f = \{\text{studia stacjonarne, studia niestacjonarne}\}$$

$$\mathcal{W}_r = \{\text{studia licencjackie, studia magisterskie}\}$$

Rozważmy iloczyn kartezjański zbiorów $\mathcal{W}_1, \dots, \mathcal{W}_k, \mathcal{W}, \mathcal{W} = \mathcal{W}_1 \times \dots \times \mathcal{W}_k$. Element zbioru \mathcal{W} $w \in \mathcal{W}$ nazywamy *produktem edukacyjnym*. Rozważmy zbiór poziomów atrybutów $\mathcal{W}_w, \mathcal{W}_f, \mathcal{W}_r$ oraz ich iloczyn kartezjański $\mathcal{W}, \mathcal{W} = \mathcal{W}_w \times \mathcal{W}_f \times \mathcal{W}_r$. Wtedy element zbioru $w \in \mathcal{W}$ jest produktem edukacyjnym – np. stacjonarne studia licencjackie na uczelni publicznej.

2.2.2. Decyzje regulatora

Decyzje regulatora dotyczą finansowania produktów edukacyjnych. Poziomy finansowania czesnego to liczby z przedziału $\mathbf{D} = [0; 1]$, gdzie „0” oznacza opłacanie czesnego w całości przez studentów, a „1” oznacza opłacanie czesnego w całości przez państwo.

Dwuatrybutową regulacją edukacyjną nazywamy odwzorowanie $\chi: \mathcal{W} \rightarrow \mathbf{D}$ ($\mathcal{W} = \mathcal{W}_1 \times \mathcal{W}_2$). Wartość $\chi(w)$, $w \in \mathcal{W}$, $\chi(w) \in \mathbf{D}$, interpretujemy jako udział budżetu państwa w finansowaniu czesnego studentów dla oferty edukacyjnej w . Przyjmuje-

my, że na wszystkich uczelniach oferujących produkt w , $w \in \mathcal{W}$, poziom finansowania studiów przez regulatora jest taki sam.

Dwuatrybutowa regulacja edukacyjna $\chi: \mathcal{W} \rightarrow \mathbf{D}$ systemu opisanego w dwuatrybutowej strukturze ma więc postać macierzy $\mathbf{x} = [x^{ij}]$, gdzie

$$\{x^{ij}\} = \chi(w^{ij}), \quad \text{dla } i = 1 \dots n_1 \text{ oraz } j = 1 \dots n_2.$$

Elementy macierzy \mathbf{x} , $x^{ij} = \chi(w^{ij})$ reprezentują udział państwa w finansowaniu kształcenia indywiduów-studentów dla produktu edukacyjnego oferowanego przez dany typ uczelni. Na przykład dla dwuatrybutowej struktury kształcenia, gdzie pierwszym atrybutem jest forma własności uczelni, a drugim – forma studiowania. Decyzję regulatora oznaczamy przez $\mathbf{x} \in \mathbf{X} \subset \mathbf{D}^4$ zgodnie z następującą interpretacją: $x^1 \in [0,1]$ to udział państwa w finansowaniu edukacji na uczelniach publicznych na studiach dziennych; $x^{12} \in [0,1]$ zaś to udział państwa w finansowaniu edukacji na uczelniach publicznych na studiach niestacjonarnych; $x^{21} \in [0,1]$ to udział państwa w finansowaniu edukacji na uczelniach niepublicznych na studiach dziennych; $x^{22} \in [0,1]$ to udział państwa w finansowaniu edukacji na uczelniach niepublicznych na studiach niestacjonarnych.

2.2.3. Wielokryterialna ocena decyzji regulatora

Przyjmujemy trzy kryteria oceny decyzji regulatora: średni poziom dochodu gospodarstw domowych y_1 , poziom nierówności dochodów y_2 oraz poziom wydatków na funkcjonowanie systemu edukacyjnego y_3 . Dla wyliczenia wartości kryteriów oceny decyzji przez regulatora przyjęto następujące oznaczenia: \bar{w} – średnie wynagrodzenie, w_i – wynagrodzenie i -tego zatrudnionego, n – liczba osób pracujących, x_{ij} – udział regulatora w finansowaniu edukacji, s_{ij} – liczba studentów danego typu studiów, c_{ij} – koszt danego typu studiów. Kryteria oceny decyzji zestawiono w tab. 1.

