

108/2002

Raport Badawczy

RB/61/2002

Research Report

**Projektowanie przedsięwzięć
finansowych o charakterze
inwestycyjnym
– modele optymalizacyjne
uwzględniające ryzyko**

H. Potrzebowski

Instytut Badań Systemowych

Polska Akademia Nauk

Systems Research Institute

Polish Academy of Sciences



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 8373578

fax: (+48) (22) 8372772

Kierownik Pracowni zgłaszający pracę:
Dr Barbara Maźbic-Kulma

Warszawa 2002

Projektowanie przedsięwzięć finansowych o charakterze inwestycyjnym – modele optymalizacyjne uwzględniające ryzyko

Henryk Potrzebowski, IBS PAN, Warszawa
(wygłoszony jako referat na konferencji BOS'02)

Wyborowi przedsięwzięć inwestycyjnych praktycznie zawsze towarzyszy dylemat, czy wybierać przedsięwzięcie mogące dać większy zysk, które z reguły obarczone jest większym ryzykiem, czy też odwrotnie - mniej zyskowe, ale za to bezpieczniejsze. Do typowych dziedzin, gdzie problemy te uwydatniają się w pełni należą planowanie portfelowych przedsięwzięć inwestycyjnych, zagadnienia równoważenia powiązanych ze sobą jednostek zależnościami winien - wierzyciel, zagadnienia synchronizacji w czasie różnych przedsięwzięć powiązanych wspólnymi zasobami itp. Środki służące rozwiązywaniu omawianych zagadnień wpisują się znakomicie w nową intensywnie rozwijaną dziedzinę - inżynierię finansową. W szczególności zwrócono uwagę na potencjalne zastosowania sieciowych modeli optymalizacyjnych i na zagadnienia równoważenia. Pokazano szkice matematycznego modelu redukcji wzajemnych zobowiązań, minimaxowego modelu (MAD) inwestora portfelowego, wielookresowego modelu planowania finansowego, oraz modelu oceny przedsięwzięcia na wyniki sektorowe w gospodarce (slajd).

Z uwagi na nieskomplikowaną strukturę modeli ewentualny projekt realizacyjny mógłby mieć cechy projektu wirtualnego, o jakim się mówi np. w [ComputerWorld z 25 listopada 2002]. Projekty większe, np. dotyczące rozstrzygnięć spraw dotyczących redukcji wzajemnych zobowiązań i zadań inwestycyjnych winny angażować więcej zespołów, najczęściej rozproszonych geograficznie. Członkowie zespołów winni mieć różne przygotowania specjalistyczne, a zespoły - mieć zapewniony dostęp do sieci teleinformatycznej i do źródeł danych. Muszą działać realizując ściśle określony harmonogram. Czas realizacji projektu musiałby być stosunkowo krótki i kończyć się widocznym wynikiem.

1. Model matematyczny redukcji wzajemnych zobowiązań

Przyjmujemy, że dany jest graf $G = (V, A)$ złożony ze zbioru V wierzchołków. $V = \{1, \dots, n\}$, reprezentujących uczestników rynku i zbioru A łuków, reprezentujących wzajemne zobowiązania, tj.

$$A = \{(i, j) \mid i \text{ ma zobowiązanie względem uczestnika } j\}$$

Zakładamy, że są określone następujące wielkości

r_{ij} - wysokość zobowiązania uczestnika i -tego na rzecz j -tego,

A_i - wysokość aktywów netto przez uczestnika i -tego,

I_i - wysokości zobowiązań inwestycyjnych uczestnika i -tego.

Niech

$$W_i = \sum_{j=1, \dots, n, j \neq i} r_{ij} + I_i, \quad M_i = \sum_{j=1, \dots, n, j \neq i} r_{ji} + A_i$$

oznaczają odpowiednio "WINIEN" i "MA" dla i -tego uczestnika.

Mówimy, że sytuacja finansowa w (wybranym) zbiorze uczestników jest nierozwiązywalna jeżeli w przypadku każdego uczestnika strona WINIEN przewyższa stronę MA, tj.

$$W_i > M_i, \quad \text{dla } i = 1, \dots, n.$$

Dla takiej grupy uczestników jedno z rozwiązań polegać może na redukcji zobowiązań.

