

Optymalizacja szacunków ryzyka

Grzegorz Mentel, Jacek Brożyna*

Streszczenie: *Cel* – Charakterystyka opracowanego przez Autorów oprogramowania do analiz ryzyka wystąpienia potencjalnych strat na instrumentach inwestycyjnych.

Metodologia badania – Oprogramowanie zostało napisane z użyciem technik obiektowych i obliczeń równoległych. Algorytmy zostały zaimplementowane w języku C#.

Wynik – W oparciu o szereg dotychczasowych badań opracowano zautomatyzowaną koncepcję estymacji wartości narażonej na ryzyko w wielu jej odmianach.

Oryginalność/wartość – Tak zwany *VaR Calculator* stanowi znaczne usprawnienie w estymacji wartości zagrożonej w przekroju jej determinant, jakimi są chociażby poziom ufności, stała wygładzania czy też liczba obserwacji historycznych. Dodatkowym jego atutem jest skompilowanie w jednym programie kilku różnorodnych metod wyznaczania *VaR*, jak również znaczne usprawnienie procedur obliczeniowych. Tym samym opisywany kalkulator jest bezpłatną, stale rozwijaną propozycją w zakresie prognozowania negatywnych zmian na rynku, a co za tym idzie, ograniczania ryzyka.

Słowa kluczowe: value-at-risk, modelowanie, prognozowanie, ryzyko, oprogramowanie

Wprowadzenie

Bardzo często jako narzędzia oceny ryzyka inwestowania w akcje wykorzystuje się metody oparte na analizie szeregów czasowych. Ryzyko inwestowania na giełdzie, a w szczególności inwestowania w papiery wartościowe, jakimi są akcje notowanych spółek, wynika oczywiście ze zmienności ich kursów. Stąd też przy ocenie ryzyka bardzo ważne jest właściwe oszacowanie tej przewidywanej zmienności.

Ponadto inwestor giełdowy – który inwestuje bardzo często duże pieniądze w akcje spółek swojego portfela – zainteresowany jest, aby z możliwie największą dokładnością znane mu było maksymalne ryzyko jego potencjalnych strat. Ryzyko to wyrażane jest często wartością maksymalnych możliwych strat, jakie inwestor może ponieść w wartości swojego portfela inwestycyjnego w najgorszym zakładanym scenariuszu.

Na tej zasadzie opiera się bardzo popularna metoda oszacowania ryzyka inwestowania na rynkach finansowych, polegająca na oszacowaniu tzw. „wartości portfela narażonej na ryzyko”, z angielskiego zwana *VaR* (*Value at Risk*).

* dr Grzegorz Mentel, Politechnika Rzeszowska, Wydział Zarządzania, Katedra Metod Ilościowych, Al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: gmentel@prz.edu.pl; dr inż. Jacek Brożyna, Politechnika Rzeszowska, Wydział Zarządzania, Katedra Metod Ilościowych, Al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: jacek.brozyna@prz.edu.pl.

W metodzie tej szacuje się maksymalne potencjalne straty wartości portfela w zakładanym horyzoncie czasowym (np. jednodniowym, tygodniowym) w taki sposób, że prawdopodobieństwo zdarzenia, że straty te będą jeszcze większe, jest bardzo małe (równe przyjętemu poziomowi istotności).

Jednak mimo powszechności stosowania *VaR*, ciężko jest znaleźć narzędzie, które pozwoli zautomatyzować jej szacowanie. O ile trafiają się programy, które pozwalają wyznaczyć wartości *Value at Risk*, o tyle nie zawierają w sobie szerokiej gamy różnych jej koncepcji – są raczej dodatkami do innych pakietów statystycznych – bądź ich zakup jest dość kosztowny dla przeciętnego użytkownika, inwestora.

Wychodząc zatem naprzeciw wyżej opisanym spostrzeżeniom, postawiono sobie za cel zmechanizowanie procesów estymacji wartości zagrożonej w jednym pakiecie, nazwanym przez autorów *VaR Calculator*.

Zgodnie z powszechnie stosowanymi podziałami w tym zakresie, w proponowanym kalkulatorze dokonano podziału metod szacowania *VaR* na dwa rodzaje: *metody symulacyjne* (symulacja historyczna i symulacja Monte Carlo) oraz *metody analityczne* (oparte na różnego rodzaju modelach, opisujących „zachowanie się” instrumentów finansowych w portfelu inwestycyjnym).

