Krzysztof Zator

PRÓBA OPTYMALIZACJI PARAMETRÓW JEDNOWSKAŹNIKOWEGO MODELU SHARPE'A NA PODSTAWIE NOTOWAŃ GIEŁDY PAPIERÓW WARTOŚCIOWYCH W WARSZAWIE

Artykuł stanowi relację z eksperymentu polegającego na testowaniu klasycznych teorii portfelowych przy wykorzystaniu bazy historycznych notowań pochodzących z polskiego rynku papierów wartościowych. Należy podkreślić, że przedstawione rezultaty mają charakter wstępny. Przedstawiony w artykule problem stanowi część obszerniejszego eksperymentu mającego zweryfikować przydatność klasycznych modeli rynku papierów wartościowych do opisu polskiego rynku akcji. Podejmując badania, autor stawiał sobie dwa cele:

- weryfikacja hipotezy o przydatności modeli klasycznych do predykcji składu portfeli i, jeśli okaże się ona do przyjęcia, określenie pewnych warunków brzegowych dla zadania budowy portfela;
- weryfikacja hipotezy o efektywności rynku.

W części pierwszej rozważane są ograniczenia przeprowadzonego eksperymentu.

W kolejnej części szczegółowo opisano sam eksperyment. Polegał on na konstruowaniu specyficznych obiektów, zwanych ścieżkami inwestycyjnymi, zdefiniowanych na pewnej przestrzeni zmiennych stanu, które jednoznacznie charakteryzowały funkcję stóp zwrotu w tej przestrzeni. Eksperyment polegał na optymalizowaniu parametrów modelu Sharpe'a będących jednocześnie zmiennymi objaśniającymi w zdefiniowanej przestrzeni. Każda ścieżka inwestycyjna była ciągiem decyzji inwestycyjnych (kup – trzymaj – sprzedaj), których łączny czas trwania pokrywał testowany okres.

W dalszej części następuje prezentacja uzyskanych wyników oraz próba konkluzji.

1. Wstęp

Jak wiadomo, klasyczne modele Markowitza i Sharpe'a są oparte na dużej liczbie założeń, które nie są spełnione w rzeczywistości lub spełnione są jedynie w ograniczonym zakresie. Kolejne generacje naukowców poświęciły wiele czasu na badania nad osłabieniem tych założeń, co miało zwiększyć zakres stosowalności modeli. U podstaw modeli klasycznych leży teoria racjonalnych zachowań i wynikająca z niej hipoteza rynku efektywnego. Drugim celem artykułu było badanie zachowania się modelu Sharpe'a na rynku wschodzącym, jakim jest polski rynek papierów wartościowych. W powszechnym mniemaniu rynki wschodzące charakteryzują się słabą efektywnością. Opisane w artykule badania można potraktować jako specyficzną formę testu efektywności rynku. Brak efektywności może bowiem oznaczać uzyskanie portfeli dających w długim okresie wyniki znacząco lepsze od portfela rynkowego. W ostatnim zdaniu pojawiają się dwa pojęcia, które wymagają wyjaśnienia.

Długi okres jest trudny do wyznaczenia empirycznie. Próby posiłkowania się przez niektórych naukowców analizą fourierowską, np. opisane przez Edgara Petersa[1] pokazały, iż pomimo widocznej na pierwszy rzut oka okresowości szeregów czasowych notowań na rynku papierów wartościowych uzyskuje się widmo częstotliwościowe charakterystyczne dla białego szumu. Można więc mówić raczej o cykliczności niż okresowości. Na gruncie analizy matematycznej nie można określić długiego czasu. Inne metody, które ewentualnie można stosować w tym celu, wywodzą się z analizy technicznej, zob. np. Komar[2]. Możliwe są tu następujące podejścia:

- graficzne, polegające na konstruowaniu na wykresach różnego rodzaju linii wyznaczających cykle giełdowe.
- wywodzące się z teorii Eliota, wiążące długość cykli giełdowych z ciągiem liczb Fibbonacciego: wystarczająco długi okres, w takim ujęciu, powinien obejmować co najmniej kilka trendów głównych (przeciętnie kilkuletnich).

