
Przedmowa

Zaprzyżąźniłem się z Leszkiem dwadzieścia lat temu przy okazji wspólnego, kilkunastodniowego pobytu w Anglii na jednym z uniwersytetów. Mieliśmy tam pewne obowiązki, ale Leszek przez kilka pierwszych dni w czasie wolnym nieustrudzenie wyjaśniał mi podstawy teorii immunizacji czasu trwania dla portfela obligacji. Jest to ważny dział matematyki finansowej, którym wtedy zajmował się naukowo. Czas wolny do końca pobytu poświęciliśmy na dyskusje i napisanie na ich podstawie artykułu na temat immunizacji, który następnie opublikowaliśmy w jednym z liczących się amerykańskich czasopism naukowych.

Leszek był pasjonatem, miał niezwykle talent dydaktyczny i chętnie dzielił się wiedzą, potrafił przekazywać zaawansowane pojęcia i treści matematyczne „na palcach”; w bardzo prosty i obrazowy sposób. Obserwowałem to, gdy przez kilka lat prowadziliśmy seminarium z matematyki finansowej na Wydziale Matematyki i Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie. Wykłady Leszka cieszyły się dużym powodzeniem wśród studentów, a limit miejsc wypełniał się w krótkim czasie. Bardzo lubił prowadzić zajęcia, studenci to czuli i często wdawali się z nim w dyskusje na tematy matematyczne.

Naukowo Leszek zajmował się najpierw teorią gier, a następnie matematyką finansową. Przez długi czas pracował w Stanach Zjednoczonych, gdzie m. in. pełnił funkcję redaktora czasopism „Mathematical Reviews” i „Ulam Quarterly”. To ostatnie powstało w roku 1992 dla upamiętnienia, pochodzącego z Lwowa, polskiego matematyka Stanisława Ulama (1909–1984), a także w celu zintegrowania środowiska polskich matematyków w USA. Czasopismo „Ulam Quarterly” zawiesiło działalność po pięciu latach, ale podobno ma być reaktywowane.

Leszek pracował też w Instytucie Badań Systemowych PAN, a także na Uniwersytecie Przyrodniczo-Humanistycznym w Siedlcach, gdzie był dziekanem Wydziału Matematyki, Uniwersytecie Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie oraz w Akademii Finansów i Biznesu Vistula w Warszawie. Jest autorem lub współautorem wielu artykułów naukowych, opublikowanych w takich czasopismach jak: „Journal of Optimization Theory and Applications”, „SIAM Journal on Control and Optimization”, „Annals of Operations Research”, „Journal of Mathematical Analysis and Applications”, „Systems & Control Letters”, „Control and Cybernetics”, „The Journal of Derivatives”.

Talent dydaktyczny i umiejętność prowadzenia dialogu z Czytelnikiem są widoczne również w przedstawianej obecnie książce Leszka Zarembki poświęconej inżynierii finansowej na rynkach zupełnych i niezupełnych. Jest ona przeznaczona dla osób zajmujących się inżynierią finansową zatrudnionych w funduszach inwestycyjnych, spółkach giełdowych, bankach, GPW i innych instytucjach finansowych. Do opisu poszczególnych zagadnień autor stosuje prawie wyłącznie podstawowe pojęcia i metody algebry liniowej, które zresztą także szczegółowo wyjaśnia. W tym języku w kolejnych rozdziałach omawia hedging na rynkach zupełnych i niezupełnych, budując odpowiednie portfele replikujące i określając sposoby ich wyceny. Następnie analizuje dwa typy arbitrażu i obszernie przedstawia kilka ciekawych zastosowań. Książka zawiera wiele rozwiązanych szczegółowo przykładów, a także zadań dla Czytelnika.

Leszek zajmował się zagadnieniami poruszonymi w książce przez kilka ostatnich lat, poświęcając im cykl artykułów. Ostatnie poprawki wprowadzał, będąc już w szpitalu. Zmarł niespodziewanie 23 stycznia 2020 roku. Został pochowany na cmentarzu w Pyrach w Warszawie.

Grzegorz Rządowski
Warszawa, lipiec 2020 r.

Wstęp

Dlaczego książka o inżynierii finansowej?

