



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

WSPOMAGANIE DECYZJI INWESTYCYJNYCH

**Roman Kulikowski,
Marek Libura,
Leon Słomiński**



WSPOMAGANIE DECYZJI INWESTYCYJNYCH

Polska Akademia Nauk • Instytut Badań Systemowych

Seria: BADANIA SYSTEMOWE
tom 21

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. Jakub Gutenbaum

Warszawa 1998

Roman KULIKOWSKI

Marek LIBURA

Leon SŁOMIŃSKI

**WSPOMAGANIE DECYZJI
INWESTYCYJNYCH**

Publikację opiniowali do druku:

Prof. dr hab. Maria Podgórska
Doc. dr hab. Leszek S. Zaremba

Książka powstała w wyniku realizacji projektu badawczego
finansowanego przez KOMITET BADAŃ NAUKOWYCH

Copyright © by Instytut Badań Systemowych PAN
Warszawa 1998

ISBN 83-85847-09-X
ISSN 0208-8029



Biblioteczna

Gench

44006

Część III.

Metody

optymalizacyjne

dla potrzeb

wspomagania decyzji

inwestycyjnych

zmian pojedynczych współczynników wektora funkcji celu i wektora prawych stron ograniczeń, które nie wymagają zmiany bazy optymalnej.

5. Dodatek. Przykłady obliczeń

W niniejszym punkcie przedstawione są dane i wyniki obliczeń z użyciem pakietu CPLEX 3.0 dla przykładowych zadań konstrukcji optymalnych portfeli, które były rozważane w poprzednich punktach.

Tabela 1. Stopy zwrotu z akcji

miesiąc/numer akcji	1	2	3	4	5
1	11.594	1.515	-1.579	-9.360	-0.408
2	22.078	5.299	9.947	7.578	0.000
3	-8.511	-8.000	9.446	-16.327	0.694
4	-3.488	0.395	5.164	-8.571	-3.862
5	-9.639	-9.764	-3.571	-18.243	-10.949
6	-12.000	6.195	-0.943	-11.570	-8.197
7	-10.606	-0.417	-7.619	-8.441	-6.786
8	-1.695	-6.276	11.856	-8.220	-13.725
9	-12.069	-9.091	-3.286	-10.227	-2.273
10	27.451	15.000	11.186	-3.797	2.791
11	-21.538	-4.465	6.550	-4.021	-8.140
12	-19.608	-6.132	8.750	12.676	-5.063
13	48.780	27.156	4.215	12.500	35.200
14	19.672	-2.372	7.355	15.271	12.121
15	1.370	15.190	13.889	18.000	-0.901
16	4.054	15.751	17.073	-0.847	18.548
17	-15.584	-9.810	1.042	23.884	-10.958
18	3.077	4.270	20.833	4.196	14.912
19	-4.478	-6.485	-7.543	-4.027	-5.058
20	4.688	11.679	3.263	-6.333	4.918
21	-11.940	-7.285	3.189	-18.939	-3.125
22	-1.695	-3.214	-7.506	-2.856	27.742
23	15.517	0.369	-3.580	5.882	16.026
24	5.970	-1.866	-7.250	-0.926	-2.762

Tabela 1 zawiera zaczerpnięte z *Finance ...* (1994) wartości stóp zwrotu dla pięciu spółek i dwudziestu czterech chwil obserwacji, od-

powiadających kolejnym miesiącom. Jest to podstawowy zbiór danych używanych w kolejnych zadaniach. Przyjmując oznaczenia z Przykładów 2, 3, 4, 7, mamy tu $n = 5$, $L = 24$. Wiersze tabeli odpowiadają okresom $t = 1, \dots, 24$, natomiast kolumny – numerom spółek $i = 1, \dots, 5$. Element tabeli, leżący na przecięciu wiersza t i kolumny i , jest wyrażoną w procentach wartością r_{it} stopy zwrotu dla spółki i w okresie t .

5.1. Zadanie konstrukcji portfela akcji z Przykładu 2

Na Wydruku 1 podana jest pełna postać zadania konstrukcji portfela z Przykładu 2. Zgodnie z przyjętymi tam oznaczeniami x_i ,

$i = 1, \dots, 5$, jest udziałem akcji i w portfelu. Zmienna $f = \frac{1}{24} \sum_{t=1}^{24} y_t$

jest równa wartości ryzyka portfela wyznaczonego przez wektor x . W zadaniu występuje dodatkowe w stosunku do sformułowania (9) ograniczenie na zwrot z portfela $r \geq 3$. Zmieniając prawą stronę tego ograniczenia można uzyskać parametryczną zależność wartości ryzyka od stopy zwrotu, przedstawioną na Rys. 2.