Trzeci sposób wyznaczenia wystarczająco długiego okresu może być oparty na opracowanej przez Hursta analizie R/S z powodzeniem stosowanej w meteorologii. W wyniku analizy R/S uzyskać można wiedzę na temat „pamięci" szeregu czasowego. Badania prowadzone m.in. przez E. Petersa[3] pokazują, iż rozwinięte rynki kapitałowe charakteryzują się około czteroletnim cyklem podstawowym w

---

[1] E.E. Peters, *Teoria chaosu a rynki kapitałowe*, WIG-PRESS, Warszawa 1997 – pozycja stanowi pionierską pracę opisującą zastosowania teorii chaosu do analizy rynków kapitałowych. W pierwszej jej części autor dyskutuje ograniczenia teorii rynków efektywnych i ich konsekwencje dla analizy portfelowej.

[2] Z. Komar, *Sztuka spekulacji*, PRET S.A.,Warszawa 1993 – jedno z pierwszych na polskim rynku wydawniczym kompendiów wiedzy teoretycznej na temat analizy technicznej poparte wieloletnią praktyką autora na amerykańskim rynku kapitałowym.

[3] Patrz przyp. 1

rozumieniu statystyki. Badań dotyczących rynków wschodzących nie ma z uwagi na brak dostatecznej ilości danych.

Drugie z pojęć aksjomatycznych, do którego należy się ustosunkować to portfel rynkowy. Intuicyjnie jest to pojęcie proste; praktycznie nastręcza spore trudności. W ujęciu systemowym pojęcie portfela rynkowego wywołuje dyskusję zbliżoną do dyskusji problemu zupełności systemu logicznego. Ten drugi problem został negatywnie zweryfikowany m.in. przez Gödla[4]. Wyniki jego pracy wskazują na niemożność zdefiniowania niesprzecznego systemu logicznego „od wewnątrz". Portfel rynkowy jest elementem systemu, który sam definiuje. Oto krótki cytat z pracy Haugena[5]: „Model jednowskaźnikowy przyjmuje, iż jedyną przyczyną wzrostów i spadków szerokich grup akcji jest zmienność stopy zwrotu z portfela rynkowego." Przytoczone stwierdzenie nosi cechy tautologii. Wyznaczenie portfela rynkowego nastręcza również pewne problemy techniczne. Za najważniejsze uznać należy następujące:

- Praktyczna niemożność oszacowania składu kompletnego portfela rynkowego, a co za tym idzie zrealizowanej stopy zwrotu. Najczęściej przyjmuje się, iż portfel rynkowy można przybliżyć za pomocą indeksu giełdowego.
- Nawet założenie o możliwości dokładnego oszacowania portfela rynkowego nie eliminuje efektu dryfu. W miarę upływu czasu zmieniają się obiekty podlegające tezauryzacji, czyli aktywa, których wartość rynkowa jest wyższa od użyteczności. To spośród nich konstruuje się abstrakcyjny twór – portfel rynkowy. Niezależnie od wyceny poszczególnych składników portfela wielokrotnie dochodzi do swoistej rekonstrukcji portfela powodującej nieciągłości strukturalne, określane tutaj mianem dryfu.

Jak widać, w zastosowaniach modelu Sharpe'a pojawiają się elementy arbitralności. Na potrzeby artykułu przyjęto roboczą hipotezę o poprawności modelu jednowskaźnikowego, ignorując wszelkie zastrzeżenia, w tym zgłoszone wcześniej. Zadaniem jest przetestowanie modelu Sharpe'a na historycznych danych pochodzących z polskiego rynku kapitałowego.

2. *Hipoteza robocza*

Dla celów opisanego eksperymentu przyjęto następujące założenia.

---

[4] K. Gödel, *Über Format unterscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme*, „*I. Monathshefte für Mathematik und Physik*", 1931 – fundamentalna praca z zakresu logiki podważająca postulat o zupełności Hilberta.

[5] R.A. Haugen, *Teoria nowoczesnego inwestowania*, WIG-PRESS, Warszawa 1997 – monografia obejmująca ogół współczesnej, „klasycznej" wiedzy na temat inwestycji kapitałowych. Autor omawia w niej, oparte na postulacie racjonalnego inwestora, implikacje w dziedzinie wyceny instrumentów finansowych, zabezpieczania się przed ryzykiem, tworzenia systemów inwestycyjnych.

