

# ANALIZA SYMULACYJNA WIELOOBIEKTOWEJ AUKCJI ROSNĄCEJ. WNIOSKI DLA PLANOWANEJ AUKCJI CZĘSTOTLIWOŚCI LTE W POLSCE

Maciej Sobolewski<sup>1, 2</sup>  
Uniwersytet Warszawski

Tomasz Formański<sup>3</sup>  
Uniwersytet Warszawski

**Streszczenie:** W drugiej połowie 2014 roku odbędzie się w Polsce procedura rezerwacji częstotliwości radiowych na potrzeby komercyjnych usług szybkiego Internetu (LTE). Z uwagi na ogromną wartość rynkową udostępnianych zasobów, po raz pierwszy w historii polskiego rynku telekomunikacyjnego, podział bloków wyłoniony będzie w drodze aukcji wieloobiektowej zorganizowanej przez Urząd Komunikacji Elektronicznej (UKE). Bazując na własnościach teoretycznych wybranego przez UKE mechanizmu aukcyjnego, zbudowaliśmy symulator aukcyjny, przy pomocy którego pokazujemy, jak może wyglądać przebieg aukcji 5 bloków częstotliwości w paśmie 800 MHz oraz jakich przychodów można oczekiwać.

**Słowa kluczowe:** Aukcja wieloobiektowa, aukcja częstotliwości, aukcja SMRA, symulator, usługi LTE, rynek telekomunikacyjny.

## SIMULATION ANALYSIS OF SMRA AUCTION: AN APPLICATION TO FORTHCOMING LTE SPECTRUM AUCTION IN POLAND

**Abstract:** In the second half of 2014 Poland is expected to conduct the reservation procedure of radio spectrum for commercial high-speed Internet services (LTE). Given the enormous market value of resources, for the first time in the history of the Polish telecommunications market, the allocation of frequency blocks will be determined through a multi-object SMRA auction

<sup>1</sup> Autor korespondujący. Dziękujemy anonimowemu recenzentowi za szereg cennych sugestii, które przyczyniły się do poprawy tekstu. Wszystkie pozostałe usterki obciążają wyłącznie nas.

<sup>2</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Nauk Ekonomicznych, ul. Długa 44/50, 00-241 Warszawa, e-mail: maciej.sobolewski@uw.edu.pl

<sup>3</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Nauk Ekonomicznych, ul. Długa 44/50, 00-241 Warszawa, e-mail: t.formanski@gmail.com

carried out by the Office of Electronic Communications (UKE). Drawing on the theoretical properties of the auction format chosen by the Polish regulator, we have developed a dedicated simulator to analyze auction runs for five 800 MHz blocks. We consider possible developments of LTE auction and expected revenues it brings for four most likely configurations of bidders.

**Key words:** Multi-object auction, spectrum auction, SMRA auction, Simulator, LTE services, telecommunications market.

## 1. Wprowadzenie

W drugiej połowie 2014 roku spodziewane jest przeprowadzenie pierwszej w Polsce aukcji na rezerwację częstotliwości radiowych w paśmie 800 MHz oraz 2,6 GHz, niezbędnych do komercyjnego uruchomienia usługi szybkiej transmisji danych w sieciach mobilnych znanej jako LTE<sup>4</sup>. Organizatorem procedury przydziału zasobów radiowych jest Urząd Komunikacji Elektronicznej (UKE) będący regulatorem rynku telekomunikacyjnego w Polsce, a jej uczestnikami operatorzy telekomunikacyjni zainteresowani nabyciem praw do wykorzystywania określonych bloków częstotliwości przez okres 15 lat. Na aukcję wystawionych zostanie 19 bloków częstotliwości – 5 w paśmie 800 MHz oraz 14 w paśmie 2,6 GHz, które łącznie pozwalają na świadczenie ogólnopolskich usług LTE przez 4 lub 5 niezależnych operatorów.<sup>5</sup> Znaczenie omawianej aukcji polega nie tylko na rekordowej wartości rynkowej dzierżawionych zasobów, ale również i na tym, że jej wynik może bezpośrednio wpłynąć na strukturę rynku, jeżeli do czterech zasiedziały operatorów dołączy nowy.

Do przeprowadzenia procedury rezerwacji UKE wybrał schemat wielorundowej, jednoczesnej aukcji rosnącej – SMRA (*simultaneous multiple round ascending auction*), zaproponowany oryginalnie przez Paula Milgroma i Roberta Webera (Milgrom i Weber, 1982). Po raz pierwszy aukcja tego typu została przeprowadzona w celu rozdziału częstotliwości w 1994 roku przez amerykańską Federalną Komisję Komunikacji (FCC) i zakończyła się sukcesem. Od tego momentu aukcje SMRA w różnych odmianach używane są do przydziału częstotliwości przez regulatorów rynku telekomunikacyjnego wielu państw.

<sup>4</sup> LTE (long term evolution) jest standardem bezprzewodowego przesyłu danych czwartej generacji, dla której użytkowa przepływność w sieciach mobilnych wynosi 40-60 Mb/sek. Zastąpi on używany obecnie standard UMTS z technologiami WCDMA/HSPA(+) znanymi jako 3G oraz 3,5G.

<sup>5</sup> Każdy z 5 bloków w paśmie 800 MHz ma szerokość  $2 \times 5$  MHz, pozwalając na pokrycie ogólnokrajowym zasięgiem średnio i nisko zaludnionych obszarów, podczas gdy bloki w wyższym paśmie nadają się do uzupełniającego pokrycia terenów najgęściej zaludnionych wokół największych miast. Ustalone przez UKE ceny wywoławcze za każdy z bloków w paśmie 800 MHz wynoszą 250 mln zł, a za każdy z bloków w paśmie 2,6 GHz 25 mln, składając się łącznie na rekordową kwotę minimalną 1,6 mld złotych.

Procedura konsultacyjna wyjściowej dokumentacji aukcyjnej rozpoczęła się we wrześniu 2013 roku i zgodnie z założonym harmonogramem UKE ogłosił rozpoczęcie rejestracji ofert wstępnych uczestników aukcji w grudniu 2013 roku w oparciu o pierwotną wersję dokumentacji, nie uwzględniając uwag zgłoszonych w trakcie konsultacji. 11 lutego 2014 roku nastąpił jednak zwrot. Na trzy dni przed zakończeniem wstępnego etapu rejestracji uczestników UKE nieoczekiwanie odwołał aukcję i tydzień później przedstawił do konsultacji nową wersję dokumentacji aukcyjnej. Zawiera ona jedną oczywistą, ale istotną zmianę w porównaniu z pierwotną dokumentacją, znoszącą zakaz składania oferty na blok już wcześniej opuszczony przez uczestnika. Proces konsultacyjny miał tym razem dwie tury i zakończył się ostatecznie 5 maja. Pod wpływem licznych stanowisk operatorów UKE rozważyła wprowadzenie dalszych zmian do dokumentacji aukcyjnej, z których jedyną publicznie zapowiedzianą jak dotąd jest dopuszczenie możliwości ograniczonego współdziałania częstotliwości. Nadal nie jest znana data publikacji ostatecznej dokumentacji aukcyjnej, a tym samym data ponownego rozpoczęcia wstępnego etapu rejestracji uczestników aukcji.<sup>6</sup> Można jednak przypuszczać, że przeprowadzenie właściwej aukcji wielorundowej powinno nastąpić na jesieni.