1. Historia VaR

„Potrzeba matką wynalazku”, a tym wynalazkiem okazała się metodologia *Value at Risk* (w skrócie *VaR*), czyli w polskim przekładzie „wartość narażona na ryzyko”. Ta stosunkowo nowa koncepcja po raz pierwszy wprowadzona została w życie przez kilka międzynarodowych instytucji finansowych pod koniec lat 80. Od tego czasu popularność *VaR* rosła w sposób lawinowy. Znaczącym krokiem było stworzenie przez J.P. Morgan systemu RiskMetrics™ w październiku 1994 roku (RiskMetrics 1996). *VaR* zaczął być również popularny wśród firm i inwestorów instytucjonalnych. Kolejnymi krokami przyczyniającymi się do rozwoju popularności nowej metodologii było pojawienie się publikacji, jak chociażby P. Joriona (Jorion 1997), kompleksowo rozważających zagadnienia związane z *VaR*, a także powstanie systemów informatycznych pozwalających na implementację metodologii.

Nowa metoda wzbudziła również zainteresowanie instytucji nadzorczych. W styczniu 1996 roku Bazylejski Komitet Nadzoru Bankowego uchwalił poprawkę do swoich standardów wymogów kapitałowych ze względu na ponoszone ryzyka rynkowe (*Amendment of the Capital Accord to Incorporate Market Risk*), określającą zasady uwzględniania przez banki ponoszonych przez nie ryzyk rynkowych związanych ze zmianami stóp procentowych, kursów wymiany i cen towarów, gdzie po raz pierwszy pozwolono na szacowanie przez banki tych ryzyk za pomocą wewnętrznych modeli *VaR*. W sierpniu tego roku śladami Europy podążyły Stany Zjednoczone, gdzie Federalny Bank Rezerw (Fed) uchwalił *Risk-Based Capital Standards: Market Risk* (standardy kapitałowe związane z ryzykami rynkowymi), wzorując się na wspomnianej poprawce Komisji Bazylejskiej.

W obu publikacjach określono zasady, według których banki miały kalkulować we własnym zakresie *VaR*. W 1993 roku weszła w życie dyrektywa Unii Europejskiej dotycząca standardów kapitałowych, pozwalająca stosować *Value at Risk* jako sposób obliczania ryzyka dla pozycji walutowych.

2. Modele symulacyjne

W metodzie *symulacji historycznej* dla szacowania *VaR* korzysta się z rzeczywistych danych, co sprawia, że lepiej niż inne metody klasyczne odzwierciedla rzeczywiste zachowania się rynku. Główną jej zaletą jest to, że jest to metoda nieparametryczna. Oznacza to, że z jednej strony nie ma tu ograniczeń wynikających z konieczności przyjęcia założenia normalności, z drugiej strony unika się szacowania niektórych parametrów (takich jak np. średnia czy odchylenie standardowe) na podstawie danych historycznych (Jajuga 2000).

W przypadku występowania „grubych ogonów” w rzeczywistym rozkładzie cen, metoda symulacji historycznej daje bardziej wiarygodny poziom *VaR*. Zaletą symulacji historycznej jest także to, że w odróżnieniu od pozostałych metod jest prostsza w oszacowaniu.

Ciekawym podejściem w tym zakresie jest generowanie *VaR* w oparciu o tzw. *profit and loss (P&L)*, co oprócz kursów i stóp zwrotów zostało zaproponowane w *VaR Calculator*. Takie rozwiązanie poleca grupa *RiskMetrics*TM, obliczając wartość ryzykowaną w oparciu o wyznaczone scenariusze zysków i strat (Mina, Yi Cio 2001). Przy takim podejściu wstępnie obliczane są potencjalne ceny walorów w okresie t :

$$P_t = P_0 \cdot e^{r\sqrt{t}} \quad (1)$$

gdzie:

- P_t – cena waloru w okresie t ,
- P_0 – cena waloru w okresie początkowym,
- r – wyznaczona wcześniej stopa zwrotu,
- t – horyzont czasowy, dla którego wyznaczamy *VaR*,

a następnie generowane są różnice cen P_0 i scenariuszy P_t . Tak wyznaczone różnice podlegają procesowi uporządkowania, a następnie wyznacza się percentyl odpowiadający wymaganemu poziomowi ufności – w ten sposób uzyskujemy *VaR*.

Metoda *symulacji Monte Carlo* z kolei opiera się na hipotetycznym modelu stochastycznym, który opisuje kształtowanie się cen instrumentu finansowego. Istotą procesów stochastycznych jest to, że nie ma możliwości prognozowania wartości procesu, można jedynie wyznaczyć prawdopodobieństwo, z jakim dana wartość zostanie osiągnięta. Wartość procesu jest zaś zależna wyłącznie od czasu i od wcześniejszej wartości procesu.

