

Ryszard Węgrzyn

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

SKUTECZNOŚĆ HEDGINGU DYNAMICZNEGO NA PRZYKŁADZIE OPCJI NA WIG20

1. Wstęp

Jednym ze sposobów ograniczania ryzyka kursów akcji za pomocą opcji jest *hedging* dynamiczny. Polega on na zabezpieczeniu portfela akcji przed bieżącymi zmianami jego wartości. W *hedgingu* tym chodzi o takie skonstruowanie portfela akcji i opcji, aby zmiany kursów akcji były rekompensowane zmianami cen opcji. Do właściwego skonstruowania portfela wykorzystuje się tzw. wskaźniki greckie (zob. [Bookstaber 1998; Chance 2004; Jajuga, Jajuga 2007; Jarrow, Turnbull 2000; Taleb 1997; Tarczyński 2003; Weron, Weron 2005; Węgrzyn 2008]).

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie możliwości oraz skuteczności zastosowania dynamicznych operacji zabezpieczających do ograniczania ryzyka kursów akcji na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. W szczególności zwrócono uwagę na następujące rodzaje *hedgingu* dynamicznego: *delta hedging*, *delta-gamma hedging* oraz *delta-gamma-vega hedging*.

Podstawowa hipoteza badawcza dotyczyła różnic w skuteczności poszczególnych metod *hedgingu* dynamicznego i zakładała najwyższą skuteczność *delta-gama-vega hedgingu* oraz najniższą skuteczność *delta hedgingu*. Weryfikacja tej hipotezy nastąpiła przez porównanie trzech analizowanych scenariuszy zabezpieczania się inwestora w takich samych warunkach rynkowych. Na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie przedmiotem obrotu są opcje na indeks WIG20. Szczegółowa analiza dotyczyła zatem portfela akcji odpowiadającego strukturą indeksowi WIG20 oraz opcji na ten indeks. Okres analizy obejmował 2.07.2007-31.01.2008. Przyjęto, że inwestor zabezpieczał portfel akcji odpowiadający indeksowi WIG20 w całym tym okresie. Na wstępie (w poniedziałek 2.07.2007 r.) określił on na podstawie przyjętej metody *hedgingu* skład portfela, który modyfikował z końcem każdej sesji, na podstawie każdorazowo wyliczanych udziałów odpowiednio dobieranych opcji. Takie podejście zastosowano do analizy skuteczności *delta hedgingu*, *delta-gamma hedgingu* oraz *delta-gamma-vega hedgingu*.

Praca obejmuje trzy części analityczne dotyczące skuteczności zastosowania poszczególnych rodzajów *hedgingu* dynamicznego, ocenę wyników analizy oraz zakończenie. W częściach analitycznych zostały opisane scenariusze zabezpiecza-

nia się z zastosowaniem konkretnych opcji indeksowych oraz zaprezentowane uogólnione wyniki badań pozwalające na ocenę skuteczności zabezpieczenia.

2. Analiza skuteczności delta hedgingu

W przypadku *delta hedgingu* do konstrukcji portfela składającego się z opcji i instrumentu bazowego wykorzystuje się wskaźnik *delta*, który oznacza zmianę ceny opcji przypadającą na jednostkową zmianę ceny instrumentu bazowego. Poziom wskaźnika *delta* określa pożądany stosunek liczby opcji do liczby instrumentów bazowych w zabezpieczanym portfelu.

W analizowanym scenariuszu *delta hedging* polegał na zastosowaniu indeksowej opcji kupna o odpowiednio dobranych cenach wykonania oraz terminach wygasania. Przyjęto zasadę, że do zabezpieczania są wykorzystywane opcje kupna o cenie wykonania najbliższej aktualnemu poziomowi indeksu WIG20 (gdy są dwie opcje spełniające ten warunek, wybierana jest opcja o niższej cenie wykonania) oraz o najbliższym terminie wykonania. Wraz ze zmianą indeksu WIG20 do zabezpieczenia były zatem stosowane opcje o różnych cenach wykonania.

