

Jerzy A. Dzieża

Instrumenty pochodne - Zadania

27 marca 2011 roku

Rozdział 1

Wprowadzenie

1.1. Zadania

1. Spekulant zajął krótką pozycję w kontrakcie forward USD/PLN zapadającym za 2 miesiące o nominale 10 mln USD z ceną dostawy 3,11. Ile zyska/straci w dniu rozliczenia kontraktu jeśli cena spot wyniesie:
▷ 3,20
▷ 3,04
2. Zarządzający portfelem 100 akcji PZU SA chce osłonić się przed spadkiem kursu. Zajmuje długą pozycję w opcji sprzedaży z ceną realizacji 380 PLN i datą zapadalności za 3 miesiące. Dzisiejsza cena akcji PZU SA wynosi 392 PLN. 1 opcja jest na 1 akcję. Cena 1 opcji wynosi 29 PLN.
Jaka może być jego maksymalna strata zarządzającego na całym portfelu?
3. Spekulant zakłada wzrost ceny akcji XYZ SA. Bieżąca cena akcji spółki wynosi 57 PLN. Na akcje spółki kwotowane są również opcje kupna z ceną realizacji 60 PLN i datą zapadalności za 2 miesiące. 1 opcja jest na 1 akcję, a cena 1 opcji wynosi 5,7 PLN. Spekulant ma do zainwestowania 11,400 tys. PLN.
Rozważ 2 alternatywne inwestycje na rynku kasowym oraz na rynku opcji. Jaka są potencjalne straty/zyski w obu strategiach jeśli cena akcji za 2 miesiące
 - wzrośnie do 90 PLN
 - spadnie do 50 PLN.
4. Firma spodziewa się przelewu 5 mln CHF za 2 miesiące. Kurs walutowy CHF/PLN wynosi dzisiaj 3,0. Firma obawia się, że do dnia przelewu kurs CHF/PLN ulegnie deprecjacji. Firma wystawia walutowy kontrakt forward na 5 mln CHF z ceną dostawy 3,03 i datą zapadalności za 2 miesiące. Jak wygląda ekspozycja walutowa firmy po zawarciu kontraktu?

Rozdział 2

Kontrakty forward

2.1. Zadania

1. Cena akcji KGHM SA wynosi 123,50 PLN. Oblicz cenę forward 6-miesięcznego kontraktu, zakładając, że 6-miesięczna stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji prostej wynosi $r(1/2) = 4,76\%$. Akcja nie wypłaca w tym czasie dywidendy. Przyjmijmy kalendarz 30/360.
2. Cena akcji spółki nie płaćcej dywidendy wynosi dzisiaj 72 PLN. Na rynku kwotowane są też roczne kontrakty forward. Roczna stopa wolna od ryzyka wynosi 5% w kapitalizacji prostej. Inwestor zajmuje długą pozycję w kontrakcie forward.
 - a) Jaka jest cena forward oraz początkowa wartość kontraktu?
 - b) 4 miesiące później cena akcji wynosi 67,50 PLN. 8-miesięczna stopa wolna od ryzyka jest na poziomie 5%. Jaka jest cena forward oraz wartość długiej pozycji?
3. Cena akcji nie płaćcej dywidendy wynosi $S(0) = 43$ PLN. Cena forward rocznego kontraktu $F(0,1) = 44$ PLN. Stopa wolna od ryzyka $r = 5\%$. Krótka sprzedaż wymaga 65% depozytu zabezpieczającego, który jest oprocentowany w wysokości $d = 3\%$. Czy na rynku jest możliwy arbitraż? Jaka jest najniższa wartość oprocentowania depozytu d dla której jest możliwy arbitraż na takim rynku?
4. Na giełdzie notowana jest spółka ABC SA. Cena akcji spółki dzisiaj wynosi $S(0) = 98$ PLN. Spółka wypłaci dywidendę w wysokości 1,80 PLN na akcję za 2 miesiące oraz 1,50 PLN na akcję za 7 miesięcy. Na rynku kwotowany jest też 8-miesięczny kontrakt forward na akcję spółki ABC SA. Stopa wolna od ryzyka (w kapitalizacji ciągłej) wynosi 4% dla okresu 6 miesięcy,

a powyżej 6 miesięcy 4,5%. Jaka jest teoretyczna cena forward takiego kontraktu?

5. Akcja spółki nie płaćcej dywidendy jest notowana po 93 PLN. Spółka wypłaci dywidendę za 5 miesięcy w wysokości 2 PLN. Na rynku jest kwotowany 8 miesięczny kontrakt forward $F_m(0, \frac{8}{12}) = 99$ PLN. Stopa procentowa wolna od ryzyka wynosi 4%. Jednak drobny inwestor może lokować środki pieniężne na 3,8%, a pożyczać po 7%. Czy istnieje dla niego możliwość arbitrażu na takim rynku?
6. Akcje spółki XYZ wypłacą dywidendę w wysokości 2,50 PLN na akcję za 2 oraz za 5 miesięcy. Bieżąca cena akcji wynosi 84,50 PLN, stopa procentowa wolna od ryzyka jest stała i wynosi 6% (30/360, kapitalizacja ciągła). Inwestor zajął krótką pozycję w 6-miesięcznym kontrakcie forward na 100 akcji firmy XYZ.
Jaka jest cena tego kontraktu?
Jaka będzie wartość kontraktu za 3 miesiące, jeśli cena akcji spadnie do 82,0 PLN, a stopa procentowa wolna od ryzyka nie ulegnie zmianie?
7. Na rynku jest kwotowana obligacja o stałym oprocentowaniu, które wynosi 6% p.a., a kupony wypłacane są co pół roku. Obligacja zapada za 4,75 roku. Cena czysta obligacji $P_c = 94,20$ PLN. Na rynku kwotowany jest też roczny kontrakt forward na tą obligację $F(0, T) = 93,0$ PLN.
Czy istnieje możliwość arbitrażu na tym rynku, jeśli stopy spot $r(1/4) = 5\%$, $r(3/4) = 5,5\%$ oraz $r(1) = 5,5\%$ (kapitalizacja ciągła)? Jeśli tak, to skonstruuj odpowiednią strategię arbitrażową.
8. Na rynku jest kwotowana obligacja o stałym oprocentowaniu, która zapada za 7 lat i 2 miesiące. Obligacja ma oprocentowanie 6% p.a., a kupony wypłaca co pół roku. Cena czysta obligacji $P_c = 94,20$ PLN. Inwestor wystawił kilka dni temu kontrakt forward na obligację za 92,70. Do zapadalności kontraktu pozostało 9 miesięcy.
Jaka jest wartość pozycji inwestora, jeśli stopy spot wynoszą odpowiednio $r(2/12) = 5\%$, $r(8/12) = 5,5\%$ oraz $r(9/12) = 5,6\%$ w kapitalizacji ciągłej? Wielkość kontraktu wynosi 1000 obligacji.
9. Załóżmy, że kurs spot EUR/USD wynosi 1,42. Depozyty na okres 1 roku wynoszą 3,75% dla EUR oraz 2,25% dla USD (w kapitalizacji prostej). Jaka jest cena rocznego kontraktu forward?
10. Na rynku kwotowane są instrumenty:
▷ kurs spot CHF/PLN: 2,8720/2,8740

