

PRACE NAUKOWE

Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

Nr 347

Ekonomia

Redaktorzy naukowi

Jerzy Sokołowski

Magdalena Rękas

Grażyna Węgrzyn



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2014

Redaktor Wydawnictwa: Aleksandra Śliwka
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,
w Dolnośląskiej Bibliotece Cyfrowej www.dbc.wroc.pl,
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 2014

ISSN 1899-3192
ISBN 978-83-7695-418-9

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Druk i oprawa:
EXPOL, P. Rybiński, J. Dąbek, sp.j.
ul. Brzeska 4, 87-800 Włocławek

Spis treści

| | |
|--|-----|
| Wstęp | 11 |
| Łukasz Abramczuk, Konrad Jabłoński, Aldona Skarzyńska: Projekcja opłacalności zbóż i rzepaku w zależności od kosztów uprawy i wyników produkcyjnych | 13 |
| Irena Augustyńska-Grzymek: Bezrobocie a emigracja ludności wiejskiej na przykładzie regionu Pomorze i Mazury | 22 |
| Ryszard Barczyk: Znaczenie przemian banków komercyjnych w kształtowaniu morfologii cykli kredytowych w Polsce w latach 1998-2013 | 32 |
| Nicoletta Baskiewicz: The role of the process owner in the successive stages of the process management | 45 |
| Aneta Bernatowicz: Zarządzanie zasobami ludzkimi w procesie budowania kapitału pracy przedsiębiorstwa budowlanego | 56 |
| Agnieszka Bretyn: Konsumpcja gospodarstw domowych w Polsce na tle wybranych krajów Unii Europejskiej | 65 |
| Kazimierz Cyran, Sławomir Dybka: Dystrybucja produktów na tle pozostałych obszarów wykorzystania Internetu w przedsiębiorstwach sektora żywnościowego (np. woj. podkarpackiego) | 75 |
| Sławomir Czetwertyński: Wirtualizacja dóbr informacyjnych na przykładzie usługi „wideo na życzenie” | 86 |
| Magdalena Czulowska, Marcin Żekało: Koszty żywienia krów w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji mleka | 97 |
| Małgorzata Deszczka-Tarnowska: Rynek mikrokredytów – analiza porównawcza na przykładzie Polski i Niemiec | 105 |
| Grzegorz Dybowski: Relacje ekonomiczne w polskim łańcuchu drobiarskim..... | 115 |
| Mateusz Folwarski: Analiza zależności wpływu wybranych zmiennych na poziom wynagrodzeń kadr zarządzających w bankach w wybranych krajach | 125 |
| Artur Grabowski: Znaczenie ekonomiczne zimowych igrzysk olimpijskich – implikacje dla Polski | 134 |
| Aleksander Grzelak, Angelika Dziubak: The selected problems of economic development of Mexico at the beginning of the twenty-first century.... | 144 |
| Marcin Halicki, Bogusław Ślusarczyk: Analysis of the impact of economies' internationalization in the portfolio management process | 155 |
| Anna Horodecka: „Homo oeconomicus” jako podstawa ekonomii – krytyka i alternatywy | 166 |

| | |
|--|-----|
| Żaklina Jabłońska, Piotr Jabłoński: Franczyza w małych i średnich sklepach spożywczych działających w Polsce..... | 184 |
| Tomasz Jasiński, Agnieszka Ścianowska: Modelowanie rynku energii przy użyciu nowoczesnych metod prognostycznych..... | 195 |
| Michał Jurek: Model biznesowy banków spółdzielczych w Polsce – ryzyko i wyzwania..... | 205 |
| Grażyna Karmowska, Mirosława Marciniak: Wielowymiarowa analiza porównawcza rozwoju regionalnego Polski Wschodniej i Zachodniej..... | 215 |
| Janusz Kot, Ewa Kraska: Współpraca jako element działalności przedsiębiorstw zlokalizowanych w klastrach (na przykładzie regionu świętokrzyskiego)..... | 228 |
| Andrzej Kowalczyk: Konkurencyjność przedsiębiorstw – wybrane zagadnienia..... | 239 |
| Anna Kozłowska, Agnieszka Szczepkowska-Flis: Alternatywne podejście do analizy efektów BIZ w obszarze produktywności..... | 251 |
| Anna Kozłowska, Agnieszka Szczepkowska-Flis: Rola integracji gospodarczej w kształtowaniu procesów rozwojowych – analiza w kontekście kreatywnej destrukcji..... | 262 |
| Hanna Kruk: Hipoteza rajów dla zanieczyszczeń – ujęcie teoretyczne..... | 272 |
| Anna Krzysztofek: Nowa formuła Respect Index..... | 282 |
| Justyna Kujawska: DEA jako metoda oceny niemedycechnych determinantów zdrowia..... | 293 |
| Paweł Kulpaka: Model konsumpcji permanentnej M. Friedmana a keynesowskie funkcje konsumpcji – empiryczna weryfikacja wybranych teorii na przykładzie Polski..... | 303 |
| Wojciech Leoński: Korzyści i koszty związane ze stosowaniem koncepcji CSR w przedsiębiorstwie..... | 314 |
| Józef Łobocki: Rola zakorzenienia lokalnego w warunkach gospodarki globalnej..... | 323 |
| Agnieszka Łopatka: Rozwój społeczny z rozróżnieniem płci w aspekcie wskaźnika HDI w Polsce..... | 331 |
| Aleksandra Majda: Internal determinants of competitive advantage in Polish and Italian family businesses in the time of knowledge-based economy-comparative analysis..... | 341 |
| Antoni Mickiewicz, Bartosz Mickiewicz: Analiza przebiegu i realizacji działań zawartych w IV osi „Leader” PROW 2007-2013..... | 353 |
| Anna Nowak, Agnieszka Kamińska, Monika Różańska-Boczula: Przemiarne zróżnicowanie potencjału produkcyjnego rolnictwa w Polsce..... | 363 |
| Artur Ostromęcki, Dariusz Zając, Andrzej Mantaj: Znaczenie zasobów ziemi w działalności rolniczej rolników prowadzących dodatkowo pozarolniczą działalność gospodarczą..... | 373 |
| Magdalena Ratalewska: Przedsiębiorczość w sektorach kreatywnych..... | 382 |

