

Ryszard Węgrzyn

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

ANALIZA OPERACJI ARBITRAŻOWYCH W ZAKRESIE OPCJI NA WIG20

Streszczenie: Arbitraż jest uważany za potężną siłę rynkową, która prowadzi do właściwych relacji cenowych. W praktyce jednak można obserwować pewne odchylenia od tych relacji. Celem tego opracowania jest zwrócenie uwagi na możliwości i skuteczność operacji arbitrażowych na warszawskiej Giełdzie Papierów Wartościowych.

Zaprezentowane wyniki badań empirycznych dotyczą opcji na WIG20 w okresie grudzień 2008 – marzec 2009 r. W artykule tym autor wykazał odchylenia od ograniczeń i właściwości cen opcji kupna oraz sprzedaży, a także odchylenia od parytetu *put-call*. Dokonał również oceny efektywności arbitrażu na podstawie analizy z uwzględnieniem kosztów transakcyjnych.

1. Wstęp

W tradycyjnym ujęciu arbitraż na rynku finansowym jest działaniem polegającym na wykorzystywaniu różnic w cenach tych samych instrumentów finansowych występujących na różnych rynkach. Prostym przykładem jest tutaj zakup instrumentu po niższej cenie na jednym rynku i jednoczesna sprzedaż tego instrumentu po wyższej cenie na rynku drugim. Działanie takie prowadzi do wzrostu ceny na rynku, na którym jest ona niższa, i do jej spadku na rynku, na którym jest wyższa. Dochodzi zatem do zrównania się cen na tych rynkach [Jajuga, Jajuga 2007].

W szerszym ujęciu arbitraż polega na stworzeniu takiej struktury portfela instrumentów finansowych, że, po pierwsze, portfel w żadnym wypadku nie przynosi jego posiadaczowi płatności zwrotnych na niższym poziomie i, po drugie, stworzenie portfela *per saldo* wymaga mniej dodatkowych płatności niż te, jakie zostaną uzyskane [Spremann 1991]. W ujęciu tym zwraca się uwagę na zróżnicowanie instrumentów w portfelu oraz na to, że portfel jest wolny od ryzyka i przynosi dochód.

W przypadku arbitrażu w zakresie opcji w skład portfela wchodzi zwykle opcje oraz instrument podstawowy, na który te opcje opiewają. Arbitraż ten prowadzi do określonych relacji cenowych w postaci ograniczeń i właściwości cen opcji oraz parytetu *put-call*. Jeżeli te relacje cenowe są zachowane, to znaczy, że arbitraż nie jest możliwy.

Wyniki wcześniejszych badań autora prowadzonych w odniesieniu do rynku polskiego wskazywały na występowanie odchyłeń od relacji cenowych wynikających z arbitrażu. Pojawiło się jednak pytanie, czy odchylenia te nadal występują i czy dają możliwość osiągnięcia dochodu bez ryzyka, zwłaszcza przy uwzględnieniu kosztów transakcyjnych?

Podstawowym celem opracowania jest zaprezentowanie wyników empirycznej analizy możliwości i efektywności operacji arbitrażowych w zakresie opcji na WIG20. W szczególności zwrócono uwagę na częstość występowania odchyłeń od relacji cenowych wynikających z arbitrażu oraz możliwości osiągania dochodu po uwzględnieniu kosztów transakcyjnych.

Podstawowa hipoteza badawcza zakładała występowanie odchyłeń od właściwych relacji cenowych dających możliwość osiągnięcia dochodu w wyniku zastosowania arbitrażu. Weryfikacja tej hipotezy nastąpiła poprzez określenie liczebności odchyłeń oraz analizę przypadków dotyczących typowych operacji arbitrażowych. Szczegółowej analizie zostały poddane wybrane europejskie opcje kupna i sprzedaży opiewające na indeks WIG20, będące przedmiotem obrotu na Gieldzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Do analizy zostały wykorzystane dane dotyczące opcji, indeksu WIG20 oraz stopy wolnej od ryzyka udostępniane przez giełdę.

Praca składa się z dwóch zasadniczych części analitycznych, wstępu oraz podsumowania. W częściach analitycznych zaprezentowano wyniki dotyczące liczebności i skali odchyłeń od właściwych relacji cenowych oraz operacje arbitrażowe w odniesieniu do wybranych przypadków odchyłeń.