2.2.4. Wybór decyzji – stożkowa dominacja ocen

Do ocen decyzji podejmowanych przez regulatora systemu edukacyjnego zastosowano dominację stożkową. Gdy $\mathbf{Y} = \mathbf{R}^n$ oraz relacja $\rho_S \subset \mathbf{Y} \times \mathbf{Y}$ zadawana przez stożek $S = \mathbf{R}_+^n$, gdzie

$\forall \mathbf{y}^1, \mathbf{y}^2 \in \mathbf{R}^n \quad (\mathbf{y}^1 \rho_S \mathbf{y}^2 \Leftrightarrow \mathbf{y}^2 - \mathbf{y}^1 \in S)$, to wtedy para (\mathbf{R}^n, ρ_S) jest zbiorem uporządkowanym. Relację ρ_S , $\rho_S \subset \mathbf{Y} \times \mathbf{Y}$, $\mathbf{Y} = \mathbf{R}^n$ będziemy dalej nazywać *relacją dominacji stożkowej*. Elementy maksymalne⁵ danego podzbioru \mathbf{Y} będziemy nazywać jego *ocenami niezdominowanymi*.

Dla kryteriów oceny decyzji regulatora $\mathbf{y} = [y_1 \ y_2 \ y_3]^T$, gdzie y_1 – oznacza średni poziom dochodu, y_2 oznacza poziom nierówności mierzony współczynnikiem Giniego, natomiast y_3 oznacza poziom wydatków państwa, celem regulatora jest

⁵ Element $\mathbf{y}^* \in \mathbf{Y}$ nazywamy *maksymalnym*, jeżeli nie poprzedza on żadnego elementu w zbiorze \mathbf{Y} : $\neg \exists \mathbf{y} \in \mathbf{Y} \ \mathbf{y}^* \rho \mathbf{y}$

maksymalizacja pierwszego współczynnika przy minimalizacji pozostałych dwóch – stozek dominacji ocen decyzji regulatora oznaczymy przez $S = \mathbf{R}_+ \times \mathbf{R}_- \times \mathbf{R}_-$. Wyznaczenie niezdominowanych ocen decyzji regulatora wymaga przypisania ocen decyzjom – zostanie to dokonane za pomocą symulacji wieloagentowej.

Tabela 1. Analizowane kryteria oceny decyzji o strukturze finansowania edukacji wyższej

Kryterium oceny decyzji	Miernik oceny decyzji	Oznaczenie	Sposób wyliczenia
Poziom dobrobytu	poziom dochodu	y_1	$y_1 = \bar{w}$
Poziom nierówności	indeks Giniego	y_2	$y_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (2i-n-1)w_i}{n^2\bar{w}}$
Poziom wydatków z budżetu państwa	wydatki publiczne na finansowanie edukacji	y_3	$y_3 = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} x_{ij} s_{ij} c_{ij}$

Źródło: opracowanie własne.

3. Wieloagentowa symulacja decyzji regulacyjnych systemu edukacyjnego

Opracowany w sekcji 2 model matematyczny został zaimplementowany w postaci wieloagentowego⁶ modelu symulacyjnego (sekcja 3.1) w celu wyznaczenia wielokryterialnych ocen decyzji regulacyjnych (sekcja 3.2).

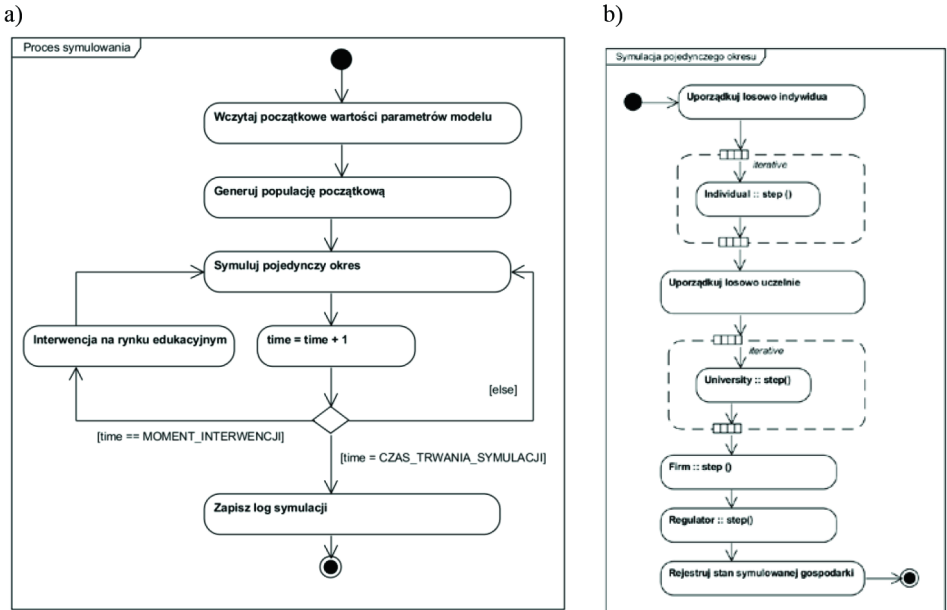
3.1. Wieloagentowy model systemu edukacyjnego

W wieloagentowym modelu symulacyjnym agenci są reprezentowani jako obiekty⁷. W modelu uwzględniono cztery klasy agentów (odpowiadające typom elementów-podmiotów w systemie edukacyjnym) – indywiduala, uczelnie, firmy oraz regulatora rynku.