Artykuł ma dwa zasadnicze cele. Po pierwsze, odwołując się do teoretycznej literatury z zakresu aukcji wieloobektowych, przedstawiamy główne właściwości schematu aukcyjnego wybranego przez UKE. Wiedza ta jest przydatna dla sformułowania przewidywań dotyczących przebiegu i wyników aukcji ze względu na brak wcześniejszych doświadczeń z aukcjami tego typu w Polsce. Teoria sugeruje, że aukcje SMRA mogą mieć równowagi z wieloma cenami, dlatego naszym drugim celem jest odniesienie czynników mogących mieć wpływ na wysokość przychodów z aukcji SMRA do planowanej aukcji LTE w Polsce. Pokazujemy zarówno wariant niekorzystny dla regulatora, w którym oferty końcowe nie przekraczają minimum sprzedającego, jak i wariant korzystny, w którym przychody uzyskane przez UKE odzwierciedlają ekonomiczną wartość obiektów, a alokacja spełnia kryterium efektywności ekonomicznej. Drugi z wymienionych celów artykułu jest istotny nie tylko dla regulatora, ale również dla operatorów, ponieważ przy ustalonych wycenach bloków obie strony uczestniczą w grze o podział stałej nadwyżki, którą tworzą najwyższe wyceny pomniejszone o ceny minimalne.

Na potrzeby analizy oczekiwanych wyników aukcji LTE stworzyliśmy symulator, który uwzględnia wszystkie najważniejsze elementy schematu SMRA, określone w dokumentacji aukcyjnej UKE<sup>7</sup>. W naszych rozważaniach ograniczamy się jedy-

<sup>6</sup> Zaprezentowany kalendarz wynika z faktu, iż kwotę minimalną aukcji zapisano po stronie przychodów w tegorocznym budżecie państwa.

<sup>7</sup> Bazujemy na wersji dokumentacji z lutego 2014 skierowanej do ponownych konsultacji. Była to najbardziej aktualna (choć z pewnością nie ostateczna) wersja dostępna w trakcie prac nad symulatorem.

nie do alokacji bloków w paśmie 800 MHz, które stanowią główny przedmiot aukcji<sup>8</sup>. W symulacjach skupiliśmy się na zbadaniu wpływu wybranych konfiguracji uczestników na oczekiwany poziom ofert w wariacie korzystnym dla regulatora. Wyceny obiektów przez poszczególnych graczy określiliśmy zgodnie z modelem wartości wspólnej, uwzględniając w elemencie wyceny prywatnej każdego uczestnika losowy składnik odchylający całkowitą wycenę od konsensusu rynkowego. Metoda symulacyjna pozwala na analizę właściwości schematów aukcyjnych w zbiorze algorytmicznie zdefiniowanych zachowań uczestników aukcji. Zachowania te mogą odzwierciedlać teoretycznie założenia, na przykład zgodność ze strategią w równowadze, albo heurystyki zaobserwowane w eksperymentach laboratoryjnych, które dla bardziej skomplikowanych schematów aukcyjnych okazują się być często niezgodne z przewidywaniami teorii (Richter, 2006). W naszej analizie ograniczyliśmy się do najprostszej reguły niestrategicznej licytacji, zgodnie z którą uczestnicy składają oferty z minimalnym przebicciem na te obiekty, które w danej rundzie maksymalizują ich wypłatę (*straightforward bidding*). Argumenty, które przemówiły za tym wyborem, wynikają częściowo z teorii, a częściowo z praktyki. Przede wszystkim powyższa reguła realizuje wspomniany już wariant korzystny dla regulatora i ma pożądane własności z punktu widzenia efektywności alokacyjnej (Milgrom, 2000). Nie bez znaczenia jest również fakt, iż bywa obserwowana w przebiegu faktycznych aukcji SMRA (Binmore & Klemperer, 2002), mimo iż w teorii mają one także wiele możliwych równowag z niskimi cenami, i to takich, które są w racjonalizowalne (Milgrom, 2000).

Wnioski z naszej analizy wskazują na kluczowe znaczenie poziomu  $k + 1$  w kolejności wyceny pojedynczego bloku dla wyników aukcji SMRA, w której dostępnych jest  $k$  obiektów. W naszych symulacjach na wyniki aukcji nie ma wpływu ani liczba uczestników aukcji, ani rozkład  $k$  najwyższych wycen. Aukcja zakończy się w pierwszej rundzie w sytuacji, gdy liczba wycen powyżej ceny minimalnej jest równa liczbie obiektów. W wariacie niekorzystnym dla regulatora oferty nie przekroczą znacząco minimum sprzedającego także wtedy, gdy gracze strategicznie ograniczą popyt. Dlatego istotne znaczenie ma mechanizm wymuszający aktywność uczestników licytacji.

Pozostała część artykułu wygląda następująco. W rozdziale drugim przedstawiamy teoretyczne właściwości wielorundowej aukcji rosnącej SMRA. W rozdziale trzecim prezentujemy zastosowane narzędzie badawcze oraz opisujemy szczegóły scenariuszy aukcyjnych (liczba uczestników wraz z wycenami obiektów), dla których przeprowadziliśmy symulację przebiegu aukcji LTE. Rozdział czwarty prezentuje wyniki symulacji i wnioski z naszego badania.

<sup>8</sup> Bloki 2,6 GHz nie stanowią wartości same w sobie i przypadają tym uczestnikom, którzy wylicytują lub już posiadają zasoby częstotliwości w paśmie 800 i 900 MHz.

## 2. Własności aukcji SMRA

Teoria aukcji wieloobektowych jest słabiej rozwinięta od teorii aukcji pojedynczych obiektów<sup>9</sup>. Obecnie główny nurt badań teoretycznych dotyczy aukcji kombinatorycznych (Cramton, Shoham i Steinberg, 2006), znajdujących zastosowanie w sytuacjach, gdy uczestnicy mogą zgłaszać popyt na kilka obiektów, które są przynajmniej częściowo komplementarne. Większość wyników teoretycznych dotyczy różnych typów aukcji jednej ceny (*uniform-price auctions*), takich jak aukcja pierwszej ceny, aukcja rosnąca lub aukcja zegarowa dla substytucyjnych obiektów. Łączy je sposób ustalania jednakowej ceny obiektów poprzez równoważenie popytu z podażą (Milgrom, 2004). Istotną cechą wspólną aukcji wieloobektowych jednej ceny jest to, iż uczestnicy mają motywację do strategicznego zaniżania popytu na kolejne obiekty w celu obniżenia ceny pierwszego (*inframarginal unit*), na którym im najbardziej zależy. Dlatego w tych aukcjach będą na ogół istniały liczne równowagi Nasha z niskimi cenami (*low price equilibria*) – potencjalnie nawet na poziomie ceny wywoławczej (Ausubel i Cramton, 2002). Na przykład, (Engelbrecht-Wiggans i M. Kahn, 2005) pokazują, że w wielorundowej aukcji rosnącej z dwoma graczami i dwoma obiektami równowagi z niskimi cenami wspierane są przez strategie typu SPaR (*Stake, Protect, and Revenge*) polegające na (i) obronie przez gracza *i* w kolejnych rundach wybranego obiektu *j* w sytuacji, gdy inny uczestnik *k* zaczyna go licytować oraz (ii) zemście na graczu *k* polegającej na rozpoczęciu licytowania 'jego obiektu'. Wskazany model aukcji rozszerzają (Grimm, Riedel i Wolfstetter, 2003), pokazując, że jeśli w aukcji możliwa jest symetryczna alokacja obiektów pomiędzy dwóch uczestników, to istnieje unikalna doskonała równowaga Nasha z ekstremalnie niskimi cenami na poziomie zero. Próby eliminacji najbardziej ekstremalnych równowag idą w kierunku wymuszenia aktywności we wczesnych rundach oraz wprowadzenia niepewności co do zachowania pozostałych uczestników. Rola wymuszonej aktywności polega na eliminacji zemsty jako wiarygodnej groźby wspierającej doskonałą równowagę Nasha z niskimi cenami.