W metodzie Monte Carlo przyjmuje się pewien hipotetyczny model, który opisuje mechanizm kształtowania się cen (lub stóp zwrotu) instrumentów finansowych. Często zakłada się, że proces ten jest geometrycznym ruchem Browna. Stosując jako podstawę ten

lub inne modele (model „powracania do średniej”¹, model skoku i dyfuzji² itd.) generuje się wiele obserwacji cen instrumentów finansowych. W ten sposób otrzymuje się rozkład stopy zwrotu instrumentu finansowego. Wyznaczenie kwantyla tego rozkładu pozwala na bezpośrednie określenie *VaR*. Parametry procesu szacuje się najczęściej na podstawie danych z przeszłości (Jajuga i in. 1999).

3. Metody analityczne

Istnieje wiele modeli analitycznych opisujących fluktuację instrumentów finansowych w czasie. W opracowanym oprogramowaniu zaproponowano dla porównania kilka koncepcji, bardzo ważnych z racji ich zastosowań praktycznych. Są to głównie modele wprowadzone oraz z powodzeniem wykorzystywane przez analityków i inżynierów finansowych skupionych wokół firmy *RiskMetrics*TM. W modelach tych tzw. warunkowa wariancja dla dziennych zwrotów cen akcji (przy praktycznym założeniu, że ich wartość przeciętna wynosi zero) liczona jest jako nieskończona średnia ruchoma z wagami wykładniczymi:

$\sigma_t^2 = \sigma_{t|t-1}^2 = (1-\lambda) \sum_{j=0}^{\infty} \lambda^j \cdot r_{t-1-j}^2$. W przybliżeniu dla dostatecznie dużej liczby obserwacji historycznych ($n \rightarrow \infty$) możemy zależność tę zapisać następująco $\sigma_t^2 = (1-\lambda) \sum_{j=0}^{n-1} \lambda^j \cdot r_{t-1-j}^2$,

a rekurencyjnie jako: $\sigma_t^2 = (1-\lambda)r_{t-1}^2 + \lambda\sigma_{t-1}^2$. Dla zwrotów o dłuższych horyzontach czasowych ($T > 0$) stosuje się (praktyczne dla zwrotów logarytmicznych) skalowanie wariancji względem długości tego horyzontu (Pisula, Pisula 2002).

Zaliczyć tutaj możemy:

- model *RiskMetrics Drift* z zakłóceniami losowymi modelowanymi za pomocą rozkładu normalnego (RiskMetrics 1997) (RiskMetrics 1996),
- model *RiskMetrics t-Student* z zakłóceniami losowymi modelowanymi za pomocą rozkładu t-Studenta (RiskMetrics 1997; RiskMetrics 1996),
- model *RiskMetrics GED* z zakłóceniami losowymi modelowanymi za pomocą uogólnionego rozkładu błędu (*General Error Distribution* – GED) (RiskMetrics 1997; RiskMetrics 1996),
- model *RiskMetrics NormalMixture* z zakłóceniami losowymi modelowanymi za pomocą „mieszaniny” rozkładów normalnych (RiskMetrics 1997; RiskMetrics 1996).

Ponadto wykorzystano również dla porównania inne modele oparte o uogólnione procesy autoregresyjne wariancji warunkowej (typu *GARCH(1,1)*) w dwóch odmianach, a mianowicie model *GARCH(1,1) Normal* z zakłóceniami modelowanymi za pomocą rozkładu normalnego oraz model *GARCH(1,1) t-Student*, w którym to dla odmiany zakłócenia losowe modelowane są rozkładem t-Studenta (Bollerssev 1986; Bollerssev 1987; Brzeszczyński,

¹ Model „powracania do średniej” zwany jest często modelem Ornsteina-Uhlenbecka.

² Proces skoku i dyfuzji stanowi połączenie geometrycznego ruchu Browna z procesem Poissona.

Kelm 2002). Modele te stanowią swego rodzaju alternatywę dla modeli opracowanych przez *RiskMetrics*TM. Ich zasadnicza odmienność polega na innym (regresyjnym) podejściu do szacowania wariancji warunkowej dla zwrotów cen akcji:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot r_{t-1}^2 + \beta_1 \cdot \sigma_{t-1}^2; \alpha_0, \alpha_1, \beta_1 > 0 \quad (2)$$

W programie zaproponowano także tzw. modele „powracania do średniej” (*Mean Reversion*), które również z powodzeniem znajdują zastosowanie w wielu zagadnieniach inżynierii finansowej (Pisula, Mentel 2003). W tym przypadku zastosowano model *Mean Reversion RiskMetrics Normal* z zakłóceniami losowymi modelowanymi za pomocą rozkładu normalnego, zaś wariancją warunkową modelowaną tak, jak w modelach *RiskMetrics*TM (RiskMetrics 1997, RiskMetrics 1996).