- ▷ 3M PLN depozyty/pożyczki: 4,20%/4,30%
 ▷ 3M CHF depozyty/pożyczki: 0,80%/0,85%
 (wszystkie kwotowania na bazie 30/360).
 Wyznacz kwotowanie 3-miesięcznego kontraktu forward CHF/PLN (podaj cenę bid/ask)?
11. W dniu 25 marca 2010 bank kwotował instrumenty:
- ▷ 3M PLN depozyty/pożyczki: 4,15%/4,35%
 ▷ 6M PLN depozyty/pożyczki: 4,60%/4,80%
 (wszystkie kwotowania na bazie ACT/365).
 Wyznacz kwotowanie kontraktu FRA3x6 W obliczeniach przyjmij, okres 3-miesięczny ma 92 dni, a 6M ma 183 dni.
12. Na rynku mamy podane ceny następujących instrumentów:
- ▷ kontraktu FRA3x9 = 6%
 ▷ bonu skarbowego 3M: $B(0, \frac{3}{12}) = 97,59$
 ▷ bonu skarbowego 9M: $B(0, \frac{9}{12}) = 95,35$.
 Skonstruuj strategię arbitrażową.
13. Długa pozycja w kontrakcie FRA6x9 płaci 5,15% od nominału $N = 20$ mln PLN. Jaka jest kwota rozliczenia kontraktu, jeśli w dniu rozliczenia stopa 3M WIBOR wynosi 4,85%. Przyjmij kalendarz 30/360.
14. Na rynku mamy kwotowanie następujących instrumentów finansowych:
- ▷ 3 miesięczny depozyt (91 dni) po stopie 4,1%
 ▷ kontrakt FRA3x6 (92 dni) po stopie 4,5%
 ▷ kontrakt FRA6x9 (90 dni) po stopie 5,3%
 ▷ kontrakt FRA9x12 (90 dni) po stopie 6,4%
 Jaka jest wysokość rocznej stopy procentowej. Przyjmij bazę ACT/360.
15. Dane są dwie obligacje o stałym oprocentowaniu:

	oprocentowanie	termin zapadalności	cena czysta
OS1	5,0%	5/12	99,46
OS2	6,0%	8/12	100,37

kupony płatne co rok, $m=1$.

Kwotowanie kontraktu FRA5x8 wynosi 5,25%. Skonstruuj strategię arbitrażową.

16. Dane są dwie obligacje o stałym oprocentowaniu o parametrach takich jak w zadaniu 15 ale teraz kupony są wypłacane co pół roku, $m=2$.
Oprocentowanie 2M lokat wynosi 4,75%.
Kwotowanie kontraktu FRA5x8 wynosi 5,25%. Skonstruuj strategię arbitrażową.
17. Na rynku mamy następujące kwotowania obligacji:
▷ 0-kuponowej zapadającej za 3 miesiące, $B(0, \frac{3}{12}) = 99,10$
▷ o stałym oprocentowaniu $c=4\%$, kuponie płatnym raz w roku, zapadającej za 1,25 roku, $P_c(0, 15/12)=100,80$.
Wyznacz wysokość stopy forward $f(\frac{3}{12}, \frac{15}{12})$ w kapitalizacji złożonej.
18. Dwa miesiące temu sprzedaliśmy kontrakt FRA6x9 o nominale $L = 30$ mln PLN ze stopą $R_{FRA} = 5,30\%$. W chwili obecnej kontrakt FRA4x7 ma kwotowanie 5,45%/5,55%, a 4M WIBOR wynosi 5,20%. Jaka jest wartość naszego kontraktu dzisiaj?

Rozdział 3

Kontrakty futures

3.1. Zadania

1. Cena akcji PKO BP SA wynosi 48,60 PLN. Wyznacz cenę futures 9-miesięcznego kontraktu, zakładając, że 9-miesięczna stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji prostej $r(3/4) = 4,30\%$. Przyjmij kalendarz 30/360.
2. Wartość indeksu WIG20 wynosi dzisiaj 2 458 punktów. Jaka jest teoretyczna cena kontraktu futures na WIG20 jeśli kontrakt zapada za 4 miesiące, stopa wolna od ryzyka wynosi 3,8% a stopa dywidendy 0,6% (w kapitalizacji prostej).
3. Indeks giełdowy jest notowany na poziomie 2 137 punktów. Na rynku są również notowane 9-miesięczne kontrakty futures które mają cenę 2 162 punkty. 9-miesięczna stopa wolna od ryzyka wynosi 4,2%, a stopa dywidendy 0,3%. Skonstruuj strategię arbitrażową.
4. Cena futures kontraktu na indeks WIG20 wynosi 2372 punkty. Wyznacz wartość wstępnego depozytu zabezpieczającego WDW, jeśli minimalny depozyt zabezpieczający MDZ jest na poziomie 5%, a biuro maklerskie w którym mamy rachunek ustala WDW na poziomie 140% MDZ.
5. Cena futures kontraktu na kurs EUR/PLN notowanego GPW w Warszawie wynosi 402,30 PLN na koniec notowań w poniedziałek. Przypominamy, że notowania walutowych kontraktów futures na GPW są podawane za 100 jednostek waluty kwotowanej, a wielkość kontraktu to 10 tys. jednostek. Inwestor zajmuje krótką pozycję w kontrakcie EUR/PLN. Wstępny depozyt zabezpieczający WDW wyznaczony jest na poziomie 120% MDZ, przy czym MDZ jest na poziomie 3,2%.
Wyznacz
 - a) wartość wstępnego depozytu zabezpieczającego WDW
 - b) wielkość dźwigni

- c) zmiany wartości depozytu zabezpieczającego WDW rachunku inwestora, jeśli w kolejnych dniach cena zamknięcia była:

wtorek	399,78
środa	401,27
czwartek	404,81
piątek	407,16

Czy inwestor był wzywany do uzupełniania depozytu?