2. Odchylenia od ograniczeń i właściwości cen opcji

Przy określaniu ograniczeń i właściwości cen opcji zwykle zakłada się występowanie rynku doskonałego, nie uwzględnia się kwestii opodatkowania oraz przyjmuje się możliwość stosowania sprzedaży krótkiej [zob. Bittman 2009; Chance 2004; Haugen 1996; Jarrow, Turnbull 2000; Kolb 1993; McMillan 1993; Spremann 1991; Weron, Weron 2005]. Przy tych założeniach zostaną zaprezentowane ograniczenia i właściwości cen akcyjnych opcji kupna i akcyjnych opcji sprzedaży oraz wzajemne ich relacje. Relacje te można w pełni odnieść do opcji indeksowych, przyjmując, że arbitraż w takim przypadku będzie polegał odpowiednio na kupowaniu lub sprzedawaniu akcji wchodzących w skład indeksu.

W odniesieniu do europejskich opcji kupna oraz sprzedaży można wyznaczyć ograniczenia górne i dolne kształtowania się cen. Dla opcji kupna, jak i opcji sprzedaży, różniących się tylko ceną wykonania, zachodzą natomiast określone właściwości. Z kolei relacje pomiędzy cenami opcji kupna i sprzedaży określa tzw. parytet *put-call*. Związki te zostały szeroko wyjaśnione w pracy [Węgrzyn 2007], natomiast w postaci syntetycznej zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Relacje cenowe opcji kupna i sprzedaży*

Relacje cenowe	Dla opcji kupna	Dla opcji sprzedaży
Ograniczenia	$S \geq C \geq \max\{0, S - K \cdot e^{-rT}\}$	$K \geq P \geq \max\{0, K \cdot e^{-rT} - S\}$
Właściwość 1	$C(K_1) \geq C(K_2)$, jeżeli $K_2 > K_1$	$P(K_2) \geq P(K_1)$, jeżeli $K_2 > K_1$
Właściwość 2	$K_2 - K_1 \geq C(K_1) - C(K_2)$, jeżeli $K_2 > K_1$	$K_2 - K_1 \geq P(K_2) - P(K_1)$, jeżeli $K_2 > K_1$
Właściwość 3	$C(K_2) \leq \lambda \cdot C(K_1) + (1 - \lambda) \cdot C(K_3)$, przy $\lambda = (K_3 - K_2)/(K_3 - K_1)$ oraz $(1 - \lambda) = (K_2 - K_1)/(K_3 - K_1)$ gdzie: $K_1 < K_2 < K_3$	$P(K_2) \leq \lambda \cdot P(K_1) + (1 - \lambda) \cdot P(K_3)$, przy $\lambda = (K_3 - K_2)/(K_3 - K_1)$ oraz $(1 - \lambda) = (K_2 - K_1)/(K_3 - K_1)$ gdzie: $K_1 < K_2 < K_3$
Parytet <i>put-call</i>	$C - P = S - K \cdot e^{-rT}$	

* C – cena opcji kupna, P – cena opcji sprzedaży, S – cena akcji, K, K_1 , K_2 , K_3 – ceny wykonania opcji, r – stopa wolna od ryzyka, T – okres do wygaśnięcia opcji, e – liczba Eulera.

Źródło: opracowanie na podstawie [Spremann 1991; Jarrow, Turnbull 2000].

W celu empirycznej weryfikacji zaprezentowanych ograniczeń i właściwości cen opcji przeprowadzono ich analizę w odniesieniu do cen zamknięcia wybranych opcji na WIG20. Opcje te wygasają w cyklu kwartalnym – marzec, czerwiec, wrzesień, grudzień, a dniem wygasania jest trzeci piątek miesiąca. Zarówno kurs wykonania, jak i kurs opcji podawany jest w punktach indeksowych, natomiast do określania ceny wykonania i ceny opcji służy mnożnik w wysokości 10 zł/punkt indeksowy. Do analizy zostały wybrane opcje kupna i sprzedaży wygasające w marcu 2009 r., o kursach wykonania zbliżonych do poziomu WIG20, kształtującego się w okresie objętym analizą. Wybór opcji wygasających w marcu był związany zwykle z niedokonywaniem wypłat dywidendy z akcji w ostatnich miesiącach obrotu nimi na giełdzie. W przypadku okresów wypłat dywidendy w analizie można uwzględnić tylko przewidywane dywidendy, które zwykle szacowane są na podstawie kształtowania się ich w poprzednim roku. W takiej sytuacji wyniki analizy mogłyby być obciążone błędem oszacowania wielkości dywidendy.