Łącznie do zabezpieczenia portfela zostały zastosowane następujące opcje na indeks WIG20 notowane w okresie 2.07.2007-31.01.2008:

- opcje kupna z ceną wykonania 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900 wygasające 21.09.2007 r. (OW20I7340, OW20I7350, OW20I7360, OW20I7370, OW20I7380, OW20I7390),
- opcje kupna z ceną wykonania 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900 wygasające 21.12.2007 r. (OW20L7340, OW20L7350, OW20L7360, OW20L7370, OW20L7380, OW20L7390),
- opcje kupna z ceną wykonania 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500 wygasające 20.03.2008 r. (OW20C8280, OW20C8290, OW20C8300, OW20C8310, OW20C8320, OW20C8330, OW20C8340, OW20C8350).

Z dniem wygasania opcji o najbliższym terminie wykonania do zabezpieczenia przyjmowano kolejne opcje o najbliższym terminie wykonania.

W scenariuszu tym na początku przyjęto, że udział indeksu (akcji) w portfelu się nie zmienia i wynosi 1, natomiast udział opcji został określony jako odwrotność wskaźnika delta. Nie można jednak sprzedać czy kupić części opcji, stąd odwrotność wskaźnika delta została pomnożona przez 10 oraz zaokrąglana do liczb całkowitych. Aby zachować odpowiednią proporcję indeksu do opcji, ostatecznie przyjęto, że inwestor posiada 10 indeksów w portfelu. Taka operacja nie spowodowała istotnych zmian w osiągniętych wynikach zabezpieczenia.

Do szczegółowych obliczeń wykorzystano dane z Giełdy Papierów Wartościowych w Warszawie dotyczące kursów opcji i poziomów indeksu WIG20, jak również szacowane przez Giełdę wskaźniki delta dla poszczególnych opcji. Wskaźniki te szacowane są na podstawie modelu Blacka-Scholesa. Stopa wolna od ryzyka jest wyznaczana dla każdego terminu wygasania opcji oddzielnie przez interpolację liniową dostępnych średnich

ze stawek WIBOR i WIBID dla terminów – 1 tydzień, 2 tygodnie, 1 miesiąc, 3 miesiące, 6 miesięcy, 9 miesięcy. Stawki te uprzednio przeliczane są z kapitalizacji rocznej na kapitalizację ciągłą. Zmienność uwzględniana w modelu jest wyliczoną wcześniej zmiennością implikowaną dla danej serii opcji wynikającą z poziomu ceny opcji. Stopa dywidendy natomiast jest kalkulowana na każdy z terminów wygaśnięcia opcji na podstawie danych dotyczących wielkości i terminów wypłaty dywidend ustalanych na walnych zgromadzeniach akcjonariuszy w bieżącym roku albo danych dotyczących wypłat w poprzednim roku, jeżeli w bieżącym jeszcze nie podjęto decyzji.

Wskaźniki greckie szacowane przez giełdę uodostępniane są dopiero po zakończeniu sesji, dlatego też przyjęto, że inwestor sam wyliczał wskaźniki w sposób odpowiadający metodzie przyjętej przez giełdę oraz modyfikował portfel z końcem sesji.

Skuteczność tak stosowanego *delta hedgingu* była określana na podstawie zmian wartości portfela na następnej sesji. W analizie tej pominięto koszty transakcyjne, co było celowe ze względu na możliwość porównania wyników z innymi rodzajami zastosowanego *hedgingu* dynamicznego. Zmiany wartości portfela określano kwotowo oraz procentowo. W celu uogólnienia wyników badań na podstawie procentowych zmian wartości portfela obliczono dla poszczególnych miesięcy oraz dla całego analizowanego okresu średnie arytmetyczne zmian procentowych, odchylenia standardowe tych zmian oraz wartości najmniejsze i największe. Rezultaty tych obliczeń zostały zaprezentowane w tab. 1.