6. Inwestor zajął krótką pozycję w kontrakcie CHF/PLN na GPW w Warszawie po 296,87¹. Inwestor wniósł wstępny depozyt zabezpieczający w wysokości 1140 PLN. Minimalny depozyt zabezpieczający wynosi 950 PLN. Biuro maklerskie, w którym inwestor ma rachunek, ustaliło wstępny depozyt zabezpieczający WDW na poziomie 120% MDZ. Jak musiałby zmienić się cena futures kontraktu CHF/PLN, aby inwestor został wezwany do uzupełnienia depozytu?
7. Załóżmy, że odchylenie standardowe miesięcznych zmian cen pszenicy wynosi 37 PLN, natomiast odchylenie standardowe miesięcznych zmian kontraktu futures na pszenicę wynosi 61 PLN. Współczynnik korelacji pomiędzy tymi zmianami wynosi 0,7. Jakie jest optymalny współczynnik zabezpieczenia dla 4-miesięcznych kontraktów futures?
8. Firma chciała by zabezpieczyć w chwili t_1 ekspozycję walutową kontraktami futures, które zapadają w chwili T , $t_1 < T$. Stopa procentowa waluty krajowej wynosi r , a stopa waluty zagranicznej q . Stopy r oraz q są stałe. Pokaż, że optymalny współczynnik zabezpieczenia wynosi

$$e^{-(r-q)(T-t_1)}$$

¹ Przypominamy, że nominal walutowego kontraktu futures na GPW wynosi 10 tys. jednostek waluty zagranicznej. Kwotowania są podawane za 100 jednostek waluty zagranicznej.

Rozdział 4

Swapy

4.1. Zadania

1. Na rynku mamy kwotowaną 4-letnią obligację FRN, której oprocentowanie oparte jest o 12M WIBOR + marża. Marża wynosi 70 punktów bazowych. 12 miesięczny WIBOR wynosi 4,30%, a 2-, 3-, 4-letnie stopy spot wynoszą odpowiednio 4,70%, 5,00%, 5,35%. Jaka jest cena obligacji FRN?
2. Firma A może wziąć pożyczkę na stopę zmienną 12M WIBOR+1,6% lub na stopę stałą 7,4%. Dla firmy B te stopy wynoszą 12M WIBOR-0,1% oraz 6,9% odpowiednio. Obie firmy chcą pożyczyć 20 mln PLN 5 lat. A chce pożyczkę ze zmienną stopą zaś B chce pożyczkę na stałą stopę.
 - ▷ Zaproponuj kontrakt swap dzięki któremu firmy A i B skorzystają tyle samo na stopach procentowych.
 - ▷ Jakie będą zyski obu firm w punktach procentowych?
3. Firma A może wziąć pożyczkę na stopę zmienną 12M WIBOR+1,6% lub na stopę stałą 7,4%. Dla firmy B te stopy wynoszą 12M WIBOR-0,1% oraz 6,9% odpowiednio. Obie firmy chcą pożyczyć 20 mln PLN 5 lat. A chce pożyczkę ze zmienną stopą zaś B chce pożyczkę na stałą stopę. Firmy zawarły kontrakt IRS:
 - A płaci B stopę 12M WIBOR
 - A otrzymuje od B stopę 6,4%Po 5 latach okazało się, że historia 12M stopy WIBOR była następująca: 6,2% w dniu zawarcia swapu, a potem 6,7%, 7,9%, 7,1%, 7,7%, 6,8% co 12 miesięcy. Jakie będą przepływy pieniężne wynikające z kontraktu IRS między A i B po 12 miesiącach? Kto komu zapłaci i ile po 24 miesiącach?

4. Firma A chce pożyczyć 10 milionów PLN na 3 lata na stopę stałą, a firma B taką samą kwotę na stopę zmienną (opartą o 6-miesięczny WIBOR). Firmy uzyskały następujące oferty oprocentowania pożyczek:

	stałe oprocentowanie	zmienne oprocentowanie
Firma A	7,9%	6M WIBOR + 2,1%
Firma B	6,5%	6M WIBOR + 1,7%

Zaprojektuj kontrakt swap, który będzie:

- ★ jednakowo atrakcyjny dla obu firm
 - ★ jednakowo atrakcyjny dla obu firm, jeśli dodatkowo w transakcji będzie uczestniczył bank, który zarobi na pośrednictwie 10 punktów bazowych.
5. Kontrakt IRS o nominale 50 mln PLN ma do zapadalności 11 miesięcy. W kontrakcie 6M WIBOR jest zamieniany na stopę stałą 10,3% p.a. (w kapitalizacji półrocznej). Wszystkie kontrakty IRS kwotowane na rynku, w których 6M WIBOR jest wymieniany na stopę stałą, mają stopę swap 9% p.a. (w kapitalizacji ciągłej). Miesiąc temu 6M WIBOR był równy 9,2% p.a.
- Jaka jest bieżąca wartość kontraktu IRS dla strony, która płaci
- ▷ stałą stopę?
 - ▷ zmienną stopę?
6. Firma A oraz firma B mają aktywa finansowe w wysokości 20 mln PLN. Firmy uzyskały z banku następujące oferty oprocentowania lokat:

	stałe oprocentowanie	zmienne oprocentowanie
Firma A	5,1%	6M WIBOR
Firma B	6,5%	6M WIBOR

Firma A chciałaby mieć przychody oparte o stałe oprocentowanie aktywów finansowych, a firma B – zmienne oprocentowanie.

Zaprojektuj kontrakt IRS, jeśli pośrednicząca instytucja finansowa chce zarobić 0,2%, a kontrakt IRS będzie jednakowo atrakcyjny dla obu firm.

7. Na rynku mamy następujące kwotowania:
- ▷ kontraktu FRA6x12: $R_{FRA} = 4,50\%$
 - ▷ stopy 6M WIBOR: $L(0, 1/2) = 5,75\%$
 - ▷ kontraktu IRS zapadającego za rok, $R_{IRS} = 5,0\%$, o płatnościach co pół

roku.