1. Rynek jest efektywny.
2. Parametry β akcji są stabilne w czasie. Stabilność należy rozumieć jako możliwość opisu ewolucji czasowej tego parametru za pomocą funkcji ciągłej.
3. Zachowanie portfela rynkowego reprezentowane jest z wystarczającą dokładnością przez WIG.
4. Moment wejścia inwestora na rynek nie ma wpływu na wyniki eksperymentu, jeżeli tylko okres inwestycji jest wystarczająco długi.

Postawiono następującą hipotezę roboczą.

> Nie istnieje strategia inwestycyjna oparta na modelu jednowskaźnikowym, która w długim okresie umożliwiałaby uzyskanie stopy zwrotu ze skonstruowanego portfela wyższej niż z portfela rynkowego. W krótkich okresach, mogą istnieć takie strategie, ale są one zbieżne do portfela rynkowego.

3. Założenia konstrukcji portfela według modelu Sharpe'a

Nie omawiamy w tym miejscu samego modelu jednowskaźnikowego, ponieważ jest on wyczerpująco omówiony w powszechnie dostępnej literaturze, choćby wymienionej już pracy Haugena[6]. Dla jasności należy jednak przytoczyć definicję wskaźnika Sharpe'a efektywności inwestycji portfelowych. Wskaźnik, o którym mowa, jest powszechnie wykorzystywany do oceny efektywności inwestycji przez zarządzających aktywami w krajach o rozwiniętym rynku kapitałowym. Wskaźnik jest określony wzorem:

$$S=(R_p-R_f)/D(R_p)$$

gdzie,

R_p – stopa zwrotu z portfela,
R_f – stopa zwrotu z aktywów wolnych od ryzyka,
$D(R_p)$ – zmienność (odchylenie standardowe) stopy zwrotu portfela.

W algorytmie użytym w eksperymencie wskaźnik ten był maksymalizowany. Oczywiście, w przypadku doświadczalnych próbek „zebranych" na rynku mamy do czynienia z oceną wskaźnika.

W opisanym eksperymencie szacunkom podlegały parametry portfela rynkowego. Stopa zwrotu wolna od ryzyka ustalona została na poziomie 20%. Podyktowane to było kilkoma przyczynami. Średnia i mediana stopy redyskonta weksli w NBP, przyjętej jako wolnej od ryzyka, liczone per ano, w okresie objętym badaniem

---

[6] Patrz przypis 5.

kształtowały się na poziomie zbliżonym do 20% (dokładnie 24,1% i 24,5%). W okresie tym praktycznie nie zaobserwowano istotnej korelacji (ocena równa – 0,47) między stopą wolną od ryzyka a stopą zwrotu z rynku akcji mierzoną indeksem WIG. Daje to asumpt do przypuszczeń o niedojrzałości polskiego rynku kapitałowego. W równym stopniu może to być wynikiem niewielkiej kapitalizacji rynku, ale również rozłączności zbiorów podmiotów mających wpływ na rentowność obu inwestycji. Rynek kapitałowy jest domeną inwestorów indywidualnych i niewielkich funduszy spekulacyjnych z Zachodu. Podmioty dominujące na rynku pieniężnym to przede wszystkim duże instytucje finansowe, rodzime i obce, oraz przedsiębiorstwa.

4. Opis eksperymentu

4.1. Ogólne założenia eksperymentu

Aby zweryfikować negatywnie postawioną hipotezę roboczą wystarczy przedstawić ścieżkę inwestycyjną, która będzie charakteryzowała się w długim okresie wyższą od rynkowej stopą zwrotu, a następnie pokazać, że wynik ten nie zależy od przyjętych założeń. Eksperyment polegał na ocenie realizacji ścieżek inwestycyjnych, z których każda była wynikiem skończonej liczby decyzji elementarnych. Wynikiem podjęcia decyzji elementarnej był wybór akcji do portfela oraz przetrzymanie ich przez określony czas, a następnie sprzedanie. Ponieważ dobór akcji do portfela był pochodną zastosowanego modelu oraz wskaźnika efektywności Sharpe'a, było oczywiste, że decyzja elementarna była zależna od szacunku parametru β oraz innych parametrów ścieżki inwestycyjnej, takich jak moment rozpoczęcia i zakończenia testu, czas przetrzymywania portfela, czy sposób szacowania stopy zwrotu z akcji i indeksu. Jeśli hipoteza zerowa jest prawdziwa to arbitralność tych wyborów oraz szacunku parametru β nie ma wpływu na stopę zwrotu. W eksperymencie przyjęto stały czasu przetrzymania portfela oraz określoną metodę szacowania stóp zwrotu. Zmiennymi parametrami były: horyzont, skąd pochodziły dane do oszacowania parametru β, oraz data rozpoczęcia testu (dzień podejmowania pierwszej decyzji elementarnej).