Tabela 1. Syntetyczne wyniki zastosowania *delta hedgingu*

Okres	Średnia zmiana wartości portfela (w %)	Odchylenie standardowe (w %)	Minimum (w %)	Maksimum (w %)
VII 2007	0,16	1,08	-2,33	2,27
VIII 2007	-0,15	1,03	-2,23	1,67
IX 2007	0,01	1,20	-2,11	2,18
X 2007	0,01	0,40	-0,66	1,29
XI 2007	0,06	0,49	-0,97	1,08
XII 2007	0,23	0,52	-0,65	1,68
I 2008	-0,40	1,24	-4,44	1,08
VII-XII 2007	0,04	0,84	-2,33	2,27
VII 2007-I 2008	-0,02	0,92	-4,44	2,27

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie tab. 1 można stwierdzić, że średnie zmiany wartości portfela w poszczególnych miesiącach znacznie się od siebie różnią. Na przykład w grudniu 2007 r. średnia wynosiła 0,23%, a w sierpniu 2007 r. – -0,15%, natomiast w najbardziej nietypowym dla analizowanego okresu miesiącu styczniu 2008 r. – -0,40%. Średnie dla okresów lipiec-grudzień 2007 r. oraz lipiec 2007 r.-styczeń 2008 r. są jednak na znacznie lepszych poziomach. Zwłaszcza dla pierwszego z tych okresów średnia 0,04% oznacza, że zabezpieczenie dla całego okresu było

stosunkowo skuteczne, chociaż inwestor osiągnąłby w tym przypadku dochód znacznie większy niż wynikałoby to ze stopy wolnej od ryzyka.

Istotną miarą w tym przypadku jest również odchylenie standardowe zmian procentowych, które wskazuje na ryzyko związane z *hedgingiem* wynikające z możliwości odchylenia od wyliczonych średnich jako wartości oczekiwanych. Pod tym względem najmniej ryzykownym okresem zabezpieczenia był październik 2007 r.

Na ryzyko związane z jednodniowym zabezpieczeniem zwracają z kolei uwagę najmniejsze i największe zmiany wartości portfeli. W styczniu 2008 r., miesiącu głębokich spadków indeksu giełdowego, największy spadek wartości portfela zabezpieczonego wyniósł -4,44%. W lipcu, sierpniu i wrześniu 2007 r. największe dzienne spadki były większe od 2%, natomiast w październiku, listopadzie i grudniu 2007 r. nie przekroczyły 1%. To pokazuje, że jednodniowe zabezpieczenie portfela wiąże się z największym ryzykiem poniesienia straty.

3. Analiza skuteczności *delta-gamma hedgingu*

Delta-gamma hedging polega na konstruowaniu portfela składającego się z opcji i instrumentu bazowego za pomocą dwóch wskaźników – wspomnianego wcześniej wskaźnika *delta* oraz wskaźnika *gamma*, który jest z kolei wielkością, o jaką zmienia się *delta* przy jednostkowej zmianie ceny instrumentu bazowego.

Ten rodzaj *hedgingu* został przeanalizowany przy tych samych podstawowych założeniach. Polegał on na zastosowaniu indeksowych opcji kupna o określonych cenach wykonania oraz terminach wygasania. Przyjęto zasadę, że do zabezpieczenia były wykorzystywane w każdym przypadku dwie opcje kupna o różnych cenach wykonania najbliższych aktualnemu poziomowi indeksu WIG20 oraz o dwóch najbliższych terminach wykonania. Sprzedawaną opcją 1 była opcja o niższej cenie wykonania oraz dłuższym okresie do wygaśnięcia, natomiast kupowaną opcją 2 była opcja o wyższej cenie wykonania oraz krótszym okresie do wygaśnięcia.

Łącznie do zabezpieczenia portfela zostały zastosowane następujące opcje na indeks WIG20 notowane w okresie 2.07.2007-31.01.2008:

- opcje kupna z ceną wykonania 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900 wygasające 21.09.2007 r. (OW20I7340, OW20I7350, OW20I7360, OW20I7370, OW20I7380, OW20I7390),
- opcje kupna z ceną wykonania 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000 wygasające 21.12.2007 r. (OW20L7330, OW20L7340, OW20L7350, OW20L7360, OW20L7370, OW20L7380, OW20L7390, OW20L7400),
- opcje kupna z ceną wykonania 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900 wygasające 20.03.2008 r. (OW20C8340, OW20C8350, OW20C8360, OW20C8370, OW20C8380, OW20C8390),
- opcje kupna z ceną wykonania 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500 wygasające 20.06.2008 r. (OW20F8270, OW20F8280, OW20F8290, OW20F8300, OW20F8310, OW20F8320, OW20F8330, OW20F8340, OW20F8350).