Z kolei biorąc pod uwagę wielkość obrotów opcjami, zdecydowano o wyborze opcji z kursami wykonania zbliżonymi do WIG20, a okres analizy ustalono na 22 grudnia 2008 – 20 marca 2009 r. W praktyce bowiem największe obroty odnotowuje się w odniesieniu do opcji wygasających w najbliższych terminach oraz opcji o kursach wykonania zbliżonych do poziomu instrumentu bazowego.

Analizą zostały zatem objęte następujące opcje:

- opcje kupna wygasające 20 marca 2009 r. z kursem wykonania od 1300 do 1900 punktów: OW20C9130, OW20C9140, OW20C9150, OW20C9160, OW20C9170, OW20C9180, OW20C9190,
- opcje sprzedaży wygasające 20 marca 2009 r. z kursem wykonania od 1300 do 1900 punktów: OW20O9130, OW20O9140, OW20O9150, OW20O9160, OW20O9170, OW20O9180, OW20O9190.

W pierwszej kolejności analiza dotyczyła ograniczeń kształtowania się cen opcji. Okazało się, że ceny zarówno analizowanych opcji kupna, jak i opcji sprzedaży wielokrotnie przekraczały dolne ograniczenia. Najliczniej odchylenia te występowały przy opcjach kupna z niskimi cenami wykonania oraz opcjach sprzedaży z wysokimi cenami wykonania. Szczegółowa analiza w czasie z uwzględnieniem poziomu WIG20 wskazała, że do takich odchyłeń najczęściej dochodziło wtedy, gdy opcje były znacząco *in-the-money*. Dokładne ilości stwierdzonych odchyłeń oraz ich udziały procentowe w ogólnej liczbie obserwacji zostały zawarte w tabeli 2.

Tabela 2. Odchylenia cen opcji od ograniczeń dolnych

Opcje kupna	Odchylenia		Opcje sprzedaży	Odchylenia	
	ilość	udział		ilość	udział
OW20C9130	13	22,03%	OW20O9130	0	0,00%
OW20C9140	16	27,12%	OW20O9140	0	0,00%
OW20C9150	4	6,78%	OW20O9150	0	0,00%
OW20C9160	1	1,69%	OW20O9160	1	1,69%
OW20C9170	0	0,00%	OW20O9170	2	3,39%
OW20C9180	0	0,00%	OW20O9180	5	8,47%
OW20C9190	0	0,00%	OW20O9190	8	13,56%

Źródło: opracowanie własne.

Dalsza analiza obejmowała przedstawione w tabeli 1 właściwości cen opcji. Wyniki dotyczące zaprezentowanych kolejno trzech właściwości w odniesieniu do poszczególnych opcji zostały zawarte w tabelach 3–5. W tabelach tych, analogicznie do tabeli 2, podano ilości i udziały procentowe stwierdzonych odchyłeń w odniesieniu do określonych opcji. Na podstawie danych zawartych w tych tabelach można stwierdzić, że w przypadku pierwszej właściwości odchylenia występują mniej licznie i dotyczą głównie opcji kupna. Z kolei dla drugiej właściwości odchylenia stają się liczniejsze, natomiast w przypadku trzeciej właściwości występuje najwięcej odchyłeń, które stanowią w dwóch przypadkach nawet ponad 30% obserwacji.

Tabela 3. Odchylenia cen opcji od właściwości 1*

Opcje kupna		Odchylenia		Opcje sprzedaży		Odchylenia	
K1	K2	ilość	udział	K1	K2	ilość	udział
OW20C9130	OW20C9140	0	0,00%	OW20O9130	OW20O9140	0	0,00%
OW20C9140	OW20C9150	8	13,56%	OW20O9140	OW20O9150	0	0,00%
OW20C9150	OW20C9160	1	1,69%	OW20O9150	OW20O9160	0	0,00%
OW20C9160	OW20C9170	1	1,69%	OW20O9160	OW20O9170	0	0,00%
OW20C9170	OW20C9180	1	1,69%	OW20O9170	OW20O9180	0	0,00%
OW20C9180	OW20C9190	3	5,08%	OW20O9180	OW20O9190	4	6,78%

* K1, K2 – ceny wykonania opcji, analogicznie do tabeli 1.