Teoretyczne rozważania koncentrują się zwykle na trzech pożądanach własnościach schematów aukcyjnych: (i) zdolności do osiągnięcia efektywnej ekonomicznie alokacji (ii) zdolności do generowania cen, które odzwierciedlałyby w przybliżeniu wartość obiektów mierzoną ich kosztem alternatywnym oraz (iii) odporności na indywidualne i koalicyjne zachowania strategiczne (Klemperer, 2002b). Mimo wspomnianych ryzyk schematy aukcyjne jednej ceny mają pozytywne właściwości alokacyjne, które teoretycznie ujawniają się w przypadku doskonale substytucyjnych obiektów, przy założeniu, że uczestnicy licytacji zachowują się niestrategicznie (*straightforward*

<sup>9</sup> W języku polskim istnieją nieliczne prace przeglądowe z teorii aukcji, np. (Lewczuk, 2006) oraz (Drabik, 2007).

*bidding*)<sup>10</sup>. Założenie to jest wyrazem wiary w możliwość stworzenia takich warunków licytacji, w których uczestnicy będą liczyli się z faktem, iż każda runda może być ostatnia (Binmore i Klemperer, 2002). Wówczas optymalnym zachowaniem będzie krótkowzroczne maksymalizowanie zysku poprzez składanie ofert z najniższymi przebiciami na te obiekty, dla których różnica między aktualną ceną a wyceną gracza jest największa. W przypadku doskonałych substytutów warunek ten sprowadza się do wyboru pasma z najniższą ofertą.

Przy założeniu, iż gracze zachowują się niestrategicznie, jednoczesna aukcja rosnąca SMRA wykazuje podobieństwo z mechanizmem ustalania równowagi walrasowskiej (Milgrom, 2004). Prowadzi ona do ujawnienia w przybliżeniu jednakowej ceny równowagi, przydzielając obiekty uczestnikom o najwyższych cenach granicznych. W efekcie otrzymujemy alokację identyczną z wynikiem działania rynku doskonale konkurencyjnego z ceną równoważącą popyt i podaż. Twierdzenie o osiągalności takiej alokacji przez aukcję SMRA, w sytuacji gdy uczestnicy nie zachowują się strategicznie, jest najistotniejszym rezultatem teorii aukcji wieloobiektowych w kontekście aukcji LTE. Formalny model aukcji SMRA wraz z twierdzeniami i szkicami dowodów znajduje się w pracy (Milgrom, 2000). Z powyższego twierdzenia wynika praktyczna wskazówka, iż w aukcji SMRA z  $K$  blokami ( $j$ ) oraz  $N$  uczestnikami mającymi dodatnie i malejące wyceny na kolejne bloki:  $\forall_{S \subset T \subset K} v_{\{S \cup j\}}^i - v_{\{S\}}^i < v_{\{T \cup j\}}^i - v_{\{T\}}^i$  jednakowa w przybliżeniu cena za każdy blok ukształtuje się na poziomie  $k + 1$  w kolejności najwyższej wyceny w zbiorze  $\{v_j^i\}$ .

## Doświadczenia praktyczne

Aukcja SMRA nakierowana jest na osiągnięcie alokacji doskonale konkurencyjnej poprzez wzrost cen obiektów z rundy na rundę, aż do ustalenia w przybliżeniu jednakowej ceny równoważącej rynek. Jej pierwsze zastosowanie do sprzedaży częstotliwości w 1994 roku w USA zawierało zaproponowaną przez Milgroma regułę przymusowej aktywności graczy i zakończyło się sukcesem. Operatorzy licytowali przez wiele rund, a cena przekroczyła oczekiwania regulatora. Od tej pory schemat SMRA jest najczęściej wybieranym schematem rozdziału częstotliwości i to pomimo że uczestnicy rynku telekomunikacyjnego mieli już okazję dokładnie się go nauczyć. Poniżej przedstawiamy główne cechy schematu SMRA z odniesieniem do dokumentacji UKE:

- Wielorundowość i jednoczesność. Bloki licytowane są jednocześnie. W każdej rundzie uczestnicy zgłaszają tajne oferty na poszczególne bloki. Po każdej run-

<sup>10</sup> Regulator wprowadził sztuczną substytucyjność obiektów, postanawiając, iż uczestnicy licytacji będą składać oferty na abstrakcyjne bloki, a przypisanie konkretnych pasm do zwycięzców nastąpi w drodze procedury uwzględniającej techniczną optymalność.

dzie administrator ogłasza dla każdego z bloków wysokość aktualnie najwyższej zaofertowanej kwoty (NZK) oraz nazwę uczestnika, który ją złożył. W aukcjach wielorundowych zdecydowanie unika się udostępniania graczom pełnej informacji o przebiegu poszczególnych rund, gdyż ułatwia to znowę poprzez wzajemną sygnalizację preferowanego podziału i ewentualny odwet na uczestnikach z niższymi wycenami, którzy nie chcą współpracować (Klemperer, 2002a).

- Predefiniowana wysokość podbić. Uczestnik aukcji składa nową ofertę, podbijając aktualną NZK o jedną z dopuszczalnych kwot postąpienia. Zwykle dopuszczalne kwoty postąpienia ustalane są procentowo. Na przykład w aukcji UKE gracze mogą wybierać spośród stawek 1%, 2%, 3%, 4% i 5%. Predefiniowane stawki procentowe postąpienia mają za zadanie wyeliminować ryzyko przeciągania aukcji w nieskończoność przez graczy, którym zależałoby na odśnięciu rozstrzygnięcia w czasie.
- Rosnąca cena. Uczestnik mający aktualnie NZK na dany blok nie może z niego zrezygnować i złożyć oferty na inny blok. Skutkiem tej reguły jest niemalejąca cena każdego z bloków względem długości aukcji mierzonej liczbą rund. Ten element schematu SMRA bywa modyfikowany w sytuacji, gdy uczestnicy licytują konkretne, a nie abstrakcyjne bloki, ze względu na ryzyko ekspozycji (*exposure problem*). Polega ono na możliwości wylicytowania nieoptymalnego technicznie układu odległych od siebie bloków. Z drugiej strony dopuszczenie rezygnacji przez uczestnika z bloku, na który posiada on aktualnie NZK, powoduje możliwość spadku jego ceny (obowiązującą ofertą staje się poprzednia NZK), niosąc potencjalne ryzyko zapętlenia aukcji. W przypadku aukcji UKE wprowadzenie pełnej substytucyjności bloków z jednej strony eliminuje kilka potencjalnych trudności i ryzyk, które mogą się wydarzyć podczas licytacji, a z drugiej strony usprawnia proces dochodzenia do alokacji w równowadze konkurencyjnej, wymuszając zmianę cen tylko w jedną stronę. Aukcja kończy się, gdy żaden z uczestników nie złoży nowej oferty.
- Wymuszona aktywność uczestników. Przed licytacją uczestnikowi przyznawane są punkty licytacyjne proporcjonalnie do liczby obiektów, którymi jest potencjalnie zainteresowany na podstawie deklaracji z etapu wstępnego. W aukcji UKE przydział punktów odbywa się na podstawie zadeklarowanej liczby bloków w etapie wstępnym, z uwzględnieniem maksymalnego limitu 2 bloków na jednego uczestnika. Złożenie oferty w danej rundzie aukcji wymaga dysponowania odpowiednią liczbą punktów licytacyjnych. Uczestnik zachowuje początkowy limit punktów tylko wtedy, gdy jest aktywny w każdej rundzie. Przez aktywność gracza rozumiane jest podbicie oferty na jedno z pasm, na które nie posiada aktualnie NZK, albo posiadanie aktualnego NZK na jeden lub dwa bloki, przy czym liczba podbić i liczba posiadanych NZK

musi być równa liczbie punktów licytacyjnych. Brak wystarczającej aktywności powoduje częściową lub całkowitą utratę punktów licytacyjnych, co pociąga za sobą ograniczenie późniejszych możliwości licytacji lub zakończenie udziału w aukcji. Rola punktów licytacyjnych polega na podkreśleniu tempa aukcji i eliminacji potencjalnych zachowań strategicznych nakierowanych na zaniżanie popytu, przeciąganie rozstrzygnięcia lub uzyskanie dokładniejszej informacji o wycenach innych uczestników przed ujawnieniem swojej. Badania eksperymentalne wskazują, iż wymuszona aktywność pozytywnie wpływa na uzyskiwaną cenę, przyczyniając się tym samym do eliminacji ryzyka równowag z ekstremalnie niskimi cenami (Brunner, Goeree, Holt i Ledyard, 2010).