Ta książka ma na celu przygotowanie kadr z obszaru inżynierii finansowej dla polskich funduszy inwestycyjnych absolutnej stopy zwrotu, spółek giełdowych, banków, giełd towarowych, Giełdy Papierów Wartościowych w Warszawie (GPW) i innych instytucji finansowych. Spółki giełdowe nie mają kadr przygotowanych do skutecznego zabezpieczania się przed niekorzystnymi zmianami cen ich towarów, walut i papierów wartościowych. Najlepiej świadczą o tym straty, jakie poniosły praktycznie wszystkie firmy, które dekadę temu dały się namówić przez banki na wystawianie opcji finansowych, nie rozumiejąc zasad ich działania.

Chociaż, co prawda, nie ma w Polsce ani jednego funduszu hedgingowego, mimo że od 30 lat działa w każdym kraju Europy Zachodniej po kilkadziesiąt tego typu instytucji, to należy z zadowoleniem odnotować postęp, jaki się dokonał od grudnia 2011 r. Powstały bowiem wtedy FASZ, czyli „fundusze absolutnej stopy zwrotu” mogące, przy odpowiedniej wiedzy z zakresu inżynierii finansowej, generować znaczne zyski niezależnie od poziomu optymizmu czy pesymizmu na rynkach kapitałowych w Polsce i świecie.

Dotychczas z powodu braku kadr odnoszą umiarkowany sukces, generując stopy zwrotu tylko niewiele wyższe od średniej stopy zwrotu z pozostałych funduszy inwestycyjnych. Według danych rynkowych¹ aktywa funduszy absolutnej stopy zwrotu wynosiły 6,67 mld zł w listopadzie 2019 r., co stanowiło 2,5% aktywów wszystkich funduszy wobec 9,4% aktywów wszystkich funduszy akcji.

Brak wykwalifikowanych kadr z inżynierii finansowej wpływa negatywnie nie tylko na spółki giełdowe i fundusze inwestycyjne, lecz także na giełdy towarowe w Polsce oraz GPW w Warszawie, której dochodowość (mierzona indeksem WIG 20) jest od 10 lat na poziomie 0% i nie może przekroczyć poziomu 2600 pkt z 2008 r., mimo iż w 2002 r. WIG 20 osiągnął już poziom 3930 pkt. Nieco lepiej wiedzie się indeksowi wszystkich

¹ <https://www.analizy.pl/fundusze/wiadomosci/26119/aktywa-funduszy-inwestycyjnych-%28listopad-2019%29.html>

akcji WIG, który po 16 latach osiągnął niedawno poziom z 2002 r. (ok. 62 000 pkt) i był to szczyt hossy w obszarze spółek komputerowych.

Polskie korporacje, w tym m.in. wszystkie firmy z indeksu WiG 30, dużo tracą z powodu niepełnej wiedzy na temat zabezpieczania się przed ryzykiem spadku kursów akcji ich firm. Praktycznie nie jest znany w Polsce *hedging* (osłona swych pozycji) za pomocą odpowiednio skonstruowanego portfela papierów wartościowych przy użyciu opcji finansowych. W zdecydowanej większości polskie firmy nawet nie przypuszczają, że można zarabiać na spadkach kursów akcji własnej spółki i pozostałych spółek giełdowych.

W inżynierii finansowej chodzi przede wszystkim o tworzenie syntetycznych instrumentów, czyli portfeli replikujących požądane, a nieobecne i niedostępne na rynku kapitałowym, instrumenty (papiery wartościowe), których główną zaletą jest to, że rekompensują firmom spadki kursów akcji interesujących ich firm na giełdzie. Jest to niezwykle ważne dla dużych korporacji, np. dla firm z WIG 30, w których nieumiejętne zabezpieczanie się przez ryzykiem spadków cen surowców (np. miedzi w przypadku KGHM) lub, co gorsza, brak zabezpieczania, w połączeniu z brakiem umiejętności zarabiania na spadkach kapitalizacji innych spółek, prowadzi zupełnie niepotrzebnie do słabszych wyników finansowych i w konsekwencji do znacznego zmniejszenia kapitalizacji danej spółki giełdowej oraz całej GPW w Warszawie.

Potencjalne spadki kursów akcji firm produkcyjnych i usługowych na giełdzie mogą być z powodzeniem (w całości) rekompensowane przez odpowiednio przemyślany wybór portfela, który odgrywa rolę osłony (por. przykłady 6a, 6b oraz zadania 1.15 i 1.16). Na przykładzie firmy KGHM, której kurs akcji znacząco obniżył się w okresie 9 miesięcy z poziomu 126 zł w kwietniu 2015 r. do zaledwie 57,50 zł w styczniu 2016 r.², pozostając na podobnym poziomie aż do maja 2016 r., pokazujemy, że tworząc portfel o koszcie nabycia bliskim 0 zł, każdy inwestor mógł zarobić (a w przypadku KGHM zrekompensować sobie) te spadki proporcjonalnie do liczby posiadanych akcji KGHM.