Model rynku edukacyjnego skonstruowany wg specyfiki polskiej gospodarki, w szczególności – przy wykorzystaniu danych GUS [2008, 2010] oraz *Diagnozy społecznej* [Czapiński, Panek (red.) 2009]. Implementację modelu symulacyjnego przeprowadzono, korzystając ze środowiska MASON [Luke i in. 2004].

⁶ Symulacja wieloagentowa jest rodzajem symulacji systemów, którego cechą wyróżniającą jest podział modelu na niezależne (niezależnie zachowujące się) elementy – agentów, por. też [Holland 1995; Axtell 2000; Bonabeau 2001; Macal, North 2006].

⁷ Pojęcie obiektu jest tu rozumiane jako abstrakcja programistyczna łącząca stan z zachowaniem (por. też [Coad, Yourdon 1994]).



Uwaga: w trakcie symulacji agenci w ramach każdej klasy są aktywowani w kolejności losowej. a) proces symulowania; b) symulacja pojedynczego okresu

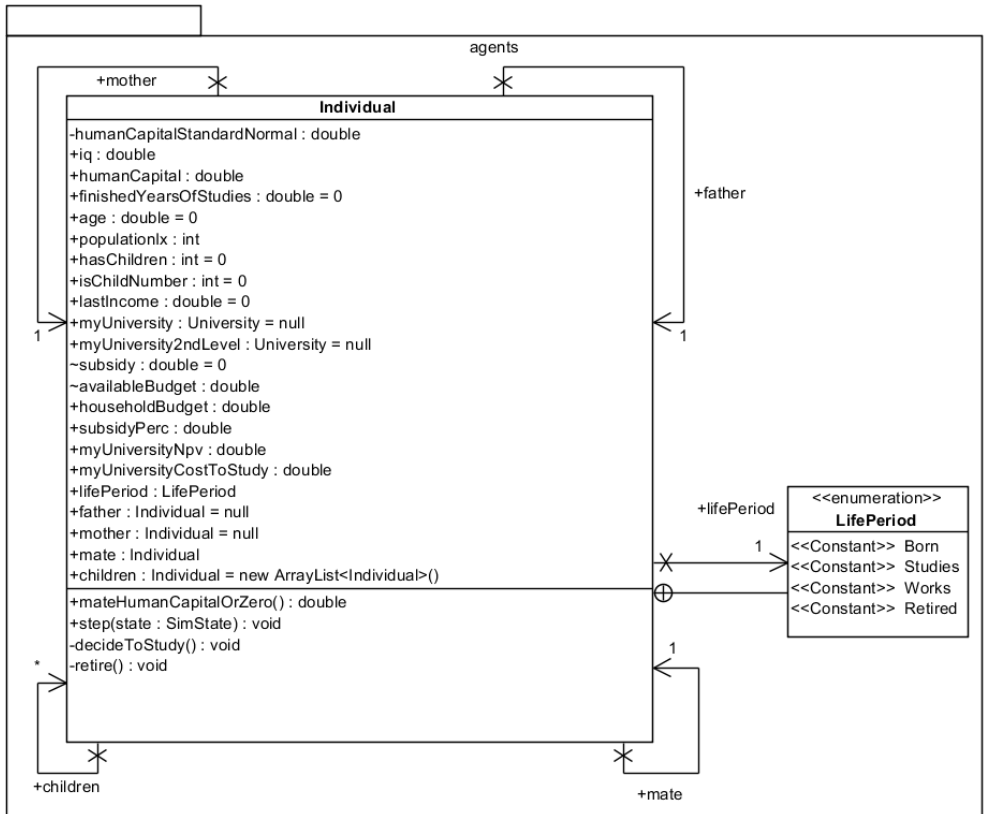
Rys. 2. Proces symulacji wieloagentowej

Źródło: opracowanie własne.