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Odchylenia cen opcji od właściwości 2*

Opcje kupna		Odchylenia		Opcje sprzedaży		Odchylenia	
K1	K2	ilość	udział	K1	K2	ilość	udział
OW20C9130	OW20C9140	4	6,78%	OW20O9130	OW20O9140	0	0,00%
OW20C9140	OW20C9150	0	0,00%	OW20O9140	OW20O9150	0	0,00%
OW20C9150	OW20C9160	2	3,39%	OW20O9150	OW20O9160	0	0,00%
OW20C9160	OW20C9170	0	0,00%	OW20O9160	OW20O9170	6	10,17%
OW20C9170	OW20C9180	0	0,00%	OW20O9170	OW20O9180	9	15,25%
OW20C9180	OW20C9190	0	0,00%	OW20O9180	OW20O9190	11	18,64%

* K1, K2 – ceny wykonania opcji, analogicznie do tabeli 1.

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5. Odchylenia cen opcji od właściwości 3*

Opcje kupna			Odchylenia	
K1	K2	K3	ilość	udział
OW20C9130	OW20C9140	OW20C9150	3	5,08%
OW20C9140	OW20C9150	OW20C9160	19	32,20%
OW20C9150	OW20C9160	OW20C9170	8	13,56%
OW20C9160	OW20C9170	OW20C9180	3	5,08%
OW20C9170	OW20C9180	OW20C9190	0	0,00%
Opcje sprzedaży			Odchylenia	
K1	K2	K3	ilość	udział
OW20O9130	OW20O9140	OW20O9150	3	5,08%
OW20O9140	OW20O9150	OW20O9160	4	6,78%
OW20O9150	OW20O9160	OW20O9170	4	6,78%
OW20O9160	OW20O9170	OW20O9180	14	23,73%
OW20O9170	OW20O9180	OW20O9190	18	30,51%

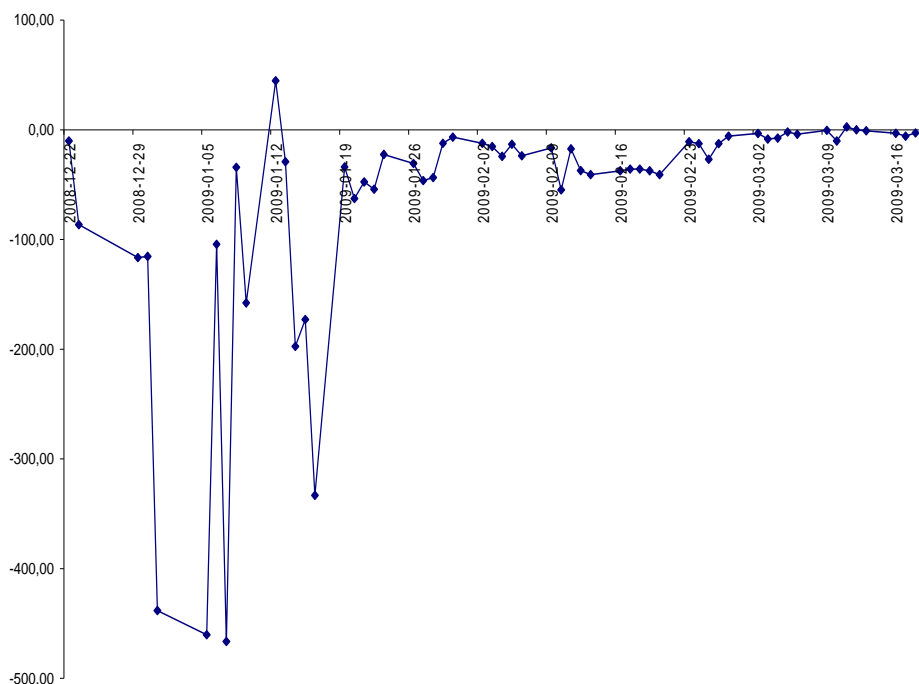
* K1, K2, K3 – ceny wykonania opcji, analogicznie do tabeli 1.