Z dniem wygasania opcji o najbliższym terminie wykonania do zabezpieczenia przyjmowano kolejne opcje o najbliższych terminach wygasania.

Do określania udziału indeksu i danych opcji w portfelu posłużyły wskaźniki *delta* i *gamma*. W tym przypadku przyjęto również, że inwestor posiada w portfelu 10 indeksów, a udziały opcji zostały pomnożone przez 10 oraz zaokrąglone do liczb całkowitych. Taka operacja nie spowodowała istotnych zmian w osiąganych wynikach zabezpieczenia.

Skuteczność tak stosowanego *delta-gamma hedgingu* była określana na podstawie zmian procentowych wartości portfela na następnej sesji. Podstawowe miary statystyczne dotyczące tych zmian w poszczególnych okresach zostały zaprezentowane w tab. 2.

Tabela 2. Syntetyczne wyniki zastosowania *delta-gamma hedgingu*

Okres	Średnia zmiana wartości portfela (w %)	Odchylenie standardowe (w %)	Minimum (w %)	Maksimum (w %)
VII 2007	0,49	5,54	-7,07	10,46
VIII 2007	0,44	5,57	-9,53	11,82
IX 2007	0,74	4,23	-4,63	10,77
X 2007	0,11	0,99	-2,63	2,89
XI 2007	0,09	0,66	-1,24	2,27
XII 2007	-0,03	0,38	-0,60	0,68
I 2008	0,32	5,15	-16,41	9,97
VII-XII 2007	0,31	3,67	-9,53	11,82
VII 2007-I 2008	0,31	3,91	-16,41	11,82

Źródło: opracowanie własne.

Na jej podstawie można zauważyć znaczne zróżnicowanie średnich zmian wartości portfela w poszczególnych miesiącach. Na przykład w grudniu 2007 r. średnia wynosiła -0,03%, a we wrześniu 2007 r. - 0,74%. Średnie dla okresów lipiec-grudzień 2007 r. oraz lipiec 2007 r.-styczeń 2008 r. są natomiast na takim samym poziomie (0,31%) i oznaczają jednak znaczne odchylenia wartości portfela.

Pod względem odchylenia standardowego zmian najmniej ryzykownym okresem zabezpieczenia był grudzień 2007 r. W styczniu 2008 r. największy dzienny spadek wartości portfela zabezpieczonego wyniósł natomiast aż -16,41%. Stosunkowo duże zmiany zaobserwować można także w lipcu, sierpniu i wrześniu 2007 r. To wskazuje na znacznie większe ryzyko poniesienia straty w przypadku jednodniowego zabezpieczenia portfela, zwłaszcza w okresie silnych spadków kursów.

4. Analiza skuteczności *delta-gamma-vega hedgingu*

Delta-gamma-vega hedging polega z kolei na zastosowaniu jednocześnie trzech wskaźników greckich do budowy portfela składającego się z opcji i instrumentu bazowego. Wskaźniki *delta* i *gamma* stosowane są do zabezpieczania portfela przed zmianami cen instrumentu bazowego, natomiast wskaźnik *vega* do zabezpieczania

przed zmianami zmienności (*volatility*) instrumentu bazowego. *Vega* oznacza zmianę ceny opcji przy jednostkowej zmianie zmienności instrumentu bazowego.

Delta-gamma-vega hedging zastosowano analogicznie do poprzednich rozwiązań. W jego przypadku do zabezpieczenia wykorzystywano każdorazowo trzy różne opcje. Ze względu na znikomą płynność opcji wygasających w dwóch ostatnich terminach zdecydowano o wyborze opcji z dwoma najbliższymi terminami wygasania. Do zabezpieczenia były zatem wykorzystywane w każdym przypadku trzy opcje kupna o różnych cenach wykonania najbliższych aktualnemu poziomowi indeksu WIG20 oraz o dwóch najbliższych terminach wykonania. Opcją 1 była opcja o cenie wykonania najbliższej aktualnemu poziomowi indeksu WIG20 oraz dłuższym okresie do wygaśnięcia, opcją 2 była opcja o niższej cenie wykonania od opcji 1 i krótszym okresie do wygaśnięcia, a opcją 3 była opcja o wyższej cenie wykonania od opcji 1 oraz krótszym okresie do wygaśnięcia.