W symulacjach porównywano scenariusze dla różnych decyzji regulatora systemu. Model pozwala mierzyć i porównywać skutki różnych regulacji systemu edukacyjnego w obrębie tego samego przebiegu symulacji (dla tej samej stałej losowania). Rysunek 2a przedstawia diagram czynności⁸ opisujący przebieg pojedynczej symulacji dla zadanej liczby okresów oraz zadanej chwili dokonania interwencji regulacyjnej. Rysunek 2b przedstawia szczegółowy przebieg symulacji pojedynczego okresu. Zarówno indywidua, jak i uczelnie w obrębie własnej klasy aktywowane są w kolejności losowej.

Implementacja modelu symulacyjnego została skonstruowana zgodnie z założeniami przedstawionymi w sekcji 2.1, gdzie poszczególne elementy systemu odpowiadają obiektom klas w modelu symulacyjnym – dalej jako przykład zostanie przedstawiony opis implementacji klasy *Individual* reprezentującej indywiduum. Opis agenta uwzględnia jego atrybuty (cechy) oraz jego metody (zachowania), por. też [Jennings 2000].

⁸ Oechslein i in. [2002] zauważają, że modele wieloagentowe również można reprezentować za pomocą diagramów języka UML, wskazują też na szczególną przydatność diagramu klas w reprezentacji atrybutów klas agentów i zależności pomiędzy nimi oraz diagramu czynności do prezentacji zachowań agentów w systemie.

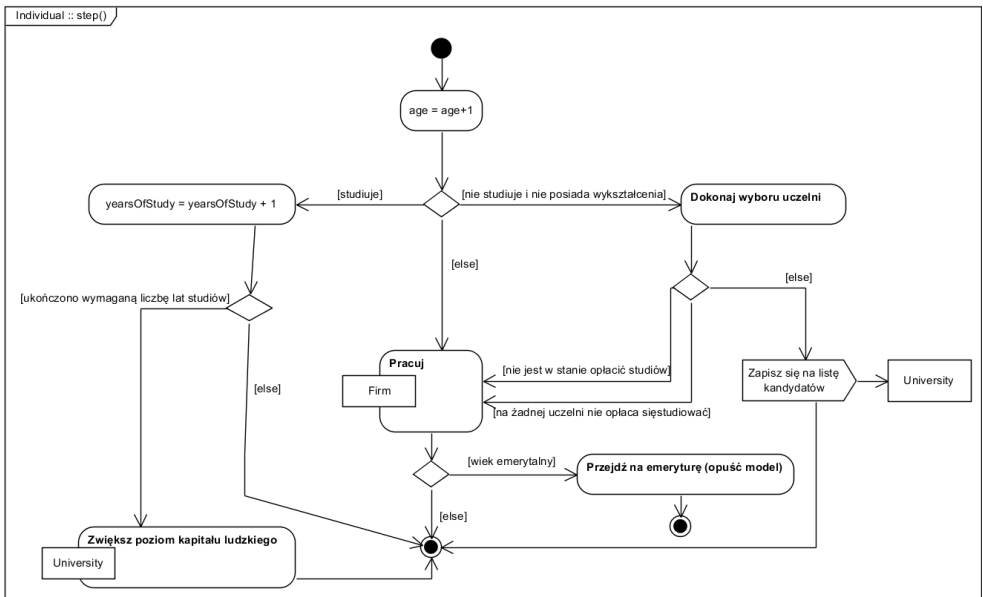


Uwaga: konstrukcja klasy reprezentującej indywiduum uwzględni relacje społeczne występujące w implementacji modelu – relację rodzic-dziecko oraz relację łączenia się indywiduów w pary.

Rys. 3. Klasa indywiduum

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 3 przedstawia atrybuty obiektu klasy Individual. Atrybuty te uwzględniają cechy indywiduum opisane w rozdziale 2 oraz pozwalają uwzględnić relacje społeczne występujące w modelu. Okres życia indywiduum w symulacji przyjmuje cztery stany: moment pojawienia się w modelu (narodzin), studiowanie, praca oraz emerytura. W modelu analizie nie podlega życie indywiduum przed ukończeniem szkoły. Tym samym zaraz po utworzeniu indywiduum powinno podjąć pracę bądź studia. Indywiduum, które osiągnęło wiek emerytalny, jest usuwane z modelu i zgodnie z przyjętym założeniem o stałym rozmiarze populacji w jego miejsce rodzi się nowe. Każde indywiduum (z wyjątkiem zerowej, startowej populacji) posiada rodziców, których dochody mogą służyć do finansowania jego kształcenia.