Cały eksperyment można przedstawić w postaci następującego ciągu zdarzeń:

1. Wybór sesji „startowej".
2. Wybór horyzontu szacowania parametru β.
3. Optymalizacja oceny wskaźnika Sharpe'a – dobór akcji do portfela.
4. Przetrzymanie portfela przez ustalony okres, a następnie sprzedaż akcji.
5. Powrót do punktu 3. Koniec pętli następuje po osiągnięciu dnia zakończenia ścieżki inwestycyjnej.

6. Powrót do punktu 2. Koniec pętli następuje po osiągnięciu maksymalnego horyzontu szacowania parametru β.
7. Powrót do punktu 1. Koniec pętli następuje po zrealizowaniu n wiązek ścieżek inwestycyjnych, gdzie n jest równe okresowi przetrzymania pojedynczego portfela (punkt 4).

Jak widać przedstawiony algorytm składa się z trzech pętli.

- W najbardziej wewnętrznej (pkt. 3. i 5.) pętli realizowana jest pojedyncza ścieżka inwestycyjna. W jej wnętrzu (w pkt. 4.) podejmowana jest pojedyncza decyzja elementarna.
- W pętli środkowej (pkt. 2. i 6.) wyznacza się wiązkę ścieżek inwestycyjnych zaczynających się w tym samym dniu.
- W zewnętrznej pętli (pkt.1. i 7.) wyznacza się wszystkie osiągnięte w eksperymencie punkty w przestrzeni stanów, tj. stopy zwrotu uzyskane na każdej ze ścieżek inwestycyjnych charakteryzującej się określonym doborem zmiennych opisujących.

  Graficzne odzwierciedlenie opisanego eksperymentu przedstawia schemat 1.

4.2. Parametry modelu

Do przeprowadzenia obliczeń zastosowano specjalistyczne oprogramowanie firmy Motte o nazwie Kapital Complex. Umożliwia ono testowanie efektywności inwestycji poprzez konstruowanie tzw. wiązki ścieżek inwestycyjnych. Dla zdefiniowania pojęcia wiązki należy wcześniej określić pojęcie samej ścieżki inwestycyjnej. Niech

- określone zostaną parametry t_s rozpoczęcia i t_z zakończenia testu; przyporządkowuje się im w porządku malejącym wartości równe liczbie sesji pozostających do zakończenia ścieżki inwestycyjnej; w eksperymencie parametr t_z posiadał zawsze wartość 0, a parametr t_s nie był większy od 1250 (wtedy, gdy początkiem ścieżki inwestycyjnej była sesja z 3 stycznia roku 1994);
- określony będzie okres O_n przetrzymywania portfela, gdzie indeks n oznacza liczbę sesji, jakie upływają od zakupu do sprzedaży portfela akcji;
- ustalony będzie czas $null_m$, jaki upływa do następnej inwestycji, gdzie m określa liczbę sesji między sprzedażą starego portfela a zakupem nowego portfela;
- wyznaczony będzie horyzont czasowy H_β skąd pochodzą dane do wyznaczenia oceny współczynnika β;
- zdeterminowany będzie sposób $R_{k\{A,G\}}$ wyliczania stóp zwrotu z akcji, gdzie k oznacza liczbę sesji branych pod uwagę przy wyznaczaniu stopy zwrotu z akcji, a drugi indeks określa sposób jego wyliczenia; średnia arytmetyczna (A) lub geometryczna (G).