| | |
|---|-----|
| Jerzy Rembeza, Grzegorz Przekota: Sezonowość bezrobocia w krajach Unii Europejskiej..... | 391 |
| Agnieszka Skoczyła-Tworek: System kontroli wewnętrznej jako strategiczna linia obrony przed ryzykiem korporacyjnym..... | 400 |
| Feliks Marek Stawarczyk: Płaca minimalna a zatrudnienie – teoria i praktyka | 409 |
| Stanisław Swadźba: 10 lat w Unii Europejskiej. Gospodarka Polski na tle pozostałych gospodarek nowych krajów członkowskich..... | 419 |
| Piotr Szajner: System regulacji rynku cukru w UE a funkcjonowanie oligopolu cukrowego w Polsce..... | 431 |
| Jarosław Szostak: Przyczynek do rozważań wokół społecznej gospodarki rynkowej..... | 441 |
| Monika Szyda: Ekonomiczne uwarunkowania rozwoju handlu internetowego w Polsce..... | 454 |
| Piotr Urbanek: Programy partycypacji we własności jako narzędzie kreacji czy destrukcji wartości dla akcjonariuszy..... | 464 |
| Zuzanna Urbanowicz: Wpływ polityki pieniężnej Europejskiego Banku Centralnego na stabilność cen w strefie euro..... | 473 |
| Małgorzata Wachowska: Rola bliskości geograficznej w pozyskiwaniu wiedzy. Badanie cytowań patentowych..... | 483 |
| Tatiana Wiśniewska: Funkcjonowanie placówek medycznych w kontekście wykorzystania technologii informacyjno-komunikacyjnych w świetle badań własnych..... | 492 |
| Danuta Witzak-Roszkowska: Przestrzenne zróżnicowanie kapitału ludzkiego w Polsce..... | 503 |
| Renata Wojciechowska: Schemat wiedzy naukowej w ekonomii..... | 514 |
| Agnieszka Wojewódzka-Wiewiórska: Strukturalny wymiar kapitału społecznego w Polsce..... | 522 |
| Grażyna Wolska: CSR jako współczesna koncepcja prowadzenia działalności gospodarczej. Zaangażowanie w ideę CSR przedsiębiorstw w Polsce. | 533 |
| Anna Zielińska-Chmielewska: Ocena realizacji strategii finansowych wybranych giełdowych spółek mięsnych w latach 2005-2011..... | 543 |
| Mariusz Zieliński: Koncepcja CSR z perspektywy państwa i przedsiębiorstwa..... | 552 |
| Krzysztof Zmarzłowski: Czynniki różnicujące spożycie piwa w polskich gospodarstwach domowych w latach 1999-2008..... | 561 |

Summaries

| | |
|--|----|
| Łukasz Abramczuk, Konrad Jabłoński, Aldona Skarżyńska: The projection of profitability of cereals and oil rapeseed depending on the level of costs of cultivation and production results..... | 21 |
| Irena Augustyńska-Grzymek: Unemployment vs. emigration of rural population on the example of Pomorze and Mazury region..... | 31 |

| | |
|--|-----|
| Ryszard Barczyk: Significance of transformation of commercial banks for shaping the morphology of credit cycles in Poland in the years 1998-2013 | 44 |
| Nicoletta Baskiewicz: Zadania właściciela procesu w kolejnych etapach zarządzania procesami..... | 55 |
| Aneta Bernatowicz: Human resource management in the process of building a construction company's human capital..... | 64 |
| Agnieszka Bretyn: Household consumption in Poland in comparison to selected European Union countries..... | 74 |
| Kazimierz Cyran, Sławomir Dybka: Distribution of products against the background of other areas of using Internet in the food sector enterprises (eg. Podkarpackie Voivodeship) | 85 |
| Sławomir Czetwertyński: The virtualization of information goods on the example of video on demand..... | 96 |
| Magdalena Czulowska, Marcin Żekało: Costs of feeding cows in farms specializing in milk production | 104 |
| Małgorzata Deszczka-Tarnowska: Microcredit market. Polish and German framework..... | 114 |
| Grzegorz Dybowski: Economic relationships in Polish poultry meat chain .. | 124 |
| Mateusz Folwarski: Analysis of dependencies of influence of selected variables on the level of remuneration of senior management in banks in chosen countries..... | 133 |
| Artur Grabowski: The economic impact of the Winter Olympic Games. Recommendation for Poland..... | 143 |
| Aleksander Grzelak, Angelika Dziubak: Wybrane problemy rozwoju gospodarczego Meksyku na początku XXI wieku | 154 |
| Marcin Halicki, Bogusław Ślusarczyk: Analiza wpływu internacjonalizacji gospodarek na proces zarządzania portfelem | 164 |
| Anna Horodecka: Homo oeconomicus, as the basis of economics. Criticism and alternatives | 183 |
| Żaklina Jabłońska, Piotr Jabłoński: The franchise business model in small and medium-sized food stores operating in Poland..... | 194 |
| Tomasz Jasiński, Agnieszka Ścianowska: Modeling the energy market using modern forecasting methods..... | 204 |
| Michał Jurek: Business model of cooperative banks in Poland. Risks and challenges | 214 |
| Grażyna Karmowska, Mirosława Marciniak: Multidimensional comparative analysis of regional development of western and eastern Poland..... | 227 |
| Janusz Kot, Ewa Kraska: Cooperation as part of the activities of companies located in clusters (on the example of Świętokrzyskie region)..... | 238 |
| Andrzej Kowalczyk: Competitiveness of enterprises. Selected issues..... | 250 |