Uwaga: Indywidualnie podejmuje decyzję o podjęciu pracy bądź wyborze uczelni

Rys. 4. Diagram czynności indywiduum

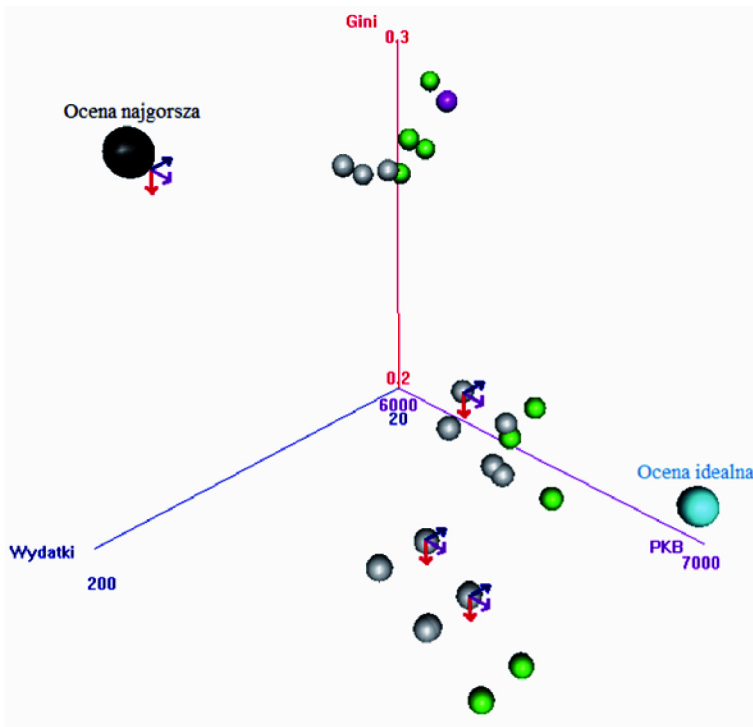
Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 4 przedstawia diagram czynności podejmowanych w implementacji modelu przez indywiduum. Jeżeli studia są z punktu widzenia studenta opłacalne (mają dodatnią wartość NPV), wiek indywiduum jest odpowiedni oraz koszt studiów mieści się w ograniczeniu budżetowym rodziców – indywiduum decyduje o podjęciu nauki. W każdym przypadku indywiduum pracuje, gdy się nie uczy. Proces łączenia się w pary i posiadania potomstwa jest w implementacji egzogeniczny względem indywiduum. Decyzja o wyborze partnera jest modelowana poprzez ocenę krótkiej losowej listy potencjalnych kandydatów i wyborze kandydata o najbardziej zbliżonym poziomie kapitału ludzkiego. To podejście prowadzi do korelacji poziomu kapitału ludzkiego pomiędzy małżonkami. Badania wskazują, że taka korelacja faktycznie zachodzi w świecie rzeczywistym, np. por. [Becker 1993].

3.2. Ocena decyzji regulatora systemu edukacyjnego

Symulacyjnie wyznaczano niezdominowane oceny Y dla decyzji $x \in X \subset D^4$ dotyczących regulacji rynku edukacyjnego z uwzględnieniem stożkowej relacji dominacji $\rho \subset Y \times Y$. Symulacyjne wyznaczanie niezdominowanych decyzji o strukturze finansowania wymagało w pierwszej kolejności dyskretyzacji przestrzeni decyzji D^4 . Dlatego ograniczono poziomy poszczególnych elementów macierzy decyzji

$x = \begin{bmatrix} x^{11} & x^{12} \\ x^{21} & x^{22} \end{bmatrix}$. Dla każdego elementu x^{ij} przyjęto następujący zbiór poziomów $\mathbf{P} = \{0, 0.5, 1\}$, $x^{ij} \in \mathbf{P}$. Ponadto w celu zmniejszenia liczby rozpatrywanych regulacji (i tym samym złożoności obliczeniowej) z analizy wyłączono decyzję, w której regulator całkowicie zaprzestaje finansowania publicznej edukacji wyższej, oraz wprowadzenie pełnego finansowania czesnego na uczelniach publicznych. Tym samym rozważamy 24 warianty regulacji systemu edukacyjnego. Skutki regulacji systemu edukacyjnego mogą zależeć od jakości uczelni, dlatego każda z 24 regulacji jest rozważana dla 5 poziomów różnicy jakości pomiędzy uczelniami publicznymi i niepublicznymi.



Uwaga: Obecny sposób regulacji systemu edukacyjnego należy do decyzji niezdominowanych – szczególnie dzięki niskiemu poziomowi nakładów⁹.

Rys. 5. Wielokryterialne oceny decyzji o regulacji systemu edukacyjnego

Źródło: opracowanie własne.

⁹ Kolorem szarym oznaczono zdominowane oceny decyzji, dla kilku wybranych zdominowanych ocen na wykresie oznaczono stożki dominacji, kolorem zielonym oznaczono decyzje niezdominowane, a kolorem fioletowym oznaczono decyzję polegającą na utrzymaniu obecnej struktury finansowania.