Czy istnieje możliwość arbitrażu?

8. Firma A spłaca pożyczkę w wysokości 20 mln PLN. Pożyczka jest na stopę zmienną 6M WIBOR. Odsetki są płacone co 6 miesięcy, a kapitał jest spłacany w ratach raz na rok (5 płatności po 4 mln PLN). Firma chce zawrzeć kontrakt IRS by płacić stopę stałą. Na rynku kwotowane są następujące kontrakty IRS (noga zmienna oparta jest o 6M WIBOR)

zapadalność	kupno	sprzedaż
1	4,95%	5,15%
2	5,12%	5,32%
3	5,47%	5,67%
4	5,93%	6,13%
5	6,27%	6,47%

Zaprojektuj kontrakt IRS, który jest potrzebny firmie. Przedstaw harmonogram płatności netto firmy po zawarciu kontraktu.

9. Instytucja finansowa ma krótką pozycję w kontrakcie IRS z firmą B. Płaci zmienne oprocentowanie oparte o 6M WIBOR, otrzymuje stałe 7,20% p.a. od nominału kontraktu $N = 50$ mln PLN przez 3 lata (płatności co pół roku).

Założmy, że w dniu drugiej płatności (koniec 1 roku) firma B bankrutuje. W tym momencie, kontrakty IRS kwotowane na rynku o dowolnym czasie zapadalności mają stopę swap na poziomie 5,90%.

Jaki jest koszt bankructwa firmy A dla instytucji finansowej? Założmy, że stopa 6M WIBOR po pół roku od zawarcia kontraktu IRS (pół roku przed bankructwem B) wynosiła 4,30.%

10. Firma A chce pożyczyć 30 milionów PLN na 4 lata na stopę stałą, a firma B 10 mln CHF na 4 lata też na stopę stałą. Kurs walutowy spot CHF/PLN wynosi 3,0. Firmy uzyskały następujące oferty:

	CHF	PLN
Firma A	2,9%	6,7%
Firma B	1,4%	6,5%

Zaprojektuj kontrakt CCIRS, który będzie:

▷ jednakowo atrakcyjny dla obu firm

- ▷ jednakowo atrakcyjny dla obu firm, jeśli dodatkowo w transakcji będzie uczestniczył bank, który zarobi na pośrednictwie 20 punktów bazowych.

11. Firma A chce pożyczyć 100 mln PLN na 5 lat na stopę zmienną (opartą o 6-miesięczny WIBOR), a firma B 25 mln EUR na stopę stałą. Kurs EUR/PLN wynosi 4,00.

Firmy uzyskały następujące oferty:

	EUR	PLN
Firma A	4,9%	6M WIBOR + 1,9%
Firma B	2,7%	6M WIBOR + 1,5%

Firma A chce pożyczkę w EUR po stałej stopie, a firma B chce pożyczkę w PLN po stopie zmiennej.

Zaprojektuj kontrakt CCIRS, który będzie:

- ▷ jednakowo atrakcyjny dla obu firm
 ▷ jednakowo atrakcyjny dla obu firm, jeśli dodatkowo w transakcji będzie uczestniczył bank, który zarobi na pośrednictwie 20 punktów bazowych.

12. Kontrakt CCIRS zapada za 2 lata i 3 miesiące. W kontrakcie następuje wymiana stopy stałej 4% od nominału 20 mln EUR na stopę stałą 7% od nominału 70 mln PLN. Struktura terminowa stopy procentowej EUR oraz PLN jest obecnie płaska i wynosi odpowiednio 3% oraz 5%. Bieżący kurs walutowy EUR/PLN wynosi 4,10. Jaka jest bieżąca wartość kontraktu CCIRS dla strony, która

- płaci EUR?
- płaci PLN?

13. Dzisiaj firmy A i B negocjują dwuletni kontrakt CCIRS. Płatności odsetkowe będą dokonywane raz do roku. A ma płacić 5% od kwoty 10 mln EUR w zamian za odsetki od kwoty 40 mln PLN. Płatności dokonywane są co rok. Zakładamy, że struktura czasowa stopy swap jest płaska zarówno dla PLN oraz dla EUR i wynosi 5,8% oraz 3,2% odpowiednio. Kurs walutowy EUR/PLN wynosi 4,0.

Jaki powinien być poziom stopy procentowej PLN aby wartość kontraktu miała wartość zero?

14. Załóżmy, że firmy zawarły kontrakt CCIRS dla wyznaczonej stopy PLN w zad. 13. Po upływie 6 miesięcy od daty zawarcia kontraktu CCIRS, oblicz wartość kontraktu jeśli

- i) nie zmienił się: kurs walutowy, stopa swap dla PLN ani dla EUR

- ii) kurs EUR/PLN spadł do 3,60, stopy swap się nie zmieniły
- iii) stopa swap dla PLN spadła do 5,2%, stopa swap dla EUR oraz kurs walutowy są takie same jak w dniu zawarcia kontraktu
- iv) stopa swap dla EUR spadła do 3,0%, stopa swap dla PLN oraz kurs walutowy są takie same jak w dniu zawarcia kontraktu

Określ jaki czynnik miał największy wpływ na zmianę wartości kontraktu CCIRS?

15. Instytucja finansowa ma pozycję w 7-letnim kontrakcie CCIRS z firmą A. Płaci stałe oprocentowanie 5,80% w PLN i otrzymuje stałe 3,20% w EUR. Wymiana płatności odsetkowych następuje raz w roku. Nominał kontraktu to 10 mln EUR i 35 mln PLN. Załóżmy, że w dniu czwartej płatności (koniec 4. roku) firma A bankrutuje. W tym momencie, kontrakty CCIRS EUR/PLN kwotowane na rynku o czasie zapadalności 3 lata wymieniają płatności odsetkowe na poziomie 3,20% EUR oraz 5,80% PLN. W tym dniu, cena EUR/PLN wynosi 4,00. Jaki jest koszt bankructwa firmy A dla instytucji finansowej?