| | |
|--|-----|
| Anna Kozłowska, Agnieszka Szczepkowska-Flis: FDI effects on productivity. An alternative approach | 261 |
| Anna Kozłowska, Agnieszka Szczepkowska-Flis: The role of international integration in economic development. Analysis in the context of creative destruction..... | 271 |
| Hanna Kruk: Pollution heaven hypothesis. Theoretical approach | 281 |
| Anna Krzysztofek: New formula of Respect Index..... | 292 |
| Justyna Kujawska: DEA as a method for evaluating of non-medical health determinants..... | 302 |
| Paweł Kulpaka: M. Friedman permanent consumption model and Keynesian consumption functions. Empirical verification of the selected theories on the example of Poland | 313 |
| Wojciech Leoński: Benefits and costs connected with CSR in enterprises..... | 322 |
| Józef Łobocki: The role of local embeddedness under conditions of global economy..... | 330 |
| Agnieszka Łopatka: Analysis of social development, including sex indicator by Human Development Index in Poland..... | 340 |
| Aleksandra Majda: Źródła przewagi konkurencyjnej firm rodzinnych w Polsce i we Włoszech w czasach gospodarki opartej na wiedzy – analiza porównawcza | 352 |
| Antoni Mickiewicz, Bartosz Mickiewicz: Analysis of process and realization of activities implemented in IV axis “Leader” of RADP 2007-2013 .. | 362 |
| Anna Nowak, Agnieszka Kamińska, Monika Różańska-Boczula: Spatial differentiation of agriculture productive potential in Poland..... | 372 |
| Artur Ostromęcki, Dariusz Zajac, Andrzej Mantaj: The importance of land resources in non-agricultural business of farmers running additional non-agricultural business activity | 381 |
| Magdalena Ratalewska: Entrepreneurship in creative sectors..... | 390 |
| Jerzy Rembeza, Grzegorz Przekota: Seasonality of unemployment in EU countries..... | 399 |
| Agnieszka Skoczylas-Tworek: The internal control system as a strategic line of defence against corporate risk | 408 |
| Feliks Marek Stawarczyk: Minimum wages and employment. Theory and practice..... | 418 |
| Stanisław Swadźba: 10 years in the European Union. Polish economy against the background of the new member states..... | 430 |
| Piotr Szajner: Sugar market regime in the EU vs. oligopoly in Polish sugar . | 440 |
| Jarosław Szostak: Socio-economic growth as a rationale for the social market economy model..... | 453 |
| Monika Szyda: Economic determinants of e-commerce development in Poland | 463 |

| | |
|---|-----|
| Piotr Urbanek: Long term incentives programs in the process of creation or destruction of shareholder value | 472 |
| Zuzanna Urbanowicz: Impact of monetary policy of the European Central Bank on price stability in the eurozone | 482 |
| Małgorzata Wachowska: The role of geographic proximity in knowledge acquisition. A study of patent citations | 491 |
| Tatiana Wiśniewska: Functioning of medical facilities in the context of Information and Communication Technology in the light of own research .. | 502 |
| Danuta Wiczak-Roszkowska: Spatial diversity of human capital in Poland | 513 |
| Renata Wojciechowska: Scientific knowledge scheme in economics | 521 |
| Agnieszka Wojewódzka-Wiewiórska: Structural dimension of social capital in Poland | 532 |
| Grażyna Wolska: CSR as a modern concept of economic activity. CSR awareness in Poland | 542 |
| Anna Zielińska-Chmielewska: Assessment of financial strategies implementation of chosen stock meat enterprises in the period 2005-2011 | 551 |
| Mariusz Zieliński: The concept of the CSR from the state and the company perspective | 560 |
| Krzysztof Zmarzłowski: Factors differentiating beer consumption in Polish households in the years 1999-2008..... | 570 |

Tomasz Jasiński, Agnieszka Ścianowska

Politechnika Łódzka

e-mails: tomasz.jasinski@p.lodz.pl; agnieszka.scianowska@p.lodz.pl

MODELOWANIE RYNKU ENERGII PRZY UŻYCIU NOWOCZESNYCH METOD PROGNOSTYCZNYCH

Streszczenie: Opracowanie porusza problematykę modelowania oraz optymalizacji rynku energii przy użyciu metod prognostycznych bazujących na narzędziach z dziedziny sztucznej inteligencji. W pracy poruszone zostały zagadnienia związane z wykorzystaniem metod optymalizacji działających w oparciu o zasadę ewolucji Darwina, takich jak algorytmy genetyczne. Opracowanie ma na celu także zbadanie możliwości rozbudowy klasycznych algorytmów genetycznych o elementy bazujące na innych metodach optymalizacji. W tym celu omówione zostały modele hybrydowe, m.in. zbudowane w oparciu o współpracę algorytmów genetycznych ze sztucznymi sieciami neuronowymi.

Słowa kluczowe: rynek energii, algorytmy genetyczne, modelowanie, optymalizacja, cena energii.