Zagadnienie 1. Dla każdego uczestnika znajdź współczynnik redukcji q_i liczb $r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}, I_i$ taki, że

$$q_i W_i = M_i(q), \quad \text{dla } i = 1, \dots, n,$$

gdzie

$$M_i(q) = \sum_{j=1, \dots, n, j \neq i} r_{ji} q_j + A_i$$

Zagadnienie 2. Dla zadanej funkcji kosztów $f(x)$ określ poziom regulacji zobowiązań $x = (x_i)$. $0 \leq x_{ij} \leq r_{ij}$, dla którego

$$f(x) = \min, \quad W(x) = M(x), \quad 0 \leq x \leq r$$

gdzie

$$W_i(x) = \sum_{j=1, \dots, n, j \neq i} x_{ij} + I_i, \quad M_i(x) = \sum_{j=1, \dots, n, j \neq i} x_{ji} + A_i.$$

Zagadnienie 1 jest układem liniowym n zmiennych i n ograniczeń i można go rozwiązać, dla znacznych n . Wynika z założenia o równej redukcji zobowiązań.

Zagadnienie 2 jest modelem optymalizacji przepływu dla grafu rozpiętego na n wierzchołkach. Poddaje się użytecznym modyfikacjom, dostarczając np. sposobu badania alternatywnych sposobów wsparcia finansowego, obliczonego na odzyskanie np. płynności finansowej. Dopóki funkcja celu jest liniowa model może być skutecznie rozwiązany nawet dla n rzędu 1000. Nieznaczne skomplikowanie modelu, np. poprzez wprowadzenie mnożników strumieni, składowych nieliniowych do funkcji celu znacznie rozszerza jego potencjalne zastosowania, ale pogarsza możliwości rozwiązania.

Zagadnienie redukcji zadłużeń podmiotów gospodarczych w literaturze ekonomicznej traktowane jest jako objaw towarzyszący reformowanym procesom gospodarczym, modelowanym za pomocą znacznie rozwiniętych makro modeli ekonometrycznych. Przykładem podejścia jest "Symulacyjny model gospodarki polski" [red. J. Gutenbaum, M. Inkelman, 1998] - gdzie bada się dynamiczne zależności bilansowe w pętach kapitał - produkcja - zysk - inwestycje - kapitał, produkcja - praca - wynagrodzenie - popyt - sprzedaż - produkcja, produkcja - wynagrodzenie - depozyty - kredyty - inwestycje - kapitał - produkcja.

2. Model minimaxowy (MAD model)

Rozpatrzmy inwestycję w 5 papierów wartościowych, zwanych dalej akcjami i niech $x_i \geq 0$ oznacza udział i – tej akcji ($i = 1, \dots, 5$) w portfelu. Naturalnie, udziały te sumują się do 1. Niech r_{it} będzie stopą zwrotu z papieru i zaobserwowaną w okresie t , a \bar{r}_i średnią stop r_{it} dla wszystkich t ($t = 1, \dots, 24$).

Przyjmijmy, że ryzyko związane z portfelem wyznaczamy jako ważne maksymalne odchylenie w dół od średniej stopy procentowej, wyrażonej za pomocą następującego wzoru:

$$R(x) = \frac{1}{24} \sum_{t=1}^{24} \max \left\{ 0, \sum_{i=1}^5 (\bar{r}_i - r_{it}) x_i \right\}. \quad (1)$$

Zadanie konstrukcji portfela akcji o minimalnym ryzyku (1) i zadanej średniej stopie r przyjmuje postać następującą.

$$\min R(x)$$

$$\sum_{i=1}^5 x_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^5 \bar{r}_i x_i = r$$

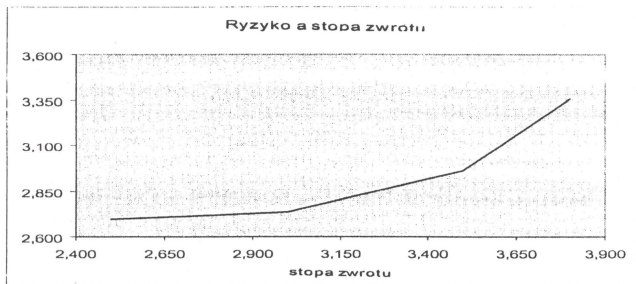
$$x_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n.$$

(2)

Przykładowe rozwiązanie za pomocą SOLVERa z pakietu MS office dało wyniki następujące:

Stopa zwrotu.	Ryzyko	wektor x				
2,500	2,698	0,0000	0,0430	0,5747	0,1562	0,2260
3,000	2,737	0,0000	0,0323	0,6348	0,0447	0,2882
3,500	2,962	0,0000	0,0000	0,8204	0,0000	0,1796
3,600	3,091	0,0000	0,0000	0,8796	0,0000	0,1204
3,700	3,223	0,0000	0,0000	0,9388	0,0000	0,0612
3,800	3,355	0,0000	0,0000	0,9980	0,0000	0,0020

Zależność pomiędzy ryzykiem a stopą zwrotu pokazuje załączony wykres.