Rozdział 5

Podstawowe własności opcji

5.1. Zadania

1. Na rynku jest kwotowana akcja, która nie płaci dywidendy. Europejska opcja sprzedaży na akcje spółki z ceną realizacji 85 PLN i terminem zapadalności za 9 miesięcy kosztuje 17 PLN.
Po 9 miesiącach okazało się, że nabywca opcji zrealizował zysk w wysokości 7,2 PLN. Jaka była cena akcji w dniu wygaśnięcia opcji jeśli 9-miesięczna stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji prostej wynosiła 4,0%?
2. Inwestor wystawił opcję sprzedaży na WIG20 z ceną realizacji 2600 punktów, którą trzyma do wygaśnięcia za 5 miesięcy. Inwestor za wystawioną opcję otrzymał 370 PLN.¹ W dniu wygaśnięcia okazuje się, że inwestor ma stratę w wysokości 210 PLN. Jaka jest wartość indeksu WIG20 w dniu wygaśnięcia, jeśli 5-miesięczna stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji ciągłej wynosi 4,0%?
3. Cena akcji spółki XYZ wynosi 100 PLN. Europejska opcja call na akcje spółki XYZ z ceną realizacji 120 PLN i terminem zapadalności za 6 miesięcy kosztuje 30 PLN.
Jeśli 6-miesięczna stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji prostej wynosi 5% to jaka jest cena europejskiej opcji put na akcję spółki XYZ z ceną realizacji 120 PLN i terminem zapadalności za 6 miesięcy?
4. Na giełdzie mamy kwotowane akcje spółki XYZ. Spółka nie wypłaca dywidendy przez najbliższy rok. Na rynku mamy też kwotowany 7-miesięczny kontrakt forward na akcje tej spółki $F_m(0, T) = 73,50$ PLN. Kwotowane są również 7-miesięczne europejskie opcje:
▷ kupna $C(0) = 6,20$ PLN z ceną realizacji $K = 75$ PLN

¹ Przypominamy, że cena opcji na WIG20 jest kwotowana w punktach; 1 punkt = 10 PLN.

▷ sprzedaży $P(0) = 9,70$ PLN z ceną realizacji $K = 75$ PLN.

7-miesięczna stopa wolna od ryzyka $r(7/12) = 5\%$.

Czy istnieje możliwość arbitrażu? Jeśli tak to skonstruuj strategię arbitrażową.

5. Cena akcji wynosi 73 PLN. Akcja wypłaci dywidendę $div_1 = 1,1$ PLN za 1 miesiąc oraz kolejną dywidendę $div_2 = 1,2$ PLN za 7 miesięcy. Na rynku notowane są europejskie opcje:

▷ sprzedaży po 3,27 PLN

▷ kupna po 7,45 PLN

Obie opcje mają taką samą cenę realizacji 70 PLN i zapadają za 10 miesięcy.

Czy istnieje możliwość arbitrażu na takim rynku, jeśli stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji ciągłej jest stała i wynosi 4%.

6. Wartość indeksu WIG20 wynosi 2 541 punktów. Na rynku są kwotowane europejskie opcje kupna i sprzedaży na WIG20 z ceną realizacji 2 600 punktów i datą zapadalności za 2 miesiące. Ceny opcji wynoszą $C(0) = 8$ punktów oraz $P(0) = 71$ punktów. Stopa dywidendy indeksu $q = 0,3\%$, a stopa wolna od ryzyka jest stała i wynosi $r = 5\%$. Skonstruuj strategię arbitrażową.

7. Udowodnij parytet kupna-sprzedaży dla dowolnej chwili $t < T$

$$C(t) - P(t) = S(t) - K \cdot DF(t, T)$$

gdzie $DF(t, T) = \frac{1}{1+r \cdot T}$ jest czynnikiem dyskontowym w chwili T dla horyzontu czasu $T - t$.

8. Udowodnij parytet kupna-sprzedaży dla instrumentu bazowego płacącego dywidendę w chwilach $t_1, \dots, t_M \in (t, T)$ odpowiednio w wysokości $div_1, \dots, div_M$:

$$C(t) - P(t) = S(t) - div_t - K \cdot DF(t, T)$$

gdzie $div_t = \sum_{i=1}^M DF(t, t_i) div_i$, $DF(t, t_i) = e^{-r \cdot (t_i - t)}$.

9. Pokaż, że parytet kupna-sprzedaży nie zachodzi dla opcji amerykańskich, tylko oszacowania

$$S(t) - K \leq C^a(t) - P^a(t) \leq S(t) - K \cdot DF(t, T)$$

gdzie $DF(t, T) = \frac{1}{1+r \cdot T}$.

10. Cena akcji wynosi 37 PLN. Akcja nie płaci dywidendy. Jakie jest dolne ograniczenie na cenę europejskiej opcji sprzedaży akcji z ceną realizacji 40 PLN i datą zapadalności za 4 miesiące, jeśli stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji prostej wynosi 5%?
11. Cena akcji wynosi 65 PLN. Akcja wypłaci dywidendę w wysokości 2,30 PLN za 4 miesiące. Jakie jest dolne ograniczenie na cenę europejskiej opcji kupna z ceną realizacji 60 PLN i datą zapadalności za 7 miesięcy, jeśli stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji prostej wynosi 4%?
12. Cena akcji wynosi 31 PLN. Akcja nie wypłaca dywidendy. Jakie jest dolne ograniczenie na cenę amerykańskiej opcji sprzedaży z ceną realizacji 33 PLN i datą zapadalności za 8 miesięcy? Stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji prostej wynosi 5%.
13. Cena akcji wynosi 92 PLN. Akcja wypłaci dywidendę w wysokości 4,10 PLN za 5 miesięcy. Jakie jest dolne ograniczenie na cenę amerykańskiej opcji kupna z ceną realizacji 90 PLN i datą zapadalności za 8 miesięcy? Stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji prostej wynosi 5%.
14. Wartość indeksu WIG20 wynosi $S(0) = 2479$ punktów. Stopa dywidendy indeksu $q = 0,3\%$, a stopa procentowa wolna od ryzyka $r = 4\%$; obie stopy w kapitalizacji ciągłej. Jakie jest dolne ograniczenie na cenę europejskiej opcji sprzedaży z ceną realizacji 2500 zapadającej za 9 miesięcy?
15. Uzasadnij, że dla amerykańskiej opcji sprzedaży nie musi zachodzić

$$P^a(t) \leq K \cdot DF(t, T)$$

przy czym $DF(t, T)$ jest czynnikiem dyskontowym w chwili t dla horyzontu czasu $T - t$.