DOI: 10.15611/pn.2014.347.18

1. Wstęp

W ostatnich dekadach sektor energetyczny doświadczył istotnych zmian w kierunku deregulacji i wzrostu konkurencji w celu zwiększenia efektywności ekonomicznej [Ventosa i in. 2005]. Z tego powodu przedsiębiorstwa wytwarzające energię są narażone na szczególnie wysokie ryzyko i ich zapotrzebowanie na właściwe modele wspierające proces podejmowania decyzji znacznie wzrosło. Poziom złożoności modeli dotyczących rynku wytwarzania energii jest determinowany: właściwościami technicznymi energii jako produktu, brakiem możliwości magazynowania oraz ograniczeniami związanymi z majątkiem produkcyjnym. Powoduje to, że łączą one szczegółowy opis fizycznych właściwości systemu z modelowaniem racjonalnego zachowania firmy. Ich klasyfikacja może być dokonywana według różnych kryteriów odnoszących się do: ich cech specyficznych, poziomu konkurencji, przedziału czasowego, modelowania niepewności, powiązań między przedziałami czasowymi oraz ograniczeń w przesyłce energii i sposobu prezentacji rynku.

2. Algorytmy genetyczne jako narzędzie optymalizacji

Rozwój badań w zakresie modelowania rynku wskazuje na występowanie trzech trendów związanych z tworzeniem modeli: optymalizacyjnych, równowagi i symulacyjnych. Modele optymalizacyjne koncentrują się na problemie maksymalizacji zysku jednej firmy konkurującej na rynku. Modele równowagi prezentują typowe zachowanie rynkowe, biorąc pod uwagę konkurencję między uczestnikami. Natomiast modele symulacyjne stanowią dla nich alternatywę, kiedy rozważany problem jest zbyt kompleksowy.

Wysoki poziom złożoności modeli optymalizacyjnych pozwala na ich wykorzystanie do rozwiązywania szczegółowych problemów, takich jak budowanie dziennej krzywej oferty w krótkim okresie. Modele równowagi są bardziej odpowiednie dla planowania w długim okresie i analizy siły rynkowej, ponieważ biorą pod uwagę wszystkich uczestników rynku. Bazują one często na koncepcji równowagi Nasha, w której przyjmuje się, że rynek osiąga ten stan wówczas, gdy strategia, dotycząca optymalnego poziomu produkcji każdej firmy, jest najlepszą odpowiedzią na strategię wdrożoną przez konkurentów.

Rozwiązanie problemu równowagi rynkowej Nasha następuje dzięki teorii gier, zakładającej brak współpracy pomiędzy uczestnikami rynku, nawet wówczas gdy występują ograniczenia w przesyle energii bądź w zakresie możliwości wytwórczych, powodujące, że krzywa przychodów jest nieróżniczkowalna i niewklęsła [Attaviriyanyupap i in. 2005; Contreras, Klusch, Krawczyk 2004]. Podstawowym założeniem teorii gier jest występowanie ewolucyjnego procesu uczenia się uczestników rynku, który skutkuje osiągnięciem stanu bliskiego stanowi równowagi Nasha. Dla określenia tego stanu wykorzystuje się algorytm genetyczny (GA – *Genetic Algorithm*) oparty na ekonomicznym procesie uczenia się opisanym przez Riechmanna [Riechmann 2001; Gestore dei Mercati Energetici 2014].

D. Menniti, A. Pinnarelli, N. Sorrentino dla analizy zachowania producentów na rzeczywistym rynku energii stworzyli GA symulujący rynek energii, w którym uczestniczy kilku graczy. Przyjęto w nim założenie o budowaniu przez producentów strategii w odniesieniu do konkurentów, pomijając, dla uproszczenia obrazu sytuacji, kwestię konkurencji między konsumentami. W celu uwzględnienia ograniczeń w przesyle energii przyjęto podział rynku na kilka stref, który, zakładając wymianę energii między strefami, determinuje sposób ustalania ceny (Power Exchange PX) [Menniti, Pinnarelli, Sorrentino 2008].

Dana firma może zwiększyć swoją produkcję aż do maksymalnego poziomu swoich zdolności produkcyjnych równego P_{\max} i tworzy krzywą ceny obrotu giełdowego na podstawie krzywej kosztu marginalnego. Ponieważ koszty krańcowe są funkcją liniową, oferty producentów również są uważane za funkcję liniową. Dla zrównoważenia rynku jest wykorzystywana cena ustalana w trybie aukcyjnym, obowiązująca w jednym okresie [Menniti, Pinnarelli, Sorrentino 2008].

Stworzony przez D. Menniti, A. Pinnarelli, N. Sorrentino GA symulujący rynek energii, w którym uczestniczy kilku graczy, opiera się na założeniu, że strategie budowane przez producentów są pochodną warunków konkurowania w branży. Korzystając z rezultatów badań przeprowadzonych przez Riechmanna i Friedmana, można stwierdzić, że: każdy GA może być rozpatrywany jako gra ewolucyjna [Riechmann 2001; Gestore dei Mercati Energetici 2014; Friedman 1998], w której zachodzą procesy uczenia się. Powodują one, że dana populacja ma tendencję do skupiania się wokół punktu równowagi Nasha oraz prowadzą do wyłonienia się koncepcji dotyczącej przewagi i stabilności ewolucyjnej.

Jeśli rynkowe procesy gospodarcze zostaną odwzorowywane za pomocą GA, w którym poszczególne jednostki są podmiotami ekonomicznymi, miarą przystosowania każdej jednostki jest jej sukces rynkowy (mierzony np. wielkością przychodów), zależny nie tylko od strategii przyjętej przez nią, ale i strategii wszystkich podmiotów działających na rynku.

Można zatem przyjąć następujące założenia. Pierwsze założenie dotyczy sytuacji, w której w ramach rynkowych procesów ekonomicznych każdy podmiot gospodarczy tworzy swoją własną strategię. Jest ona efektem procesu uczenia się, rozpatrywanego w aspektach: uczenia się przez naśladowanie, przez komunikowanie się oraz przez eksperyment (odpowiada to procesom reprodukcji, krzyżowania i mutacji). Podczas gdy pierwsze dwa procesy generują różnorodność, ostatni stanowi dla niej czynnik ograniczający.