Dla odmiany zastosowano również model tzw. błędzenia losowego, czyli model *Random Walk* z zakłóceniami losowymi modelowanymi za pomocą rozkładu normalnego. Istotnym elementem tego modelu jest stała wartość wariancji w czasie.

We wszystkich modelach przy oszacowaniu parametrów wariancji warunkowej możemy również zastosować metodę najmniejszych kwadratów, stosując jako kryterium optymalizacyjne kwadraty odchyłeń prognozowanej wariancji σ_t^2 od rzeczywistych wartości zwrotów podniesionych do kwadratu r_t^2 . Pozostałe parametry, związane już tylko z rozkładem zakłóceń losowych, możemy wyznaczyć tak, jak poprzednio MNW. Dzięki takiemu podejściu dla niektórych modeli znacznie zmniejsza się ilość parametrów koniecznych do oszacowania MNW i zwiększa się ich dokładność oszacowań (Pisula, Mentel 2003).

4. Optymalizacja obliczeń

Na rynku oprogramowania komputerowego brakuje narzędzi, które zawierałyby wiele różnych metod służących do szacowania ryzyka z użyciem wielu różnych modeli, a jeśli takowe narzędzia istnieją, to są drogie, a to powoduje, że często naukowcy nie mogą sobie pozwolić na ich zakup. Te ograniczenia spowodowały, że autorzy niniejszej pracy postanowili stworzyć darmowe oprogramowanie *VaR calculator*³, które umożliwiałoby badania nad ryzykiem uwzględniając wiele koncepcji. Stworzone oprogramowanie bazuje na bibliotekach programu *STATISTICA 10* firmy StatSoft[®], które zawierają wiele różnego rodzaju funkcji, pozwalających skupić się na realizacji konkretnego zagadnienia związanego z ryzykiem, a nie np. na pisaniu funkcji rozkładu *t*-Studenta, który dany model wykorzystuje. Biblioteki programu *STATISTICA 10* zostały wybrane również dlatego, że jest to jeden z najbardziej popularnych programów będących w posiadaniu jednostek naukowych. W przypadku braku licencji na program *STATISTICA 10* możliwe jest pobranie jego wersji próbnej⁴ ze strony producenta.

³ <http://prz.edu.pl/~jacekb/software/freeware/VaR>.

⁴ www.statsoft.pl/Zasoby/Do-pobrania/Wersja-probna-STATISTICA.

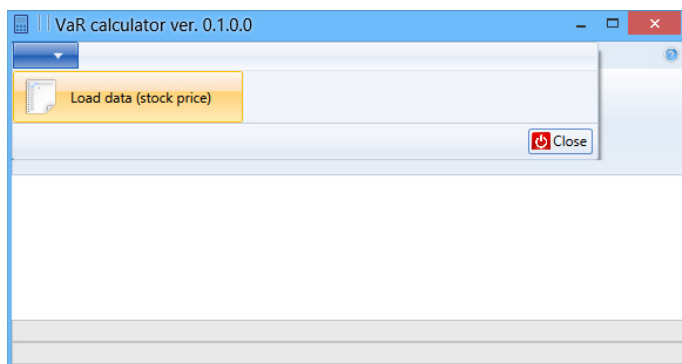
Program *VaR Calculator* jest ciągle rozwijany, dodawane są do niego nowe modele i optymalizowana jest szybkość obliczeń. Na chwilę obecną program posiada możliwość obliczania ryzyka dla modeli, które zostały opisane powyżej:

- RM (ind):
 - GED,
 - NormalMix,
 - Drift Normal,
 - T-Student.
- GARCH(1,1):
 - Normal,
 - T-student.
- Inne:
 - Random Walk (RW).

Po zainstalowaniu programu za pomocą instalatora ze strony <http://prz.edu.pl/~jacekb/software/freeware/VaR>, przy każdym kolejnym uruchomieniu będzie on sprawdzał istnienie na serwerze nowszej wersji i proponował automatyczną aktualizację.

Po uruchomieniu programu *VaR calculator* należy w pierwszej kolejności wczytać (rys. 1) przygotowany wcześniej (w programie *STATISTICA*) plik z notowaniami (rys. 2), który może zawierać tylko jedną kolumnę.

Po wczytaniu danych do programu uaktywnione zostanie menu z dostępnymi modelami obliczeń jak na rysunku 3. Wybierając któryś z modeli do obliczeń pojawi się okno z wyborem pliku parametrów (w formacie programu *STATISTICA*). Dane w pliku z parametrami dla modelu muszą mieć określoną kolejność parametrów, dlatego do programu zostały dołączone również przykładowe pliki dla każdego z modeli (rys. 4).



