



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ανάλυση Χρηματοοικονομικών Κινδύνων και VaR.
Υπολογισμός και εφαρμογή με τη μέθοδο Monte Carlo στη
γλώσσα R**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Κ. ΠΑΔΟΥΒΑΣ

Επιβλέπων : Ι. Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ανάλυση Χρηματοοικονομικών Κινδύνων και VaR.
Υπολογισμός και εφαρμογή με τη μέθοδο Monte Carlo στη
γλώσσα R**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Κ. ΠΑΔΟΥΒΑΣ

Επιβλέπων : Ι. Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Ιουλίου 2015.

.....
Ι. Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δ. Ασκούνης
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χ. Δούκας
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2015

.....

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Κ. ΠΑΔΟΥΒΑΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © ΓΕΩΡΓΙΟΣ Κ. ΠΑΔΟΥΒΑΣ, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ι. Ψαρρά, για την ανάθεση αυτής αλλά και τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο της διαχείρισης κινδύνων στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης.

Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Γ. Ρηγόπουλο για την καθοδήγηση και τη συμβολή του στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με υποστήριξαν, και ιδιαιτέρως την οικογένειά μου για την βοήθεια και τη συμπαράστασή τους, καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες οι χρηματοοικονομικές αγορές απέκτησαν υψηλή μεταβλητότητα και ιδιαίτερα πολύπλοκη μορφή. Ως αποτέλεσμα, η ανάλυση του χρηματοοικονομικού κινδύνου έχει αναδειχθεί ως κύριο θέμα συζήτησης για την ακαδημαϊκή κοινότητα αλλά και αντικείμενο παρακολούθησης από την πλειονότητα των χρηματοπιστωτικών οργανισμών και επιχειρήσεων. Η παρούσα εργασία εστιάζει τον ενδιαφέρον της στην μέτρηση, και τη διαχείριση, του κινδύνου αγοράς μέσω του υπολογισμού της Αξίας σε Κίνδυνο (VaR).

Πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση για την αναλυτική παρουσίαση των διαφόρων ειδών των χρηματοοικονομικών κινδύνων αλλά και τις διαδικασίες που ακολουθούν, χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και επιχειρήσεις, για την αποτελεσματική διαχείρισή τους. Αναλύεται διεξοδικά η Αξία σε Κίνδυνο με ανασκόπηση της πορείας της ως μέτρο κινδύνου, των διαφόρων ειδών της, των θετικών και αρνητικών πτυχών της αλλά και της λεπτομερούς διαδικασίας κατασκευής της.

Παρουσιάζονται οι διάφορες τεχνικές για τον υπολογισμό της Αξίας σε Κίνδυνο, ενώ αναλύεται διεξοδικά η μέθοδος Monte Carlo στην οποία βασίζεται η εμπειρική μελέτη.

Η εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ημερήσιας VaR υποθετικού χαρτοφυλακίου 5 αξιόγραφων (μετοχών), τα δεδομένα των οποίων βασίστηκαν σε πραγματικές τιμές από το Χρηματιστήριο Αθηνών. Ο υπολογισμός της VaR έγινε για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης και για διαφορετικό αριθμό προσομοιωμένων σεναρίων, ενώ για τον επανέλεγχο του μοντέλου που κατασκευάστηκε, έγινε χρήση του ελέγχου Kupiec.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Διαχείριση κινδύνων, Ανάλυση Χαρτοφυλακίου, Αξία-σε-Κίνδυνο, Προσομοίωση, Επανελέγχος

ABSTRACT

During the last decades, financial markets acquired a highly complicated character along with excessive variability. As a result, financial risks analysis, has been established as a trending issue both for the academic community and for the majority of financial organizations and enterprises. This thesis focuses on the measurement and management of market risk, through the calculation of Value at Risk (VaR).

We conducted a literature review to a detailed presentation of the different types of financial risks and procedures, followed by financial institutions and companies, for their effective management. Value at Risk is thoroughly analyzed by reviewing its course as a risk measure, the different types we encounter, both its positive and negative aspects and finally by reviewing its detailed construction process.

We present the various techniques for calculating Value at risk, though Monte Carlo simulation method is thoroughly analyzed as it is the process in which the empirical application is based.

Monte Carlo method was applied for the calculation of the daily VaR of an hypothetical portfolio, consisting of 5 assets. Our portfolio was composed by taking real data from Athens Stock Exchange (ASE). Value at Risk has been calculated both for various values of level of confidence and different numbers of simulated scenarios. Finally, we applied the Kupiec test to the model constructed, in order to verify the reliability of our results.

KEY WORDS

Monte Carlo, Financial Risk Management, Portfolio Analysis, Value-at-Risk, Simulations, R, Backtesting

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	3
2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ.....	5
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
2.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΟΥ.....	6
2.3 ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΜΑΤΟΠΙΣΤΩΤΙΚΑ ΙΔΡΥΜΑΤΑ	7
2.4 ΕΙΔΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ.....	8
2.5 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	16
3. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ	17
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	18
3.2 ΑΝΑΓΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ.....	18
3.3 ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΤΡΑΠΕΖΩΝ (ΒΑΣΙΛΕΙΑ Ι,ΙΙ,ΙΙΙ).....	19
3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ	24
3.5 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ FRM.....	27
3.6 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	31
4. ΑΞΙΑ ΣΕ ΚΙΝΔΥΝΟ – VaR.....	32
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	33
4.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ VaR.....	33
4.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ VaR	33
4.2.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ VaR	35
4.2.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ & ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ... ..	36
4.3 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΗΣ VaR.....	37
4.4 ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ VaR	41
4.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ VaR	42
4.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ VaR.....	44
4.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ-ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ-ΑΚΡΑΙΑ ΣΕΝΑΡΙΑ.....	46
4.7.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ	46
4.7.2 ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ - BACKTESTING.....	47
4.7.3 ΑΚΡΑΙΑ ΣΕΝΑΡΙΑ - STRESSTESTING.....	53
4.8 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	58
5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ VaR	59

5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	60
5.2	ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	60
5.2.1	ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ-ΣΥΝΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ	60
5.2.2	ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	64
5.3	ΜΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	64
5.3.1	ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	64
5.3.2	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΠΙΚΟΥ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ (LOCAL HISTOGRAM APPROACH)	68
5.3.3	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ KERNEL	69
5.3.4	ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MONTE CARLO	69
5.4	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ VaR	72
5.5	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ	75
5.6	ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΗΣ VaR	81
5.7	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	88
6.	ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MONTE CARLO	89
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	90
6.2	ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	90
6.3	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	91
6.4	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	93
6.5	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ-ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ..	98
6.6	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	99
7.	ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	100
7.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	101
7.2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ	101
7.3	ΕΦΑΡΜΟΓΗ	103
7.4	ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ.....	122
7.5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	130
7.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	132
7.7	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	134
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	135
Π.1	ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ χ^2 (Chi-squared distribution).....	136
Π.2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΜΠΕΙΡΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	137
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	143

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για κάθε οργανισμό, που λειτουργεί και αλληλεπιδρά στα πλαίσια της οικονομίας και της παγκόσμιας αγοράς, είναι υπαρκτή η πιθανότητα να έρθει αντιμέτωπος καθημερινά με μη αναμενόμενα γεγονότα, τα οποία μπορεί να έχουν είτε θετικά είτε αρνητικά αποτελέσματα στην κερδοφορία, αλλά και γενικότερα την λειτουργία του. Η συγκεκριμένη πιθανότητα καλείται κίνδυνος και πραγματεύεται ουσιαστικά την έννοια της τυχαιότητας και της αβεβαιότητας που συνδέεται άμεσα με κάθε προσδοκώμενο αποτέλεσμα.

Στη διεθνή βιβλιογραφία η έννοια του κινδύνου συνδέεται με την έννοια της αβεβαιότητας, με το σκεπτικό ότι δεν υπάρχει τρόπος να γνωρίζουμε εάν το προσδοκώμενο αποτέλεσμα θα εμφανίζει κέρδος ή ζημία. Ανάλογα με την φύση, τα αίτια δημιουργίας τους αλλά και τις επιπτώσεις που έχουν σε κάθε οργανισμό, οι κίνδυνοι ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες, με το ζήτημα της εκτίμησης και της διαχείρισής τους να αποτελεί ένα τεράστιο πεδίο έρευνας και ενασχόλησης.

Ειδικότερα, τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω της αυξημένης μεταβλητότητας στις παγκόσμιες οικονομικές αγορές, σε συνδυασμό με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας αλλά και των πληροφοριακών συστημάτων, παρατηρήθηκαν πολύ σημαντικές αλλαγές στο παγκόσμιο χρηματοοικονομικό περιβάλλον. Ο συνδυασμός της παγκοσμιοποίησης των αγορών, της τεχνολογικής ανάπτυξης αλλά και της σχετικής χαλαρότητας σε ότι αφορά τα ρυθμιστικά πλαίσια των αγορών κατέστησαν το χρηματοοικονομικό περιβάλλον ευμετάβλητο και ιδιαίτερα ευπαθές απέναντι σε πολλές μορφές κινδύνων.

Αποκορύφωμα των παραπάνω αποτελεί η χρηματοοικονομική κρίση που βιώνουμε το τελευταίο διάστημα, η οποία ξεκίνησε να εκδηλώνεται από το 2007. Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, ανέκυψε το θέμα της ανατίμησης του κινδύνου που αφορούσε περιουσιακά στοιχεία που είχαν σχέση με στεγαστικά δάνεια. Μεγάλο ποσοστό των δανείων αυτών μετατράπηκε σε επισφάλειες προκαλώντας έτσι αύξηση της μεταβλητότητας των τιμών, περιορισμό της ρευστότητας μερικών σημαντικών χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων και συνεπώς μετακύλιση της κρίσης αυτής και σε άλλους τομείς της αγοράς, προκαλώντας ουσιαστικά αλυσιδωτές αντιδράσεις στις παγκόσμιες αγορές κεφαλαίων και χρήματος, και οδηγώντας στην μορφή της χρηματοπιστωτικής κρίσης που βιώνουμε μέχρι σήμερα.

Ως φυσικό επακόλουθο, όλο και περισσότεροι χρηματοπιστωτικοί οργανισμοί αλλά και επιχειρήσεις επιχειρούν την ενασχόληση τους με τη διαχείριση κινδύνων. Παρατηρείται συγκεκριμένα ότι ξοδεύουν όλο και περισσότερους οικονομικούς πόρους για την ανάπτυξη συγκεκριμένων στρατηγικών, μοντέλων και εργαλείων με σκοπό την καταγραφή και αντιμετώπιση των διαφόρων ειδών του κινδύνου, με σκοπό είτε την μεγιστοποίηση των κερδών τους, είτε την θωράκιση τους απέναντι σε ενδεχόμενα ύφεσης ή ακόμα και χρεοκοπία.

1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εξετάζεται και αναλύεται μια, παγκοσμίως αναγνωρισμένη από τις εποπτικές αρχές, μέθοδος διαχείρισης κινδύνου που αποτελεί το σημείο αναφοράς στη δημιουργία πολλών μοντέλων πρόβλεψης, κυρίως σε ότι αφορά τον κίνδυνο αγοράς. Πρόκειται για τη διαδικασία της Αξίας σε Κίνδυνο (Value at Risk-VaR), την οποία γνώρισε στο ευρύ κοινό πρώτη η J.P.Morgan, το 1994. Η VaR πρόκειται για μια προσέγγιση η οποία ποσοτικοποιεί και συνοψίζει τις ενδεχόμενες απώλειες ενός χαρτοφυλακίου, λόγω των μεταβολών των τιμών των στοιχείων του. Αναλυτικότερα, η εργασία αυτή επικεντρώνεται στον υπολογισμό της VaR, μέσω μιας συγκεκριμένης μεθόδου προσομοίωσης, της μεθόδου Monte Carlo, η οποία βασίζεται στην εφαρμογή πολλών χιλιάδων προσομοιώσεων για πολλά διαφορετικά σενάρια με σκοπό τον υπολογισμό της VaR. Στην εργασία αυτή δίνεται έμφαση στον υπολογισμό της VaR με χρήση της μεθόδου Monte Carlo, τόσο σε θεωρητικό επίπεδο όσο και με εμπειρική εφαρμογή της προσομοίωσης για ένα χαρτοφυλάκιο 5 μετοχών.

Η συγκεκριμένη εργασία ακολουθεί την παρακάτω δομή:

Στο Κεφάλαιο 2 επιχειρείται μια εισαγωγή στην έννοια του κινδύνου, και των τρόπων με τον οποίο αυτός επηρεάζει τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα. Αναλύονται τα διάφορα είδη χρηματοοικονομικών κινδύνων και οι περιπτώσεις εμφάνισής τους σε κάθε χρηματοπιστωτικό ίδρυμα ή επιχείρηση που αλληλεπιδρά με την παγκόσμια οικονομία.

Στο Κεφάλαιο 3 εισάγεται η έννοια της Διαχείρισης Χρηματοοικονομικών κινδύνων (FRM) από τους χρηματοπιστωτικούς οργανισμούς και τις επιχειρήσεις, ενώ γίνεται επίσης αναφορά στους λόγους που οι παραπάνω οργανισμοί επιδιώκουν την ενασχόλησή τους με την διαδικασία αυτή, σε συνδυασμό με μια ιστορική αναδρομή η οποία περιγράφει την εξέλιξη της διαχείρισης κινδύνων από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, μέχρι και σήμερα.

Στο Κεφάλαιο 4 ορίζεται το εργαλείο διαχείρισης κινδύνου που απασχολεί κατά κύριο λόγο την συγκεκριμένη εργασία, η Αξία σε κίνδυνο (VaR). Περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος κατασκευής της, τα διάφορα είδη της, τα πεδία χρήσης της καθώς και τα δυνατά και αδύνατα σημεία αυτής. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την αναφορά των διαδικασιών επικύρωσης και επανελέγχου της συγκεκριμένης μεθόδου.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται αναφορά στις διαφορετικές μεθόδους με τις οποίες υπολογίζεται η Αξία σε κίνδυνο, ενώ περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούνται σε κάθε μια ξεχωριστά. Επίσης γίνεται μια σύγκριση ανάμεσα στις τρεις βασικές μεθόδους με ανάλυση των δυνατών αλλά και αδύνατων σημείων της καθεμιάς, σε ότι αφορά τον υπολογισμό της VaR.

Το 6^ο Κεφάλαιο είναι αφιερωμένο αποκλειστικά στην παρουσίαση της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo, και την συμβολή της στον υπολογισμό της VaR. Περιγράφεται ο τρόπος κατασκευής των μοντέλων υπολογισμού, τα κρίσιμα σημεία στην προετοιμασία των προσομοιώσεων και η διαδικασία που ακολουθείται για την αποτίμηση ενός χαρτοφυλακίου μετοχών, με την μέθοδο αυτή.

Στο 7^ο Κεφάλαιο γίνεται εμπειρική εφαρμογή του υπολογισμού της αξίας σε κίνδυνο (VaR) με πραγματικά δεδομένα, τα οποία αντλήθηκαν από το Χ.Α.Α. Συγκεκριμένα υπολογίζεται η VaR με τη χρήση της μεθόδου Monte Carlo για διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης αλλά και διαφορετικό αριθμό παραγόμενων σεναρίων. Η εφαρμογή συμπληρώνεται με την επαλήθευση των αποτελεσμάτων και την απόφαση αποδοχής ή απόρριψης του μοντέλου υπολογισμού που κατασκευάστηκε. Όλοι οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται με την χρήση του λογισμικού RStudio, το οποίο χρησιμοποιείται για την εκτέλεση εντολών γραμμένες στην γλώσσα προγραμματισμού της R. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τον σχολιασμό και την εξαγωγή συμπερασμάτων για την διαδικασία που ακολούθησε.

Μετά το πέρας των κεφαλαίων ακολουθεί Παράρτημα με πίνακες ιστορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην εκτέλεση της εφαρμογής. Τέλος, ακολουθεί αναλυτικά η βιβλιογραφία με όλες τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για την συγγραφή της συγκεκριμένης εργασίας.

2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, θα δοθεί ένας ορισμός για την έννοια του κινδύνου με αναλυτική επεξήγηση των διαφόρων κατηγοριών στις οποίες μπορούμε να τον κατατάξουμε. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στη σχέση και το βαθμό ενασχόλησης, των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων αλλά και των επιχειρήσεων, με τον χρηματοοικονομικό κίνδυνο. Στο τελευταίο μέρος, αναλύονται διεξοδικά τα διάφορα είδη των χρηματοοικονομικών κινδύνων με τους οποίους έρχονται αντιμέτωποι καθημερινά όσοι οργανισμοί συμμετέχουν στην παγκόσμια οικονομία. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στον κίνδυνο αγοράς, στην διαχείριση του οποίου βασίζεται η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

2.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΟΥ

Ως *κίνδυνο* μπορούμε να ορίσουμε (Jorion, 2007) την έννοια που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την κατάσταση αβεβαιότητας και μεταβλητότητας των αναμενόμενων χρηματοοικονομικών αποτελεσμάτων, ειδικότερα σε σχέση με τις απροσδόκητες εκβάσεις όσο αφορά την αξία των ενεργητικών ή των παθητικών κεφαλαίων μιας οικονομικής οντότητας. Οι εταιρείες εκτίθενται σε διάφορους τύπους κινδύνου, οι οποίοι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ευρέως σε *επιχειρηματικούς* και *μη επιχειρηματικούς*.

Επιχειρηματικοί κίνδυνοι (*Business risks*) είναι εκείνοι που, μια εταιρεία εκούσια αναλαμβάνει ούτως ώστε να της προσδώσουν ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε σχέση με άλλες εταιρείες, και ταυτόχρονα πρόσθετη αξία για τους μετόχους της. Αφορούν το περιβάλλον μέσα στο οποίο μια επιχείρηση δραστηριοποιείται και τις αποφάσεις που αυτή λαμβάνει. Οι αποφάσεις αυτές αναφέρονται σε επενδύσεις, επιλογές ανάπτυξης προϊόντων, στρατηγικές marketing καθώς και την γενικότερη οργανωτική δομή της επιχείρησης, συνήθως σε συνάρτηση με την πορεία των τεχνολογικών εξελίξεων.

Η δομή των οικονομικών κύκλων, οι διακυμάνσεις στα έσοδα καθώς και οι νομισματικές πολιτικές που ακολουθούνται παγκοσμίως, καθιστούν αναπόφευκτη την επαφή μιας εταιρείας με *μακροοικονομικούς* κινδύνους, καθιστώντας ταυτόχρονα τους επιχειρηματικούς κινδύνους ως τον πυρήνα της δυναμικής κάθε επιχειρηματικής δραστηριότητας.

Ως *μη επιχειρηματικοί* κίνδυνοι (*Non Business risks*), ορίζονται οι μη ελεγχόμενοι από την εταιρεία κίνδυνοι και διαχωρίζονται σε *στρατηγικούς* και *χρηματοοικονομικούς* κινδύνους.

Οι *στρατηγικοί* κίνδυνοι (*strategic risks*) αφορούν τις αρνητικές επιδράσεις στο κεφάλαιο και στην κερδοφορία μιας επιχείρησης. Κυριότερα, αυτές οι επιδράσεις είναι απόρροια των αποφάσεων της διεύθυνσης, των μεταβολών στο οικονομικό και πολιτικό περιβάλλον αλλά και των ελλειπών ή ημιτελών αποφάσεων ή αποτυχιών στην προσαρμογή των αλλαγών του οικονομικού περιβάλλοντος (Κεντρική Τράπεζα Κύπρου, 2007).

Οι *χρηματοοικονομικοί* κίνδυνοι (*financial risks*) προέρχονται από τις χρηματοοικονομικές αγορές και εξαρτώνται από την έκθεση της επιχείρησης σε αυτές. Συγκεκριμένα, σχετίζονται με πιθανές απώλειες που απορρέουν από χρηματοοικονομικές δραστηριότητες, όπως τις αγορές ομολόγων, μετοχών και δανειακών κεφαλαίων, αλλαγές στις τιμές των επιτοκίων είτε ακόμα την αθέτηση χρηματοοικονομικών υποχρεώσεων (*defaults*) (Standard & Poor's, 2009).

2.3 ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΜΑΤΟΠΙΣΤΩΤΙΚΑ ΙΔΡΥΜΑΤΑ

Σε αντίθεση με τις βιομηχανικές επιχειρήσεις, οι οποίες προσπαθούν να διαχειριστούν προσεκτικά την έκθεσή τους στους χρηματοοικονομικούς κινδύνους, τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα επιδιώκουν την επαφή και την ενεργή ενασχόληση τους με την διαχείριση των χρηματοοικονομικών κινδύνων. Όπως είναι φυσικό, οι τράπεζες εμπλέκονται πολύ πιο δυναμικά στους παραπάνω κινδύνους, αφού οι κίνδυνοι αυτοί συνδέονται άμεσα με το αντικείμενο της εργασίας τους, ενώ παράλληλα η αποτελεσματική διαχείριση αυτών είναι κρίσιμη στην απόδοση των χρηματοοικονομικών ιδρυμάτων (Κοσμίδου, Ζοπουνίδης, 2003).

Πρωταρχικός σκοπός τους είναι η πρόβλεψη και η αξιολόγηση των δυσμενών συνεπειών των κινδύνων αυτών, ώστε να οδηγηθούν σε μια σωστή διαχείρισή τους.

Κάθε τραπεζικό ίδρυμα, που αποσκοπεί σε μεγιστοποίηση των κερδών του, οφείλει (Jorion, 2003) να αποτιμά και να διαχειρίζεται τους χρηματοοικονομικούς κινδύνους, με σκοπό να προσθέσει αξία στο μετοχικό του κεφάλαιο και να μεγιστοποιήσει τις αποδόσεις των μετόχων του.

Ταυτόχρονα, κάθε χώρα έχει εποπτικές αρχές, οι οποίες πρέπει να ελέγχουν κατά πόσο οι εμπορικές τράπεζες μετρούν και διαχειρίζονται σωστά τους χρηματοοικονομικούς κινδύνους.

Η αυξανόμενη αστάθεια των χρηματιστηριακών αγορών, που συνδυάστηκε με αρκετές καταρρεύσεις τραπεζών, οδήγησε τις τράπεζες και γενικότερα άλλα ιδρύματα να στρέψουν το ενδιαφέρον τους στη διαχείριση κινδύνων (Προβόπουλος, Καπόπουλος, 2001).

Ανέπτυξαν έτσι μια σειρά εργαλείων, γνωστά και ως *παράγωγα* (*derivatives*), με σκοπό την θωράκιση των οργανισμών τους απέναντι στον κίνδυνο, αλλά και την κεφαλαιοποίηση αυτού, συστήνοντας στο ευρύ κοινό τα *μελλοντικά* (*futures*) και τα *προθεσμιακά* (*forwards*) συμβόλαια. Ένα *συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης* (*future contract*) είναι ένα είδος παράγωγου μέσου, ή μιας χρηματοοικονομικής σύμβασης, κατά την οποία δύο μέρη συμφωνούν να συναλλάσσονται με ένα σύνολο χρηματοοικονομικών μέσων ή φυσικά εμπορεύματα για μελλοντική παράδοση σε μια συγκεκριμένη τιμή. Από την άλλη, *προθεσμιακό* καλείται ένα προσαρμοσμένο συμβόλαιο μεταξύ δύο μερών για την αγορά ή πώληση ενός περιουσιακού στοιχείου σε καθορισμένη τιμή και συγκεκριμένη μελλοντική ημερομηνία. Σε αντίθεση με τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης, ένα προθεσμιακό συμβόλαιο μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιοδήποτε εμπόρευμα, ποσό αλλά και ημερομηνία παράδοσης (Investopedia, 2012).

Με την πάροδο του χρόνου αναπτύχθηκαν και πιο περίπλοκες μορφές συμβολαίων, όπως οι *ανταλλαγές συναλλάγματος (cross-currency swaps)*, οι *ανταλλαγές επιτοκίου (interest rate swaps)* αλλά και τα *εξωτικά συμβόλαια (exotic options)* κ.ο.κ.

Στην γενική τους μορφή τα παράγωγα μπορούν να οριστούν (Jorion, 2007) ως ιδιωτικά συμφωνητικά, που αντλούν την αξία τους από την τιμή ενός στοιχείου του ενεργητικού (τιμή, επιτόκιο) είτε από κάποιο συμφωνημένο δείκτη αναφοράς (μετοχή, ομόλογο, συνάλλαγμα). Τα παράγωγα, αφού χρησιμοποιούνται στην διαχείριση του κινδύνου, μπορούν να θεωρηθούν και ως ασφαλιστικά προϊόντα. Θα πρέπει πάντως να αναφερθεί ότι συχνά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν μέσα κερδοσκοπίας, καθώς δίνουν τη δυνατότητα αποκόμισης σημαντικών κερδών, με περιορισμένα κεφάλαια, εάν και εφόσον επιτευχθεί σωστή πρόβλεψη σχετικά με το επίπεδο των μελλοντικών τιμών των προϊόντων με τα οποία συνδέονται τα εν λόγω παράγωγα. Τα ριψοκίνδυνα αυτά παράγωγα (*risky derivatives*), εισάγουν περαιτέρω κινδύνους στα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σκάνδαλο που ξέσπασε στις Ηνωμένες πολιτείες στο τέλος του 2001, με την κατάρρευση της «ENRON», μια εταιρείας παροχής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, η οποία δραστηριοποιούνταν στον κλάδο της ενέργειας. Τα στελέχη της προέβησαν σε εκτεταμένη χρήση δισεκατομμυρίων παραγώγων με σκοπό την εμφάνιση προβλεπόμενων κερδών, τα οποία όμως δεν ήταν εγγυημένα, ούτως ώστε να καλύψουν τις συνεχώς αυξανόμενες απώλειες της εταιρείας. Μια χρηματοοικονομική απάτη που όταν ήρθε στην επιφάνεια, με την χρεοκοπία της εταιρείας, ανέδειξε τον κίνδυνο που ελλοχεύει στην λανθασμένη χρήση παραγώγων για κερδοσκοπικούς σκοπούς.

Εν κατακλείδι, είναι φανερό ο ρόλος των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων είναι πολύ πιο σύνθετος από την απλή διαμεσολάβηση ανάμεσα σε πλεονασματικές και ελλειμματικές οικονομικές μονάδες. Ιδιαίτερα οι τράπεζες, προσπαθούν ολοένα και περισσότερο να ξεφύγουν από την θέση του διαμεσολαβητή και να αποκτήσουν ρόλο διαχειριστή των διαφόρων χρηματοοικονομικών κινδύνων, καθιστώντας έτσι την διαχείριση τους, βασικό ρυθμιστή της κερδοφορίας αυτών.

2.4 ΕΙΔΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι χρηματοοικονομικοί κίνδυνοι σχετίζονται με τις διακυμάνσεις στις χρηματοοικονομικές αγορές. Οι κύριες κατηγορίες κινδύνων που μπορεί να αντιμετωπίσει ένα χρηματοπιστωτικό ίδρυμα είναι ο κίνδυνος αγοράς, ο πιστωτικός κίνδυνος, ο κίνδυνος ρευστότητας, ο λειτουργικός κίνδυνος, αλλά και ο επιτοκιακός κίνδυνος. Δευτερευόντως συναντώνται και άλλες κατηγορίες κινδύνων, όπως ο συναλλαγματικός κίνδυνος, ο κίνδυνος χώρας/τοποθεσίας, ο νομικός κίνδυνος, καθώς και οι κίνδυνοι αξιοπιστίας, αφερεγγυότητας αλλά και ο κίνδυνος διακανονισμού πληρωμών.

Κίνδυνος Αγοράς

Ο *κίνδυνος αγοράς* (*market risk*) προέρχεται από την αβεβαιότητα σχετικά με τις μεταβολές των επιτοκίων, των χρηματιστηριακών τιμών, των συναλλαγματικών ισοτιμιών και γενικότερα όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την αγορά και, όπως γίνεται αντιληπτό, εμφανίζεται στις συναλλαγές στοιχείων ενεργητικού και παθητικού που προκύπτουν εξαιτίας αυτών των μεταβολών. Συγκεκριμένα, τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα υπόκεινται στον κίνδυνο αγοράς όταν συναλλάσσουν τα στοιχεία αυτά, αντί να τα διατηρούν για μακροπρόθεσμες επενδύσεις. Στην θεωρία της χρηματοοικονομικής ο κίνδυνος αγοράς ορίζεται ως η διασπορά των μη αναμενόμενων αποτελεσμάτων του χαρτοφυλακίου τίτλων, που οφείλονται σε αιφνίδιες διακυμάνσεις ορισμένων χρηματοοικονομικών μεταβλητών, όπως αυτοί αναφέρθηκαν παραπάνω. Με αυτή την έννοια, τόσο οι θετικές όσο και οι αρνητικές αποκλίσεις μπορούν να θεωρηθούν ως πηγές κινδύνων (Κοσμίδου, Ζοπουνίδης, 2003).

Ο κίνδυνος αγοράς διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή των σχέσεων που συνδέουν τα διάφορα χρηματοοικονομικά εργαλεία, τον *βασικό κίνδυνο* και τον *κίνδυνο «Γ»*. Ο *βασικός κίνδυνος αγοράς* συναντάται όταν υφίσταται μεταβολή της μορφής των σχέσεων ανάμεσα στα χρηματοοικονομικά προϊόντα, ενώ ο *κίνδυνος «Γ»*, αναφέρεται σε προϊόντα που δεν σχετίζονται γραμμικά μεταξύ τους.

Παράλληλα, ο κίνδυνος αγοράς μπορεί να διακριθεί και σε δύο άλλες επιμέρους κατηγορίες, με κριτήριο την στρατηγική διαχείρισης που ακολουθείται. Στην προκειμένη περίπτωση, γίνεται διάκριση του κινδύνου αγοράς σε *απόλυτο*, ο οποίος μετράται από τις δυνητικές απώλειες (δολάρια, ευρώ) και σε *σχετικό*, ο οποίος υπολογίζεται με τη χρήση ενός συγκριτικού δείκτη (Jorion, 2007).

Πρωτεύοντα ρόλο στη διαμόρφωση του κινδύνου αγοράς παίζουν ο *επιτοκιακός* κίνδυνος, ο *συναλλαγματικός* ή *νομισματικός* κίνδυνος, ο κίνδυνος *μετοχών* ή *χρηματιστηριακός* κίνδυνος και ο κίνδυνος *εμπορευμάτων*. Για παράδειγμα, μια πιθανή αύξηση επιτοκίων οδηγεί συνήθως σε μείωση των τιμών των ομολόγων, ενώ αντίστοιχα η υποτίμηση ενός νομίσματος μειώνει την αξία των τίτλων που αλληλεπιδρούν και συναλλάσσονται με το νόμισμα αυτό. Η μέτρηση του κινδύνου αγοράς, απαιτεί να οριστεί αρχικά με ακρίβεια η μεταβλητή που ενδιαφέρει. Η μεταβλητή προς μέτρηση μπορεί να είναι η συνολική αξία του χαρτοφυλακίου, τα έσοδα ή οι αποδόσεις συγκεκριμένων τοποθετήσεων. Ο κίνδυνος υπολογίζεται από την τυπική απόκλιση της μεταβλητής που επιλέγουμε, αξιολογώντας τις επιδράσεις άλλων χρηματοοικονομικών παραγόντων σε αυτή. Οι απώλειες προέρχονται από τον συνδυασμό δύο παραγόντων, τη μεταβλητότητα κάθε χρηματοοικονομικού παράγοντα και το βαθμό έκθεσης στις μεταβολές του κάθε παράγοντα. Με βάσει τον υπολογισμό των διακυμάνσεων αυτών μπορούμε να ορίσουμε τον κίνδυνο αγοράς σε *συστηματικό* και *μη συστηματικό* αντίστοιχα.

Ως *συστηματικός επενδυτικός κίνδυνος* μπορεί να οριστεί ο κίνδυνος απρόσμενων εξελίξεων στο μακροοικονομικό περιβάλλον μιας επένδυσης που είναι δύσκολο να προβλεφθούν και συνεπώς να διαχειριστούν από έναν επενδυτή, καθώς αφορούν διακυμάνσεις στις τιμές των τίτλων στην αγορά λόγω ενός εξωτερικού παράγοντα.

Ως παράδειγμα αναφέρεται μια απρόσμενη νομοθετική ρύθμιση με περιεχόμενο που επηρεάζει σοβαρά την λειτουργία μιας επένδυσης ή σε πιο υπερβολικό βαθμό το ενδεχόμενο μιας πολεμικής σύρραξης. Ως *μη συστηματικός κίνδυνος* ορίζεται ο επενδυτικός κίνδυνος που δύναται να μετρηθεί και να διαχειριστεί μέσα από την εφαρμογή μιας σειράς τεχνικών διαχείρισης του κινδύνου (*risk management*) και μέσα από την χρήση μιας σειράς χρηματοοικονομικών επενδυτικών εργαλείων, όπως για παράδειγμα μέσα από την αγορά *παραγώγων προϊόντων* (*derivatives*), καθώς συνδέεται με την τιμή ενός τίτλου, ο οποίος κινείται σε διαφορετική κατεύθυνση από τους υπόλοιπους της αγοράς, λόγω εξελίξεων που αφορούν τον εκδότη του τίτλου.

Στο 5^ο κεφάλαιο θα γίνει εκτενής αναφορά στις τεχνικές μέτρησης και διαχείρισης των χρηματοοικονομικών κινδύνων, καθώς μια εκ των μεθόδων που χρησιμοποιούνται, η μέθοδος *Monte Carlo*, αποτελεί το κύριο αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Πιστωτικός Κίνδυνος

Ο *πιστωτικός κίνδυνος* (*credit risk*) αναφέρεται σε πιθανές απώλειες που προκύπτουν από την αδυναμία των αντισυμβαλλόμενων μερών, να εκπληρώσουν υποχρεώσεις και στόχους, που προκύπτουν από κάποια οικονομική σύμβαση. Είναι άρρηκτα συνυφασμένος με τις υπηρεσίες εμπορικής τραπεζικής και συνδέεται με την πιστοληπτική ικανότητα των αντισυμβαλλομένων του πιστωτικού ιδρύματος, αποτελώντας το σημαντικότερο, ποιοτικά και ποσοτικά χρηματοοικονομικής φύσης κίνδυνο (Caouette et al, 2008).

Οι πιθανές ζημίες που προκύπτουν στην αγοραία αξία μιας χρηματοοικονομικής θέσης, εξαιτίας του πιστωτικού κινδύνου, αφορούν το κόστος αναπλήρωσης των χρηματοροών λόγω αφερεγγυότητας του άλλου μέρους, αλλά και λόγω συγκέντρωσης μεγάλων ανοιγμάτων σε συγκεκριμένες επιχειρήσεις. Ο πιστωτικός κίνδυνος δύναται να αντιμετωπιστεί με την δημιουργία ανώτατων και κατώτατων ορίων σε παρούσες και μελλοντικές θέσεις, όπως και η απαίτηση εγγυήσεων.

Με αφετηρία τον πιστωτικό κίνδυνο προκύπτουν τέσσερις επιμέρους κίνδυνοι (Καλφάογλου, 1999) που ο καθένας ξεχωριστά μπορεί να οδηγήσει σε αυτόν.

Συγκεκριμένα :

- i. Ο κίνδυνος *αφερεγγυότητας ή αθέτησης* (*default risk*)
- ii. Ο κίνδυνος *έκθεσης ή ανοίγματος* (*exposure risk*)
- iii. Ο κίνδυνος *ανάκτησης* (*recovery risk*)
- iv. Ο κίνδυνος *περιθωρίου* (*credit spread risk*)

- i. Ο κίνδυνος *αφερεγγυότητας* ορίζεται ως η αθέτηση εξόφλησης μια υποχρέωσης, η οποία έρχεται στην επιφάνεια όταν μια πληρωμή δεν εξοφλείται στο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Πρακτικά, για ένα χρηματοοικονομικό ίδρυμα, είναι ο κίνδυνος να μη διαθέτει αρκετό

- κεφάλαιο, ώστε να αντιμετωπίσει πιθανές τραπεζικές απώλειες στα ίδια κεφάλαια, σε σχέση με τις υποχρεώσεις.
- ii. Ο *κίνδυνος έκθεσης* αναφέρεται στο συνολικό ποσό που βρίσκεται εκτεθειμένο σε πιστωτικό κίνδυνο. Συναντάται κυρίως σε δραστηριότητες όπου δεν υπάρχει προκαθορισμένος τρόπος εξόφλησης, αλλά και σε έκθεση που μπορεί να προέρχεται από δάνεια, ομολογίες, παράγωγα και εγγυητικές επιστολές.
 - iii. Ο *κίνδυνος ανάκτησης* αναφέρεται στο ποσοστό ικανοποίησης της τράπεζας από το συνολικό ποσό που βρίσκεται εκτεθειμένο σε κίνδυνο σε περίπτωση πτώχευσης του πιστούχου και εμπλέκεται με την αξία των εξασφαλίσεων της τράπεζας και της σειράς ικανοποίησής της. Ο κίνδυνος ανάκτησης περιγράφει πρακτικά πόσο από το ποσό που οφείλεται κατά τη στιγμή της αθέτησης κατάφερε ο δανειστής να ανακτήσει από τον δανειολήπτη. Το ποσοστό αυτό ως προς την συνολική οφειλή ονομάζεται ποσοστό ανάκτησης (*Recovery Rate*)
 - iv. Ο *κίνδυνος περιθωρίου* προκύπτει λόγω πιθανών αλλαγών των *πιστωτικών περιθωρίων* (*spreads*) αλλά και της τιμολόγησης μιας πιστοδότησης σε τιμές αγοράς, με αποτέλεσμα αυτά να επηρεάσουν την ίδια την αξία της πιστοδότησης αυτής. και συνδέεται με την τεχνική υπολογισμού του κινδύνου των επιτοκίων και με τη μέθοδο που βασίζεται στη λήξη των χρεογράφων.

Κίνδυνος Ρευστότητας

Ο *κίνδυνος ρευστότητας* (*liquidity risk*) αποτελεί ουσιαστικά φυσικό επακόλουθο του πιστωτικού κινδύνου. Οι δύο αυτοί κίνδυνοι βρίσκονται σε πλήρη αλληλεξάρτηση καθώς ενδεχόμενη αύξηση του πιστωτικού κινδύνου θα οδηγήσει σε αύξηση και του κινδύνου ρευστότητας. Ως κίνδυνος ρευστότητας για ένα χρηματοοικονομικό οργανισμό μπορεί να οριστεί απλά ως η αδυναμία εύρεσης των επαρκών ρευστών διαθέσιμων για την κάλυψη των ληξιπρόθεσμων πληρωμών του (Angelopoulos, Mourdoukoutas, 2001).

Πιο συγκεκριμένα, ο κίνδυνος ρευστότητας αφορά την πιθανότητα αποτυχίας ενός οργανισμού να ανταπεξέλθει στις υποχρεώσεις και δεσμεύσεις του απέναντι στους καταθέτες και τους δανειστές του. Αυτή η πιθανότητα αποτυχίας εξαρτάται άμεσα από οικονομικούς παράγοντες (συστημικός κίνδυνος). Πρακτικά αντικατοπτρίζει την αδυναμία μιας τράπεζας, για παράδειγμα, να αντλήσει τα απαραίτητα κεφάλαια είτε μέσω ρευστοποίησης στοιχείων του ενεργητικού της είτε μέσω αύξησης κάποιων στοιχείων του παθητικού, ώστε να καλύψει με ρευστό την ζήτηση σε δανειακά κεφάλαια και καταθέσεις για τα οποία έχει δεσμευτεί.

Η έννοια του *κινδύνου ρευστότητας* συνδέεται άμεσα με αυτό που ονομάζουμε «*ορίζοντα διακράτησης χαρτοφυλακίου*» (*portfolio holding period*).

Όταν η συγκυρία στην αγορά είναι απαγορευτική για τη ρευστοποίηση μιας επένδυσης χαρτοφυλακίου, ένας χρηματοοικονομικός οργανισμός πρέπει, να περιμένει οι τιμές να ανακάμψουν σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Ωστόσο, για ένα χρηματοπιστωτικό οργανισμό που αναγκάζεται να προβεί σε ρευστοποιήσεις για να αντεπεξέλθει σε ληξιπρόθεσμες υποχρεώσεις, η ανεπάρκεια της ρευστότητάς του μπορεί να ισοδυναμεί με κατάρρευση (Προβόπουλος, Καπόπουλος, 2001). Ο κίνδυνος *ρευστότητας* μπορεί να διακριθεί σε δύο είδη κινδύνου (Jorion, 2003), τον *κίνδυνο ρευστότητας επένδυσης ή αγοράς* (*Asset Liquidity Risk or Market Liquidity Risk*), καθώς και τον *κίνδυνο ρευστότητας χρηματοδότησης ή χρηματικών ροών* (*Funding Liquidity Risk or Cash-Flow Risk*).

Το πρώτο είδος κινδύνου *ρευστότητας*, αναφέρεται στον κίνδυνο μια συναλλαγή να διενεργηθεί σε τιμές αγοράς που δεν είναι ευνοϊκές είτε λόγω του είδους των τίτλων, είτε λόγω του μεγέθους της θέσης, είτε ακόμα λόγω του βάθους της αγοράς (όσο μεγαλύτερο, τόσο επιτακτικότερη η αναγκαστική ρευστοποίηση). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί μια επένδυση σε μετοχές αναδυόμενων χωρών, όπου οποιαδήποτε συναλλαγή τους μπορεί να έχει άμεσο αντίκτυπο στην τιμή τους. Συχνά μια τράπεζα, προκειμένου να περιορίσει τον *κίνδυνο ρευστότητας αγοράς*, θέτει χαμηλά όρια διαπραγμάτευσης σε αγορές χαμηλής ρευστότητας ή επιδιώκει την *διαφοροποίηση* (*diversification*) των θέσεων της. Ο *κίνδυνος ρευστότητας χρηματοδότησης* αναφέρεται στην αδυναμία ενός χρηματοοικονομικού ιδρύματος να εκπληρώσει τακτικές ή έκτακτες πληρωμές, γεγονός που οδηγεί σε πρόωρη ρευστοποίηση τίτλων και κατά συνέπεια μετατρέπει τις ζημίες που έχουν καταγραφεί στην αγοραία αξία σε πραγματικές. Συνήθως συναντάται σε χαρτοφυλάκια που υφίστανται *μόχλευση* (*leverage*) και υπόκεινται σε απαιτήσεις πρόσθετου περιθωρίου από τους δανειστές. Η αντιμετώπιση του επιτυγχάνεται με κατάλληλο προγραμματισμό εσόδων/εξόδων ώστε να διασφαλίζεται, όσο το δυνατό περισσότερο, η επάρκεια ρευστών διαθεσίμων.

Επιτοκιακός Κίνδυνος

Ο *επιτοκιακός κίνδυνος* (*interest rate risk*) προκύπτει από την αναντιστοιχία των επιτοκίων όσον αφορά τόσο τον όγκο όσο και τη διάρκεια των τίτλων, των δανείων και των εκτός ισολογισμού στοιχείων της τράπεζας. Πρακτικά προκύπτει από την δυσμενή μεταβολή των επιτοκίων, η οποία δύναται να πλήξει μια επιτοκιακή θέση, όπως καταθέσεις, δάνεια, ομόλογα κ.ο.κ. Ένα παράδειγμα δυσμενούς μεταβολής επιτοκίων είναι η άνοδος των επιτοκίων μετά από λήψη δανείου με κυμαινόμενο επιτόκιο. Η εξέλιξη των επιτοκίων επηρεάζει άμεσα την τιμή διαπραγμάτευσης ορισμένων χρηματοπιστωτικών μέσων (ομόλογα, παράγωγα). Ειδικότερα σε μία τράπεζα, μια αύξηση των επιτοκίων μπορεί να μειώσει τα κέρδη της, ενώ αντίστοιχα μια πτώση να τα αυξήσει.

Συγκεκριμένα, μια αναπάντεχη μεταβολή των επιτοκίων θα επηρεάσει άμεσα την αξία μιας επενδυτικής θέσης αλλά και το εισόδημα από την επενδυτική αυτή θέση, με έμμεσο αποτέλεσμα να επηρεαστούν η αξία ενός χαρτοφυλακίου ή η αξία ενός πιστωτικού ιδρύματος.

Υπάρχει άμεση συσχέτισή της με το καθαρό εισόδημα από τους τόκους λόγω της άμεσης πτώσης της αξίας της μετοχής και της μείωσης στις αποδόσεις των στοιχείων του ενεργητικού.

Γίνεται δηλαδή αντιληπτό, ότι ο κίνδυνος επιτοκίου αφορά πιθανή μείωση της τιμής ενός χρηματοπιστωτικού μέσου, στην πτώση της καθαρής θέσης ή ακόμα και των ιδίων κεφαλαίων του χρηματοπιστωτικού ιδρύματος. Αντίστοιχα, ελλοχεύει ο κίνδυνος μείωσης του εισοδήματος λόγω μη αναμενόμενης μεταβολής των επιτοκίων κατά την διάρκεια μιας προβλεπόμενης περιόδου.