Innymi słowy, portfele te, wystawiane i sprzedawane przez inżynierów finansowych pracujących bądź w bankach, bądź dla inwestorów (posiadających lub nie akcje KGHM), wypłacają odpowiednio wysokie kwoty przy spadkach kursu akcji KGHM (lub jakiegokolwiek innej firmy), a w scenariuszach korzystnych lub bardzo korzystnych dla KGHM portfele nie wypłacają nic lub mogą nawet wymagać niewielkich wpłat od inwestora w celu sprowadzenia kosztów zakupu portfela replikującego nawet do kwoty poniżej zera; zob. przykład 6b).

Banki natomiast powinny umieć konstruować portfele minimalizujące negatywne skutki nagłych zmian kursów walutowych, jak również zarabiać na spadkach kursów akcji spółek giełdowych. To, że banki nie potrafią tego robić, było widać w kryzysie, który pojawił się, gdy kurs franka szwajcarskiego nagle znacząco wzrósł, pociągając za sobą straty liczone w miliardach złotych oraz złą opinię o bankach, zamiast być okazją do ekstrazysków. Warunkiem koniecznym jest jednak fachowa wiedza w zakresie inżynierii finansowej (zob. przykłady 7a, 7b oraz zadania 1.17 i 1.18). Ponadto banki mogą też zarabiać na spadkach kursów posiadanych walut.

² pl.investing.com/equities/kgbm-polska-miedz-sa-historical-data

Oczywiście, niezbędnym i łatwym do spełnienia w Polsce wymogiem jest oferowanie przez rynek finansowy podstawowych instrumentów finansowych takich jak bony skarbowe, opcje kupna i opcje sprzedaży największych spółek giełdowych, jak również tych o największym wolumenie obrotu, zarówno na GPW, jak i rynku OTC. GPW w Warszawie 10–15 lat temu oferowała opcje na akcje spółek Agory, KGHM i wielu innych firm notowanych na parkiecie giełdy warszawskiej. Niestety, na skutek braku jakiegokolwiek wiedzy z zakresu inżynierii finansowej u uczestników polskiego rynku kapitałowego opcje te umarły śmiercią naturalną.

Niniejsza książka daje potrzebną wiedzę aktualnym i potencjalnym inwestorom oraz motywację dla GPW w Warszawie, aby ponownie pojawiły się na niej (i na rynku OTC) tak bardzo elementarne instrumenty finansowe, jak opcje kupna i sprzedaży na wybrane spółki giełdowe, indeksy oraz najważniejsze pary walutowe.

Opis omawianych zagadnień

Motywacją do napisania dla polskiego czytelnika książki na temat inżynierii finansowej była publikacja [3]. Skróceniowo tematyka ta w języku polskim została już zaanonsowana w [6] i [9], a następnie zastosowana do zarządzania ryzykiem w KGHM w publikacjach [7–8, 10–11]. Okazało się, że algebra liniowa wykładana na wszystkich politechnikach oraz w większości szkół ekonomicznych, oferuje bardzo adekwatne narzędzia do prezentacji najważniejszych pojęć z inżynierii finansowej. Pozwala klarownie wyjaśnić, na czym polegają podstawowe problemy badawcze w tym obszarze wiedzy oraz ukazuje sposoby ich rozwiązywania.

Jak już wspomnieliśmy, w inżynierii finansowej chodzi przede wszystkim o tworzenie syntetycznych instrumentów w postaci portfeli replikujących požądane (a niewystępujące na rynku kapitałowym) papiery wartościowe, których główną zaletą jest to, że rekompensują każdej firmie (w różnoraki sposób, zależnie od intencji inżyniera finansowego) spadki kursów jej akcji na giełdzie.

Niniejsza książka rozpoczyna się od prezentacji podstawowych pojęć rynku finansowego w ujęciu statycznym, tzn. zakładamy, że cała aktywność gospodarcza (praca, konsumpcja, handel) ma miejsce „dziś” o godz., powiedzmy, 9.00 rano oraz „jutro” też o 9.00 rano. Taki model gospodarki, choć uproszczony, jest w znacznym stopniu adekwatny dla funduszy inwestycyjnych, które, w przeciwieństwie do „skalperów giełdowych”, nie dokonują wielokrotnych transakcji każdego dnia, lecz „od czasu do czasu”, np. raz na miesiąc, raz na kwartał itp., czyli mówiąc obrazowo, o godz. 9.00 rano dziś, a następnie o godz. 9.00 „jutro”.