Źródło: opracowanie własne.

Analizie poddano także parytet *put-call*, wyliczając dla opcji kupna i sprzedaży o tych samych cenach wykonania wartości: $C - P - S + K \cdot e^{-rT}$. W żadnym z analizowanych przypadków wielkość ta nie była dokładnie równa zero, co oznacza występowanie permanentnego odchylenia od parytetu. Należy jednak zwrócić uwagę, że skala odchyień w analizowanym okresie i w odniesieniu do poszczególnych opcji była bardzo zróżnicowana.

Przypadki największych odchyień od parytetu zaprezentowano na rysunku 1. Wartości dodatnie oznaczają odchylenia od parytetu polegające na przewadze po lewej stronie formuły (zob. tabela 1), wartości ujemne oznaczają natomiast, że większa jest prawa strona parytetu. Na podstawie rysunku można stwierdzić, iż odchylenia sięgają nawet kilkuset punktów indeksowych, co oznacza kilka tysięcy

złoty. W dodatku znaczne odchylenia powtarzają się na kolejnych sesjach, co wskazuje na brak arbitrażu w dłuższym okresie.



Rys. 1. Poziome odchylenia od paritetu *put-call* dla opcji W20C9140 i W2009140

Źródło: opracowanie własne.

3. Operacje arbitrażowe z uwzględnieniem kosztów transakcyjnych

Występowanie odchylenia od ograniczeń, właściwości oraz paritetu opcji stwarza możliwości zastosowania odpowiednich operacji arbitrażowych [zob. Bittman 2009; Jarrow, Turnbull 2000; Kolb 1993; Spremann 1991; Węgrzyn 2007]. W celu oceny dochodowości takich operacji przeprowadzono wstępną analizę wielkości odchylenia oraz szczegółowo przeanalizowano operacje arbitrażowe z uwzględnieniem kosztów transakcyjnych w odniesieniu do wybranych przypadków.

Zaprezentowane w dalszej części przykłady empiryczne operacji arbitrażowych dotyczą kolejno stwierdzonych odchylenia od ograniczeń, właściwości oraz paritetu opcji. Aby podkreślić skalę możliwych dochodów z arbitrażu, wybrano przypadki największych odchylenia, przy czym w odniesieniu do ograniczenia dolnego i pierwszej właściwości dokonano wyboru spośród opcji kupna, a w odniesieniu do drugiej i trzeciej właściwości największe odchylenia wybrano spośród opcji sprzedaży.

W tabelach 6–10 zostały przedstawione sposoby budowy portfela arbitrażowego w określonych warunkach rynkowych, które przynoszą dochód w momencie przyjęcia pozycji oraz nieujemne sumy płatności w terminie wykonania, nie licząc kosztów transakcyjnych.

Tabela 6. Przykład arbitrażu w zakresie OW20C9140 przy: $S - K \cdot e^{-rT} - C > 0$

Budowa portfela	Wartości 7.01.2009 r.	Wartości w terminie wykonania 20.03.2009 r.
Sprzedaż akcji (indeksu)	18 861,50	-14 983,50
Koszty transakcyjne	-377,23	-299,67
Kupno opcji kupna	-512,00	14 983,50 – 14 000
Koszty transakcyjne	-10,24	-5,00
Kupno papieru skarbowego o stałym dochodzie (ułożenie środków na warszawskim rynku międzybankowym)	-13 846,10 = (-14 000 · e ^{-0,056034 · 72/365})	14 000
Suma bez uwzględnienia kosztów transakcyjnych	4 503,40	0
Suma z uwzględnieniem kosztów transakcyjnych	4 115,93	-304,67

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 7. Przykład arbitrażu w zakresie OW20C9140 i OW20C9150 przy: $C(K_2) > C(K_1)$

Budowa portfela	Wartości 31.12.2008 r.	Wartości w terminie wykonania 20.03.2009 r.
Kupno opcji kupna z ceną wykonania K_1	-222,00	14 983,50 – 14 000
Koszty transakcyjne	-4,44	-5,00
Sprzedaż opcji kupna z ceną wykonania K_2	3 629,20	0
Koszty transakcyjne	-13,00	0
Suma bez uwzględnienia kosztów transakcyjnych	3 407,20	983,50
Suma z uwzględnieniem kosztów transakcyjnych	3 389,76	978,50

Źródło: opracowanie własne.