Ένα απλό παράδειγμα για την κατανόηση του επιτοκιακού κινδύνου δίνεται παρακάτω. Όπως προαναφέρθηκε τα ομόλογα αντιδρούν στις μεταβολές των επιτοκίων, καθώς σε μία ανταγωνιστική αγορά όλα οι τίτλοι θα πρέπει να δίνουν στους επενδυτές δίκαιες αναμενόμενες αποδόσεις. Έστω ένα ομόλογο που έχει *κουπόνι* (επιτόκιο επί της ονομαστικής αξίας) 8%. Αν τα ανταγωνιστικά *yields* (απόδοση - καθαρό κέρδος από την αγορά ομολόγου) είναι 8%, τότε η τιμή του θα είναι η ονομαστική. Αν τα επιτόκια ανέβουν στο 9%, τότε κανείς δεν θα αγόραζε το ομόλογο στην ονομαστική αξία με κουπόνι μόνο 8%. Αν τα επιτόκια πέσουν στο 7%, τότε το 8% κουπόνι είναι ελκυστικό. Οι επενδυτές θα πλήρωναν πάνω από την ονομαστική τιμή για να το αποκτήσουν και άρα η τιμή του θα ανέβαινε. Είναι λοιπόν σαφές, ότι ο κάτοχος του παραπάνω ομολόγου εκτίθεται στον επιτοκιακό κίνδυνο, καθώς η αξία του τίτλου που κατέχει καθορίζεται διαρκώς από τις τιμές των επιτοκίων.

Λειτουργικός Κίνδυνος

Πέρα από τις προαναφερθείσες κατηγορίες κινδύνων, οι οποίοι μπορούν να μετρηθούν ποσοτικά, με χρήση τεχνικών είτε μοντέλων μέτρησης, τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα έρχονται καθημερινά αντιμέτωπα και με άλλα είδη κινδύνων που δεν κατηγοριοποιούνται εύκολα. Συγκεκριμένα αφορούν τις απώλειες που μπορεί να προκύψουν από αποτυχημένες εσωτερικές διαδικασίες των οργανισμών, είτε ενδεχόμενες δυσχέρειες μεταξύ βασικών παραγόντων της εταιρικής διοίκησης, καθώς και από άλλους εξωγενείς παράγοντες. Για παράδειγμα στους κινδύνους αυτούς υπάγονται οι πιθανοί κίνδυνοι απάτης από τους εργαζόμενους του ιδρύματος, οι κίνδυνοι φυσικών καταστροφών, από αποτυχία λειτουργίας μηχανημάτων και εξοπλισμού, ατυχήματα κ.ο.κ.

Ομαδοποιώντας όλα τα παραπάνω είδη κινδύνων διαμορφώνεται ο *λειτουργικός κίνδυνος* (*operational risk*), ο οποίος μπορεί να οριστεί ως ο κίνδυνος άμεσης απώλειας ως αποτέλεσμα των ανεπαρκών εσωτερικών διαδικασιών, του ανθρώπινου δυναμικού, των συστημάτων ή των εξωγενών παραγόντων (Angelopoulos, Mourdoukoutas, 2001).

Σήμερα, ο *λειτουργικός* κίνδυνος είναι ένας εκ των κυριοτέρων κινδύνων που αντιμετωπίζουν τα πιστωτικά ιδρύματα, αφού έχει γίνει γνωστό ότι οι περισσότερες από τις περιπτώσεις εμφάνισης μεγάλων ζημιών οφείλονται συνήθως σε κάποια πηγή λειτουργικού κινδύνου η οποία δεν έχει διαχειριστεί σωστά. Στον λειτουργικό κίνδυνο οφείλονται τα τελευταία χρόνια, πολλές μεγάλες καταστροφές πιστωτικών ιδρυμάτων ή άλλων οικονομικών οντοτήτων (Αγγελόπουλος, 2010).

Συναλλαγματικός Κίνδυνος

Ο συναλλαγματικός κίνδυνος (*exchange rate risk*) αποτελεί ειδική περίπτωση του κινδύνου αγοράς, ο οποίος αναφέρθηκε παραπάνω. Οφείλεται στις διακυμάνσεις των συναλλαγματικών ισοτιμιών που επηρεάζουν τις «θέσεις» (*positions*) σε συνάλλαγμα που μια τράπεζα λαμβάνει για τη διαχείριση των διαθεσίμων της ή για λογαριασμό των πελατών της. Αναλυτικότερα, είναι οποιαδήποτε αναμενόμενη μεταβολή της καθαρής θέσης ενός χρηματοοικονομικού ιδρύματος ή χαρτοφυλακίου εξαιτίας της μεταβολής της ισοτιμίας του νομίσματος, στο οποίο έχει πραγματοποιηθεί μια επένδυση, σε σχέση με το νόμισμα αποτίμησης. Οι τράπεζες κατέχουν μεγάλες «θέσεις» σε συνάλλαγμα, λόγω της δραστηριοποίησής τους τόσο σε τρέχουσες όσο σε προθεσμιακές αγορές συναλλάγματος, οι οποίες μεταβάλλονται συνεχώς. Ο συναλλαγματικός κίνδυνος (Andersen, 1995) υπολογίζεται από το άθροισμα του συναλλαγματικού κινδύνου ανά νόμισμα. Έτσι υπολογίζεται και η συνολική επίδραση της ζημιάς ή του κέρδους στην καθαρή θέση της τράπεζας ή στην αξία ενός χαρτοφυλακίου. Η διαχείριση του συναλλαγματικού κινδύνου υλοποιείται συνήθως με αναδιάρθρωση των θέσεων σε συνάλλαγμα, με διαφοροποίηση του ύψους κάθε νομίσματος είτε ακόμα και με ταυτόχρονη ανάληψη αξιοσημείωτης ζημιάς ή κόστους για το κλείσιμο μιας θέσης και την ανάληψη μιας νέας.

Κίνδυνος Χώρας

Ο κίνδυνος χώρας ή τοποθεσίας (*country risk or location risk*) αναφέρεται στην περίπτωση όπου η επικρατούσα κατάσταση στην χώρα που δραστηριοποιείται μια εταιρεία, επηρεάζει αρνητικά την κερδοφορία ή γενικότερα τη λειτουργία της. Στον κίνδυνο χώρας περιλαμβάνονται αλλαγές στο πολιτικό (ανακατατάξεις στη φορολογική και τη δημοσιονομική πολιτική, εκλογές), το οικονομικό (πληθωρισμός, επιτόκια, έλλειμμα, χρέος), κοινωνικό (συγκρούσεις μειονοτήτων, απεργίες) και χρηματοοικονομικό περιβάλλον της χώρας. Ο κίνδυνος χώρας επηρεάζει, πέρα από την λειτουργία μιας επιχείρησης, τους διεθνείς επενδυτές και τις τράπεζες που δραστηριοποιούνται στις αναδυόμενες χώρες, καθώς το ρευστό και απρόβλεπτο καθεστώς στο εσωτερικό των χωρών αυτών, λειτουργεί ως ανασταλτικός παράγοντας για την κερδοφορία τους.

Όταν το αντικείμενο προς μελέτη είναι η οικονομική κατάσταση μιας χώρας και η αδυναμία αυτής να αποπληρώσει τα δικά της κρατικά ομόλογα, γίνεται αναφορά στον *sovereign risk* που αφορά τον κίνδυνο απαγορεύσεων πληρωμών στο εξωτερικό, τον κίνδυνο μεταφοράς συναλλάγματος στο εξωτερικό (*transfer risk*) αλλά και στο γενικευμένο κίνδυνο (*generalized risk*) (Bessis, 2002).

Νομικός Κίνδυνος

Ο νομικός κίνδυνος (*legal risk*), όπως είναι φανερό, συνδέεται με το νομικό πλαίσιο που διέπει τη λειτουργία των χρηματοοικονομικών ιδρυμάτων. Συνήθως αναφέρεται στην αδυναμία διεξαγωγής μιας συναλλαγής, λόγω του ισχύοντος νομοθετικού πλαισίου, και συνδέεται με τον πιστωτικό κίνδυνο, καθώς ένα αντισυμβαλλόμενο μέρος το οποίο ζημιώνεται από μια συναλλαγή συχνά θα προσπαθήσει να κινηθεί νομικά έναντι του άλλου

ώστε να διεκδικήσει αποζημίωση.

Ο νομικός κίνδυνος συχνά έχει και διεθνείς διαστάσεις καθώς το εποπτικό πλαίσιο, που ρυθμίζει τις τραπεζικές δραστηριότητες, δύναται να διαφέρει από χώρα σε χώρα. Ο νομικός κίνδυνος στην συγκεκριμένη περίπτωση αφορά εσφαλμένες νομικές συμβουλές είτε αδυναμία νομικής τεκμηρίωσης που μπορεί να οδηγήσουν σε υποτίμηση των στοιχείων του ενεργητικού μιας εταιρείας.

Τέλος, ο εν λόγω κίνδυνος σχετίζεται με παράνομες ενέργειες, όπως *εσωτερική πληροφόρηση (inside trading)* και *χειραγώγηση τιμών (price manipulation)*, και για τον λόγο αυτό οι νομικοί κίνδυνοι εποπτεύονται και ελέγχονται από την νομική υπηρεσία της εκάστοτε εταιρείας, σε συνεργασία με την Ανώτατη Διοίκηση (Jorion, 2007).

Κίνδυνος διακανονισμού πληρωμών

Ο κίνδυνος διακανονισμού πληρωμών (*arrangement risk*) αφορά την πιθανότητα ο ένας από τους δύο αντισυμβαλλόμενους να αθετήσει μια συμφωνία, εφόσον το άλλο μέρος έχει ήδη πληρώσει κάποιο χρηματικό ποσό. Συνήθως συναντάται σε συναλλαγές με συνάλλαγμα όπου απαιτείται η μεταφορά μετρητών από μια τράπεζα σε μια άλλη, μέσω των κεντρικών τραπεζών, των οποίων τα νομίσματα χρησιμοποιούνται στο ενδιαμέσο της συναλλαγής. Συναντάται και με τον όρο «κίνδυνος *Herstatt*», καθώς η *Herstatt* κατέρρευσε νωρίς το πρωί, σύμφωνα με την γερμανική ώρα, αφού δεν κατάφερε να πραγματοποιήσει πληρωμές, που είχαν προσυμφωνηθεί σε δολάριο, προς αμερικανικές τράπεζες. Είναι σαφές ότι ο κίνδυνος διακανονισμού είναι συχνότερος στην διατραπεζική αγορά, όπου ο όγκος και η αξία των συναλλαγών κυμαίνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα. Λόγω των διατραπεζικών πληρωμών, ένα πρόβλημα σε ένα ίδρυμα είναι δυνατόν να προκαλέσει αλυσιδωτή αντίδραση και να επηρεάσει και άλλα ιδρύματα. Η εκκαθάριση αποτελεί μέθοδο ελαχιστοποίησης του κινδύνου διακανονισμού πληρωμών, αφού παρέχει τη δυνατότητα σε ένα ίδρυμα να υλοποιήσει μια καθαρή πληρωμή αντί πολλών ακαθάριστων. Τέλος, η αντιμετώπιση του κινδύνου διακανονισμών επιτυγχάνεται με την στενή παρακολούθηση των επενδυτικών και άλλων τραπεζικών δραστηριοτήτων των αντισυμβαλλόμενων μερών (Mulvey, Shetty and Rosenbaum, 1997).

Κίνδυνος Αξιοπιστίας

Ο κίνδυνος αγοράς και ο πιστωτικός κίνδυνος, ο κίνδυνος ρευστότητας, ο κίνδυνος χώρας, ο πολιτικός και ο συναλλαγματικός κίνδυνος αποτελούν το βασικό πυρήνα των κινδύνων που αντιμετωπίζουν οι χρηματοπιστωτικοί οργανισμοί.

Ο λειτουργικός και νομικός κίνδυνος ανήκουν στην ομάδα των επιχειρησιακών κινδύνων, που απορρέουν από τη φύση της τράπεζας ως επιχειρηματικής και οικονομικής μονάδας.

Τέλος, υπάρχει και ο κίνδυνος *φήμης και αξιοπιστίας (reputation and reliability risk)*, που δημιουργείται από τις συχνές αποτυχίες στο παρελθόν των λειτουργικών συστημάτων, της διαχείρισης ή των προϊόντων της τράπεζας και μπορεί να υπονομεύσει την ίδια τη φύση των τραπεζικών εργασιών, η οποία απαιτεί την εμπιστοσύνη όλων όσων συμμετέχουν στην αγορά (Mulvey, Shetty and Rosenbaum, 1997).

Κίνδυνος αφερεγγυότητας

Ο *κίνδυνος αφερεγγυότητας* ή *κίνδυνος κεφαλαίου* (*capital risk*) αποτελεί συνέπεια πολλών κινδύνων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα, αφορά τον κίνδυνο ένα χρηματοοικονομικό ίδρυμα να μην διαθέτει αρκετό κεφάλαιο ώστε να αντιμετωπίσει ενδεχόμενες τραπεζικές απώλειες στην αξία των περιουσιακών του στοιχείων σε σχέση με τις υποχρεώσεις του.

Η εμφάνιση του κινδύνου αφερεγγυότητας, συνεπάγεται την εμφάνιση πιθανότητας πτώχευσης του ιδρύματος. Η πτώχευση οφείλεται στη μείωση της αγοραστικής αξίας των στοιχείων του ενεργητικού, σε επίπεδα χαμηλότερα από αυτά του παθητικού, με αποτέλεσμα την αδυναμία αποπληρωμής των υποχρεώσεών του.

Καταλήγοντας, συχνά διακρίνουμε και κάποια επιμέρους είδη κινδύνων, όπως ο κίνδυνος αναχρηματοδότησης, ο κίνδυνος επανεπένδυσης, ο εξωτερικός κίνδυνος είτε ο κίνδυνος από πράξεις εκτός ισολογισμού, οι οποίοι αποτελούν υποκατηγορίες των βασικών χρηματοοικονομικών κινδύνων και δεν κρίνεται αναγκαίο να αναλυθούν περαιτέρω. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι έγινε εκτενής ανάλυση στον χρηματοοικονομικό κίνδυνο, καθώς η εργασία θα επικεντρωθεί στον τρόπο αντιμετώπισης του, και συγκεκριμένα με τη χρήση της μεθόδου προσομοίωσης *Monte Carlo*.

2.5 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Το κεφάλαιο αυτό εστίασε στην έννοια του κινδύνου αλλά και την αλληλεπίδραση που έχουν με τις διάφορες μορφές του τόσο τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, όσο και απλοί επενδυτές και επιχειρήσεις. Αρχικά έγινε περιγραφή του όρου «κίνδυνος», και μια πρώτη κατηγοριοποίηση των διαφόρων ειδών κινδύνου. Στη συνέχεια αναλύθηκε το γιατί τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα επιδιώκουν την ανάληψη και διαχείριση κινδύνων. Τέλος παρουσιάστηκαν εκτενώς όλα τα είδη των χρηματοοικονομικών κινδύνων, ενώ αναλύθηκαν λεπτομερώς και οι λόγοι εμφάνισής τους. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στον κίνδυνο αγοράς, η διαχείριση του οποίου αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

3. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Λόγω της πληθώρας και της ποικιλίας των διαφόρων κινδύνων, με τους οποίους έρχεται αντιμέτωπο κάθε χρηματοπιστωτικό ίδρυμα ή επιχείρηση, γεννάται η ανάγκη αποτίμησης και διαχείρισης αυτών. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται το γιατί η διαχείριση κινδύνων αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για την ευημερία των οργανισμών και ποιες ήταν οι εξελίξεις, στην παγκόσμια οικονομία, που έφεραν το θέμα της διαχείρισης κινδύνων στο προσκήνιο. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά σε μια σειρά μέτρων, που θεσπίστηκαν από τους διοικητές των κεντρικών τραπεζών των μελών της «G-10», με σκοπό τον έλεγχο και την επιτήρηση όσων χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων αλληλεπιδρούν και είναι ευπαθή προς τους χρηματοοικονομικούς κινδύνους, όταν παρατηρήθηκε πως το παγκόσμιο οικονομικό σύστημα γιγαντωνόταν. Στη συνέχεια περιγράφεται λεπτομερώς, η κατασκευή ενός ολοκληρωμένου πλαισίου διαχείρισης κινδύνων, το οποίο προσαρμόζεται ανάλογα με τους στόχους και τις ανάγκες του εκάστοτε οργανισμού. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια ιστορική αναδρομή που συνοψίζει τις ενέργειες και τα σημεία κλειδιά για την διαδικασία διαχείρισης κινδύνων από την αρχή του 20^{ου} αιώνα μέχρι σήμερα.

3.2 ΑΝΑΓΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

Η αστάθεια στις διεθνείς χρηματοοικονομικές αγορές τις τελευταίες δεκαετίες συνδέθηκε με αρκετές καταρρεύσεις χρηματοπιστωτικών οργανισμών (Barings, Orange County) και έστρεψε το ενδιαφέρον στην διαχείριση κινδύνων, που άρχισε να αναπτύσσεται γρήγορα. Το άμεσο συμπέρασμα, που προέκυψε από τα παραπάνω χρηματοπιστωτικά γεγονότα, είναι ότι σημαντικά κεφάλαια είναι δυνατό να χαθούν λόγω ανεπαρκούς επίβλεψης και διαχείρισης των χρηματοοικονομικών κινδύνων. Η μόνη διεθνής σταθερά όλη αυτή την περίοδο ήταν η συνεχής υψηλή μεταβλητότητα και η αδυναμία πρόβλεψης (Προβόπουλος, Καπόπουλος, 2001).

Όπως ορίστηκε και παραπάνω, ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος αφορά την μεταβλητότητα των απροσδόκητων αποτελεσμάτων στις αγορές ομολόγων, μετοχών και δανειακών κεφαλαίων.

Η ανάγκη για διαχείριση του *χρηματοοικονομικού* κινδύνου ανέκυψε επίσης λόγω της *απορρύθμισης (deregulation)* των χρηματοοικονομικών αγορών, την δεκαετία του 1970, που επηρέασε σημαντικά τις πρακτικές διαχείρισης κινδύνου. Συγκεκριμένα, το 1973 ξεκίνησε μια νέα εποχή διαχείρισης κινδύνου με εφιαλτήριο την κατάρρευση του συστήματος σταθερών συναλλαγματικών ισοτιμιών «Bretton Woods» και την τιμολόγηση *δικαιωμάτων προαίρεσης (options)* με την μέθοδο *Black-Scholes*, που αποτελούν κομμάτι των παραγώγων που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η καθιέρωση των ελεύθερα κυμαινομένων ισοτιμιών διέυρνε τη συμμετοχή των πιστωτικών ιδρυμάτων στις αγορές συναλλάγματος, με την εμφάνιση των καινοτόμων, για την εποχή, χρηματοοικονομικών προϊόντων (παράγωγα) να αλλάζουν τις ισορροπίες.

Για να πετύχουν είτε διασπορά των κινδύνων, είτε μεγιστοποίηση των κερδών τους τα τραπεζικά και χρηματοπιστωτικά ιδρύματα ασχολήθηκαν ενεργά με τις νέες αγορές προϊόντων, αλλάζοντας τις οργανωτικές τους δομές με σκοπό την προσαρμογή στο νέο σύστημα συναλλαγών.

Η αλματώδης τεχνολογική πρόοδος, η χαλάρωση του κανονιστικού πλαισίου (μέσω της απορρύθμισης), αλλά και οι θεσμικές αλλαγές στους οργανισμούς αποτέλεσαν σημαντικές αλλαγές για το διεθνές χρηματοπιστωτικό σύστημα, σε ότι αφορούσε τις νομισματικές και συναλλαγματικές πολιτικές, και οδήγησαν σταδιακά στην γιγάντωση του. Η ασυδοσία και ο ελλιπής έλεγχος της φερεγγυότητας των συνδιαλεγόμενων αποτέλεσε την απαρχή της κρίσης, με αποκορύφωμα την κατάρρευση το 2007 και την στοχοποίηση των παράγωγων χρηματοοικονομικών προϊόντων.

Ως αποτέλεσμα, προέκυψε η ανάγκη για αυστηρότερο έλεγχο και ορθή διαχείριση των κινδύνων. Η ανάγκη για την πρόληψη της περιέλευσης ενός οργανισμού σε καταστάσεις αφερεγγυότητας οδήγησε στην αύξηση της επίβλεψης των τραπεζών και των λοιπών χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων, με την αναπροσαρμογή των απαιτήσεων κεφαλαιακής επάρκειας και την ανάπτυξη εργαλείων διαχείρισης χρηματοοικονομικών κινδύνων.

3.3 ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΤΡΑΠΕΖΩΝ (ΒΑΣΙΛΕΙΑ Ι,ΙΙ,ΙΙΙ)

Οι νέες τάσεις που δημιουργήθηκαν στις παγκόσμιες αγορές δημιούργησαν την ανάγκη για αυξημένη επιτήρηση και έλεγχο. Με αφορμή τα όσα αναλύθηκαν παραπάνω, το 1974, οι Διοικητές των Κεντρικών Τραπεζών των κρατών-μελών της «G-10» προχώρησαν στη σύσταση της *Επιτροπής της Βασιλείας (Basel Committee)*. Η *Επιτροπή της Βασιλείας* συνεδριάζει τακτικά 4 φορές το χρόνο υπό την αιγίδα της *Τράπεζας Διεθνών Διακανονισμών (BIS – Bank of International Settlements)* με το σύνολο των μελών της να συναποτελείται από αντιπροσώπους των κεντρικών τραπεζών από τις χώρες της «G-10» καθώς και αντιπροσώπους τους Λουξεμβούργου και της Ισπανίας. Η Επιτροπή της Βασιλείας δρά ως ένα ανεπίσημο ελεύθερο όργανο (forum) το οποίο διατυπώνει γενικά εποπτικά πρότυπα και προτείνει λύσεις πολιτικής, που προσβλέπουν στη διαμόρφωση γενικών εποπτικών κατευθύνσεων και βέλτιστων πρακτικών. Δεν έχει κάποια νομική εξουσία, καθώς οι αποφάσεις της δεν είναι δεσμευτικές, αλλά ενθαρρύνει τις αρχές των μελών της να εφαρμόζουν τις αποφάσεις της.

Οι ισχύοντες κανόνες για την κεφαλαιακή επάρκεια των πιστωτικών ιδρυμάτων αποσκοπούν στην εξασφάλιση της σταθερότητας του χρηματοπιστωτικού συστήματος διεθνώς, όπως και στη δημιουργία συνθηκών ίσου ανταγωνισμού, αλλά και τον έλεγχο και τη διαχείριση των αναλαμβανόμενων από τα πιστωτικά ιδρύματα κίνδυνου (Σταϊκούρας, 2005). Το 1988, η *Επιτροπή της Βασιλείας* εισήγαγε την εφαρμογή ενός πλαισίου μέτρησης του πιστωτικού κινδύνου των στοιχείων του σταθμισμένου ενεργητικού. Στη συνέχεια, ενσωματώθηκε στο πλαίσιο και ο έλεγχος του κινδύνου αγοράς και εμπλουτίστηκε με την εισαγωγή εναλλακτικών μεθόδων μέτρησης των εν λόγω κινδύνων.

Συγκεκριμένα, η διαχείριση του χρηματοοικονομικού κινδύνου προσδιορίστηκε από την *Επιτροπή της Βασιλείας* ως αποτέλεσμα τεσσάρων διαδικασιών (Linsmeier, Pearson, 1999):

- Κατάταξη γεγονότων σε μια ή περισσότερες κατηγορίες κινδύνων
- Εκτίμηση κινδύνων με χρήση δεδομένων και μοντέλων κινδύνου
- Αναφορά των παραπάνω εκτιμήσεων σε τακτά χρονικά διαστήματα
- Έλεγχος και Εποπτεία των αναφορών από την Διοίκηση

ΒΑΣΙΛΕΙΑ I

Ο σημαντικότερος παράγοντας για την Διαχείριση Κινδύνων που τέθηκε από τις Εποπτικές Αρχές είναι η Κεφαλαιακή Επάρκεια που στοχεύει να θέσει ελάχιστο επίπεδο ιδίων κεφαλαίων ενός χρηματοπιστωτικού ιδρύματος, σε σχέση με τον αναλαμβανόμενο πιστωτικό κίνδυνο. Ορίζονται δύο δείκτες, ο *Δείκτης Κεφαλαιακής Επάρκειας (Capital Adequacy Ratio – CAR)* και ο *Δείκτης Πρωτογενούς Κεφαλαίου (Tier I Ratio)*. Συγκεκριμένα, ο CAR υπολογίζεται ως ο λόγος των ιδίων κεφαλαίων, του χρηματοπιστωτικού ιδρύματος, προς το άθροισμα των στοιχείων του ενεργητικού και των εκτός ισολογισμού στοιχείων σταθμισμένων ως προς τον πιστωτικό κίνδυνο (*Risk Adjusted Assets – RAA*). Ο αριθμητής του CAR, το κεφάλαιο, διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Το βασικό κεφάλαιο (*Tier I*) και τα λοιπά ίδια κεφάλαια (*Tier II*) με σύμβαση ότι το πρώτο θα είναι τουλάχιστον το 50% του αθροίσματος και των δύο. Ο *Δείκτης Πρωτογενούς Κεφαλαίου* έχει ως αριθμητή το βασικό κεφάλαιο (*Tier I*) και ως παρονομαστή αυτόν του CAR.

Το σύμφωνο της Βασιλείας καθιέρωσε την ελάχιστη τιμή του Δείκτη Κεφαλαιακής Επάρκειας στο 8%, εναρμονίζοντας έτσι για πρώτη φορά το διεθνές εποπτικό σύστημα. Για να εξασφαλίζει δηλαδή, ένα χρηματοπιστωτικό ίδρυμα, επαρκή κεφαλαιοποίηση σύμφωνα με τα παραπάνω, πρέπει το συνολικό κεφάλαιο (*Tier I+II*) να υπερβαίνει το 8% του σταθμισμένου ως προς τον κίνδυνο ενεργητικού. Επίσης, το *Tier I* πρέπει να υπερβαίνει το 4% του ενεργητικού, σταθμισμένο ως προς τον πιστωτικό κίνδυνο. Το πρωτογενές κεφάλαιο (*Core Capital, Tier I*) αποτελείται από κοινές μετοχές, προνομιακές μετοχές, ομόλογα καθώς και μειονοτικά δικαιώματα (*minority interests*) της τράπεζας σε θυγατρικές της. Το συμπληρωματικό ή δευτερογενές κεφάλαιο (*Supplementary Capital, Tier II*) περιλαμβάνει προβλέψεις για επισφαλή δάνεια καθώς και προνομιούχες μετοχές και ομόλογα που δεν ανήκουν στο *Tier I*.

Ωστόσο, από τα μέσα της δεκαετίας του '90 είχε γίνει σαφές ότι το Σύμφωνο της Βασιλείας I είχε αδιαμφισβήτητες ελλείψεις και αδυναμίες. Οι αδυναμίες αυτές καθιστούσαν το εποπτικό πλαίσιο ανεπαρκές στο να προφυλάξει το χρηματοπιστωτικό σύστημα από πιθανούς κινδύνους που προέρχονταν, όχι από κάποια αθέτηση εκπλήρωσης υποχρέωσης από αντισυμβαλλόμενο αλλά, από ατέλειες του ίδιου του πλαισίου λειτουργίας. Η Βασιλεία I θεωρήθηκε ότι απέτυχε να εκπληρώσει τους στόχους της και κυρίως δεν μπόρεσε να καταστήσει το διεθνές χρηματοπιστωτικό σύστημα λιγότερο ασταθές, προκειμένου να αποτρέψει την εκδήλωση χρηματοοικονομικών κρίσεων.

Για παράδειγμα, ο *συντελεστής στάθμισης (adjustment ratio)* 20%, που προσδιοριζόταν για την στάθμιση των βραχυπρόθεσμων απαιτήσεων έναντι πιστωτικών οργανισμών, οδήγησε σε αύξηση του δανεισμού προς ασιατικές τράπεζες, γεγονός που συνέβαλε στην εκδήλωση της ασιατικής κρίσης το 1997-1998. Τέλος, το πλαίσιο της Βασιλείας I δεν κατόρθωσε να εξομαλύνει τις συνθήκες του διεθνούς χρηματοπιστωτικού συστήματος. Έτσι, οι διαφορές που προέκυψαν στα λογιστικά, φορολογικά και νομικά συστήματα προκάλεσαν ανταγωνιστικές ανισότητες ανάμεσα στις τράπεζες που δραστηριοποιούνται διεθνώς (Πετράκης, 2007).

ΒΑΣΙΛΕΙΑ II

Σε μία προσπάθεια να διορθωθούν οι ατέλειες του Συμφώνου της Βασιλείας I, η Επιτροπή της Βασιλείας το 1999 δημοσίευσε μια αναθεωρημένη πρόταση για ένα νέο πλαίσιο κεφαλαιακής επάρκειας που θα αντικαθιστούσε το αρχικό. Ακολούθησαν δύο ακόμα συμβουλευτικά κείμενα το 2001 και το 2003, τα οποία σε συνδυασμό με τις τέσσερις Ποσοτικές Μελέτες Επίπτωσης (*Quantitative Impact Studies*) αποτελούν το εποπτικό πλαίσιο που ισχύει μέχρι σήμερα. Το πλαίσιο αυτό ονομάστηκε Βασιλεία II (*Basel II*), η τελική έκδοση του κειμένου δημοσιεύθηκε στις 26/6/2004, τέθηκε σε εφαρμογή από το 2007 και έχει ισχύ μέχρι και το 2015.

Η Βασιλεία II εστιάζει στο πρόβλημα επιλογής (*trade-off*) μεταξύ της ανάγκης για σταθερότητα του τραπεζικού συστήματος και της μεγιστοποίησης των κερδών, η οποία συνεπάγεται και ανάληψη υψηλότερων κινδύνων. Οι βασικοί στόχοι του νέου Συμφώνου συνίστανται στην απόδοση έμφασης στην εποπτική εξέταση και στη διαφάνεια της αγοράς, αλλά και την σταδιακή σύγκλιση του ύψους των εποπτικών ιδίων κεφαλαίων, σε σχέση με το οικονομικό κεφάλαιο, μέσω της αναγνώρισης από τις εποπτικές αρχές της αποτίμησης του κινδύνου. Η Βασιλεία II μετέβαλε την αντιμετώπιση του πιστωτικού κινδύνου και συμπεριέλαβε την κάλυψη του λειτουργικού κινδύνου, αφήνοντας αμετάβλητους τους κανόνες που αφορούσαν τον κίνδυνο αγοράς. Συγκεκριμένα, οι προτάσεις της Βασιλείας II διακρίνονται σε τρεις θεματικές ενότητες, τις οποίες ονομάζουμε *Πυλώνες (Pillars)*, και συμβάλλουν στην ασφάλεια και τη σταθερότητα του χρηματοπιστωτικού συστήματος.

Πυλώνας I: Τροποποίηση του πλαισίου υπολογισμού ελάχιστων κεφαλαιακών υποχρεώσεων έναντι του πιστωτικού κινδύνου – με την προσθήκη απαιτήσεων για κάλυψη έναντι του λειτουργικού κινδύνου.

Πυλώνας II: Καθιέρωση διαδικασιών για τον έλεγχο και την αξιολόγηση σε μόνιμη βάση της επάρκειας των ιδίων κεφαλαίων των τραπεζών από τις εποπτικές αρχές.

Πυλώνας III: Ενδυνάμωση της πειθαρχίας που επιβάλλει στις τράπεζες η αγορά μέσω της δημοσιοποίησης στοιχείων σχετικά με τη διάρθρωση των αναλαμβανομένων κινδύνων και της κεφαλαιακής επάρκειας των πιστωτικών ιδρυμάτων.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι προτάσεις των Πυλώνων της Βασιλείας II, όπως αυτοί παρουσιάζονται από το Οικονομικό Επιμελητήριο της Ελλάδος.

Πίνακας 3.1. *Πυλώνες Βασιλείας II.*

Πυλώνας I	Πυλώνας II	Πυλώνας III
<i>Ελάχιστες Κεφαλαιακές Απαιτήσεις</i>	<i>Εποπτικός Έλεγχος</i>	<i>Πειθαρχία της Αγοράς</i>
➤ Κίνδυνος Αγοράς - Ελάχιστες μεταβολές σε σχέση με Βασιλεία I. ➤ Πιστωτικός κίνδυνος - Σημαντικές αλλαγές σε σχέση με Βασιλεία I. - Τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις για την εκτίμηση των ελάχιστων κεφαλαιακών απαιτήσεων. - Παροχή κινήτρων στους πιστωτικούς οργανισμούς για την υιοθέτηση εξελιγμένων μεθόδων διαχείρισης του πιστωτικού κινδύνου, βασισμένες στην εσωτερική διαβάθμιση. - Απαιτήσεις για χρήση εξελιγμένων συστημάτων συλλογής και ελέγχου πληροφοριών. ➤ Λειτουργικός κίνδυνος - Νέο στοιχείο του εποπτικού πλαισίου. - Τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις για την εκτίμηση των ελάχιστων κεφαλαιακών απαιτήσεων.	- Οι πιστωτικοί οργανισμοί θα πρέπει να διαθέτουν αξιόπιστες διαδικασίες αξιολόγησης της κεφαλαιακής τους επάρκειας και αποτελεσματική στρατηγική διατήρησης του απαιτούμενου επιπέδου εποπτικών κεφαλαίων. - Οι εποπτικές αρχές θα πρέπει να επιβλέπουν και να αξιολογούν τα εσωτερικά συστήματα των πιστωτικών οργανισμών και τις ακολουθούμενες στρατηγικές διατήρησης της κεφαλαιακής τους επάρκειας. - Είναι στην διακριτική ευχέρεια των εποπτικών αρχών να επιβάλλουν πρόσθετες κεφαλαιακές επιβαρύνσεις. - Οι εποπτικές αρχές θα πρέπει να παρεμβαίνουν σε πρώιμα στάδια για την αποτροπή και αντιμετώπιση της κεφαλαιακής αναιμίας των πιστωτικών οργανισμών.	- Η πειθαρχία της αγοράς ενισχύει τις προσπάθειες για προώθηση της ασφάλειας και ευρωστίας των πιστωτικών οργανισμών. - Οι αυξημένες απαιτήσεις για παροχή κύριας και πρόσθετης πληροφόρησης καθιστούν την πειθαρχία της αγοράς περισσότερο αποτελεσματική.

(Οικονομικό Επιμελητήριο της Ελλάδος)

Οι τρεις αυτοί πυλώνες του νέου *Συμφώνου* είναι αμοιβαίως αλληλοενισχυόμενοι. Αναμφίβολα, η αποτελεσματικότητα των κανόνων του πρώτου πυλώνα εξαρτάται καθοριστικά από την ικανότητα των εποπτικών αρχών να ελέγχουν την ορθή εφαρμογή τους μέσω των εξουσιών του δεύτερου πυλώνα. Επίσης, οι αυξημένες υποχρεώσεις γνωστοποίησης στοιχείων του τρίτου πυλώνα διαμορφώνουν τα κατάλληλα κίνητρα για τη βελτίωση των διαδικασιών διαχείρισης κινδύνων που αναπτύσσουν οι τράπεζες.

ΒΑΣΙΛΕΙΑ III

Η εφαρμογή του *Συμφώνου της Βασιλείας II* συνέπεσε χρονικά με τη χρηματοπιστωτική κρίση του 2007-2008, με αποτέλεσμα να μην έχει προηγηθεί επαρκής έλεγχος για τη δυνατότητα του συμφώνου να αμβλύνει τις επιπτώσεις μιας οικονομικής κρίσης. Παράλληλα, έγινε αντιληπτό ότι ορισμένες κατηγορίες κεφαλαίων, που συμπεριλαμβάνονται στα εποπτικά, αδυνατούν να καλύψουν τις ενδεχόμενες ζημίες. Έτσι η Επιτροπή οδηγήθηκε στην αναθεώρηση των ορισμών των εποπτικών κεφαλαίων, με την έκδοση στις 12/9/2010 ενός νέου, υπό διαμόρφωση πλαισίου, γνωστό και ως *Βασιλεία III*. Το πλαίσιο της *Βασιλείας III* λειτουργεί ρυθμιστικά από το 2013 μέχρι και σήμερα και στηρίζεται στους ίδιους πυλώνες που αναλύθηκαν και στο πλαίσιο της *Βασιλείας II*, με σκοπό την σταδιακή προσαρμογή των τραπεζών μέχρι την αρχή του 2019. Τον κορμό της *Βασιλείας III* αποτελούν δύο σημαντικές εκθέσεις της Επιτροπής της Βασιλείας :

- *Basel III: A global regulatory framework for more resilient banks and banking systems*
- *Basel III: International Framework for liquidity risk measurement, standards and monitoring*

(Basel Committee, 1996; 2010)

Οι παραπάνω εκθέσεις μαζί με τις τροποποιήσεις που συνεχώς εφαρμόζονται, αποτελούν την αντίδραση της *Επιτροπής της Βασιλείας* στην χρηματοπιστωτική κρίση. Το νέο πλαίσιο προληπτικής εποπτείας αποτελεί βελτίωση και συμπλήρωση του υφιστάμενου και όχι μια καινούργια συμφωνία, και έχει ως στόχο την ενδυνάμωση της σταθερότητας του παγκόσμιου τραπεζικού συστήματος, κινούμενο προληπτικά σε δύο επίπεδα: το μικροοικονομικό και το μακροοικονομικό. Οι τροποποιήσεις του νέου πλαισίου μπορούν να διαχωριστούν από συστημική άποψη σε δύο κατηγορίες:

- Διατάξεις του υπάρχοντος κανονιστικού πλαισίου Βασιλεία II στις οποίες επέρχονται τροποποιήσεις και προσθήκες :
 1. Ίδια κεφάλαια
 2. Κάλυψη των τραπεζών έναντι της έκθεσης τους στον πιστωτικό κίνδυνο
- Διατάξεις που αποτελούν καινοτόμα στοιχεία του νέου πλαισίου :
 1. Συντελεστής Μόχλευσης
 2. Συντελεστής Κάλυψης Ρευστότητας
 3. Συντελεστής Καθαρής Σταθερής Χρηματοδότησης
 4. Εργαλεία Παρακολούθησης του Κινδύνου Ρευστότητας
 5. Κεφαλαιακό απόθεμα για λόγους συντήρησης
 6. Αντικυκλικό Κεφαλαιακό απόθεμα

Ως απόρροια όλων των παραπάνω, προκύπτει η βαρύνουσα σημασία χρήση των πλαισίων της Επιτροπής της Βασιλείας στον εποπτικό έλεγχο των πιστωτικών ιδρυμάτων.

Τα πλαίσια αυτά, έχουν αποδειχθεί ως ο πλέον κατάλληλος έλεγχος των κεφαλαίων, αφού, λόγω διαρκών τροποποιήσεων, κατέληξαν να συμπεριλαμβάνουν πληθώρα ασφαλιστικών δικλίδων και μέτρων με σκοπό τον περιορισμό του κινδύνου με τον οποίο έρχεται αντιμέτωπο κάθε χρηματοπιστωτικό ίδρυμα. Η *Βασιλεία I* αρχικά, η *Βασιλεία II* και η τροποποίηση αυτής με την *Βασιλεία III* κατόπιν, αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση προστασίας των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων σε παγκόσμιο επίπεδο, ιδίως το τελευταίο διάστημα που η κολοσσιαία οικονομία των Η.Π.Α. έχει υποστεί σοβαρότατο πλήγμα από το καλοκαίρι του 2007, υπαίτια του οποίου είναι τα ενυπόθηκα στεγαστικά δάνεια μειωμένης εξασφάλισης (*subprimes*), με αποτέλεσμα οι επιπτώσεις του πλήγματος αυτού να μην αφήσουν «ανέγγιχτη» και την ευρωπαϊκή οικονομία (Τράπεζα της Ελλάδος, 2014).

3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

Ως διαχείριση κινδύνου ορίζεται η επιστημονική προσέγγιση για την πρόγνωση των πιθανών τυχαίων απωλειών και για το σχεδιασμό και την εφαρμογή των διαδικασιών που ελαχιστοποιούν την απώλεια (Vaughan, 1997). Συγκεκριμένα *διαχείριση χρηματοοικονομικού κινδύνου* (*Financial Risk Management ~ FRM*) ονομάζεται μια σειρά μέτρων και στρατηγικών, που υιοθετεί ένας χρηματοπιστωτικός οργανισμός ή επιχείρηση, με τη βοήθεια των οποίων ταυτοποιούνται, μετρώνται και ελέγχονται οι διάφοροι χρηματοοικονομικοί κίνδυνοι.

Επίσης, διαχείριση κινδύνων καλείται το σύνολο των συντονισμένων ενεργειών, στις οποίες προβαίνει η διοίκηση ενός τραπεζικού ιδρύματος με στόχο την πρόληψη και αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων στην καθαρή θέση, στα έσοδα ή στα κέρδη του από την επίδραση ενός ή περισσότερων κινδύνων. Περιλαμβάνει τη διαχείριση ενεργητικού, παθητικού αλλά και της λειτουργίας του πιστωτικού ιδρύματος. Μέσω της διαχείρισης του ενεργητικού εξασφαλίζονται τα εισοδήματα της τραπεζικής δραστηριότητας, ενώ αντίστοιχα η διαχείριση παθητικού διασφαλίζει την χρηματοδότηση της δραστηριότητας αυτής. Τέλος, η διαχείριση της λειτουργίας του πιστωτικού ιδρύματος εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση των γενικών λειτουργικών δαπανών. Όπως γίνεται κατανοητό, η ανάγκη διαχείρισης του χρηματοοικονομικού κινδύνου ήταν επιτακτική εδώ και δεκαετίες και, ως εκ τούτου, αναπτύχθηκαν διάφορα εργαλεία για την αποτελεσματική αντιμετώπισή του.

Η κατασκευή ενός ολοκληρωμένου πλαισίου διαχείρισης κινδύνων, όπως και κάθε άλλη επιχειρηματική δραστηριότητα, ξεκινάει με τον σαφή καθορισμό των στόχων και των επιθυμητών αποτελεσμάτων (Culp, 2002). Οι στόχοι που θα συμφωνηθούν θα αποτελούν τον οδηγό για την μέτρηση, την παρακολούθηση και τη διαχείριση των κινδύνων σε καθημερινή βάση. Ανάλογα με τον τομέα στον οποίο δραστηριοποιείται η εκάστοτε επιχείρηση, οι συμφωνηθέντες στόχοι μπορεί να αφορούν μείωση της πιθανότητας ζημίας, μεγιστοποίηση ή σταθεροποίηση κερδών, μείωση του κόστους έκθεσης σε χρηματοοικονομικές εκθέσεις ή οποιοσδήποτε συνδυασμός των παραπάνω.

Αμέσως μετά τον καθορισμό των στόχων σειρά έχει η επιλογή συγκεκριμένης στρατηγικής σε ότι σχετίζεται με την διαδικασία διαχείρισης που θα ακολουθηθεί, καθώς και ο βαθμός συγκέντρωσης και συνεισφοράς της διαδικασίας στη λειτουργία της επιχείρησης. Τέλος, ακολουθεί ο ακριβής προσδιορισμός των βημάτων της διαδικασίας, με σκοπό την πρόβλεψη, μέτρηση και αντιμετώπιση των εξεταζόμενων κινδύνων.

Σύμφωνα με τον Culp (2002) η διαδικασία διαχείρισης κινδύνων σε μια επιχείρηση μπορεί να διακριθεί συνοπτικά στα ακόλουθα στάδια:

I. Αναγνώριση των κινδύνων στους οποίους βρίσκεται εκτεθειμένη η επιχείρηση μέσα από την κύρια δραστηριότητά της.

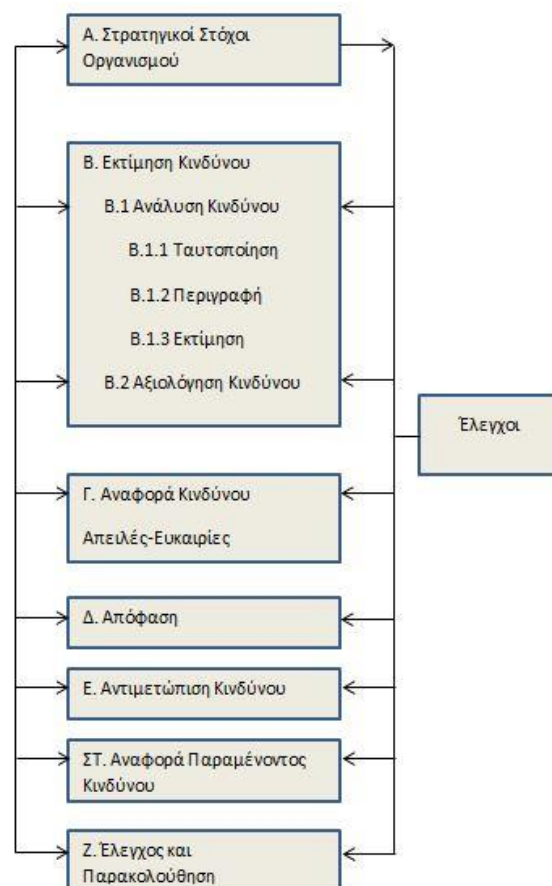
II. Επιλογή των κινδύνων που θα διατηρηθούν και των κινδύνων που θα μεταφερθούν.