Szczególnie dotyczy to OFE (otwartych funduszy inwestycyjnych), które „patrzają” na rynek kapitałowy przez pryzmat długich horyzontów inwestycyjnych. W całej książce będziemy przyjmować ten statyczny model rynku kapitałowego, zwany w literaturze anglojęzycznej *static hedging*.

Na początku przyjmujemy bardzo ogólne założenie, że na rozpatrywanym rynku finansowym dostępnych jest n płynnych papierów wartościowych, a liczba wszystkich

możliwych stanów tego rynku wynosi m . Takie założenie jest zawsze spełnione. Dla łatwiejszej prezentacji i lepszego zrozumienia opisywanych zagadnień ograniczamy sztucznie rynek kapitałowy do tylko 3–7 jego stanów oraz do 3–5 płynnych papierów wartościowych. W przykładzie 1, zadaniu 1 oraz w przykładzie 1a sformułowaliśmy, czym ogólnie będziemy się zajmować w początkowych rozdziałach tej książki.

W podrozdziale 1.1 wprowadzamy pojęcie **wypłaty** z papieru wartościowego, ilustrując je na przykładzie 2 opcji kupna. Następnie pokazujemy, jak w prosty sposób można przedstawiać rynek finansowy za pomocą macierzy, czyli podstawowego pojęcia z algebry liniowej. Prowadzi to w naturalny sposób do równań macierzowo-wektorowych, gdzie wektory reprezentują instrumenty finansowe, również te, których nie ma fizycznie na badanym rynku kapitałowym, ale których wypłaty poszczególni inwestorzy chcieliby otrzymywać, np. w celu zabezpieczenia się przed niekorzystnymi zmianami cen różnych papierów (walorów) wartościowych.

Inżynieria finansowa pokazuje, jak takie pożądane wypłaty można odtworzyć syntetycznie, konstruując odpowiedni portfel zbudowany z dostępnych na danym rynku finansowym płynnych papierów wartościowych. Podrozdział 1.1 kończymy, wprowadzając w precyzyjny sposób pojęcie *hedgingu*.

W podrozdziale 1.2 wyjaśniamy pojęcie **zbytecznego instrumentu finansowego** za pomocą znanej z algebry liniowej koncepcji liniowej niezależności wektorów. Znane w algebrze pojęcie rzędu macierzy (przypomniane w podrozdziale 1.3) pozwoliło nam zdefiniować pojęcie **rynku zupełnego** oraz **rynku niezupełnego**. Kolejny paragraf podaje pojęcie **portfela replikującego** również w języku macierzowo-wektorowym. Zarówno w tym rozdziale, jak i w całej pracy, prezentowane wywody ilustrujemy przykładami, komentarzami, faktami oraz definicjami.

Podrozdział 1.4 kończymy omówieniem **hedgingu doskonałego**. Aby dać do ręki czytelnikom sprawne narzędzie obliczania rzędu macierzy, w podrozdziale 1.5 przypomnamy metodę eliminacji Gaussa–Jordana, ilustrując ją przykładami. (Część czytelników, szczególnie tych, którzy są mniej zainteresowani biegłością obliczeniową, może w tym momencie przejść do rozdziału 2). Natomiast dla tych, którzy pragną do końca zrozumieć cały materiał wykładany w tym rozdziale, proponujemy przeczytać podrozdział 1.6 dotyczący pojęcia wyznacznika i sposobów jego obliczania, m.in. metodą **rozwinienia Laplace’a** według dowolnego wiersza lub kolumny. Całkowicie rozwiązane przykłady oraz zadania do rozwiązywania są dołączane sukcesywnie do kolejnych rozdziałów książki.

Bardziej zaawansowany materiał jest zaprezentowany w rozdziale 2, który rozpoczynamy od przedstawienia znanego z algebry liniowej pojęcia **bazy wektorów** w dowolnej m -wymiarowej przestrzeni wektorowej; przypomnamy, iż w naszym ujęciu wektory reprezentują papiery wartościowe. Na tym etapie mamy już 17 definicji i 13 faktów wspomagających naszą prezentację. Dotychczasowy materiał pozwala nam przejść w podrozdziale 2.2 do bardziej złożonego zagadnienia, którym jest **hedging na rynkach niezupełnych**.