Rozwiązując zadanie nie trzeba było wymuszać żadnych warunków całkowitości zmiennych decyzyjnych, ponieważ były zbędne.

Następny, już bardziej złożony, jest modelem wielookresowym. W jego przypadku problem przewidywalności sposobu zmienności stóp procentowych i znalezienia stosownej metody ekstrapolacji staje się bardziej doniosły.

3. Wielookresowy model planowania finansowego

Niech T będzie horyzontem planowania, złożonym z ustalonych, nie koniecznie równych, przedziałów czasowych $T = \{0, 1, \dots, \tau\}$, na początku których podejmuje się decyzje skutkujące przepływami finansowymi, ocenianymi dopiero w końcu τ -tego przedziału.

Rozpatrujemy problem optymalizacji portfela inwestycyjnego aktywów kwalifikujących się do zbioru kategorii $P = \{0, 1, \dots, p\}$, przy czym kategoria 0 reprezentuje stan kasowy, a kategorie 1, 2, ..., p reprezentują różne walory o wartościach rynkowych, takich jak kapitał akcyjny, papiery wartościowe, obligacje skarbowe, nieruchomości, itp.

Przyjmijmy, że węzłom sieci przepływów - odpowiednikom par (i, t) , gdzie $i \in P$, $t \in T$, dla ustalonego scenariusza zmian w otoczeniu znane są:

ρ_{it} - przewidywana stopa zwrotu dla aktywów i - tej kategorii w przedziale t

σ_{it} - współczynnik naliczenia kosztu transakcyjnego zakupu lub sprzedaży aktywów kategorii i na początku przedziału t

ω_{i0} - wartość początkowa aktywów i -tej kategorii

Przyjmując jako zmienne decyzyjne:

x_{it} - wartość aktywów kategorii i dla początku przedziału t ,

s_{it} - wielkość sprzedaży i -tego aktywów na początku przedziału t ,

z_{it} - wielkość zakupów aktywów i -tej kategorii na początku przedziału t ,

i funkcję użyteczności w postaci sumy wartości wszystkich aktywów na koniec przedziału τ , to model planowania przedsięwzięć formułujemy w sposób następujący. Znajdź

$$\text{maksimum } \sum_{i \in P} \rho_{i\tau} x_{i\tau}, \quad (1)$$

przy warunkach, że

$$x_{0t} = (1 + \rho_{0i,t-1})x_{0,t-1} + \sum_{j \neq 0} (1 - \sigma_{jt})s_{jt} - \sum_{j \neq 0} z_{jt}, \quad \text{dla } \text{każdych } t \neq 0, \quad (2)$$

$$x_{it} = (1 + \rho_{i,t-1})x_{i,t-1} - s_{it} + (1 - \sigma_{it})z_{it} \quad \text{dla } \text{każdych } t \neq 0, i \neq 0 \quad (3)$$

$$x_{i0} = \omega_{i0} \quad \text{dla } \text{każdego } i. \quad (4)$$

$$x_{it} \geq 0, \quad s_{it} \geq 0, \quad z_{it} \geq 0, \quad \text{dla } \text{każdych } i, t \quad (5)$$

Zagadnienie (1)...(5) jest sieciowym zagadnieniem przepływowym z wagami przypisanymi pewnej czasowo przestrzennej sieci. Funkcja celu (1) wyraża wartość kapitału w końcu horyzontu T . Ograniczenie (2) reprezentuje stany gotówkowe kasy, (3) - stany każdej kategorii aktywów, (5) - stan początkowy portfela. Model jest liniowy, o zmiennych ciągłych i nieujemnych, co wyraża (5).

Model i jego warianty wspomagają w rozwiązywaniu zarówno lokalnych zadań planowania przedsięwzięć portfelowych, jak i strategicznych problemów planowania strategicznego. Przykłady zastosowań modelu w rozwiązywaniu zagadnień planowania strategicznego omówiono np. w [Mulvey J. M., Rosenbom D.P., Shetty B. (1996)]: „Strategic financial risk management and operations research”, *European Journal of Operational Research*, 97, 1-16.