Główny rezultat związany z aukcją SMRA stwierdza, iż jeżeli gracze licytują niestrategicznie – w każdej rundzie podbijając minimalnie ceny tych bloków, na które nie mają aktualnie NZK, a które chcieliby nabyć przy aktualnej cenie – a obiekty są substytucyjne, to aukcja SMRA w skończonej liczbie rund osiąga alokację, która jest identyczna z doskonale konkurencyjną z cenami na poszczególne bloki zbliżonymi do siebie z dokładnością do minimalnego postąpienia. Otrzymana w ten sposób alokacja bloków maksymalizuje całkowitą nadwyżkę nabywców, a zatem obiekty uzyskują uczestnicy o najwyższych (prywatnych) wycenach.

Wpływy z aukcji w zasadniczy sposób zależą od stopnia rywalizacji kupujących wyrażonego relacją liczby oferowanych obiektów do popytu zgłoszonego przez licytujące podmioty. Pogląd ten jest silnie podbudowany doświadczeniami z przeprowadzonych aukcji na częstotliwości dla usług UMTS w kilkunastu krajach Europy na przełomie 2000 i 2001 roku. Z wyjątkiem Niemiec w aukcjach tych sprzedawano licencje na kompletne zestawy częstotliwości, których liczba była najczęściej o jeden większa od liczby zasiedziałych podmiotów. Tym samym sprzedający wystawieni byli na ryzyko niskiej ceny równowagi w przypadku małego zainteresowania dodatkową licencją. Faktycznie, w kilku krajach aukcja zakończyła się na poziomie ceny minimalnej sprzedającego<sup>11</sup>.

Dwie najbardziej spektakularne aukcje SMRA o wielomiliardowych wpływach odbyły się w Niemczech i Wielkiej Brytanii. Przykład angielski dowodzi, że w przypadku oferowania pełnych licencji sukces zależy od skutecznego stworzenia zachęt do udziału dużej liczby nowych podmiotów zainteresowanych wejściem na rynek.<sup>12</sup>

11 Miało to miejsce w Belgii i Grecji, gdzie liczba uczestników aukcji była niższa od liczby licencji. W Szwajcarii i Austrii, gdzie liczba uczestników była równa liczbie licencji, aukcja zakończyła się bardzo szybko na poziomie nieznacznie powyżej cen minimalnych.

12 Wycena pasma przez nowych graczy jest niższa ze względu na brak istniejącej infrastruktury sieciowej, która pozwala obniżyć koszt uruchomienia nowej usługi. Dlatego konieczne jest zwykle zaoferowanie jakiejś premii za wejście. Regulator angielski zdecydował się przeznaczyć dla nowych graczy licencję z najszerzym blokiem częstotliwości. W efekcie do aukcji UMTS oprócz 4 operatorów zasiedziałych przystąpiło aż 13 nowych, a licytacja zajęła 149 rund.



Przykład niemiecki pokazuje z kolei, że zaferowanie mniejszych bloków, z których uczestnicy licytacji muszą zbudować większe zasoby, zwiększa niepewność i rywalizację nawet przy niewielkiej liczbie nowych graczy. Z powyższych uwag wynika wniosek, że polska aukcja LTE mimo niewielkiej nadwyżki liczby dostępnych bloków w stosunku do liczby podmiotów zasiedziałych może wytworzyć rywalizację. Wystarczy, że operatorzy zasiedzali będą dostatecznie wysoko wyceniali nie tylko pierwszy, ale i drugi nabywany blok lub też gdy znajdzie się przynajmniej jeden nowy operator poważnie zainteresowany wejściem na rynek. W drugim przypadku zasiedzali uczestnicy rynku mogą próbować strategicznie przepłacić za bloki, aby obronić się przed wejściem i utrzymać dotychczasową strukturę rynku (Gruber, 2007).

### 3. Symulator i scenariusze testowe

Na potrzeby przeprowadzonego badania zaprojektowany oraz zaimplementowany został autorski symulator umożliwiający wykonanie zadanej liczby powtórzeń aukcji w zdefiniowanym środowisku aukcyjnym. Pod pojęciem środowiska aukcyjnego rozumiany jest zbiór zasad schematu aukcyjnego (w naszym przypadku ograniczonych tylko do aukcji SMRA) oraz graczy wraz z regułami wyboru licytowanego bloku i kwoty postąpienia oraz indywidualnymi parametrami wycen prywatnych. Najważniejszym elementem symulatora było zaimplementowanie uniwersalnego algorytmu licytacji. W tym celu proces składania oferty w bieżącej rundzie podzielono na szereg akcji:

- Analiza aktualnego stanu aukcji uwzględniająca opis informacji dostępnych po każdej rundzie dla uczestnika, zgodnie z dokumentacją aukcyjną UKE.
- Wybór bloku/bloków, na które gracz chce złożyć nowe oferty oraz bloku/bloków, dla których musi wycofać oferty bieżące.
- Wybór kwoty postąpienia dla każdego z wybranych bloków.
- Złożenie oferty.

Podzielenie całego procesu na kilka akcji pozwoliło na znaczne zwiększenie elastyczności dostosowywania reguł zachowań oraz umożliwiło przeprowadzenie dokładniejszych analiz, między innymi zbadanie wpływu wyboru kwoty postąpienia na uzyskiwaną średnią cenę bloku.

Punktem wyjścia przy konstruowaniu symulatora był zbiór reguł zapisany w dokumentacji aukcyjnej z dnia 16.02.2014 r. Podstawowym założeniem zdefiniowanej aukcji SMRA jest założenie mówiące, iż gracze licytują równocześnie 5 abstrakcyjnych bloków pasma 800 MHz oraz 14 bloków pasma 2,6 GHz. Przydziału fizycznych bloków dokonuje regulator po zakończeniu aukcji na podstawie nieujawnionej

w dokumentacji aukcyjnej procedury. Opisana aukcja ma charakter wielorundowy, a każda runda składa się z kilku etapów:

- Etap sprawozdawczy – podczas tego etapu uczestnicy otrzymują zestaw informacji o aktualnym stanie aukcji. W żadnym momencie trwania aukcji gracz nie posiada pełnej informacji o jej przebiegu (w szczególności o wysokości wszystkich ofert złożonych na poszczególne bloki w danej rundzie). Do jego wiadomości podawane są jedynie informacje o:
  - a) blokach częstotliwości, na które oferta tego uczestnika aukcji jest NZK;
  - b) wysokości NZK dla każdego bloku częstotliwości w poprzednich rundach;
  - c) aktualnej sumie wszystkich ważnych ofert tego uczestnika aukcji;
  - d) liczbie ofert złożonych na dany blok częstotliwości w poprzedniej rundzie;
  - e) pozycji w rankingu oferty uczestnika na danym bloku częstotliwości w danej rundzie;
  - f) numerze bieżącej rundy;
  - g) liczbie przysługujących punktów licytacyjnych (PL) w bieżącej rundzie;
  - h) blokach częstotliwości, na które oferta tego uczestnika jest NZK w bieżącej rundzie;
  - i) wysokości NZK dla każdego bloku w bieżącej rundzie;
  - j) cenach dostępnych dla każdego bloku częstotliwości w bieżącej rundzie.
- Etap składania ofert – każdy uczestnik składa swoje oferty, zgodnie z posiadanymi PL. Maksymalna liczba ofert na poszczególne pasma ustalana jest na podstawie oferty wstępnej. Dodatkowo gracz posiada tzw. Prawo Wstrzymania Się (PWS), które może wykorzystać maksymalnie osiem razy w ciągu trwania aukcji – wówczas nie traci PL za brak aktywności w danej rundzie.
- Etap kalkulacji – oferty są porównywane oraz rankingowane.

Kluczową regułą, wymuszającą aktywność graczy, jest wprowadzenie Punktów Licytacyjnych (PL), którymi gracz „płaci” za składanie ofert. Początkowo każdy z graczy otrzymuje punkty licytacyjne zgodnie ze złożoną ofertą wstępną, przy czym spełnione są następujące warunki:

- Gracz dostaje cztery PL za każdy zadeklarowany blok pasma 800 MHz i może zadeklarować chęć licytowania maksymalnie dwóch takich bloków.
- Gracz dostaje jeden PL za każdy zadeklarowany blok pasma 2,6 GHz i może zadeklarować chęć licytowania maksymalnie czterech takich bloków.

W trakcie trwania aukcji gracz musi w danej rundzie posiadać odpowiednią liczbę PL do złożenia swoich ofert zgodnie z powyższym przelicznikiem. Po zakończeniu rundy, na podstawie aktywności, graczowi przydzielane są PL, jakimi będzie dysponował w następnej rundzie. Uczestnik aukcji traci część lub całość swoich PL w skutek niedostatecznej aktywności w danej rundzie. W takim przypadku w dalszej fazie licytacji nie ma już możliwości ich odzyskania.<sup>13</sup>

Jak już wcześniej zaznaczyliśmy, skupiliśmy się na analizie aukcji przy założeniu niestrategicznego zachowania uczestników (*straightforward bidding*). Mamy świadomość, że jest to mocne założenie, które ma fundamentalne znaczenie dla naszych wyników. Zdecydowaliśmy się na nie z jednej strony ze względów pragmatycznych – upraszcza bowiem proces symulacji, a z drugiej strony mamy świadomość, że jest ono także mocno wspierane poprzez regułę wymuszonej aktywności w aukcji SMRA. Zgodnie z regułą niestrategicznego zachowania gracze licytują za każdym razem, kiedy mają taką możliwość. Zapobiega to utracie punktów licytacyjnych, a tym samym inicjatywy w dalszej fazie aukcji. Gracz nie licytuje tylko w dwóch przypadkach – kiedy jego oferta/oferty są ofertami najwyższymi dla poszczególnych bloków lub gdy aktualny poziom cen dla bloków przekroczył jego wycenę łączną.

Jeżeli zbiór bloków, na które gracz może złożyć w danej rundzie ofertę, jest niepusty<sup>14</sup>, to spośród nich wybierane są kolejno bloki według zdefiniowanej dla gracza metody wyboru.<sup>15</sup> W przeprowadzonych analizach zdecydowano się na określanie popytu indywidualnego na podstawie reguły najwyższego zysku, która dla dóbr będących doskonałymi substytutami jest tożsama z regułą najniższej ceny (wyceny gracza są jednakowe dla wszystkich bloków). Po wyborze bloków gracz wybiera odpowiednią kwotę postąpienia spośród jednej z dostępnych: 1%, 2%, 3%, 4%, 5%. W badaniu zdefiniowano trzy proste algorytmy:

- minimalnej kwoty postąpienia – gracz zawsze dokonuje postąpienia o 1%;
- maksymalnej kwoty postąpienia – gracz zawsze wybiera maksymalną dostępną kwotę postąpienia<sup>16</sup>;
- losowej kwoty postąpienia – gracz losuje dowolną wartość ze zbioru dostępnych kwot postąpienia.

<sup>13</sup> Dokładny opis zasad dotyczących przydzielania PL znajduje się w dokumentacji aukcyjnej.

<sup>14</sup> Zbiór ten może być pusty w przypadku gdy wszystkie oferty gracza są w danej rundzie NZK lub gdy NZK dla bloków jest wyższy od odpowiednich wycen gracza.

<sup>15</sup> Gracz nie może złożyć oferty na bloki, których cena jest wyższa od jego wyceny oraz na bloki, na które jego aktualna oferta jest najwyższą zadeklarowaną kwotą.

<sup>16</sup> Należy zauważyć, że nie oznacza to, że zawsze będzie wybierał kwotę postąpienia w wysokości 5%. Jeżeli gracz licytuje w wartościach bliskich swojej wyceny danego bloku, wówczas może okazać się, że jego zbiór dostępnych (czyli takich, dla których nie nastąpi przekroczenie wyceny całkowitej) kwot postąpienia jest ograniczony. Wówczas gracz wybierze najwyższą kwotę z tego zbioru.

Kluczową zmienną każdego z graczy jest zbiór jego wycen. Przyjęliśmy niekontrolowane założenie, że wyceny te są malejące dla kolejnych bloków, przy czym z uwagi na limit liczby bloków określony w dokumentacji aukcyjnej wycena trzeciego i dalszych bloków wynosi zero. Dla każdego z dwóch nabywanych bloków wycena danego gracza jest sumą dwóch składników: wyceny wspólnej (*common value*), znanej powszechnie szacunkowej rynkowej wartości dobra oraz wyceny prywatnej (*private value*) uwzględniającej indywidualne uwarunkowania wykorzystania dobra znane tylko danemu graczowi. Wycena prywatna może być zarówno dodatnia, jak i ujemna i kształtuje się niezależnie dla każdego gracza. Potraktowanie wyceny prywatnej jako zmiennej losowej jest wyrazem niepewności oceny sytuacji przez regulatora.

### Oszacowanie wartości wspólnej bloku w warunkach polskich

Na podstawie posiadanej wiedzy o charakterystyce rynku oraz na podstawie analiz dotyczących przeprowadzonych aukcji SMRA w innych krajach Europy arbitralnie ustalono wartość wyceny wspólnej na poziomie 500 mln PLN dla pierwszego bloku oraz 300 mln PLN dla bloku drugiego. Wartość wyceny prywatnej była losowana niezależnie w każdej iteracji z rozkładów jednostajnych o indywidualnych parametrach dla każdego uczestnika. Rozkłady te były parametryzowane, przy czym były niezmiennie dla gracza w obrębie całego scenariusza symulacji. Przykładowo, gdy gracz posiadał zdefiniowany rozkład jednostajny na przedziale  $[-0.1, 0.1]$ , to dla każdej iteracji – aukcji – losowana była wartość z tego przedziału, która określała wycenę prywatną jako procent wyceny wspólnej.