16. Cena akcji wynosi 78 PLN. Akcja nie płaci dywidendy. Na rynku notowana są opcje kupna po 3,45 PLN z ceną realizacji 75 PLN i datą zapadalności za 5 miesięcy. Czy istnieje możliwość arbitrażu na takim rynku jeśli stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji prostej wynosi 4%.
17. Cena akcji wynosi 61 PLN. Akcja wypłaci dywidendę $div_1 = 1,1$ PLN za 1 miesiąc oraz kolejną dywidendę $div_2 = 1,2$ PLN za 7 miesięcy. Na rynku notowana są opcje kupna po 3,45 PLN z ceną realizacji 55 PLN i datą zapadalności za 8 miesięcy.
Czy istnieje możliwość arbitrażu na takim rynku, jeśli stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji ciągłej wynosi 5%.

18. Cena akcji wynosi 53 PLN. Akcja wypłaci dywidendę $div_1 = 1,1$ PLN za 1 miesiąc oraz kolejną dywidendę $div_2 = 1,2$ PLN za 7 miesięcy. Na rynku notowana są europejskie opcje sprzedaży po 3,65 PLN z ceną realizacji 58 PLN i datą zapadalności za 10 miesięcy.
Czy istnieje możliwość arbitrażu na takim rynku, jeśli stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji ciągłej wynosi 5%.
19. Pokaż, że cena europejskiej opcji sprzedaży jest rosnącą funkcją jej ceny realizacji.
20. Pokaż, że funkcja ceny europejskiej opcji sprzedaży ze względu na jej cenę realizacji spełnia warunek Lipschitza ze stałą $e^{-rT} < 1$.
21. Cena akcji wynosi 87 PLN. Akcja nie płaci dywidendy. Cena europejskiej opcji kupna, z ceną realizacji 80 PLN i czasem zapadalności za 7 miesięcy, wynosi 12,30 PLN. Wyznacz wartość
- wewnętrzną opcji
 - czasową opcji
22. Cena akcji wynosi 87 PLN. Akcja nie płaci dywidendy. Cena europejskiej opcji sprzedaży, z ceną realizacji 80 PLN i czasem zapadalności za 7 miesięcy, wynosi 3,90 PLN. Wyznacz wartość
- wewnętrzną opcji
 - czasową opcji
23. Pokaż, że wartość czasowa opcji sprzedaży z ceną realizacji K osiąga maksimum gdy opcja jest po cenie, czyli dla $S(t) = K$.
24. Rozważmy rodzinę opcji kupna na akcję która nie wypłaca dywidendy. Każda opcja ma ten sam czas zapadalności, ale inne ceny realizacji K_i $i = 1, 2, 3$. Pokaż, że jeśli ceny realizacji spełniają zależność $K_1 < K_2 < K_3$ to pomiędzy cenami opcji zachodzi

$$C(K_2) \leq \left(\frac{K_3 - K_2}{K_3 - K_1} \right) C(K_1) + \left(\frac{K_2 - K_1}{K_3 - K_1} \right) C(K_3)$$

Rozdział 6

Wycena opcji w modelu dwumianowym

6.1. Zadania

1. Na rynku jest notowana akcja nie płaćca dywidendy $S(0) = 43$ PLN. Cena akcji po 2 miesiącach może wzrosnąć o 10% lub spaść o 10%. Inwestor wystawił opcję kupna na akcję z ceną realizacji $K = 40$ PLN i datą zapadalności 2 miesiące. Jaką pozycję powinien zająć inwestor na rynku spot, aby zabezpieczyć się przed ryzykiem wzrostu ceny akcji? Stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji prostej w okresie wynosi 4%.
2. Na rynku jest notowana akcja nie płaćca dywidendy $S(0) = 22$ PLN. Cena akcji po 3 miesiącach może wzrosnąć o 13% lub spaść o 14%. Inwestor wystawił opcję sprzedaży na akcję z ceną realizacji $K = 25$ PLN i datą zapadalności 3 miesiące. Jaką pozycję powinien zająć inwestor na rynku spot, aby zabezpieczyć się przed ryzykiem spadku ceny akcji? Stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji prostej w okresie wynosi 4%.
3. Bieżąca cena akcji wynosi 60 PLN. Po upływie miesiąca cena może wzrosnąć do 63 PLN lub spaść do 57 PLN. Stopa wolna od ryzyka w okresie wynosi 4% (kapitalizacja prosta). Jaka jest cena miesięcznej europejskiej opcji kupna z ceną realizacji 59 PLN? Wyznacz portfel replikujący opcję kupna.
4. Bieżąca cena akcji wynosi 20 PLN. Po upływie 6 miesięcy cena może wzrosnąć do 24 PLN lub spaść do 16 PLN. Stopa wolna od ryzyka w okresie wynosi 4% (kapitalizacja prosta). Jaka jest cena europejskiej opcji sprzedaży z ceną realizacji 21 PLN i datą zapadalności za 6 miesięcy? Wyznacz portfel replikujący opcję sprzedaży.