Rynek pełni funkcję procesu ograniczającego różnorodność, poprzez mechanizm selekcji, stwarzając największe szanse przetrwania najlepszym strategiom. Ich jakość, oceniana na podstawie wysokości osiągniętych przez firmę przychodów, w odniesieniu do przychodów wszystkich firm działających na rynku prowadzi do wyboru strategii, które będą stanowiły element kolejnej populacji.

Ponieważ każdy podmiot gospodarczy ma za zadanie znalezienie najbardziej efektywnej strategii w odniesieniu do funkcji celu, równowaga Nasha podmiotu gospodarczego jest definiowana jako najlepsza strategia, zakładając jako dane strategie konkurentów, i jest dokładnie tym, co dany podmiot gospodarczy bądź jednostka genetyczna próbuje osiągnąć. Mimo że selekcja i reprodukcja kierują populację w kierunku równowagi Nasha, mutacja uniemożliwia jej pełne osiągnięcie.

Zgodnie z koncepcją stabilności ewolucyjnej strategie nieefektywne są w procesie testowania eliminowane z populacji, jednak nie z prawdopodobieństwem równym jeden. Oznacza to konieczność rozszerzenia koncepcji stabilności ewolucyjnej o koncepcję przewagi ewolucyjnej, zgodnie z którą dana populacja genetyczna n ma przewagę na populacją m , jeśli każda strategia zawarta w populacji n utrzymuje lub zwiększa swoją efektywność w porównaniu z tą w populacji podstawowej m , podczas gdy przynajmniej jedna strategia zwiększa swoją przydatność w populacji n .

Mimo że każdy producent przedstawia ofertę składającą się z ceny i ilości, dla zachowania przejrzystości modelu jako zmienna decyzyjna może być przedstawiona jedynie cena, ponieważ ilość energii jest ściśle związana z limitami technicznymi.

[Menniti, Pinnarelli, Sorrentino 2008]. Cena jest liczbą całkowitą (w przedziale pomiędzy najwyższą i najniższą realną wartością, możliwą ceną producenta) wyrażającą liczbę jednostek euro za MWh, którą łatwo można zamienić na ciąg binarny dogodnej długości dla przeprowadzenia operacji krzyżowania i mutacji [Menniti, Pinnarelli, Sorrentino 2008]. Stąd populacja reprezentuje zbiór cen oferowanych przez producentów działających na tym samym rynku.

Strategie, które przejdą do następnej populacji, są wybierane zgodnie z ich stopniem przystosowania, na bazie metody koła ruletki, gdzie zajmują pola wielkości proporcjonalnej do wartości funkcji przystosowania. Ponieważ rzut kostką powoduje, że wybrana zostaje jednostka, na polu której zatrzymuje się kostka, jednostki z większą wartością przystosowania są częściej wybierane. Kiedy proces selekcji zostaje zakończony, przeprowadzane są operacje krzyżowania dwóch wybranych jednostek oraz mutacja, polegająca na zamianie wybranych fragmentów z danym prawdopodobieństwem. Również w tym przypadku jednostka, która ma najwyższą wartość funkcji przystosowania będzie z większym prawdopodobieństwem powielana w kolejnej populacji.

W celu przeprowadzenia procesu symulacji zjawiska konkurencji tworzone są różne populacje, jednak zostają wybrane tylko te, które spełniają kryterium przewagi ewolucyjnej. Stanowią one zatem zbiór najlepszych strategii uczestników rynku. Ponieważ celem tworzenia modelu jest symulacja zachowań producentów w długim okresie, proponowany algorytm jest zatrzymywany wówczas, gdy z góry założona maksymalna liczba populacji jest osiągnięta.

Przedstawiony w opracowaniu D. Menniti, A. Pinnarelli, N. Sorrentino przykład praktyczny ma na celu pokazanie sposobu, w jaki modele równowagi mogą odzwierciedlać zachowanie producentów. Odzworowuje on sytuację na rynku, z jednodniowym wyprzedzeniem, na którym działa 10 producentów, przedstawiając wahania ceny na skutek konkurencji między uczestnikami. Przyjęto również, że całkowita ilość energii, na którą zgłaszają zapotrzebowanie konsumenci, wynosi $QA = 11\ 000$ MWh, oraz uwzględniono tylko jedną strefę:

$$\begin{aligned} QA &= QV_1 + \dots + QV_{10}, \\ PV_i &\in [5, 30] \quad i = 1 \dots 10, \\ AV_j &= 35D/\text{MWh}, \end{aligned}$$

gdzie: PV_i – oznacza cenę oferowaną przez producentów,

QV_i – oznacza maksymalną ilość oferowaną przez producentów,

AV_j – oznacza cenę oferowaną przez konsumentów.

Ponieważ stałe są ceny proponowane przez producentów oraz oferowane ilości i koszty produkcji, maksymalizacja funkcji przydatności oznacza maksymalizację całkowitego dochodu. W tabeli 1, oprócz ilości energii oferowanej przez każdego producenta, jednakowej dla wszystkich stanów rynku, zaprezentowane zostały wahania cen równowagi i poziomu dochodów producentów, będące efektem zmiany zachowań uczestników rynku.