Ścieżka inwestycyjna jest ciągiem $\{D_0, D_1, ..., D_j\}$ decyzji obejmujących wyznaczenie optymalnego portfela Sharpe'a dla odcinka O_n. Oczywiście, decyzja D_0 dotyczy

odcinka czasowego $(t_s, t_s - o_n)$, decyzja D_1 odcinka $(t_s - o_n - null_m, t_s - 2^* o_n - null_m)$ itd., aż do momentu kiedy suma długości kolejnych j przedziałów czasowych będzie równa lub większa od długości odcinka (t_s, t_z)
Szóstka

$$Ve = [t_s, t_z, H_b, O_n, null_m, R_{k[A,G]}]$$

określa wektor zmiennych stanu. Odpowiedź układu $S_e = f(V_e)$ na zadane parametrami wektora V_e wymuszenie to zrealizowana w wyniku tego wymuszenia stopa zwrotu – wartość ścieżki inwestycyjnej. Dwójka $\{V_e, S_e\}$, definiuje w sposób jednoznaczny punkt w przestrzeni stanów – ścieżkę inwestycyjną. Przykładowo, zapis: $V_e = [1250, 0, 20, 25, 0, 5A]$ oznacza, że elementarna strategia inwestycyjna realizowana była w przedziale czasowym 03/01/94–06/04/99, ocenę współczynnika β wyliczano z historycznych notowań obejmujących 20 sesji, portfel przetrzymywano 25 sesji po czym sprzedawano i na tej samej sesji kupowano kolejny, zaś stopa zwrotu z akcji służąca do wyznaczenia parametrów modelu była pięciosesyjną średnią arytmetyczną stopą zwrotu z akcji.

Odwzorowywano wektor stanu w zbiór wartości wszystkich ścieżek inwestycyjnych S_e.

$$S_e = f(V_e|_{null = \text{const}}) = f([t_s, t_z, H_\beta, O_n, R_{k[A,\ G]}])$$

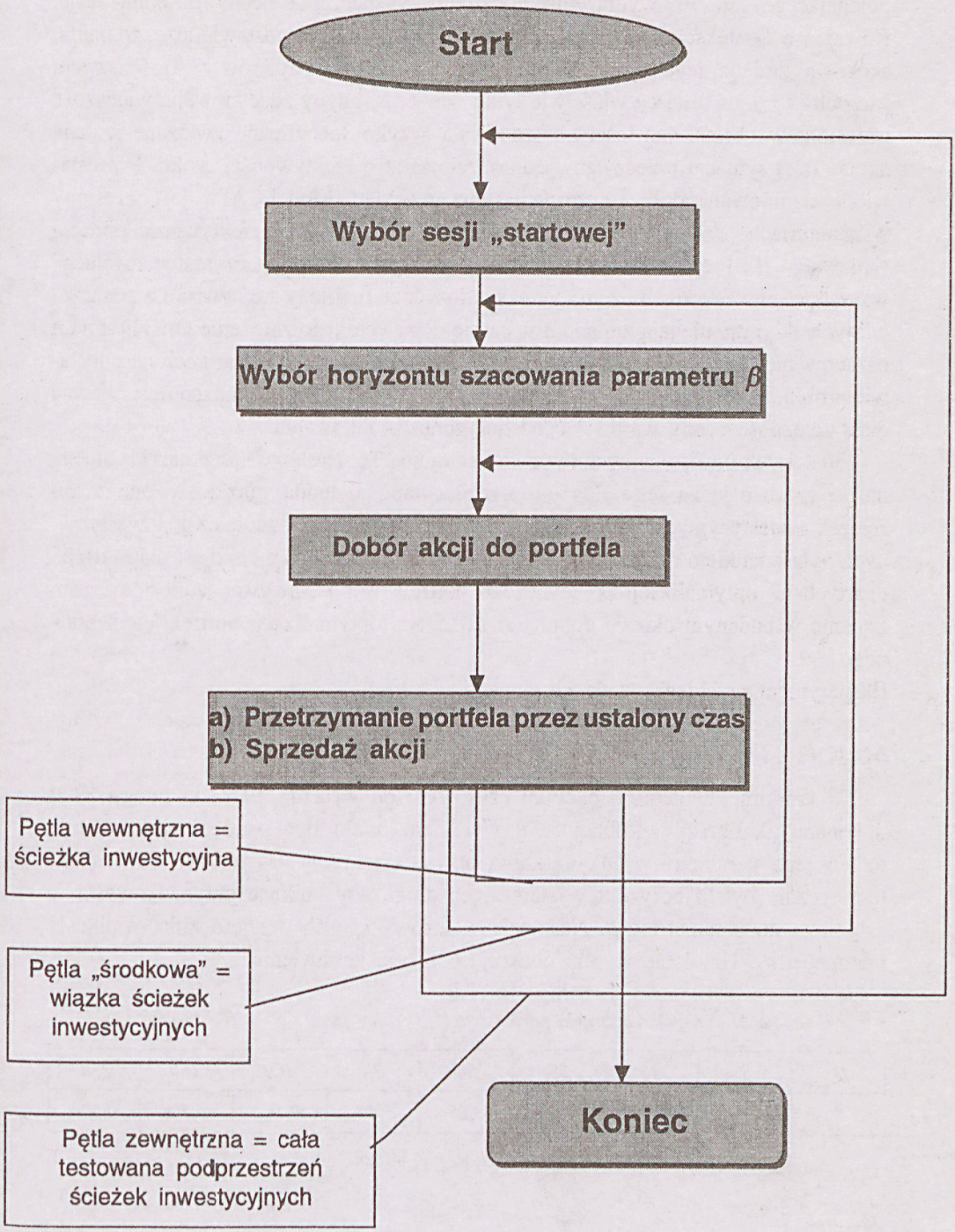
Eksperyment polegał na poruszaniu się po tak zdefiniowanej hiperpłaszczyźnie (wyznaczaniu kolejnych par $\{V_e, S_e\}$) w określonym porządku. Odwołując się ponownie do schematu 1., zauważamy, że wewnętrzna pętla algorytmu skutkowała wyznaczeniem punktów w przestrzeni stanów opisanych następująco:

$$\{V_e, S_e\} = \left\{ [t_s, t_z, \text{const}, O_n, \mathrm{R}_{\mathrm{k}[A,\ G]}];\ f([t_s, t_z, \text{const}, O_n, R_{k[A,\ G]}]) \right\}$$

Zbiór wszystkich ścieżek inwestycyjnych, otrzymanych przy różnych wartościach zmiennej H_β a pozostałych zmiennych stałych nazywamy wiązką ścieżek inwestycyjnych lub w skrócie wiązką. Możemy to zapisać następująco:

$$P_e = \left\{ S_e(H_\beta) \mid t_s, t_z, O_n, R_{k[A,G]} \right\}_{\ = \text{const}}$$

W eksperymencie autor przyjął dość szeroki przedział wyznaczania współczynnika β, od 20 sesji (około miesiąc) do 250 sesji (blisko rok). Teoretycznie estymator współczynnika β powinien być mało wrażliwy na okres próbkowania. Estymator ten jest współczynnikiem kierunkowym prostej, więc sposób wyliczenia jego wartości bazuje na uśrednianiu, którego ideą jest uniezależnienie od pojedynczego zdarzenia



Schemat 1. Schemat eksperymentu

polegającego, np. na wydłużeniu horyzontu wyznaczania oceny o jedną sesję. Również w kontekście teorii racjonalnych zachowań można postawić tezę, że nagła, skokowa zmiana jego wartości jest rzadka na rynku papierów wartościowych. Mogłoby to mieć miejsce właściwie tylko wówczas, gdyby zdecydowana większość uczestników obrotu niewłaściwie szacowała ryzyko specyficzne związane z daną akcją. Taka sytuacja przeczyłaby jednak założeniu o efektywności rynku. Przedstawione rozumowanie dobrze ilustruje następujący cytat: „Model CAPM jest określony w kategoriach oczekiwań inwestorów, tj. przewiduje *ex ante* efektywność portfela rynkowego. [...] oczywiście model CAPM nie jest w stanie „czytać w myślach" wszystkich inwestorów możemy jednak założyć, że rozkłady stóp zwrotu z poszczególnych akcji nie ulegają zmianom w czasie. Przyjęcie tego założenia umożliwi nam oszacowanie wartości oczekiwanych stóp zwrotu, kowariancji i wariancji na podstawie próbki..." zob. Haugen[7]. W rzeczywistości na polskim rynku można obserwować dużą zależność oceny wartości β od horyzontu próbkowania.