4. Na marginesie modelu redukcji wzajemnych zobowiązań

Zgodnie z informacjami zamieszczonymi przez K.Masłowskiego (www.aow.com.pl) w ostatnim czasie nasiliło się zjawisko będące zagrożeniem dla wielu uczciwych przedsiębiorców- nadużywanie instytucji układu oraz obchodzenie przepisów prawa upadłościowego. Jego zdaniem lata dziewięćdziesiąte przyniosły zdecydowaną zmianę postaw społecznych w kwestiach takich, jak wykonywanie zawartych umów, rzetelność kupiecka-zwłaszcza to ostatnie określenie odchodzi niestety do lamusa. Kilka obszernych cytatów pokazuje na problemy, z jakimi spotka się każdy, kto będzie rozstrzygał problemy wzajemnych zobowiązań:

"Przypomnijmy jedynie, iż w okresie międzywojennym upadłość powodowała ostracyzm środowiska, w którym funkcjonował upadły. Zaprzestanie spłaty długów wywoływało nie tylko reperkusje zawodowe, lecz prowadziło również do dotkliwych konsekwencji towarzyskich. Charakterystyczne, iż w prawodawstwie polskim rozdzielono w latach trzydziestych układ i upadłość na dwa w zasadzie odrębne postępowania, normowane przez dwa niezależne rozporządzenia Prezydenta RP. Obok przesłanek stricte prawnych i ekonomicznych, posunięcie to miało dawać szansę na honorową spłatę długu i uniknięcie tym samym infamii ze strony otoczenia.

Oba akty przetrwały do dziś, co nie dziwi zważywszy na ich wysoki poziom legislacyjny. Wydaje się jednak, iż w obecnej rzeczywistości coraz częściej nieuczciwi lub nieudolni dłużnicy nadużywają przywilejów przewidzianych przez prawo o postępowaniu układowym i starają się obchodzić niewygodne dla nich regulacje prawa upadłościowego. Przyjrzymy się kilku przykładom z codziennej praktyki.

Dłużnik straszy wierzyciela

Spotykamy dłużników, których kondycję ekonomiczną można określić jako dobrą, straszących jednak swoich wierzycieli, iż w przypadku niezrezygnowania z odsetek od zaległych płatności wystąpią z podaniem o układ, proponując dużą redukcję całego zadłużenia. Wprawdzie prawo o postępowaniu układowym uzależnia dopuszczalność otwarcia układu od zaistnienia po stronie dłużnika wyjątkowych i niezależnych od niego okoliczności, które doprowadziły do zaprzestania płacenia długów, jednak w okresie kryzysu wykazanie takich przesłanek jest stosunkowo proste dla każdego przedsiębiorcy. Wierzyciel w takiej sytuacji ma alternatywę: albo odzyskać część środków, albo brać udział w układzie, który może m.in. przewidywać redukcję długu czy przesunięcie w przyszłość terminu jego wymagalności. Oczywiście większość godzi się na rezygnację z odsetek, stając się przymusowymi kredytodawcami nieuczciwego kontrahenta.

Kombinacje w spółkach cywilnych

Innym, bardziej finezyjnym przykładem były przypadki, gdy przedsiębiorcy prowadzący w tym samym składzie osobowym kilka spółek cywilnych występowali z wnioskiem o otwarcie układu. Ponieważ spółka cywilna nie ma zdolności układowej, rzeczywistymi dłużnikami układowymi były osoby fizyczne wchodzące w jej skład. Konsekwencje tego były poważne-wspólnik zgłaszał do postępowania układowego nie tylko długi wygenerowane w spółce mającej problemy, ale również te, które powstały w pozostałych spółkach, w których uczestniczył. Dobrym przykładem ilustrującym cały mechanizm była sytuacja przedsiębiorstw telekomunikacyjnych-redukcja wierzytelności wynikająca z układu obejmowała nie tylko należności za usługi telekomunikacyjne na rzecz spółki mającej kłopoty ze spłatą długu, ale paradoksalnie również wierzytelności wynikające z usług świadczonych pozostałym spółkom, które wcale nie musiały być w złej kondycji finansowej.