Tabela 1. Wykorzystanie algorytmu genetycznego do określenia równowagi rynkowej Nasha

| QV | QV w MWh | Cena populacja (0) D/MWh | Dochód populacja (0) /D | Cena populacja 64D/MWh | Dochód populacja 64/D | Cena populacja 425D/MWh | Dochód populacja 425/D | Cena populacja 654D/MWh | Dochód populacja 654/D |
|-----------|------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| QV_1 | 1500 | 11 | 19 500 | 12 | 40 500 | 24 | 43 500 | 23 | 45 000 |
| QV_2 | 1200 | 6 | 15 600 | 8 | 32 400 | 27 | 34 800 | 23 | 36 000 |
| QV_3 | 1300 | 9 | 16 900 | 27 | 25 650 | 29 | 27 550 | 30 | 28 500 |
| QV_4 | 1000 | 12 | 13 000 | 7 | 27 000 | 6 | 29 000 | 10 | 30 000 |
| QV_5 | 800 | 5 | 10 400 | 13 | 21 600 | 8 | 23 200 | 22 | 24 000 |
| QV_6 | 1050 | 7 | 14 300 | 14 | 29 700 | 19 | 31 900 | 10 | 33 000 |
| QV_7 | 700 | 13 | 45 500 | 8 | 18 900 | 5 | 20 300 | 19 | 21 000 |
| QV_8 | 900 | 10 | 11 700 | 18 | 24 300 | 12 | 26 100 | 27 | 27 000 |
| QV_9 | 1700 | 8 | 23 400 | 8 | 48 600 | 8 | 52 200 | 8 | 54 000 |
| QV_{10} | 950 | 5 | 13 650 | 23 | 28 350 | 26 | 30 450 | 27 | 31 500 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Menniti, Pinnarelli, Sorrentino 2008].

Populacja początkowa (0) została wybrana w sposób losowy jako dominująca z ceną równowagi 13 D/MWh. Kolejną populacją dominującą jest populacja (64) z ceną równowagi 27 D/MWh. Porównując ją z populacją początkową, można zauważyć wzrost dochodu dla każdej jednostki (ponad 100%), także dla producenta o najniższych przychodach w populacji początkowej. Ponadto jednostka o najwyższym dochodzie w pierwszej populacji została skopiiowana w kolejnej populacji.

Populacja dominująca została wyłoniona ponownie w ramach populacji (425) z ceną równowagi 29 D/MWh. Porównując ją z populacją poprzednią (64) można odnotować mniejszy wzrost dochodów, co oznacza, że rynek jest bliżej punktu równowagi. Kolejna populacja dominująca wyłoniona z populacji (654) z ceną równowagi 30 D/MWh, w wyniku porównania z poprzednią populacją dominującą może być uznana za jeszcze bliższą punktu równowagi. Świadczy o tym niski poziom wzrostu dochodów poszczególnych producentów – poniżej 4%. Ponieważ powyżej populacji 1500 nie została znaleziona żadna populacja posiadająca przewagę ewolucyjną, w (654) populacji cena osiąga górny pułap i każdy producent maksymalizuje swój dochód. Potwierdza to fakt występowania porozumień cenowych w ramach oligopolu, w którym podobny jest udział poszczególnych przedsiębiorstw w rynku i wzrost ceny równowagi, a dochody poszczególnych producentów są uzależnione od kondycji całej populacji.

Kolejny przykład zastosowania metod sztucznej inteligencji bazujących na zasadach ewolucji Darwina w postaci GA odnaleźć można w opracowaniu F. Wena i A.K. Davida na temat koordynacji strategii licytacji na rynku energii oraz na rynku rezerwy wirującej¹. Badania dotyczyły budowy optymalnej strategii licytacji na przykładzie zakładającym istnienie sześciu generatorów. Za pomocą GA (a także tradycyjnej metody Monte Carlo) zbudowana została optymalna strategia licytacji dla jednego z graczy rynkowych. Dotyczyła ona posunięć generatora na obu rynkach równocześnie. Wykazane zostało, że przy użyciu omawianej techniki generator mógł osiągnąć znacznie lepsze wyniki. W oczywisty sposób zastosowanie tej samej strategii przez wszystkich operatorów ponownie doprowadzało do redukcji zysków wybranego operatora (o ponad 3%). Pokazuje to, że stosowanie nowoczesnych technik prognostycznych umożliwiła wypracowanie realnej przewagi na konkurencyjnym rynku energii [Wen, David 2000].

3. Współdziałanie GA z innymi metodami optymalizacji i predykcji

GA powszechnie wykorzystywane są w badaniach nad przewidywaniem przyszłego zachowania rynku energii po stronie popytowej. Często buduje się systemy hybrydowe łączące kilka różnych metod prognostycznych. Powszechna jest współpraca między sztucznymi sieciami neuronowymi (ANN – *Artificial Neural Networks*) a GA lub strategiami ewolucyjnymi (ES – *Evolutionary Strategies*). Może mieć ona różny charakter. Od wielu lat symulatory ANN używają GA do optymalizacji parametrów ANN. Warto w tym miejscu przytoczyć wyniki badań nad budową i użyciem modelu łączącego zalety obu omówionych technik. Autorzy wykorzystali Falkowe Sieci Neuronowe (WNN – *Wavelet Neural Networks*), optymalizując ich strukturę przy użyciu GA². Zauważyć należy, iż analiza porównawcza błędów generowanych przez modele funkcjonujące w oparciu o model hybrydowy oraz WNN jednoznacznie wskazała na wyższość tych pierwszych. Przeciętny błąd bezwzględny dla wszystkich przeprowadzonych testów był ponad 2,8 razy mniejszy, osiągając wartość jedynie 2,34%. Na zbliżonym poziomie utrzymywała się także zależność między błędem minimalnym. Jeszcze większe różnice występowały w przypadku maksymalnego błędu bezwzględnego, sięgając aż 25 razy [Zhao i in. 2011].