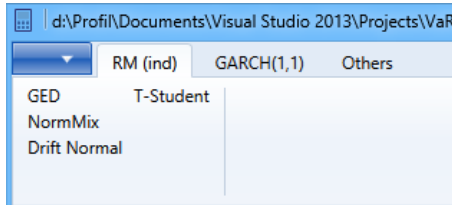
Rysunek 1. *VaR calculator* – wczytywanie danych

Źródło: opracowanie własne.

1 Kurs AssecoPL	
01/04/2010	63,15
01/05/2010	63,10
01/06/2010	63,00
01/07/2010	61,25
01/08/2010	60,15
01/11/2010	60,30
01/12/2010	58,80
01/13/2010	59,00
01/14/2010	59,20
01/15/2010	59,25
01/18/2010	60,65
01/19/2010	60,00

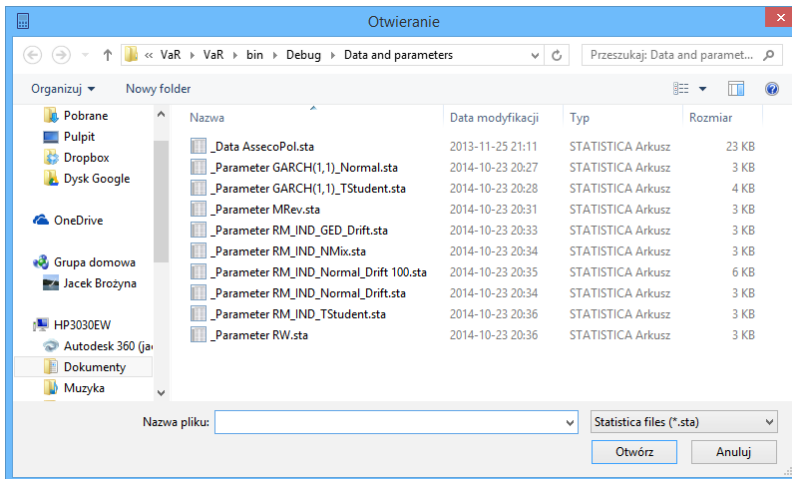
Rysunek 2. Przykładowe dane (notowania) dla programu *VaR calculator*

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 3. Menu modeli programu *VaR calculator*

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 4. Okno wyboru pliku parametrów /lista przykładowych plików z parametrami dla modeli

Źródło: opracowanie własne.

Jednym z założeń programu *VaR calculator* było wygodne i szybkie analizowanie danych. Pierwsza wersja programu, jak większość tego typu narzędzi, pozwalała na ręczne wprowadzenie parametrów dla wybranego modelu. Dzięki zastosowaniu plików z parametrami nie ma potrzeby za każdym razem od nowa wpisywać parametrów modelu, a co najważniejsze, można jednorazowo przygotować wiele rekordów z parametrami (rys. 5) np. w celu przeanalizowania wpływu krokowej zmiany jednego z nich na ryzyko.

	1 Number of historical observations N	2 Significance level Alpha	3 Drift parameter Mi	4 Decay factor Lambda
1	150	0,1	0,0000280000	0,925234
2	150	0,1	0,0003300000	0,961461
3	150	0,1	0,0013300000	0,961681
4	150	0,1	-0,0008840000	0,979201
5	150	0,1	0,0006720000	0,972276
6	150	0,1	0,0004740000	0,944686
7	150	0,1	-0,0001720000	0,912236

Rysunek 5. Przykładowy plik z parametrami dla modelu RM(ind) Normal Drift

Źródło: opracowanie własne.

The screenshot shows the 'VaR calculator ver. 0.1.0.0' window. The main area displays a table with the following columns: 'Percentage of returns beyond the lower limit of VaR', 'Percentage of returns beyond the upper limit of VaR', 'Difference D', 'Difference G', and 'Name of file with detailed results'. The table contains 10 rows of data, each corresponding to a different set of parameters. The results are saved in a file named 'RM_IND_Normal_Drift - results.sta'.