Premia za bankructwo

Nieco odmienne problemy związane są z częścią toczących się obecnie postępowań upadłościowych. Tutaj wysiłek nieuczciwych dłużników skupia się na obejściu regulacji prawa upadłościowego. Ponownie przykład z życia - ustanowiony syndyk upadłej spółki akcyjnej po przeanalizowaniu zapisów w jej księgach stwierdza, iż po zgłoszeniu wniosku o ogłoszenie upadłości, a przed jego rozpoznaniem, prezes i wiceprezesi spółki otrzymali od niej duże kwoty pieniędzy. Po bliższym zapoznaniu się z kontraktami menedżerskimi członków zarządu okazało się, iż prezesom zagwarantowano prawo do wynagrodzenia w wysokości kilkuset tysięcy złotych w przypadku ogłoszenia upadłości spółki. Sytuacja wydaje się wręcz groteskowa-doprowadzenie przedsiębiorstwa do bankructwa premiowane jest wysoką gratyfikacją pieniężną. Jediną nadzieją poszkodowanych wierzycieli pozostaje w takim przypadku powództwo złożone przez syndyka dla ochrony interesów wszystkich osób uczestniczących w postępowaniu upadłościowym spółki."

5. Uwagi

Bez wątpienia, elementem wspólnym modeli są przepływy finansowe, lecz możliwości zastosowań różne. Prosty liniowy model równoważenia poprzez redukcję wzajemnych zobowiązań dotyka trudnych problemów natury podstawowej, o czym mowa w p. 4. Z uwagi na swoją nieskomplikowaną strukturę może być użyteczny w szybkich ocenach różnych układów o różnych zasięgach.

Model MAD może być pomocny dla zwykłego gracza giełdowego, ponieważ zadania o niewielkiej rozmiarowości spokojnie rozwiązuje się za pomocą SOLVERA z arkusza kalkulacyjnego EXCEL. Zadania "grubszego" portfela lepiej rozwiązywać za pomocą pakietu dla zadań liniowych mieszanych. Wtedy warto zastanowić się nad doбором dokładniejszego, bardziej adekwatnego modelu.

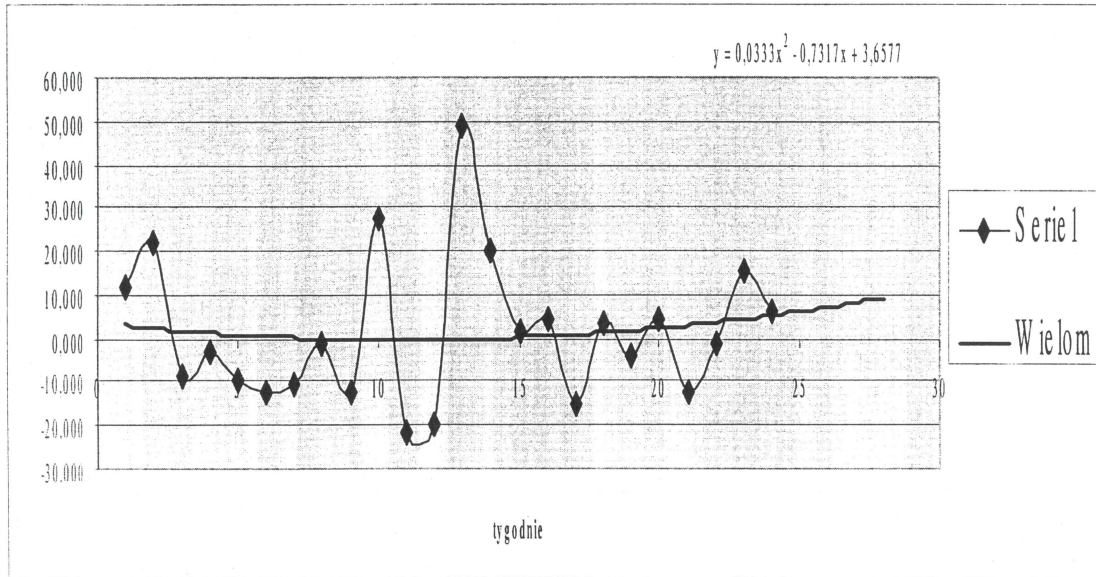
Model planowania finansowego wielookresowego – pkt. 3. jest propozycją do zaakceptowania nawet w niewielkiej firmie, gdzie istnieje złożona sytuacja typu zaciągnij kredyt – oddaj długi, dbając przy tym o to, aby kasa była zawsze na plusie. Nadaje się do zastosowań w przypadku planowania strategicznego, gdzie uwzględnia się wielowariantowe efekty długofalowe. Z uwagi na stosunkowo prostą strukturę może być stosowany do prowadzenia analiz scenariuszowych, gdzie ze scenariuszem wiąże się określone prawdopodobieństwo wystąpienia.