Minimize f

```

10.28566667 x1 + 0.36325 x2 - 5.365708333 x3 - 7.99675 x4 - 2.522375 x5 + y1 >=0
20.76966667 x1 + 4.14725 x2 + 6.160291667 x3 + 8.94125 x4 - 2.114375 x5 + y2 >=0
-9.819333333 x1 - 9.15175 x2 + 5.659291667 x3 -14.96375 x4 - 1.420375 x5 + y3 >=0
-4.796333333 x1 - 0.24275 x2 + 1.377291667 x3 - 7.20775 x4 - 5.976375 x5 + y4 >=0
-10.947333333 x1 -10.91575 x2 - 7.357708333 x3 -16.87975 x4 -13.063375 x5 + y5 >=0
-13.308333333 x1 + 5.04325 x2 - 4.729708333 x3 -10.20675 x4 -10.311375 x5 + y6 >=0
-11.914333333 x1 - 1.56875 x2 - 11.40570833 x3 - 7.07775 x4 - 8.900375 x5 + y7 >=0
-3.003333333 x1 - 7.42775 x2 + 8.069291667 x3 - 6.85675 x4 -15.839375 x5 + y8 >=0
-13.377333333 x1 -10.24275 x2 - 7.072708333 x3 - 8.86375 x4 - 4.387375 x5 + y9 >=0
26.14266667 x1 +13.84825 x2 + 7.399291667 x3 - 2.43375 x4 + 0.676625 x5 + y10 >=0
-22.846333333 x1 - 5.61675 x2 + 2.763291667 x3 - 2.65775 x4 -10.254375 x5 + y11 >=0
-20.916333333 x1 - 7.28375 x2 + 4.963291667 x3 +14.03925 x4 - 7.177375 x5 + y12 >=0
47.47166667 x1 +26.00425 x2 + 0.428291667 x3 +13.86325 x4 +33.085625 x5 + y13 >=0
18.36366667 x1 - 3.52375 x2 + 3.568291667 x3 +16.63425 x4 +10.006625 x5 + y14 >=0
0.061666667 x1 +14.03825 x2 + 10.10229167 x3 +19.36325 x4 - 3.015375 x5 + y15 >=0
2.745666667 x1 +14.59925 x2 + 13.28629167 x3 + 0.51625 x4 +16.433625 x5 + y16 >=0
-16.892333333 x1 -10.96175 x2 - 2.744708333 x3 +25.24725 x4 -13.072375 x5 + y17 >=0
1.768666667 x1 + 3.11825 x2 + 17.04629167 x3 + 5.55925 x4 +12.797625 x5 + y18 >=0
-5.786333333 x1 - 7.63675 x2 - 11.32970833 x3 - 2.66375 x4 - 7.172375 x5 + y19 >=0
3.379666667 x1 +10.52725 x2 - 0.523708333 x3 - 4.96975 x4 + 2.803625 x5 + y20 >=0
-13.248333333 x1 - 8.43675 x2 - 0.597708333 x3 -17.57575 x4 - 5.239375 x5 + y21 >=0
-3.003333333 x1 - 4.36575 x2 - 11.29270833 x3 - 1.49275 x4 +25.627625 x5 + y22 >=0
14.20866667 x1 - 0.78275 x2 - 7.366708333 x3 + 7.24525 x4 +13.911625 x5 + y23 >=0
4.661666667 x1 - 3.01775 x2 - 11.03670833 x3 + 0.43725 x4 - 4.876375 x5 + y24 >=0
x1 + x2 + x3 + x4 + x5 = 1
1.308333333 x1 + 1.15175 x2 + 3.786708333 x3 - 1.36325 x4 + 2.114375 x5 - r = 0
- 24 f + y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 + y8 + y9 + y10 + y11 + y12
+ y13 + y14 + y15 + y16 + y17 + y18 + y19 + y20 + y21 + y22 + y23 + y24 = 0
r >= 3
All variables are >= 0.

```

Wydruk 1. Sformułowanie zadania z Przykładu 2.

Na Wydruku 2 podane są standardowe informacje dotyczące działania pakietu, m.in. czas rozwiązywania (równy 0,05 s), liczba iteracji (równa 28) oraz postać otrzymanego rozwiązania optymalnego. Z rozwiązania tego można odczytać skład optymalnego portfela. Zawiera on cztery spółki o numerach 2, 3, 4, 5 i następujących udziałach:

$$\begin{aligned}
 x_2 &= 0,037569 \\
 x_3 &= 0,634269 \\
 x_4 &= 0,039947 \\
 x_5 &= 0,288215
 \end{aligned}$$

Wartość średnia stopy zwrotu dla takiego portfela jest równa 3% (wartość r w rozwiązaniu optymalnym), natomiast ryzyko mierzone wartością funkcji $R(x)$ jest równe 2,742888 (wartość f w rozwiązaniu).

LP Presolve eliminated 4 rows and 4 columns.
Reduced LP has 24 rows, 27 columns, and 158 nonzeros.
Presolve Time = 0.00 sec.