Do analizy przyjęto stosunkowo wysokie koszty transakcyjne, aby wykazać, że nawet przy tak wysokich kosztach arbitraż może przynosić dochód. Prowizja od kupna lub sprzedaży akcji wynosiła 2% wartości transakcji, przyjęcie pozycji w zakresie opcji – również 2%, przy czym minimum – 2 zł, maksimum – 13 zł, a wykonanie opcji – 5 zł. Koszty te w praktyce są znacznie niższe przy składaniu zleceń przez Internet, a w szczególności w przypadku dużych inwestorów. Z kolei rynkową stopę procentową przyjmowano na poziomie stopy wolnej od ryzyka wyliczonej przez giełdę warszawską na podstawie stawek WIBOR i WIBID.

Tabela 8. Przykład arbitrażu w zakresie OW2009180 i OW2009190 przy: $(P(K_2) - P(K_1)) - (K_2 - K_1) > 0$

Budowa portfela	Wartości 12.03.2009 r.	Wartości w terminie wykonania 20.03.2009 r.
Sprzedaż opcji sprzedaży z ceną wykonania K_2	5 175,50	-(19 000 - 14 983,50)
Koszty transakcyjne	-13,00	-5,00
Kupno opcji sprzedaży z ceną wykonania K_1	-3 100,50	18 000 - 14 983,50
Koszty transakcyjne	-13,00	-5,00
Kupno papieru skarbowego o stałym dochodzie (lokata środków na warszawskim rynku międzybankowym)	-1 000 = (19 000 - 18 000)	$1 000 \cdot e^{0,036185 \cdot 8/365}$
Suma bez uwzględnienia kosztów transakcyjnych	1 075,00	0,79
Suma z uwzględnieniem kosztów transakcyjnych	1 049,00	-9,21

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 9. Przykład arbitrażu w zakresie OW2009170, OW2009180 i OW2009190 przy: $P(K_2) - \lambda \cdot P(K_1) - (1 - \lambda) \cdot P(K_3) > 0$

Budowa portfela	Wartości 9.03.2009 r.	Wartości w terminie wykonania 20.03.2009 r.
Sprzedaż opcji sprzedaży z ceną wykonania K_2	3 661,30	-(18 000 - 14 983,50)
Koszty transakcyjne	-13,00	-5,00
Kupno λ opcji sprzedaży z ceną wykonania K_1	-0,5 · 2 320,80	0,5 · (17 000 - 14 983,50)
Koszty transakcyjne	-13,00	-5,00
Kupno $(1 - \lambda)$ opcji sprzedaży z ceną wykonania K_3	-0,5 · 2 350,00	0,5 · (19 000 - 14 983,50)
Koszty transakcyjne	-13,00	-5,00
Suma bez uwzględnienia kosztów transakcyjnych	1 325,90	0
Suma z uwzględnieniem kosztów transakcyjnych	1 286,90	-15,00

Źródło: opracowanie własne.

Z określonymi pozycjami w zakresie opcji wiąże się wymagany depozyt zabezpieczający. W przypadku operacji arbitrażowych kwestia depozytu nie odgrywa jednak znaczącej roli. Krajowy Depozyt Papierów Wartościowych (KDPW) wykorzystuje bowiem do wyznaczania depozytów zabezpieczających tzw. model portfelowej kalkulacji ryzyka, którego podstawową zasadą jest uwzględnienie korelacji między instrumentami znajdującymi się w portfelu danego inwestora. Chodzi tutaj o pozycje w instrumentach pochodnych, opartych na tym samym instrumencie bazowym. Poza tym zabezpieczenie mogą stanowić wskazane przez KDPW papiery wartościowe, zwłaszcza obligacje i bony skarbowe.