III. Ποσοτική περιγραφή της έκθεσης της επιχείρησης στους επιλεγμένους κινδύνους, με σκοπό τη μέτρηση της και σύγκριση με τα θεσπισμένα όρια ανοχής.

IV. Παρακολούθηση και καταγραφή τυχόν αποκλίσεων ανάμεσα στους μετρούμενους κινδύνους και τα όρια ανοχής.

V. Ανάπτυξη δράσεων, στρατηγικών και εργαλείων με σκοπό τον έλεγχο των πιθανών αποκλίσεων.

VI. Συνεχής παρακολούθηση, έλεγχος και πιθανή τροποποίηση της διαδικασίας ώστε να εξασφαλίζεται η σύγκλιση με τους στόχους που έχουν καθοριστεί.



Σχήμα 3.1. Στάδια Διαδικασίας Διαχείρισης Κινδύνου (IRM-AIRMIC-ALARM, 2002).

Στο παραπάνω διάγραμμα περιγράφονται σχηματικά τα στάδια της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνου σε έναν οργανισμό, όπως προτείνουν οι οργανισμοί Ινστιτούτο Διαχείρισης Κινδύνου – ΙΔΚ (Institute of Risk Management – IRM), Ένωση Διευθυντών Ασφάλισης και Κινδύνου για τη Βιομηχανία και το Εμπόριο – ΕΔΑΚΒΕ (Association of Insurance and Risk Managers in Industry and Commerce – AIRMIC) και Εθνικό Φόρουμ για τη Διαχείριση Κινδύνων στον Δημόσιο Τομέα ΣΔΚΤΑ (ALARM).

Η διαδικασία διαχείρισης κινδύνων επηρεάζει άμεσα την δομή του χρηματοπιστωτικού συστήματος σε ότι αφορά συγκεκριμένες πτυχές του. Συνεισφέρει στην καλύτερη εκτίμηση των διαφόρων κινδύνων και των επιδράσεων που αυτοί επιφέρουν στο χρηματοπιστωτικό σύστημα. Επικεντρώνεται στην μελέτη και κατανόηση των παραγόντων που προκαλούν την εμφάνιση των κινδύνων, με σκοπό τόσο την ερμηνεία της φύσης και της προέλευσης αυτών όσο και την μοντελοποίηση τους, που θα οδηγήσει στην αποτελεσματική διαχείρισή τους.

Στην διαχείριση κινδύνων δίνεται επίσης ιδιαίτερη προσοχή στα ρυθμιστικά πλαίσια, που πρέπει να ακολουθούνται, σε ότι αφορά νομικούς, λογιστικούς και θεσμικούς κανονισμούς, οι οποίοι συμβάλλουν στην μείωση της πιθανότητας εμφάνισης αναπάντεχων γεγονότων, με σκοπό την αποφυγή νέων χρηματοοικονομικών κρίσεων.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί πως η διαχείριση κινδύνων έχει ως στόχο την μείωση των πραγματικών κινδύνων που αντιμετωπίζει μια επιχείρηση σε επιθυμητά επίπεδα. Πρόκειται για μια δυναμική και συνεχώς μεταβαλλόμενη διαδικασία η οποία, λόγω των συνεχών αλλαγών στα χρηματοοικονομικά στοιχεία που εξετάζει, θα πρέπει να παρακολουθείται και να προσαρμόζεται συνεχώς σε ενδεχόμενες αλλαγές. Ένα ευέλικτο πλαίσιο διαχείρισης κινδύνων κρίνεται απαραίτητο αν η επιχείρηση επιδιώκει να εξισορροπήσει την λειτουργία της σε μια συνεχώς μεταβαλλόμενη και ανταγωνιστική αγορά. Όπως γίνεται κατανοητό, η ανάγκη διαχείρισης του χρηματοοικονομικού κινδύνου ήταν επιτακτική εδώ και δεκαετίες και, ως εκ τούτου, αναπτύχθηκαν διάφορα εργαλεία για την αποτελεσματική αντιμετώπισή του.

Στην επόμενη σελίδα παρατίθεται ένας πίνακας που συγκεντρώνει την εξέλιξη των εργαλείων διαχείρισης κινδύνου από την δεκαετία του 1930 μέχρι και το 2000. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο 1993, όπου κάνει την εμφάνιση του ένα δυναμικό εργαλείο, η Value at Risk (VaR), με την οποία θα ασχοληθούμε εκτενέστερα στο 4^ο κεφάλαιο.

Πίνακας 3.2. Ιστορική εξέλιξη εργαλείων Διαχείρισης Κινδύνου.

1938	Bond duration
1952	Markowitz mean-variance framework
1963	Sharpe's single-factor beta model
1966	Multiple-factor models
1973	Black-Scholes option-pricing model, "Greeks"
1983	RAROC, risk-adjusted return
1986	Limits on exposure by duration bucket
1988	Limits on "Greeks"
1992	Stress testing
1993	Value at Risk (VaR)
1994	RiskMetrics
1997	CreditMetrics
1996-	Integration of credit and market risk
2000-	Enterprise risk management

(Jorion, 2003)

3.5 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ FRM

Από την απαρχή της εμφάνισης της έννοιας της διοίκησης επιχειρήσεων, η διαχείριση κινδύνων υπήρξε σιωπηρά ως διεργασία διοίκησης. Ο *Taylor*, που μίλησε πρώτος για την Διοίκηση Επιχειρήσεων το 1911, έγραφε : «Σκοπός της νέας επιστήμης είναι η μείωση της αβεβαιότητας μέσω της πρόβλεψης και του ελέγχου» (Chorafas, 1990). Τα θεμέλια της σύγχρονης ανάλυσης κινδύνων περιέχονται στην εργασία του *Markowitz* (1952), η οποία αναφέρεται στις αρχές της επιλογής χαρτοφυλακίου.

Την δεκαετία τους 1960 ο όρος «Διαχείριση Κινδύνου» άρχισε να καθιερώνεται σταδιακά. Την δεκαετία του 1970 τα επιτόκια και οι τιμές των ομολόγων άρχισαν να εμφανίζουν αστάθεια η οποία αυξήθηκε σημαντικά τη δεκαετία του 1980 , κυρίως λόγω της απόφασης της *Federal Reserve Bank* να χρησιμοποιήσει την προσφορά χρήματος ως κύριο εργαλείο οικονομικής πολιτικής, αντί της τιμής των επιτοκίων. Παράλληλα έκαναν την εμφάνισή τους πολλά νέα εργαλεία για την αντιστάθμιση των κινδύνων, ως αποτέλεσμα των κρίσεων που υπέστησαν διάφοροι χρηματοοικονομικοί οργανισμοί.

Για παράδειγμα η κατάρρευση της βρετανικής τράπεζας επενδύσεων «*Barings*», εξαιτίας μη-εξουσιοδοτημένων ενεργειών ενός νέου επενδυτή της (*N.Leeson*), σε συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης (*futures*) και δικαιώματα προαίρεσης (*options*) στο δείκτη *Nikkei*, δημιουργώντας έτσι για τρία χρόνια μια «φούσκα» κερδών, καθώς και η χρεωκοπία της «*Orange County*» , λόγω της επικίνδυνης επένδυσης του *Bob Citron* (*Drummond*, 2002).

Με αφορμή τη «*Μεγάλη Ύφεση*» (*Great Depression*), η *Επιτροπή Κεφαλαιαγοράς των ΗΠΑ* (*SEC, Securities Exchange Commission*) έθεσε σε εφαρμογή τα πρώτα μέτρα κεφαλαιακών απαιτήσεων για τις τράπεζες.

Το 1975 οι κεφαλαιακές απαιτήσεις αυξήθηκαν με τον κανόνα *Uniform Net Capital Rule* (UNCR) της SEC, ο οποίος πρότεινε την ταξινόμηση των χρηματοοικονομικών τίτλων σε 12 κατηγορίες, με κριτήριο ταξινόμησης τον κίνδυνό τους. Επιπλέον, οι τράπεζες υποχρεώνονταν να συντάσσουν αναφορές των κεφαλαιακών τους μετρήσεων ανά τετράμηνο οι οποίες ονομάζονταν *FOCUS* (*Financial and Operating Uniform Single reports*). Το 1980 η SEC συνέδεσε τις κεφαλαιακές απαιτήσεις των χρηματοοικονομικών ιδρυμάτων με τις ζημίες που θα επωμίζονταν, με ένα διάστημα εμπιστοσύνης 95%, σε διαφορετικές κατηγορίες τίτλων. Τα εν λόγω μέτρα ονομάστηκαν «κουρέματα» («haircuts»), και αφορούσαν ξεκάθαρα τον υπολογισμό της μηνιαίας VaR με επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (NYU Stern School of Business, 2007).

Το 1994 η *J.P. Morgan* ανακοίνωσε δημοσίως την χρήση δεδομένων διακυμάνσεων και συνδιακυμάνσεων διαφόρων ειδών χρηματοοικονομικών τίτλων, τα οποία και χρησιμοποιούσε ήδη ενδοεταιρικά για τουλάχιστον 10 χρόνια. Τα δεδομένα αυτά επέτρεψαν την ανάπτυξη μιας εφαρμογής για την διαχείριση του κινδύνου. Η εφαρμογή ονομάστηκε *RiskMetrics* και ως μέτρο κινδύνου χρησιμοποιήθηκε η *αξία-σε-κίνδυνο* (*Value-at-Risk*) (Reuters, 1996). Η δημιουργία της VaR ήταν παράπλευρο αποτέλεσμα των απωλειών υψηλών κεφαλαίων, που αντιμετώπισαν μεγάλες τράπεζες και πολυεθνικές στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Η *J.P. Morgan* δημοσίευσε τα παραπάνω δεδομένα θέλοντας να προωθήσει τη διαφάνεια σε ό,τι αφορά τους κινδύνους αγοράς, με σκοπό την αποτελεσματικότερη διαχείρισή τους. Επίσης, σκοπός ήταν, η καθιέρωση ενός προτύπου αναφοράς σχετικά με τη διαχείριση των κινδύνων αγοράς, ώστε να διευκολυνθεί η μέτρηση και σύγκριση αυτών.

Εμπορικές και επενδυτικές τράπεζες ανταποκρίθηκαν άμεσα στην πρόκληση της VaR και σταδιακά καθιερώθηκε στην πλειοψηφία των χρηματοοικονομικών οργανισμών ως το βασικό μέτρο κινδύνου. Επιπλέον, ακόμα και μη-χρηματοοικονομικοί οργανισμοί, ανεξάρτητοι επενδυτές, ρυθμιστικές αρχές αλλά και ακαδημαϊκοί θεώρησαν την VaR ως ένα από τα πιο ολοκληρωμένα εργαλεία διαχείρισης κινδύνου.

Χαρακτηριστικά είναι τα παραδείγματα της *Επιτροπής της Βασιλείας* (1996), που προέτρεψε τις τράπεζες να χρησιμοποιούν δικά τους μοντέλα VaR, αλλά και η απαίτηση της SEC (1997) από τις αμερικάνικες εταιρίες να δημοσιεύουν ποσοτικά μέτρα κινδύνου, με την Var να είναι μια από τις τρεις προτεινόμενες επιλογές (Linsmeier, Pearson, 1999).

Στο πλαίσιο θωράκισης απέναντι στους χρηματοοικονομικούς κινδύνους, πολλά χρηματοπιστωτικά ιδρύματα ανέπτυξαν εσωτερικά μοντέλα διαχείρισης τους. Ταυτόχρονα, έγινε αντιληπτό ότι η διαχείριση κινδύνων είναι αναγκαία, και δημιουργήθηκαν οι πρώτες θέσεις manager με σκοπό την διαχείριση κινδύνων.

Τη δεκαετία του 2000 υπήρξε ωρίμανση των αγορών και των προϊόντων, ένταση του διεθνούς ανταγωνισμού και το πηλίκo οφέλη/κίνδυνος επιδεινώθηκε. Η ενίσχυση της δύναμης της αγοράς, οι αυξημένες ροές κεφαλαίων και η ταχεία διάδοση των πληροφοριών συντέλεσαν στη σταδιακή αύξηση του κινδύνου αγοράς. Παρατηρήθηκε επίσης το φαινόμενο «μόλυνσης» των αγορών. Συγκεκριμένα, η διασύνδεση των αγορών αύξησε την πιθανότητα εμφάνισης συστημικών προβλημάτων.

Πλέον κάποιο αρνητικό γεγονός, που προέκυπτε σε έναν κλάδο, μπορούσε εύκολα να μεταπηδήσει σε άλλους τομείς, δημιουργώντας έτσι μια σειρά αλυσιδωτών αντιδράσεων, δύσκολων να αντιμετωπισθούν (Alexander, 2005). Πολλές εταιρείες έγιναν λιγότερο ικανές να απορροφούν τους κινδύνους, σε σχέση με το πόσο ήταν στο παρελθόν.

Συγκεκριμένες περιπτώσεις χρεοκοπίας μεγάλων εταιρειών στις ΗΠΑ όπως Procter and Gamble (1994), Orange County (1994), Barings (1995), αλλά και το σκάνδαλο της Enron το 2001, στοχοποίησαν τα παράγωγα και την αλόγιστη χρήση αυτών στην παγκόσμια οικονομία και υπέδειξαν την ελλιπή εφαρμογή της διαχείρισης κινδύνου την προηγούμενη δεκαετία. Το 2002 θεσπίστηκαν ρυθμιστικοί κανόνες για όλες τις επιχειρήσεις με ένα πλαίσιο νόμων που προτάθηκε από τους Paul Sarbanes και Michael G.Oxley και ονομάστηκαν ρυθμίσεις SOX (Sarbanes-Oxley regulations, SOX regulations). Παρότι το συγκεκριμένο πλαίσιο νόμων προέβλεπε αυστηρές ποινές για την αποφυγή σκανδάλων αντίστοιχων με τα προαναφερθέντα, δεν μπόρεσε να αποτρέψει την χρηματοπιστωτική κρίση που ανέκυψε στις ΗΠΑ το 2007, με πολλούς επικριτές του να αναφέρουν ότι η συγκεκριμένη κρίση δεν βασίζεται σε αδυναμίες του συγκεκριμένου νομικού πλαισίου, αλλά προήλθε κυρίως λόγω της ελλιπούς εφαρμογής και ενδυνάμωσής του.

Το 2013 έκανε την εμφάνιση του το νέο πλαίσιο ρυθμιστικών κανόνων της επιτροπής της Βασιλείας, η Βασιλεία III, η οποία έχει ισχύ ως το 2019. Ουσιαστικά τροποποίησε την Βασιλεία II η οποία συνέπεσε με την κρίση του 2007 δίνοντας έμφαση στον έλεγχο των κεφαλαίων, αφού περιλαμβάνει πληθώρα ασφαλιστικών δικλίδων και μέτρων με σκοπό τον περιορισμό του κινδύνου με τον οποίο έρχεται αντιμέτωπο κάθε χρηματοπιστωτικό ίδρυμα. (Reinhart, Rogoff, 2008)

Στη συνέχεια ακολουθεί ένας πίνακας που συνοψίζει τις ιστορικές εξελίξεις που αποτέλεσαν σημεία κλειδιά στην διαμόρφωση της διαχείρισης κινδύνων από τον 17^ο αιώνα μέχρι και σήμερα.

Πίνακας 3.3. Χρονολογική ανασκόπηση σημαντικών εξελίξεων στη Διαχείριση Κινδύνων.

1730	First futures contracts on the price of rice in Japan
1864	First future contracts on agricultural products at the Chicago Board of Trade
1900	L.Bachelier's thesis "Théorie de la Spéculation", Brownian motion
1932	First issue of the Journal of Risk and Insurance
1946	First issue of the Journal of Finance
1952	Publication of Markowitz's article "Portfolio Selection"
1961-1966	Treynor, Sharpe, Lintner and Mossin develop the CAPM
1963	Arrow introduces optimal insurance, moral hazard, and adverse selection
1972	Futures contracts on currencies at the Chicago-Merchantile Exchange
1973	Option valuation formulas by Black, Scholes and Merton
1974	Merton's default risk model
1977	Interest rate models by Vasicek and Cox, Ingersoll and Ross (1985)
1980-1990	Exotic option, swaptions and stock derivatives
1979-1982	First OTC contracts in the form of swaps: currency and interest rate swaps
1985	Creation of the Swap Dealers Association, which established the OTC exchange standards
1987	First risk management department in a bank (Merrill Lynch)
1988	Basel I
Late 1980s	Value at risk (VaR) and calculation of optimal capital
1992	Article by Heath, Jarrow and Morton on the forward rate curve
1992	Integrated Risk Management
1994	RiskMetrics
1994-1995	First bankruptcies associated with misuse(or speculation) of derivatives. Procter and Gamble(1994), Orange County(1994), Barings(1995)
1997	CreditMetrics
1997-1998	Asian and Russian crisis and LTCM collapse
2001	Enron bankruptcy
2002	New governance rules by Sarbanes-Oxley and NYSE
2004	Basel II
2007	Beginning of the financial crisis
2009	Solvency II
2010	Basel III

(Dionne, 2013)

3.6 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μια εισαγωγή στην ανάγκη των χρηματοπιστωτικών οργανισμών να μετρήσουν και να αποτιμήσουν τους κινδύνους με τους οποίους αλληλεπιδρούν με σκοπό την ορθότερη διαχείρισή τους. Περιγράφεται το πώς η τεχνολογική πρόοδος, η έλλειψη στιβαρού κανονιστικού πλαισίου, αλλά και η μεταβλητότητα των αγορών οδήγησαν στην αφερεγγυότητα όλο και περισσότερους συνδιαλεγόμενους και κατέληξαν τελικά σε μεγάλες χρηματοοικονομικές κρίσεις, όπως αυτή του 2007. Στη συνέχεια αναλύεται η προσπάθεια των εποπτικών αρχών, μέσω της Επιτροπής της Βασιλείας, να θέσουν κάποια όρια και κατευθύνσεις σε ότι αφορά την κεφαλαιακή επάρκεια των τραπεζών, αλλά και την φερεγγυότητα των χρηματοπιστωτικών οργανισμών, με την αναφορά στα τρία σύμφωνα της Βασιλείας (Βασιλεία I, II, III). Καταλήγοντας περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία διαχείρισης κινδύνων, με την θέσπιση στόχων, στρατηγικών, αλλά και την δημιουργία μοντέλων και εργαλείων που διευκολύνουν τη λειτουργία της παραπάνω διαδικασίας. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια ιστορική διαδρομή από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, μέχρι σήμερα. Παρουσιάζονται τα κυριότερα γεγονότα, που επηρέασαν είτε επέφεραν ριζικές αλλαγές στο παγκόσμιο οικονομικό γίγνεσθαι, και το πώς η διαδικασία διαχείρισης κινδύνων και οι διάφορες πτυχές της διαμορφώθηκαν για να καταλήξουν στην σημερινή τους μορφή.

4. ΑΞΙΑ ΣΕ ΚΙΝΔΥΝΟ – VaR

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται εξ ολοκλήρου στο εργαλείο διαχείρισης κινδύνων που θα μας απασχολήσει, την Αξία σε κίνδυνο (VaR). Αναφέρονται τα βασικά στοιχεία της VaR, ο ορισμός της, καθώς και οι παράμετροι που την χαρακτηρίζουν και απαιτείται να συμφωνηθούν πριν τη διαδικασία του υπολογισμού της. Στη συνέχεια, περιγράφονται τα διάφορα είδη της VaR που συναντάμε συνήθως στη διαχείριση χρηματοοικονομικών κινδύνων, καθώς και τα κύρια πεδία εφαρμογής των μοντέλων υπολογισμού της VaR σε ένα χρηματοπιστωτικό οργανισμό ή μια επιχείρηση. Έπειτα, γίνεται αναφορά τόσο στα πλεονεκτήματα, όσο και στα μειονεκτήματα της χρήσης της Αξίας σε κίνδυνο ως εργαλείο αποτίμησης κινδύνων, για να ακολουθήσει η αναλυτική περιγραφή της κατασκευής, αλλά και της διαδικασίας υπολογισμού των μοντέλων της VaR. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση τριών διεργασιών που, αλληλοσυμπληρώνονται και στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι απαραίτητες για την δημιουργία ενός αξιόπιστου μοντέλου υπολογισμού της VaR, και συγκεκριμένα πρόκειται για την ανάλυση σεναρίων, τον επανέλεγχο (BackTesting) και την ανάλυση ακραίων σεναρίων (StressTesting).

4.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ VaR

4.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ VaR

Ήδη από τα τελευταία χρόνια της δεκαετίας του 1980, με αφορμή το πλαίσιο της Βασιλείας, έγιναν οι πρώτες προσπάθειες ποσοτικοποίησης των κινδύνων, και ιδιαίτερα του κινδύνου αγοράς. Το 1994 η *J.P. Morgan* με την γνωστοποίηση της εφαρμογής *RiskMetrics* καθιέρωσε μια νέα μέθοδο εκτίμησης χρηματοοικονομικών κινδύνων, που χρησιμοποιούσε ως μέτρο κινδύνου την *αξία-σε-κίνδυνο* (*Value-at-Risk*) (Reuters, 1996). Η δημιουργία της VaR ήταν παράπλευρο αποτέλεσμα των απωλειών υψηλών κεφαλαίων, που αντιμετώπισαν μεγάλες τράπεζες και πολυεθνικές στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Η *J.P. Morgan* δημοσίευσε τα παραπάνω δεδομένα με στόχο να προωθήσει την διαφάνεια σε ό,τι αφορά τους κινδύνους αγοράς, με σκοπό την αποτελεσματικότερη διαχείρισή τους. Επίσης, σκοπός ήταν, η καθιέρωση ενός προτύπου αναφοράς σχετικά με τη διαχείριση των κινδύνων αγοράς, ώστε να διευκολυνθεί η μέτρηση και σύγκριση αυτών.

Το θεωρητικό υπόβαθρο των παραδοσιακών μεθόδων μέτρησης κινδύνου έχει επηρεαστεί από την θεωρία χαρτοφυλακίου «Markowitz», τη θεωρία διαχείρισης χρηματοοικονομικών κινδύνων και τις εξελίξεις στην αποτίμηση των παραγώγων χρηματοοικονομικών προϊόντων. Η αναλυτική τεκμηρίωση επιτεύχθηκε από τον Leavens το 1945. Με τη μέθοδο VaR μετράται, κάτω από κανονικές συνθήκες στην αγορά, η μέγιστη πιθανή ή αναμενόμενη ζημία και κατά συνέπεια η μείωση (ζημία) της αξίας ενός χαρτοφυλακίου ή η μείωση της αξίας (καθαρής θέσης) ενός χρηματοοικονομικού οργανισμού, για δεδομένο χρονικό ορίζοντα ή για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και εντός συγκεκριμένου διαστήματος στατιστικής εμπιστοσύνης (δηλαδή με προεπιλεγμένη πιθανότητα) (Αγγελόπουλος, 2010).

Παρακάτω παρουσιάζεται η εξίσωση που προσδιορίζει την έννοια της VaR, για συγκεκριμένη πιθανότητα α :

$$Pr(x < VaR) = \alpha\% \text{ ή } Pr(x > VaR) = (100 - \alpha\%)$$

Όπου Pr η πιθανότητα εμφάνισης ενδεχομένου, x η πραγματική απώλεια και α το διάστημα εμπιστοσύνης.

Η μέθοδος μετρά δηλαδή την ποσότητα του κεφαλαίου ενός χρηματοοικονομικού οργανισμού που μπορεί να χαθεί λόγω διακυμάνσεων του χαρτοφυλακίου του και έχει στόχο την μεγιστοποίηση της τρέχουσας αξίας του χαρτοφυλακίου μέσω ελέγχου της διακύμανσης των εισροών, ενώ γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε υπάρχει κίνδυνος, και συνεπώς και στη διαχείριση χαρτοφυλακίων με ιδιαίτερα σημαντικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, έστω η ημερήσια τιμή της VaR για ένα επενδυτικό χαρτοφυλάκιο είναι της τάξης του 1.000.000 ευρώ, με επίπεδο εμπιστοσύνης 99%. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια των επόμενων 100 ημερών θα υπάρξει το πολύ μια ημέρα όπου οι απώλειες θα ξεπεράσουν το 1.000.000 ευρώ. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίζεται ότι υπάρχει η πιθανότητα 1 στις 100 οι ημερήσιες ζημιές του χαρτοφυλακίου να ξεπερνούν το 1.000.000 ευρώ. Αξίζει εδώ να επισημανθεί ότι η VaR δεν δείχνει την μέγιστη δυνατή απώλεια, αλλά το επίπεδο των ζημιών το οποίο θα ξεπεραστεί κατά ένα ποσοστό του χρόνου. Πρακτικά δηλαδή η VaR υποδεικνύει, με τον ανάλογο βαθμό βεβαιότητας, πόσο δυσμενής μπορεί να είναι κάθε ενδεχόμενη απώλεια χρημάτων, με μεγάλο της πλεονέκτημα το ότι αυτό εκφράζεται με ένα απλό και κατανοητό προς όλους αριθμό. Συνοψίζει δηλαδή και μεταφράζει όλους τους περίπλοκους παράγοντες του κινδύνου αγοράς, ως αποτέλεσμα των οικονομικών μεταπτώσεών της, σε ένα μοναδικό νούμερο κατάλληλο για παρουσίαση στη διοίκηση και για αναφορές προς τις ρυθμιστικές αρχές (Linsmeier, Pearson, 1999). Η μεθοδολογία της VaR συμπληρώνεται από δύο επιπλέον διαδικασίες, το StressTesting και το BackTesting. Με την πρώτη διαδικασία ελέγχουμε τη συμπεριφορά του υπό εξέταση χαρτοφυλακίου κάτω από ακραία και δυσμενή μακροοικονομικά σενάρια, ενώ με την δεύτερη επαληθεύεται η ορθότητα της VaR η οποία υπολογίζεται. Η VaR μπορεί ακόμα να επεκταθεί στην μέτρηση του Πιστωτικού Κινδύνου, αλλά όχι και για την μέτρηση όλων των ειδών κινδύνου (π.χ Λειτουργικός, Ρευστότητας). Χωρίς αμφιβολία, τα παραπάνω εξηγούν το γιατί η VaR έχει γίνει ένα άκρως απαραίτητο εργαλείο των διοικούντων, αλλά και των απλών μετόχων κάθε χρηματοπιστωτικού ιδρύματος.

4.2.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ VaR

Με βάση τον ορισμό της VaR, πριν προχωρήσουμε στον ακριβή υπολογισμό της, πρέπει να γίνει μια σειρά υποθέσεων που αφορά τρεις βασικές παραμέτρους (Σταϊκούρας, 2005) :

- Το χρονικό ορίζοντα
- Το επίπεδο εμπιστοσύνης
- Το «παράθυρο δεδομένων»

Χρονικός Ορίζοντας

Η επιλογή του χρονικού ορίζοντα εξαρτάται από το είδος και τους στόχους της επενδυτικής θέσης/χαρτοφυλακίου, καθώς και τη ρευστότητα των τίτλων αυτής/του. Εξαρτάται πρακτικά από τη συχνότητα αναπροσαρμογών του χαρτοφυλακίου/θέσης. Συνήθως, η VaR υπολογίζεται για μια ημέρα, μια ή δύο εβδομάδες. Σε μεγάλες επενδυτικές εταιρείες και επιχειρήσεις συχνά επιλέγονται και μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Επίπεδο Εμπιστοσύνης

Το επίπεδο εμπιστοσύνης συνήθως λαμβάνει τιμές στατιστικής σημαντικότητας 90%, 95%, 98% και 99%. Καθορίζει το ποσοστό των περιπτώσεων κατά τις οποίες δεν θα έχουμε ζημιές πάνω από το ποσό που καταδεικνύει η VaR. Η επιλογή του διαστήματος εμπιστοσύνης είναι ενδεικτική της στάσης κάθε οργανισμού απέναντι στον κίνδυνο. Όσο μεγαλύτερο επίπεδο εμπιστοσύνης εκλέξουμε, τόσο ελαττώνεται η πιθανότητα η VaR να αποτύχει να προβλέψει ακραία φαινόμενα.

«Παράθυρο δεδομένων»

Το «παράθυρο δεδομένων» αφορά την χρονική περίοδο που καλύπτει το δείγμα των ιστορικών δεδομένων. Ο υπολογισμός της VaR αποτελεί σημαντική υπόθεση και απαιτεί αρκετό όγκο δεδομένων, ιστορικών ή πραγματικών. Η χρήση ιστορικών δεδομένων είναι περισσότερο δημοφιλής, καθώς τα πραγματικά στοιχεία, παρόλο που δίνουν σαφώς καλύτερες εκτιμήσεις, είναι περιορισμένα σε διαθεσιμότητα. Για την χρονική περίοδο που αφορά το δείγμα υπολογίζονται οι διακυμάνσεις και οι συνδιακυμάνσεις των αποδόσεων των επενδύσεων της θέσης ή του χαρτοφυλακίου που εξετάζεται. Η επιλογή του εύρους του παραθύρου δεδομένων ισορροπεί ανάμεσα σε δύο αντικρουόμενες απαιτήσεις. Αφενός, όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των παρατηρήσεων, τόσο ακριβέστερη αποβαίνει η εκτίμηση του κινδύνου, αφετέρου, η συμπεριφορά της χρονοσειράς δεδομένων αλλάζει με την πάροδο του χρόνου λόγω της στοχαστικής της φύσης. Είναι προφανές το πόσο σημαντικό θέμα αποτελεί ο όγκος των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Μεγάλες περίοδοι δεδομένων έχουν μια πιο πλούσια κατανομή αποδόσεων, ενώ μικρότερες επιτρέπουν στην VaR να απεικονίζει εντονότερα αλλαγές γεγονότων που συμβαίνουν στην αγορά.

Συνεπώς, το «παράθυρο δεδομένων» που βελτιστοποιεί την ακρίβεια της VaR, είναι εκείνο που περιλαμβάνει όλες τις παρατηρήσεις που έπονται του τελευταίου σημείου καμψής της χρονοσειράς της αξίας της επένδυσης. Για την επιλογή, δηλαδή, της κατάλληλης σειράς δεδομένων, χρησιμοποιούνται εκθετικής βαρύτητας δεδομένα δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση (weight) στα πιο πρόσφατα γεγονότα. Συνήθως χρονική διάρκεια ιστορικών δεδομένων, που επιλέγεται, είναι τα τρία με πέντε χρόνια.

Πέρα από τις τρεις βασικές παραμέτρους της VaR που αναφέρθηκαν, σημαντικό είναι και ο προσδιορισμός των παραγόντων κινδύνου. Η κατηγοριοποίηση των τίτλων και των αντίστοιχων κινδύνων τους θεωρείται απαραίτητη στη διαδικασία κατασκευής της VaR. Η κατηγοριοποίηση αυτή είναι γνωστή και ως *mapping* και η βασική ερώτηση αφορά το ποιες κατηγορίες χρηματοοικονομικών τίτλων χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής και ποιες όχι, και εξαρτάται από τους τύπους των τίτλων τους οποίους κάθε οργανισμός/επενδυτής διαπραγματεύεται (Minnich, 1998).

4.2.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ & ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ

Όπως έγινε κατανοητό, η επιλογή του χρονικού ορίζοντα καθώς και του επιπέδου εμπιστοσύνης της VaR εξαρτώνται (Jorion, 2007) από το σκοπό για τον οποίο αυτή προορίζεται να χρησιμοποιηθεί. Συγκεκριμένα, χρήση της VaR μπορεί να γίνει για σύγκριση των κινδύνων στους οποίους εκτίθεται ένας χρηματοοικονομικός οργανισμός στις διάφορες αγορές (*Benchmark Measure*), για τον υπολογισμό της χειρότερης ζημίας που μπορεί να υποστεί ένας οργανισμός (*Potential Loss Measure*), είτε για τον καθορισμό της κεφαλαιακής επάρκειας αυτού (*Equity Capital Measure*).

Στην πρώτη περίπτωση, η επιλογή του χρονικού ορίζοντα καθώς και του επιπέδου εμπιστοσύνης γίνεται αυθαίρετα. Η μόνη δέσμευση στην περίπτωση αυτή είναι η διατήρηση κοινών τιμών για τους δύο παράγοντες ώστε να είναι δυνατή η μεταξύ τους σύγκριση σε μία κοινή βάση.

Όσον αφορά τον υπολογισμό της μέγιστης ζημίας ενός οργανισμού, ο χρονικός ορίζοντας εξαρτάται άμεσα από την ικανότητα ρευστοποίησης του χαρτοφυλακίου. Οι τράπεζες υπολογίζουν την ημερήσια VaR του χαρτοφυλακίου τους καθώς σε αυτό συνήθως περιλαμβάνονται θέσεις, άμεσα ρευστοποιήσιμες, οι οποίες μεταβάλλονται συνεχώς καθημερινά. Αντίθετα για πιο «στιβαρά» χαρτοφυλάκια που ρευστοποιούνται δυσκολότερα, επιλέγεται σαφώς μεγαλύτερος χρονικός ορίζοντας. Το επίπεδο εμπιστοσύνης και στην περίπτωση αυτή επιλέγεται αυθαίρετα.

Τέλος, όταν η χρήση της VaR αφορά τον καθορισμό της κεφαλαιακής επάρκειας ενός οργανισμού, δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή και των δύο παραγόντων. Αφενός η επιλογή του επιπέδου εμπιστοσύνης πρέπει να συμβαδίζει με την στάση του οργανισμού απέναντι στον κίνδυνο, αλλά και το κόστος πιθανής ζημίας που θα υπερβεί το όριο της VaR. Όσο περισσότερο ο οργανισμός φοβάται τον κίνδυνο ή όσο μεγαλύτερο είναι το παραπάνω κόστος, τόσο μεγαλύτερο επίπεδο εμπιστοσύνης επιλέγεται για να προσδώσει περισσότερη ασφάλεια στον οργανισμό.

Ο χρονικός ορίζοντας επιλέγεται με βάση τον απαιτούμενο χρόνο ανάκαμψης του οργανισμού από τις παραπάνω ζημιές.

Η χρήση της μεθόδου VaR απαιτεί να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις, όπως η πλήρης θεωρητική και πρακτική τεκμηρίωση των μοντέλων πρόβλεψης, καθώς και η επαλήθευση των αποτελεσμάτων τους στο σύστημα λήψης αποφάσεων κάθε χρηματοοικονομικού ιδρύματος. Επίσης, αναγκαία είναι και η τεκμηρίωση της στατιστικής αμεροληψίας, η επάρκεια και η προβλεπτική ικανότητα των υποδειγμάτων. Για τους παραπάνω λόγους η μεθοδολογία της VaR συμπληρώνεται και αλληλεπιδρά με δύο επιπλέον διαδικασίες, το StressTesting και το BackTesting. Με το πρώτο ελέγχουμε την συμπεριφορά της υπό εξέταση θέσης κάτω από ακραία μακροοικονομικά σενάρια, ενώ με το δεύτερο επαληθεύουμε την ορθότητα της VaR.

4.3 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΗΣ VaR

Παρακάτω διακρίνονται μερικά είδη της VaR, και περιγραφή των μεγεθών που μετρώνται:

- Οριακή (*Marginal VaR*)

Η οριακή VaR μας δείχνει τον κίνδυνο που προσθέτει η αύξηση κατά μιας χρηματικής μονάδας μίας θέσης του χαρτοφυλακίου. Συγκεκριμένα, για ένα χαρτοφυλάκιο η οριακή VaR i τίτλου του είναι $\Delta VaR_i = \sigma_{ip} / \sigma_p$, που δείχνει κατά πόσο θα αλλάζει η VaR του χαρτοφυλακίου εάν αυξήσουμε την αξία ενός τίτλου κατά μία χρηματική μονάδα (Bo, 2001).

- I VaR (*Incremental VaR*)

Αυτό το είδος είναι συναφές με την οριακή VaR και πιο συγκεκριμένα μετρά το πόσο θα άλλαζε η VaR του χαρτοφυλακίου, εάν καταργούσαμε εντελώς μια θέση από το χαρτοφυλάκιο ή προσθέταμε μία άλλη σε αυτό. Έστω a , η νέα θέση που προσθέτουμε, τότε η I VaR είναι η διαφορά μεταξύ των δύο VaR, δηλαδή :

$$IVaR = VaR_{p+a} - VaR_p$$

- *Component VaR*

Η VaR αυτή χρησιμοποιείται για την σύγκριση σημείων (*pockets*) συγκέντρωσης κινδύνου, την επιμέρους κατηγοριοποίηση των κινδύνων μιας εταιρείας, όπως και την εύρεση θέσεων αντιστάθμισης για την μείωση αυτού (Hallerbach, 1999).

- *Dynamic VaR*

Πρόκειται για μια παραλλαγή της VaR, που λαμβάνει υπόψη της κάποιες προσυμφωνημένες στρατηγικές αντιστάθμισης.

Το είδος αυτό ενδείκνυται όταν έχουμε να κάνουμε με καθαρά κερδοσκοπική θέση με stop-loss εντολές, ώστε να προλαμβάνονται μεγάλες χρηματικές απώλειες (Wiener, 1997).

- *Beyond VaR (BVaR)*

Αυτό το είδος της VaR μας επιτρέπει να συνοψίσουμε σε ένα μοναδικό νούμερο τις ζημίες πέρα από αυτές που υποδεικνύει η απλή VaR. Από τεχνικής άποψης, ισοδυναμεί με το στατιστικό μέσο των απωλειών που ξεπερνούν την VaR. Από χρηματοοικονομικής άποψης, η BVaR μπορεί να βρει ανταπόκριση για διάφορους λόγους. Όπως έδειξαν οι Artzner et al (1999), πρόκειται για ένα συνεκτικό μέτρο κινδύνου. Συγκεκριμένα, ικανοποιεί την υποπροσθετική ιδιότητα που πρέπει να έχει ένα μέτρο κινδύνου, δηλαδή ο κίνδυνος μιας συνολικής θέσης να είναι μικρότερος από το άθροισμα των κινδύνων των διάφορων στοιχείων της θέσης αυτής. Επιπλέον, ενώ η VaR εξετάζει τον κίνδυνο αγοράς υπό κανονικές σχετικά συνθήκες αγοράς, στόχος της BVaR είναι να τον εξετάσει σε ακραίες. Το γεγονός αυτό την καθιστά αρκετά χρήσιμη στην περίπτωση που στο υπό εξέταση χαρτοφυλάκιο υπάρχουν χρηματοοικονομικοί τίτλοι που χαρακτηρίζονται από κατανομές παχιών ουρών (*fat tailed*) ή από δικαιώματα (*options*). Επίσης, ενσωματώνει τόσο τη συχνότητα όσο και το μέγεθος των ακραίων γεγονότων, ενώ η VaR επικεντρώνεται αποκλειστικά στην συχνότητά τους. Τέλος, η BVaR μπορεί να φανεί χρήσιμη και στις χρηματοοικονομικές ρυθμιστικές αρχές, καθώς με τις αλλαγές στη μέτρηση του κινδύνου αγοράς, τα χρηματοοικονομικά ιδρύματα μπορούν και υπολογίζουν τα απαιτούμενα κεφαλαιακά διαθέσιμα επιλέγοντας ελεύθερα τα μοντέλα μέτρησης που επιθυμούν. Έτσι, σε περίπτωση χρήσης της BVaR ως εργαλείο μέτρησης του κινδύνου αγοράς, θα λαμβάνουμε υπόψη τόσο τη συχνότητα όσο και το μέγεθος των ακραίων γεγονότων (Longin, 2001).

- *Conditional Autoregressive VaR (CAViaR)*

Η CAViaR προτάθηκε από τους Engle και Manganelli το 1999 και επικεντρώνεται στη συμπεριφορά του τεταρτημορίου και όχι σε ολόκληρη την κατανομή των αποδόσεων. Έτσι, δημιούργησαν έναν συγκεκριμένο τύπο αυτοσυσχετιζόμενης (*autoregressive*) διαδικασίας για τον προσδιορισμό της εξέλιξης του τεταρτημορίου μέσα στον χρόνο. Μια γενική μορφή της CAViaR είναι η εξής :

$$VaR_t = f(x_t, \beta_\theta) = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i VaR_{t-i} + l(\beta_{p+1}, \dots, \beta_{p+q}, \Omega_{t-1})$$

Όπου το Ω_{t-1} είναι η διαθέσιμη πληροφορία στο χρόνο t (Engle, Manganelli, 2004).

- *Conditional VaR (CVaR)*

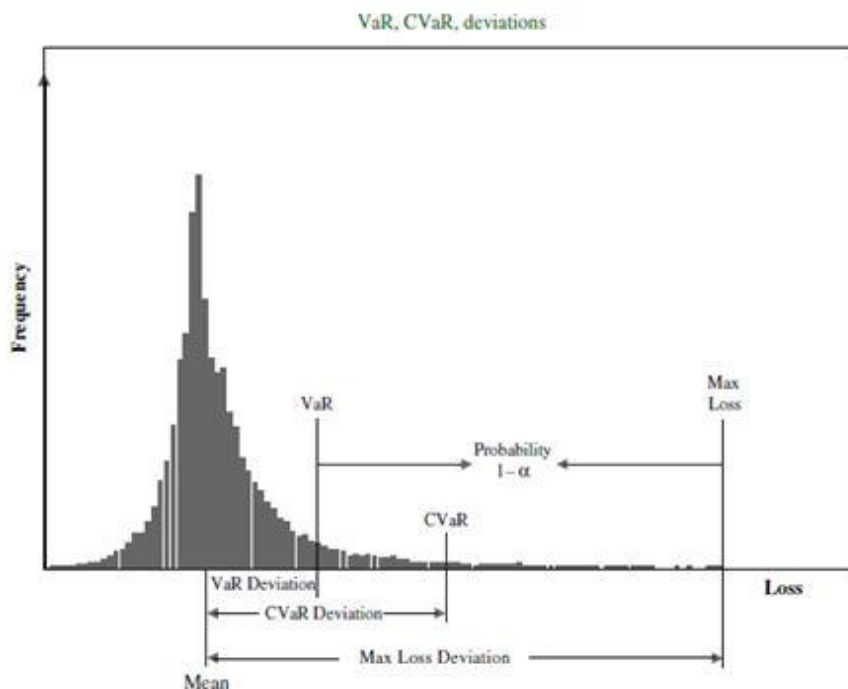
Η δεσμευμένη VaR πρόκειται για μια εναλλακτική της VaR και ορίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος της VaR και της $CVaR^+$:

$$CVaR = \lambda \cdot VaR + (1 - \lambda) \cdot CVaR^+, 0 \leq \lambda \leq 1$$

Συγκεκριμένα :

- $CVaR^+$ (“άνω CVaR”) : δίνει τις αναμενόμενες ζημίες/απώλειες που ξεπερνούν αυστηρά τη VaR (γνωστή και ως Mean Excess Loss ή Expected Shortfall).
- $CVaR^-$ (“κάτω CVaR”) : δίνει τις αναμενόμενες ζημίες/απώλειες που ξεπερνούν ελαφρώς τη VaR ή που είναι ίσες με αυτήν (γνωστή και ως Tail VaR).

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι VaR, CVaR για την καλύτερη κατανόησή τους.



Σχήμα 4.1. Σύγκριση VaR-CVaR (Jorion, 2003).

Η CVaR αποτελεί ένα πιο συνεπές (consistent) και συνεκτικό (coherent) μέτρο κινδύνου, καθώς είναι υποπροσθετική (subadditive) και κυρτή (convex) σε αντίθεση με τη VaR. Σε γενικές κατανομές (όπως η διακριτή), παρουσιάζει πιο ελκυστικά χαρακτηριστικά από την κλασσική VaR και παρόλο που δεν έχει ιδιαίτερη απήχηση στο χρηματοοικονομικό τομέα, κερδίζει έδαφος στον ασφαλιστικό.

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα που παρουσιάζει είναι ότι μπορεί να βελτιστοποιηθεί με γραμμικό προγραμματισμό και «nonsmooth» αλγορίθμους εξομάλυνσης, γεγονός που επιτρέπει τη διαχείριση χαρτοφυλακίων με πολυάριθμους τίτλους και επενδυτικές θέσεις.

Επίσης, μαθηματικά πειράματα έδειξαν ότι συνήθως η ελαχιστοποίηση της CVaR οδηγεί σε βέλτιστες λύσεις σε όρους VaR, καθώς πάντοτε είναι μεγαλύτερη ή ίση από αυτήν. Στην περίπτωση κανονικής κατανομής των αποδόσεων, οι VaR και CVaR επιστρέφουν το ίδιο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο (Krokhmal, Palmquist and Uryasev, 2001)(Uryasev, 2000).

- *Bayesian VaR (BVaR)*

Οι Albanese et al (1997) εισήγαγαν την Bayesian VaR με σκοπό να παρατηρήσουν fat tailed κατανομές και μεταβολές διακυμάνσεων σε ένα πολυμεταβλητό επίπεδο (Ausin, Galeano and Gosh, 2014).

- *Ex VaR (Extended VaR)*

Το συγκεκριμένο μοντέλο VaR προτάθηκε από τους Oda και Muranaga (1997). Σε αντίθεση με την κλασσική VaR που ασχολείται αποκλειστικά με τον κίνδυνο αγοράς, η Ex VaR έχει ευρύτερη εφαρμογή, καθώς ενσωματώνει την εκτίμηση τόσο του κινδύνου αγοράς όσο και του πιστωτικού κινδύνου. Επιπλέον, δε βασίζεται στην αβεβαιότητα της μελλοντικής αξίας του χαρτοφυλακίου όπως η VaR, αλλά στην αβεβαιότητα των χρηματοροών που θα προκύψουν από αυτό όπως π.χ : επιτόκιο, κόστη συναλλαγών κ.α (Oda, Muranaga, 1997).