Przy określaniu wartości wspólnej drugiego bloku kierowaliśmy się wynikami aukcji SMRA na takie same częstotliwości w Hiszpanii i Włoszech, które pod względem liczby ludności i powierzchni są najbardziej podobne do Polski (por. Tabela 1). Do oszacowania wartości bloku wzięliśmy pod uwagę główne czynniki wpływające na wycenę częstotliwości: powierzchnię kraju, gęstość zaludnienia, dochód *per capita* oraz wielkość zobowiązań inwestycyjnych. Szacując zaś wielkość zobowiązań inwestycyjnych zwycięzców aukcji, założyliśmy, że są proporcjonalne do luki w pokryciu kraju stacjonarnym Internetem szerokopasmowym. W efekcie, znając wyniki aukcji w obu wspomnianych krajach, obliczyliśmy średnią wartość zmiennej skalującej, która posłużyła nam do oszacowania przeciętnego wpływu z aukcji w Polsce za 1 MHz *per capita* na poziomie 0,225 EUR. W przeliczeniu na całą populację daje to kwotę za 1 blok częstotliwości na poziomie 349 mln PLN. Przy szacowaniu wycen należy upewnić się, do której wyceny (za pierwszy czy drugi blok) można odnieść przeciętne wpływy uzyskane w historycznych aukcjach. Decyduje o tym liczba bloków kupiona przez pojedynczego uczestnika oraz liczba uczestników aukcji w relacji do liczby

bloków. Zarówno w przypadku aukcji włoskiej, jak i hiszpańskiej przeciętne wpływy można traktować jako wskazanie poziomu ceny odpowiadającego drugiej wycenie. Przyjęcie kwoty 300 mln PLN jako wartości wspólnej za drugi blok w warunkach polskich jest raczej szacunkiem ostrożnym. Wycenę wspólną za pierwszy blok przyjęliśmy na poziomie istotnie wyższym z uwagi na przewidywaną determinację operatorów zasiedziających do wylicytowania przynajmniej po jednym bloku. Mamy jednocześnie świadomość, że jej poziom nie będzie bezpośrednio istotny dla wyników aukcji, o ile liczba licytujących podmiotów nie osiągnie 6. Udział tak dużej liczby podmiotów w aukcji uważamy jednak za mało prawdopodobny.

**Tabela 1. Aukcje SMRA we Włoszech i Hiszpanii oraz szacunkowe wpływy dla Polski**

	Włochy	Hiszpania	Polska
A. Ludność [mln]	60,9	47,2	38,5
B. Powierzchnia kraju [tys. km <sup>2</sup> ]	301	504	312
C. Gęstość zaludnienia	0,20	0,09	0,12
D. PKB per capita 2011 [EUR] <sup>(a)</sup>	25 500	24 200	16 400
E. Całkowity zasięg szerokopasmowy (Broadband) [%] <sup>(b)</sup>	98	97	69
F. Wpływy z aukcji za 1 MHz per capita [EUR] <sup>(c)</sup>	0,816	0,550	0,225
G. Zmienna skalująca = $F / [B \times C \times D \times E]$	$5,36 \times 10^{-9}$	$4,96 \times 10^{-9}$	$5,16 \times 10^{-9}$
H. Wartość pojedynczego bloku $2 \times 5$ MHz [mln EUR] = $F \times A \times 10$	496,9	259,6	86,6
G. Wpływy z aukcji 1 blok $2 \times 5$ MHz [mln PLN]	-	-	346,4

Źródło: obliczenia własne, na podstawie danych z (a) dane Eurostat; (b) raport (POINTTOPIC, 2012); (c) raport (DOTECON & AETHA, 2012).

Na potrzeby przeprowadzonego badania zaprojektowano szereg scenariuszy testowych, które można podzielić na trzy główne grupy:

1. Badanie, czy uzyskana średnia cena bloku nie różni się od szóstej najwyższej wyceny. Na potrzeby badań zbiór tych testów nazwano roboczo „hipotezą szóstej wyceny”.
2. Testowanie wpływu wyboru kwoty postąpienia na średnią cenę bloku.
3. Testowanie wpływu wariancji szóstej wyceny na wariancję wyników.

### „Hipoteza szóstej wyceny”

W ramach scenariuszy z pierwszej grupy gracze wybierali bloki zgodnie z regułą najwyższego zysku, licytując minimalną kwotę postąpienia. Wyceny prywatne graczy dla każdego scenariusza są realizacjami zmiennych losowych o rozkładach jednostajnych, przy czym zmianie ulegały przedziały, na których zadane były te rozkłady. Dla każdego scenariusza wykonano 1000 powtórzeń aukcji. W Tabeli 2

zaprezentowano parametry rozkładów jednostajnych wycen prywatnych dla każdego z graczy na oba bloki. Przedziały rozkładów wyznaczają za każdym razem dopuszczalne odchylenia wyceny prywatnej danego gracza od wyceny wspólnej pierwszego lub drugiego bloku w ujęciu procentowym. Przykładowo, wycena prywatna pierwszego bloku u gracza zasiedziałego 3 mogła odchylić się tylko w górę do wysokości 20% wyceny wspólnej dla tego bloku.<sup>17</sup>

**Tabela 2. Parametry rozkładów wycen prywatnych poszczególnych graczy przyjęte do testu hipotezy szóstej wyceny**

Gracz	Przedział rozkładu wyceny pierwszego bloku	Przedział rozkładu wyceny drugiego bloku
Gracz/podmiot zasiedziały 1	[-0,2, 0,0]	[-0,2, 0,0]
Gracz/podmiot zasiedziały 2	[0,0, 0,2]	[0,0, 0,2]
Gracz/podmiot zasiedziały 3	[0,0, 0,2]	[-0,5, 0,2]
Gracz/podmiot zasiedziały 4	[0,0, 0,2]	[-0,1, 0,1]
Podmiot wchodzący 1	[-0,1, 0,1]	[-0,1, 0,1]
Podmiot wchodzący 2	[0,0, 0,0]	[0,0, 0,0]

Źródło: założenia autorów.

Przyjęte dla poszczególnych graczy parametry rozkładów jednostajnych wprowadzają systematycznie różnice w wycenach obu bloków pomiędzy uczestnikami aukcji, ponieważ nie wszyscy gracze zasiedzieli mogą być jednakowo zainteresowani nabyciem dwóch bloków z uwagi na już posiadane zasoby częstotliwości.

Dla pierwszej grupy testów zdefiniowano następujące scenariusze:

- *Tylko gracze zasiedzieli* – scenariusz „rynkowy”, w którym w licytacji bierze udział czterech graczy zasiedziałych.
- *Jeden nowy gracz* – scenariusz, w którym zakłada się przystąpienie do licytacji jednego nowego gracza (*Podmiot wchodzący 1*). W licytacji bierze ponadto udział 4 graczy zasiedziałych.
- *Dwóch nowych graczy* – scenariusz, w ramach którego w licytacji bierze udział dwóch nowych graczy oraz czterech graczy zasiedziałych.
- *Trzy podmioty zasiedziałe* – w licytacji bierze udział tylko trzech graczy: gracz zasiedziały 1, gracz zasiedziały 2 oraz gracz zasiedziały 4 zaprezentowani w Tabeli 2.

<sup>17</sup> Konsekwentnie wycena tego bloku przez gracza zasiedziałego 3 była zmienną losową o rozkładzie jednostajnym na przedziale 500-600 (mln PLN). Sposób określenia przedziałów odzwierciedla naszą ocenę różnic pomiędzy operatorami w zakresie możliwości finansowych i potrzeb związanych z częstotliwościami.