¹ Warto nadmienić, że pojęcie rezerwy wirującej nie jest jednoznacznie zdefiniowane. W literaturze przedmiotu, a także praktyce gospodarczej odnaleźć można różne jej definicje. Więcej na ten temat odnaleźć można m.in. w [Rebours, Kirschen 2005].

² WNN stanowią połączenie jednokierunkowych sieci wielowarstwowych (MLP – *Multilayer Perceptron*) wraz z teorią falkową. Zamiast tradycyjnych komórek nerwowych wprowadza się do modelu tzw. neuronową komórkę falkową (WNC – *Wavelet Neural Cell*), zastępując przy tym powszechnie stosowane funkcje aktywacji (zazwyczaj logistyczną) funkcją falkową.

Więcej na temat WNN odnaleźć można w [Zhao i in. 2011].

Więcej na temat modelowania popytu na rynku energii przy wykorzystaniu ANN znajduje się m.in. w [Jasiński 2011].

Podobne podejście do zagadnienia przewidywania popytu na energię zaprezentowali S. Wang oraz X. Dong. Zastosowali oni jednak tradycyjne (pod względem struktury i budowy neuronów) MLP, których optymalizacja przy użyciu GA sprowadzała się do wyboru liczby neuronów w warstwie ukrytej, współczynnika bezwładności oraz uczenia³. Jako zmienne wejściowe modelu wykorzystane zostały: PKB, wskaźnik struktury przemysłu, wielkość populacji, wskaźnik postępu technologicznego [Wang, Dong 2009].

W przytoczonym przykładzie modelowane były szeregi czasowe o interwale jednego miesiąca. Nie mniej popularne jest także prognozowanie szeregów czasowych w postaci przyszłych wartości popytu na rynku energii o jeszcze mniejszej częstotliwości, np. jednego roku. W literaturze przedmiotu odnaleźć można badania wykazujące, że nawet tradycyjne modele GA współpracujące z ANN potrafią dokonywać skutecznego przewidywania. Jako przykład posłużyć może opracowanie autorów, takich jak A. Azadeh, R. Tavakoli Moghadam, S.F. Ghaderi oraz S. Tarverdian. Zbudowali oni GA prognozujący w precyzyjny sposób przyszłe zapotrzebowanie na energię elektryczną w oparciu o zmienne prognozowane przez ANN. Badania wykazały także, że jakość prognoz wspomnianych ANN zdecydowanie przewyższa tradycyjne i popularne metody prognostyczne szeregów czasowych, jak chociażby modele ARIMA [Azadeh i in. 2006].

W literaturze przedmiotu dostępne są liczne badania, w których prognozowanie oparte nawet o tradycyjne GA wykazuje zdecydowanie lepsze wyniki końcowe niż tradycyjne metody regresyjne. W badaniach A. Azadeha, S.F. Ghaderiego i S. Tarverdiana zestawienie błędów wygenerowanych przez GA i model liniowo-logarytmiczny wykazało, w zależności od roku kalendarzowego, w którym analiza była przeprowadzana⁴, od ponad 3,4- aż do powyżej 4,5-krotnie niższy poziom błędu względnego prognozy w przypadku GA [Azadeh, Ghaderi, Tarverdian 2006]

Jedną z interesujących odmian GA jest opisany przez R.C.G. Teive'a, R. Gudera i C. Sebba tzw. nowy algorytm genetyczny Pareto (NPGA – *New Pareto Genetic Algorithm*). Wykorzystuje on zewnętrzną populację osobników, zwaną porównawczą, w której osobniki początkowo tworzone są w sposób losowy (w badaniach jej wielkość wynosiła 70 jednostek). Populacja ta ma za zadanie zwiększenie zdolności GA do przeszukiwania przestrzeni rozwiązań. Każdy osobnik jest oceniany poprzez porównanie go z innymi jednostkami w populacji zarówno podstawowej, jak i porównawczej. Funkcja oceny dopasowania osobnika w tych konkretnych badaniach zbudowana została w oparciu o analizę wartości czterech wskaźników: minimalnej wariancji, minimalnej VaR i CVaR oraz maksymalnych zwrotów. Jednostki niezdominowane są klonowane i włączane do populacji porównawczej. Algorytm dodaje nowe jednostki albo poprzez zastąpienie nimi jednostek zdominowanych albo bez

³ Współczynniki bezwładności (momentum) oraz uczenia stanowią podstawowe parametry determinujące skuteczność nauki MLP przy użyciu tzw. momentowej metody wstecznej propagacji błędów.

⁴ Analiza objęła lata 2000-2003 i dotyczyła prognozy popytu na energię elektryczną.

usuwania innych osobników, jeśli nowa jednostka żadnego z nich nie zdominuje. Dodatkowo zakłada się, że 20% populacji porównawczej stanowią osobniki wybrane w sposób losowy. Pozostałe kroki opisanego algorytmu nie różnią się od tych występujących w klasycznym GA. Dodatkowo nadmienić jedynie należy, iż rozwiązaniem optymalnym jest w tym przypadku najlepszy osobnik z populacji porównawczej [Teive, Guder, Sebba 2010].