4.4 ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ VaR

Η VaR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τουλάχιστον πέντε σκοπούς (Σταϊκούρας, 2005) οι οποίοι παρατίθενται στη συνέχεια:

- I. Πληροφόρηση της διοίκησης (*management information*) μιας εταιρείας σχετικά με την έκθεση σε χρηματοοικονομικούς κινδύνους των διαπραγματευτών αυτής. Σύγκριση ιδίων κεφαλαίων της εταιρείας με τις εκθέσεις των χαρτοφυλακίων από την διοίκηση.
- II. Εφαρμογή ορίων (*setting limits*) στην διαπραγμάτευση αξιόγραφων από τους διαπραγματευτές, για κάθε περιοχή διαπραγμάτευσης, ανάλογα με τον κίνδυνο.
- III. Κατανομή των κεφαλαίων (*resource allocation*) του οργανισμού στις διάφορες υποψήφιες επενδυτικές επιλογές. Η διοίκηση συγκρίνει τις αποδόσεις με τους κινδύνους της αγοράς για τις διάφορες θέσεις του χαρτοφυλακίου της, ούτως ώστε να αναγνωρίσει τις περιοχές με την υψηλότερη δυνητική απόδοση ανά μονάδα κινδύνου, περιοχές όπου ο οργανισμός θα διοχετεύσει περισσότερο κεφάλαιο (*tradeoff between risk/return*).
- IV. Αξιολόγηση της απόδοσης (*performance evaluation*). Η διοίκηση εξετάζει το δείκτη «απόδοση προς κίνδυνο» του εκάστοτε διαπραγματευτή, με αποτέλεσμα να δημιουργεί ένα δικαιότερο και πιο λογικό σύστημα επιβραβεύσεων (*bonus*) προς τους εργαζομένους. Οι διαπραγματευτές με τις υψηλότερες αποδόσεις συχνά είναι αυτοί που αναλαμβάνουν και τον μεγαλύτερο κίνδυνο. Δεν είναι ευκρινές το αν θα έπρεπε να πάρουν και τις υψηλότερες πρόσθετες οικονομικές απολαβές σε σχέση με τους διαπραγματευτές με χαμηλότερες αποδόσεις, οι οποίοι αναλαμβάνουν και μικρότερους κινδύνους.
- V. Ρύθμιση (*regulation*) του διεθνούς χρηματοπιστωτικού συστήματος μέσω της οριοθέτησης των κανόνων κεφαλαιακής επάρκειας από την Επιτροπή της Βασιλείας (*Bank of international Settlements – Basle Committee*)

Όπως γίνεται αντιληπτό ο χρηματοπιστωτικός τομέας αποτελεί το κύριο επίπεδο εφαρμογής των τεχνικών της VaR για την εκτίμηση του κινδύνου αγοράς. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια και ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, επιχειρείται από μεγάλες επιχειρήσεις και συνταξιοδοτικά ταμεία μια «μεταμόσχευση» της προσέγγισης VaR και στον επιχειρηματικό και εξωτραπεζικό επενδυτικό τομέα. Με δεδομένη την επιτυχία της στον τραπεζικό χώρο, πολλά υψηλόβαθμα στελέχη εταιρειών είτε διαχειριστές μεγάλων κεφαλαίων ευελπιστούν στη χρήση της VaR ως εργαλείο ικανοποίησης των επιθυμιών των διοικήσεών τους για την συνεχή παρακολούθηση και ποσοτικοποίηση των κινδύνων και των επικείμενων απαιτήσεων των ρυθμιστικών αρχών. Η τάση υιοθέτησης των πρακτικών της «αξίας σε κίνδυνο» ενισχύθηκε ιδιαίτερα και από την πρωτοβουλία της SEC, η οποία αναφέρθηκε και στο 3^ο κεφάλαιο, να προτείνει την VaR ως μια από τις τρεις μεθόδους δημοσιοποίησης των ποσοτικών στοιχείων των εταιρειών σε σχέση με παράγωγα προϊόντα.

Ωστόσο, η επιθυμία των διευθυντών επιχειρήσεων να ενσωματώσουν τις τεχνικές της VaR στις διαδικασίες διαχείρισης των κινδύνων που αυτές αντιμετωπίζουν προσκρούει στην ανεπάρκεια της VaR να υπολογίζει τον εσωτερικό κίνδυνο των παραγώγων που χρησιμοποιούνται ως τμήμα μιας επιχειρηματικής στρατηγικής αντιστάθμισης (Καινούργιος, 2002).

4.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ VaR

Η μέθοδος της VaR χρησιμοποιείται ευρύτατα τα τελευταία χρόνια από εμπορικές και επενδυτικές τράπεζες, ασφαλιστικές εταιρείες και λοιπούς χρηματοοικονομικούς οργανισμούς, οι οποίοι κατέχουν χαρτοφυλάκια περιουσιακών στοιχείων που περιλαμβάνουν μετοχές, ομόλογα, νομίσματα και παράγωγα προϊόντα. Προσφέρει σε καθένα από τα παραπάνω ιδρύματα μια ένδειξη σχετικά με τις μέγιστες αναμενόμενες ζημιές του χαρτοφυλακίου τους, για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Βοηθά έτσι τους διαχειριστές των χαρτοφυλακίων αυτών να αποφασίσουν πως θα ανακατανεύμουν τα ποσοστά συμμετοχής των περιουσιακών στοιχείων στα χαρτοφυλάκια τους, με σκοπό την επίτευξη ενός επιθυμητού επιπέδου κινδύνου.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η VaR είναι τα ακόλουθα :

- *Διαχείριση πληροφόρησης.* Οι πληροφορίες που παρέχει η συγκεκριμένη προσέγγιση χαρακτηρίζονται από απλότητα και σαφήνεια και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις ρυθμιστικές αρχές, τους διευθυντές εταιρειών και ιδρυμάτων, καθώς και από εσωτερικούς και εξωτερικούς ελεγκτές.
Η απλή και εύκολη κατανόηση του αριθμού της VaR έγινε γρήγορα αναντικατάστατο εργαλείο για την παρουσίαση του αναλαμβανόμενου κινδύνου αγοράς και εν συνεχεία τη ρύθμιση αυτού. Για παράδειγμα, έστω ότι η VaR ενός οργανισμού δείχνει ενδεχόμενες απώλειες, οι οποίες για την επόμενη εβδομάδα θα υπερβαίνουν τα 20.000.000 ευρώ, με πιθανότητα 5%. Εάν η διοίκηση εκτιμάει ότι η πιθανή αυτή απώλεια είναι ιδιαίτερα μεγάλη, ο οργανισμός προβαίνει σε αναπροσαρμογή ή κάλυψη (*hedging*) του συνολικού χαρτοφυλακίου, ώστε να μειωθεί η τιμή της συνολικής VaR (Woods, Dowd and Humphrey, 2008).
- *Καθορισμός ορίων διαπραγματεύσεως.* Οι τράπεζες μπορούν να καθορίσουν όρια στους διαπραγματευτές συναλλάγματος και χρεογράφων σε όρους της VaR, επιπρόσθετα στο σύστημα οριοθέτησης των θέσεων (*Position Limit System*) που ισχύει παραδοσιακά. Επιπλέον, με τη χρήση της VaR είναι δυνατή η σύγκριση θέσεων σε διαφορετικές αγορές ή προϊόντα σε καθημερινή, μηνιαία ή ετήσια βάση.
- *Ανίχνευση της σχέσης κινδύνου-απόδοσης* ενός χαρτοφυλακίου με βάση ένα δείκτη αναφοράς (*benchmark index*). Υπολογίζοντας τη VaR ενός δείκτη από τα συστατικά του μέρη, είναι δυνατή η σύγκρισή του με τη VaR ενός οποιουδήποτε χαρτοφυλακίου επενδύσεων.

- *Κατανομή πόρων.* Με βάση την πληροφόρηση που παρέχει η προσέγγιση της VaR, οι επενδυτές και οι διαχειριστές κινδύνων είναι σε θέση να λάβουν καλύτερες αποφάσεις σχετικά με τη στρατηγική επένδυσης ή διαχείρισης που ακολουθούν, επιτυγχάνοντας τη βέλτιστη απόδοση για τα χαρτοφυλάκιά τους.
- *Εναρμόνιση* με τις αποφάσεις των ρυθμιστικών αρχών. Τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και οι επιχειρήσεις θα πρέπει να εναρμονίσουν τις πρακτικές τους με τις απαιτήσεις κεφαλαιακής επάρκειας και τη δημοσιοποίηση των κινδύνων που λαμβάνουν, όπως ορίζουν οι διάφορες ρυθμιστικές αρχές. Η VaR, με την ανάλυση και την ποσοτική πληροφόρηση που παρέχει σχετικά με τους κινδύνους αγοράς των χρηματοοικονομικών εργαλείων, αποτελεί σημαντικό βοήθημα προς την κατεύθυνση αυτή (Καινούργιος, 2002).

Ωστόσο, η μεθοδολογία της VaR χαρακτηρίζεται και από κάποια μειονεκτήματα ή αδυναμίες και η ακατάλληλη χρήση της μπορεί να οδηγήσει ένα χρηματοπιστωτικό ίδρυμα σε αναποτελεσματικές αποφάσεις διαχείρισης κινδύνου. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε λόγω λανθασμένου υπολογισμού της VaR είτε γιατί, ενώ έχει υπολογιστεί σωστά, δεν σχετίζεται με τους πραγματικούς στόχους του πιστωτικού ιδρύματος σχετικά με τη διαχείριση κινδύνου (Beder, 1995)(Culp, Miller and Neves, 1998).

Ορισμένες από τις βασικές αδυναμίες της VaR:

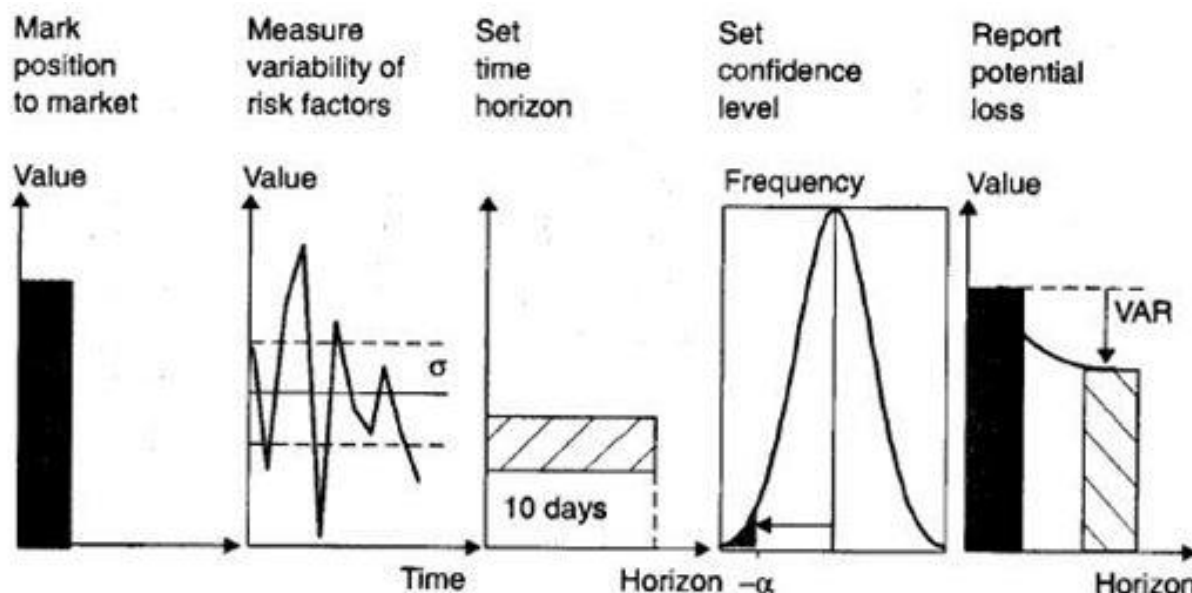
- Υπάρχουν κάποια ερωτηματικά σχετικά με το ποια είναι η καταλληλότερη μέθοδος για την εκτίμηση της διακύμανσης της απόδοσης μιας μετοχής ή ενός χαρτοφυλακίου περιουσιακών στοιχείων. Μια πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι αυτή της σταθερής μεταβλητότητας (*constant volatility method*) (Hsieh, 1993). Ωστόσο, το πρόβλημα με τη μέθοδο αυτή είναι ότι οι εμπειρικές έρευνες έχουν δείξει μια αστάθεια της διακύμανσης από ημέρα σε ημέρα και μια μεταβολή της κατά τη διάρκεια του χρόνου. Η μεταβολή της διακύμανσης από ημέρα σε ημέρα (*time-varying volatility*) σημαίνει ότι και οι αποδόσεις των περιουσιακών στοιχείων σε ένα χαρτοφυλάκιο επίσης μεταβάλλονται. Η λύση στο πρόβλημα αυτό δόθηκε από την έρευνα του οικονομολόγου Tim Bollerslev (1986;1990), ο οποίος γενίκευσε την έρευνα του Robert Engle (1982). Η τεχνική της μεταβαλλόμενης στο χρόνο διακύμανσης του Bollerslev, η οποία ονομάστηκε μέθοδος GARCH, επιτρέπει την εκτίμηση της διακύμανσης των σημερινών αποδόσεων, χρησιμοποιώντας την εκτίμηση της διακύμανσης της χθεσινής ημέρας και το τετράγωνο της αξίας των χθεσινών αποδόσεων.
- Υπάρχει περίπτωση η μεθοδολογία της VaR να προσφέρει υποεκτιμημένα αποτελέσματα, εάν οι αποδόσεις ενός περιουσιακού στοιχείου ή ενός χαρτοφυλακίου ξαφνικά μεταβληθούν κατά μη προβλέψιμο τρόπο, λόγω μιας δομικής αλλαγής της υποκείμενης οικονομίας μιας χώρας.

- Η VaR υπολογίζει τη μέγιστη ζημία, που μπορεί να αναμένει ένας οργανισμός μια δεδομένη χρονική περίοδο, κατά τη διάρκεια ενός προκαθορισμένου χρονικού ορίζοντα. Οι ζημίες υπολογίζονται υποθέτοντας ότι τα περιουσιακά στοιχεία μπορούν να πωληθούν στις τρέχουσες αγοραίες τιμές. Ωστόσο, αν η επιχείρηση έχει στην κατοχή της σε μεγάλο βαθμό μη ρευστοποιήσιμα στοιχεία, τα οποία δεν μεταπωλούνται γρήγορα, η VaR μπορεί να υποεκτιμήσει τις πραγματικές ζημίες, αφού τα στοιχεία ίσως να πωληθούν με έκπτωση.
- Ένα ακόμα δυνητικό πρόβλημα της VaR είναι ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των περιουσιακών στοιχείων σε ένα χαρτοφυλάκιο ίσως δεν μεταχειρίζονται με κατάλληλο τρόπο τον πιστωτικό κίνδυνο. Αυτό μπορεί να συμβεί σε ένα χαρτοφυλάκιο παραγώγων, όπου τόσο η μεθοδολογία των Black-Scholes (1973) για τον υπολογισμό των παραγόντων κινδύνου, όσο και η προσομοίωση Monte Carlo υποθέτουν την ανυπαρξία πιστωτικού κινδύνου των παραγώγων. Σε μερικές περιπτώσεις, ο πιστωτικό κίνδυνος ίσως είναι μικρός οπότε καλώς αγνοείται, ωστόσο σε γενικούς όρους οι χρήστες χρειάζεται να συμπεριλαμβάνουν και την ανάλυση τους πιστωτικού κινδύνου στις μεθοδολογίες υπολογισμού της VaR.
- Τέλος, η κυριότερη αρνητική κριτική για τη VaR είναι ότι η κατανομή των αποδόσεων, σε πολλές περιπτώσεις, δεν είναι κανονική. Παρατηρείται, μάλιστα, ότι οι αποδόσεις δεικτών, μετοχών και συναλλάγματος εμφανίζουν παχιές ουρές (*fat tails*), ενώ η κατανομή των παραγώγων προϊόντων, όπως τα δικαιώματα προαίρεσης (*options*), καθώς και των δανείων παρουσιάζει μεγάλη ασυμμετρία. Αυτό σημαίνει ότι μεγάλες διακυμάνσεις στην αγορά συμβαίνουν πολύ συχνότερα απ'ότι προβλέπει η κανονική κατανομή.

4.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ VaR

Ο υπολογισμός της VaR μπορεί να γίνει με τη χρήση διαφόρων μεθόδων, τις οποίες θα αναλύσουμε διεξοδικά στο Κεφάλαιο 5, καθώς σε κάθε μια διαφοροποιούνται κάποια βήματα, όπως και η σειρά με την οποία αυτά εκτελούνται. Ορισμένες όμως διαδικασίες είναι κοινές σε όλες τις μεθόδους υπολογισμού της VaR για μια θέση ή χαρτοφυλάκιο. Συγκεκριμένα:

- Αποτίμηση της αγοραίας αξίας τους χαρτοφυλακίου
- Υπολογισμός της διακύμανσης των παραγόντων κινδύνου (μεταβλητότητα των τιμών του χαρτοφυλακίου)
- Καθορισμός του χρονικού ορίζοντα υπολογισμού της VaR
- Ρύθμιση του επιπέδου εμπιστοσύνης της VaR
- Υπολογισμός VaR με αναφορά της μέγιστης ζημίας με επεξεργασία όλων των παραπάνω πληροφοριών



Σχήμα 4.2. Κατασκευή VaR (Jorion, 2007)

Ας υποθέσουμε σαν παράδειγμα ένα χαρτοφυλάκιο X αξίας 1.000.000 ευρώ. Εάν η κατανομή των παρατηρήσεων είναι κανονική, η VaR, για χρονικό διάστημα 10 ημερών, με 99% διάστημα εμπιστοσύνης και υποτιθέμενη μεταβλητότητα των τιμών του της τάξης του 15% ($\sigma = 15\%$) υπολογίζεται, σύμφωνα με τα παραπάνω, ως εξής :

$$VaR = X \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{T}{252}} \cdot q = 1 \cdot 15\% \cdot \sqrt{\frac{10}{252}} \cdot 2,33 = 69,622 \text{ χιλ. ευρώ}$$

Όπου το 252 στον παρονομαστή της ρίζας είναι συνήθως οι ετήσιες ημέρες διαπραγμάτευσης και όχι οι ημερολογιακές ενός έτους, ενώ το $q = 2,33$ προκύπτει από την κανονική κατανομή για $\alpha = 99\%$. Το παραπάνω αποτέλεσμα για την VaR συμβολίζει ότι για τις επόμενες 10 ημέρες, υπάρχει πιθανότητα 1% οι ζημιές να υπερβούν τα 69.622 ευρώ.

Στην πιο γενική μορφή, μπορούμε να μην κάνουμε υπόθεση για την μορφή της κατανομής των τιμών του χαρτοφυλακίου. Έστω W_0 η αρχική επένδυση και R ο ρυθμός απόδοσης, ο οποίος είναι τυχαίος. Υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει ενδιάμεση διαπραγμάτευση η αξία του χαρτοφυλακίου στο τέλος τους επιλεχθέντος χρονικού ορίζοντα είναι $W = W_0 \cdot (1 + R)$. Η αναμενόμενη απόδοση και μεταβλητότητα του R ορίζονται ως μ και σ . Ορίζουμε τώρα την χαμηλότερη τιμή της αξίας του χαρτοφυλακίου, με δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης c ως $W^* = W_0 \cdot (1 + R^*)$. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η VaR μετράει την χειρότερη δυνατή απώλεια σε δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης οπότε εκφράζεται με έναν θετικό αριθμό, είτε σε σχέση με τη μέση τιμή, είτε σε σχέση με την αρχική αξία του χαρτοφυλακίου.

$$VaR_{mean} = E(W) - W^* = -W_0 \cdot (R^* - \mu)$$

$$VaR_{zero} = W_0 - W^* = -W_0 \cdot R^*$$

Πιο γενικά, ο υπολογισμός της VaR προκύπτει μέσω της συνάρτησης κατανομής πιθανότητας της μελλοντικής αξίας του χαρτοφυλακίου $f(W)$. Για δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης c , η χειρότερη πιθανή πραγματοποίηση W^* , η οποία ισοδυναμεί με την τιμή της VaR δίνεται :

$$c = \int_{W^*}^{\infty} f(w)dw$$

ή :

$$1 - c = \int_{-\infty}^{W^*} f(w)dw = P(w \leq W^*) = p$$

Με άλλα λόγια, η περιοχή από $-\infty$ ως το W^* πρέπει να αθροίζει έτσι ώστε $p = 1 - c$ (π.χ 1%). Το W^* ονομάζεται ποσοστημόριο (*quantile*) της κατανομής και εκφράζει την οριακή αξία, η οποία αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη πιθανότητα. Ο παραπάνω ορισμός της VaR είναι έγκυρος για κάθε τύπο κατανομής, συνεχή ή ασυνεχή, με λεπτές ή παχιές ουρές (Jorion, 2007).

4.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ-ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ-ΑΚΡΑΙΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Η διαδικασία υπολογισμού και ποσοτικοποίησης του κινδύνου με την χρήση της VaR, συνοδεύεται από συγκεκριμένες διεργασίες οι οποίες συμβάλλουν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων, στην επικύρωση των αποτελεσμάτων των μοντέλων μέτρησης της VaR και στον καθορισμό των ορίων, εντός των οποίων, τα μοντέλα αυτά λειτουργούν αποδοτικά. Συγκεκριμένα, ένα ολοκληρωμένο μοντέλο μέτρησης της VaR συνοδεύεται συνήθως από την ανάλυση σεναρίου, τον επανέλεγχο των αποτελεσμάτων (BackTesting) και τον υπολογισμό ακραίων σεναρίων με την μέθοδο του StressTesting.

4.7.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Η ανάλυση σεναρίου εξετάζει μια υποθετική μεταβολή της παρούσας κατάστασης, υπολογίζει τις συνέπειες που θα προκύψουν για το τραπεζικό ίδρυμα και διακρίνεται σε τέσσερα στάδια. Το πρώτο στάδιο αναφέρεται στην επιλογή του κατάλληλου σεναρίου και πρέπει να βασίζεται σε δύο αρχές, την πλήρη γνώση όλων των χαρακτηριστικών του χαρτοφυλακίου και την κατανόηση των εξελίξεων στις χρηματοοικονομικές αγορές. Στο δεύτερο στάδιο γίνεται η καταγραφή και η ποσοτική ανάλυση όλων των κινδύνων, που επηρεάζονται από το κατάλληλο σενάριο. Το τρίτο στάδιο είναι το πιο σημαντικό, αφού γίνονται προβλέψεις σε κάθε πεδίο χωριστά και ελέγχεται η ικανότητα πρόγνωσης. Τέλος, στο τέταρτο στάδιο ενοποιούνται οι επιμέρους προγνώσεις για κάθε πεδίο σε ένα συνεπές ολοκληρωμένο σενάριο.

Το σενάριο ελέγχεται για προβλήματα εσωτερικής συνέπειας, διπλών υπολογισμών ή αντιφατικών υποθέσεων.

Τέλος, σύμφωνα με τους *Mulvey et al 1997*, μαζί με τα πιθανά σενάρια θα πρέπει να συμπεριληφθούν τα γεγονότα εκείνα που συμβάλλουν στη βέλτιστη αξία της αναμενόμενης συνάρτησης χρησιμότητας (*Mulvey, Shetty and Rosenbaum, 1997*). Η ανάλυση σεναρίου είναι μία τεχνική η οποία αποτελείται από δύο διαφορετικά μοντέλα, τα ιστορικά και τα υποθετικά σενάρια. Τα ιστορικά σενάρια λαμβάνουν υπόψη τους τις διαταραχές που εμφανίστηκαν σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Ένας απλός τρόπος για να πραγματοποιηθεί αυτό το σενάριο είναι η επιλογή των ημερών στο παρελθόν οι οποίες παρουσίασαν ιδιαίτερη διακύμανση. Οι ημέρες αυτές δύναται να χρησιμοποιηθούν για την παρατήρηση των αλλαγών που πραγματοποιούνται στους παράγοντες του κινδύνου της αγοράς τις συγκεκριμένες ημέρες. Τα υποθετικά σενάρια από την άλλη, θεωρούν ότι οι διαταραχές είναι προβλέψιμες, αλλά ταυτόχρονα απίθανο να συμβούν σε γεγονότα και καταστάσεις, οι οποίες δεν έχουν δημιουργηθεί ξανά στο παρελθόν. Οι ειδικοί χρησιμοποιούν την ιστορική εμπειρία σε αυτά τα σενάρια για τις υποθέσεις που κάνουν.

4.7.2 ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ - BACKTESTING

Τα μοντέλα υπολογισμού της VaR είναι χρήσιμα υπό την προϋπόθεση ότι προβλέπουν το μέγεθος των ενδεχόμενων ζημιών με επαρκώς μεγάλο βαθμό επιτυχίας. Για τον λόγο αυτό, η εφαρμογή των συγκεκριμένων μοντέλων πρέπει να συνοδεύεται από μια διαδικασία επικύρωσης. Η βασική τεχνική, που χρησιμοποιείται για την επικύρωση των μοντέλων μέτρησης της VaR, είναι η διαδικασία του *Back-Testing*. Το *Back-Testing* είναι ένα στατιστικό μεθοδολογικό πλαίσιο, το οποίο επικυρώνει ότι οι πραγματικές ζημιές, που παρατηρούνται, βρίσκονται εντός των ορίων που καθορίζει η εκτιμώμενη VaR. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει συστηματική σύγκριση των ιστορικών εκτιμήσεων της VaR με τις αντίστοιχες ζημιές που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια του ίδιου χρονικού διαστήματος (*J.P.Morgan, 1999*). Η διαδικασία του *Back-Testing* είναι απαραίτητη για την ορθή διαχείριση του χρηματοοικονομικού κινδύνου, καθώς παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου του πραγματικού επιπέδου εμπιστοσύνης της εκτιμώμενης VaR.

Σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι η εκτιμώμενη VaR δεν χαρακτηρίζεται από το επίπεδο εμπιστοσύνης, το οποίο έχει οριστεί, το μοντέλο υπολογισμού της VaR θα πρέπει να επανεξετάζεται για το ενδεχόμενο εσφαλμένων υποθέσεων, λανθασμένων παραμέτρων ή ανακριβούς μοντελοποίησης.

Η Επιτροπή της Βασιλείας δίνει μεγάλη βαρύτητα στην τεχνική του *Back-Testing* θεσπίζοντας ποινές για τα ιδρύματα στα οποία τα μοντέλα υπολογισμού της VaR υποεκτιμούν τον κίνδυνο αγοράς. Για το λόγο αυτό, τα ιδρύματα διενεργούν την διαδικασία του *Back-Testing* κάθε μήνα ή κάθε τρεις μήνες, ώστε να διαπιστώσουν αν η αξιοπιστία των μοντέλων μέτρησης της VaR που χρησιμοποιούν βρίσκεται εντός των ορίων που έχουν προκαθοριστεί.

Υλοποίηση Back-Test

Η τεχνική του Back-Testing υλοποιείται με δύο απλούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος γίνεται με τη χρήση ενός διαγράμματος όπου καταγράφονται τα καθημερινά κέρδη ή ζημιές μαζί με την εκτιμώμενη ημερήσια VaR, και έτσι παρακολουθούνται οι υπερβάσεις (*excessions*) των κερδών ή ζημιών στο συγκεκριμένο διάστημα εμπιστοσύνης. Σύμφωνα με την BIS (*Bank of International Settlements*), οι διεθνείς ρυθμιστικές αρχές πρέπει να χρησιμοποιούν το πλήθος των υπερβάσεων κατά τους τελευταίους δώδεκα μήνες (250 ημέρες διαπραγματεύσεως) ως βάση για την άσκηση επίβλεψης στους χρηματοπιστωτικούς οργανισμούς, με την δέσμευση ότι το πλήθος των υπερβάσεων θα πρέπει να βρίσκεται εντός του αριθμού που καθορίζεται από το επίπεδο εμπιστοσύνης της VaR. Εάν, για παράδειγμα, γίνεται χρήση μιας 95% ημερήσιας VaR θα πρέπει να παρατηρηθούν περίπου $(5\% \cdot 250) \cong 12$ υπερβάσεις των ζημιών που καθορίζει η VaR. Αυτός ο τρόπος υλοποίησης είναι κατάλληλος για περιπτώσεις που ο χρονικός ορίζοντας υπολογισμού της VaR ισούται με μια ημέρα.

Ο δεύτερος τρόπος υλοποίησης του Back-Testing είναι η σύγκριση της εκτιμώμενης VaR με υποθετικές τιμές για τα κέρδη/ζημιές (*Hypothetical P/L*) οι οποίες προκύπτουν θεωρώντας ότι οι θέσεις του χαρτοφυλακίου παραμένουν σταθερές για διάρκεια ίση με το χρονικό ορίζοντα υπολογισμού της VaR και επανεκτιμώνται στη λήξη του. Όπως γίνεται αντιληπτό, αυτός ο δεύτερος τρόπος είναι κατάλληλος για περιπτώσεις που χρησιμοποιείται χρονικός ορίζοντας υπολογισμού της VaR μεγαλύτερος της μιας ημέρας.

Ανάλυση αποτελεσμάτων Back-Test

Μετά την εξαγωγή αποτελεσμάτων του Back-Testing ακολουθεί η μέτρηση του ποσοστού των υπερβάσεων των ζημιών που καθορίζει η VaR. Αν αυτό το ποσοστό είναι σημαντικά μικρότερο από τον αριθμό $1-c$, όπου c το επίπεδο εμπιστοσύνης της VaR, τότε το μοντέλο υπολογισμού της VaR είναι πολύ συντηρητικό. Στην αντίθετη περίπτωση το μοντέλο υπολογισμού της VaR υποεκτιμά τη VaR. Οι περιπτώσεις αυτές είναι ανεπιθύμητες γιατί οδηγούν σε λανθασμένη εκτίμηση και αντίληψη του κινδύνου (J.P.Morgan, 1999). Σημαντικό σημείο που θα πρέπει επίσης να ελεγχθεί είναι το ενδεχόμενο ύπαρξης συγκεντρωμένων υπερβάσεων (*clustered excessions*).

Οι υπερβάσεις πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανομημένες σε όλη τη διαδικασία του Back-Testing, αντίθετα παρουσιάζεται υψηλή αυτοσυσχέτιση ανάμεσά τους. Οι έντονες συγκεντρώσεις είναι ανεπιθύμητες και οδηγούν σε επαναπροσδιορισμό του μοντέλου υπολογισμού της VaR. Επίσης, θα πρέπει να ελέγχεται και το μέγεθος των υπερβάσεων, καθώς όσο αυτό αυξάνεται, τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα ύπαρξης περιστασιακών κινδύνων, οι οποίοι μπορούν να εκτιμηθούν με τη βοήθεια διεξοδικών Stress-Tests.

Κανόνες Εποπτείας Επιτροπής Βασιλείας

Η επιτροπή της Βασιλείας εποπτεύει τους χρηματοπιστωτικούς οργανισμούς καταγράφοντας τις υπερβάσεις της 99% της ημερήσιας VaR κατά τη διάρκεια ενός έτους (250 ημέρες συναλλαγών). Ένα ιδανικό μοντέλο μέτρησης θα οδηγούσε σε 2,5 υπερβάσεις μέσα στο χρονικό διάστημα αυτό, αλλά η Επιτροπή της Βασιλείας αποδέχεται ως όριο μέχρι και τις 4 υπερβάσεις. Στον παρακάτω πίνακα διακρίνουμε τις ζώνες στις οποίες κατατάσσονται τα διάφορα συστήματα υπολογισμού της VaR, με βάση τις υπερβάσεις που δίνουν ως αποτέλεσμα.

Πίνακας 4.1. Κατάταξη συστημάτων υπολογισμού της VaR βάσει υπερβάσεων.

ΖΩΝΗ	#Υπερβάσεων	Πολ/στής k	Πιθανότητα για $q^*=0,99$
Πράσινη	0	3	0,0811
	1	3	0,2858
	2	3	0,5432
	3	3	0,7581
	4	3	0,8922
Κίτρινη	5	3,4	0,9588
	6	3,5	0,9863
	7	3,65	0,9960
	8	3,75	0,9989
	9	3,85	0,9997
Κόκκινη	10+	4	0,9999

(Basel Committee, 1996).

Αν ένα χρηματοπιστωτικό ίδρυμα αξιολογηθεί στην κόκκινη ζώνη, τότε τίθεται σε έλεγχο το κεφάλαιο ασφαλείας που διατηρεί για την αντιμετώπιση του κινδύνου αγοράς, και ερευνάται ο λόγος που οδήγησε σε τόσο μεγάλο αριθμό υπερβάσεων. Εντός της κίτρινης ζώνης, η επιτήρηση εξαρτάται από την απόφαση που θα λάβει η εποπτεύουσα αρχή σχετικά με τον λόγο που οδήγησε στον αυξημένο αριθμό υπερβάσεων. Αν αυτός οφείλεται σε περιστασιακά γεγονότα της αγοράς και όχι λόγω εσφαλμένης μοντελοποίησης, τότε η επιτήρηση δεν είναι υποχρεωτική.

Επικύρωση Μοντέλων Υπολογισμού της VaR

Η απλούστερη μέθοδος επικύρωσης ή απόρριψης του εκάστοτε μοντέλου υπολογισμού της VaR είναι η καταγραφή του ποσοστού υπερβάσεων της VaR για ένα δεδομένο δείγμα παρατηρήσεων (Jorion, 2003). Αν υποθέσουμε ότι ένας χρηματοπιστωτικός οργανισμός χρησιμοποιεί την 99% ημερήσια VaR και ορίσουμε ως X τον αριθμό των υπερβάσεων και ως T το πλήθος των παρατηρήσεων, τότε, καθώς το T θα αυξάνεται, το ποσοστό X/T των υπερβάσεων πρέπει να συγκλίνει στο $p = 1 - c = 1\%$.

Το πλήθος X των υπερβάσεων ακολουθεί τη διωνυμική κατανομή με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας τη συνάρτηση $f(x)$ για την οποία ισχύει:

$$f(x) = \binom{T}{x} \cdot p^x \cdot (1-p)^{T-x}$$

Η μέση τιμή και η διακύμανση της τυχαίας μεταβλητής X είναι $E(X) = p \cdot T$ και $V(X) = p \cdot (1-p) \cdot T$ αντίστοιχα. Όταν το T είναι πολύ μεγάλο ($p \cdot T \geq 5$), τότε, με τη βοήθεια του Κεντρικού Οριακού Θεωρήματος, η διωνυμική κατανομή μπορεί να προσεγγιστεί μέσω της κανονικής κατανομής ως:

$$Z = \left(\frac{X - p \cdot T}{\sqrt{p \cdot (1-p) \cdot T}} \right) \sim N(0,1)$$

Εάν το μοντέλο υπολογισμού της VaR είναι ορθά διατυπωμένο, τότε, για $p = 1\%$ και $T=250$, η πιθανότητα απόρριψης του μοντέλου είναι $\Pr(X > 4) = 10,8\%$. Το ενδεχόμενο αυτό ονομάζεται σφάλμα τύπου 1 («type 1» error). Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται αναλυτικά οι πιθανότητες $\Pr(X = k)$ εμφάνισης k υπερβάσεων, καθώς και οι σωρευτικές πιθανότητες $\Pr(X \leq k)$:

Πίνακας 4.2. Πιθανότητες εμφάνισης διαφόρων υπερβάσεων σε ένα σωστό μοντέλο μέτρησης της VaR.

Υπερβάσεις	Πιθανότητα (%)	Σωρευτική Πιθανότητα (%)
0	8.1	8.1
1	20.5	28.6
2	25.7	54.3
3	21.5	75.8
4	13.4	89.2
5	6.7	95.9
6	2.7	98.6
7	1.0	99.6
8	0.3	99.9
9	0.1	99.98
10	0.01	99.99

Αν το μοντέλο υπολογισμού της VaR περιέχει σφάλματα και το πραγματικό επίπεδο εμπιστοσύνης είναι 97% αντί 99%, που σημαίνει $p = 3\%$, τότε για $T = 250$, η πιθανότητα αποδοχής του μοντέλου είναι $\Pr(X \leq 4) = 12,8\%$. Το ενδεχόμενο αυτό ονομάζεται σφάλμα τύπου 2 («type 2» error). Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται αναλυτικά οι πιθανότητες $\Pr(X = k)$ εμφάνισης k υπερβάσεων, καθώς και οι σωρευτικές πιθανότητες $\Pr(X < k)$.

Πίνακας 4.3. Πιθανότητες εμφάνισης διαφόρων υπερβάσεων σε ένα λανθασμένο μοντέλο μέτρησης της VaR.

Υπερβάσεις	Πιθανότητα (%)	Σωρευτική Πιθανότητα (%)
0	0.0	0.0
1	0.4	0.0
2	1.5	0.4
3	3.8	1.9
4	7.2	5.7
5	10.9	12.8
6	13.8	23.7
7	14.9	37.5
8	14.0	52.4
9	11.6	66.3
10	8.6	77.9
11	5.8	86.6

Μια πιο σύνθετη μέθοδος επικύρωσης ή απόρριψης του εκάστοτε μοντέλου υπολογισμού της VaR είναι ο έλεγχος της υπόθεσης ότι $p_{real} = p$. Η υπόθεση αυτή ισχύει με πιθανότητα $\gamma = 1 - \alpha$, όταν το πλήθος των υπερβάσεων βρίσκεται εντός του παρακάτω διαστήματος:

$$p \cdot T - \sqrt{(1-p) \cdot p \cdot T \cdot \chi^2_{1,\alpha/2}} < X < p \cdot T + \sqrt{(1-p) \cdot p \cdot T \cdot \chi^2_{1,(1-\alpha/2)}}$$

Σημ. $\lim_{T \rightarrow +\infty} (X/T)$.

Στον παρακάτω πίνακα (Jorion, 2007) φαίνονται τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης, για διάφορες τιμές του επιπέδου εμπιστοσύνης c της VaR και του πλήθους T των παρατηρήσεων, εντός των οποίων, εάν βρεθεί το πλήθος των υπερβάσεων, τότε δεν πρέπει να απορριφθεί το μοντέλο μέτρησης της VaR.

Πίνακας 4.4. 95% διαστήματα εμπιστοσύνης των υπερβάσεων για την αποδοχή του μοντέλου μέτρησης της VaR.

C	p	$\gamma = 95 \%$ T=255 μέρες	$\gamma = 95 \%$ T=510 μέρες	$\gamma = 95 \%$ T=1000 μέρες
		N<7	1<N<11	4<N<17
99%	1%	N<7	1<N<11	4<N<17
97.5%	2.5%	2<N<12	6<N<21	15<N<36
95%	5%	6<N<21	16<N<36	37<N<65
92.5%	7.5%	11<N<28	27<N<51	59<N<92
90%	10%	16<N<36	38<N<65	81<N<120

(Jorion, 2007)

Αν εκφράσουμε τα παραπάνω διαστήματα σε ποσοστά, τότε παρατηρείται περιορισμός του εύρους των διαστημάτων καθώς η τιμή του T αυξάνεται. Για παράδειγμα, όταν $c = 95\%$ για $T = 255$ προκύπτει το διάστημα $[6/255=0.024, 21/255=0.082]$, ενώ για $T = 100$ προκύπτει το διάστημα $[37/1000=0.037, 65/1000=0.065]$. Το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι, καθώς αυξάνεται το μέγεθος του δείγματος, είναι πιο εύκολο να αποφασιστεί αν θα απορριφθεί ή όχι το μοντέλο μέτρησης της VaR.

Έλεγχος Kupiec

Ο συγκεκριμένος έλεγχος γίνεται χρησιμοποιώντας το λόγο πιθανοφάνειας (log-likelihood ratio), που αναπτύχθηκε από τον Kupiec το 1995 και αναφέρεται στον έλεγχο κάλυψης χωρίς όρους (Unconditional Coverage Testing). Πρακτικά, ο έλεγχος Kupiec (Kupiec, 1995) χρησιμοποιείται για να εξετάσουμε εάν ο αριθμός των υπερβάσεων της VaR που παρατηρήθηκε είναι υπερβολικά μεγάλος, σε στατιστικούς όρους, σε σχέση με τα πρότυπα που θέτει η επιτροπή της Βασιλείας. Ο έλεγχος αναπτύχθηκε από τον Kupiec για περίπου 95% επίπεδο εμπιστοσύνης. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η επιλογή της περιοχής εμπιστοσύνης στην οποία εφαρμόζεται ο έλεγχος δεν σχετίζεται με το ποσοτικό επίπεδο εμπιστοσύνης που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της VaR. Για παράδειγμα, μπορούμε έχοντας υπολογίσει την ημερήσια VaR μιας μετοχής για 90% επίπεδο εμπιστοσύνης να εφαρμόσουμε τον έλεγχο Kupiec στα αποτελέσματά μας με περιοχή εμπιστοσύνης 95%. Ο ορισμός του επιπέδου εμπιστοσύνης στον έλεγχο Kupiec αναφέρεται αποκλειστικά στον κανόνα αποδοχής ή απόρριψης του υπό εξέταση μοντέλου, και όχι στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων της VaR.

Η εφαρμογή του ελέγχου γίνεται με τη βοήθεια του λόγου πιθανοφάνειας :

$$LR_{uc} = -2\ln\left(\frac{(1-p)^{T-x} \cdot p^x}{[1-\frac{x}{T}]^{T-x} \cdot (\frac{x}{T})^x}\right)$$

Όπου x ο αριθμός των καταγεγραμμένων υπερβάσεων, T ο αριθμός των παρατηρήσεων και p το επιλεγθέν επίπεδο εμπιστοσύνης.

Η περιοχή εμπιστοσύνης ακολουθεί ασυμπτωτικά την χ^2 κατανομή (Chi-Square distribution), με ένα βαθμό ελευθερίας κάτω από την μηδενική υπόθεση ότι η p είναι πραγματική πιθανότητα.

Ο έλεγχος πραγματοποιείται με σύγκριση του λόγου πιθανοφάνειας με την επιλεγθείσα κρίσιμη τιμή της χ^2 , ώστε να αποφανθούμε αν το υπό εξέταση μοντέλο γίνεται αποδεκτό ή απορρίπτεται.

Ο έλεγχος Kupiec είναι (Holton, 2014) από τις πρώτους μεθόδους backtesting που δημοσιεύθηκαν, για τον λόγο αυτό άλλωστε μνημονεύεται και πολύ, με την θεωρία στατιστικών αποφάσεων να έχει δείξει πως ο συγκεκριμένος έλεγχος είναι ο πιο ισχυρός σε σχέση με όλους τους ελέγχους της κλάσης τους.

4.7.3 ΑΚΡΑΙΑ ΣΕΝΑΡΙΑ - STRESSTESTING

Το *Stress Testing* ορίζεται η διαδικασία ταυτοποίησης και διαχείρισης καταστάσεων, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ασυνήθιστα μεγάλες ζημιές. Στο *Stress Testing* οι παράγοντες κινδύνου υφίστανται σχετικά μεγάλες μεταβολές και γίνεται χρήση μη γραμμικών μοντέλων για τον υπολογισμό της αξίας του χαρτοφυλακίου που προκύπτει ως αποτέλεσμα (J.P. Morgan, 1999). Ο βασικός σκοπός της VaR αφορά την ποσοτικοποίηση των εν δυνάμει ζημιών που είναι δυνατόν να συμβούν κάτω από κανονικές συνθήκες αγοράς. Παρότι αυξάνοντας το επίπεδο εμπιστοσύνης της VaR είναι δυνατόν να προβλέψουμε το μέγεθος μεγάλων ζημιών, η εξάρτηση της VaR από τα πρόσφατα ιστορικά δεδομένα δεν επιτρέπει την ταυτοποίηση ασυνήθιστα ακραίων και δυσμενών καταστάσεων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε υπέρογκες ζημιές. Για τον παραπάνω λόγο η μεθοδολογία της VaR πρέπει να συμπληρώνεται από τακτική υλοποίηση της διαδικασίας του *Stress Testing*.