## Wybór kwoty postąpienia

Druga testowana grupa scenariuszy polegała na analizie wpływu wyboru kwoty postąpienia na uzyskiwane średnie ceny bloków. W tym przypadku przeprowadzono symulacje dla trzech scenariuszy, przy czym w każdym z nich w licytacji brało udział czterech graczy zasiedziałych, o parametrach rozkładów wycen prywatnych zaprezentowanych w Tabeli 2, posługujących się kryterium wyboru bloków według najwyższego zysku. Jediną różnicą między scenariuszami był dobór reguły wyboru kwoty postąpienia. W pierwszym scenariuszu wszyscy gracze stosowali metodę wyboru minimalnej kwoty postąpienia, w drugim metodę wyboru losowej kwoty postąpienia, w trzecim zaś metodę wyboru maksymalnej kwoty postąpienia.

## Wariancja wycen a wariancja średniej ceny wylicytowanych bloków

Celem opracowanych scenariuszy w ramach tej grupy było przetestowanie wpływu zmian wariancji szóstej wyceny na uzyskiwane wyniki w aukcji, ze szczególnym naciskiem na wariancję średniej ceny wylicytowanych bloków. Chcieliśmy w ten sposób uwzględnić wpływ niepewności związanej z określeniem poziomu szóstej wyceny na niepewność wyników uzyskiwanych w symulacjach. W tym celu arbitralnie dobrano parametry początkowe rozkładów wycen prywatnych, aby było *a priori* wiadomo, do którego gracza ona należy. W ramach tego badania przeprowadzono symulacje dla trzech zdefiniowanych scenariuszy testowych. W każdym ze scenariuszy w licytacji brało udział czterech graczy zasiedziałych, stosujących regułę wyboru minimalnej kwoty postąpienia oraz kryterium wyboru bloków według najwyższego zysku. Jediną różnicą między scenariuszami była zmiana parametrów rozkładu jednostajnego, z którego losowane były wyceny prywatne dla szóstej wyceny. W Tabeli 3 zaprezentowano pełne zestawienie parametrów rozkładów wycen prywatnych dla scenariuszy. Jediną wartością zmieniającą się między scenariuszami był przedział rozkładu, z jakiego losowane były wyceny drugiego bloku dla gracza zasiedziałego 4.

**Tabela 3. Parametry rozkładów wycen prywatnych przyjęte do zbadania wpływu wariancji szóstej wyceny**

Gracz	Przedział rozkładu wyceny pierwszego bloku	Przedział rozkładu wyceny drugiego bloku
Gracz/podmiot zasiedziały 1	[-0,1, 0,1]	[-0,8, -0,7]
Gracz/podmiot zasiedziały 2	[0,2, 0,4]	[0,7, 0,8]
Gracz/podmiot zasiedziały 3	[0,2, 0,4]	[-0,8, -0,7]
Gracz/podmiot zasiedziały 4	[0,2, 0,4]	[-0,1, 0,1] / [-0,2, 0,2] / [-0,3, 0,3]

Źródło: założenia autorów.

Dane ze wszystkich symulacji zapisywane były do specjalnie zaprojektowanej bazy danych. Zapis dotyczył pełnego zbioru danych – przebiegu pojedynczych aukcji, wycen oraz parametrów poszczególnych graczy, cen wylicytowanych bloków, zysku zwycięzców oraz przychodów sprzedającego<sup>18</sup>.

## 4. Wyniki i wnioski

Bardziej szczegółową analizę wyników symulacji zaprezentowano w podziale na poszczególne grupy scenariuszy, opisane dokładniej w poprzednim rozdziale. Wszystkie dane zaprezentowane poniżej w Tabelach 4-6 dotyczące średnich odnoszą się do średnich liczonych tylko dla wylicytowanych bloków. Oznacza to, że średnia cena określa średnią wartość ofert wygrywających, natomiast średnia wycena liczona jest na podstawie pięciu wycen zwycięskich uczestników.

### „Hipoteza szóstej wyceny”

Wyniki dla scenariuszy dotyczących badania „hipotezy szóstej wyceny” zaprezentowane zostały w Tabeli 4. Każdy ze scenariuszy zawiera 1000 powtórzeń pojedynczych aukcji dla parametrów opisanych w poprzednim podrozdziale. Otrzymane wyniki potwierdzają, że średnia cena wylicytowanych bloków jest zależna od wartości szóstej co do wysokości wyceny (pierwszej niewygrywającej). Wartości wskaźnika (szósta wycena/średnia cena) są bliskie 1 dla wszystkich rozpatrywanych scenariuszy, co jest zgodne z przewidywaniami teoretycznymi. Dla scenariusza „Jeden podmiot wchodzący”, gdy w aukcji brało udział czterech graczy zasiedziałych oraz jeden nowy gracz, uzyskano wyniki bardzo zbliżone do wyników scenariusza „Tylko gracze zasiedzieli”. Dopiero wprowadzenie drugiego nowego gracza przełożyło się na istotny wzrost wartości szóstej wyceny, a tym samym na wzrost średniej ceny wylicytowanego bloku. Wynik ten jest konsekwencją przyjęcia znacznej różnicy wycen pierwszego i drugiego bloku.

Wyniki symulacji pozwalają również określić skuteczność aukcji w ściąganiu nadwyżki od licytujących. Poziom skuteczności mierzony jest intuicyjnie jako iloraz średniej ceny do średniej z pięciu najwyższych wycen i zależy od stopnia ich zróżnicowania. Z punktu widzenia skuteczności aukcji najlepszym scenariuszem jest przystąpienie do aukcji 6 uczestników, ponieważ szósta wycena dotyczy wówczas pierwszego bloku, podnosząc w ten sposób przychód regulatora w relacji do wycen graczy.

<sup>18</sup> Baza danych ze szczegółowym przebiegiem symulacji jest dostępna na życzenie u Autorów.



Niewątpliwie z punktu widzenia regulatora wzrost liczby graczy zainteresowanych aukcją jest pożądaną, gdyż rośnie wtedy szansa na zwiększenie szóstej wyceny.

**Tabela 4. Wyniki aukcji dla scenariuszy przyjętych do testu hipotezy szóstej wyceny (kwoty w mln PLN)**

Scenariusz	Trzech graczy zasiedziały	Dwa podmioty wchodzące	Tylko gracze zasiedzieli	Jeden podmiot wchodzący
A. Szósta wycena	269,3	447,7	300,5	332,2
B. Średnia wycena	436,0	530,1	486,2	519,3
C. Średnia cena bloku	270,8	444,8	301,4	333,4
D. 6. wycena/cena = A/C	99%	101%	100%	100%
E. Skuteczność = C/B	62%	84%	62%	64%

Źródło: założenia autorów.

## Wybór kwoty postąpienia

Wyniki uzyskane dla scenariuszy sformułowanych na potrzeby tego testu nie pozwalają na jednoznaczne określenie wpływu wyboru reguły kwoty postąpienia na uzyskiwane wyniki aukcji. Wyniki przedstawione w Tabeli 5 sugerują, iż z perspektywy regulatora aukcji lepsze są wyższe stałe kwoty postąpienia od niższych.<sup>19</sup> Z punktu widzenia licytujących prawdziwy jest wniosek przeciwny, choć wydłuża się wówczas liczba rund. Wybór kwoty postąpienia zawsze na najwyższym dostępnym poziomie skutkuje przekraczaniem szóstej wyceny o większą kwotę. Pozostawienie możliwości wyboru kwot postąpienia uczestnikom spowoduje, że wyniki aukcji nie będą się istotnie różnić od sytuacji, w której dozwolona byłaby tylko minimalna z nich, o czym przekonują wyniki scenariusza „random KP”.