Mimo iż większość badań dotyczyła zastosowania metod darwinowskich przez dużych generatorów i w dużych sieciach, to jednak odnotować należy, iż opisane w niniejszym opracowaniu metody mogą być z powodzeniem stosowane w przypadku mikrosieci (*Microgrids*). Za przykład posłużyć mogą badania C. Changsonga, D. Shanxu, C. Tao, L. Bangyina oraz Y. Jinjuna nad optymalizacją harmonogramu działań w obrębie sieci celem optymalizacji ekonomicznej. Zaprezentowane podejście, podobnie jak wcześniej omówione rozwiązania, bazowało na użyciu zarówno ANN, jak i GA. Wykazane zostało, że dzięki stworzonemu modelowi możliwe jest osiągnięcie wymiernych korzyści ekonomicznych. System z zadowalającą dokładnością w oparciu o dane pogodowe prognozował przyszłą produkcję energii (w sieci wiele mikrogeneratorów wytwarzało energię w oparciu o elektrownie wiatrowe oraz solarne). Na podstawie uzyskanych z ANN danych GA dokonał kolejnej optymalizacji, zapewniającej przy maksymalizacji zysków zapewnienie ciągłości dostaw energii. Autorzy sugerują zastosowanie omawianej metody celem optymalizacji współpracy między rozproszonymi generatorami a sieciami dystrybucyjnymi [Changsong i in. 2009].

4. Zakończenie

Modele równowagi reprezentujące jeden z trzech głównych trendów związanych z modelowaniem rynku energii są pomocne w przewidywaniu cen energii w długim okresie i uwzględnianiu, w podejmowanych przez przedsiębiorstwo decyzjach, wielkości wpływu procesu konkurencji na kształtowanie się cen. Zaprezentowany w ramach GA proces może być zatem wykorzystany do budowania prognoz cenowych i strategii firmy, bowiem różnice dotyczące poziomu wzrostu dochodów dla każdego producenta, przy przechodzeniu do kolejnych populacji dominujących, świadczą o stopniu oddalenia rynku od stanu równowagi Nasha. Jak zostało to przedstawione, GA, współpracując z innymi technikami prognostycznymi (np. SNN), stanowią skuteczne narzędzie modelowania przyszłego zachowania się rynku, po stronie zarówno popytowej, jak i podażowej. Zarówno klasyczne GA, jak i systemy hybrydowe zbudowane w oparciu o GA stanowią zatem silne narzędzie optymalizacji zachowań uczestników rynku energii.

Literatura

- Attaviriyanupap P., Kita H., Tanaka E., Hasegawa J., 2005, *New bidding strategy formulation for day ahead energy and reserve markets based on evolutionary programming*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 27, issue 3, s. 157-167.
- Azadeh A., Ghaderi S. F., Tarverdian S., 2006, *Electrical Energy Consumption Estimation by Genetic Algorithm*, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Montreal, Canada, s. 395-398.
- Azadeh A., Tavakoli Moghadam R., Ghaderi S. F., Tarverdian S., Saberi M., 2006, *Integration of Artificial Neural Networks and Genetic Algorithm to Predict Electrical Energy Consumption in Energy Intensive Sector*, 2006 1st IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics, Hammamet, Tunisia, s. 58-63.
- Changsong C., Shanxu D., Tao C., Bangyin L., Jinjun Y., 2009, *Energy Trading Model for Optimal Microgrid Scheduling Based on Genetic Algorithm*, 2009 IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference, Wuhan, China, s. 2136-2139.
- Contreras J., Klusch M., Krawczyk J.B., 2004, *Numerical solutions to Nash–Cournot Equilibria in Coupled Constraint Electricity Markets*, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 17, no 1, s. 166-172.
- Friedman D., 1998, *On economic applications of evolutionary game theory*, Journal of Evolutionary Economics, vol. 8, s. 15-43.
- Jasiński T., 2011, *The Usage of Artificial Neural Networks on the Energy Market*, [w:] red. L. Kiełtyka, *IT Tools in Management and Education*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, s. 98-103.
- Menniti D., Pinnarelli A., Sorrentino N., 2008, *Simulation of producers behavior in the electricity market by evolutionary games*, Electric Power Systems Research 78, s. 475-483.
- Rebours Y., Kirschen D., 2005, *What is spinning reserve?*, The University of Manchester, Release 1.
- Riechmann T., 2001, *Genetic algorithm learning and evolutionary games*, Journal of Economic Dynamics and Control, vol. 25, s. 1019-1037.
- Teive R.C.G., Guder R., Sebba C., 2010, *Risk Management in the Energy Trading Activity – an Approach by Using Multi Objective Genetic Algorithm and Multi Criteria Theory*, 2010 IEEEIPES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, Sao Paulo, Brazil, s. 504-510.
- Ventosa M., Baillo A., Ramos A., Rivier M., 2005, *Electricity market modeling trends*, Energy Policy, vol. 33, issue 7, s. 897-913.
- Wang S., Dong X., 2009, *Predicting China's Energy Consumption Using Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms*, 2009 International Conference on Business Intelligence and Financial Engineering, Beijing, China, s. 8-11.
- Wen F., David A.K., 2000, *Coordination of Bidding Strategies in Energy and Spinning Reserve Markets for Competitive Suppliers Using a Genetic Algorithm*, Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE, vol. 4, s. 2174-2179.
- Zhao H., Liu R., Zhao Z., Fan C., 2011, *Analysis of Energy Consumption Prediction Model Based on Genetic Algorithm and Wavelet Neural Network*, [w:] red. C.Z. Wang, Z.W. Ye, 2011 3rd International Workshop on Intelligent Systems and Applications, Wuhan, China.

Strona internetowa

Gestore dei Mercati Energetici: <http://www.mercatoelettrico.org> (dostęp 02.05.2014).

MODELING THE ENERGY MARKET USING MODERN FORECASTING METHODS

Summary: The paper presents the issues of modeling and optimization of the energy market using forecasting methods based on the tools in the field of artificial intelligence. The described issues are associated with the use of optimization methods acting on the basis of Darwin's evolution, such as genetic algorithms. The study aims at examining the possibility of extension of classical genetic algorithms with elements based on other methods of optimization. To this end, hybrid models are discussed, e.g. models built on the cooperation of genetic algorithms with artificial neural networks.

Keywords: energy market, genetic algorithms, modelling, optimization, energy price.