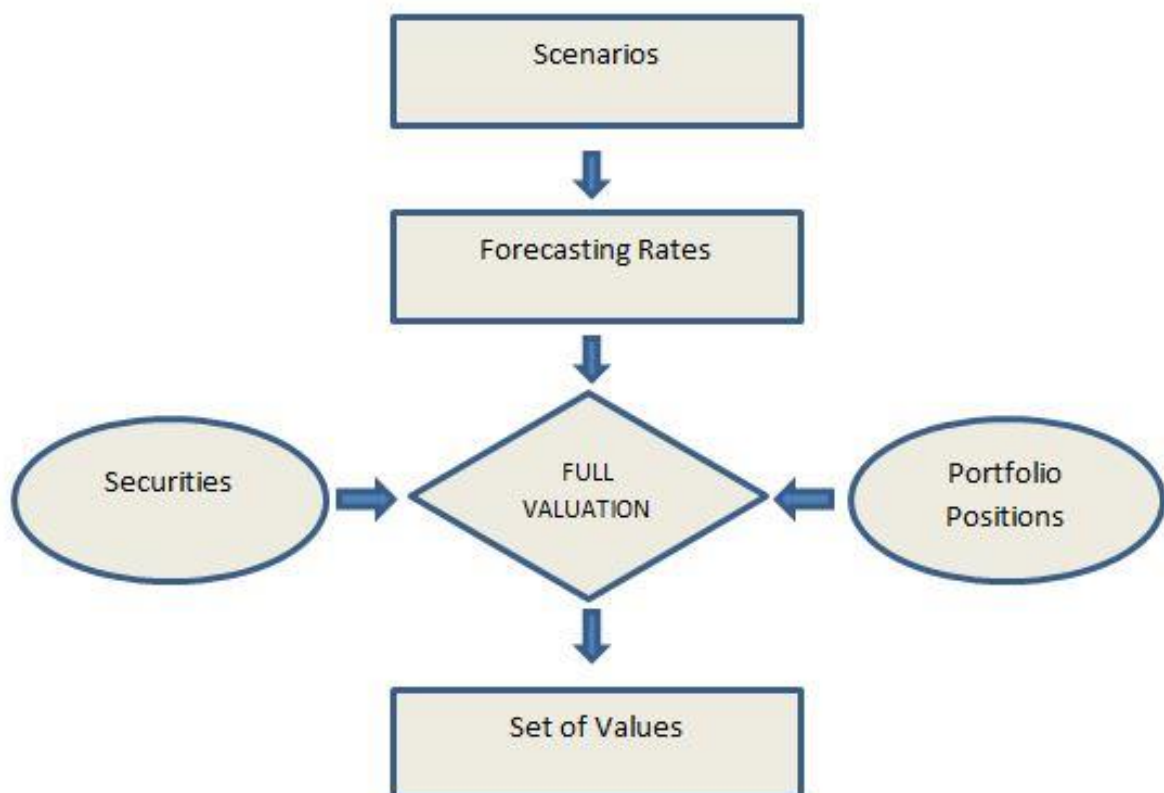
Η μέθοδος του Stress Testing αποσκοπεί στη διερεύνηση των επιπτώσεων που μπορεί να έχει η μεταβολή συγκεκριμένων παραγόντων στην αξία του χαρτοφυλακίου τίτλων ενός χρηματοοικονομικού οργανισμού και ασχολείται με τις συνέπειες τέτοιων ακραίων σεναρίων. Θα πρέπει, σε πρώτη φάση, να εντοπίζονται οι παράγοντες κινδύνου στους οποίους εμφανίζει ευαισθησία το χαρτοφυλάκιο, και ακολούθως να εφαρμόζονται ισχυρές μεταβολές στις τιμές των παραγόντων αυτών, ώστε να μελετάται η αντίδραση της αξίας του χαρτοφυλακίου. Συνήθως, οι μεταβολές στους παράγοντες κινδύνου είναι τυποποιημένες, ώστε να γίνονται άμεσα αντιληπτές από το σύνολο της ιεραρχίας ενός οργανισμού. Για παράδειγμα, υλοποιώντας ένα Stress Test, ο δείκτης του χρηματιστηρίου θα μπορούσε να μεταβληθεί κατά +10%, +20%, -10% είτε -20%. Σημαντικό είναι επίσης να γίνεται ομαδοποίηση των παραγόντων κινδύνου, ώστε να είναι προκαθορισμένοι οι παράγοντες που θα μεταβληθούν ταυτόχρονα και να διευκολύνεται η ανάλυση. Αυτή η διαδικασία ομαδοποίησης των παραγόντων κινδύνου ονομάζεται *blocking*. Σε περίπτωση εμφάνισης αδυναμιών ενός χαρτοφυλακίου επιβάλλεται η άμεση λήψη διορθωτικών ενεργειών.

Μια λύση αποτελεί η διακράτηση επαρκούς κεφαλαίου, ώστε να καλυφθούν οι εν δυνάμει υπέρογκες ζημιές όμως, όταν το κεφάλαιο ασφαλείας που πρέπει να τηρηθεί είναι απαγορευτικά μεγάλο, η παραπάνω λύση δεν είναι εφικτή.

Μια προσιτή λύση είναι η αντικατάσταση των θέσεων του χαρτοφυλακίου με άλλες που διακρίνονται από μικρότερους κινδύνους. Σε κάθε περίπτωση, ο στόχος είναι η διασφάλιση της σταθερότητας του ιδρύματος σε οποιαδήποτε ενδεχόμενη μελλοντική κρίση.

Βήματα Κατασκευής του Stress-Test

Ο χρονικός ορίζοντας εντός του οποίου θα μελετηθεί ένα ακραίο σενάριο είναι πολύ σημαντικός και πρέπει να αποφασιστεί πριν την υλοποίηση ενός Stress Test. Ο χρονικός ορίζοντας εξαρτάται από την ικανότητα ρευστοποίησης και τη μεταβλητότητα της αξίας των επενδύσεων που συνθέτουν το χαρτοφυλάκιο. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής υλοποίησης του Stress Test (Jorion, 2003).



Σχήμα 4.3. Διάγραμμα ροής υλοποίησης του Stress Test (Jorion, 2003).

Το Stress Test υλοποιείται σε 6 βασικά βήματα :

1. Καθορισμός του πλήρους συνόλου των παραγόντων κινδύνου που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την αξία του χαρτοφυλακίου.
2. Επιλογή των παραγόντων κινδύνου που πρέπει να ομαδοποιηθούν ή να μεταβληθούν ανεξάρτητα.
3. Απόφαση για το μέγεθος της μεταβολής που θα υποστεί ο κάθε παράγοντας κινδύνου. Συνήθως, οι μεταβολές είναι από τέσσερις ως έξι φορές μεγαλύτερες από την τυπική απόκλιση της τιμής του κάθε παράγοντα για χρονικό διάστημα ίσο με τον ορίζοντα του *Stress Test*.
4. Εφαρμογή των διαταραχών στις τιμές των παραγόντων κινδύνου.
5. Υπολογισμός της αξίας του χαρτοφυλακίου που προκύπτει. Επειδή οι μεταβολές στις τιμές των παραγόντων κινδύνου είναι μεγάλες, επιβάλλεται η χρήση μη γραμμικών μοντέλων για τον υπολογισμό της αξίας του χαρτοφυλακίου.
6. Καταγραφή των ζημιών που προκύπτουν.

Διασφάλιση εγκυρότητας του Stress-Test

Το *Stress Test* έχει στόχο την ανάδειξη των αδυναμιών του χαρτοφυλακίου και την αποσαφήνιση των κινδύνων. Ένα έγκυρο και συνεπώς επιτυχημένο *Stress Test* θα πρέπει να:

- Προσαρμόζεται στις ιδιαιτερότητες του χαρτοφυλακίου.
- Λαμβάνει υπόψη του όλους τους παράγοντες κινδύνου που μεταβάλλονται ταυτόχρονα.
- Εξετάζει πιθανές αλλαγές σε καθιερωμένες καταστάσεις.
- Αποτελεί εφαλτήριο για προβληματισμό και διάλογο μεταξύ των στελεχών του οργανισμού.
- Λαμβάνει υπόψη την έλλειψη ρευστότητας σε περιπτώσεις έντονων κρίσεων.
- Λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση κινδύνου αγοράς και πιστωτικού κινδύνου.

Ένα ορθά διατυπωμένο ακραίο σενάριο πρέπει να δοκιμάζει τη συμπεριφορά του χαρτοφυλακίου σε ακραίες καταστάσεις και να στοχεύει στον εντοπισμό των ιδιαίτερων αδυναμιών του. Τα χαρτοφυλάκια που συγκεντρώνονται σε λίγες επενδύσεις μπορεί να υποστούν σημαντικές ζημίες από σχετικά μικρές μεταβολές σε ορισμένους δείκτες αγοράς. Για το λόγο αυτό, ένα *Stress Test* που προσομοιώνει μεταβολές σε γενικούς δείκτες υπάρχει περίπτωση να μην αναδείξει τις ιδιαίτερες αδυναμίες του χαρτοφυλακίου. Πολύ σημαντική είναι ακόμα η επιλογή του συνόλου των παραγόντων κινδύνου, που θα αλλάξουν ταυτόχρονα. Ένα ακραίο σενάριο απομονωμένο από το ευρύτερο περιβάλλον δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα γιατί δεν λαμβάνει υπόψη την συσχέτιση (μικρή ή μεγάλη) μεταξύ των παραγόντων κινδύνου. Ένα επιτυχημένο *Stress Test* δεν αποτρέπει την πραγματοποίηση ενός δυσμενούς σεναρίου, αλλά προετοιμάζει το τραπεζικό ίδρυμα που αναλαμβάνει τον κίνδυνο, για μια τέτοια περίπτωση και δίνει την ευκαιρία στη διοίκηση να πάρει προληπτικά μέτρα.

Δημιουργία Ακραίων Σεναρίων

Υπάρχουν τέσσερις τεχνικές δημιουργίας ακραίων σεναρίων :

- Χρήση ακραίων σεναρίων που έχουν εμφανιστεί στο παρελθόν και σχετίζονται με το υπό εξέταση χαρτοφυλάκιο. Η εφαρμογή ιστορικών σεναρίων είναι καλύτερο να υλοποιείται σε χρονικά διαστήματα που η μεταβλητότητα στις παγκόσμιες αγορές είναι ίδια με αυτήν που είχε καταγραφεί όταν συνέβησαν τα αντίστοιχα γεγονότα. Στην περίπτωση που η μεταβλητότητα στις αγορές είναι αυξημένη, τα σενάρια πρέπει να γίνονται πιο ακραία.
- Εφαρμογή ακραίων διαταραχών σε μεμονωμένους παράγοντες κινδύνου ή στις συσχετίσεις που υφίστανται μεταξύ τους. Αυτή η μέθοδος βοηθά στον υπολογισμό της ευαισθησίας του χαρτοφυλακίου σε κάθε παράγοντα κινδύνου ξεχωριστά. Το λεπτό σημείο στην υλοποίηση αυτής της μεθόδου είναι η επιλογή των παραγόντων κινδύνου που θα μεταβληθούν και το μέγεθος αυτών των μεταβολών. Η επιλογή εξαρτάται κυρίως από τις μεταβολές που έχουν παρατηρηθεί στην αγορά κατά το παρελθόν, την εμπειρία του στελέχους που υλοποιεί το Stress Test και την φύση του χαρτοφυλακίου. Ένας άλλος τρόπος υλοποίησης του Stress Test με αυτή την τεχνική είναι ο υπολογισμός της αξίας του χαρτοφυλακίου για ένα επιλεγμένο εύρος μεταβολών του εκάστοτε παράγοντα κινδύνου και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε γραφική παράσταση. Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετούνται τα κέρδη/ζημίες και στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζονται οι μεταβολές του παράγοντα κινδύνου, όπως δείκτες μετοχών, επιτόκια, αξίες πολύτιμων μετάλλων και δείκτες συναλλάγματος. Οι γραφικές παραστάσεις είναι πολύ χρήσιμες για την κατανόηση της συμπεριφοράς χαρτοφυλακίων που αποτελούνται από θέσεις οι οποίες αποτιμώνται με μη γραμμικό τρόπο, όπως, για παράδειγμα, τα δικαιώματα προαίρεσης (options). Ένας τελευταίος τρόπος υλοποίησης του Stress Test με εφαρμογή διαταραχών είναι να εφαρμοστούν διαταραχές στις τυπικές αποκλίσεις ή στους συντελεστές συσχέτισης των παραγόντων κινδύνου. Αυτή η τεχνική θέλει ιδιαίτερη προσοχή διότι μπορεί να δημιουργηθούν λανθασμένα σενάρια όταν δύο παράγοντες κινδύνου έχουν πάντοτε αντίθετες τιμές (συντελεστής συσχέτισης -1), καθώς ένας τρίτος παράγοντας κινδύνου δεν θα μπορεί να έχει ταυτόχρονα θετικό συντελεστή συσχέτισης με καθέναν από τους δύο πρώτους.
- Η τρίτη τεχνική αφορά την εφαρμογή διαταραχών σε ομάδες συσχετισμένων παραγόντων κινδύνου, με στόχο την προσομοίωση πιθανών μελλοντικών σεναρίων που μπορεί να εμφανιστούν στην αγορά. Για την υλοποίηση ενός τέτοιου σεναρίου προαπαιτούνται τρία βήματα :
 - ο Καθορισμός του βασικού γεγονότος που αντιπροσωπεύει μια πιθανή μελλοντική κρίση.
 - ο Καθορισμός της πιθανότερης έκτασης που μπορεί να έχει ένα τέτοιο γεγονός, δηλαδή εκτίμηση για την πιθανότερη σφοδρότητα που θα μπορούσε να έχει.

- ο Προσδιορισμός του συνόλου των παραγόντων κινδύνου που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αυτό το δριμύ γεγονός. Αυτό το στάδιο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την εγκυρότητα και την επιτυχία του *Stress Test*, διότι επιβάλλεται οι ταυτόχρονες μεταβολές στις οποίες θα υποβληθούν οι παράγοντες κινδύνου να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.
- Η τέταρτη τεχνική αφορά την δημιουργία σεναρίων με εξειδίκευση στις αδυναμίες του εκάστοτε χαρτοφυλακίου. Ένας τρόπος διάγνωσης των αδυναμιών του χαρτοφυλακίου είναι με χρήση της προσομοίωσης *Monte Carlo* ή της ιστορικής προσομοίωσης και την διερεύνηση όλων των σεναρίων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ζημίες που θα υπερβαίνουν ένα ορισμένο όριο. Στην τεχνική αυτή υπολογίζεται πρώτα το μέγεθος της ζημίας και στη συνέχεια το ακραίο σενάριο που θα την προκαλέσει, αντίθετα με τις τρεις πρώτες τεχνικές.

Προβλήματα του Stress Testing

Το πιο σημαντικό καθώς και προφανές μειονέκτημα του *Stress Testing* είναι η πλήρης εξάρτησή του από το επιλεγόμενο σενάριο και, συνεπώς, από την κριτική ικανότητα και την εμπειρία του στελέχους που υλοποιεί το *Stress Test*. Το παραπάνω πρόβλημα είναι πολύ σημαντικό καθώς τα γεγονότα από τα οποία επιθυμεί να προστατευθεί ένας οργανισμός, είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Έχει αποδειχθεί ότι η επιλογή του κατάλληλου σεναρίου είναι καθοριστικής σημασίας σε ότι αφορά την βιωσιμότητα ενός οργανισμού. Ειδικότερα, σε περιπτώσεις εξέτασης περίπλοκων χαρτοφυλακίων, είναι δύσκολο να ταυτοποιηθούν οι παράγοντες κινδύνου, των οποίων οι μεταβολές εξετάζονται, καθώς και να αποφασιστεί το μέγεθος των μεταβολών που θα εφαρμοστεί σε κάθε παράγοντα κινδύνου ξεχωριστά. Τέλος, σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η δυσκολία προσδιορισμού των παραγόντων κινδύνου που μεταβάλλονται ταυτόχρονα (Jorion, 2007). Στην συγκεκριμένη διαδικασία δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω σημεία:

Η επιλογή της μεταβολής πολλών παραγόντων ταυτόχρονα ενέχει τον κίνδυνο αποπροσανατολισμού και δημιουργίας πολύπλοκων σεναρίων. Η καλύτερη λύση είναι η επιλογή ενός συνόλου, το οποίο θα περιλαμβάνει μερικούς επιπλέον κινδύνους που θα έχουν προφανή συσχέτιση με τους βασικούς κινδύνους.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων κινδύνου είναι επίσης σημαντική. Η πρόχειρη επιλογή των τιμών των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των παραγόντων κινδύνου μπορεί να οδηγήσει σε σενάρια που, πρακτικά, είναι αδύνατο να συμβούν.

Θα πρέπει να γίνεται έλεγχος για το ενδεχόμενο να δημιουργείται σενάριο μη μηδενικού «arbitrage» από το συνδυασμό μεταβολών που έχουμε επιλέξει. Αν διαπιστωθεί ότι όντως δημιουργείται τέτοιο σενάριο, τότε πρέπει να γίνει αναπροσαρμογή των μεταβολών, ώστε να επιτευχθεί ένα σενάριο με μηδενικό «arbitrage».

4.8 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Το κεφάλαιο 4 επικεντρώθηκε στην επισκόπηση και την ανάλυση της Αξίας σε κίνδυνο (VaR), ως εργαλείο αποτίμησης του κινδύνου αγοράς. Δόθηκε ο ορισμός της VaR, το τι ακριβώς αντιπροσωπεύει το μέγεθος αυτό, αλλά και οι βασικές παράμετροι που την χαρακτηρίζουν, όπως ο χρονικός ορίζοντας, το επίπεδο εμπιστοσύνης, αλλά και το παράθυρο δεδομένων. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι διαφορετικές μορφές της VaR που συναντάμε, αλλά και το πώς ένας χρηματοπιστωτικός οργανισμός ή μια επιχείρηση μπορεί να την χρησιμοποιήσει. Αναφέρονται, επίσης, τα βασικά πλεονεκτήματα, αλλά και τα μειονεκτήματα της μεθόδου VaR ενώ στη συνέχεια ακολούθησε αναλυτικά η διαδικασία κατασκευής των μοντέλων υπολογισμού της Αξίας σε κίνδυνο για ένα χαρτοφυλάκιο ή μια θέση. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την αναλυτική περιγραφή τριών διεργασιών που χρησιμοποιούνται για την επικύρωση, τον επανέλεγχο, αλλά και την εξέταση του εύρους εφαρμογής των μοντέλων της VaR. Πρόκειται για την ανάλυση σεναρίου, το BackTesting αλλά και το StressTesting, τα οποία ορίζονται και στην συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία κατασκευής και εφαρμογής τους.

5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ VaR

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο επικεντρώνεται στις διάφορες μεθόδους υπολογισμού της VaR. Στο Κεφάλαιο 4.6 δόθηκε ένα πρώτο παράδειγμα μέτρησης της VaR με τον γενικό τύπο υπολογισμού : $VaR = X \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{T}{252}} \cdot q$. Πέραν όμως από το γενικό τύπο υπολογισμού υπάρχουν δύο κατηγορίες αναλυτικών μεθόδων υπολογισμού της VaR, οι οποίες χωρίζονται σε παραμετρικές και μη-παραμετρικές. Αναλύονται οι παραμετρικές μέθοδοι στις οποίες ανήκουν η μέθοδος Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης, καθώς και κάποιες αναλυτικές μέθοδοι. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των βασικών μη-παραμετρικών μεθόδων, όπως είναι η μέθοδος Ιστορικής Προσομοίωσης, η προσέγγιση τοπικού Ιστογράμματος, η εκτίμηση πυκνότητας πιθανότητας Kernel, καθώς και η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo, η οποία αναλύεται διεξοδικά. Ακολουθεί μια συγκριτική ανάλυση για τις τρεις βασικές, μη παραμετρικές, μεθόδους υπολογισμού της VaR σε μια προσπάθεια ναδειχθεί που υπερισχύει και που υπολείπεται καθεμία από τις μεθόδους αυτές. Τέλος, δίνεται το μαθηματικό υπόβαθρο από τη θεωρία πιθανοτήτων και στατιστικής που χρησιμοποιείται στην διαδικασία υπολογισμού της VaR, ενώ στην συνέχεια παρατίθεται η αναλυτική διαδικασία υπολογισμού των βασικών ειδών της Αξίας σε κίνδυνο.

5.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι παραμετρικές μέθοδοι ονομάζονται έτσι διότι περιλαμβάνουν εκτίμηση παραμέτρων και υπολογίζουν την VaR θέτοντας συγκεκριμένες κατανομές σε μια ομάδα παρατηρούμενων αποδόσεων του χαρτοφυλακίου.

Υποθέτοντας ότι η απόδοση έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(R)$ και το επίπεδο εμπιστοσύνης είναι $(1-c)$, η πιθανότητα να είναι η απόδοση κάτω από R^* είναι :

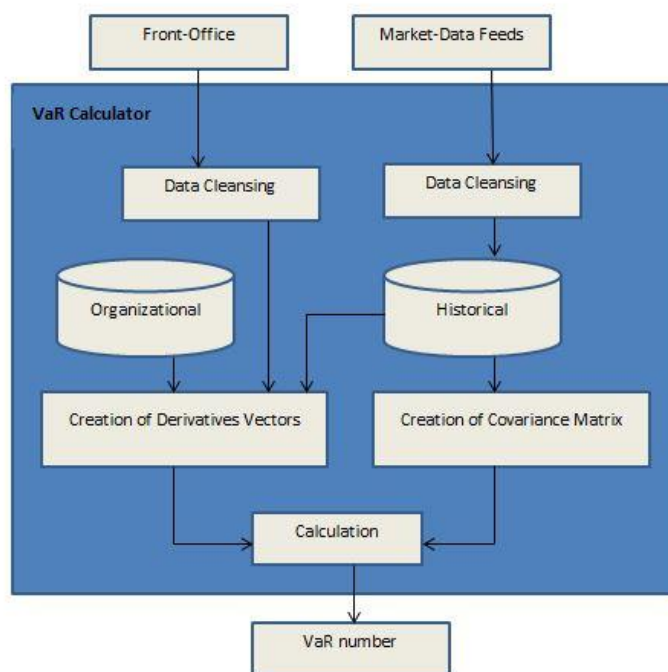
$$Pr[R < R^*] = \int_{-100\%}^{R^*} f(R) dR = c$$

Επομένως, πρέπει να κάνουμε υποθέσεις σχετικά με το $f(R)$, ώστε να βρούμε την R^* και έπειτα να υπολογιστεί η VaR (Sukcharoensin, Sukcharoensin, 2010).

5.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ-ΣΥΝΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ

Η μέθοδος Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης (Variance-Covariance Method) είναι μια από τις βασικές μεθόδους υπολογισμού της VaR. Στηρίζεται στην υπόθεση ότι οι παράγοντες της αγοράς ακολουθούν πολυμεταβλητή (multivariate) κανονική κατανομή. Με αυτή την υπόθεση μπορούμε να προσδιορίσουμε την κατανομή της αγοραίας αξίας (κέρδη και ζημίες) του χαρτοφυλακίου, που είναι επίσης κανονική, υπολογίζοντας στη συνέχεια τη ζημία που ισούται ή ξεπερνάται κατά $x\%$ του χρόνου, δηλαδή την VaR.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής που απεικονίζει τις διαδικασίες, οι οποίες υλοποιούνται από ένα σύστημα υπολογισμού της VaR που εφαρμόζει την Παραμετρική μέθοδο, καθώς και τον τρόπο σύνδεσης των διεργασιών μεταξύ τους (Holton, 2003).



Σχήμα 5.1. Διάγραμμα ροής Παραμετρικής μεθόδου (Holton, 2014).

Το σύστημα τροφοδοτείται με δεδομένα για την αγορά και για τις θέσεις του οργανισμού. Τα δεδομένα της αγοράς αντλούνται από τράπεζες δεδομένων, όπως οι Telerate, Bloomberg και Reuters. Τα δεδομένα για τις θέσεις του οργανισμού παρέχονται από τα συστήματα που καταγράφουν τις συναλλαγές των διαπραγματευτών του οργανισμού και, προτού εισαχθούν στο σύστημα, θα πρέπει να υποστούν φιλτράρισμα και διορθώσεις, ώστε να αποφευχθούν ενδεχόμενα σφάλματα. Για παράδειγμα, πρέπει όλοι οι αριθμοί να εκφραστούν στην ίδια μορφή (π.χ. καθαροί αριθμοί ή ποσοστά) ή να συμπληρωθούν δεδομένα που ενδεχομένως λείπουν. Τα ιστορικά δεδομένα της αγοράς χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της μήτρας Συνδιακύμανσης και για τον υπολογισμό του διανύσματος των συντελεστών ευαισθησίας (derivatives vector), οι οποίοι προκύπτουν ως μερικές παράγωγοι της αξίας του χαρτοφυλακίου ως προς τους παράγοντες κινδύνου. Τέλος, για τον υπολογισμό της VaR, πρέπει να πολλαπλασιαστεί η μήτρα Συνδιακύμανσης με το διάνυσμα των συντελεστών ευαισθησίας.

Το βασικό βήμα της μεθόδου είναι το «risk mapping», που ανακατανέμει όλους τους τίτλους του χαρτοφυλακίου σε απλούστερες ομάδες θέσεων για καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί ένας παράγοντας κινδύνου της αγοράς. Στο επόμενο βήμα, γίνεται η επιλογή της πολυμεταβλητής κανονικής κατανομής για τις ποσοστιαίες μεταβολές των βασικών παραγόντων της αγοράς με μέσο μηδέν και ο υπολογισμός των παραμέτρων αυτής της κατανομής.

Σε αυτό το σημείο υπολογίζονται η μεταβλητότητα μέσω των τυπικών αποκλίσεων (ή διακυμάνσεων) της κανονικής κατανομής και η συσχέτιση των μεταβλητών. Στο τρίτο βήμα, χρησιμοποιούνται οι τυπικές αποκλίσεις και οι συσχετίσεις των παραγόντων της αγοράς για τον προσδιορισμό των τυπικών αποκλίσεων και των συσχετίσεων των μεταβολών της αξίας των θέσεων του χαρτοφυλακίου (standardized positions). Τέλος, μόλις ολοκληρωθούν οι παραπάνω διαδικασίες είναι δυνατό να υπολογιστεί η διακύμανση και η τυπική απόκλιση ολόκληρου του υπό εξέταση χαρτοφυλακίου (Linsmeier, Pearson, 1999). Στην περίπτωση που το υπό εξέταση χαρτοφυλάκιο αποτελείται από δύο ή παραπάνω τίτλους, η VaR παρουσιάζεται σε όρους αλγεβρικού πίνακα (matrix algebra). Αρχικά, υπολογίζονται οι μεταβλητότητες και οι συσχετίσεις των επιλεγμένων παραγόντων κινδύνου και έπειτα συνδυάζονται σε έναν πίνακα συνδιακύμανσης. Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα βάρη (weights) για κάθε παράγοντα κινδύνου μέσω της διαδικασίας «mapping».

Ο υπολογισμός της VaR γίνεται σχετικά εύκολος, καθώς το χαρτοφυλάκιο που μελετάται αποτελείται από τίτλους που προσεγγίζουν την κανονική κατανομή. Η απόδοση $R_{p,t+1}$ του χαρτοφυλακίου στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται ως εξής :

$$R_{p,t+1} = \sum_{i=1}^N w_{i,t} R_{i,t+1}$$

όπου $w_{i,t}$ είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τον χρόνο και υποβοηθά στο να αναγνωρίζεται η δυναμική του χαρτοφυλακίου.

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω σχέση, η απόδοση του χαρτοφυλακίου είναι ένας γραμμικός συνδυασμός μεταβλητών που ακολουθούν την κανονική κατανομή, οπότε και αυτή θα ερμηνεύεται από την ίδια κατανομή. Με χρήση άλγεβρας πινάκων, η διακύμανση σ^2 του χαρτοφυλακίου θα δίνεται από την σχέση :

$$\sigma^2 = w_t' \sum_{t+1} w_t$$

όπου Σ_{t+1} , είναι η πρόβλεψη του πίνακα διακύμανσης στον χρονικό ορίζοντα της VaR και w_t ο πίνακας των συντελεστών $w_{i,t}$.

Τις περισσότερες φορές, η VaR πρέπει να υπολογιστεί για μεγάλα και πολύπλοκα χαρτοφυλάκια που συνεχώς εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου. Για το λόγο αυτό, κρίνεται απαραίτητη η εκτίμηση του πίνακα διακύμανσης-συνδιακύμανσης μέσω των παραγόντων, που συμβάλλουν στον κίνδυνο. Ο καθορισμός της έκθεσης $x_{i,t}$ σε χρηματικά ποσά όλων των στοιχείων, που απαρτίζουν τους παράγοντες κινδύνου, αποτελεί το τελευταίο βήμα για τον υπολογισμό της VaR, μέσω του τύπου:

$$VaR = a \sqrt{x_t' \sum_{t+1} x_t}$$

Όπου α είναι η τυπική απόκλιση (standard normal deviate) που ανταποκρίνεται στο προκαθορισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Η μέθοδος Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης περιλαμβάνει τις Δέλτα-Κανονική (Delta-Normal) και Δέλτα-Γάμμα (Delta-Gamma) μεθόδους. Η Delta-Normal υποθέτει ότι οι αποδόσεις του χαρτοφυλακίου κατανέμονται κανονικά σε αντίθεση με τη Delta-Gamma, η οποία μπορεί να προσεγγίσει ικανοποιητικά ακόμη και τα μη γραμμικά χαρτοφυλάκια. Ένα χαρτοφυλάκιο το οποίο περιέχει ομόλογα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης (futures) καλείται γραμμικό. Στην περίπτωση κατά την οποία περιλαμβάνει και δικαιώματα (options), τότε η μεταβολή κατά μια μονάδα στη θέση του χαρτοφυλακίου δεν επιφέρει ανάλογη μεταβολή στον κίνδυνο, οπότε χαρακτηρίζεται ως μη γραμμικό.

Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης συγκαταλέγονται η απλότητα και η ευκολία στον υπολογισμό της VaR, αφού βέβαια έχει προηγηθεί υπόθεση σχετικά με την κατανομή των αποδόσεων και έχουν υπολογιστεί οι μέσοι, οι διακυμάνσεις και οι συνδιακυμάνσεις τους. Επίσης, εξαιτίας του κεντρικού οριακού θεωρήματος (central limit theorem), η μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί ακόμα και αν οι παράγοντες κινδύνου δεν είναι κανονικοί, με την προϋπόθεση όμως ότι είναι πολυάριθμοι και σχετικά ανεξάρτητοι.

Παρόλα αυτά κατά την διαδικασία υπολογισμού εντοπίζονται τα εξής προβλήματα:

- Στηρίζεται στην υπόθεση ότι οι αποδόσεις και όλοι οι σημαντικοί παράμετροι της αγοράς ακολουθούν την κανονική κατανομή. Στην πράξη βέβαια δεν ισχύει πάντα αυτή η υπόθεση, διότι συχνά έχουμε μη κανονικές αποδόσεις και ακραίες παρατηρήσεις, δημιουργώντας υψηλές κεντρικές τιμές και τις γνωστές και ως «παχιές ουρές» στις κατανομές. Υποστηρίζεται ότι το πρόβλημα αυτό δεν είναι ιδιαίτερα εμφανές όταν χρησιμοποιείται επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, σε αντίθεση με αυτό του 99% (Minnich, 1998). Επιπλέον, η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα στην περίπτωση που το χαρτοφυλάκιο αποτελείται από μη-γραμμικούς χρηματοοικονομικούς τίτλους (π.χ παράγωγα), καθώς απαιτείται χρήση της δέλτα-γάμμα μεθόδου.
- Ακόμη και αν η υπόθεση κανονικής κατανομής είναι σωστή, η VaR ενδέχεται να είναι λανθασμένη εάν οι διακυμάνσεις και οι συνδιακυμάνσεις που χρησιμοποιήθηκαν δεν είναι σωστές. Επειδή τα μεγέθη αυτά υπολογίζονται από ιστορικά στοιχεία, η μήτρα διακύμανσης-συνδιακύμανσης είναι πιθανό να περιέχει εκτιμητές με τυπικά σφάλματα.
- Υποθέτει ένα στατικό χαρτοφυλάκιο. Αντιθέτως, τα fundamentals ,που επηρεάζουν τις διακυμάνσεις και συνδιακυμάνσεις των στοιχείων, μεταβάλλονται συνεχώς.
- Αδυνατεί να παρακολουθήσει τη χρονική υστέρηση (time decay) και την χρονική εξάρτηση του delta.

5.2.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

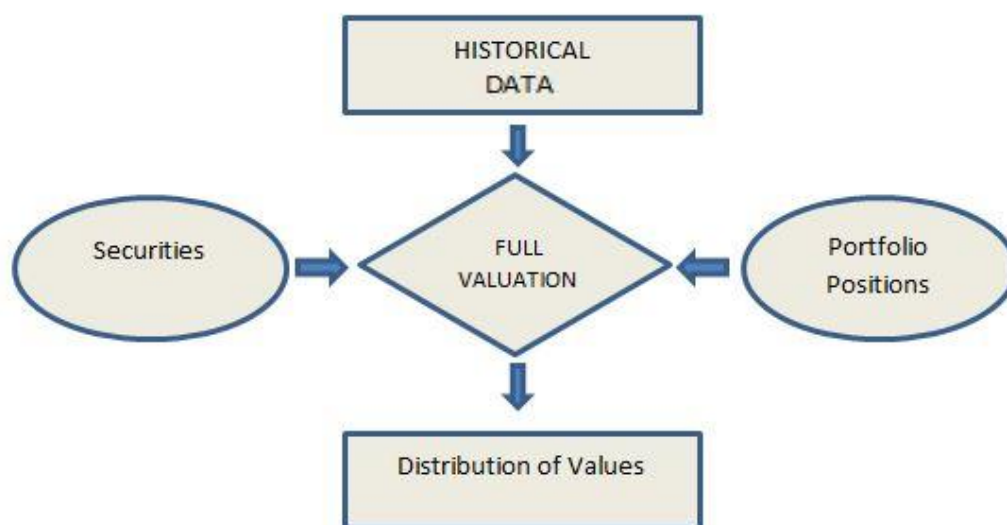
Αποτελούν μια ομάδα μεθόδων που βασίζεται στην παραμετροποίηση της συμπεριφοράς της αγοράς. Πρακτικά δεν χρησιμοποιούνται για τον ακριβή υπολογισμό της VaR, αλλά παρέχουν μια καλή εκτίμηση για το διάστημα στο οποίο κυμαίνεται η τιμή της, το οποίο μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο, ειδικά όταν δεν υπάρχει άμεση ανάγκη για αύξηση κεφαλαίου. Επίσης, οι αναλυτικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση της VaR ενός χαρτοφυλακίου δικαιωμάτων προαίρεσης σε ένα μοντέλο Black-Scholes, σε τίτλους σταθερού εισοδήματος, σε επιτόκια συναλλάγματος κ.α. Στο σύνολο των παραπάνω περιπτώσεων, απαιτείται ένα δυναμικό μοντέλο της αγοράς που οδηγεί σε όρια (bounds) στην κατανομή πιθανότητας των παραμέτρων της αγοράς (Wiener, 1997).

5.3 ΜΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι μη-παραμετρικές μέθοδοι υπολογισμού της VaR, σε αντίθεση με τις παραμετρικές, δεν στηρίζονται σε κάποια υπόθεση σε σχέση με την κατανομή των αποδόσεων. Το $f(x)$ υπολογίζεται άμεσα, χωρίς καμία υπόθεση με το τι μορφή έχει, καθώς στις μη παραμετρικές μεθόδους τα χαρακτηριστικά της κατανομής των πραγματικών αποδόσεων είναι ενσωματωμένα.

5.3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Μια μη παραμετρική μέθοδος, που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της VaR ενός χαρτοφυλακίου, είναι η ιστορική μέθοδος προσομοίωσης (historical simulation method). Στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται οι πραγματικές αλλαγές των τιμών των τίτλων του χαρτοφυλακίου, οι οποίες συνέβησαν τις τελευταίες X ημέρες συναλλαγών, και αποτιμάται εκ νέου η αξία του χαρτοφυλακίου σαν να επρόκειτο αυτές οι αλλαγές να συμβούν ξανά τις επόμενες ημέρες. Δημιουργούνται δηλαδή υποθετικές χρονολογικές σειρές των αποδόσεων του χαρτοφυλακίου, οι οποίες αποκτώνται από πραγματικά χρονολογικά δεδομένα και υπολογίζονται οι αλλαγές, που έλαβαν χώρα σε κάθε περίοδο (NYU Stern School of Business, 2007). Οι αποδόσεις του χαρτοφυλακίου συνδυάζονται με τα δεδομένα για το μέγεθος των επενδυτικών θέσεων του χαρτοφυλακίου, καθώς και με τα ιδιαίτερα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση της αξίας κάθε επένδυσης, ώστε να προκύψει η κατανομή της αξίας του χαρτοφυλακίου.



Σχήμα 5.2. Διάγραμμα ροής Ιστορικής Προσομοίωσης (Jorion, 2003).

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, που συνοψίζει την διαδικασία της ιστορικής προσομοίωσης, διακρίνουμε ότι για την εφαρμογή της Ιστορικής Προσομοίωσης απαιτείται η συλλογή επαρκών ιστορικών δεδομένων για τις αξίες των επενδύσεων του χαρτοφυλακίου, ώστε να υπολογιστούν οι αντίστοιχες αποδόσεις. Αυτές οι αποδόσεις συνδυάζονται με τα δεδομένα για το μέγεθος των επενδυτικών θέσεων του χαρτοφυλακίου, καθώς με και τα ιδιαίτερα στοιχεία, που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση της αξίας κάθε επένδυσης, ώστε να προκύψει η κατανομή της αξίας του χαρτοφυλακίου.

Η ιστορική μέθοδος είναι μια τεχνική προσομοίωσης που κάνει παραδοχές για την κατανομή των αλλαγών στις τιμές και στα επιτόκια της αγοράς. Στην πραγματικότητα δέχεται ότι οι μεταβολές που έγιναν στο παρελθόν είναι αυτές που θα συμβούν και στον μελλοντικό χρονικό ορίζοντα που προσδιορίζεται. Η μέθοδος αυτή λειτουργεί παρατηρώντας στοιχεία του παρελθόντος, όπως για παράδειγμα των τελευταίων 5 ετών και πραγματοποιεί προσαρμογή αυτών στις τρέχουσες καταστάσεις, με μια χρονολογική σειρά που σχετίζεται με τις ιστορικές αποδόσεις των στοιχείων του ενεργητικού. Το γεγονός ότι η παραπάνω τεχνική δεν χρησιμοποιεί υποθέσεις για την κατανομή των δεδομένων, όπως για παράδειγμα κανονικότητα, την καθιστά μια μη-παραμετρική τεχνική υπολογισμού της VaR. Αναλυτικότερα, η υλοποίηση της μεθόδου μπορεί να πραγματοποιηθεί ως εξής: το δείγμα των δεδομένων χωρίζεται σε έναν αριθμό επιμέρους, μικρότερων δειγμάτων ίσου μεγέθους. Το μέγεθος καθενός από τα μικρότερα δείγματα (windows) καλείται «μέγεθος παραθύρου» (window size). Αν υποθεθεί ότι το συνολικό μέγεθος του δείγματος είναι “T” και το μέγεθος παραθύρου είναι “n”, τότε μπορούν να κατασκευαστούν “T-n+1” μικρότερα δείγματα (windows), ούτως ώστε όλα τα μικρότερα δείγματα να έχουν ανά δύο μια τουλάχιστον τιμή διαφορετική. Στην συνέχεια επιλέγεται το p-οστό ποσοστημόριο από κάθε μικρό δείγμα, έστω R_t^p .

Αυτό, οδηγεί στον υπολογισμό της εκτιμώμενης VaR του χαρτοφυλακίου για κάθε μικρό δείγμα με βάση την παρακάτω σχέση:

$$VaR_{t+1|t} = -W_0 R_t^p$$

όπου W_0 , η αξία του χαρτοφυλακίου την χρονική στιγμή t .

Για να γίνει η διαδικασία της Ιστορικής προσομοίωσης περισσότερο κατανοητή, μπορούμε να τη διακρίνουμε με τα ακόλουθα βήματα υπολογισμού:

1. Υπολογισμός της τρέχουσα αξίας W_0 του χαρτοφυλακίου.
2. Καθορισμός της χρονικής περιόδου, στην οποία γίνεται συλλογή δεδομένων, αλλά και της συχνότητας των παρατηρήσεων (συνήθως ένα έτος με ημερήσια συλλογή παρατηρήσεων).
3. Συλλογή των ιστορικών τιμών των παραγόντων κινδύνων που μας αφορούν και υπολογισμός των καθημερινών αποδόσεων του χαρτοφυλακίου.
4. Αύξουσα ταξινόμηση των αποδόσεων του χαρτοφυλακίου.
5. Προσδιορισμός της μικρότερης αξίας του χαρτοφυλακίου, που αντιστοιχεί στο αντίστοιχο ποσοστημόριο του προεπιλεγμένου επιπέδου εμπιστοσύνης, με την αξία αυτή να ισούται με την VaR.

Αξίζει να αναφερθεί πως η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί τον ίδιο συντελεστή βαρύτητας για όλες τις παρατηρήσεις σε κάθε επιλεγμένο δείγμα, συμπεριλαμβανομένων και παλαιών παρατηρήσεων που πιθανόν να είναι ανεπιθύμητες. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως η τιμή της VaR μπορεί να αλλάξει σημαντικά τη στιγμή που μια παλιά παρατήρηση θα βγει από το δείγμα (window). Η επιλογή του μεγέθους καθενός από τα μικρότερα δείγματα (windows size) είναι αυθαίρετη και βασίζεται στην κρίση του αναλυτή. Στην περίπτωση επιλογής δείγματος μικρού μήκους, η εκτίμηση της VaR θα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε ατυχή αποτελέσματα από το πρόσφατο παρελθόν. Από την άλλη μεριά, μεγάλο μέγεθος δείγματος έχει το μειονέκτημα πως συμπεριλαμβάνει παρελθούσες παρατηρήσεις που μπορεί να μην είναι πια σχετικές με την ισχύουσα κατάσταση.

Ένα απλό παράδειγμα ιστορικής προσομοίωσης ακολουθεί. Έστω ότι έχουμε 1000 παρατηρήσεις και έχουμε θέσει επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Κατατάσσοντας τις τιμές των αποδόσεων σε φθίνουσα σειρά, η VaR εκφράζεται από την πεντηκοστή χαμηλότερη απόδοση $((100\%-95\%)*1000 = 50)$. Η περίοδος που επιλέγεται για τα ιστορικά δεδομένα παίζει σημαντικό ρόλο. Θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να έχουμε μια αξιόπιστη εκτίμηση της κατανομής, αλλά και σχετικά σύντομη ώστε να αποφεύγονται τα «paradigm shifts» (Minnich, 1998).

Η μέθοδος Ιστορικής Προσομοίωσης παρουσιάζει μια σειρά σημαντικών πλεονεκτημάτων, τα οποία παρατίθενται στη συνέχεια:

- Δεν πραγματοποιείται καμία υπόθεση σχετικά με την στατιστική κατανομή των αποδόσεων (μη-παραμετρική μέθοδος), όπως για παράδειγμα γραμμικότητα ή κανονικότητα των ιστορικών δεδομένων που επιλέγονται.
- Δεν απαιτεί τον υπολογισμό καμίας παραμέτρου. Έτσι αποφεύγονται περίπλοκοι υπολογισμοί, όπως αυτοί των τυπικών αποκλίσεων και των συσχετίσεων, ενώ επίσης παρακάμπτεται η εκτίμηση των πινάκων διακύμανσης-συνδιακύμανσης. Αυτό απλοποιεί τους υπολογισμούς για τα χαρτοφυλάκια με μεγάλο αριθμό στοιχείων.
- Είναι άμεσα εφαρμόσιμη σε κάθε χρεόγραφο ή χαρτοφυλάκιο διαφόρων χρεογράφων, καθώς δεν στηρίζεται σε μοντέλα αξιολόγησης, κάτι που κάνει τη μέθοδο αυτόνομη και εύκολη στη χρήση.
- Βοηθά στην καλύτερη κατανόηση των στατιστικών ιδιοτήτων που παρουσιάζουν τα κέρδη/ζημιές και οι αποδόσεις μια επενδυτικής θέσης (π.χ έλεγχος κανονικότητας).

Ταυτόχρονα, όπως είναι λογικό, η ιστορική προσομοίωση παρουσιάζει και προβλήματα τα οποία αφορούν κυρίως τα ιστορικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση, δεδομένου ότι η ιστορική προσομοίωση βασίζεται αποκλειστικά και μόνο σε ιστορικά δεδομένα χωρίς ουσιαστικά κανέναν παραπέρα υπολογισμό. Τα βασικά μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου παρατίθενται στη συνέχεια:

- Τα ιστορικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά μιας ρεαλιστικής κατάστασης εξετάζοντας τόσο περιόδους όπου η αγορά ήταν σε κατάσταση «ηρεμίας», όσο και περιόδους με σημαντικές διακυμάνσεις.
- Ο υπολογισμός της VaR μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά εάν τα ιστορικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται ενσωματώνουν ένα ιδιαίτερα αρνητικό γεγονός, όπως ένα αναπάντεχο σημαντικό χρηματιστηριακό κραχ, το οποίο δεν είναι ιδιαίτερα πιθανό να επαναληφθεί στο προσεχές μέλλον. Στην περίπτωση αυτή, η VaR που προσδιορίζεται, θα είναι ιδιαίτερα υψηλή, και μάλιστα θα παραμένει υψηλή όσο οι επιπτώσεις του σημαντικού αυτού γεγονότος ενσωματώνονται στα δεδομένα, ενώ με την απότομη αφαίρεσή τους η VaR θα μειωθεί κατακόρυφα.
- Απαιτείται ο κατάλληλος προσδιορισμός του πλήθους των ιστορικών δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν. Από τη μία πλευρά, όσο αυξάνεται το πλήθος των δεδομένων, είναι δυνατή η πραγματοποίηση εκτιμήσεων υψηλότερης ακρίβειας. Ταυτόχρονα όμως, όταν το πλήθος των δεδομένων είναι μεγάλο υπάρχει ο κίνδυνος τα παλαιότερα στοιχεία να επιβληθούν στον υπολογισμό της VaR, εξουδετερώνοντας ουσιαστικά τις πληροφορίες που παρέχουν οι πιο πρόσφατες παρατηρήσεις.