5. Bieżąca cena akcji wynosi 32 PLN. W ciągu najbliższych dwóch 3 miesięcznych okresów, cena może wzrosnąć o 10% lub spaść o 10% w każdym okresie. Stopa wolna od ryzyka w okresie wynosi 5% (kapitalizacja prosta). Jaka jest cena 6-miesięcznej europejskiej opcji kupna z ceną realizacji 33 PLN?
6. Bieżąca cena akcji wynosi 90 PLN. W ciągu najbliższych dwóch 3-miesięcznych okresów cena akcji może wzrosnąć o 7% lub spaść o 8% w każdym. Stopa wolna od ryzyka w okresie wynosi 5% (kapitalizacja prosta). Jaka jest cena europejskiej opcji sprzedaży z ceną realizacji 92 PLN?
7. Mamy notowania na rynku takie jak w zad. 6. Wyznacz cenę europejskiej opcji kupna z parytetu kupna-sprzedaży.
8. Bieżąca cena akcji wynosi 84 PLN. W ciągu najbliższych dwóch 3-miesięcznych okresów cena akcji może wzrosnąć o 5% lub spaść o 6% w każdym. Stopa wolna od ryzyka w okresie wynosi 4% (kapitalizacja prosta). Wyznacz portfel replikujący opcję sprzedaży z ceną realizacji 85 PLN i zapadającą za 6 miesięcy w dwóch krokach drzewa dwumianowego.
9. Wyceń europejską opcję sprzedaży w 2 krokach w modelu dwumianowym przy następujących założeniach:
 - ▷ bieżąca cena akcji wynosi $S(0) = 92$,
 - ▷ stopa wzrostu $U = 0,25$, stopa spadku $D = -0,22$,
 - ▷ czas życia opcji wynosi 6 miesięcy,
 - ▷ stopa wolna od ryzyka w okresie w kapitalizacji prostej wynosi 4%,
 - ▷ cena wykonania opcji $K = 100$
10. Mamy notowania na rynku takie jak w zad. 9. Wyznacz cenę amerykańskiej opcji sprzedaży w 2 krokach w modelu dwumianowym.
11. Mamy notowania na rynku takie jak w zad. 9. Wyznacz portfel replikujący
 - europejską opcję sprzedaży
 - amerykańską opcję sprzedażyw 2 krokach w modelu dwumianowym.
12. Wyceń europejską opcję kupna akcji w 3 krokach w modelu dwumianowym przy następujących założeniach:
 - ▷ bieżąca cena akcji wynosi $S(0) = 100$,
 - ▷ stopa wzrostu $U = 0,2$, stopa spadku $D = -0,2$,
 - ▷ czas życia opcji wynosi 9 miesięcy,
 - ▷ stopa wolna od ryzyka w okresie wynosi
 - ★ dla 3 miesięcy 4%

- ★ dla 6 miesięcy 5%
- ★ dla 9 miesięcy 6%
- ▷ cena wykonania opcji $K = 110$

13. Cena akcji nie płaćącej dywidendy wynosi $S(0) = 20$ PLN. Po upływie 6 miesięcy cena może wzrosnąć do 25 PLN lub spaść do 15 PLN. Stopa wolna od ryzyka wynosi 4% (kapitalizacja złożona). Jaka jest cena europejskiej opcji, która ma funkcję wypłaty

$$H(S(T)) = \max(S^2(T) - 300; 0),$$

gdzie $S(T)$ jest ceną akcji po upływie 6 miesięcy.

14. Mamy parametry rynku jak w zad. 13. Wyznacz portfel replikujący opcję, która ma funkcję wypłaty

$$H(S(T)) = \max(S^2(T) - 300; 0),$$

gdzie $S(T)$ jest ceną akcji po upływie 6 miesięcy.

15. Bieżąca wartość indeksu WIG20 wynosi 2400 punktów. W ciągu najbliższych trzech 1-miesięcznych okresów wartość indeksu może wzrosnąć o 15% lub spaść o 10% w każdym. Jaka jest cena europejskiej opcji kupna o funkcji wypłaty

$$H(S(T)) = 100 \max(k(T) - K; 0)$$

gdzie: $k(T) = \frac{S(T)-S(0)}{S(0)}$ jest stopą zwrotu z indeksu w czasie 3 miesięcy, jeśli cena realizacji $K = 8\%$. Stopa wolna od ryzyka w kapitalizacji dyskretniej wynosi 5%.

16. W modelu dwumianowym o 2 okresach dane są następujące parametry:

- ▷ bieżąca cena akcji wynosi $S(0) = 100$,
- ▷ stopa wzrostu $U = 0,15$, stopa spadku $D = -0,1$,
- Dla jakiej wartości stopy procentowej R model jest wolny od arbitrażu?

17. W modelu dwumianowym o 2 okresach dane są następujące parametry:

- ▷ bieżąca cena akcji wynosi $S(0) = 72$,
 - ▷ stopa wzrostu $U = 0,2$, stopa spadku $D = -0,1$,
 - ▷ stopa wolna od ryzyka $R = 5\%$ w okresie w kapitalizacji prostej.
- Wyznacz cenę arbitrażową europejskiej opcji o funkcji wypłaty:

$$H(S(T)) = \max(\min(S(1), S(2)) - 60; 0)$$

18. W modelu dwumianowym o 2 okresach dane są następujące parametry:

- ▷ bieżąca cena akcji wynosi $S(0) = 90$,
- ▷ stopa wzrostu $U = 25\%$, stopa spadku $D = -15\%$,
- ▷ stopa wolna od ryzyka w okresie $R = 5\%$ w kapitalizacji prostej
- ▷ cena realizacji $K = 200$.

Wyznacz cenę arbitrażową europejskiej opcji o funkcji wypłaty:

$$H(S(T)) = \max(S(1) + S(2) - K; 0)$$

19. W modelu dwumianowym o 2 okresach dane są następujące parametry:

- ▷ bieżąca cena akcji $S(0) = 100$,
- ▷ stopa wzrostu $U = 30\%$, stopa spadku $D = -15\%$,
- ▷ stopa wolna od ryzyka w okresie $R = 5\%$ w kapitalizacji prostej
- ▷ cena realizacji $K = 100$.

Wyznacz cenę arbitrażową europejskich opcji o funkcji wypłaty:

$$H(S(2)) = \max(Y(2) - K; 0)$$

gdzie $Y(2) = \frac{S(0)+S(1)+S(2)}{3}$

20. W modelu dwumianowym o 2 okresach dane są następujące parametry:

- ▷ bieżąca cena akcji wynosi $S(0) = 100$,
- ▷ stopa wzrostu $U = 30\%$, stopa spadku $D = -20\%$,
- ▷ stopa wolna od ryzyka w okresie $R = 5\%$ w kapitalizacji prostej.

Wyznacz cenę arbitrażową europejskich opcji o funkcji wypłaty:

$$H(S(2)) = \max_{0 \leq k \leq 2} S(k) - S(2)$$

21. W modelu dwumianowym o 3 okresach dane są następujące parametry:

- ▷ bieżąca cena akcji $S(0) = 62$,
- ▷ stopa wzrostu $U = 10\%$, stopa spadku $D = -15\%$,
- ▷ stopa wolna od ryzyka w okresie $R = 4\%$ w kapitalizacji prostej.