Tabela 10. Przykład arbitrażu w zakresie OW20C9140 i OW20O9140 przy: $P + S - C - K \cdot e^{-rT} > 0$

Budowa portfela	Wartości 7.01.2009 r.	Wartości w terminie wykonania 20.03.2009 r.
Kupno opcji kupna	-512,00	14 983,50 – 14 000
Koszty transakcyjne	-10,24	-5,00
Sprzedaż opcji sprzedaży	161,40	0
Koszty transakcyjne	-3,23	0
Sprzedaż akcji (indeksu)	18 861,50	-14 983,50
Koszty transakcyjne	-377,23	-299,67
Kupno papieru skarbowego (lokata na warszawskim rynku międzybankowym)	-13 846,10 = $-(14\ 000 \cdot e^{-0,056034 \cdot 72/365})$	14 000
Suma bez uwzględnienia kosztów transakcyjnych	4 664,80	0
Suma z uwzględnieniem kosztów transakcyjnych	4 274,10	-304,67

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli 6 została zaprezentowana operacja arbitrażowa w zakresie opcji kupna OW20C9140 w przypadku przekroczenia ograniczenia dolnego ceny tej opcji, tzn. zaistnienia sytuacji, w której: $S - K \cdot e^{-rT} - C > 0$ (zob. tabela 1). Operacja ta została zastosowana 7 stycznia 2009 r. przy danych cenach instrumentów i poziomie stopy wolnej od ryzyka. Polegała ona na sprzedaży pakietu akcji, odpowiadającego strukturą składowi indeksu WIG20, kupnie opcji OW20C9140 oraz ulokowaniu środków stanowiących wartość bieżącą ceny wykonania opcji przy stopie wolnej od ryzyka na poziomie 5,6034% na okres do terminu wykonania opcji. Przyjęcie tych pozycji oznaczało wystąpienie określonych płatności w terminie wykonania, związanych z ich likwidacją. W dniu 20 marca 2009 r. następuje odkupienie akcji, wykonanie opcji kupna oraz likwidacja lokaty. Na podstawie danych w tabeli można stwierdzić, że bez uwzględniania kosztów transakcyjnych arbitrażysta uzyskał kwotę 4503,40 zł w momencie utworzenia portfela arbitrażowego, a w terminie wykonania suma płatności wyniosła 0. Po uwzględnieniu kosztów transakcyjnych w momencie utworzenia portfela arbitrażysta uzyskał 4115,93 zł, natomiast w terminie wykonania opcji powstała ujemna płatność związana z pokryciem kosztów likwidacji pozycji na poziomie -304,67 zł.

Przedstawione w sposób analogiczny w tabelach 7–8 operacje arbitrażowe stosowane w przypadku odchyień od odpowiednio pierwszej i drugiej właściwości opcji wskazują, że w terminie wykonania opcji mogą pojawić się także dodatnie płatności, które zwiększają dochód arbitrażysty. Ten dodatkowy dochód zależy od ukształtowania się cen giełdowych. Należy jednak zwrócić uwagę, że suma płatności bez uwzględnienia kosztów transakcyjnych nie może być mniejsza od 0. W dwóch następnych przykładach zaprezentowanych w tabelach 9–10 suma ta wynosi dokładnie 0. W tabeli 9 został zawarty przykład dotyczący arbitrażu w przypadku odchylenia cen opcji od trzeciej właściwości, natomiast tabela 10 obejmuje arbitraż w zakresie parytetu *put-call*.

Reasumując, można stwierdzić, że osiąganie dochodu z arbitrażu w zakresie opcji na WIG20 w badanym okresie było możliwe, także po uwzględnieniu kosztów transakcyjnych. Dochody te przy jednorazowej operacji arbitrażowej sięgały nawet kilku tysięcy złotych. Przy dalszym utrzymywaniu się odchyłeń arbitrażysta może zwielokrotnić odpowiednie pozycje arbitrażowe, aż do doprowadzenia do zmian cenowych uniemożliwiających dalszy arbitraż. Oznacza to zatem możliwość osiągnięcia przez niego jeszcze większych dochodów.

Z drugiej strony okazji do osiągania tak znaczących dochodów bez ryzyka nie było dużo. Aby w pełni wykorzystać sytuacje odchyłeń cen od właściwych relacji, należałoby cały czas monitorować relacje cenowe. Należy także pamiętać, że przedstawione przykłady dotyczą największych odchyłeń i koszty transakcyjne w tych przypadkach nie odgrywają wielkiej roli, zwłaszcza przy arbitrażu niezwiązanym z przyjmowaniem pozycji w zakresie akcji. Przy nieznacznych odchyleniach ponoszone koszty mogą jednak przekraczać potencjalny dochód. W tych przypadkach staje się istotny poziom ponoszonych kosztów transakcyjnych. Należy zwrócić uwagę, że w związku ze stosunkowo niskimi kosztami transakcyjnymi ponoszonymi przez duże instytucje finansowe, to one właśnie mają największe możliwości stosowania dochodowego arbitrażu.