Για τον παραπάνω λόγω αρκετές τράπεζες χρησιμοποιούν δεδομένα μόνο των τελευταίων ημερών (π.χ 100) για τον υπολογισμό της ημερήσιας VaR μέσω της ιστορικής προσομοίωσης. (π.χ Chase Manhattan στο Risk Dollars). Επομένως, η ίση βαρύτητα που έχει καθεμία παρατήρηση δημιουργεί τάση στα δεδομένα. Όσο πιο πίσω όμως χρονικά βρισκόμαστε, τόσο πιο άσχετη γίνεται η πληροφορία στη σημερινή αγορά. Είναι λοιπόν σαφές ότι δεν υπάρχει ένα απλό trade-off μεταξύ επάρκειας δεδομένων και αξιοπιστίας πληροφορίας (Wiener, 1997).

- Η χρησιμοποίηση της ιστορικής προσομοίωσης για τον υπολογισμό της VaR σε χρονικές περιόδους μεγαλύτερες της μιας ημέρας παρουσιάζει δυσκολίες όσον αφορά τον όγκο των ιστορικών δεδομένων που απαιτούνται. Για παράδειγμα, εάν θεωρηθεί ως επαρκές πλήθος χρονικών περιόδων το $N=100$, τότε για τον υπολογισμό της μηνιαίας VaR απαιτούνται στοιχεία για 100 μήνες, δηλαδή για 3.000 ημέρες που σημαίνει κάτι παραπάνω από 8 έτη. Πέραν του όγκου των υπολογισμών, σαφές πρόβλημα αποτελεί και η δύσκολη συλλογή ενός τέτοιου εύρους ιστορικών δεδομένων
- Τέλος, η μέθοδος Ιστορικής Προσομοίωσης αντιμετωπίζει δύσκολα νέα είδη κινδύνου και τίτλων, καθώς δεν υπάρχει τα αντίστοιχα ιστορικά δεδομένα ικανά να χρησιμοποιηθούν.

5.3.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΠΙΚΟΥ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ (LOCAL HISTOGRAM APPROACH)

Δεδομένης μια ρίζας x_0 και ενός πλάτους h , τα bins του ιστογράμματος ορίζονται ως διαστήματα $[x_0 + mh, x_0 + (m + 1)h]$ για θετικούς και αρνητικούς ακεραίους m . Τα διαστήματα επιλέγονται κλειστά στα αριστερά και ανοιχτά στα δεξιά έως το άπειρο. Επομένως, το ιστόγραμμα ορίζεται (Sukcharoensin, Sukcharoensin, 2010) ως:

$$f(x) = \frac{1}{nh} (\text{no. of } X_t \text{ in the same bin as } x)$$

Τα ιστογράμματα είναι απλά, αλλά παρουσιάζουν αρκετά ελαττώματα. Η μη συνέχειά τους προκαλεί ιδιαίτερη δυσκολία στην περίπτωση που απαιτούνται παράγωγα εκτιμητών. Εξάλλου, ο εκτιμητής έχει κλιμακωτή φύση και είναι αρκετά δύσκολος, οπότε απαιτείται ένα ποσό εξομάλυνσης. Επιπλέον, η χρήση τους γίνεται αρκετά πολύπλοκη όταν έχουμε δύο η παραπάνω μεταβλητές.

5.3.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ KERNEL

Παρότι η χρήση της μεθόδου τοπικού ιστογράμματος είναι αποτελεσματική στην εκτίμηση πυκνότητας πιθανότητας, είναι αρκετά άκαμπτη, ασυνεχής και δύσχρηστη στην περίπτωση που έχουμε παραπάνω από δύο μεταβλητές. Έτσι, αναπτύχθηκαν διάφοροι παράμετροι για την παραγωγή πιο εξομαλυμένων εκτιμήσεων της $f(x)$ (Sukcharoensin, Sukcharoensin, 2010).

Ο τυχαίος εκτιμητής μπορεί να απεικονισθεί ως εξής:

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(x)dx = 1$$

Ο Rosenblatt ανέπτυξε το 1956 τον Rosenblatt-Parzen kernel εκτιμητή, με τη μορφή που φαίνεται παρακάτω:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n w\left(\frac{x - X_i}{h}\right)$$

Γενικά ο εκτιμητής kernel κατασκευάζεται ως εξής:

$$H_T(x) = \frac{1}{h^2 T} \sum_{i=1}^T K\left(\frac{x - X_i}{h}\right)$$

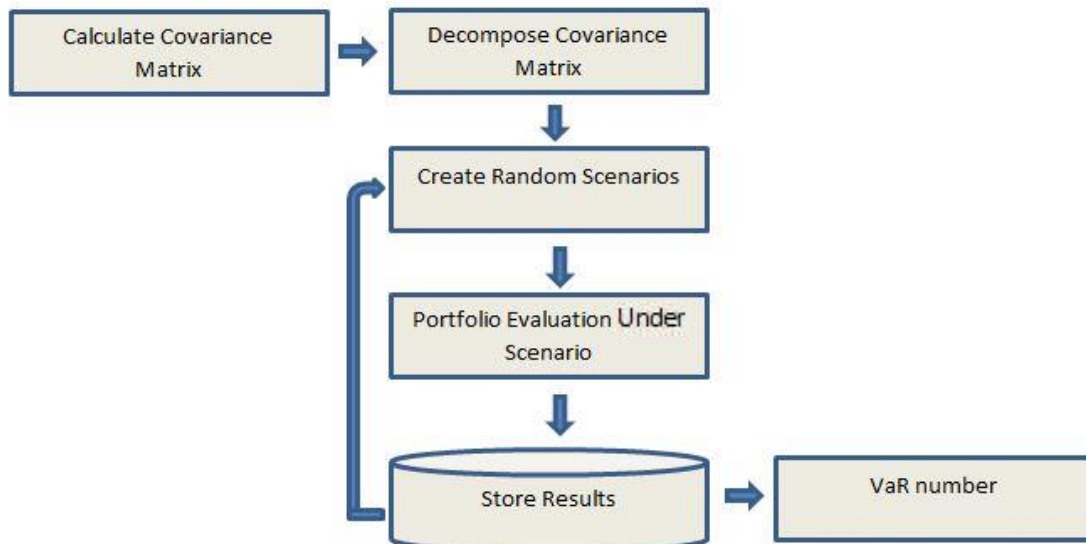
όπου K είναι ο κανονικός (Gaussian) εκτιμητής kernel.

Η χρήση kernel εκτιμητών βρήκε μεγάλη απήχηση στο χώρο του risk management, ενώ συχνά οι kernel εκτιμητές συνδυάζονται και με την ιστορική προσομοίωση, όπως πρότειναν οι Butler and Schachter (1997) (Sukcharoensin, Sukcharoensin, 2010).

5.3.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MONTE CARLO

Η μέθοδος Monte Carlo είναι ένα σύνολο υπολογιστικών αλγορίθμων, και στηρίζεται στην επαναλαμβανόμενη, τυχαία δειγματοληψία για των υπολογισμό των αποτελεσμάτων της. Η μέθοδος Monte Carlo είναι μια τεχνική προσομοίωσης που αρχικά κάνει κάποιες παραδοχές για τον υπολογισμό των αλλαγών στις τιμές της αγοράς και στη συνέχεια συγκεντρώνει δεδομένα που χρησιμεύουν στην εκτίμηση των παραμέτρων των αλλαγών αυτών. Σκοπός της παραπάνω διαδικασίας είναι η πρόβλεψη των πιθανών μελλοντικών αλλαγών. Για κάθε αποτέλεσμα η αξία του χαρτοφυλακίου επαναυπολογίζεται. Το σύνολο των υπολογισμών του χαρτοφυλακίου ανταποκρίνεται στο σύνολο των πιθανών αλλαγών. Τέλος, από την κατανομή των αποτελεσμάτων, υπολογίζεται το αντίστοιχο ποσοστημόριο (quantile) των πιθανών απωλειών, δηλαδή η τιμή της VaR για το ζητούμενο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Το παρακάτω διάγραμμα ροής (Marrison, 2002) παρουσιάζει τη διαδικασία υλοποίησης της Προσομοίωσης Monte Carlo.



Σχήμα 5.3. Διάγραμμα ροής Προσομοίωσης Monte Carlo (Marrison, 2002).

Όπως και στην Παραμετρική Μέθοδο, το πρώτο βήμα είναι ο υπολογισμός του πίνακα Συνδιακύμανσης των παραγόντων κινδύνου. Στη συνέχεια, ο πίνακας Συνδιακύμανσης αποσυντίθεται (Cholesky Matrix Decomposition). Η αποσύνθεση εξασφαλίζει ότι οι παράγοντες κινδύνου θα είναι συσχετισμένοι σε κάθε σενάριο. Ακολουθεί η παραγωγή των σεναρίων και ο υπολογισμός της αξίας του χαρτοφυλακίου για κάθε σενάριο. Η παραγωγή σεναρίων επαναλαμβάνεται έως ότου επιτευχθεί ικανοποιητικός αριθμός σεναρίων. Τέλος, κατασκευάζεται η κατανομή της αξίας του χαρτοφυλακίου και υπολογίζεται η τιμή της VaR.

Η Monte Carlo μέθοδος προσομοίωσης ακολουθεί κατά βάσει τις αρχές τις ιστορικής προσομοίωσης, με σημαντική διαφορά το ότι οι μεταβολές των τιμών, σύμφωνα με τις οποίες το χαρτοφυλάκιο επαναυπολογίζεται, είναι προσομοιωμένες παρά ιστορικές.

Στην αρχή, σχεδιάζεται μια σειρά μοντέλων πρόβλεψης της συμπεριφοράς της αγοράς, των διακυμάνσεων και συνδιακυμάνσεων, καθώς και άλλων στοχαστικών παραγόντων που πιθανόν να κριθούν απαραίτητοι. Τα παραπάνω μοντέλα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πολλών χιλιάδων σεναρίων για τις συσχετισμένες κινήσεις των τιμών της αγοράς. Αφού τα σενάρια έχουν «τρέξει», το χαρτοφυλάκιο επανατιμολογείται για κάθε πιθανό σενάριο με τρόπο παρόμοιο με τη μέθοδο της ιστορικής προσομοίωσης (Wiener, 1997).

Βασικό προσόν της Monte Carlo μεθόδου έναντι των υπολοίπων είναι η αυξημένη ακρίβειά της. Δεκάδες χιλιάδες παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται αντί για 1000 ή 2000 με τις οποίες εφαρμόζεται συνήθως ο υπολογισμός της VaR στην Ιστορική μέθοδο ή και ακόμα λιγότερες στη Δέλτα-Κανονική μέθοδο, γεγονός το οποίο μειώνει σημαντικά το δειγματοληπτικό σφάλμα.

Μεγάλη σημασία για την εφαρμογή της μεθόδου έχει η πολυπλοκότητα του χαρτοφυλακίου που εξετάζεται. Όταν τα στοιχεία του χαρτοφυλακίου είναι γραμμικά, τότε εφαρμόζονται εμφανώς λιγότερες προσομοιώσεις. Η τεχνική αυτή έχει τη δική της ιδιομορφία που επηρεάζει την ακρίβεια της μεθόδου. Για παράδειγμα, κάποιες διαδικασίες της Monte Carlo λειτουργούν εισάγοντας κάποιες τεχνικές ελάττωσης διακύμανσης (variance reduction). Αυτό είναι ένα τέχνασμα που χρησιμοποιείται με σκοπό την βελτίωση της ακρίβειας σε μια δεδομένη έκταση που γίνεται η προσομοίωση. Σύμφωνα με τις παραπάνω τεχνικές απαιτούνται λιγότερες επαναλήψεις για δεδομένη ακρίβεια και για δεδομένο διάστημα εμπιστοσύνης.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η Monte Carlo μέθοδος θέτει ιδιαίτερη σημαντικότητα στην ικανότητα του αναλυτή να μοντελοποιήσει την αγορά και συγκεκριμένα τους παράγοντες που την επηρεάζουν, ανάλογα με τα προβλήματα που καλείται να διαχειριστεί. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αναγκαία για κάθε παράγοντα που δημιουργεί κίνδυνο, καθώς και για τον καθορισμό της στοχαστικής διαδικασίας. Γίνεται σαφώς αντιληπτό ότι η βαθύτερη γνώση του αναλυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την αξιολόγηση μοντέλων για τα στοιχεία του ενεργητικού στο χαρτοφυλάκιο και για τοποθετήσεις που αφορούν ποικίλους κινδύνους που θα κληθεί να αντιμετωπίσει.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου Monte Carlo παρατίθενται στη συνέχεια:

- Δεν χρειάζεται κάποια υπόθεση για την κατανομή των παραγόντων κινδύνου.
- Δεν χρειάζεται η εκτίμηση της μεταβλητότητας και των συσχετίσεων, καθώς αυτές λαμβάνονται από τις καθημερινές πραγματοποιήσεις των παραγόντων κινδύνου.
- Ακραία γεγονότα, όπως και κατανομές που εμφανίζουν το πρόβλημα των παχιών ουρών (fat tail) , συλλαμβάνονται όταν περιλαμβάνονται στα δεδομένα.
- Επιτρέπεται ο υπολογισμός διαστήματος εμπιστοσύνης για τη VaR.

Η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo παρουσιάζει όμως και μια σειρά σημαντικών μειονεκτημάτων, τα οποία παρατίθενται στη συνέχεια:

- Μικρού μεγέθους δεδομένα μπορεί να οδηγήσουν σε μεροληπτική και μη ακριβή εκτίμηση της VaR.
- Δεν αποτελεί συνεπές μέτρο για γενικές κατανομές αποδόσεων, ενώ λειτουργεί για μονοκόρυφες όπως η κανονική και η Student-t.
- Δεν έχει πάντα υπολογιστική απόδοση, ειδικά όταν μιλάμε για χαρτοφυλάκια με πολύπλοκα securities.

- Η εφαρμογή της προϋποθέτει μεγάλη υπολογιστική ισχύ, λόγω του όγκου των προσομοιώσεων που πραγματοποιούνται. Επίσης, σχεδιάζοντας τα μοντέλα, υπολογίζοντας καθημερινά διαφορετικά σενάρια και τέλος παρουσιάζοντας τις πολλαπλές επανατιμολογήσεις απαιτείται ιδιαίτερη υπολογιστική ενέργεια, και συχνά εξειδικευμένος εξοπλισμός (supercomputers).

5.4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ VaR

Οι 3 βασικές μη παραμετρικές μέθοδοι υπολογισμού της VaR, όπως αναφέραμε και παραπάνω, έχουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η μέθοδος Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης, απαιτεί μεν ισχυρές υποθέσεις σχετικά με τις κατανομές των αποδόσεων των θέσεων, αλλά είναι εύκολη στον υπολογισμό της μόλις αυτές προσδιοριστούν. Η μέθοδος της Ιστορικής Προσομοίωσης δεν απαιτεί αντίστοιχες υποθέσεις αλλά δέχεται ότι τα ιστορικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι ένα αξιόπιστο αντιπροσωπευτικό δείγμα των μελλοντικών κινδύνων. Η μέθοδος Monte Carlo τέλος επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία ως προς την επιλογή της κατανομής των αποδόσεων και την εισαγωγή εκτιμήσεων και εξωτερικών δεδομένων, αλλά έχει ισχυρές απαιτήσεις σε ότι αφορά τον όγκο υπολογισμού (computational bulk).

Συγκρίνοντας τις τρεις παραπάνω μεθόδους ανακύπτει το θέμα του κατά πόσο διαφέρουν οι εκτιμήσεις της καθεμιάς, μεταξύ τους και ποια μπορεί να οριστεί ως πιο αξιόπιστη. Για παράδειγμα, η Ιστορική Προσομοίωση και η μέθοδος Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης δίνουν όμοια αποτελέσματα εάν χρησιμοποιήσουμε ιστορικές τιμές ως δεδομένα για τον υπολογισμό τους πίνακα διακύμανσης-συνδιακύμανσης (variance-covariance matrix) και υποτεθεί ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή. Αναλόγως, η μέθοδος Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης και η Monte Carlo θα οδηγήσουν σε ταυτόσημα αποτελέσματα, εάν στην δεύτερη υποθέσουμε ότι όλα τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή, με σταθερές διακυμάνσεις και μέσους. Τέλος, σύγκλιση στα αποτελέσματα της Ιστορικής και της Monte Carlo προσομοίωσης παρατηρείται εάν οι αποδόσεις που θα χρησιμοποιηθούν στην δεύτερη βασίζονται απόλυτα σε ιστορικά δεδομένα.

Είναι λοιπόν σαφές ότι η ακρίβεια και η αξιοπιστία της κάθε μεθόδου έγκειται στις υποθέσεις και τις παραδοχές που κάνει η κάθε μέθοδος και αναλόγως θα διαφέρουν και οι εκτιμήσεις για την VaR κάθε φορά. Ειδικά στην περίπτωση που στο χαρτοφυλάκιο περιλαμβάνονται μη-γραμμικά χρηματοοικονομικά προϊόντα (options, derivatives) οι διαφορές αυτές είναι εντονότερες (Choudhry, 2006). Το ποια αποτελεί την καλύτερη μέθοδο είναι δύσκολο να απαντηθεί και εξαρτάται άμεσα από τα κριτήρια που ενδιαφέρουν περισσότερο τους υπεύθυνους των εταιρειών και των χρηματοοικονομικών ιδρυμάτων. Στη συνέχεια παρατίθενται έξι κατηγορίες-κριτήρια στα οποία παρουσιάζεται πως ανταποκρίνεται η κάθε μέθοδος υπολογισμού της VaR, από τις τρεις βασικές που προαναφέρθηκαν (Linsmeier, Pearson, 1999).

Ικανότητα ενσωμάτωσης κινδύνων που προέρχονται από μη-γραμμικά χρηματοοικονομικά προϊόντα

Οι Ιστορική και Monte Carlo μέθοδοι προσομοίωσης λειτουργούν αρκετά καλά στην συγκεκριμένη περίπτωση, παρά την παρουσία παραγώγων στο χαρτοφυλάκιο, διότι υπολογίζουν κάθε φορά την αξία του χαρτοφυλακίου για κάθε πιθανό συνδυασμό παραγόντων της αγοράς.

Η αξία του χαρτοφυλακίου που προκύπτει με την προσομοίωση Monte Carlo εξαρτάται από την κατανομή των βασικών παραγόντων της αγοράς και των εκτιμήσεων των παραμέτρων της. Εσφαλμένες εκτιμήσεις οδηγούν σε λανθασμένη εκτίμηση της VaR. Παρομοίως, η κατανομή της αξίας του χαρτοφυλακίου που δίνει η Ιστορική προσομοίωση μπορεί να είναι παραπλανητική εάν το χρονικό διάστημα στο οποίο συλλέχθηκαν τα δεδομένα δεν είναι αντιπροσωπευτικό.

Αντίθετα, η μέθοδος Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης λειτουργεί σχετικά καλά σε χαρτοφυλάκια που αποτελούνται από περιορισμένο αριθμό μη-γραμμικών προϊόντων, αλλά είναι λιγότερο ικανή να αποτυπώσει τους κινδύνους που προέρχονται από αυτά, αντικαθιστώντας τα με γραμμικές προσεγγίσεις, οι οποίες δεν δίνουν πάντα επαρκή αποτελέσματα. Το πρόβλημα αυτό είναι λιγότερο εμφανές όταν η περίοδος διακράτησης τους είναι μια ημέρα, καθώς είναι απίθανο να συμβούν μεγάλες αλλαγές επιτοκίων σε τόσο σύντομο χρονικό διάστημα (Linsmeier, Pearson, 1999).

Ευκολία εφαρμογής

Η μέθοδος της Ιστορικής προσομοίωσης είναι αρκετά εύκολη στην εφαρμογή της, υποθέτοντας ότι έχουμε πρόσβαση σε ιστορικά δεδομένα. Η βασική δυσκολία συναντάται στο ότι πρέπει να διαθέτουμε χρονολογικές σειρές για όλους τους σχετικούς παράγοντες της αγοράς για την αναφερόμενη περίοδο, γεγονός πολύπλοκο στην περίπτωση επιχειρήσεων που συναλλάσσονται και δραστηριοποιούνται σε διαφορετικά νομίσματα και χώρες καθημερινά.

Οι μέθοδοι Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης και Monte Carlo είναι επίσης εύκολες στην εφαρμογή τους, όταν υπάρχουν διαθέσιμα εργαλεία για τα προϊόντα και τις θέσεις των χαρτοφυλακίων που αναλύονται. Σημαντική διαφορά συναντάμε στην μέθοδο Monte Carlo όπου ο χρόνος υπολογισμού είναι μεγαλύτερος, ειδικά σε μεγάλα χαρτοφυλάκια. Τέλος οι μέθοδοι Monte Carlo καθώς και αυτή της Ιστορικής προσομοίωσης απαιτούν μοντέλα τιμολόγησης (pricing models) για τα προϊόντα που περιλαμβάνονται στα υπό ανάλυση χαρτοφυλάκια (Linsmeier, Pearson, 1999).

Ευκολία παρουσίασης αποτελεσμάτων στην Διοίκηση

Η μέθοδος της Ιστορικής προσομοίωσης είναι η πιο εύκολη στην παρουσίαση στην Ανώτατη Διοίκηση. Αντιθέτως, η μέθοδος Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης απαιτεί καλή τεχνική γνώση, καθώς τα μαθηματικά της κανονικής κατανομής για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης και κατά συνέπεια της VaR, είναι αρκετά πολύπλοκα.

Τέλος, η μέθοδος Monte Carlo, είναι η δυσκολότερη στην παρουσίασή της, διότι απαιτεί εξειδικευμένη γνώση της κατανομής που ερμηνεύει τις αλλαγές στους παράγοντες της αγοράς και του ψευδοτυχαίου (pseudorandom) δείγματος που θα χρησιμοποιηθεί από την κατανομή (Linsmeier, Pearson, 1999).

Αξιοπιστία αποτελεσμάτων

Όπως αναλύσαμε παραπάνω, και οι τρεις μέθοδοι βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα. Η μέθοδος της Ιστορικής προσομοίωσης συγκεκριμένα είναι αυτή που εξαρτάται απόλυτα από ιστορικές τιμές. Οι μέθοδοι Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης και Monte Carlo παρουσιάζουν το εξής πρόβλημα: οι κατανομές, που χρησιμοποιούνται στις υποθέσεις, δεν περιγράφουν πάντα ρεαλιστικά τις κατανομές των παραγόντων της αγοράς. Αυτό συχνά έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση γεγονότων που αποκλίνουν από το μέσο σε σχέση με την κανονική κατανομή. Παρόλα αυτά, η κανονική κατανομή φαίνεται να είναι αρκετά καλή υπόθεση στην περίπτωση της μεθόδου Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης για τον υπολογισμό της VaR. Στη μέθοδο Monte Carlo ο αναλυτής μπορεί να διαλέξει ελεύθερα ποια κατανομή θα χρησιμοποιήσει, όπως προαναφέρθηκε. Αυτή η ευελιξία που δίνει η μέθοδος μπορεί να οδηγήσει σε λάθος επιλογή που πιθανώς να μην αντιπροσωπεύει τις πραγματικές συνθήκες της αγοράς, και συνεπώς να πλήξει την αξιοπιστία της μεθόδου (Linsmeier, Pearson, 1999).

Ευελιξία στην εισαγωγή εναλλακτικών υποθέσεων

Όσον αφορά τη μέθοδο της Ιστορικής προσομοίωσης, λόγω της άμεσης σύνδεσής της με τα ιστορικά δεδομένα των αλλαγών των παραγόντων της αγοράς, δεν γίνεται εκ των πραγμάτων να πραγματοποιηθεί κάποια μορφή εναλλακτικών «what-if» σεναρίων. Αντιθέτως, αυτό είναι αρκετά εύκολο με τις μεθόδους Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης και Monte Carlo. Ο αναλυτής έχει την ευχέρεια να παραβλέψει τις εκτιμήσεις βάσει ιστορικών δεδομένων και να χρησιμοποιήσει οποιεσδήποτε σταθερές παραμέτρους προτιμά. Βασικό αρνητικό αυτής της προσέγγισης αποτελεί η απαίτηση μεγάλου φόρτου εργασίας, λόγω της χρήσης διαφόρων λογισμικών προγραμμάτων (Linsmeier, Pearson, 1999).

Κατανομές των παραγόντων της αγοράς

Πλην της μεθόδου Ιστορικής προσομοίωσης, οι άλλες μέθοδοι απαιτούν συγκεκριμένες υποθέσεις κατανομών για τους παράγοντες της αγοράς. Επίσης, η Ιστορική προσομοίωση και η Διακύμανση-Συνδιακύμανση χρησιμοποιούν διακυμάνσεις και συσχετίσεις, διαδικασία που δεν είναι απαραίτητη για την προσομοίωση Monte Carlo.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω σημεία, είναι φανερό ότι δεν υπάρχει ξεκάθαρη απάντηση σχετικά με το ποια μέθοδος υπολογισμού της VaR είναι η καλύτερη. Το κριτήριο επιλογής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κάποιοι από τους οποίους αναλύθηκαν παραπάνω. Αξίζει τέλος να σημειωθεί, ότι το ίδιο νούμερο, που πιθανώς να δίνει η VaR για δύο διαφορετικούς χρηματοοικονομικούς οργανισμούς, μπορεί να ερμηνευτεί εντελώς διαφορετικά, ανάλογα με το προφίλ κινδύνου και τα κριτήρια επιλογής μεθόδου που θέτει ο κάθε αναλυτής (Linsmeier, Pearson, 1999).

5.5 ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ

Λόξωση

Η λόξωση (skewness) είναι ένα μέτρο της ασυμμετρίας της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας (Σ.Π.Π.) μιας τυχαίας μεταβλητής (τ.μ.) X . Η λόξωση συμβολίζεται με $skew(X)$ ή η_1 και ορίζεται από τη σχέση (Holton, 2014):

$$\eta_1 = skew(X) = E[(X - \mu)^3]/\sigma^3$$

όπου $\mu = E(X)$ και $\sigma = \sqrt{E[(X - \mu)^2]}$ είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της τ.μ. X αντίστοιχα.

Ο συντελεστής ασυμμετρίας αφορά την 3^η τυποποιημένη δύναμη μιας κατανομής πιθανοτήτων των δεδομένων και μας δείχνει κατά πόσο και προς ποια κατεύθυνση αποκλίνει αυτή από την κανονική κατανομή. Δεδομένων των αποδόσεων r_t , όπου $t=1,2,\dots,T$, η ασυμμετρία υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο:

$$S = \sum_{t=1}^T \left(\frac{r_t - \bar{r}}{\sigma} \right)^3$$

Όπου $\bar{r} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T r_t$ ο μέσος και $\sigma = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (r_t - \bar{r})^2}$ η τυπική απόκλιση.

Η ασυμμετρία δύναται να είναι μηδενική, θετική ή αρνητική. Στην πρώτη περίπτωση, έχουμε κανονική κατανομή με τον μέσο και τη διάμεσο να συμπίπτουν. Όταν η τιμή της είναι θετική ($skewness > 0$), η κατανομή παρουσιάζει επιμήκυνση προς τα δεξιά, υποδηλώνοντας μεγαλύτερη συγκέντρωση των παρατηρήσεων στις μικρές τιμές. Τέλος, όταν η τιμή του συντελεστή είναι αρνητική ($skewness < 0$), η κατανομή παρουσιάζει επιμήκυνση στο αριστερό της άκρο, δηλαδή η πλειονότητα των παρατηρήσεων έχει υψηλές τιμές.

Κύρτωση

Η κύρτωση (kurtosis) είναι μία ακόμη παράμετρος που περιγράφει την μορφή της Σ.Π.Π. μιας τ.μ. X . Η κύρτωση συμβολίζεται με $kurt(X)$ ή η_2 και ορίζεται από τη σχέση (Holton, 2014):

$$\eta_2 = kurt(X) = E[(X - \mu)^4]/\sigma^4$$

Ο συντελεστής kurtosis μας δείχνει κατά πόσο πλατιά ή όχι είναι η υπό εξέταση κατανομή και λαμβάνει την τιμή «3» στην περίπτωση της κανονικής κατανομής.

Πρόκειται για την 4^η τυποποιημένη δύναμη μιας κατανομής πιθανοτήτων των δεδομένων και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$K = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{r_t - \bar{r}}{\sigma} \right)^4$$

Όπου $\bar{r} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T r_t$ ο μέσος και $\sigma = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (r_t - \bar{r})^2}$ η τυπική απόκλιση.

Όταν η κύρτωση λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες του «3», τότε η κατανομή καλείται λεπτόκυρτη (leptokurtic), και υποδηλώνει έντονη μεταβλητότητα στις παρατηρήσεις. Η λεπτοκύρτωση χαρακτηρίζει Σ.Π.Π. που εμφανίζουν στενό λοβό γύρω από την μέγιστη τιμή τους και ταυτόχρονα έχουν παχιές ουρές (fat tails). Αντίθετα, για τιμές μικρότερες του «3», η κατανομή καλείται πλατύκυρτη (platykurtic). Η πλατυκύρτωση χαρακτηρίζει τις Σ.Π.Π. που εμφανίζουν ευρύ λοβό γύρω από την μέγιστη τιμή τους και ταυτόχρονα εμφανίζουν λεπτές ουρές (thin tails).

Ροπές

Η ροπή (moment) κ -τάξης μ'_κ μιας τ.μ. X ορίζεται από τη σχέση $\mu'_\kappa = E(X^\kappa)$. Ειδικά για $\kappa = 1$, η ροπή πρώτης τάξης είναι η μέση τιμή $\mu = E(X)$ της τ.μ. X . Η κεντρική ροπή κ -τάξης μ_κ μιας τ.μ. X ορίζεται από τη σχέση (Holton, 2014):

$$\mu_\kappa = E[(X - \mu)^\kappa]$$

Ειδικότερα για $\kappa = 2$, η κεντρική ροπή δεύτερης τάξης είναι η γνωστή διακύμανση (ή διασπορά) $\sigma^2 = V(X)$ της τ.μ. X . Η διακύμανση συμβολίζεται συχνά και ως σ_{XX} .

Η μικτή ροπή (joint moment) (m,n)-τάξης δύο τ.μ. X, Y ισούται με τη μέση τιμή $E(X^m \cdot Y^n)$. Αν μ_X και μ_Y είναι η μέση τιμή των τ.μ. X και Y , τότε η μικτή κεντρική ροπή (central joint moment) (m,n)-τάξης δύο τ.μ. X, Y είναι ίση με τη μέση τιμή $E[(X - \mu_X)^m \cdot (Y - \mu_Y)^n]$. Ειδικότερα για $m, n = 1, 1$ η μικτή κεντρική ροπή ονομάζεται συνδιακύμανση των δύο τ.μ. X, Y και συμβολίζεται με $Cov(X, Y)$ ή σ_{XY} .

Συντελεστής Συσχέτισης Τυχαίων Μεταβλητών

Ο συντελεστής συσχέτισης ρ_{XY} δύο τ.μ. $\mathbf{X}, \mathbf{Y}$ ορίζεται ως (Holton, 2014):

$$\rho_{XY} = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{V(X)} \cdot \sqrt{V(Y)}}$$

Με τον συντελεστή συσχέτισης ρ_{XY} να παρουσιάζει τις εξής ιδιότητες:

- $-1 \leq \rho_{XY} \leq 1$
- $\rho_{XX} = 1$
- $\rho_{XY} = \rho_{YX}$

Ενώ ισχύουν επίσης οι παρακάτω προτάσεις:

- i. Αν $\rho_{XY} = 0$, τότε οι τ.μ. $\mathbf{X}, \mathbf{Y}$ είναι ασυσχέτιστες.
- ii. Αν $\rho_{XY} = 1$, τότε ισχύει $Y = aX + b$, με a, b σταθερές και $a > 0$
- iii. Αν $\rho_{XY} = -1$, τότε ισχύει $Y = -aX + b$, με a, b σταθερές και $a > 0$

Μέση Τιμή και Διακύμανση Αθροίσματος Τυχαίων Μεταβλητών

Έστω $X_i, 1 \leq i \leq n$, τυχαίες μεταβλητές και $Z = \sum_{i=1}^n X_i$. Αν $\mu_{X_i} = E(X_i)$ είναι η μέση τιμή της τ.μ. $X_i, 1 \leq i \leq n$, τότε για τη μέση τιμή της τ.μ Z ισχύει (Holton, 2014):

$$\mu_Z = E(Z) = E\left(\sum_{i=1}^n X_i\right) = \sum_{i=1}^n E(X_i)$$

Έστω $Z = X + Y$ όπου $\mathbf{X}, \mathbf{Y}$ τυχαίες μεταβλητές. Τότε:

$$\begin{aligned}\sigma_Z^2 &= E[(Z - \mu_Z)^2] \Rightarrow \sigma_Z^2 = E[(X + Y - \mu_X - \mu_Y)^2] \Rightarrow \\ \sigma_Z^2 &= E[(X - \mu_X)^2 + 2(X - \mu_X)(Y - \mu_Y) + (Y - \mu_Y)^2] \Rightarrow \\ \sigma_Z^2 &= E[(X - \mu_X)^2] + E[(Y - \mu_Y)^2] + 2E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]\end{aligned}$$

Άρα τελικά, προκύπτει ότι για τη διακύμανση σ_Z^2 ισχύει η εξής σχέση:

$$\sigma_Z^2 = \sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + 2\sigma_{XY} \quad \text{ή} \quad \sigma_Z^2 = \sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + 2\rho_{XY}\sigma_X\sigma_Y$$

Η παραπάνω σχέση γενικεύεται και για άθροισμα n τυχαίων μεταβλητών. Έστω $Z = \sum_{i=1}^n X_i$ όπου $X_i, 1 \leq i \leq n$, τυχαίες μεταβλητές. Ακολούθως ισχύουν οι εξής ισοδύναμες σχέσεις:

$$\sigma_Z^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} \quad \text{ή} \quad \sigma_Z^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1 \neq i}^n \sigma_{ij}$$

$$\text{ή} \quad \sigma_z^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1 \neq i}^n [\rho_{ij} \sigma_i \sigma_j]$$

$$\text{ή} \quad \sigma_z^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{i-1} [\rho_{ij} \sigma_i \sigma_j]$$

$$\text{ή} \quad \sigma_z^2 = [\sigma_1 \ \sigma_2 \ \sigma_3 \ \cdots \ \sigma_n] \cdot \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{13} & \cdots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & 1 & \rho_{23} & \cdots & \rho_{2n} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & 1 & \cdots & \rho_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \rho_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \vdots \\ \sigma_n \end{bmatrix} = \sigma^T \cdot C \cdot \sigma$$

Γραμμικό Πολυώνυμο Τυχαίου Διανύσματος

Έστω ένα $n \times 1$ τυχαίο διάνυσμα $\mathbf{X} = [X_1 \ X_2 \ X_3 \ \cdots \ X_n]^T$. Για τη μέση τιμή μ του τυχαίου διανύσματος $\mathbf{X}$ ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\mu = E(\mathbf{X}) = [E(X_1) \ E(X_2) \ E(X_3) \ \cdots \ E(X_n)]^T$$

Το σύνολο των συνδιακυμάνσεων των στοιχείων του τυχαίου διανύσματος $\mathbf{X}$ συνοψίζονται με τον πίνακα διακύμανσης Σ (covariance matrix), ο οποίος ορίζεται ως (Holton, 2014):

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \cdots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \cdots & \sigma_{2n} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} & \cdots & \sigma_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \sigma_{n3} & \cdots & \sigma_{nn} \end{bmatrix}$$

Έστω η τυχαία μεταβλητή Y για την οποία ισχύει η σχέση $Y = \mathbf{b}\mathbf{X} + a$, όπου $\mathbf{b}$ είναι ένα $1 \times n$ διάνυσμα πραγματικών αριθμών και a είναι ένας πραγματικός αριθμός. Για τη μέση τιμή και τη διακύμανση της τ.μ. Y ισχύουν:

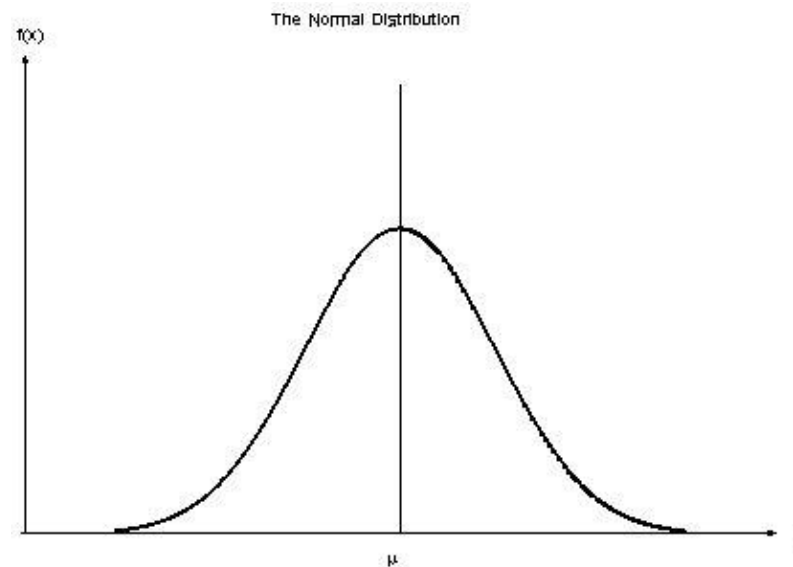
$$E(Y) = \mathbf{b} \cdot \mu + a \quad \text{και} \quad V(Y) = \mathbf{b} \cdot \Sigma \cdot \mathbf{b}^T$$

Κανονική Κατανομή

Λέμε ότι η συνεχής τ.μ. X ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ , και γράφουμε $X \sim N(\mu, \sigma)$, όταν η X έχει Σ.Π.Π. την συνάρτηση $f(x)$ για την οποία ισχύει (Holton, 2014):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}, x \in IR$$

Η γραφική παράσταση της $f(x)$ φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.4. Κανονική Κατανομή

Ανεξάρτητα από την τιμή των μ και σ , για την λόξωση και την κύρτωση ισχύει πάντοτε $\eta_1 = 0$ και $\eta_2 = 3$. Αν $F(x)$ είναι η Σ.Κ.Π. της $X \sim N(\mu, \sigma)$ και $\Phi(z)$ είναι η Σ.Κ.Π. της $Z \sim N(0,1)$, τότε ισχύουν οι παρακάτω ιδιότητες:

- $F(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$
- $\Phi(-x) = 1 - \Phi(x)$
- $\Phi(x) = 1 - c \Rightarrow x = -\Phi^{-1}(c)$

Η κατανομή $N(0,1)$ ονομάζεται τυποποιημένη κανονική κατανομή.

Πολυμεταβλητή Κανονική Κατανομή

Μια n -διάστατη τ.μ. $\mathbf{X} = [X_1 X_2 X_3 \dots X_n]^T$ ακολουθεί την πολυμεταβλητή Κανονική Κατανομή με παραμέτρους μ και Σ , δηλαδή $\mathbf{X} \sim N_n(\mu, \Sigma)$, αν έχει Σ.Π.Π. τη συνάρτηση $f(x)$ για την οποία ισχύει (Holton, 2014):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi^n \cdot |\Sigma|}} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2}(x - \mu)^T \cdot \Sigma^{-1} \cdot (x - \mu)\right\}, x \in \mathbb{R}^n$$

$$\text{Με } \mu = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \\ \vdots \\ \mu_n \end{bmatrix} \quad \text{και} \quad \Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \dots & \sigma_{2n} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} & \dots & \sigma_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \sigma_{n3} & \dots & \sigma_{nn} \end{bmatrix}$$

Διωνυμική Κατανομή

Λέμε ότι η διακριτή τ.μ. X ακολουθεί τη διωνυμική κατανομή με παραμέτρους n, p ($n \in \mathbb{N}, 0 < p < 1$), και γράφουμε $X \sim B(n, p)$, όταν έχει Σ.Μ.Π. την παρακάτω συνάρτηση (Holton, 2014):

$$p_k = \Pr(X = k) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1 - p)^{n-k} = B[k|n, p] \text{ με } k = 0, 1, 2, \dots, n$$

Η ΣΚΠ της τ.μ. $X \sim B(n, p)$ είναι η:

$$F(x) = \Pr(X \leq x) = \sum_{k=0}^{\lfloor x \rfloor} \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1 - p)^{n-k}$$

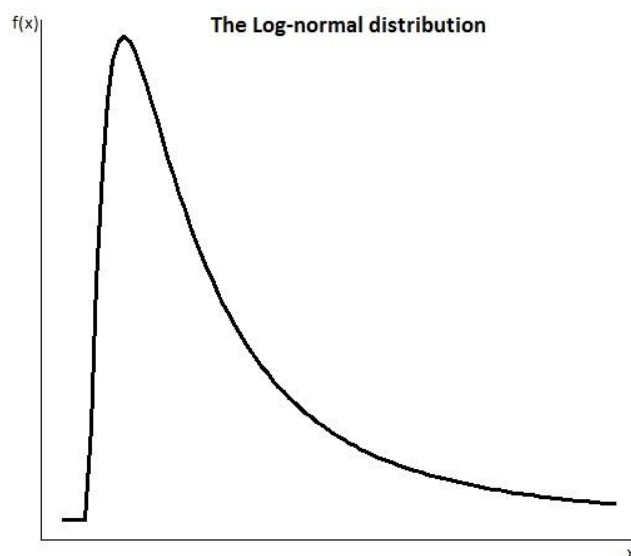
(Holton, 2014)

Λογαριθμοκανονική Κατανομή

Η συνεχής τ.μ. X ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ , και γράφουμε $X \sim L(\mu, \sigma)$, όταν η X έχει Σ.Π.Π. τη συνάρτηση $f(x)$ για την οποία ισχύει (Holton, 2014):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot x} \cdot \exp \left\{ -\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\}, x > 0$$

Η γραφική παράσταση της $f(x)$ φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 5.5. Λογαριθμοκανονική Κατανομή.

Για τη μέση τιμή μ , την τυπική απόκλιση σ , τη λόξωση η_1 και την κύρτωση η_2 ισχύουν οι εξής σχέσεις:

- $\mu = \exp(M + \frac{S^2}{2})$
- $\sigma = \sqrt{\exp(2M + 2S^2) - \exp(2M + S^2)}$
- $\eta_1 = [\exp(S^2) + 2] \cdot \sqrt{\exp(S^2) - 1}$
- $\eta_2 = \exp(4S^2) + 2 \cdot \exp(3S^2) + 3 \cdot \exp(2S^2) - 3$

Αν είναι γνωστή η μέση τιμή μ , και η τυπική απόκλιση σ , αντί των παραμέτρων M και S , τότε αυτές υπολογίζονται εύκολα ως:

- $M = \ln(\frac{\mu^2}{\sqrt{\mu^2 + \sigma^2}})$
- $s = \sqrt{\ln[(\frac{\sigma}{\mu})^2 + 1]}$

Κεντρικό Οριακό Θεώρημα

Αν $X_1, X_2, \dots, X_n$ είναι ένα σύνολο n ανεξάρτητων (δηλαδή δεν υπάρχουν συναρτήσεις $X_i = f_{ij}(X_j)$, όπου $1 \leq i, j \leq n$ και $i \neq j$) και ισόνομων (δηλαδή ακολουθούν όλες την ίδια κατανομή) τυχαίων μεταβλητών με μέση τιμή $\mu_i, 1 \leq i \leq n$ και διασπορά $\sigma_i^2, 1 \leq i \leq n$, τότε η τ.μ. $S_n = \sum_{i=1}^n X_i$ ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή $E(S_n) = \sum_{i=1}^n \mu_i$ και διασπορά $V(S_n) = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2$, δηλαδή ισχύει $S_n \sim N(\sum_{i=1}^n \mu_i, \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2})$. Σύμφωνα με το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα, η διωνυμική κατανομή προσεγγίζεται ικανοποιητικά από την κανονική κατανομή όταν $(n \cdot p) \geq 5$, όπου n, p είναι οι παράμετροι της Διωνυμικής Κατανομής (Holton, 2014).