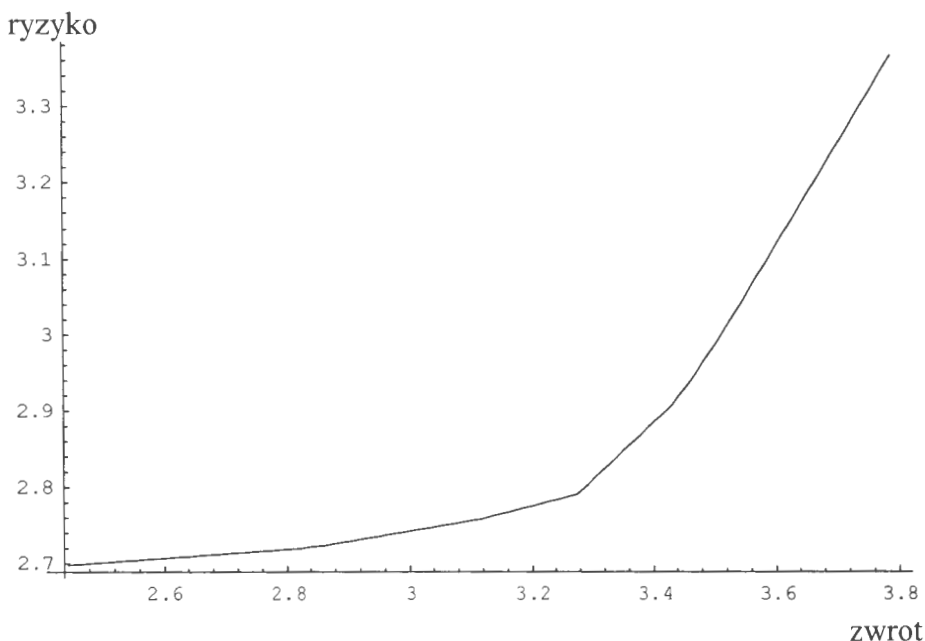
Iteration Log . . .
Iteration: 1 Scaled Infeas = 7.888408
Switched to Devex.
Iteration: 28 Objective = 2.742888

Primal - Optimal: Objective = 2.7428884889e+000
Solution Time = 0.05 sec. Iterations = 28 (47)

Variable Name	Solution Value
f	2.742888
y1	4.436087
x2	0.037569
x3	0.634269
x4	0.039947
x5	0.288215
y4	1.165263
y5	9.516213
y6	6.190057
y7	10.141180
y9	6.489397
y11	1.519978
y17	4.911817
y19	9.646585
y21	2.908229
y23	0.402921
y24	8.501596
r	3.000000

All other variables in the range 1-31 are zero.

Wydruk 2. Rozwiązanie zadania z Przykładu 2.



Rys. 2. Wykres zależności ryzyka od stopy zwrotu

5.2. Zadanie konstrukcji portfela z Przykładu 3

Na Wydrukach 3 i 4 podana jest postać zadania konstrukcji portfela stycznego, rozpatrywanego w Przykładzie 3, oraz wydruki z pakietu CPLEX 3.0 wraz z rozwiązaniem optymalnym tego zadania. Na Rys. 3 pokazane jest położenie portfela stycznego na wykresie zależności stopy zwrotu od ryzyka średniego. Zauważmy, że wykres ten powstaje z Rys. 2 po zamianie osi. Skład portfela optymalnego może być odczytany z rozwiązania po dokonaniu zamiany zmiennych (jak w Przykładzie 3) zgodnie z zależnością

$$x_i = w_i / v, \quad i = 1, \dots, 5.$$

Otrzymujemy:

$$x_1 = x_2 = x_4 = 0$$

$$x_3 = 0,7877$$

$$x_5 = 0,2123$$

Podobnie, stopa zwrotu dla portfela optymalnego jest równa $1/v = 3,4317\%$, a ryzyko ma wartość $s/v = 2,9086$.

```
Minimize s
 10.28566667 w1 + 0.36325 w2 - 5.365708333 w3 - 7.99675 w4 - 2.522375 w5 + y1 >=0
 20.76966667 w1 + 4.14725 w2 + 6.160291667 w3 + 8.94125 w4 - 2.114375 w5 + y2 >=0
-9.819333333 w1 - 9.15175 w2 + 5.659291667 w3 -14.96375 w4 - 1.420375 w5 + y3 >=0
-4.796333333 w1 - 0.75675 w2 + 1.377291667 w3 - 7.20775 w4 - 5.976375 w5 + y4 >=0
-10.947333333 w1 -10.91575 w2 - 7.357708333 w3 -16.87975 w4 -13.063375 w5 + y5 >=0
-13.308333333 w1 + 5.04325 w2 - 4.729708333 w3 -10.20675 w4 -10.311375 w5 + y6 >=0
-11.914333333 w1 - 1.56875 w2 - 11.40570833 w3 - 7.07775 w4 - 8.900375 w5 + y7 >=0
-3.003333333 w1 - 7.42775 w2 + 8.069291667 w3 - 6.85675 w4 -15.839375 w5 + y8 >=0
-13.377333333 w1 -10.24275 w2 - 7.072708333 w3 - 8.86375 w4 - 4.387375 w5 + y9 >=0
 26.14266667 w1 +13.84825 w2 + 7.399291667 w3 - 2.43375 w4 + 0.676625 w5 + y10 >=0
-22.846333333 w1 - 5.61675 w2 + 2.763291667 w3 - 2.65775 w4 -10.254375 w5 + y11 >=0
-20.916333333 w1 - 7.28375 w2 + 4.963291667 w3 +14.03925 w4 - 7.177375 w5 + y12 >=0
 47.47166667 w1 +26.00425 w2 + 0.428291667 w3 +13.86325 w4 +33.085625 w5 + y13 >=0
 18.36366667 w1 - 3.52375 w2 + 3.568291667 w3 +16.63425 w4 +10.006625 w5 + y14 >=0
 0.061666667 w1 +14.03825 w2 + 10.10229167 w3 +19.36325 w4 - 3.015375 w5 + y15 >=0
 2.745666667 w1 +14.59925 w2 + 13.28629167 w3 + 0.51625 w4 +16.433625 w5 + y16 >=0
-16.892333333 w1 -10.96175 w2 - 2.744708333 w3 +25.24725 w4 -13.072375 w5 + y17 >=0
 1.768666667 w1 + 3.11825 w2 + 17.04629167 w3 + 5.55925 w4 +12.797625 w5 + y18 >=0
-5.786333333 w1 - 7.63675 w2 - 11.32970833 w3 - 2.66375 w4 - 7.172375 w5 + y19 >=0
 3.379666667 w1 +10.52725 w2 - 0.523708333 w3 - 4.96975 w4 + 2.803625 w5 + y20 >=0
-13.248333333 w1 - 8.43675 w2 - 0.597708333 w3 -17.57575 w4 - 5.239375 w5 + y21 >=0
-3.003333333 w1 - 4.36575 w2 - 11.29270833 w3 - 1.49275 w4 +25.627625 w5 + y22 >=0
 14.20866667 w1 - 0.78275 w2 - 7.366708333 w3 + 7.24525 w4 +13.911625 w5 + y23 >=0
 4.661666667 w1 - 3.01775 w2 - 11.03670833 w3 + 0.43725 w4 - 4.876375 w5 + y24 >=0
w1 + w2 + w3 + w4 + w5 - v = 0
 1.308333333 w1 + 1.15175 w2 + 3.786708333 w3 - 1.36325 w4 + 2.114375 w5 = 1
- 24 s + s1 + s2 + s3 + s4 + s5 + s6 + s7 + s8 + s9 + s10 + s11 + s12 + s13 + s14
 + s15 + s16 + s17 + s18 + s19 + s20 + s21 + s22 + s23 + s24 = 0
All variables are >= 0.
```

Wydruk 3. Sformułowanie zadania z Przykładu 3.

WSPOMAGANIE DECYZJI INWESTYCYJNYCH

LP Presolve eliminated 4 rows and 4 columns.

Reduced LP has 23 rows, 27 columns, and 153 nonzeros.

Presolve Time = 0.05 sec.

Iteration Log . . .

Iteration: 1 Scaled Infeas = 3.646507

Switched to Devex.

Iteration: 22 Objective = 0.852455

Primal - Optimal: Objective = 8.4757741862e-001

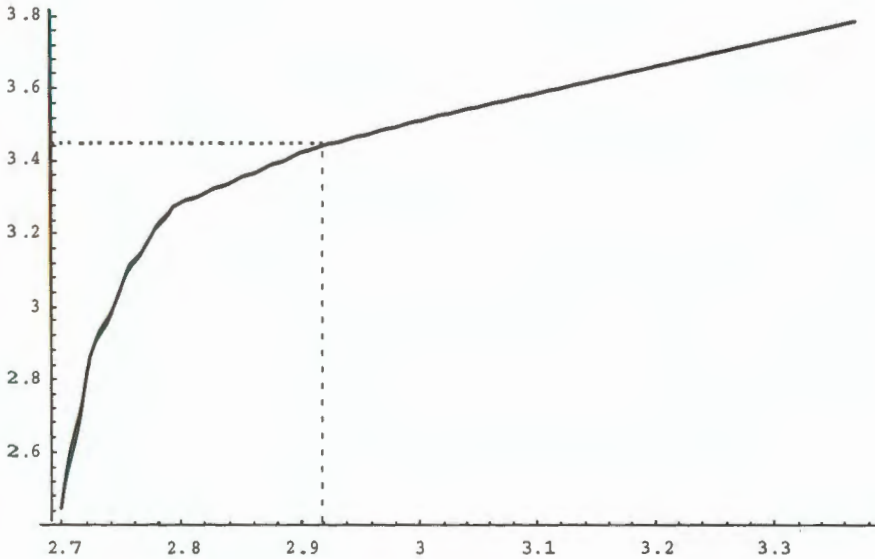
Solution Time = 0.11 sec. Iterations = 23 (41)

Variable Name	Solution Value
s	0.847577
s1	1.387686
w3	0.229543
w5	0.061856
s4	0.053527
s5	2.496960
s6	1.723493
s7	3.168645
s9	1.894878
s17	1.438634
s19	3.044312
s21	0.461287
s22	1.006942
s23	0.830460
s24	2.835035
v	0.291399

All other variables in the range 1-31 are zero.