4. Podsumowanie

Model wyceny opcji Blacka-Scholesa jest modelem arbitrażowym. Podstawowym jego założeniem jest tzw. brak arbitrażu, a więc sytuacja, w której arbitraż nie jest możliwy. Oznacza to takie relacje cen opcji i instrumentu podstawowego, że portfel zabezpieczony za pomocą opcji przynosi inwestorowi dochód na poziomie stopy wolnej od ryzyka. Jak wynika z przeprowadzonej analizy, w badanym okresie występowały odchylenia cen opcji od relacji wynikających ze stosowania arbitrażu. Oznacza to, że podstawowe założenie modelu w praktyce nie zawsze jest spełnione, a więc stosowanie modelu Blacka-Scholesa obarczone jest tego rodzaju ryzykiem.

Sprawne i niczym nieograniczone działania arbitrażowe są podstawą właściwej wyceny opcji. Dlatego należy wspierać wprowadzanie rozwiązań na polskim rynku, które będą likwidować ograniczenia i utrudnienia w stosowaniu arbitrażu. Należą do nich między innymi problemy ze sprzedażą krótką, koszty transakcyjne, a także trudności z automatycznym składaniem zleceń. Sprzedaż krótka polega na sprzedaży pożyczonych papierów wartościowych, co w przypadku arbitrażu jest bardzo przydatne, gdy należy przyjąć pozycję sprzedaży indeksu (pakietu akcji odpowiadającego strukturą składowi indeksu). Arbitrażysty nieposiadający akcji mogą wówczas zastosować sprzedaż krótką, która na rynku polskim nadal jest uważana za słabo rozwiniętą. Sprzedaż krótka obciążona jest też opłatą na rzecz pożyczkodawcy, co, podobnie jak koszty transakcyjne, zmniejsza możliwości arbitrażu.

Istotnym czynnikiem wpływającym na możliwości arbitrażu będzie zapowiadane przez giełdę wprowadzenie nowego systemu transakcyjnego, umożliwiającego

go składanie zleceń generowanych automatycznie. Automatyczny monitoring relacji cenowych oraz automatyczne składanie zleceń, umożliwiające budowę portfeli arbitrażowych, pozwolą na natychmiastowe eliminowanie odchyleń cen od ich właściwych relacji.

Literatura

- Bittman J.B., *Trading options as a professional*, McGraw Hill, New York 2009.
- Chance D.M., *An introduction to derivatives & risk management*, South-Western College Publishing, Mason 2004.
- Haugen R.A., *Teoria nowoczesnego inwestowania*, WIG-Press, Warszawa 1996.
- Jajuga K., Jajuga T., *Inwestycje. Instrumenty finansowe, aktywa niefinansowe, ryzyko finansowe, inżynieria finansowa*, PWN, Warszawa 2007.
- Jarrow R., Turnbull S., *Derivative securities*, South-Western College Publishing, Cincinnati 2000.
- Kolb R., *Financial derivatives*, Institute of Finance, New York 1993.
- McMillan L.G., *Options as a strategic investment*, New York Institute of Finance, New York 1993.
- Spremann K., *Investition und Finanzierung*, Oldenbourg, Wien 1991.
- Węgrzyn R., *Arbitraż jako podstawa właściwych relacji cen opcji*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, nr 756, Kraków 2007.
- Weron A., Weron R., *Inżynieria finansowa*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.

ANALYSIS OF ARBITRAGE OPERATIONS IN THE SCOPE OF THE OPTIONS ON WIG20

Summary: The arbitrage is regarded as a powerful market force that leads to proper price relations. In practice, however, one can observe certain deviations from those relations. The objective of this paper is to draw attention to the possibilities and effectiveness of arbitrage operations on the Warsaw Stock Exchange. The presented results of the empirical research refer to the options on WIG20 in the period December 2007–March 2009. In this article the author showed deviations from the limitations and properties of call option and put option prices, as well as the deviations from the put-call parity. He also conducted an assessment of the arbitrage effectiveness on the basis of analysis considering transaction costs.