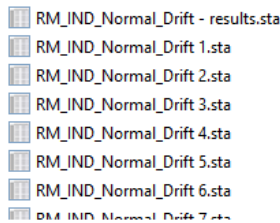
Percentage of returns beyond the lower limit of VaR	Percentage of returns beyond the upper limit of VaR	Difference D	Difference G	Name of file with detailed results
7.32113144758735	4.82529118136439	2.32113144758735	-0.174708818635608	RM_IND_Normal_Drift 1
6.82196339434276	3.99334442595674	1.82196339434276	-1.0066557404326	RM_IND_Normal_Drift 2
7.48752079866888	3.66056572379368	2.48752079866889	-1.33943427620632	RM_IND_Normal_Drift 3
5.49084858569052	4.82529118136439	0.490848585690515	-0.174708818635608	RM_IND_Normal_Drift 4
6.98835274542429	3.99334442595674	1.98835274542429	-1.0066557404326	RM_IND_Normal_Drift 5
6.98835274542429	4.3261231281198	1.98835274542429	-0.6738768718802	RM_IND_Normal_Drift 6
7.48752079866888	4.82529118136439	2.48752079866889	-0.174708818635608	RM_IND_Normal_Drift 7
6.65557404326123	4.99168053244592	1.65557404326123	-0.00831946755407709	RM_IND_Normal_Drift 8
7.48752079866888	5.15806988352745	2.48752079866889	0.158069883527454	RM_IND_Normal_Drift 9
6.82196339434276	4.65890183028286	1.82196339434276	-0.34109816971138	RM_IND_Normal_Drift 10

Rysunek 6. Wyniki obliczeń w programie *VaR calculator*

Źródło: opracowanie własne.

Ogólne wyniki obliczeń prezentowane są bezpośrednio w oknie programu (rys. 6) i równocześnie zapisywane są na pulpicie systemu w folderze „VaR results” z nazwą modelu i przyrostkiem „- results” jako nazwą pliku. Poza ogólnymi wynikami w folderze „VaR results” zapisywane są również szczegółowe wyniki obliczeń uzyskane dla każdego

z rekordów parametrów danego modelu. Pliki ze szczegółowymi wynikami mają nazwy identyczne, jak nazwa pliku ogólnego, ale zamiast przyrostka „- results” zawierają numer rekordu z pliku parametrów (rys. 7). Informacje o nazwach plików ze szczegółowymi wynikami są również widoczne w oknie programu na końcu każdego rekordu parametrów. Taka organizacja gromadzenia wyników umożliwia dokonanie wielu różnych obliczeń i ich późniejsze analizowanie bez potrzeby ponownego uruchamiania programu.



Rysunek 7. Przykładowe pliki zapisane przez program *VaR calculator* w folderze „VaR results”

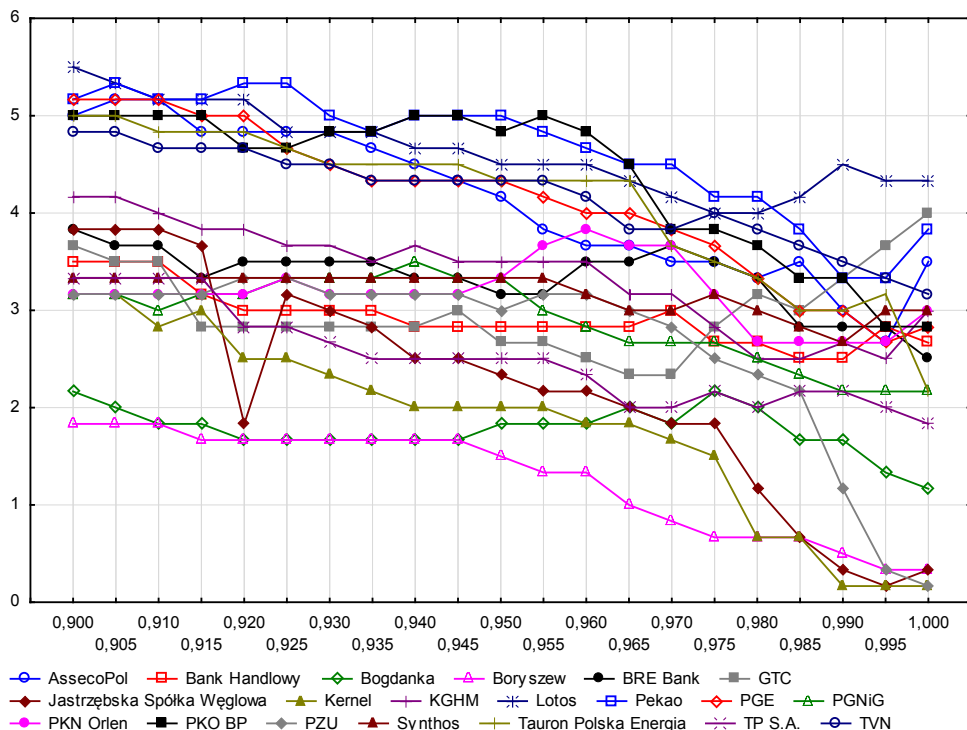
Źródło: opracowanie własne.