Wydruk 4. Rozwiązanie zadania z Przykładu 3.

zwrot



ryzyko

Rys. 3. Portfel styczny z Przykładu 3 na wykresie zależności stopy zwrotu od ryzyka

5.3. Zadanie konstrukcji portfela akcji z Przykładu 4

Na Wydruku 5 podana jest pełna postać zadania konstrukcji portfela akcji rozważanego w Przykładzie 4. Przypomnijmy, że w zadaniu tym nakładane są dodatkowe ograniczenia na liczbę akcji w portfelu. W przytoczonym przykładzie przyjęto, że portfel może zawierać co najmniej akcje dwóch różnych spółek, ale nie więcej niż trzech spółek. Zauważmy, że otrzymane zadanie jest zadaniem programowania całkowitoliczbowego mieszanego ze względu na konieczność wprowadzenia binarnych zmiennych wskaźnikowych z_1, \dots, z_5 . Dla porównania z poprzednimi zadaniami na Wydruku 6 podano również postać informacji o przebiegu procesu rozwiązywania

pakiem CPLEX 3.0. Zauważmy, że wydruk zawiera tu dodatkowe informacje związane z użyciem metody podziału i oszacowań. Między innymi parametr Nodes = 12 sygnalizuje liczbę zadań, które znalazły się na liście zadań oczekujących (patrz punkt 4.2.1). Z wydruku rozwiązania optymalnego można odczytać skład optymalnego portfela. Zawiera on akcje trzech spółek o numerach 3, 4, 5 w proporcjach wyznaczonych przez składowe wektora x :

$$x_3 = 0,651178$$

$$x_4 = 0,58477$$

$$x_5 = 0,290345.$$

Wartość średnia stopy zwrotu dla tego portfela jest równa $r = 3\%$, natomiast ryzyko jest równe $f = 2,746822$.

Minimize f

```

10.28566667 x1 + 0.36325 x2 - 5.365708333 x3 - 7.99675 x4 - 2.522375 x5 + y1 >=0
20.76966667 x1 + 4.14725 x2 + 6.160291667 x3 + 8.94125 x4 - 2.114375 x5 + y2 >=0
-9.819333333 x1 - 9.15175 x2 + 5.659291667 x3 -14.96375 x4 - 1.420375 x5 + y3 >=0
-4.796333333 x1 - 0.75675 x2 + 1.377291667 x3 - 7.20775 x4 - 5.976375 x5 + y4 >=0
-10.94733333 x1 -10.91575 x2 - 7.357708333 x3 -16.87975 x4 -13.063375 x5 + y5 >=0
-13.30833333 x1 + 5.04325 x2 - 4.729708333 x3 -10.20675 x4 -10.311375 x5 + y6 >=0
-11.91433333 x1 - 1.56875 x2 - 11.40570833 x3 - 7.07775 x4 - 8.900375 x5 + y7 >=0
-3.003333333 x1 - 7.42775 x2 + 8.069291667 x3 - 6.85675 x4 -15.839375 x5 + y8 >=0
-13.37733333 x1 -10.24275 x2 - 7.072708333 x3 - 8.86375 x4 - 4.387375 x5 + y9 >=0
26.14266667 x1 +13.84825 x2 + 7.399291667 x3 - 2.43375 x4 + 0.676625 x5 + y10 >=0
-22.84633333 x1 - 5.61675 x2 + 2.763291667 x3 - 2.65775 x4 -10.254375 x5 + y11 >=0
-20.91633333 x1 - 7.28375 x2 + 4.963291667 x3 +14.03925 x4 - 7.177375 x5 + y12 >=0
47.47166667 x1 +26.00425 x2 + 0.428291667 x3 +13.86325 x4 +33.085625 x5 + y13 >=0
18.36366667 x1 - 3.52375 x2 + 3.568291667 x3 +16.63425 x4 +10.006625 x5 + y14 >=0
0.061666667 x1 +14.03825 x2 + 10.10229167 x3 +19.36325 x4 - 3.015375 x5 + y15 >=0
2.745666667 x1 +14.59925 x2 + 13.28629167 x3 + 0.51625 x4 +16.433625 x5 + y16 >=0
-16.89233333 x1 -10.96175 x2 - 2.744708333 x3 +25.24725 x4 -13.072375 x5 + y17 >=0
1.768666667 x1 + 3.11825 x2 + 17.04629167 x3 + 5.55925 x4 +12.797625 x5 + y18 >=0
-5.786333333 x1 - 7.63675 x2 - 11.32970833 x3 - 2.66375 x4 - 7.172375 x5 + y19 >=0
3.379666667 x1 +10.52725 x2 - 0.523708333 x3 - 4.96975 x4 + 2.803625 x5 + y20 >=0
-13.24833333 x1 - 8.43675 x2 - 0.597708333 x3 -17.57575 x4 - 5.239375 x5 + y21 >=0
-3.003333333 x1 - 4.36575 x2 - 11.29270833 x3 - 1.49275 x4 +25.627625 x5 + y22 >=0
14.20866667 x1 - 0.78275 x2 - 7.366708333 x3 + 7.24525 x4 +13.911625 x5 + y23 >=0
4.661666667 x1 - 3.01775 x2 - 11.03670833 x3 + 0.43725 x4 - 4.876375 x5 + y24 >=0
x1 + x2 + x3 + x4 + x5 = 1
1.308333333 x1 + 1.15175 x2 + 3.786708333 x3 - 1.36325 x4 + 2.114375 x5 - r = 0
- 24 f + y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 + y8 + y9 + y10 + y11 + y12
+ y13 + y14 + y15 + y16 + y17 + y18 + y19 + y20 + y21 + y22 + y23 + y24 = 0
r >= 3
x1 - z1 <= 0
x2 - z2 <= 0
x3 - z3 <= 0
x4 - z4 <= 0
x5 - z5 <= 0
x1 - 0.01 z1 >= 0
x2 - 0.01 z2 >= 0
x3 - 0.01 z3 >= 0
x4 - 0.01 z4 >= 0
x5 - 0.01 z5 >= 0
z1 + z2 + z3 + z4 + z5 >= 2
z1 + z2 + z3 + z4 + z5 <= 3
Bounds
0 <= z1 <= 1
0 <= z2 <= 1
0 <= z3 <= 1
0 <= z4 <= 1
0 <= z5 <= 1
All other variables are >= 0.
Integers
z1 z2 z3 z4 z5