Dla każdej z rozważanych 24 regulacji oraz każdego spośród 5 poziomów jakości uczelni niepublicznych przeprowadzono po 75 symulacji (łącznie opisano wyniki z 9000 symulacji). Pojedyncza symulacja obejmuje populację 10 000 indywidualów oraz 4 uczelni (po jednej dla każdego produktu edukacyjnego) i trwa przez 800 okresów, gdzie jeden okres odpowiada jednemu kwartałowi. W analizie rozważa się skutki regulacji wprowadzonej w 400 okresie¹⁰.

Jako oceny decyzji regulacyjnych przyjęto wartości średnie w 800 okresie dochodu, nierówności i wydatków regulatora. Średnia jest wyliczana z 75 symulacji dla danej regulacji i poziomu różnicy jakości pomiędzy uczelniami publicznymi i niepublicznymi.

Parametry modelu zostały skalibrowane dla polskiego systemu edukacyjnego na podstawie danych dostępnych w publikacji Czapińskiego i Panka [2009] oraz danych udostępnianych przez GUS [2008, 2010].

W wyniku symulacji wyznaczono zbiór niezdominowanych ocen regulacji finansowania rynku edukacyjnego dla każdego z pięciu poziomów zróżnicowania jakości uczelni publicznych i niepublicznych. Przykładowe wartości niezdominowanych ocen decyzji zostały przedstawione na rys. 5.

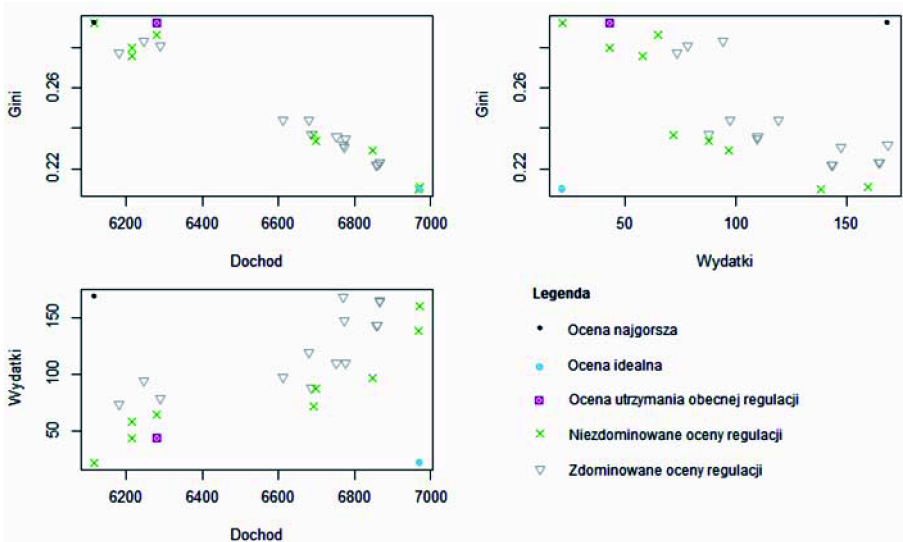
Otrzymane niezdominowane skutki decyzji o finansowaniu edukacji w przypadku większej liczby wymiarów oceny decyzji można przedstawiać w postaci serii wykresów dwuwymiarowych, tak jak na rys. 6.

Analiza wykresów przedstawionych na rys. 6 wskazuje, że wzrost średniego dochodu *per capita* w wyniku wprowadzenia współpłatności jest większy niż wzrost średnich wydatków *per capita* na funkcjonowanie systemu edukacyjnego. Dlatego warto dokonać *restrukturyzacji ocen* $y = [y_1 \ y_2 \ y_3]^T$ i rozważyć dwukryterialne oceny $y = [\Delta y_1 - \Delta y_3 \ y_2]^T$, gdzie y_1 – oznacza średni poziom dochodu, a Δy_1 oznacza zmianę poziomu dochodów w wyniku wprowadzenia regulacji, y_2 oznacza poziom nierówności mierzony współczynnikiem Giniego, natomiast y_3 oznacza poziom wydatków państwa, Δy_3 zaś zmianę poziomu wydatków.

W problemie dwukryterialnym celem regulatora jest maksymalizacja pierwszego współczynnika (efektu dochodowego netto regulacji) przy minimalizacji drugiego kryterium (poziomu nierówności). Tym samym stózek dominacji ocen decyzji regulatora oznaczmy przez $S = \mathbf{R}_+ \times \mathbf{R}_-$. Dwukryterialne oceny skutków regulacji zostały przedstawione na rys. 7.