Wyniki szczegółowe zawierają istotne obliczenia pośrednie dla każdego z modeli, np. dla modelu RM (ind) Normal Drift są to odpowiednio:

- *VaRD_R_RM_Normal_Drift* – dolna granica przedziału ufności dla stóp zwrotu (*VaR*),
- *VaRG_R_RM_Normal_Drift* – górna granica przedziału ufności dla stóp zwrotu,
- *VaRD_Kurs_RM_Normal_Drift* – dolna granica przedziału ufności dla kursów (*VaR*),
- *VaRG_Kurs_RM_Normal_Drift* – górna granica przedziału ufności dla kursów,
- *VaRD_ZSI_RM_Normal_Drift* – dolna granica przedziału ufności dla zysków/strat (*VaR*),
- *VaRG_ZSI_RM_Normal_Drift* – górna granica przedziału ufności dla zysków/strat.

Program *VaR calculator* z założenia miał być nie tylko funkcjonalny, ale miał również przetwarzać dane w wydajny sposób. Założenie to udało się zrealizować poprzez zastosowanie obliczeń równoległych wykorzystujących wielowątkowość procesorów, dzięki czemu przeprowadzenie obliczeń np. dla kilkuset wariantów parametrów modelu i wygenerowanie wyników szczegółowych trwa tylko kilkanaście sekund.

Przykład zastosowania jednej z pierwszych wersji programu *VaR calculator* można znaleźć w pracy *Decay factor as a determinant of forecasting models* (Mentel, Brożyna 2015), gdzie na podstawie spółek wchodzących w roku 2013 w skład indeksu WIG20 zbadano wpływ stałej wygładzania I na skuteczność szacowania *VaR* w kontekście modelowania zmienności za pomocą wykładniczo ważonej średniej ruchomej (*exponentially weighted moving average*), czyli tzw. EWMA – przykład dla spółek wchodzących w skład WIG20 został przedstawiony na rysunku 8.



Rysunek 8. Odsetek przekroczeń dopuszczalnej granicy VaR (5%) dla modelu RiskMetrics t-Student w zależności od zmieniających się wartości stałej wygładzania

Źródło: Mentel, Brożyna (2015).

Uwagi końcowe

Pomijając samą istotę metodologii *Value at Risk*, która jak znawcy tematu wiedzą ma swoje plusy i minusy, należy podkreślić, że wszelkie próby zmierzające do zautomatyzowania obliczeń tejże wielkości są jak najbardziej pożądane. Mnogość programów pozwalających na jej estymację jest spora, jednak zasadniczo ograniczają się one głównie do metod symulacyjnych. Ponadto przeważnie są to programy związane z szeroko rozumianym ryzykiem, gdzie koncepcja *VaR* jest jakby na boku.

Tym samym zaprezentowany wyżej *VaR Calculator* jest propozycją, która dzięki swym niewątpliwym walorom może stanowić alternatywę dla komercyjnych aplikacji tego typu. Wydaje się, że wszelkie możliwości elastycznego podejścia do determinant *VaR*, które pozwalają na ich swobodną modyfikację, są zasadniczym jego atutem. Jak już bowiem wspomniano, omawiany kalkulator pozwala na wyznaczenie szacunków *Value at Risk* dla różnych poziomów istotności i przy jednocześnie różnej liczbie obserwacji historycznych. Pozwala

to na dodatkowe wnioskowanie oraz badanie wpływu tychże czynników w zależności od zmieniających się wartości wspomnianych elementów (Mentel, Brożyna 2014). Istotne jest również to, iż program nie narzuca wartości samych parametrów modeli niezbędnych do ich estymacji, co przy metodach parametrycznych jest niezwykle ważne. Możliwe jest zatem sprawdzenie skuteczności szacunków chociażby przy zmieniających się poziomach λ (Mentel, Brożyna 2015). Ponadto niemałym plusem opracowanej aplikacji jest mnogość zaproponowanych koncepcji podejścia do *VaR*. Można tutaj bowiem doszukać się zarówno metod symulacyjnych, jak i parametrycznych o różnorodnym podejściu do „zachowania się” instrumentów finansowych w portfelu inwestycyjnym⁵ (Mentel 2013). Nie można pominąć również faktu, że wszelkie szacunki wartości zagrożonej wyznaczone są w przekroju zarówno stóp zwrotu, kursów analizowanych podmiotów, jak i bezpośrednich zysków i strat.