```

Wydruk 5. Sformułowanie zadania z Przykładu 4.

WSPOMAGANIE DECYZJI INWESTYCYJNYCH

MIP Presolve eliminated 4 rows and 3 columns.
 Reduced MIP has 36 rows, 33 columns, and 189 nonzeros.
 Presolve Time = 0.05 sec.

Using rounding heuristic, 3 variables fixed:

Nodes		Objective	IInf	Best Integer	Cuts/ Best Node	ItCnt	Variable	B Parent	Depth
Node	Left								
*	0+	2.7920	2		2.7920	33			
	1+	2.7920	0	2.7920		34	z5 D	0	1

Done with heuristic.

Nodes		Objective	IInf	Best Integer	Cuts/ Best Node	ItCnt	Variable	B Parent	Depth
Node	Left								
*	0	2.7429	4	2.7920	2.7429	34			
*	7	2.7573	0	2.7573	2.7429	45	z3 U	6	4
*	12	2.7468	0	2.7468		52	z4 U	11	5

Integer Optimal Solution: Objective = 2.7468219066e+000
 Solution Time = 0.27 sec. Iterations = 52 Nodes = 12

Variable Name	Solution Value
f	2.746822
y1	4.694016
x3	0.651178
x4	0.058477
x5	0.290345
y4	1.259837
y5	9.571142
y6	6.670599
y7	10.425211
y9	6.397770
y11	1.333330
y17	4.106406
y19	9.615887
y21	2.938220
y23	0.334185
y24	8.577122
r	3.000000
z3	1.000000
z4	1.000000
z5	1.000000

All other variables in the range 1-36 are zero.

Wydruk 6. Rozwiązanie zadania z Przykładu 4.

5.4. Zadanie konstrukcji portfela akcji z Przykładu 7

Na Wydruku 7 podana jest pełna postać zadania rozważanego w Przykładzie 7. Przypomnijmy, że jest to problem konstrukcji portfela stycznego z dodatkowymi warunkami na minimalne udziały i liczbę różnych spółek w portfelu. Zauważmy, że w stosunku do zadania z punktu 5.2, pojawiły się ograniczenia tworzące binarne zmienne wskaźnikowe z_1, \dots, z_5 , oraz dodatkowe ograniczenia związane z linearyzacją nieliniowych wyrażeń (patrz punkt 4.1.7).

Wydruk 8 zawiera rozwiązanie omawianego zadania. Podobnie jak poprzednio, odczytanie optymalnego składu portfela wymaga zamiany zmiennych zgodnie z zależnościami

$$x_i = w_i / v, \quad i = 1, \dots, 5.$$

Portfel optymalny zawiera akcje trzech spółek o numerach 2, 3, 5, a ich udziały są wyznaczone przez następujące składowe wektora x :

$$x_2 = 0,01$$

$$x_3 = 0,7842$$

$$x_5 = 0,2058.$$

Wartość średnia stopy zwrotu dla tego portfela jest równa $1/v = 3,4161\%$, natomiast ryzyko jest równe $s/v = 2,9095$.