Łącznie do *delta-gamma-vega hedgingu* zostały zastosowane następujące opcje na indeks WIG20 notowane w badanym okresie:

- opcje kupna z ceną wykonania 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000 wygasające 21.09.2007 r. (OW20I7320, OW20I7330, OW20I7340, OW20I7350, OW20I7360, OW20I7370, OW20I7380, OW20I7390, OW20I7400),
- opcje kupna z ceną wykonania 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000 wygasające 21.12.2007 r. (OW20L7330, OW20L7340, OW20L7350, OW20L7360, OW20L7370, OW20L7380, OW20L7390, OW20L7400),
- opcje kupna z ceną wykonania 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900 wygasające 20.03.2008 r. (OW20C8270, OW20C8280, OW20C8290, OW20C8300, OW20C8310, OW20C8320, OW20C8330, OW20C8340, OW20C8350, OW20C8360, OW20C8370, OW20C8380, OW20C8390),
- opcje kupna z ceną wykonania 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500 wygasające 20.06.2008 r. (OW20F8280, OW20F8290, OW20F8300, OW20F8310, OW20F8320, OW20F8330, OW20F8340, OW20F8350).

Jeżeli dochodziło do wygaśnięcia opcji o najbliższym terminie wykonania do zabezpieczenia przyjmowano kolejne opcje o najbliższych terminach wykonania. Udziały w portfelu określano na podstawie szacowanych przez Giełdę wskaźników *delta*, *gamma* i *vega* dla poszczególnych opcji.

Skuteczność *delta-gamma-vega hedgingu* była określana analogicznie do wcześniej omówionych rodzajów *hedgingu*. Wyniki obliczeń w ujęciu syntetycznym dla poszczególnych okresów zaprezentowano w tab. 3

Na podstawie wyników syntetycznych można zauważyć, że pod względem średniej zmiany procentowej portfela najlepiej wypada zabezpieczenie we wrześniu 2007 r. (średnia 0,06%). Jeżeli jednak weźmie się pod uwagę również odchylenie standardowe, to miesiąc grudzień 2007 r. staje się tym, w którym zabezpieczenie było najskuteczniejsze. Największe zmiany wartości portfela natomiast za-

chodziły w sierpniu 2007 r. Średnia dla tego miesiąca wyniosła aż 1,62%, a odchylenie standardowe wynosiło 5,10%.

Tabela 3. Syntetyczne wyniki zastosowania *delta-gamma-vega hedgingu*

Okres	Średnia zmiana wartości portfela (w %)	Odchylenie standardowe średniej zmiany (w %)	Minimum (w %)	Maksimum (w %)
VII 2007	0,14	2,06	-3,10	6,99
VIII 2007	1,62	5,10	-6,60	20,62
IX 2007	0,06	2,93	-6,85	6,47
X 2007	0,21	2,22	-4,29	5,71
XI 2007	0,21	1,63	-2,59	4,48
XII 2007	0,08	1,00	-1,76	3,28
I 2008	0,17	3,19	-7,71	5,40
VII-XII 2007	0,41	2,88	-6,85	20,62
VII 2007-I 2008	0,37	2,92	-7,71	20,62

Źródło: opracowanie własne.

Największy dzienny spadek wartości portfela zabezpieczonego wystąpił w styczniu 2008 r. i wyniósł -7,71%. Stosunkowo duże minima można obserwować także w sierpniu i wrześniu 2007 r.