Ponieważ metodologia *Value at Risk* jest dość szeroka jeśli chodzi o różne jej odmiany i odmienne podejścia do chociażby modelowania samych zakłóceń losowych, autorzy *VaR Calculator* nie mają zamkniętej drogi do stałego rozwijania omawianej aplikacji. W najbliższym bowiem czasie zostanie zaproponowane rozszerzenie programu o tzw. prognozowanie długookresowe w oparciu o dotychczas przedstawione koncepcje.

Literatura

- Alexander C. (2008), *Value at Risk Models*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Avdulaj K. (2010), *VaR based on extreme Value Theory Methods and copulas. Empirical evidence from Central Europe*, Charles University in Prague, Prague.
- Badik P. (2005), *Use VaR methods for measuring marketrisk and calculating capital adequacy*, Volume XIII, 3 Biatec.
- Bollerslev T. (1986), *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*, „Journal of Econometrics” vol. 31.
- Bollerslev T. (1987), *A Conditional Heteroskedastic Model for Speculative Prices and Rates of Return*, „Review of Economics and Statistics” vol. 69.
- Brzeszczyński J., Kelm R. (2002), *Ekonometryczne modele rynków finansowych. Modele kursów giełdowych i kursów walutowych*, WIG-Press, Warszawa.
- Gaivoronski A.A., Pflug G.C. (2005), *Value at Risk in portfolio optimization: properties and computational approach*, „Journal of Risk”.
- Guldimann T. (2000), *The story of Risk Metrics*, Risk.
- Jajuga K. (2000), *Miary ryzyka rynkowego – część trzecia*, „Rynek Terminowy” nr 8/2.
- Jajuga K., Kuziak K., Papla D. (1999), *Ryzyko wybranych instrumentów polskiego rynku finansowego – część I*, „Rynek Terminowy” nr 6.
- Jorion P. (1997), *Value at Risk*, Irwin, Chicago.
- Khindanova I., Rachev S. (2000), *Value at Risk: Recent Advances. Handbook of Analytic Computational Methods in Applied Mathematics*, Chapman & Hall/CRS, New York.
- Mentel G. (2013), *Parametric or Non-Parametric Estimation of Value-At-Risk*, „International Journal of Business and Management” vol. 8, no. 11, Toronto.
- Mentel G., Brożyna J. (2014), *Historical Data in the Context of Risk Prediction*, „International Journal of Business and Social Research” vol. 3, no. 1, Maryland Institute of Research.
- Mentel G., Brożyna J. (2015), *Decay factor as a determinant of forecasting models*, „International Journal of Economics and Finance” vol. 7, no. 1, Canadian Center of Science and Education.

⁵ Koncepcje oparte na modelach zmienności tworzonych za pomocą wykładniczo ważonej średniej ruchomej (EWMA) oraz modele klasy GARCH.

- Mina J., Yi C. (2001), *Return to Risk Metrics: The Evaluation of a Standard*, RiskMetrics Technical Documents, Nowy Jork.
- Pflug G.C., Römisch W. (2007), *Modeling, Measuring and Managing Risk*, World Scientific, Singapore.
- Pisula T., Mentel G. (2003), *Porównanie skuteczności wybranych metod mierzenia ryzyka inwestowania w akcje*, Prace Naukowe AE we Wrocławiu nr 988 – Taksonomia 10, Wrocław.
- Pisula T., Pisula J. (2002), *Możliwość efektywnego przewidywania ryzyka zmian kursów akcji spółek notowanych na GPW*, „Rynek Terminowy” nr 17/3.
- RiskMetrics Monitor (1997), Fourth Quarter, Nowy Jork.
- RiskMetrics Technical Document (1996), Fourth Edition, Nowy Jork.

OPTIMIZATION OF RIK ESTIMATES

Abstract: *Purpose* – Characteristics of software developed by the authors to analyze the risk of potential losses on investment instruments.

Research methodology – The software was written by using object-oriented techniques and parallel computing. The algorithms were implemented in C# language.

Result - Based on a number of previous studies it was developed the automated estimation concept of value at risk in its many forms.

Originality/value – The so-called *VaR Calculator* is a significant improvement in the estimation of the value at risk in cross of its determinants, which are even level of confidence, or smoothing constant or the number of historical observations. Its additional advantage is to compile in one program several, various methods of determining the VaR as well as significant improvement of calculation procedures. Thus, the featured calculator is a free, constantly improved proposal for forecasting negative changes in the market, and what follows, the risk reduction.

Keywords: value-at-risk, modelling, prediction, risk, software

Cytowanie

- Mentel G., Brożyna J. (2015), *Optymalizacja szacunków ryzyka*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 854, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” nr 73, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin, s. 409–420; www.wneiz.pl/frfu.