WSPOMAGANIE DECYZJI INWESTYCYJNYCH

Minimize s

```

10.28566667 w1 + 0.36325 w2 - 5.365708333 w3 - 7.99675 w4 - 2.522375 w5 + y1 >=0
20.76966667 w1 + 4.14725 w2 + 6.160291667 w3 + 8.94125 w4 - 2.114375 w5 + y2 >=0
-9.819333333 w1 - 9.15175 w2 + 5.659291667 w3 -14.96375 w4 - 1.420375 w5 + y3 >=0
-4.796333333 w1 - 0.75675 w2 + 1.377291667 w3 - 7.20775 w4 - 5.976375 w5 + y4 >=0
-10.947333333 w1 -10.91575 w2 - 7.357708333 w3 -16.87975 w4 -13.063375 w5 + y5 >=0
-13.308333333 w1 + 5.04325 w2 - 4.729708333 w3 -10.20675 w4 -10.311375 w5 + y6 >=0
-11.914333333 w1 - 1.56875 w2 - 11.405708333 w3 - 7.07775 w4 - 8.900375 w5 + y7 >=0
-3.003333333 w1 - 7.42775 w2 + 8.069291667 w3 - 6.85675 w4 -15.839375 w5 + y8 >=0
-13.377333333 w1 -10.24275 w2 - 7.072708333 w3 - 8.86375 w4 - 4.387375 w5 + y9 >=0
26.14266667 w1 +13.84825 w2 + 7.399291667 w3 - 2.43375 w4 + 0.676625 w5 + y10 >=0
-22.846333333 w1 - 5.61675 w2 + 2.763291667 w3 - 2.65775 w4 -10.254375 w5 + y11 >=0
-20.916333333 w1 - 7.28375 w2 + 4.963291667 w3 +14.03925 w4 - 7.177375 w5 + y12 >=0
47.47166667 w1 +26.00425 w2 + 0.428291667 w3 +13.86325 w4 +33.085625 w5 + y13 >=0
18.36366667 w1 - 3.52375 w2 + 3.568291667 w3 +16.63425 w4 +10.006625 w5 + y14 >=0
0.061666667 w1 +14.03825 w2 + 10.10229167 w3 +19.36325 w4 - 3.015375 w5 + y15 >=0
2.745666667 w1 +14.59925 w2 + 13.28629167 w3 + 0.51625 w4 +16.433625 w5 + y16 >=0
-16.892333333 w1 -10.96175 w2 - 2.744708333 w3 +25.24725 w4 -13.072375 w5 + y17 >=0
1.768666667 w1 + 3.11825 w2 + 17.04629167 w3 + 5.55925 w4 +12.797625 w5 + y18 >=0
-5.786333333 w1 - 7.63675 w2 - 11.32970833 w3 - 2.66375 w4 - 7.172375 w5 + y19 >=0
3.379666667 w1 +10.52725 w2 - 0.523708333 w3 - 4.96975 w4 + 2.803625 w5 + y20 >=0
-13.248333333 w1 - 8.43675 w2 - 0.597708333 w3 -17.57575 w4 - 5.239375 w5 + y21 >=0
-3.003333333 w1 - 4.36575 w2 - 11.29270833 w3 - 1.49275 w4 +25.627625 w5 + y22 >=0
14.20866667 w1 - 0.78275 w2 - 7.366708333 w3 + 7.24525 w4 +13.911625 w5 + y23 >=0
4.661666667 w1 - 3.01775 w2 - 11.03670833 w3 + 0.43725 w4 - 4.876375 w5 + y24 >=0
w1 + w2 + w3 + w4 + w5 - v = 0
1.308333333 w1 + 1.15175 w2 + 3.786708333 w3 - 1.36325 w4 + 2.114375 w5 = 1
- 24 s + s1 + s2 + s3 + s4 + s5 + s6 + s7 + s8 + s9 + s10 + s11 + s12 + s13 + s14
+ s15 + s16 + s17 + s18 + s19 + s20 + s21 + s22 + s23 + s24 = 0
w1 - z1 <= 0
w2 - z2 <= 0
w3 - z3 <= 0
w4 - z4 <= 0
w5 - z5 <= 0
w1 - 0.01 q1 >= 0
w2 - 0.01 q2 >= 0
w3 - 0.01 q3 >= 0
w4 - 0.01 q4 >= 0
w5 - 0.01 q5 >= 0
z1 + z2 + z3 + z4 + z5 >= 3
z1 + z2 + z3 + z4 + z5 <= 4
- z1 + q1 <= 0
- v + q1 <= 0
v + z1 - q1 <= 1
- z2 + q2 <= 0
- v + q2 <= 0
v + z2 - q2 <= 1
- z3 + q3 <= 0
- v + q3 <= 0
v + z3 - q3 <= 1
- z4 + q4 <= 0
- v + q4 <= 0
v + z4 - q4 <= 1
- z5 + q5 <= 0
- v + q5 <= 0
v + z5 - q5 <= 1

```

Bounds

```

0 <= z1 <= 1
0 <= z2 <= 1
0 <= z3 <= 1
0 <= z4 <= 1
0 <= z5 <= 1

```

All other variables are >= 0.