Wyniki symulacji na rys. 7 wskazują, że skutki decyzji regulacyjnych w znacznym stopniu zależą od jakości uczelni niepublicznych (różnicy jakości pomiędzy uczelniami publicznymi i niepublicznymi). Przy niskim poziomie jakości uczelni niepublicznych zmiana dochodu może być bardzo mała bądź ujemna. Dlatego decyzje regulatora o wprowadzeniu współpłatności powinny uwzględniać jakość uczelni niepublicznych.

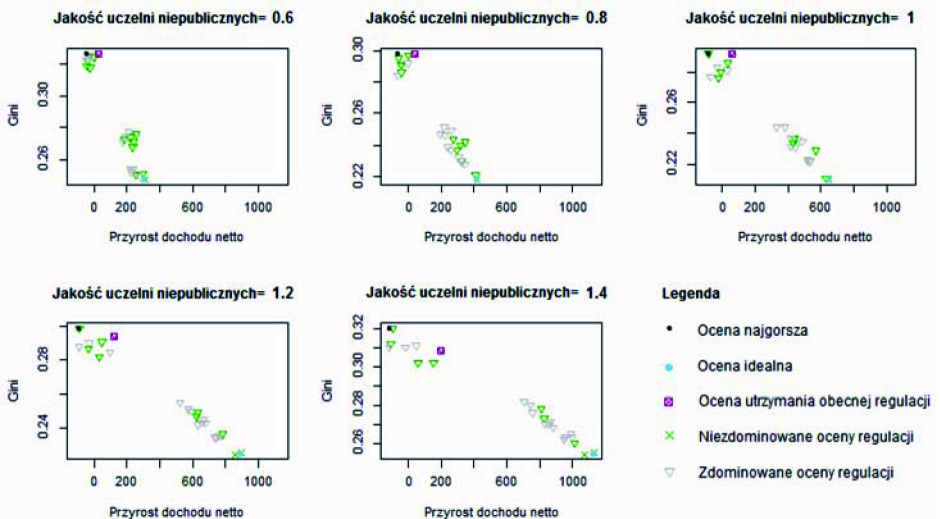
¹⁰ Pierwsze 400 okresów jest pomijane, gdyż stanowią one czas stabilizowania się stanu modelu symulacyjnego.



Uwaga: Uwzględnienie punktu idealnego oraz punktu najgorszego na wykresach pozwala na łatwe porównywanie ocen regulacji systemu edukacyjnego

Rys. 6. Przekroje wielokryterialnych ocen regulacji systemu edukacyjnego

Źródło: opracowanie własne.



Uwaga: Niski poziom jakości uczelni niepublicznych może prowadzić do sytuacji, w której dochodowe skutki wprowadzenia współpłatności są bardzo nieznaczne bądź ujemne

Rys. 7. Skutki netto wprowadzenia współpłatności a jakość uczelni prywatnych

Źródło: opracowanie własne.

4. Uwagi końcowe

W tekście przedstawiono zastosowanie symulacji wieloagentowej do wyznaczania wielokryterialnych ocen decyzji dotyczących regulacji finansowania w systemie edukacyjnym. W modelu symulacyjnym uwzględniono trzy kryteria oceny decyzji o finansowaniu rynku edukacji wyższej: średnie dochody, nierówność dochodów oraz poziom wydatków regulatora na finansowanie systemu edukacji wyższej. Symulacje pozwoliły wyznaczyć niezdominowane rozwiązania w przestrzeń skończonej przestrzeni ocen.

Wyniki symulacji są interpretowalne i wskazują, że przy przyjęciu wielokryterialnej metody oceny decyzji regulacyjnych decyzja o utrzymaniu obecnego sposobu regulacji systemu edukacyjnego jest niezdominowana. Jest to spowodowane tym, że wprowadzenie regulacji polegającej na współpłatności przez budżet państwa częściowego za studentów na uczelniach niepublicznych (np. na poziomie 50%) wiąże się z koniecznością zwiększenia wydatków z budżetu państwa. Symulacje wskazują, że analogiczne wprowadzenie współpłatności za czesne na poziomie 50% na uczelniach publicznych może nie być wystarczające do pokrycia tych wydatków. Dzieje się tak dlatego, że uczelnie prywatne są bardziej elastyczne w tworzeniu nowych miejsc – co oznacza, że wprowadzenie takiej regulacji może prowadzić do znacznego wzrostu liczby ich studentów – i tym samym w efekcie do wyższych wydatków z budżetu państwa w stosunku do poziomu przed wprowadzeniem regulacji. Z drugiej strony przy zbyt niskiej jakości uczelni niepublicznych efekt dochodowy netto decyzji o wprowadzeniu współfinansowania jest znacznie słabszy i może być ujemny.