5.6 ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΗΣ VaR

Απόλυτη VaR

Έστω ένα χαρτοφυλάκιο n επενδύσεων το οποίο έχει παρούσα αξία 0v_p . Αν $\mu_i = E(^1R_i)$ είναι η αναμενόμενη απόδοση της επένδυσης i , με $1 \leq i \leq n$, και $\sigma_{ij} = Cov(^1R_i, ^1R_j)$ είναι η συνδιακύμανση των επενδύσεων i και j , με $1 \leq i, j \leq n$, ύστερα από μια χρονική μονάδα (ημέρα, μήνα, έτος κ.ο.κ). Για την αναμενόμενη απόδοση $\mu_p = E(^1R_p)$ και τη διακύμανση $\sigma_p^2 = V(^1R_p)$ της απόδοσης του χαρτοφυλακίου, ύστερα από μία χρονική μονάδα, ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις (Δούμπος, 2005):

$$\mu_p = w \cdot \mu^T \quad \text{και} \quad \sigma_p^2 = w \cdot \Sigma \cdot w^T = w \cdot S \cdot C \cdot S \cdot w^T$$

Όπου $w = [{}^0w_1 \ {}^0w_2 \ {}^0w_3 \ \dots \ {}^0w_n]$ και $\mu = [\mu_1 \ \mu_2 \ \mu_3 \ \dots \ \mu_n]$

$$\text{Και } \Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \dots & \sigma_{2n} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} & \dots & \sigma_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \sigma_{n3} & \dots & \sigma_{nn} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \sigma_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{13} & \dots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & 1 & \rho_{23} & \dots & \rho_{2n} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & 1 & \dots & \rho_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \rho_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \sigma_n \end{bmatrix}$$

Όπου οι αριθμοί ${}^0w_1, {}^0w_2, \dots, {}^0w_n$ είναι τα ποσοστά της παρούσας συμμετοχής της κάθε επένδυσης στο χαρτοφυλάκιο, Σ είναι ο (συμμετρικός) πίνακας συνδιακύμανσης με $\sigma_{ij} = \rho_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j$, όπου $1 \leq i, j \leq n$, $\mathbf{C}$ είναι ο (συμμετρικός) πίνακας συντελεστών συσχέτισης και $\mathbf{S}$ είναι ο διαγώνιος πίνακας τυπικών αποκλίσεων.

Αν 1L_P είναι οι ζημιές του χαρτοφυλακίου μετά από μια χρονική μονάδα, τότε για την αξία 1V_P του χαρτοφυλακίου μετά από μια χρονική μονάδα ισχύει:

$${}^1V_P = {}^0v_P(1 + {}^1R_P) = {}^0v_P - {}^1L_P, \text{ όπου } {}^1L_P = - {}^0v_P \cdot {}^1R_P$$

Υποτίθεται ότι η 1V ακολουθεί κανονική κατανομή $N(\mu_{{}^1V_P}, \sigma_{{}^1V_P})$ με μέση τιμή $\mu_{{}^1V_P} = {}^0v_P(1 + \mu_P)$ και τυπική απόκλιση $\sigma_{{}^1V_P} = {}^0v_P \sigma_P$, και κατά συνέπεια η 1L_P ακολουθεί κανονική κατανομή $N(\mu_{{}^1L_P}, \sigma_{{}^1L_P})$, με μέση τιμή $\mu_{{}^1L_P} = - {}^0v \cdot \mu_P$ και τυπική απόκλιση $\sigma_{{}^1L_P} = {}^0v_P \cdot \sigma_P$. Έτσι η απόλυτη VaR (absolute VaR- AVaR), για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης c , ορίζεται ως:

$$\Pr[{}^1L_P \leq AVaR_P] = c \Rightarrow \Phi\left(\frac{AVaR_P - \mu_{{}^1L_P}}{\sigma_{{}^1L_P}}\right) = c \Rightarrow$$

$$AVaR_P = \sigma_{{}^1L_P} \cdot \Phi^{-1}(c) + \mu_{{}^1L_P} \Rightarrow AVaR_P = {}^0v_P \cdot \sigma_P \cdot \Phi^{-1}(c) - {}^0v_P \cdot \mu_P \Rightarrow$$

$$AVaR_P = {}^0v_P \cdot (\sigma_P \cdot \Phi^{-1}(c) - \mu_P) = {}^0v_P \cdot (-{}^1r_P^*)$$

Όπου $\Phi(x)$ είναι η Σ.Κ.Π. της τυποποιημένης κανονικής κατανομής $N(0,1)$. Η τελευταία σχέση είναι η εξίσωση υπολογισμού της απόλυτης VaR. Υπολογιζόμενη κατά αυτόν τον τρόπο, η VaR υποδηλώνει την απόλυτη ζημία σε σχέση με την αρχική αξία της επένδυσης. Έχοντας υπολογίσει την AVaR για ένα χρονικό διάστημα t , άρα και την αντίστοιχη τυπική απόκλιση σ και μέση τιμή μ , ο υπολογισμός της AVaR' για ένα άλλο χρονικό διάστημα t' πραγματοποιείται μέσω της ακόλουθης σχέσης:

$$AVaR' = {}^0v \cdot (\sigma \cdot \sqrt{\frac{t'}{t}} \cdot \Phi^{-1}(c) - \mu \cdot t'/t)$$

Αν ο χρονικό ορίζοντας της AVaR είναι μεγάλος, δηλαδή αναζητείται η AVaR για την οποία ισχύει $\Pr[{}^1L_P \leq AVaR_P] = c$, $t \gg 1$, τότε θεωρώντας ότι ${}^1L_P \sim \Lambda(\mu_{{}^1L_P}, \sigma_{{}^1L_P})$ προκύπτουν πιο ακριβή αποτελέσματα.

Σχετική VaR

Ένας εναλλακτικός τρόπος θεώρησης της VaR είναι ο υπολογισμός της μέγιστης ζημίας σε σχέση με το προσδοκώμενο αποτέλεσμα της επένδυσης. Έτσι, για τη σχετική VaR (relative VaR- RVaR) ισχύουν τα ακόλουθα (Δούμπος, 2005):

$$\begin{aligned} \Pr[{}^1L_P - E({}^1L_P) \leq RVaR_P] &= c \Rightarrow \Pr[{}^1L_P \leq RVaR_P + \mu_{{}^1L_P}] = c \Rightarrow \\ \Phi\left(\frac{RVaR_P}{\sigma_{{}^1L_P}}\right) &= c \Rightarrow RVaR_P = \sigma_{{}^1L_P} \cdot \Phi^{-1}(c) \Rightarrow \\ RVaR_P &= {}^0v_P \cdot \sigma_P \cdot \Phi^{-1}(c) \end{aligned}$$

Η τελευταία σχέση είναι η εξίσωση υπολογισμού της σχετικής (relative) VaR. Αν ληφθεί υπόψη ότι $\sigma_P^2 = w \cdot \Sigma \cdot w^T$, τότε για τη σχετική VaR του χαρτοφυλακίου προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$\begin{aligned} RVaR_P^2 &= [RVaR_1 \ RVaR_2 \ RVaR_3 \ \dots \ RVaR_n] \cdot \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{13} & \dots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & 1 & \rho_{23} & \dots & \rho_{2n} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & 1 & \dots & \rho_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \rho_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \vdots \\ \sigma_n \end{bmatrix} \\ &= RVaR \cdot C \cdot RVaR^T \end{aligned}$$

Όπου $RVaR_i$, $1 \leq i \leq n$ είναι η σχετική αξία στον κίνδυνο της μεμονωμένης επένδυσης i , και ρ_{ij} , με $1 \leq i, j \leq n$, είναι ο συντελεστής συσχέτισης των επενδύσεων i και j . Η παραπάνω σχέση δεν ισχύει για τις απόλυτες VaR. Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- Αν $\rho_{ij} = 1 \ \forall i, \forall j$, τότε $RVaR_P = RVaR_1 + RVaR_2 + RVaR_3 + \dots + RVaR_n$
- Αν $\rho_{ij} = 0 \ \forall i, \forall j$, τότε $RVaR_P = \sqrt{RVaR_1^2 + RVaR_2^2 + RVaR_3^2 + \dots + RVaR_n^2}$
- Αν $\rho_{ij} = -1 \ \forall i, \forall j$, τότε $RVaR_P = |RVaR_1 - RVaR_2 - RVaR_3 - \dots - RVaR_n|$

Στην πρώτη περίπτωση, υπάρχει πλήρης θετική συσχέτιση μεταξύ των επενδύσεων και η σχετική VaR του χαρτοφυλακίου φτάνει στην μέγιστη τιμή της. Στη δεύτερη περίπτωση, οι αποδόσεις των επενδύσεων είναι ανεξάρτητες. Στην τρίτη περίπτωση, οι αποδόσεις των επενδύσεων είναι απολύτως αρνητικά συσχετισμένες και η σχετική VaR του χαρτοφυλακίου παίρνει την ελάχιστη τιμή της.

Η σχετική VaR που προκύπτει για $\rho_{ij} = 1, \forall i, \forall j$ ονομάζεται αδιαφοροποίητη (undiversified), καθώς είναι ουσιαστικά το άθροισμα των επιμέρους σχετικών VaR_i , $1 \leq i \leq n$. Στην πράξη ισχύει συνήθως $0 < |\rho_{ij}| < 1, \forall i, \forall j$, με αποτέλεσμα η σχετική VaR του χαρτοφυλακίου να είναι μικρότερη από την μέγιστη δυνατή τιμή της. Για τον λόγο αυτό, η σχετική VaR του χαρτοφυλακίου ονομάζεται διαφοροποιημένη (diversified). Η διαφορά μεταξύ της αδιαφοροποίητης και της διαφοροποιημένης σχετικής VaR ονομάζεται Κέρδος Διαφοροποίησης (Diversification Benefit – DB), δηλαδή ισχύει:

$$DB = RVaR_1 + RVaR_2 + RVaR_3 + \dots + RVaR_n - RVaR_P$$

Το κέρδος Διαφοροποίησης μπορεί να υπολογιστεί είτε με βάση τις σχετικές VaR, είτε με βάση τις απόλυτες VaR, καθώς και στις δύο περιπτώσεις προκύπτουν ίδιες τιμές. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι το Κέρδος Διαφοροποίησης δεν εξαρτάται από την αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου και τις αναμενόμενες αποδόσεις των επενδύσεων από τις οποίες αυτό αποτελείται.

Γνωρίζοντας την $RVaR$ για ένα χρονικό διάστημα t , ο υπολογισμός της $RVaR'$ για ένα άλλο χρονικό διάστημα t' πραγματοποιείται μέσω της σχέσης:

$$RVaR' = RVaR \cdot \sqrt{t'/t}$$

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι ισχύει πάντοτε $RVaR > AVaR$ αν $\mu_P < 0$.

Οριακή VaR

Συχνά εμφανίζεται η ανάγκη αξιολόγησης της επίδρασης του κάθε επιμέρους χρεογράφου στη συνολική VaR του χαρτοφυλακίου. Η πληροφορία αυτή μπορεί να αποτυπωθεί μέσω της οριακής VaR (marginal VaR). Η οριακή VaR μιας επένδυσης εκφράζει τη μεταβολή της $RVaR$ του χαρτοφυλακίου όταν η αξία της επένδυσης αυξηθεί κατά μια μονάδα. Δεδομένου, ενός χαρτοφυλακίου αξίας 0v_P , αποτελούμενου από n χρεόγραφα, η οριακή VaR ορίζεται ως η μεταβολή της $RVaR$ του χαρτοφυλακίου η οποία προέρχεται από μια οριακή μεταβολή του ποσού 0v_i που είναι επενδυμένο σε ένα χρεόγραφο i κατά μια νομισματική μονάδα. Για τον υπολογισμό της οριακής VaR, που οφείλεται σε ένα χρεόγραφο i , $1 \leq i \leq n$, (ΔVaR_i), υπολογίζεται η παράγωγος της σχετικής VaR του χαρτοφυλακίου ως προς το ποσό 0v_i , όπως φαίνεται παρακάτω (Δούμπος, 2005):

$$\Delta VaR_i = \frac{d(RVaR_P)}{d({}^0v_i)} = \frac{d({}^0v_P \cdot \sigma_P \cdot \Phi^{-1}(c))}{d(w_i \cdot {}^0v_P)} = \Phi^{-1}(c) \cdot \frac{d\sigma_P}{dw_i}$$

Επειδή $\frac{d\sigma_P}{dw_i} = \frac{\sigma_{iP}}{\sigma_P}$, συνεπώς η οριακή VaR υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\Delta VaR_i = \Phi^{-1}(c) \cdot \frac{\sigma_{iP}}{\sigma_P}, \text{ όπου } \sigma_{iP} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \sigma_{ij}$$

Σημειώνεται ότι η οριακή VaR είναι θετική εάν $\sigma_{iP} > 0$ και αρνητική στην αντίθετη περίπτωση. Αυτό σημαίνει, ότι η αύξηση του ποσού που είναι επενδυμένο σε ένα χρεόγραφο i , το οποίο είναι θετικά συσχετισμένο με το χαρτοφυλάκιο, θα αυξήσει τον κίνδυνο του χαρτοφυλακίου, ενώ αντίθετα η αύξηση του ποσού που είναι επενδυμένο σε ένα χρεόγραφο i , το οποίο είναι αρνητικά συσχετισμένο με το χαρτοφυλάκιο, θα μειώσει τον κίνδυνο του χαρτοφυλακίου. Αντίστοιχα, η μείωση του ποσού που είναι επενδυμένο σε ένα χρεόγραφο i , το οποίο είναι θετικά συσχετισμένο με το χαρτοφυλάκιο θα μειώσει τον κίνδυνο του χαρτοφυλακίου, ενώ η μείωση του ποσού που είναι επενδυμένο σε ένα χρεόγραφο i το οποίο είναι αρνητικά συσχετισμένο με το χαρτοφυλάκιο θα αυξήσει τον κίνδυνο του χαρτοφυλακίου.

Συνιστώσα VaR

Η ανάλυση για τον υπολογισμό της οριακής μεταβολής της VaR του χαρτοφυλακίου δεδομένης μιας οριακής μεταβολής του επενδυμένου ποσού σε μία από τις επενδύσεις του χαρτοφυλακίου, μπορεί να επεκταθεί για τον προσδιορισμό της μεταβολής της VaR ενός χαρτοφυλακίου, όταν μεταβληθεί η σύνθεσή του με την εξαγωγή από αυτό κάποιων χρεογράφων.

Ως συνιστώσα (component) VaR της επένδυσης i ($CVaR_i$) ορίζεται η μεταβολή στην $RVaR$ ενός χαρτοφυλακίου, στο οποίο συμμετέχει το χρεόγραφο i , όταν ρευστοποιηθεί το χρεόγραφο αυτό, δηλαδή ισχύει:

$$CVaR_i = RVaR_P - RVaR_{P-i}$$

Δεδομένου ότι η μοναδιαία αύξηση της επένδυσης i επιφέρει μεταβολή ΔVaR_i , είναι προφανές ότι η αφαίρεση της επένδυσης i από το χαρτοφυλάκιο θα επιφέρει την ακόλουθη μεταβολή:

$$CVaR_i \approx (\Delta VaR_i) \cdot {}^0v_i = (\Delta VaR_i) \cdot w_i \cdot {}^0v_P = \Phi^{-1}(c) \cdot w_i \cdot {}^0v_P \cdot \frac{\sigma_{iP}}{\sigma_P}$$

Η σχέση αυτή ισχύει κατά προσέγγιση, καθώς η ΔVaR_i υπολογίστηκε για οριακές μεταβολές στη σύνθεση του χαρτοφυλακίου, ενώ στην περίπτωση της $CVaR_i$ η πλήρης ρευστοποίηση της επένδυσης i είναι πιθανό να οδηγήσει σε μια σημαντική αλλαγή της σύνθεσης του χαρτοφυλακίου. Η ακρίβεια της προσέγγισης είναι μεγαλύτερη για χαρτοφυλάκια αποτελούμενα από πολλά χρεόγραφα, όπου το ποσοστά συμμετοχής των χρεογράφων είναι μικρά.

Το άθροισμα των $CVaR_i$ όλων των επενδύσεων i , που συνθέτουν ένα χαρτοφυλάκιο, είναι ίσο με τη σχετική VaR του χαρτοφυλακίου. Η πρόταση αυτή αποδεικνύεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\begin{aligned}
 CVaR_1 + CVaR_2 + CVaR_3 + \dots + CVaR_n &= \Phi^{-1}(c) \cdot \frac{{}^0v_P}{\sigma_P} \cdot \sum_{i=1}^n w_i \cdot \sigma_{ip} = \\
 &= \Phi^{-1}(c) \cdot \frac{{}^0v_P}{\sigma_P} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_i \cdot w_j \cdot \sigma_{ij}) = \Phi^{-1}(c) \cdot \frac{{}^0v_P}{\sigma_P} \sigma_P^2 = \Phi^{-1}(c) \cdot {}^0v_P \cdot \sigma_P \Rightarrow \\
 CVaR_1 + CVaR_2 + CVaR_3 + \dots + CVaR_n &= RVaR_P
 \end{aligned}$$

Εάν η $CVaR_i$ ενός χρεογράφου i είναι θετική ($\sigma_{ip} > 0$), αυτό σημαίνει ότι το χρεόγραφο αυξάνει τον κίνδυνο του χαρτοφυλακίου και συνεπώς η ρευστοποίησή του θα μειώσει τον κίνδυνο. Αντίθετα εάν η $CVaR_i$ ενός χρεογράφου είναι αρνητική ($\sigma_{ip} < 0$), αυτό σημαίνει ότι το χρεόγραφο μειώνει τον κίνδυνο του χαρτοφυλακίου και συνεπώς η ρευστοποίησή του θα αυξήσει τον κίνδυνο.

Επαυξημένη VaR

Αντίστοιχα με τη συνιστώσα VaR, η επαυξημένη VaR (incremental VaR- IVaR) ορίζεται ως η μεταβολή της RVaR ενός χαρτοφυλακίου, η οποία προέρχεται από την προσθήκη μιας νέας επένδυσης k στο ήδη υπάρχον χαρτοφυλάκιο. Ο υπολογισμός της IVaR μπορεί να γίνει αντίστοιχα με την CVaR, όπως φαίνεται ακολούθως (Δούμπος, 2005):

$$IVaR_k \approx \Phi^{-1}(c) \cdot w_k \cdot {}^0v_P \cdot \frac{\sigma_{kP}}{\sigma_k}, \text{ όπου } \sigma_{kP} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \sigma_{kj} \text{ και } k \notin P$$

Όπου w_k είναι το ποσοστό συμμετοχής της επένδυσης k στο νέο χαρτοφυλάκιο που διαμορφώνεται και σ_{kP} είναι η συνδιακύμανση της νέας επένδυσης k με το αρχικό χαρτοφυλάκιο.

Το βέλτιστο ποσό 0v_k , που πρέπει να επενδυθεί στη νέα επένδυση, μπορεί να υπολογιστεί θεωρώντας τη διακύμανση του νέου χαρτοφυλακίου που διαμορφώνεται. Η αξία του νέου χαρτοφυλακίου θα είναι ${}^0v_P' = {}^0v_P + {}^0v_k$, όπου 0v_P είναι η αξία του αρχικού χαρτοφυλακίου και ${}^0v_P'$ είναι η αξία του νέου χαρτοφυλακίου. Συμβολίζοντας με $w_k = {}^0v_k / ({}^0v_P + {}^0v_k)$ το ποσοστό συμμετοχής της επένδυσης k στο νέο χαρτοφυλάκιο και με $w_P = {}^0v_P / ({}^0v_P + {}^0v_k)$ το αντίστοιχο ποσοστό συμμετοχής του ήδη υπάρχοντος χαρτοφυλακίου στο νέο χαρτοφυλάκιο, η διακύμανση του νέου χαρτοφυλακίου υπολογίζεται ως:

$$\sigma_P'^2 = w_k^2 \cdot \sigma_k^2 + w_P^2 \cdot \sigma_P^2 + 2 \cdot w_k \cdot w_P \cdot \sigma_{kP}$$

Το βέλτιστο ποσό ${}^0v_k^*$, που πρέπει να τοποθετηθεί στη νέα επένδυση k , ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος του νέου χαρτοφυλακίου, μπορεί εύκολα να υπολογιστεί θέτοντας την παράγωγο ως προς w_k ίση με το μηδέν, όπως φαίνεται:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\sigma_P'^2}{dw_k} &= 0 \Rightarrow 2 \cdot w_k^* \cdot \sigma_k^2 + 2 \cdot w_P \cdot \sigma_{kP}^2 = 0 \Rightarrow w_k^* = w_P \cdot \frac{\sigma_{kP}^2}{\sigma_k^2} \Rightarrow \\
 {}^0v_k^* &= - {}^0v_P \cdot \frac{\sigma_{kP}}{\sigma_k^2}
 \end{aligned}$$

Δεσμευμένη VaR

Η δεσμευμένη ή υπό συνθήκη απόλυτη VaR (conditional AVaR- CDAVaR) εκφράζει τις αναμενόμενες απόλυτες ζημίες του χαρτοφυλακίου, δεδομένου ότι οι απόλυτες ζημίες του χαρτοφυλακίου υπερβαίνουν την AVaR. Η δεσμευμένη απόλυτη VaR ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση (Δούμπος, 2005):

$$CDAVaR = E({}^1L_P | {}^1L_P > AVaR) = \frac{\int_{AVaR}^{+\infty} x \cdot f_{{}^1L_P}(x) dx}{\int_{AVaR}^{+\infty} f_{{}^1L_P}(x) dx}$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο παρονομαστής του παραπάνω κλάσματος ισούται με $1 - c$, όπου c το επίπεδο εμπιστοσύνης. Αν υποθέσουμε ότι ${}^1L_P \sim N(\mu_{{}^1L_P}, \sigma_{{}^1L_P})$, τότε ισχύουν:

$$\begin{aligned} CDAVaR &= \frac{\int_{AVaR}^{+\infty} x \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{{}^1L_P}} \cdot \exp\left\{-\frac{(x - \mu_{{}^1L_P})^2}{2\sigma_{{}^1L_P}^2}\right\} \cdot dx}{\int_{AVaR}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{{}^1L_P}} \cdot \exp\left\{-\frac{(x - \mu_{{}^1L_P})^2}{2\sigma_{{}^1L_P}^2}\right\} \cdot dx} \Rightarrow \\ CDAVaR &= \frac{\int_{AVaR}^{+\infty} (x - \mu_{{}^1L_P}) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{{}^1L_P}} \cdot \exp\left\{-\frac{(x - \mu_{{}^1L_P})^2}{2\sigma_{{}^1L_P}^2}\right\} \cdot dx + \mu_{{}^1L_P}(1 - c)}{1 - c} \\ CDAVaR &= \frac{1}{1 - c} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \sigma_{{}^1L_P} \cdot \exp\left\{-\frac{(AVaR - \mu_{{}^1L_P})^2}{2\sigma_{{}^1L_P}^2}\right\} + \mu_{{}^1L_P} \end{aligned}$$

Η δεσμευμένη σχετική VaR εκράζει τις σχετικές ως προς το αναμενόμενο αποτέλεσμα της επένδυσης ζημίες, δεδομένου ότι οι σχετικές ως προς το αναμενόμενο αποτέλεσμα ζημίες υπερβαίνουν τη σχετική VaR. Ακολουθώντας διαδικασία όμοια με την παραπάνω, αποδεικνύεται ότι η δεσμευμένη σχετική VaR (conditional RVaR- CDRVaR) υπολογίζεται μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$\begin{aligned} CDRVaR &= E\left(({}^1L_P - \mu_{{}^1L_P}) | ({}^1L_P - \mu_{{}^1L_P}) > RVaR\right) \Rightarrow \\ CDRVaR &= \frac{1}{1 - c} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \sigma_{{}^1L_P} \cdot \exp\left\{-\frac{RVaR^2}{2\sigma_{{}^1L_P}^2}\right\} \end{aligned}$$

Για τις παραμέτρους $\mu_{1_{L_P}}$, $\sigma_{1_{L_P}}$ είναι γνωστό ότι ισχύει $\mu_{1_{L_P}} = -{}^0v_P \cdot \mu_P$ και $\sigma_{1_{L_P}} = {}^0v_P \cdot \sigma_P$. Επίσης, ισχύουν πάντοτε οι ακόλουθες σχέσεις :

- $CDAVaR > AVaR$
- $CDRVaR > RVaR$
- $CDRVaR > CDAVaR$ εάν $\mu_{1_{L_P}} < 0$

5.7 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρατίθενται αναλυτικά οι διάφορες μέθοδοι υπολογισμού της VaR, με τον βασικό διαχωρισμό να γίνεται σε παραμετρικές και μη. Αρχικά, παρουσιάστηκε η μέθοδος Διακύμανσης-Συνδιακύμανσης, καθώς και κάποιες αναλυτικές μέθοδοι που αποτελούν τις παραμετρικές μεθόδους υπολογισμού. Στη συνέχεια, αναλύθηκαν οι μέθοδοι της Ιστορικής προσομοίωσης, της προσέγγισης τοπικού Ιστογράμματος, της μεθόδου Kernel, αλλά και τέλος της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo, που θα μας απασχολήσει και στο 6^ο Κεφάλαιο. Ακολούθησε μια συγκριτική ανάλυση των μη παραμετρικών μεθόδων σε έξι κρίσιμα σημεία με σκοπό την κατανόηση των προτερημάτων, αλλά και των ελλείψεων της κάθε μεθόδου. Τέλος, δόθηκε το απαραίτητο μαθηματικό υπόβαθρο σε ότι αφορά την θεωρία πιθανοτήτων και τα διάφορα στατιστικά μεγέθη, τα οποία χρησιμοποιούνται στον αναλυτικό υπολογισμό των διαφόρων ειδών της VaR με τις μεθόδους με τις οποίες ασχοληθήκαμε στο συγκεκριμένο κεφάλαιο. Το κεφάλαιο ολοκληρώθηκε με την αναλυτική περιγραφή των παραπάνω υπολογισμών για διάφορα είδη της VaR.

6. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MONTE CARLO

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μη παραμετρική μέθοδος υπολογισμού της VaR, η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo. Αρχικά γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη της μεθόδου, από την εμφάνισή της μέχρι και σήμερα. Στη συνέχεια, ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή της μεθόδου και τα βασικά βήματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός μοντέλου υπολογισμού της VaR, μέσω των προσομοιώσεων Monte Carlo, για ένα τυχαίο χαρτοφυλάκιο. Στη συνέχεια, αναλύεται λεπτομερώς το πιο κρίσιμο βήμα της μεθόδου, που αφορά την παραγωγή διαφορετικών τυχαίων σεναρίων για τις μελλοντικές τιμές του χαρτοφυλακίου, ενώ το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την περιγραφή των υπολοίπων βημάτων της μεθόδου. Συγκεκριμένα, πρόκειται για την αποτίμηση του χαρτοφυλακίου, αλλά και την περίληψη των αποτελεσμάτων, που επιστρέφονται από την εφαρμογή της προσομοίωσης.

6.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η αποτίμηση του κινδύνου για ένα χαρτοφυλάκιο ή για μια μόνο μετοχή χρησιμοποιώντας ως δείκτη μέτρησης την Αξία σε Κίνδυνο (VaR) μπορεί να γίνει με τις μεθόδους που αναλύθηκαν εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo, στην οποία θα επικεντρωθούμε, είναι μια από τις διάφορες προσεγγίσεις, η οποία επιτρέπει την παραγωγή ολόκληρης της κατανομής των απωλειών, και ως εκ τούτου, τον υπολογισμό της VaR σε οποιοδήποτε επίπεδο εμπιστοσύνης επιλεχθεί.

Πρώτος, τη δεκαετία του 1930, ο Enrico Fermi χρησιμοποίησε μεθόδους όμοιες με αυτήν της Monte Carlo για τον υπολογισμό της διάχυσης των νετρονίων. Η εμφάνιση της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo τοποθετείται χρονικά στο 1944. Τα εύσημα για την ανακάλυψη της μεθόδου δίνονται στον μαθηματικό Stanislaw Ulam, ο οποίος εργάστηκε κατά την διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου στο «Manhattan Project», με το πρώτο βιβλίο, που αφορούσε την μέθοδο, να εκδίδεται το 1953, με συγγραφείς τους Ulam et Metropolis (Eckhardt, 1987). Η ονοματοδοσία της μεθόδου πιστώνεται στον Metropolis, συνεργάτη του Von Neumann, με το όνομα Monte Carlo να επιλέγεται λόγω του ομώνυμου καζίνο στο Monaco, παρομοιάζοντας έτσι τη γεννήτρια δημιουργίας τυχαίων αριθμών της μεθόδου, με το παιχνίδι της ρουλέτας, που συναντάμε στο Monte Carlo. Η μέθοδος αρχικά γνώρισε πολλές παραλλαγές, ενώ της δόθηκαν επίσης αρκετές ερμηνείες, πριν να φτάσει στη μορφή με την οποία την προσεγγίζουμε σήμερα, με τον Ulam να συνεργάζεται με τον Von Neumann στην ανάπτυξη αλγορίθμων δειγματοληψίας σημαντικότητας και απόρριψης (Von Neumann, 1951).

Την δεκαετία του 1970 ο Hastings γενίκευσε τον αλγόριθμο του Metropolis, οδηγώντας στην ανάπτυξη των MCMC (Markov Chain Monte Carlo), ενώ με την πρόοδο της τεχνολογίας φτάνουμε στο σήμερα, όπου οι μέθοδοι Monte Carlo χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων σε πολλά επιστημονικά πεδία, όπως εφαρμοσμένη στατιστική, μηχανική, οικονομικό και επιχειρησιακό τομέα, πληροφορική, τηλεπικοινωνίες, καθώς και θετικές επιστήμες.

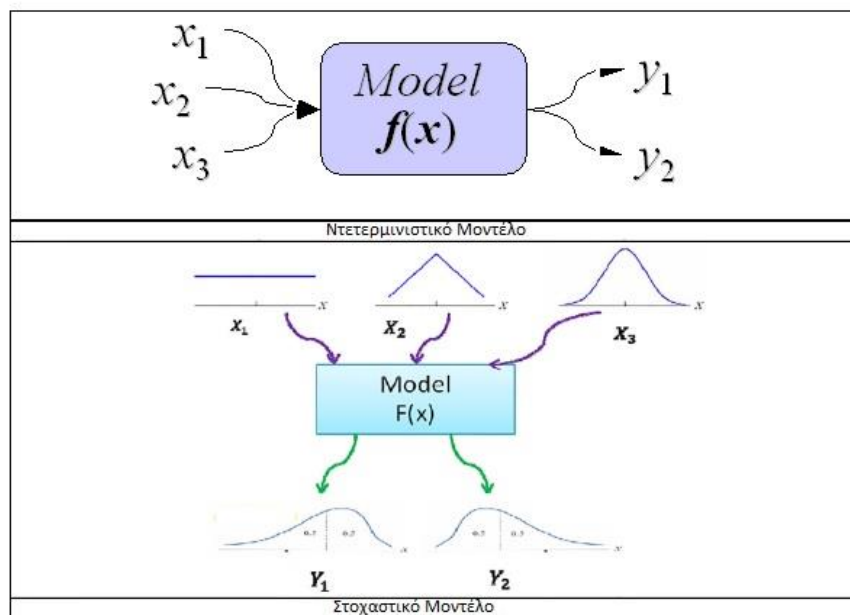
Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι ιδιαιτέρως χρήσιμη στην αποτίμηση του κινδύνου μέσω της VaR για χαρτοφυλάκια που περιέχουν προθεσμιακά προϊόντα (options), λόγω της μη γραμμικής σχέσης μεταξύ των αποδόσεων των στοιχείων του χαρτοφυλακίου και των απολαβών από τα προθεσμιακά συμβόλαια. Εξαιτίας αυτής της προσαρμοστικότητάς της, η μέθοδος της Monte Carlo, είναι κατά πολύ η πιο ισχυρή μέθοδος στον υπολογισμό της VaR. Αξίζει πάντως να σημειωθεί ότι πρόκειται για μια ιδιαίτερα πολυέξοδη μέθοδο, υπό το πρίσμα των επενδύσεων σε επιστημονικές μεθόδους, καθώς και της ανάπτυξη συστημάτων βελτιστοποίησης αυτής.

6.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo δημιουργεί τυχαίες τιμές προερχόμενες από μια στοχαστική μεταβλητή, με την χρήση γεννήτριας τυχαίων, κανονικά κατανεμημένων, αριθμών στο διάστημα $[0,1]$, χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα την αθροιστική συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων, που συνδέεται με την στοχαστική μεταβλητή. Η διαδικασία της μεθόδου δεν αφορά μια τεχνική βελτιστοποίησης των αποφάσεων. Οι προσομοιώσεις στοχεύουν στη λύση ενός προβλήματος, με τη χρήση διαδραστικών αλγορίθμων και την ύπαρξη καλά ορισμένων βημάτων. Τα δεδομένα, που συνήθως λαμβάνονται ως είσοδος, είναι τυχαίες μεταβλητές και η όλη διαδικασία μπορεί να περιγραφεί με 5 γενικά βήματα:

- Δημιουργία παραμετρικού μοντέλου, $y = f(x_1, x_2, \dots, x_q)$
- Δημιουργία μοντέλου τυχαίων μεταβλητών εισόδου, $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iq}$
- Υπολογισμοί και καταγραφή των τιμών της y_i , για είσοδο x_i
- Επανάληψη των βημάτων 2 και 3 για $i = 1$ έως n φορές
- Ανάλυση των αποτελεσμάτων με τη χρήση ιστογραμμάτων, ορίων εμπιστοσύνης και άλλους στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την προσομοίωση

Στο παρακάτω σχήμα αποτυπώνεται η βασική διαφορά ανάμεσα σε ντετερμινιστικά και στοχαστικά μοντέλα υπολογισμών. Ένα παραμετρικό ντετερμινιστικό μοντέλο χρησιμοποιεί μια ομάδα από μεταβλητές εισόδου, που ανταποκρίνονται σε μια ομάδα μεταβλητών εξόδου. Σε ένα στοχαστικό μοντέλο αβεβαιότητας, οι μεταβλητές εισόδου είναι τυχαίες (και περιγράφονται από μια τυχαία κατανομή), οδηγώντας επίσης, σε τυχαίες μεταβλητές εξόδου, οι οποίες συνήθως ακολουθούν την κανονική κατανομή. Το δεύτερο μοντέλο ουσιαστικά αποτυπώνει τη βασική αρχή της μεθόδου Monte Carlo (Platon, Constantinescu, 2014).



Σχήμα 6.1. Ντετερμινιστικά-Στοχαστικά μοντέλα υπολογισμού (Platon, Constantinescu, 2014).

Η προσομοίωση Monte Carlo είναι και αυτή μια μη παραμετρική μέθοδος, εφόσον έχει υποτεθεί συγκεκριμένη κατανομή για τις αποδόσεις των στοιχείων του χαρτοφυλακίου που μελετάται, ενώ ταυτόχρονα υπολογίζονται οι ροπές που θα εισαχθούν στις προσομοιώσεις. Παρόλα αυτά δεν κρίνεται σκόπιμο να υποτεθεί η πολυδιάστατη κανονική κατανομή για κάθε παράγοντα κινδύνου που θα ληφθεί υπόψη κατά την αποτίμηση του κινδύνου. Παρακάτω θα αναλυθούν τρία βασικά βήματα της μεθόδου Monte Carlo προσομοίωσης:

- Παραγωγή Σεναρίων: Με τη χρήση εκτιμήσεων για τις παραμέτρους των στοιχείων του χαρτοφυλακίου (μέση τιμή, διακύμανση, συσχετίσεις) και ένα μοντέλο για τις αποδόσεις των τιμών, παράγεται ένας μεγάλος αριθμός από μελλοντικά σενάρια τιμών.
- Αποτίμηση Χαρτοφυλακίου: Για κάθε σενάριο υπολογίζεται η αξία του χαρτοφυλακίου είτε με πλήρη αποτίμηση, είτε προσεγγιστικά κάνοντας χρήση κάποιας άλλης μεθόδου, για παράδειγμα της μεθόδου δέλτα.
- Ανασκόπηση: Τα αποτελέσματα, που προκύπτουν από την προσομοίωση, παρουσιάζονται με τη μορφή κατανομής χαρτοφυλακίου ή με τη μορφή του μέτρου κινδύνου.

6.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Το πρώτο βήμα στην προσομοίωση MC είναι η επιλογή σεναρίου για τις τιμές των αξιόγραφων του χαρτοφυλακίου. Αφού γίνει η επιλογή του σεναρίου, θα χρειαστεί να εκτιμηθούν κάποιες από τις παραμέτρους του, όπως διακυμάνσεις και συσχετίσεις, βασισμένες στα ιστορικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα.

Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η προσομοίωση ενός μεγάλου αριθμού πλασματικών (dummy) τιμών για τις τυχαίες μεταβλητές που εμπλέκονται. Στην MC προσομοίωση αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση τυχαίων αριθμών (random numbers), οι οποίοι παράγονται μέσω μιας γεννήτριας παραγωγής τυχαίων αριθμών (random number generator). Οι τυχαίοι αυτοί αριθμοί χωρίζονται σε ψευδο-τυχαίους (pseudo-random) και ημι-τυχαίους (quasi-random), μέσω των οποίων προκύπτουν δύο μέθοδοι παραγωγής σεναρίων. Οι δύο αυτές μέθοδοι σεναρίων προκύπτουν από δείγμα της κατανομής που περιγράφει τη δυναμική των παραγόντων κινδύνου, γεγονός το οποίο απαιτεί έναν αποτελεσματικό τρόπο παραγωγής τυχαίων αριθμών ομοιόμορφα κατανεμημένων στο μοναδιαίο διάστημα $[0,1]$. Αμφότερες μέθοδοι είναι ασθενώς ντετερμινιστικές και παράγουν μια σειρά αριθμών, οι ιδιότητες των οποίων είναι όμοιες με εκείνες των τυχαίων ομοιόμορφα κατανεμημένων μεταβλητών.

Η αποτίμηση και διαχείριση κινδύνου έχει ως βασικό στόχο την περιγραφή των μελλοντικών αλλαγών στην αξία του υπό εξέταση χαρτοφυλακίου. Αυτό επιτυγχάνεται προβλέποντας τις αλλαγές στην αξία του κάθε στοιχείου που το αποτελεί, μεμονωμένα, με γνώμονα τις αλλαγές του παρελθόντος. Για την αξιολόγηση των μελλοντικών μεταβολών των τιμών, είναι απαραίτητη η διαμόρφωση τόσο της συμπεριφοράς, όσο και της κατανομής των αποδόσεων μέσα στον χρονικό ορίζοντα που θα επιλεχθεί.

Το πιο συνηθισμένο μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι η γεωμετρική κίνηση Brown (GBM-Geometric Brownian Motion). Το συγκεκριμένο μοντέλο διασπά την απόδοση του αξιόγραφου dP/P σε δύο μέρη. Το ένα μέρος αφορά το προβλέψιμο, δηλαδή το ντετερμινιστικό κομμάτι, και αποτυπώνεται στην εξίσωση της απόδοσης με τον όρο μdt , όπου μ (drift) είναι το μέτρο της μέσης αύξησης του λόγου της τιμής του αξιόγραφου. Σε πιο απλά μοντέλα το μ επιλέγεται να είναι σταθερό, σε αντίθεση με πιο πολύπλοκα μοντέλα, όπου εκφράζεται συναρτήσει του χρόνου. Το δεύτερο μέρος της εξίσωσης απεικονίζει τις τυχαίες μεταβολές των τιμών, οι οποίες αλληλεπιδρούν με τις εξωτερικές επιδράσεις, και παρουσιάζεται μέσω ενός τυχαίου δείγματος από την κανονική κατανομή με μέσο όρο μηδέν και τυπική απόκλιση σ . Η συνεισφορά αυτού του μέλους στο μοντέλο είναι ο όρος σdz , όπου ο όρος dz αντιπροσωπεύει τη διαδικασία Wiener (Wiener process). Η διαδικασία Wiener χαρακτηρίζεται από τρεις βασικές ιδιότητες:

- $z_0 = 0$
- Η z_t είναι συνεχής
- Η z_t έχει ανεξάρτητα δείγματα, $z_t - z_s \sim N(0, t - s)$ για $0 < s < t$

Εάν συνδυαστούν τα δύο παραπάνω μέρη, ντετερμινιστικό και στοχαστικό, προκύπτει η στοχαστική διαφορική εξίσωση (Stochastic Differential Equation – SDE):

$$\frac{dP}{P} = \mu dt + \sigma dz$$

Όπου το σ εκφράζει τη μεταβλητότητα, και αν $\sigma=0$ τότε η τιμή του αξιόγραφου γίνεται πλήρως ντετερμινιστική και η μελλοντική τιμή του μπορεί να προβλεφθεί με βεβαιότητα.

Η παραπάνω στοχαστική διαφορική εξίσωση είναι ένα ιδιαίτερο παράδειγμα του τυχαίου περιπάτου (random walk) και μπορεί να θεωρηθεί ως μέθοδος παραγωγής χρονοσειρών.

Ωστόσο, δεν μπορεί να λυθεί έτσι ώστε να προκύψει ένα ντετερμινιστικό «μονοπάτι» (path) για την τιμή του στοιχείου του χαρτοφυλακίου, αλλά μπορεί να δώσει ιδιαίτερα σημαντικές πληροφορίες για αυτήν, εάν προσεγγιστεί πιθανοθεωρητικά. Επίσης, το παραπάνω μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί αρκετά καλά σε πραγματικές χρονοσειρές, ειδικότερα σε περιπτώσεις μετοχών και δεικτών. Σε απλές περιπτώσεις, όπως δικαιώματα ευρωπαϊκού τύπου (European style options), μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο Black Scholes. Αντίθετα, σε πιο σύνθετες περιπτώσεις, όπως «εξωτικά» δικαιώματα (exotic options) η μέθοδος Monte Carlo αποτελεί ένα πολύ ισχυρό εργαλείο καθορισμού των πιθανών «μονοπατιών» (paths).

Πρακτικά, η διαδικασία με απειροελάχιστες αυξήσεις του χρόνου dt , προσεγγίζεται ικανοποιητικά από διακριτές μετατοπίσεις μεγέθους Δt . Αν t οριστεί ως ο τρέχων χρόνος, T ο χρονικός ορίζοντας της μελέτης και $\tau = T - t$ το διάστημα στο οποίο θα επικεντρωθεί η ανάλυση και η αποτίμηση του κινδύνου, τότε για να παραχθούν οι τιμές P_t στο διάστημα τ , χωρίζουμε το διάστημα σε n προσαναυξήσεις μεγέθους $\Delta t = \tau/n$. Ολοκληρώνοντας το dP/P σε ένα πεπερασμένο διάστημα, προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta P_t = P_{t-1}(\mu \Delta t + \sigma Z \sqrt{\Delta t})$$

Όπου Z είναι τυχαία μεταβλητή, που ακολουθεί την τυπική κανονική κατανομή με μέση τιμή ίση με το μηδέν και μοναδιαία διακύμανση. Σημαντικό μειονέκτημα του παραπάνω μοντέλου αποτελεί η ύπαρξη μιας μη μηδενικής πιθανότητας οι τιμές που παράγονται να είναι αρνητικές. Για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο, συνίσταται η χρήση του λογαριθμικού μοντέλου (log-price model) $p_t = \log P_t$, ως «random walk» με κανονικά κατανεμημένες μεταβολές, δηλαδή :

$$p_t = \mu \Delta t + p_{t-1} + \sigma Z_t \sqrt{\Delta t}$$

Όπου οι Z_t είναι ανεξάρτητες και ισόνομες τυχαίες μεταβλητές, οι οποίες ακολουθούν την τυπική κανονική κατανομή με μέση τιμή ίση με το μηδέν και μοναδιαία διακύμανση, $Z \sim N(0,1)$. Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί ένα μοντέλο για λογαριθμικές μεταβολές των τιμών ή συνεχείς μικτές αποδόσεις. Η έκφραση για το P_t , αν είναι γνωστή η προηγούμενη τιμή του P_{t-1} , δίνεται από τον τύπο :

$$P_t = P_{t-1} \exp(\mu \Delta t + \sigma Z \sqrt{\Delta t})$$

Με το παραπάνω μοντέλο για το P_t , δεν μπορούν να εμφανιστούν αρνητικές τιμές, εφόσον τόσο ο όρος P_{t-1} , όσο και το $(\mu\Delta t + \sigma Z\sqrt{\Delta t})$ είναι θετικά για κάθε τιμή του t . Επιπλέον, όσο $Z \sim N(0,1)$, τότε η P_t ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή (lognormal distribution), δηλαδή ο λογάριθμος της ακολουθεί την κανονική κατανομή,

$$\ln P_t \sim N(t\mu + \ln P_0, t\sigma^2)$$

Το παραπάνω συμπέρασμα αποδεικνύεται ως εξής:

$$E(P_t^n) = E((e^{\ln P_t})^n) = E\left((e^{\sigma\sqrt{t}Z + t\mu + \ln P_0})^n\right) = P_0^n e^{nt\mu} E(e^{n\sigma\sqrt{t}Z})$$

Αλλά,

$$E(e^{uZ}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{uz} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}(z-u)^2 + \frac{1}{2}u^2} dz = e^{\frac{1}{2}u^2}$$

Και συνεπώς,

$$E(P_t^n) = P_0^n e^{nt\mu + \frac{1}{2}n^2 t\sigma^2}$$

Από όπου προκύπτει ότι:

$$E(P_t) = P_0 e^{t(\mu + \frac{1}{2}\sigma^2)}, V(P_t) = E(P_t^2) - (E(P_t))^2 = P_0^2 e^{2r(\mu + \frac{1}{2}\sigma^2)} (e^{t\sigma^2} - 1)$$

Το παραπάνω μοντέλο P_t περιγράφει πως οι τιμές διάφορων οικονομικών χρεογράφων εξελίσσονται στον χρόνο, υποθέτοντας ότι :

- Οι λογαριθμικές μεταβολές των τιμών είναι κατανεμημένες σε κάθε χρονική στιγμή με μέσο μηδέν και σταθερή διακύμανση σ^2 .
- Οι λογαριθμικές μεταβολές των τιμών είναι ανεξάρτητα κατανεμημένες.