5. Ocena wyników analizy skuteczności *hedgingu* dynamicznego

Pewnym zaskoczeniem jest porównanie wyników zastosowania *delta hedgingu*, *delta-gamma hedgingu* oraz *delta-gamma-vega hedgingu*. Teoretycznie rzecz biorąc, im więcej wskaźników greckich jest wykorzystywanych do określania struktury portfela, tym portfel powinien być skuteczniej zabezpieczony. *Delta hedging* zabezpiecza bowiem tylko przed niewielkimi zmianami instrumentu bazowego (indeksu WIG20), *delta-gamma hedging* zabezpiecza również przed większymi zmianami instrumentu bazowego, natomiast *delta-gamma-vega hedging* zabezpiecza jeszcze dodatkowo przed zmianami zmienności (*volatility*) instrumentu bazowego (zob. [Bookstaber 1998; Jarrow, Turnbull 2000]).

Na tej podstawie została oparta podstawowa hipoteza badawcza, której wyniki badań w ogóle nie potwierdzają. W praktyce okazało się bowiem, że w badanym okresie zastosowanie *delta hedgingu* było zdecydowanie najskuteczniejsze. Zarówno średnie odchylenia standardowe, jak też minima i maksyma są w przypadku jego zastosowania na najlepszych poziomach. Wyjątek stanowi tylko miesiąc grudzień 2007 r., w którym to miesiącu *delta-gamma hedging* okazał się najskuteczniejszym rozwiązaniem.

Porównując wyniki w odniesieniu do *delta-gamma hedgingu* oraz *delta-gamma-vega hedgingu*, właściwie trudno stwierdzić, który rodzaj zabezpieczenia był skuteczniejszy. W niektórych miesiącach lepiej wypada bowiem *delta-gamma hedging* (np. grudzień 2007 r.) w innych natomiast *delta-gamma-vega hedging* (np.

styczeń 2008 r.). Biorąc pod uwagę analizowany okres w 2007 r., jak również cały okres łącznie ze styczniem 2008 r., można jednak wskazać na *delta-gamma-vega hedging* jako skuteczniejsze rozwiązanie. Średnie zmiany wartości portfela są, co prawda, nieco mniejsze w przypadku *delta-gamma hedgingu*, ale odchylenia standardowe zmian są zdecydowanie niższe przy *delta-gamma-vega hedgingu*.

Należy zwrócić uwagę, iż zmiany wartości zabezpieczonego portfela mają wiele różnych przyczyn. Wykorzystany tutaj model Blacka-Scholesa jest modelem ciągłym, co oznacza, że korygowanie struktury portfela powinno się odbywać w sposób ciągły. W zaprezentowanej analizie korekty portfela były dokonywane z końcem każdej sesji giełdowej. W modelu tym zakłada się stałą zmienność instrumentu bazowego do wygaśnięcia opcji, stałą stopę procentową do wygaśnięcia opcji oraz lognormalny rozkład cen akcji w terminie wykonania. Założenia te znacznie jednak odbiegają od rzeczywistości. Jeżeli zatem do *hedgingu* zostaną zastosowane wskaźniki greckie wyliczone na podstawie tego modelu, to określone zmiany wartości portfela będą nadal występowały (zob. [Taleb 1997; Avellaneda, Levy, Paras 1995; Pruchnicka-Grabias 2006; Gupta 1997]).

Uzyskany wynik porównania przeanalizowanych trzech rodzajów *hedgingu* można tłumaczyć liczbą stosowanych do zabezpieczenia opcji. Najlepszy wynik zabezpieczenia daje *delta hedging*, który wymaga zastosowania w każdym dniu sesyjnym tylko jednej odpowiednio dobranej opcji. Większa liczba stosowanych opcji prowadzi najprawdopodobniej do kumulacji odchyleń związanych z niedoskonałościami modelu Blacka-Scholesa.

6. Zakończenie

Należy pamiętać, iż zaprezentowane wyniki badań mogą być jednak obarczone pewnymi błędami. Przede wszystkim analizowany okres wydaje się niewystarczający do wyciągania ostatecznych wniosków. W okresie tym można było obserwować tendencję spadkową indeksu WIG20, zwłaszcza w styczniu 2008 r. Analogiczna analiza w okresie tendencji wzrostowej może dawać nieco inne wyniki.

Kolejnym aspektem, który trzeba wziąć pod uwagę, jest wybór przy zabezpieczaniu konkretnych opcji. Generalnie w analizie stosowano opcje o cenach wykonania zbliżonych do poziomu indeksu oraz o najkrótszych okresach do wygaśnięcia, kierując się głównie płynnością opcji. W przypadku zastosowania innych opcji wyniki mogłyby odbiegać od uzyskanych.