**Tabela 5. Wyniki aukcji dla scenariuszy przyjętych do testu kwoty postąpienia (kwoty w mln PLN)**

Scenariusz	Średnia wycena	Średnia cena	Średni zysk	Skuteczność
Tylko gracze zasiedzieli – min KP	514,8	301,4	213,4	58,9%
Tylko gracze zasiedzieli – maks KP	485,6	303,5	182,1	62,5%
Tylko gracze zasiedzieli – losowa KP	486,4	301,5	184,9	62,0%

min KP – minimalna kwota postąpienia

maks KP – maksymalna kwota postąpienia

random KP – losowy wybór kwoty postąpienia

Źródło: założenia autorów.

<sup>19</sup> Zakładamy iż regulator oraz licytujący są neutralni wobec ryzyka.

## Wariancja wycen a wariancja średniej ceny wylicytowanych bloków

Wyniki przedstawione w Tabeli 6 pokazują, że wzrost wariancji szóstej wyceny przekłada się bezpośrednio na wzrost wariancji średniej ceny i w konsekwencji stopnia niepewności przychodów regulatora. Dlatego też powinien on być zainteresowany możliwie precyzyjnym określeniem nie tyle wszystkich wycen uczestników, ale tylko szóstej, co może być istotnie trudniejsze w przypadku, gdy w aukcji biorą udział nowi gracze.

Tabela 6. Wyniki aukcji dla scenariuszy przyjętych do zbadania wpływu wariancji szóstej wyceny (kwoty w mln PLN)

Scenariusz	Tylko gracze zasiedzieli – zmienność v.1. niska [-0,1, 0,1]	Tylko gracze zasiedzieli – zmienność v.2. średnia [-0,2, 0,2]	Tylko gracze zasiedzieli – zmienność v.3. wysoka [-0,3, 0,3]
A. Średnia wycena	597,0	594,0	594,0
B. Odch. Std. średniej wyceny	72,7	72,2	72,6
C. Średnia wycena	297,6	305,9	299,9
D. Odch. Std. średniej wyceny	17,9	33,6	48,9
E. Średnia cena	298,4	307,0	304,2
F. Odch. Std. średniej ceny	17,9	33,2	44,0
G. Skuteczność	50,0%	51,7%	51,2%
H. 6. wycena / cena	99,7%	99,6%	98,4%
I. Średni zysk	298,5	287,0	289,8
J. Odch. Std. średniego zysku	74,6	79,8	84,6

Źródło: założenia autorów.

## Wnioski

W niniejszym artykule pokazaliśmy, że aukcja SMRA może zakończyć się wieloma różnymi wynikami. W teorii aukcje te mają wiele możliwych równowag, w tym dla cen na poziomie minimum sprzedającego. Korzystny scenariusz z punktu widzenia regulatora zakłada, że gracze nie będą zachowywali się strategicznie, zaniżając popyt na kolejne jednostki w celu uzyskania niższej ceny na pierwsze bloki. Założenie to jest wspierane punktami licytacyjnymi, których zadaniem jest wymuszenie aktywności uczestników. Fakt niezgłoszenia w którejś z rund oferty tylko na jeden z bloków skutkuje praktycznym brakiem możliwości zgłoszenia takiej oferty w przyszłości. Dzięki temu gracze nie są skłonni do zaniżania swojego popytu w początkowych rundach, obawiając się wyłamania ze zmywy przez któregoś z konkurentów. W związku z ograniczoną możliwością reakcji na potencjalną zdradę gracze będą przejawiać zmniejszoną krańcową skłonność do brania udziału w ewentualnej zmywie, co jest korzystne z perspektywy regulatora.

W scenariuszu korzystnym aukcja prowadzi do ustalenia alokacji efektywnej zbliżonej do rozwiązania doskonale konkurencyjnego, w której ceny za bloki oscylują wokół najwyższej z przegrywających wycen.

Najistotniejszym zadaniem regulatora w kontekście zwiększania przychodów z aukcji LTE jest próba zachęcenia do udziału w licytacji jak największej liczby podmiotów. Jednak odnosząc się bezpośrednio do uzyskanych wyników, można stwierdzić, że przy znacznej różnicy wycen pierwszego i drugiego bloku pozyskanie tylko jednego nowego uczestnika nie przełoży się na silny wzrost uzyskanej ceny, gdyż nadal będzie ona oparta na wycenie drugiego bloku. W sytuacji gdyby do licytacji stanęło sześciu uczestników, cena za pojedynczy blok może wzrosnąć nawet dwukrotnie.

Na chwilę obecną najbardziej realnym wydaje się wariant aukcji, w którym o pięć bloków powalczy czterech zasiedziały uczestników (scenariusz *Tylko gracze zasiedzieli*). Wariant ten stwarza możliwość niekorzystnego rozstrzygnięcia w sytuacji, gdy tylko jeden z graczy byłby zainteresowany posiadaniem dwóch bloków. Inni gracze mogliby zgłosić popyt tylko na jeden blok, tym samym kształtując wyniki aukcji w okolicach ceny wywoławczej (wynoszącej 250 mln PLN). Odnosząc się do oszacowanego przez nas poziomu wyceny wspólnej drugiego bloku, w Polsce za sukces aukcji w takim wariantcie uznalibyśmy wzrost ceny za pojedynczy blok 800 MHz do poziomu 350 mln PLN.

## Bibliografia

- Ausubel, L.M., Cramton, P. 2002. *Demand reduction and inefficiency in multi-unit auctions*.
- Binmore, K., Klemperer, P. 2002. *The biggest auction ever: the sale of the British 3G telecom licences*. „The Economic Journal” 112 (478): C74-C96.
- Brunner, C., Goeree, J.K., Holt, C.A., Ledyard, J.O. 2010. *An experimental test of flexible combinatorial spectrum auction formats*. „American Economic Journal: Microeconomic” 2 (1): 39-57.
- Cramton, P., Shoham, Y., Steinberg, R. 2006. *Combinatorial auctions*.
- DOTECON, & AETHA. 2012. *Spectrum Value of 800Mhz, 1800Mhz and 2.6Ghz* (pp. 80).
- Drabik, E. 2007. *Aukcje w teorii i praktyce*. Warszawa: Wydawnictwo SGGW.
- Engelbrecht-Wiggans, R., Kahn, M.C. 2005. *Low-revenue equilibria in simultaneous ascending-bid auctions*. „Management Science” 51 (3): 508-518.
- Grimm, V., Riedel, F., Wolfstetter, E. 2003. *Low price equilibrium in multi-unit auctions: the GSM spectrum auction in Germany*. „International Journal of Industrial Organization” 21 (10): 1557-1569.
- Gruber, H. 2007. *3G mobile telecommunications licenses in Europe: a critical review*. „info” 9 (6): 35-44.

- Klemperer, P. 2002a. *How (not) to run auctions: The European 3G telecom auctions*. „European Economic Review” 46 (4): 829-845.
- Klemperer, P. 2002b. *What really matters in auction design*. „The Journal of Economic Perspectives” 16 (1): 169-189.
- Lewczuk, A. 2006. *Modele i własności aukcji symetrycznych*. „Decyzje” 6: 81-105.
- Milgrom, P. 2000. *Putting auction theory to work: The simultaneous ascending auction*. „Journal of Political Economy” 108 (2): 245-272.
- Milgrom, P. 2004. *Putting auction theory to work*: Cambridge University Press.
- Milgrom, P., Weber, R. 1982. *A theory of auctions and competitive bidding*. „Econometrica: Journal of the Econometric Society”. *Econometrica* 50 (September 1982) 1089-1122.
- POINTTOPIC. 2012. *Broadband coverage in Europe in 2012*, s. 212.
- Richter, K. 2006. *Simulating Auctions*. W: A. Namatame, T. Kaizouji & Y. Aruka (Eds.), *The Complex Networks of Economic Interactions* (Vol. 567, s. 209-223): Springer Berlin Heidelberg.