230 ścieżek inwestycyjnych tworzyło jedną wiązkę. Następnie przemieszczano się na osi czasu o jedną sesję $t'_s = t_s - 1$ i realizowano następną wiązkę złożoną z 230 ścieżek inwestycyjnych. W eksperymencie głównym każda ze ścieżek inwestycyjnych była wynikiem realizacji 50 elementarnych decyzji $j = (t_s - t_z)/o_n = (1250 - 0)/25$ opartych na optymalizacji pojedynczego portfela w podstawowej jednostce czasu. Łącznie w badanym okresie dokonano 218,5 tys. optymalizacji portfela elementarnego.

Eksperyment przebiegał w trzech etapach.

Etap I

Na krótkim, dwuletnim, odcinku czasowym od stycznia 1997 do lutego 1999 dokonano „kalibracji zgrubnej". Jej wynikiem miało być ustalenie potencjalnie najlepszego parametru o_n. Początkowo przyjęto horyzont H_β równy 300 sesjom; teoretycznie był to horyzont wystarczająco długi, aby uniknąć przypadkowości w estymowaniu parametrów β. Następnie w losowy sposób przyjęto kilka wielkości parametru o_n. Uzyskane wyniki obrazuje poniższe zestawienie.

Tabela 1. Wstępna kalibracja parametru O_n – stopy zwrotu $S_e = f(O_n)|_{H\beta = 300}$

O_n	5	15	25	50	75	100	150	250
S_e	–1,6%	5,5%	16,6%	–3,8%	5,4%	0,1%	6,7%	0,9%

Źródło: obliczenia własne.

[7] Zob. przypis 5.

Test pozwolił na przyjęcie, iż najlepszym okresem przetrzymywania portfela jest 25 sesji. Dla potwierdzenia tego przypuszczenia wyliczono wiązkę ścieżek inwestycyjnych (H_{100}; H_{150}) na odcinku od 31/12/96 do 03/03/99, używając parametru o_{25} oraz – kontrolnie – o_{100}, a także testując $R_{k[A,G]}$. Oprócz stopy zwrotu badano również stabilność współczynników dochód/ryzyko zarówno prognozowanych przez algorytm modelu jednowskaźnikowego, jak i historycznych. Potwierdziły się przypuszczenia, że spośród ośmiu arbitralnie wybranych parametrów O_n najlepsze wyniki utrzymywano przy 25 sesyjnym okresie przetrzymywania portfela. W fazie tej, w wyniku zaobserwowanej cykliczności stóp zwrotu, próbowano również określić zasięg czasowy „odległych maksimów" stóp zwrotu, aby w optymalny sposób ustalić górną granicę parametru H_β przyjętą do obliczeń w dalszych etapach. Uznano, że 250 sesji jest tym zasięgiem.

Etap II

Przeprowadzono dokładniejszą kalibrację parametrów w okresie zamierzonych badań. W tym wypadku próbowano potwierdzić, czy dobrane w pierwszym etapie parametry – czas przetrzymywania 25 sesji oraz zastosowanie pięciosesyjnej, geometrycznej estymaty stopy zwrotu z akcji dają złe czy dobre rezultaty w kilku różnych punktach t_s podstawowego okresu badań zaczynającego się w styczniu 94 roku.

Ten etap eksperymentu był pomocny przy ustaleniu następujących parametrów:

- Okres przetrzymywania portfela ustalono na 25 sesji.
- Sposób i horyzont wyznaczania stopy zwrotu z portfela przyjęto geometryczną, pięciosesyjną stopę zwrotu.
- Horyzont wyznaczania współczynnika β ustalono na 20 – 250 sesji.

Dodatkowo przyjęto, że:

- portfel zawiera wyłącznie akcje,
- nie ma żadnego ograniczenia na liczbę akcji w portfelu,
- okres między kupnem a sprzedażą akcji wyniesie 0 sesji,
- stopa wolna od ryzyka wynosi 20%.

Dla sprawdzenia stabilności przyjętych parametrów wykonano dwa testy stwierdzające istnienie „chaosu" w dynamice rynku. Wykazały one, że nawet niewielka zmiana parametrów wejściowych, przeradza się po długim okresie w znaczącą różnicę odpowiedzi układu.