Fakt 14 pokazuje nam, w jaki sposób należy zbudować portfel replikujący dany instrument finansowy, pożądany przez dane przedsiębiorstwo, aby np. zmniejszyć lub

wyeliminować ryzyko, przed którym stoi. W praktyce taki portfel buduje inżynier finansowy i sprzedaje go klientowi (firmie) zamawiającej ten instrument, chyba że firma (inwestor) sama potrafi to zrobić. Są 2 kryteria do oceny precyzji replikowania instrumentu finansowego. Jedno z nich to minimalizacja sumy kwadratów błędów powstałych przy tworzeniu repliki, a drugie kryterium to minimalizacja oczekiwanej sumy kwadratów błędów z uwzględnieniem prawdopodobieństw stanów rynku.

Kolejny, jeszcze bardziej złożony temat (**arbitraż typu I i typu II** lub inaczej mówiąc, **arbitraż typu A i B**) prezentujemy w podrozdziale 3.2, całkowicie przy użyciu macierzy i wektorów. Natomiast w podrozdziale 3.1 zwracamy uwagę na fakt, iż zarówno Wikipedia, jak i Investopedia podają zbytnio uproszczone definicje arbitrażu. Według wielu źródeł informacji³ arbitraż jest najczęściej stosowany w USA, nie tylko przez spółki giełdowe osłaniające się przed spadkami ich wartości na giełdzie, ale przede wszystkim na wielką skalę przez fundusze hedgingowe, których jest w USA około 7000.

Zgodnie z prawem mogą one inwestować we wszystkie instrumenty finansowe, osiągając zyski również w trakcie spadków na giełdzie dzięki wystawianiu i kupowaniu opcji oraz stosowaniu krótkiej sprzedaży. Największy fundusz inwestycyjny na świecie osiągnął w 2016 r. 42% zysku. Warto wiedzieć, że 70% aktywów globalnych funduszy hedgingowych znajduje się w USA (głównie w Nowym Jorku i stanie Connecticut), a 85% aktywów tego typu funduszy na terenie Europy jest zarządzane z Londynu.

Tabela poniżej zawiera lokalizację funduszy hedgingowych w Europie.

Kraj UE	Liczba funduszy hedgingowych	Kraj UE	Liczba funduszy hedgingowych
Wielka Brytania	408	Niemcy	43
Szwajcaria	241	Włochy	52
Szwecja	49	Luksemburg	20
Francja	38	Hiszpania	17
Holandia	52	Norwegia	14
Polska	0		

Źródło: <https://www.preqin.com/docs/reports/Preqin-Special-Report-Hedge-Funds-in-Europe-June-2017.pdf>

W tym miejscu należy odnotować, że w grudniu 2011 r. powstały w Polsce FASZ („fundusze absolutnej stopy zwrotu”), działające na podobnej zasadzie co fundusze hedgingowe, czyli mogą stosować dźwignię finansową, **krótką sprzedaż** oraz opcje finansowe.

W ostatnim podrozdziale (6.3) pokazujemy, jak na polskim rynku finansowym można przeprowadzać arbitraż typu B, mając dostępne na rynku OTC lub bezpośrednio na GPW opcje kupna i sprzedaży akcji KGHM. Warto dodać, że około 10 lat temu

³ <https://www.viem.pl/pl/twoje-finanse/fundusze-typu-hedge-fundusze-hedgingowe>

GPW w Warszawie oferowała opcje finansowe na akcje wybranych spółek giełdowych, m.in. na KGHM, Agory. Obecnie na GPW dostępne są tylko opcje kupna i sprzedaży na indeks WIG20.

Najdłuższy podrozdział (3.3) jest poświęcony metodologii przeprowadzania **niearbitrażowej wyceny** niewycenionych jeszcze przez rynek instrumentów finansowych, którą stosujemy, gdy dany rynek finansowy nie dopuszcza arbitrażu. Główną rolę odgrywa tu twierdzenie o arbitrażu (por. [1, s. 43]), które podaje warunki konieczne i wystarczające na to, aby rynek nie dopuszczał arbitrażu, jak również inne twierdzenie „o niearbitrażowej wycenie instrumentów finansowych” (por. [1, s. 47]). Dla ilustracji tych dwóch bardzo ważnych twierdzeń, rozwiązujemy dwa w miarę skomplikowane przykłady (20–22), zachęcając czytelnika do rozwiązania samodzielnie nietrywialnych zadań 3.6–3.10.