Ostatnim poruszonym aspektem, aczkolwiek z pewnością nie najmniej ważnym, jest zmienność instrumentu bazowego. W przeprowadzonej analizie zastosowano wskaźniki greckie szacowane na podstawie zmienności implikowanej. Zmienność ta zwykle różni się od szacowanej zmienności historycznej. Problem oszacowania zmienności jest w przypadku *hedgingu* dynamicznego bardzo ważny, jako że błąd zabezpieczenia powstający w wyniku zastosowania nieprawidłowej zmienności jest wprost proporcjonalny do wskaźnika *vega* stosowanej opcji (zob. [Pruchnicka-

-Grabias 2006]), a zatem zastosowanie innego rodzaju zmienności dałoby najprawdopodobniej nieco inne wyniki. Dalsze badania autora w zakresie *hedgingu* dynamicznego będą zmierzać najprawdopodobniej w tym właśnie kierunku.

Literatura

- Avellaneda M., Levy A., Paras A., *Pricing and hedging derivative securities in markets with uncertain volatilities*, "Applied Mathematical Finance" 1995 no 2.
- Bodie Z., Kane A., Marcus A.J., *Investments*, IRWIN Inc., 1993.
- Bookstaber R.M., *Option replication technology*, [w:] *Advanced strategies in financial risk management*, red. R.J. Schwartz, C.W. Smith, New York Institute of Finance, New York 1998.
- Chance D.M., *An introduction to derivatives & risk management*, Thomson South-Western, Ohio 2004.
- Gupta A., *On neutral ground*, "Risk" 1997, vol. 10, no 7.
- Haugen R.A., *Teoria nowoczesnego inwestowania*, WIG-Press, Warszawa 1996.
- Hull J., *Kontrakty terminowe i opcje. Wprowadzenie*, WIG-Press, Warszawa 1997.
- 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.W., *Financial derivatives*, New York Institute of Finance, New York 1993.
- McMillan L.G., *Options as a strategic investment*, New York Institute of Finance, New York 1993.
- Pruchnicka-Grabias I., *Egzotyczne opcje finansowe. Systematyka, wycena, strategie*, Cedewu, Warszawa 2006.
- Smithson Ch.W., Smith C.W., Wilford D.S., *Zarządzanie ryzykiem finansowym. Instrumenty pochodne, inżynieria finansowa i maksymalizacja wartości*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2000.
- Taleb N., *Dynamic hedging. Managing vanilla and exotic options*, John Wiley & Sons, Inc., New York 1997.
- Tarczyński W., *Instrumenty pochodne na rynku kapitałowym*, PWE, Warszawa 2003.
- Weron A., Weron R., *Inżynieria finansowa. Wycena instrumentów pochodnych, symulacje komputerowe, statystyka rynku*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
- Węgrzyn R., *Zastosowanie opcji w ograniczaniu ryzyka kursów akcji*, [w:] *Finansowe uwarunkowania decyzji ekonomicznych*, red. D. Fatuła, Krakowskie Towarzystwo Edukacyjne, Kraków 2007.
- Węgrzyn R., *Skuteczność delta hedgingu w ograniczaniu ryzyka kursów akcji. Analiza empiryczna*, [w:] *Inwestowanie na rynku kapitałowym*, red. W. Tarczyński, Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2008.

EFFECTIVENESS OF DYNAMIC HEDGING ON THE EXAMPLE OF OPTIONS ON WIG20

Summary

One of the ways of reducing the stock prices risk using options is a dynamic hedging. It consists in protecting a portfolio of shares against current changes of its value. The objective of this paper is to draw attention to the possibilities and effectiveness of delta hedging, delta-gamma hedging and delta-gamma-vega hedging in reducing the risk of stock prices on the Warsaw Stock Exchange.

The presented results of the empirical research refer to the application of the option on WIG20 in the period July 2007 – January 2008. The author has conducted a synthetic assessment of the hedging effectiveness on the basis of arithmetic means, standard deviations, maxima and minima of the percentage changes of the hedged portfolio value.