Przepływowy model grafowy (zasygnalizowany na slajdzie) jest modelem zagregowanym, który bilansując przepływy międzysektorowe gospodarki pozwala szacować efekty mnożnikowe dla konkretnego przedsięwzięcia, nie wykluczając przedsięwzięć polegających na upadku.

**Projektowanie przedsięwzięć inwestycyjnych w
warunkach ryzyka
– sieciowe modele optymalizacyjne**

- A. *Zadanie gracza giełdowego*
- B. *Model sieciowy redukcji zadłużeń*
- C. *Scenariusz wieloetapowy*
- D. *Model przepływowy gospodarki*

A. Zadanie gracza giełdowego



A. Zadanie gracza giełdowego - model

Niech ryzyko związane z portfelem ma postać sumy odchyień w dół od średniej stóp procentowych, wyrażonej za pomocą następującego wzoru:

$$R(x) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \max \left\{ 0, \sum_{i=1}^N (\bar{r}_i - r_{it}) x_i \right\}$$

Zadanie konstrukcji portfela akcji zapewniające stopę zwrotu r przyjmuje postać:

$$\min R(x)$$

$$\sum_{i=1}^N x_i = 1$$

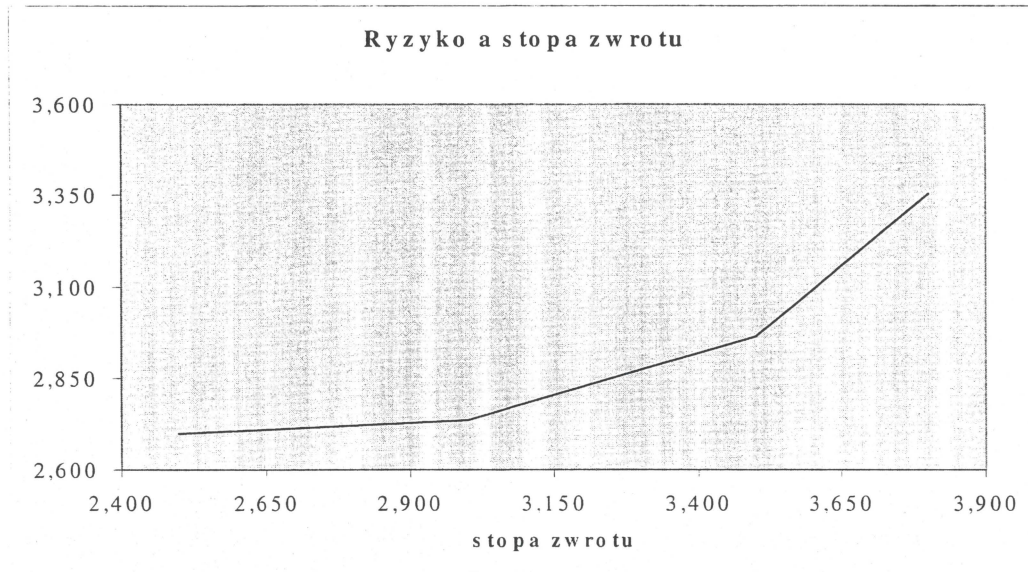
$$\sum_{i=1}^N \bar{r}_i x_i = r$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, N.$$