Wyznacz cenę arbitrażową europejskiej opcję kupna akcji, jeśli cena realizacji opcji K zależy od ceny akcji w chwili zapadalności opcji następująco:

$$K = \begin{cases} 20, & \text{dla } S(T) < 20, \\ S(T), & \text{dla } 20 \leq S(T) \leq 50, \\ 50 + \frac{1}{4}(S(T) - 50), & \text{dla } 50 < S(T). \end{cases}$$

22. W modelu dwumianowym o 3 okresach dane są następujące parametry:
- ▷ cena EUR/PLN wynosi $S(0) = 4,10$,
 - ▷ stopa wzrostu $U = 12\%$, stopa spadku $D = -8\%$,
 - ▷ czas życia opcji wynosi 9 miesięcy,
 - ▷ struktura terminowa stóp procentowych jest płaska i wynosi w okresie dla PLN 3%, a dla EUR 1% w kapitalizacji prostej
 - ▷ cena wykonania opcji $K = 4,20$
- Wyznacz cenę arbitrażową europejskiej opcji sprzedaży kursu EUR/PLN.
23. Kurs walutowy CHF/PLN wynosi obecnie 2,90. W ciągu najbliższych trzech 2-miesięcznych okresów kurs walutowy może wzrosnąć o 4% lub spaść o 3% w każdym. Stopa wolna od ryzyka w okresie dla PLN wynosi 2%, a dla CHF 0,7% w kapitalizacji prostej. Jaka jest cena europejskiej opcji sprzedaży z ceną realizacji 3,05 PLN?

Rozdział 7

Formuła Blacka-Scholesa i jej konsekwencje

7.1. Zadania

1. Zmienność kursu USD/PLN wynosi 14%. Jakie jest odchylenie standardowe dziennej zmiany kursu USD/PLN?
2. Cena akcji nie płaćącej dywidendy wynosi $S(0) = 83$ PLN. Wyznacz cenę europejskiej opcji kupna akcji ze wzoru Blacka-Scholesa, jeśli
 - ▷ cena realizacji opcji $K = 80$ PLN,
 - ▷ opcja zapada za 5 miesięcy,
 - ▷ zmienność ceny akcji $\sigma = 37\%$,
 - ▷ stopa wolna od ryzyka $r = 4\%$.
3. Cena USD/PLN wynosi $S(0) = 3,0270$. Wyznacz cenę europejskiej opcji sprzedaży USD/PLN jeśli
 - ▷ cena realizacji opcji $K = 3,0150$ PLN,
 - ▷ opcja zapada za 4 miesiące,
 - ▷ zmienność ceny akcji $\sigma = 13\%$,
 - ▷ stopa wolna od ryzyka PLN $r = 4\%$,
 - ▷ stopa wolna od ryzyka USD $q = 0,7\%$,
4. Cena akcji wynosi dzisiaj $S(0) = 87$ PLN. Akcja wypłaca dywidendy:
 - ▷ za 2 miesiące $div_1 = 1$ PLN
 - ▷ za 5 miesięcy $div_1 = 1,1$ PLNWyznacz cenę europejskiej opcji kupna akcji o czasie zapadalności $T = 10$ miesięcy i cenie realizacji $K = 80$ PLN. Zmienność cen akcji wynosi $\sigma = 43\%$, a stopa procentowa wolna od ryzyka $r = 4\%$.
5. Wartość indeksu WIG20 wynosi dzisiaj $S(0) = 2\,175$ punktów. Zmienność indeksu jest szacowana na poziomie $\sigma = 29\%$. Wyznacz cenę opcji sprze-

daży indeksu o czasie zapadalności $T = 37$ dni i cenie realizacji $K = 2\,300$ punktów. Stopa procentowa wolna od ryzyka wynosi $r = 4\%$, a stopa dywidendy $q = 0,07\%$.

6. Cena akcji nie płaćącej dywidendy wynosi $S(0) = 34$ PLN. Cena europejskiej opcji kupna akcji wynosi $C(0) = 5,63$ PLN. Opcja ma następujące parametry
 - ▷ cena realizacji opcji $K = 30$ PLN,
 - ▷ opcja zapada za 3 miesiące,
 - ▷ stopa wolna od ryzyka $r = 4\%$.
 Jaka jest wartość zmienności implikowanej?
7. Pokaż, że formuły Blacka-Scholesa na cenę opcji kupna i sprzedaży spełniają *put-call parity*.
8. Pokaż, że prawdopodobieństwo, że europejska opcja kupna będzie wykonana wynosi $N(d_+)$.
9. Cena akcji nie płaćącej dywidendy wynosi $S(0) = 74$ PLN. Cena europejskiej opcji kupna akcji wynosi $C(0) = 6,52$ PLN, a europejskiej opcji sprzedaży $P(0) = 7,69$ PLN. Opcje mają następujące parametry:
 - ▷ cena realizacji obu opcji $K = 75$ PLN,
 - ▷ obie opcje zapadają za 5 miesięcy,
 - ▷ zmienność ceny akcji $\sigma = 37\%$,
 - ▷ stopa wolna od ryzyka $r = 4\%$.
 Czy na takim rynku jest możliwość arbitrażu?
10. Na rynku notowany jest kontrakt futures na akcję nie płaćącą dywidendy zapadający za 10 miesięcy. Cena futures $F = 53$ PLN. Jaka jest cena europejskiej opcji sprzedaży na kontrakt futures, jeśli cena realizacji $K = 50$, stopa procentowa wolna od ryzyka $r = 4\%$, a zmienność ceny futures $\sigma = 34\%$.
11. Rozważmy opcje europejskie na instrument bazowy, który wypłaca stopę dywidendy q . Opcje zapadają w chwili T i w chwili bieżącej są *at-the-money forward*, czyli pomiędzy ceną realizacji K i bieżącą ceną akcji $S(t)$ zachodzi relacja

$$K = S(t)e^{(r-q)(T-t)}$$

gdzie r jest stopą wolną od ryzyka, a q stopą dywidendy.

Pokaż, że w takim przypadku ceny opcji kupna i sprzedaży są takie same i wynoszą

$$C(t) = P(t) = e^{-q(T-t)} S(t) \left(N\left(\frac{1}{2}\sigma\sqrt{T-t}\right) - N\left(-\frac{1}{2}\sigma\sqrt{T-t}\right) \right).$$

12. Pokaż jaka jest cena europejskiej opcji sprzedaży w następujących przypadkach:

- opcja sprzedaży jest głęboko w cenie $S(t) \ll K$.
- opcja sprzedaży jest głęboko poza ceną $S(t) \gg K$.
- $\sigma \rightarrow 0$.
- $t \rightarrow T$.
- $T \rightarrow \infty$.