Etap III

Przeprowadzenie eksperymentu zasadniczego polegało na wyznaczeniu wszystkich 25 wiązek ścieżek inwestycyjnych różniących się datą sesji startowej t_s. Ponieważ okres przetrzymywania portfela miał wynosić 25 sesji, kolejne wiązki były jedynie prostymi transformacjami pierwszych dwudziestu pięciu wiązek. Przykładowo,

wartość każdej S_e stopy zwrotu z dowolnej ścieżki inwestycyjnej należącej do wiązki zaczynającej się w dniu $t_s = 1224$ (czyli w dniu 26 kolejnej sesji od daty 3 I 1994) różniłaby się od wartości S_e stóp zwrotu odpowiednich ścieżek z wiązki pierwszej o wartość stóp zwrotu zrealizowanych w wyniku elementarnych decyzji D_0. Przez odpowiedniość należy tutaj rozumieć równość pozostałych, poza t_s, parametrów wektora ***Ve***. Inaczej mówiąc, realizacja wiązki o numerze porządkowym 26 byłaby tożsama z realizacją wiązki pierwszej pozbawionej decyzji elementarnej D_0.

Wskaźnik jakości

Wskaźnikiem jakości dla procesu optymalizacyjnego była skumulowana stopa zwrotu S_e ze zrealizowanych na ścieżce inwestycyjnej elementarnych portfeli inwestycyjnych na odcinku od stycznia 1994 do kwietnia 1999. Okres wcześniejszy został celowo pominięty jako „nie reprezentatywny" (mała liczba sesji, niewielka liczba akcji, „superhossa" roku 1993). Okres badania został dobrany tak, aby objąć globalne maksimum WIG-u w marcu 1994, po którym nastąpił jego blisko 70 % spadek. Autor otrzymał łącznie 19 wiązek ścieżek inwestycyjnych. Każda z nich charakteryzowała się kilkoma maksimami lokalnymi.

Omówienie uzyskanych wyników

Uzyskane wyniki ilustrują załączone rysunki, od rys. 1. do rys. 3. Nawet pobieżna ich analiza pokazuje, że hipoteza robocza nie została potwierdzona.

W badanym okresie możliwe było zrealizowanie ponadnormatywnych, wyższych od portfela rynkowego, stóp zwrotu przy wykorzystaniu algorytmu doboru akcji do portfela wykorzystującego jednowskaźnikowy model Sharpe'a.

Do innych ciekawych zjawisk, jakie zaobserwowano w tak przeprowadzonym eksperymencie, można zaliczyć:

1. Cykliczność wpływu H_β na zrealizowane stopy zwrotu z portfeli – tego typu teza będzie wymagała dalszych badań. Powstawanie „odległych maksimów" trudno potwierdzić z powodu krótkiej historii WGPW.
2. Wyraźny choć wymagający dalszej obróbki (analiza R/S) efekt „chaosu".
3. Paradoks „odwróconej statystyki".

O ile występowanie dwóch pierwszych zjawisk jest prawie oczywiste, o tyle trzecie zjawisko wymaga rozważań teoretycznych. Pod pojęciem „odwróconej statystyki" rozumiem efekt uzyskiwania coraz gorszych stóp zwrotu z pojedynczej ścieżki inwestycyjnej wraz z wydłużaniem horyzontu H_β chociaż efekt ten, jak już wcześniej powiedziano, jest zakłócony nałożeniem się cyklu. Jest to o tyle dziwne, że wraz

z wydłużaniem się horyzontu H_β ocena współczynnika β powinna, w świetle centralnego twierdzenia granicznego, być coraz lepsza. Ten i inne zasygnalizowane problemy wymagają dalszego badania.

Z powodu sporych nakładów czasowych potrzebnych do wyznaczenia ścieżek inwestycyjnych niemożliwe było przeprowadzenie optymalizacji wielokryterialnej ścieżek. Wymagałoby to zastosowania wydajniejszych algorytmów obliczeniowych oraz kompilatorów języków niższych poziomów wielokrotnie przyśpieszających obliczenia.

Literatura

[1] K. Gödel, *Über Format unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme*, „I. Monathshefte für Mathematik und Physik", 1931

[2] R.A. Haugen, *Teoria nowoczesnego inwestowania*, WIG-PRESS, Warszawa 1997

[3] Z. Komar, *Sztuka spekulacji*, PRET.S.A., Warszawa 1993

[4] E.E. Peters, *Teoria chaosu a rynki kapitałowe*, WIG-PRESS, Warszawa 1997

BIBLIOTEKA AE Poznań