A. Zadanie gracza giełdowego - wynik

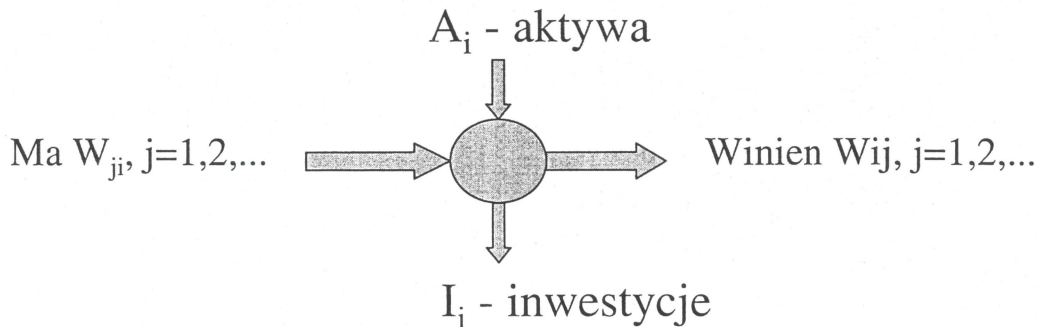
Stopa zwrotu.	Ryzyko	x1	x2	x3	x4	x5
2,500	2,698	0,0000	0,0430	0,5747	0,1562	0,2260
3,000	2,737	0,0000	0,0323	0,6348	0,0447	0,2882
3,500	2,962	0,0000	0,0000	0,8204	0,0000	0,1796
3,600	3,091	0,0000	0,0000	0,8796	0,0000	0,1204
3,700	3,223	0,0000	0,0000	0,9388	0,0000	0,0612
3,800	3,355	0,0000	0,0000	0,9980	0,0000	0,0020

A. Zadanie gracza giełdowego - wynik



B. Model sieciowy redukcji zadłużeń

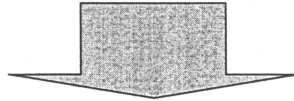
Model grafu skierowanego, którego wierzchołki reprezentują podmioty, a łuki – wzajemne zobowiązania



$$\sum_j w_{ji} + A_i \rho \sum_j w_{ij} + I_i, \text{ dla każdego } i$$

B. Model sieciowy redukcji zadłużeń - zdejmowanie cykli

$$\sum_j w_{ji} + A_i \rho \sum_j w_{ij} + I_i, \text{ dla każdego } i$$



$$\sum_j x_{ji} + A_i = \sum_j x_{ij} + I_i, \text{ dla każdego } i$$

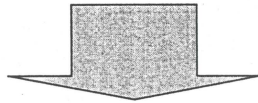
$$0 \leq x_{ij} \leq w_{ij}, \text{ dla każdych } i, j$$

$$\text{Max } f(x) = \sum_{i,j} x_{ij}$$

poziom redukcji: $w - x^{\text{Max}}$

***B. Model sieciowy redukcji zadłużeń
- redukcja zobowiązań***

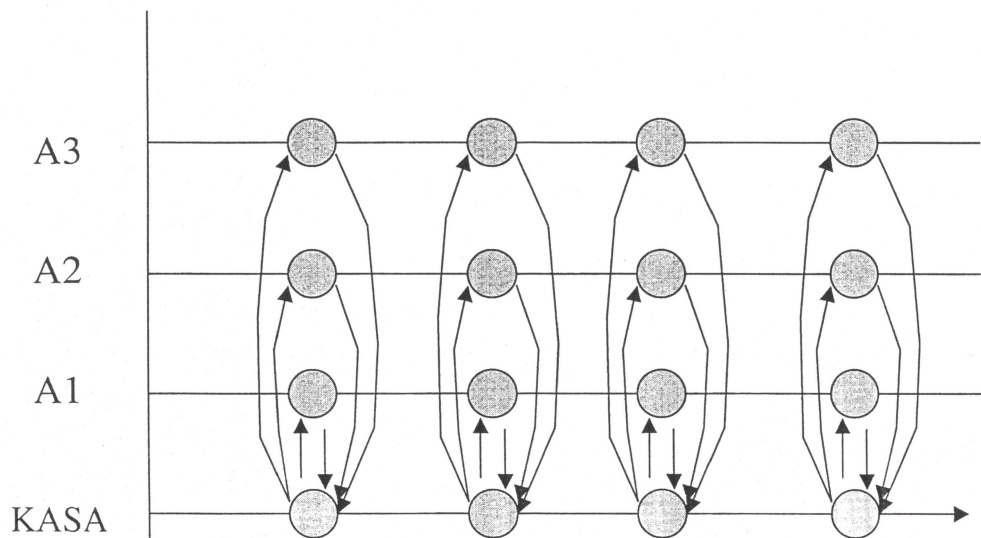
$$\sum_j w_{ji} + A_i \rho \sum_j w_{ij} + I_i, \text{ dla każdego } i$$



$$\sum_j q_j w_{ji} + A_i = q_i \sum_j w_{ij} + I_i, \text{ dla każdego } i$$

poziom redukcji: qw

C. Scenariusz wieloetapowy



C. Scenariusz wieloetapowy - dane

Dany jest zbiór kategorii aktywów $P = \{0, 1, \dots, p\}$, kategoria 0 reprezentuje kasę, kategorie 1,2,..., p reprezentują różne walory rynkowe (kapitał akcyjny, papiery wartościowe, obligacje skarbowe, nieruchomości, itp.) oraz liczba okresów planowania T. Przyjmijmy, że zgodnie z pewnym scenariuszem znane są następujące parametry:

- wartość początkowa aktywów i -tej kategorii i stopa zwrotu dla tego aktywów w przedziale t
- koszt transakcyjny związany z zakupem lub sprzedażą aktywów kategorii i na początku przedziału t

Jako zmienne decyzyjne przyjmuje się:

- wartość aktywów i -tej kategorii dla początku przedziału t ,
- wielkość sprzedaży i -tego aktywów na początku przedziału t ,
- wielkość zakupów aktywów i -tej kategorii na początku przedziału t , Funkcję użyteczności przyjmujemy w postaci sumy wartości wszystkich aktywów na koniec przedziału.

C. Scenariusz wieloetapowy - zadanie

$$\text{Max} \sum_{i \in P} \rho_{it} x_{it}$$

przy warunkach, że

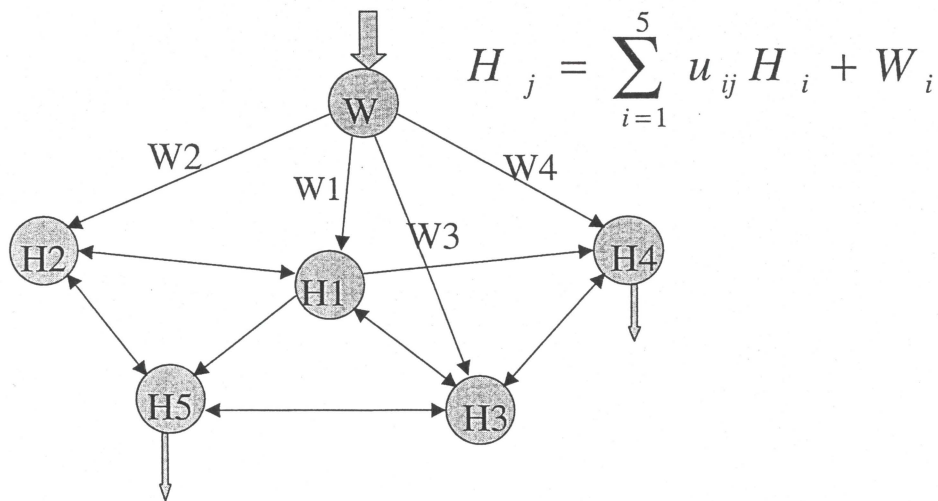
$$x_{0t} = (1 + \rho_{0i,t-1})x_{0,t-1} + \sum_{j \neq 0} (1 - \sigma_{jt})s_{jt} - \sum_{j \neq 0} z_{jt}, \quad \forall t$$

$$x_{it} = (1 + \rho_{i,t-1})x_{i,t-1} - s_{it} + (1 - \sigma_{it})z_{it}, \quad \forall i, t$$

$$x_{i0} = \omega_{i0}, \quad \forall i$$

$$x_{it} \geq 0, \quad s_{it} \geq 0, \quad z_{it} \geq 0, \quad \forall i, t$$

Grafowy przepływowy model oceny efektywności krajowej przedsięwzięcia – wg. W. Bojarskiego



W1,W2,W3,W4 – bezpośrednie zew. efekty finansowe przedsięwzięcia

H1,H2,H3,H4,H5 - poszukiwane skumulowane dochody sektorowe

Projektowanie przedsięwzięć inwestycyjnych w warunkach ryzyka – literatura

- ❖ Mulvey J. M., Rosenbom D.P., Shetty B. (1996): „Strategic financial risk management and operations research”, *European Journal of Operational Research*, 97, 1-16.
- ❖ Mulvey J. M., and Ruszczyński A. (1995): „A new scenario decomposition method for large scale stochastic optimization”, *Operations Research* 42, 447-490.
- ❖ Kulikowski R., Libura M., Słomiński L. (Warszawa, 1998), „Wspomaganie decyzji inwestycyjnych”. PAN – IBS, Seria: Badania Systemowe, tom 21.
- ❖ Bojarski W., W. (2001) (Warszawa 2001): Efektywność systemowa przedsięwzięć gospodarczych, WSzZiP im.B.Jańskiego w Warszawie.