W podrozdziale 4.1 przedstawiamy zaawansowane pojęcie **prawdopodobieństw neutralnych względem ryzyka**, wyjaśniając, skąd się ono wzięło oraz zachęcamy do samodzielnego rozwiązania zadań 4.1–4.4, ugruntowujących wiedzę na ten temat. Z kolei w podrozdziale 4.2 rozwiązujemy najbardziej realistyczny w tej książce przykład rynku finansowego (23), odpowiadając na wiele praktycznych pytań, m.in., jak wycenić opcję na indeks. Rozumując w ten sam sposób, moglibyśmy wycenić każdy inny, nawet najbardziej skomplikowany instrument, np. opcję kupna na opcję sprzedaży lub opcję sprzedaży na opcję kupna.

Rozdział 4.3 zawiera najbardziej zaawansowany materiał, gdzie znajduje się alternatywny wzór na najlepszy **aproxymacyjny hedging**, który to wzór nie wymaga odwracania macierzy, dzięki temu pozwala unikać błędów wynikających z zaokrąglenia, gdy macierz jest odwracana „bliska” macierzy osobliwej. Materiał teoretyczno-praktyczny z rozdziałów 1–4 wzbogacają 24 w pełni rozwiązane przykłady oraz ponad 50 zadań do rozwiązania.

W podrozdziale 5.1 na przykładzie spółki KGHM, której kurs akcji spadł z poziomu 126,45 zł w kwietniu 2015 r. do 57,50 zł w styczniu 2016 r. i pozostawał mniej więcej na tak niskim poziomie aż do 15 maja 2016 r., kiedy to osiągnął poziom 60,31 zł, pokazujemy [7–8], jak łatwo można było zarobić kwoty równe tym spadkom, zakładając oczywiście, że rynek finansowy w Polsce oferuje takie podstawowe instrumenty finansowe, jak: bony skarbowe, opcje kupna i opcje sprzedaży akcji KGHM.

Pierwszy znaleziony przez nas portfel replikujący nie jest odpowiedni dla KGHM, tylko dla każdego innego inwestora, ponieważ wymaga utworzenia krótkiej pozycji na wszystkich akcjach KGHM. Nie zmienia to w niczym faktu, że istnieją portfele replikujące, które nie wymagają wchodzenia w krótką pozycję na akcje KGHM (jeden z nich przedstawiamy w ostatnim rozdziale 6). Wniosek 5 mówi nam o tym, że koszt takiego portfela wynosi –6 zł, a nawet może być jeszcze bardziej ujemny (–8,62 zł), jeśli będziemy replikować inny niż za pierwszym razem, ale również bardzo korzystny dla KGHM instrument finansowy, co pokazujemy w podrozdziale 5.1.1.

W podrozdziale 5.2 replikujemy z największą możliwą dokładnością dwa bardzo korzystne dla KGHM instrumenty finansowe za pomocą portfeli je osłaniających (*hedgingowych*), których ceny są też ujemne. Do wyceny tych portfeli stosujemy wzór Blacka–Scholesa, rozróżniając w podrozdziale 5.3 dwa przypadki. W jednym z nich

przyjmujemy, że zmienność cen akcji KGHM (w skali roku) wynosi 33%, a w drugim przypadku równa jest 20%. Rozróżnienie tych dwóch wielkości jest potrzebne, ponieważ zmienność cen akcji spółek giełdowych nie jest wielkością stałą, lecz zależy od otoczenia ekonomicznego danej spółki, które zmienia się w czasie. Przy wycenie portfeli replikujących korzystne dla KGHM instrumenty finansowe bierzemy dodatkowo pod uwagę znaczenie stopy dywidendy, która ma bezpośredni wpływ na wartość opcji kupna i sprzedaży akcji KGHM.

W ostatnim już rozdziale 6 znajdujemy również najlepszą replikę pożądanego przez KGHM instrumentu finansowego, ale najważniejszą zmianą tym razem jest to, iż portfel replikujący potencjalne spadki cen akcji KGHM nie wymaga wchodzenia w krótką pozycję w akcje KGHM. W podrozdziałach 6.1 oraz 6.2 pokazaliśmy ten fakt przy założeniu, iż akcje KGHM nie są jednym z **bazowych** instrumentów finansowych reprezentujących fragment polskiego rynku finansowego. Natomiast w podrozdziale 6.4 (Zakończenie) pokazaliśmy, że ten sam efekt można uzyskać również wtedy, gdy akcje KGHM są *bazowym* instrumentem finansowym.

Jak już wspomnieliśmy wcześniej, podrozdział 6.3 przedstawia, jak można przeprowadzać arbitraż typu B na polskim rynku finansowym.