Warto wskazać na koniec dwa naturalne kierunki dalszych badań: rozbudowę modelu oraz rozszerzenie zakresu analizy. Rozbudowa modelu symulacyjnego – rozszerzenie dwuatrybutowej struktury rynku edukacyjnego na struktury wieloatrybutowe i wprowadzenie dodatkowych parametrów do modelu – pozwoli z większą dokładnością symulować procesy edukacyjne. Interesującym kierunkiem badań w drugim obszarze jest analiza innych dwuatrybutowych struktur rynku edukacyjnego oraz kalibracja modelu do systemów edukacyjnych w innych krajach.

Literatura

- Axtell R. [2000], *Why agents? On the varied motivations for agent computing in the social sciences*, Center on Social and Economic Dynamics, Working Paper no. 17.
- Bank Światowy [2011], *World Development Indicators*, wordbank.org (dostęp 10.09.2011).
- Becker G.S. [1993], *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Behrman J.R., Rosenzweig M.R. [2002], *Does increasing women's schooling raise the schooling of the next generation?*, "American Economic Review", vol. 92, s. 323–334.
- Bonabeau E. [2001], *Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems*, Proceedings of National Academy of Sciences 99(3), s. 7280–7287.
- Coad P., Yourdon E. [1994], *Analiza obiektowa*, Oficyna Wyd. Read Me, Warszawa.

- Czapiński J., Panek T. (red.) [2009], *Diagnoza społeczna 2009 – warunki i jakość życia Polaków*, Warszawa.
- Ernst & Young Poland, IBnGR [2010], *Strategia rozwoju szkolnictwa wyższego w Polsce do 2020 roku*.
- Grossman M. [2006], *Education and nonmarket outcomes*, [w:] *Handbook of Economics of Education*, eds E.A. Hanushek, F. Welch, Elsevier, vol. 1, s. 577–633.
- GUS [2008], *Dochody i warunki życia ludności Polski*.
- GUS [2010], *Szkoły wyższe i ich finanse w roku 2009*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Holland J. [1995], *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- Jajuga K., Jajuga T., Wrzosek K., Wrzosek S. [1993], *Elementy teorii systemów i analizy systemowej*, Wyd. Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław.
- Jennings N.R. [2000], *On Agent-Based Software Engineering*, “Artificial Intelligence”, vol. 117, iss. 2, s. 277–296.
- Johnstone D.B., Arora A., Experton W. [1998], *The Financing and Management of Higher Education: A Status Report on World-Wide Reforms*, World Bank, Washington, DC.
- Konferencja Rektorów Akademickich Szkół Polskich [2010], *Strategia rozwoju szkolnictwa wyższego 2010–2020. Projekt środowiskowy*.
- Luke S., Cioffi-Revilla C., Panait L., Sullivan K. [2004], *MASON: A New Multi-Agent Simulation*, Swarm Fest 2004.
- Macal C.M., North M.J. [2006], *Tutorial on agent-based modeling and simulation part 2: how to model with agents*, Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, eds L.F. Perrone, F.P. Wieland, J.Liu, B.G. Lawson, D.M. Nicol, R.M. Fujimoto.
- Oechslein C., Klügl F., Herrler R., Puppe F. [2002], *UML for Behavior-Oriented Multi-agent Simulations*, “Lecture Notes in Computer Science”, vol. 2296/2002, s. 742–743.
- Sztanderska U. [2004], *Determinanty kształcenia wyższego w Polsce*, [w:] *Biogramy edukacyjne*, red. B. Minkiewicz, T. Szapiro, Warszawa.
- Wojewnik P., Szapiro T. [2010], *Bireference Procedure fBIP for Interactive Multicriteria Optimization with Fuzzy Coefficients*, “Central European Journal of Economic Modelling and Econometrics (CEJEME)”, vol. 2, iss. 3.

SIMULATION APPROACH IN MULTICRITERIA DECISION ANALYSIS OF HIGHER EDUCATION FINANCING POLICY

Summary: In the paper we propose an optimisation procedure in a multicriteria decision making problem when there is no functional representation which assigns outcome values to decisions. The problem under consideration deals with education financing policy – particularly of co-financing education. We present a stylized model of an educational system calibrated accordingly to the Polish educational market. We use a multiagent simulation to estimate outcomes for various education financing policies. The outcomes include household incomes, social inequality and government expenditures. Finally we compare the outcomes along to preferences represented by a cone domination relation and determine non-dominated policy decisions.

Keywords: higher education, education policy, multiagent simulation.