Integers

```

z1 z2 z3 z4 z5

```

Wydruk 7. Sformułowanie zadania z Przykładu 7.

METODY OPTIMALIZACYJNE WE WSPOMAGANIU DECYZJI INWESTYCYJNYCH

MIP Presolve eliminated 3 rows and 3 columns.

Reduced MIP has 51 rows, 38 columns, and 224 nonzeros.

Presolve Time = 0.00 sec.

Nodes		Objective	IInf	Best Integer	Cuts/		Variable B	Parent	Depth
Node	Left				Best Node	ItCnt			
	0	0	0.8476	3	0.8476	33			
*	2	2	0.8944	0	0.8944	39	z4 D	1	2
*	5	1	0.8517	0	0.8517	46	z4 D	4	3

Integer Optimal Solution: Objective = 8.5168777814e-001

Solution Time = 0.16 sec. Iterations = 48 Nodes = 6

Variable Name	Solution Value
s	0.851688
s1	1.382604
w2	0.002927
w3	0.229547
w5	0.060254
s4	0.046161
s5	2.508015
s6	1.692229
s7	3.159025
s9	1.917862
s17	1.449789
s19	3.055224
s21	0.477591
s22	1.060831
s23	0.855073
s24	2.836103
v	0.292729
z2	1.000000
z3	1.000000
z5	1.000000
q2	0.292729
q3	0.292729

Wydruk 8. Rozwiązanie zadania z przykładu 7.

Literatura

1. *Finance Pack. Introduction and Users Guide* (1994). Wolfram Research, Inc.
2. Garfinkel R.S., G.L. Nemhauser (1978) *Programowanie całkowitoliczbowe*. PWN, Warszawa.
3. Konno H., H. Yamazaki (1991) Mean-absolute deviation portfolio optimization model and its applications to Tokyo Stock Exchange. *Management Science*, **37**, 519-531.
4. Libura M. (1993) *Analiza wrażliwości rozwiązań zadań optymalizacji dyskretnej*. Synpress, Warszawa.
5. Markowitz H., P. Todd, G. Xu, Y. Yamane (1993) Computation of mean-semivariance efficient sets by the Critical Line Algorithm. *Annals of Operations Research*, **45**, 307-317.
6. McKinnon, K.I.M., H.P. Williams (1989) Constructing integer programming models by the predicate calculus. *Annals of Operations Research*, **21**, 227-246.
7. Nemhauser G.L., A.H.G. Rinnooy Kan, M.J. Todd, eds. (1989) *Handbooks in Optimization and Management Science. Optimization*. North-Holland, Amsterdam.
8. Speranza G.M. (1993) Linear programming models for portfolio optimization. *Finance*, **14**, 107-123.
9. Speranza G.M. (1994) A mixed integer linear model for portfolio selection. Università degli Studi di Brescia, Quaderno N.77, Brescia.
10. Sysło M.M., N. Deo, J.S. Kowalik (1993) *Algorytmy optymalizacji dyskretnej z programami w języku Pascal*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
11. Takekara H. (1993) An interior point algorithm for large scale portfolio optimization. *Annals of Operations Research*, **45**, 373-386.
12. *Using the CPLEX Callable Library, Version 3.0* (1994) CPLEX Optimization, Inc.
13. Williams H.P. (1993) *Model Building in Mathematical Programming*. John Wiley&Sons, Chichester.
14. Zenios S.A., ed. (1993) *Financial Optimization*. Cambridge Univ. Press.
15. Zenios S.A., P. Kang (1993) Mean absolute deviation portfolio optimization for mortgage-backed securities. *Annals of Operations Research*, **45**, 433-450.
16. Zorychta K., W. Ogryczak (1981) *Programowanie liniowe i całkowitoliczbowe*. WNT, Warszawa.

IBS *Seria*

Wspomaganie decyzji inwestycyjn

Roman Kulikowski,
Marek Libura,
Leon Słomiński

44006

W książce omawiane są zagadnienia z obszaru analizy finansowej i teorii portfela inwestycyjnego z wykorzystaniem komputerowej metodologii wspomagającej podejmowanie decyzji.

Książka może być przedmiotem zainteresowania zarówno decydentów, podejmujących decyzje finansowe, jak i inwestorów giełdowych i doradców finansowych oraz studentów i doktorantów.

Monografia pozwoli głębiej i pełniej zrozumieć złożoną problematykę finansów i inwestycji, z uwzględnieniem różnych form ryzyka i podejmować w działalności praktycznej decyzje optymalne.

Rozważane są zasady konstruowania modeli matematycznych opisujących rynki kapitałowe – kształtowanie się cen oraz oczekiwanych zwrotów nakładów inwestycyjnych – jak również modeli działalności inwestora w postaci tzw. funkcji użyteczności.

ISBN 83-85847-09-X

W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 37-35-78 w. 241 e-mail: kotuszew@ibspan.waw.pl