Παρόλα αυτά, μια πιο λεπτομερής μελέτη των δεδομένων της αγοράς, φανερώνει πως οι παραπάνω υποθέσεις δεν ικανοποιούνται πάντα και πλήρως. Οι χρονολογικές σειρές παρουσιάζουν ενδείξεις «ομαδοποιημένης» διακύμανσης. Δηλαδή, περίοδοι χαμηλής διασποράς ακολουθούνται από περιόδους ιδιαίτερα υψηλής επικινδυνότητας ως προς τις αποδόσεις της αγοράς. Στην πράξη, οι επόμενες προτάσεις τεκμηριώνονται επαρκώς όσον αφορά τις λογαριθμικές μεταβολές των οικονομικών μεγεθών.

1. Η διασπορά των λογαριθμικών μεταβολών διαφέρει μέσα στο χρόνο. Για παράδειγμα παρουσιάζουν ετεροσκεδαστικότητα (heteroscedastic) και για το λόγο αυτό παραβιάζουν την υπόθεση των ισόνομων (identical assumption) τυχαίων μεταβλητών.
2. Ενώ οι λογαριθμικές μεταβολές έχουν μικρές αυτοσχετίσεις (autocorrelations), τα τετράγωνά τους παρουσιάζουν αυτοσυσχέτιση στατιστικά σημαντική, γεγονός που σημαίνει ότι και οι διακυμάνσεις τους είναι αυτοσυσχετισμένες (ARCH model).

3. Οι συνδιακυμάνσεις των αποδόσεων είναι αυτοσυσχετισμένες και κατέχουν ιδιαίτερη δυναμική.

Αξίζει τέλος να σημειωθεί πως αν οι κατανομές των αποδόσεων αφορούν μεγάλες χρονικές περιόδους, τότε διαφέρουν κατά πολύ από τις ημερήσιες κατανομές αποδόσεων. (π.χ μηνιαίες ή τριμηνιαίες).

Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, όπως γίνεται αντιληπτό. Η μορφή του μοντέλου προσομοίωσης είναι εκείνη που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Ανάλογα με τη μορφή του χρεογράφου που εξετάζεται το μοντέλο μπορεί να διαφοροποιηθεί. Στην περίπτωση που εξετάζουμε μετοχές, η σχέση που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση της μεταβολής στην αξία μιας μετοχής είναι:

$${}^tV = {}^0V \cdot \exp \left\{ \left(\mu_{\tau_R} - \frac{1}{2} \sigma_{\tau_R}^2 \right) \cdot t + Z \cdot \sigma_{\tau_R} \cdot \sqrt{t} \right\}$$

όπου $Z \sim N(0,1)$, $\mu_{\tau_R}, \sigma_{\tau_R}$ είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της συνολικής απόδοσης τ_R της επένδυσης, για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Με χρήση μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών, παράγονται συνήθως 10000 τυχαίοι αριθμοί $Z \sim N(0,1)$, και μέσω αυτών προσομοιώνονται ισάριθμες τιμές για την αξία της επένδυσης. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι αποδόσεις που προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία, οι οποίες επεξεργάζονται όπως στην Ιστορική Προσομοίωση και στην συνέχεια υπολογίζεται η VaR. Αν δηλαδή οι m το πλήθος αποδόσεις ${}^tV_p = ({}^tV_p - {}^{t-1}V_p) / {}^{t-1}V_p$, όπου $(-m+1) \leq t \leq 0$ τις κατατάσσουμε από τη χαμηλότερη στην υψηλότερη. Για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης $c = 1 - \alpha$, η VaR υπολογίζεται εύκολα από την απόδοση r_p^* για την οποία το πλήθος n των περιπτώσεων με $r_p < r_p^*$ είναι $n = a \cdot m$.

Στην περίπτωση που η προσομοίωση Monte Carlo υλοποιείται για ένα χαρτοφυλάκιο n επενδύσεων, τότε η παραπάνω εξίσωση παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$${}^tV = {}^0V \cdot \exp \{ m \cdot t + g \cdot Z \cdot \sqrt{t} \} \Rightarrow \begin{bmatrix} {}^tV_1 \\ {}^tV_2 \\ {}^tV_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ {}^tV_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^0V_1 \\ {}^0V_2 \\ {}^0V_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ {}^0V_n \end{bmatrix} \cdot \exp \left\{ \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ m_n \end{bmatrix} \cdot t + g \cdot \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix} \cdot \sqrt{t} \right\}$$

Ισχύει $m_i = \mu_{\tau_R} - \frac{1}{2} \sigma_{\tau_R}^2$, όπου $1 \leq i \leq n$, $Z \sim N_n(\mathbf{0}, \mathbf{I})$ όπου $\mathbf{I}$ είναι ο $n \times n$ μοναδιαίος πίνακας, και $\ln({}^tV) \sim N_n(\ln({}^0V) + \mathbf{m} \cdot t, \Sigma \cdot t)$. Ο πίνακας $\mathbf{g}$ είναι ο (κάτω τριγωνικός) $n \times n$ πίνακας Cholesky του πίνακα συνδιακύμανσης Σ . Ο πίνακας $\mathbf{g}$ συνδέεται με τον πίνακα Σ μέσω της σχέσης $\Sigma = \mathbf{g} \cdot \mathbf{g}^T$. Η διαδικασία εύρεσης του πίνακα $\mathbf{g}$ ονομάζεται παραγοντοποίηση ή αποσύνθεση Cholesky (Cholesky Decomposition).

Αν ο συμμετρικός πίνακας Σ είναι διαστάσεων 3×3 , τότε ο πίνακας $\mathbf{g}$ υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & 0 & 0 \\ g_{21} & g_{22} & 0 \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} g_{11} & g_{21} & g_{31} \\ 0 & g_{22} & g_{32} \\ 0 & 0 & g_{33} \end{bmatrix}$$

Όπου :

- $g_{11}^2 = \sigma_{11} \Rightarrow g_{11} = \sigma_1$
- $g_{11} \cdot g_{21} = \sigma_{21} \Rightarrow g_{21} = \frac{\sigma_{21}}{\sigma_1} = \rho_{21} \cdot \sigma_2$
- $g_{11} \cdot g_{31} = \sigma_{31} \Rightarrow g_{31} = \frac{\sigma_{31}}{\sigma_1} = \rho_{31} \cdot \sigma_3$
- $g_{21}^2 + g_{22}^2 = \sigma_{22} \Rightarrow g_{22} = \sqrt{\sigma_{22} - (\sigma_{21}/\sigma_1)^2} = \sigma_2 \cdot \sqrt{1 - \rho_{21}^2}$
- $g_{21} \cdot g_{31} + g_{22} \cdot g_{32} = \sigma_{32} \Rightarrow g_{32} = \frac{\sigma_{32} \cdot \sigma_{11} - \sigma_{31} \cdot \sigma_{21}}{\sqrt{\sigma_1^4 \cdot \sigma_{22} - \sigma_{21}^2 \cdot \sigma_1^2}} = \sigma_3 \cdot \left(\frac{\rho_{32} - \rho_{31} \cdot \rho_{21}}{\sqrt{1 - \rho_{21}^2}} \right)$
- $g_{31}^2 + g_{32}^2 + g_{33}^2 = \sigma_{33} \Rightarrow g_{33} = \sqrt{\sigma_{33} - \left(\frac{\sigma_{31}}{\sigma_1} \right)^2 - \frac{(\sigma_{32} \cdot \sigma_{11} - \sigma_{31} \cdot \sigma_{21})^2}{\sigma_1^4 \cdot \sigma_{22} - \sigma_{21}^2 \cdot \sigma_1^2}} \Rightarrow g_{33} = \sigma_3 \cdot \sqrt{\frac{1 - (g_{21}^2 + g_{31}^2 + g_{32}^2) + 2 \cdot \rho_{21} \cdot \rho_{31} \cdot \rho_{32}}{1 - \rho_{21}^2}}$

Όπως και στην περίπτωση της μιας μετοχής, έτσι και στην περίπτωση του χαρτοφυλακίου πολλών επενδύσεων, παράγονται συνήθως 10000 τυχαία διανύσματα $\mathbf{Z} \sim N_n(\mathbf{0}, \mathbf{I})$, και μέσω αυτών προκύπτουν ισάριθμες τιμές για την αξία κάθε επένδυσης και κατά συνέπεια για την αξία ολόκληρου του χαρτοφυλακίου. Ο πίνακας αποσύνθεσης Cholesky, $\mathbf{g}$, εξασφαλίζει ότι οι αξίες, tV_i , $1 \leq i \leq n$, των επενδύσεων που περιέχονται σε κάθε διάνυσμα tV είναι συσχετισμένες όπως απαιτείται. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι αποδόσεις του χαρτοφυλακίου που προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία, οι οποίες επεξεργάζονται, όπως και στην περίπτωση της μιας μετοχής, για τον τελικό υπολογισμό της VaR.

Με σκοπό τη δημιουργία ενός μεγάλου αριθμού σεναρίων τιμών, η αποτελεσματικότητα της μεθόδου Monte Carlo εξαρτάται σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό από την επιλογή της γεννήτριας τυχαίων αριθμών. Αν εξεταστεί ενδελεχώς η διαδικασία, οι αριθμοί που επιλέγονται στην πραγματικότητα δημιουργούνται από ένα ντετερμινιστικό αλγόριθμο και ως εκ τούτου είναι ψευδο-τυχαίοι (pseudo-random). Η υποφαινόμενη ακολουθία τυχαίων αριθμών, μπορεί να κατασκευαστεί πανομοιότυπα, αν η γεννήτρια χρησιμοποιήσει τις ίδιες αρχικές τιμές (seed values). Μια ικανοποιητική γεννήτρια παραγωγής τυχαίων αριθμών θα πρέπει να παράγει αριθμούς, οι οποίοι θα περνούν από τους τυπικούς ελέγχους τυχαιότητας, καθώς και από τον έλεγχο ανεξαρτησίας. Επίσης, αρκετά συχνά παρατηρείται το φαινόμενο της κυκλικότητας μετά από πεπερασμένο αριθμό επαναλήψεων. Ένας καλός αλγόριθμος γεννά τους ίδιους τυχαίους αριθμούς μετά από δισεκατομμύρια επαναλήψεις, σε αντίθεση με κακούς αλγορίθμους, οι οποίοι μπορεί να επαναλαμβάνουν κυκλικά τους ίδιους αριθμούς μετά από μερικές χιλιάδες διαδικασίες. Ένα ακόμη ζήτημα που προκύπτει, κατά την εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου είναι πως κατά την εφαρμογή της ανάλυσης Cholesky, ο πίνακας διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων που χρησιμοποιείται θα πρέπει να είναι θετικά ορισμένος. Σε κάθε άλλη περίπτωση είναι αδύνατο να μετασχηματιστούν N ανεξάρτητοι παράγοντες κινδύνου, σε N συσχετισμένες τυχαίες μεταβλητές.

Για την επίτευξη της παραπάνω προϋπόθεσης είναι απαραίτητο να ικανοποιούνται δύο συνθήκες:

- Ο αριθμός των παρατηρήσεων πρέπει να είναι τόσο μεγάλος, όσο ο αριθμός των N παραγόντων.
- Καμία από τις εμπλεκόμενες χρονολογικές σειρές (αποδόσεις, τιμές) δεν πρέπει να είναι γραμμικά συσχετισμένες η μια με την άλλη. Το συγκεκριμένο πρόβλημα παρατηρείται όταν ο πίνακας Cholesky έχει μεγάλη διάσταση. Μια προτεινόμενη λύση είναι η μείωση της διάστασης της μήτρας είτε μέσω της αναίρεσης κάποιων χρεογράφων κρατώντας μόνο τον πυρήνα του χαρτοφυλακίου, είτε καταφεύγοντας στη μέθοδο που χρησιμοποιείται κατά κόρον στην πολυμεταβλητή ανάλυση (multivariate analysis), την ανάλυση κατά παράγοντες (factor analysis).

6.5 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ-ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μετά τη δημιουργία ενός ικανοποιητικού αριθμού σεναρίων μελλοντικών τιμών των χρεογράφων ενός χαρτοφυλακίου, το επόμενο βήμα είναι η αποτίμηση της συνολικής αξίας του χαρτοφυλακίου. Ο υπολογισμός της αξίας του χαρτοφυλακίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις εναλλακτικούς τρόπους:

- Πλήρης Αποτίμηση (*Full Valuation*)
- Γραμμική Προσέγγιση (*Linear Approximation*)
- Προσέγγιση Υψηλής Τάξης (*High Order Approximation*)

Η *πλήρης αποτίμηση* είναι η πιο ακριβής μέθοδος, αλλά ταυτόχρονα και η πιο ευαίσθητη σε υπολογιστικό επίπεδο. Για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου, είναι απαραίτητη η χρήση κάποιου μοντέλου αποτίμησης για κάθε χρεόγραφο, με συνηθέστερο το μοντέλο Black-Scholes (European options). Στην μέθοδο πλήρους αποτίμησης κάθε όρος του χαρτοφυλακίου επαναυπολογίζεται για κάθε προσομοιωμένη αλλαγή στους παράγοντες τις αγοράς. Η πλήρης αποτίμηση ενδείκνυται όταν η μέθοδος εφαρμόζεται σε μικρό πλήθος δεδομένων. Σε περίπτωση που η υπολογιστική ισχύς είναι περιορισμένη, τότε εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια προσεγγιστική μέθοδος για την εκτίμηση των μεταβολών των τιμών μέσω ενός γραμμικού μοντέλου, η οποία ονομάζεται *Δέλτα μέθοδος* (*Delta approximation*).

Για ένα γραμμικό χαρτοφυλάκιο, είναι σαφώς πιο αποδοτικό και επαρκές να υπολογιστεί ένας παράγοντας ευαισθησίας για κάθε παράγοντα της αγοράς, καθώς οι πληροφορίες για ένα πλέγμα πολλαπλών παραγόντων ευαισθησίας για κάθε παράγοντα αγοράς είναι περιττές.

Τέλος, για ένα μη γραμμικό χαρτοφυλάκιο, το σύνολο των παραγόντων ευαισθησίας θα σχηματίζει μια καμπύλη αποδόσεων, που μπορεί να έχει περίπλοκο σχήμα, και η οποία δεν μπορεί να αναλυθεί με τις παραπάνω μεθόδους, και εκεί συναντάμε την προσέγγιση υψηλής τάξεως.

Δημιουργούνται πολλαπλά πλέγματα παραγόντων ευαισθησίας, για κάθε παράγοντα αγοράς που επιδρά στο χαρτοφυλάκιο, τα οποία λειτουργούν σαν «οδηγός», μέσω του οποίου κανείς υπολογίζει τις αλλαγές στην αξία του χαρτοφυλακίου, για δεδομένο σενάριο προσομοιωμένων αλλαγών (Dempster, 2002).

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αποτίμησης της συνολικής αξίας του χαρτοφυλακίου, η μέθοδος Monte Carlo ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα δίνονται με την μορφή κατανομής των υπολογισθέντων χαρτοφυλακίων, ή με την μορφή μέτρου κινδύνου, εάν αυτό έχει οριστεί. Στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων, πέρα από το ακριβές νούμερο της VaR, συχνά συμπεριλαμβάνονται διάφορα στατιστικά μεγέθη που βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση της κατανομής που ακολουθούν οι αποδόσεις του χαρτοφυλακίου. Συγκεκριμένα, συνήθως συμπεριλαμβάνεται η μέση τιμή, η διακύμανση, η τυπική απόκλιση, η λόξωση, η κύρτωση αλλά και η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του προσομοιωμένου με την μέθοδο Monte Carlo χαρτοφυλακίου. Όλα τα παραπάνω σε συνδυασμό με τη δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου για διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης, αλλά και για διαφορετικό αριθμό προσομοιώσεων οδηγούν σε σημαντικά συμπεράσματα σε ότι αφορά τον υπολογισμό του κινδύνου χαρτοφυλακίου με τη χρήση της VaR, μέσω της μεθόδου Monte Carlo.

6.6 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Το 6^ο κεφάλαιο επικεντρώθηκε στη μη παραμετρική μέθοδο υπολογισμού της VaR, για την αποτίμηση του κινδύνου αγοράς, τη μέθοδο προσομοιώσεων Monte Carlo. Αρχικά, περιγράφεται η ιστορική εξέλιξη της μεθόδου, μέχρι αυτή να αποκτήσει την σημερινή της μορφή. Στη συνέχεια, αναλύεται λεπτομερώς η διαδικασία κατασκευής των μοντέλων υπολογισμού της VaR μέσω της Monte Carlo προσομοίωσης, για ένα χαρτοφυλάκιο, με την ανάλυση των βασικών βημάτων που ακολουθούνται στην πορεία της παραπάνω διαδικασίας. Τέλος, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο βήμα όπου αφορά την παραγωγή τυχαίων διαφορετικών σεναρίων προσομοίωσης, ενώ το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την διαδικασία αποτίμησης, αλλά και την σύνοψη των αποτελεσμάτων, που αφορούν το υπό εξέταση χαρτοφυλάκιο.

7. ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο 7^ο κεφάλαιο χρησιμοποιώντας δεδομένα από την πραγματική αγορά, και συγκεκριμένα το Χρηματιστήριο Αθηνών, θα κατασκευαστεί ένα χαρτοφυλάκιο το οποίο θα αποτελείται από πέντε assets (μετοχές) από τον κλάδο των τραπεζών. Θα εφαρμοστεί η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo για την υπολογισμό της VaR για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης και διαφορετικό πλήθος μελλοντικών σεναρίων. Όλες οι εντολές και οι υπολογισμοί της εφαρμογής θα πραγματοποιηθούν στο περιβάλλον της R, και συγκεκριμένα, με τη χρήση του RStudio. Μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών για το μοντέλο που θα κατασκευαστεί, ακολουθεί η διαδικασία επαλήθευσης και επικύρωσης των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα αποτελέσματα της εφαρμογής καθώς και ένα γενικότερο σχολιασμό πάνω στις διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν.

7.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή για τον υπολογισμό της VaR, χαρτοφυλακίου μέσω της προσομοίωσης Monte Carlo, χρησιμοποιήθηκαν ιστορικά δεδομένα από την πραγματική αγορά. Τα δεδομένα αφορούν τις ημερήσιες τιμές κλεισίματος πέντε μετοχών του Ελληνικού Χρηματιστηρίου Αθηνών από τον κλάδο των τραπεζών, για μία περίοδο ενός έτους (26/5/2014 έως 29/5/2015) (250 παρατηρήσεις). Συγκεκριμένα, οι μετοχές, που επιλέχθηκαν για να απαρτίσουν το χαρτοφυλάκιο, είναι:

- ALPHA BANK S.A (ΑΛΦΑ)
- ΕΘΝΙΚΗ ΤΡΑΠΕΖΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ Α.Ε – NBG (ΕΤΕ)
- EFG EUROBANK ERGASIAS (ΕΥΡΩΒ)
- ΤΡΑΠΕΖΑ ΠΕΙΡΑΙΩΣ Α.Ε (ΠΕΙΡ)
- ΤΡΑΠΕΖΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ – Bank of Greece (ΕΛΛ)

Ειδικότερα, επιλέγεται το χαρτοφυλάκιο να περιλαμβάνει 3700 μετοχές της «ΑΛΦΑ», 2900 μετοχές της «ΕΤΕ», 3200 μετοχές της «ΕΥΡΩΒ», 3800 μετοχές της «ΠΕΙΡ» και 1500 μετοχές της «ΕΛΛ». Τα ιστορικά κλεισίματα των μετοχών πάρθηκαν από την ιστοσελίδα www.capital.gr. Παρακάτω παρατίθεται συμπυκνωμένος ο πίνακας με τις τιμές κλεισίματος των μετοχών που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή, ενώ ο πλήρης πίνακας βρίσκεται αναλυτικά στο παράρτημα Π.2.

Πίνακας 7.1. Τιμές κλεισίματος των επιλεγθέντων μετοχών σε €.

Ημ/νία	ΑΛΦΑ	ΕΛΛ	ΕΤΕ	ΕΥΡΩΒ	ΠΕΙΡ
26/5/2014	0,68	13,96	2,42	0,389	1,72
27/5/2014	0,694	14,19	2,46	0,378	1,69
28/5/2014	0,7	14,02	2,46	0,37	1,73
29/5/2014	0,698	14	2,52	0,387	1,71
30/5/2014	0,69	14,15	2,62	0,41	1,8
2/6/2014	0,711	14,34	2,59	0,407	1,82
3/6/2014	0,7	14,3	2,55	0,405	1,84
4/6/2014	0,696	14,63	2,61	0,411	1,81
5/6/2014	0,728	14,79	2,75	0,414	1,9
6/6/2014	0,76	14,85	2,9	0,42	1,93
10/6/2014	0,76	14,9	2,86	0,434	1,92
11/6/2014	0,739	14,9	2,78	0,44	1,8
12/6/2014	0,726	14,97	2,8	0,428	1,78
13/6/2014	0,715	14,74	2,7	0,41	1,7
16/6/2014	0,725	14,74	2,75	0,41	1,7
17/6/2014	0,722	14,61	2,76	0,397	1,68
18/6/2014	0,716	14,53	2,77	0,39	1,76
19/6/2014	0,716	14,64	2,86	0,39	1,8
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
6/5/2015	0,317	9,63	1,18	0,139	0,404
7/5/2015	0,347	9,76	1,26	0,152	0,461
8/5/2015	0,33	9,85	1,23	0,15	0,468
11/5/2015	0,312	9,4	1,19	0,135	0,416
12/5/2015	0,318	9,6	1,21	0,14	0,45
13/5/2015	0,321	9,65	1,21	0,142	0,46
14/5/2015	0,329	9,74	1,22	0,14	0,443
15/5/2015	0,305	9,5	1,19	0,13	0,401
18/5/2015	0,304	9,7	1,24	0,14	0,429
19/5/2015	0,32	10	1,24	0,147	0,45
20/5/2015	0,315	10,05	1,23	0,141	0,444
21/5/2015	0,325	9,91	1,25	0,146	0,458
22/5/2015	0,314	9,84	1,22	0,139	0,457
25/5/2015	0,3	9,49	1,17	0,133	0,429
26/5/2015	0,304	9,46	1,15	0,136	0,44
27/5/2015	0,332	9,53	1,25	0,15	0,477
28/5/2015	0,33	9,55	1,18	0,151	0,499
29/5/2015	0,334	9,5	1,16	0,152	0,507

(www.capital.gr , 2/6/2015)

Η εφαρμογή θα πραγματοποιηθεί στο περιβάλλον της R, μιας γλώσσας προγραμματισμού που ενδείκνυται για στατιστικούς υπολογισμούς και γραφικές απεικονίσεις. Συγκεκριμένα, όλοι οι υπολογισμοί και τα διαγράμματα έγιναν με την βοήθεια του RStudio, ενός ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ανάπτυξης (Integrated Development Environment-IDE) για εντολές στην R. Ο κώδικας παρατίθεται βήμα προς βήμα, ενώ επεξηγούνται αναλυτικά οι διαδικασίες για τον υπολογισμό της VaR. Σημειώνεται ότι τα κομμάτια του κώδικα, που ακολουθούν το σύμβολο της δέσης (#), δεν εκτελούνται και αποτελούν σχόλια για την καλύτερη επεξήγηση της διαδικασίας.

7.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Αρχικά πραγματοποιείται η φόρτωση των δεδομένων στο περιβάλλον της R. Ξεκινάμε με τη δημιουργία μιας απλής συνάρτησης “clrsc” η οποία πρακτικά καθαρίζει την οθόνη κάθε φορά που ξεκινάμε από την αρχή την συγκεκριμένη εφαρμογή.

A Sample Monte Carlo Simulation

**clrsc <- function() cat(rep("\n",50)); # Create an R function that can be used to clear the screen each time u run the simulation
clrsc();**

Στη συνέχεια εισάγεται το διάνυσμα με το πλήθος τίτλων κάθε μετοχής που περιλαμβάνεται στο χαρτοφυλάκιο.

a= matrix(c(3700,1500,2900,3200,3800));

Στη συνέχεια ο πίνακας 7.1 εισάγεται ως αρχείο “metoxes.txt” στο περιβάλλον του RStudio, ώστε να γίνει άντληση των δεδομένων, ενώ τα δεδομένα για κάθε μετοχή αποθηκεύονται σε 5 διαφορετικούς πίνακες v1-v5.

uploading historical data of 5 assets as matrices

**read.table("metoxes.txt", header = TRUE);
v1= as.matrix(alfa);
fix(v1); # 250 historical values of alpha bank
v2= as.matrix(ell);
fix(v2); # 250 historical values of BankofGreece
v3= as.matrix(ete);
fix(v3); #2 50 historical values of Nbg
v4= as.matrix(eurob);
fix(v4); # 250 historical values of Eurobank
v5= as.matrix(peir);
fix(v5); # 250 historical values of Peiraios bank**

Ακολουθεί η αποτίμηση της αξίας του χαρτοφυλακίου για την διάρκεια του ενός έτους, που αφορούν οι παρατηρήσεις μας, με την δημιουργία του διανύσματος p0, το οποίο στη συνέχεια εξάγεται σαν αρχείο “p0.txt” και παρατίθεται στην συνέχεια στον πίνακα 7.2.

```
p0=a[1]*v1+a[2]*v2+a[3]*v3+a[4]*v4+a[5]*v5;
p0= matrix(p0,ncol=1); # real values of the portfolio
fix(p0);
write.table(p0, "p0.txt", sep="\t"); # export to .txt file
```

Πίνακας 7.2. Αξία χαρτοφυλακίου σε €.

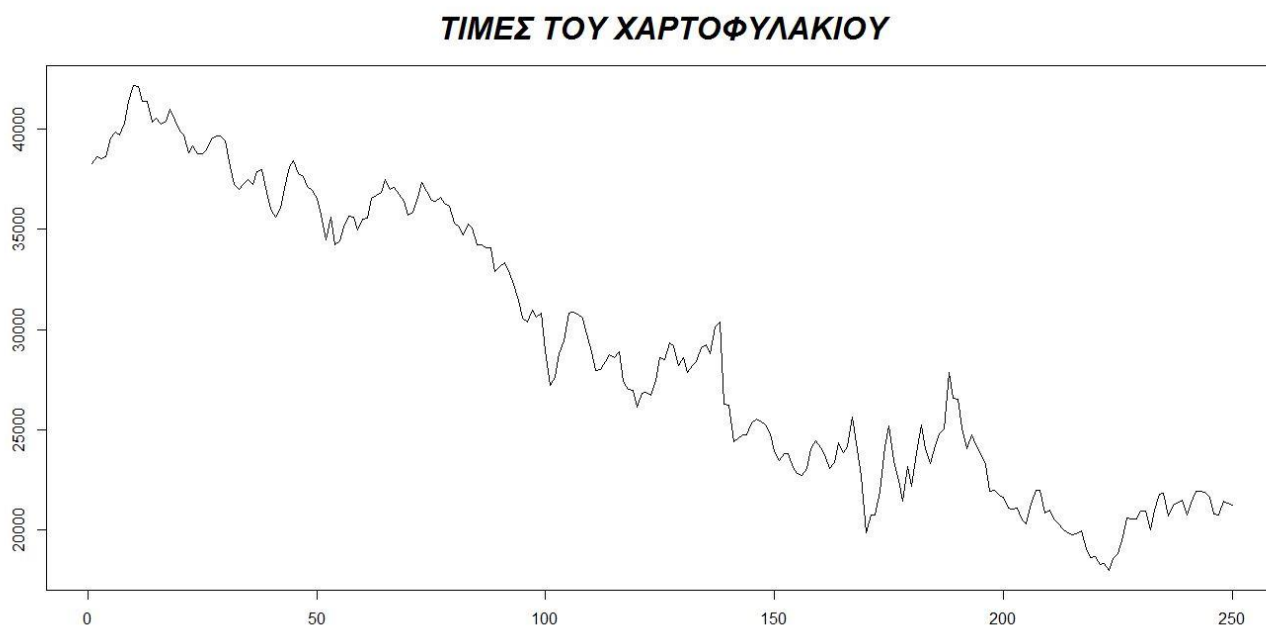
Ημ/νία	Αξία Χαρτοφ υλακίου	Ημ/νία	Αξία Χαρτοφ υλακίου	Ημ/νία	Αξία Χαρτοφ υλακίου	Ημ/νία	Αξία Χαρτοφ υλακίου	Ημ/νία	Αξία Χαρτοφ υλακίου
26/5/2014	38255	5/8/2014	35723	15/10/2014	27209	30/12/2014	23453	13/3/2015	21081
27/5/2014	38618	6/8/2014	34463	16/10/2014	27614	31/12/2014	23821	16/3/2015	21079
28/5/2014	38512	7/8/2014	35606	17/10/2014	28801	2/1/2015	23821	17/3/2015	21088
29/5/2014	38627	8/8/2014	34203	20/10/2014	29440	5/1/2015	23126	18/3/2015	20535
30/5/2014	39528	11/8/2014	34442	21/10/2014	30822	7/1/2015	22847	19/3/2015	20337
2/6/2014	39870	12/8/2014	35124	22/10/2014	30850	8/1/2015	22749	20/3/2015	21290
3/6/2014	39723	13/8/2014	35656	23/10/2014	30795	9/1/2015	23082	23/3/2015	21982
4/6/2014	40282	14/8/2014	35596	24/10/2014	30590	12/1/2015	24077	24/3/2015	21974
5/6/2014	41398	18/8/2014	34958	27/10/2014	29810	13/1/2015	24459	26/3/2015	20840
6/6/2014	42175	19/8/2014	35529	29/10/2014	28890	14/1/2015	24094	27/3/2015	20991
10/6/2014	42141	20/8/2014	35568	30/10/2014	27941	15/1/2015	23768	30/3/2015	20555
11/6/2014	41394	21/8/2014	36520	31/10/2014	28011	16/1/2015	23098	31/3/2015	20293
12/6/2014	41395	22/8/2014	36686	3/11/2014	28422	19/1/2015	23380	1/4/2015	20080
13/6/2014	40358	25/8/2014	36841	4/11/2014	28771	20/1/2015	24376	2/4/2015	19891
16/6/2014	40540	26/8/2014	37463	5/11/2014	28626	21/1/2015	23845	7/4/2015	19795
17/6/2014	40245	27/8/2014	36964	6/11/2014	28893	22/1/2015	24143	8/4/2015	19838
18/6/2014	40413	28/8/2014	37084	7/11/2014	27414	23/1/2015	25637	9/4/2015	19977
19/6/2014	40991	29/8/2014	36717	10/11/2014	27011	26/1/2015	23998	14/4/2015	19060
20/6/2014	40453	1/9/2014	36373	11/11/2014	26960	27/1/2015	22679	15/4/2015	18647
23/6/2014	39893	2/9/2014	35725	12/11/2014	26133	28/1/2015	19887	16/4/2015	18711
24/6/2014	39687	3/9/2014	35869	13/11/2014	26820	29/1/2015	20763	17/4/2015	18305
25/6/2014	38814	4/9/2014	36585	14/11/2014	26887	30/1/2015	20752	20/4/2015	18358
26/6/2014	39143	5/9/2014	37354	17/11/2014	26749	2/2/2015	21950	21/4/2015	18000
27/6/2014	38754	8/9/2014	36877	18/11/2014	27457	3/2/2015	24161	22/4/2015	18572
30/6/2014	38776	9/9/2014	36445	19/11/2014	28606	4/2/2015	25200	23/4/2015	18846
1/7/2014	38941	10/9/2014	36389	20/11/2014	28503	5/2/2015	23476	24/4/2015	19680
2/7/2014	39498	11/9/2014	36590	21/11/2014	29352	6/2/2015	22481	27/4/2015	20592
3/7/2014	39660	12/9/2014	36312	24/11/2014	29201	9/2/2015	21470	28/4/2015	20575
4/7/2014	39637	15/9/2014	36160	25/11/2014	28184	10/2/2015	23159	29/4/2015	20579
7/7/2014	39390	16/9/2014	35295	26/11/2014	28597	11/2/2015	22182	30/4/2015	20963
8/7/2014	38107	17/9/2014	35187	27/11/2014	27865	12/2/2015	23887	4/5/2015	20963
9/7/2014	37215	18/9/2014	34723	28/11/2014	28217	13/2/2015	25238	5/5/2015	20020
10/7/2014	36985	19/9/2014	35269	1/12/2014	28383	16/2/2015	24061	6/5/2015	21020

11/7/2014	37247	22/9/2014	35086	2/12/2014	29107	17/2/2015	23330	7/5/2015	21816
14/7/2014	37496	23/9/2014	34239	3/12/2014	29257	18/2/2015	24199	8/5/2015	21821
15/7/2014	37219	24/9/2014	34210	4/12/2014	28787	19/2/2015	24807	11/5/2015	20718
16/7/2014	37885	25/9/2014	34094	5/12/2014	30108	20/2/2015	25046	12/5/2015	21244
17/7/2014	37994	26/9/2014	34062	8/12/2014	30388	24/2/2015	27839	13/5/2015	21374
18/7/2014	36856	29/9/2014	32871	9/12/2014	26273	25/2/2015	26565	14/5/2015	21497
21/7/2014	35993	30/9/2014	33135	10/12/2014	26253	26/2/2015	26545	15/5/2015	20769
22/7/2014	35596	1/10/2014	33356	11/12/2014	24416	27/2/2015	25102	18/5/2015	21349
23/7/2014	36073	2/10/2014	32960	12/12/2014	24579	2/3/2015	24055	19/5/2015	21960
24/7/2014	37050	3/10/2014	32246	15/12/2014	24745	3/3/2015	24778	20/5/2015	21946
25/7/2014	38115	6/10/2014	31466	16/12/2014	24740	4/3/2015	24262	21/5/2015	21900
28/7/2014	38417	7/10/2014	30581	17/12/2014	25336	5/3/2015	23803	22/5/2015	21641
29/7/2014	37761	8/10/2014	30396	18/12/2014	25539	6/3/2015	23294	25/5/2015	20794
30/7/2014	37620	9/10/2014	30955	19/12/2014	25442	9/3/2015	21924	26/5/2015	20757
31/7/2014	37138	10/10/2014	30601	22/12/2014	25243	10/3/2015	22006	27/5/2015	21441
1/8/2014	36952	13/10/2014	30819	23/12/2014	24795	11/3/2015	21750	28/5/2015	21347
4/8/2014	36567	14/10/2014	28953	29/12/2014	23895	12/3/2015	21633	29/5/2015	21263

Στη συνέχεια γίνεται η γραφική αναπαράσταση των τιμών του χαρτοφυλακίου στο διάγραμμα 7.1

```
plot(p0,type="l", ann=F);
```

```
title(main="ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ", cex.main=2,col.main="black",  
font.main=4);
```



Σχήμα 7.1. Γραφική αναπαράσταση των τιμών του χαρτοφυλακίου

Αφού ολοκληρώθηκε η εισαγωγή των δεδομένων, προχωράμε στον ουσιαστικό υπολογισμό της VaR μέσω της Monte Carlo simulation. Για τον υπολογισμό της VaR θα γίνει εκτίμηση δύο παραμέτρων, του χρονικού ορίζοντα και του επιπέδου σημαντικότητας (1-q ποσοστημόριο).

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέγεται η μία ημέρα για την αποτίμηση του κινδύνου μέσω της VaR, ενώ αυτή θα υπολογιστεί για διαφορετικά επίπεδα σημαντικότητας όπως 80%, 90%, 95% και 99%. Η μία ημέρα είναι ο τυπικός χρόνος που χρησιμοποιεί η πλειονότητα των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων για την αποτίμηση της VaR, ενώ το επίπεδο εμπιστοσύνης, που τελικά επιλέγεται, εξαρτάται μεταξύ άλλων, και από τον όγκο των ιστορικών δεδομένων. Παρότι η ποσότητα των ιστορικών δεδομένων δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη, το γεγονός ότι θα παραχθούν σταδιακά 1000, 5000 αλλά και 10000 διαφορετικά προσομοιωμένα σενάρια, δίνει την δυνατότητα η VaR να υπολογιστεί για διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης.

Η μέθοδος Monte Carlo στηρίζεται στην υπόθεση ότι γνωρίζουμε την από κοινού συνάρτηση κατανομής των μεταβολών της αγοράς. Στη συνέχεια, με χρήση της συνάρτησης κατανομής προσομοιώνονται πολλά και διαφορετικά σενάρια, με το χαρτοφυλάκιο να αποτιμάται ξεχωριστά για καθένα από αυτά τα σενάρια. Όπως γίνεται αντιληπτό, μεγάλο πλήθος σεναρίων συνεπάγεται και καλύτερη προσέγγιση της κατανομής που περιγράφει την τελική αξία του χαρτοφυλακίου. Το κάτω q ποσοστημόριο της τελικής κατανομής αντικατοπτρίζει την τιμή της VaR.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέχθηκε η απλούστερη μορφή για την από κοινού συνάρτηση κατανομής, η κανονική (Gaussian) κατανομή. Οι αξίες των μετοχών κατανέμονται από κοινού κανονικά, ενώ με χρήση των ιστορικών δεδομένων κατασκευάζεται το διάνυσμα των μέσων ημερήσιων αποδόσεων για κάθε μετοχή, και στη συνέχεια υπολογίζεται η μέση τιμή και οι συνδιακυμάνσεις των αποδόσεων αυτών.

Οι ημερήσιες αποδόσεις για κάθε μετοχή υπολογίζονται με την βοήθεια της συνάρτησης `returnz(k)` όπως φαίνεται παρακάτω:

function w/ (length(k) x 1) vec of real values as input, (length(k) x 3) vec of 1.no, 2.real value, 3.daily returns as output

```
returnZ=function(k){  
  m= length(k);  
  Y= matrix(c(1,k[1],0),nrow=1);  
  finalres= matrix(nrow=m,ncol=3);  
  finalres[1,]=Y;  
  for (i in 2:m) {  
    z= (k[i]-k[i-1])/k[i-1];  
    Y= matrix(c(i,k[i],z),ncol=3);  
    finalres[i,]=Y }  
  return(finalres)};
```

Με την παραπάνω συνάρτηση να δέχεται ως είσοδο το διάνυσμα k των αξιών κάθε μετοχής, και να επιστρέφει πίνακα ($length(k) \times 3$) με τις στήλες να περιέχουν:

1. τον αριθμό της ημέρας, 2. την πραγματική αξία, 3. την ημερήσια απόδοση.

Στη συνέχεια, η συνάρτηση καλείται για κάθε μετοχή ξεχωριστά:

```
r1= returnZ(v1); # returns of asset1 (alpha)
r2= returnZ(v2); # returns of asset2 (ell)
r3= returnZ(v3); # returns of asset3 (ete)
r4= returnZ(v4); # returns of asset4 (eurob)
r5= returnZ(v5); # returns of asset5 (peir)
```

Επόμενο βήμα στην διαδικασία είναι ο υπολογισμός διάφορων στατιστικών μεγεθών, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως είσοδο στη συνάρτηση με την οποία θα γίνει η προσομοίωση Monte Carlo. Συγκεκριμένα:

```
require(stats); # library w/ statistical tools

mi= matrix(c(mean(r1[,3]),mean(r2[,3]),mean(r3[,3]),mean(r4[,3]),mean(r5[,3])));
mi; # matrix w/ mean daily returns of assets 1-5
helpz1= matrix(c(r1[,3],r2[,3],r3[,3],r4[,3],r5[,3]),ncol=5);
sigma= cov(helpz1);
sigma; # matrix w/ covariance of daily returns of assets 1-5
m= mi-diag(sigma)/2;
m; # mi-Si^2 / 2
chl= t(chol(sigma)); # lower triangular Cholesky of Sigma
chl;
dim(g); # dimension of lower triangular Cholesky of Sigma
```

Εκτελώντας τις παραπάνω εντολές, παίρνουμε ως έξοδο με τη σειρά:

Τη μέση τιμή των ημερήσιων αποδόσεων των μετοχών 1-5:

$$\mu = [-0.001544, -0.001310, -0.001271, -0.002081, -0.002672]$$

Τη διακύμανση των ημερήσιων αποδόσεων των μετοχών 1-5:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 0.002562 & 0.000623 & 0.002447 & 0.002297 & 0.002475 \\ 0.000623 & 0.000457 & 0.000746 & 0.000723 & 0.000765 \\ 0.002447 & 0.000746 & 0.003316 & 0.003352 & 0.002859 \\ 0.002297 & 0.000723 & 0.002630 & 0.003352 & 0.003076 \\ 0.002475 & 0.000765 & 0.002859 & 0.003076 & 0.004351 \end{bmatrix}$$

Την διαφορά $\mu_i - \frac{\sigma_i^2}{2}$:

$$m = [-0.002825, -0.001539, -0.002929, -0.003757, -0.004847]$$

Τον κάτω-τριγωνικό Cholesky πίνακα του Σ :

$$Cholesky(\Sigma) = \begin{bmatrix} 0.050612 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.012312 & 0.017480 & 0 & 0 & 0 \\ 0.048345 & 0.008598 & 0.030084 & 0 & 0 \\ 0.045383 & 0.009380 & 0.011815 & 0.032637 & 0 \\ 0.048904 & 0.009326 & 0.013779 & 0.018564 & 0.036576 \end{bmatrix}$$

Σημειώνεται ότι ο πίνακας Cholesky του Σ υπολογίζεται μέσω της έτοιμης συνάρτησης του πακέτου, `chol(x)`.

Και τις διαστάσεις του `chl`:

$$\dim[Cholesky(\Sigma)] = [5 \quad 5]$$

Στη συνέχεια υλοποιείται η προσομοίωση Monte Carlo μέσω της συνάρτησης `MonteCarlo(v1,n1,m1,g1,timestep,iterations)`. Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο τα παρακάτω ορίσματα κατά σειρά ως εξής:

1. `v1` – το διάνυσμα των αρχικών τιμών των μετοχών
2. `n1` – το πλήθος των μετοχών
3. `m1` – το διάνυσμα $\mu_i - \frac{\sigma_i^2}{2}$
4. `g1` – τον πίνακα Cholesky του Σ
5. `timestep` – το επιλεγθέν βήμα της προσομοίωσης
6. `iterations` – το πλήθος των επαναλήψεων

Ως έξοδο επιστρέφει το διάνυσμα “finalres” με διαστάσεις $(iterations) \times (2n1 + 1)$.

Η πρώτη στήλη επιστρέφει τον αριθμό της επανάληψης, οι επόμενες n στήλες περιέχουν στιγμιότυπα του επιλεγθέντος τυχαίου διανύσματος, εν προκειμένω $Z \sim N_n(0,1)$, όπως αυτά δημιουργούνται από γεννήτρια τυχαίων αριθμών σε κάθε προσομοίωση, ενώ οι τελευταίες n στήλες αποτελούν στιγμιότυπα του τυχαίου διανύσματος $\ln(^tV) \sim N_n(\ln(^0v) + \mathbf{m} \cdot t, \Sigma \cdot t)$ όπου $t = \text{timestep}$. Η συγκεκριμένη διαδικασία έχει αναλυθεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 6.4 «Παραγωγή Σεναρίων».

Θα πρέπει να σημειωθεί πως η συγκεκριμένη μεθοδολογία δίνει τη δυνατότητα στον αναλυτή να χρησιμοποιήσει, στη γενική περίπτωση, οποιαδήποτε από κοινού κατανομή αντικατοπτρίζει επαρκώς τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα. Στην περίπτωση που μελετάμε, όπως προαναφέρθηκε, επιλέχθηκε η κανονική κατανομή ως η από κοινού συνάρτηση κατανομής.

Ακολουθεί η συνάρτηση MonteCarlo:

```

MonteCarlo= function(v1,n1,m1,g1,timestep,iterations){
  R= matrix(c(rnorm(iterations*n1)),nrow= iterations,ncol= n1);
  help1= matrix(c(R[1,]),byrow= T);
  x= v1*exp(m1*timestep+g1*%%help1*sqrt(timestep));
  x= matrix(x,nrow=1);
  Y= matrix(c(1,R[1,],x),nrow= 1);
  finalres= matrix(nrow=iterations,ncol=2*n1+1);
  finalres[1,]=Y;
  for (i in 1:(iterations-1)) {
    help1= matrix(c(R[i+1,]),byrow= T);
    x= v1*exp(m1*timestep+g1*%%help1*sqrt(timestep));
    x= matrix(x,nrow= 1);
    Y= matrix(c(i+1,R[i+1,],x),ncol= 2*n1+1);
    finalres[i+1,]= Y;
  return(finalres);

```

Έχοντας πλέον ορίσει τη συνάρτηση που πραγματοποιεί την προσομοίωση, απομένει να δοθούν η αρχική αξία του υπό εξέταση χαρτοφυλακίου (η αξία την τελευταία ημέρα των ιστορικών δεδομένων), καθώς και ο επιθυμητός αριθμός των προσομοιώσεων. Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστεί αναλυτικά η διαδικασία για $n = 1000$ επαναλήψεις, ενώ για $n = 5000$ και $n = 10000$ θα γίνει παράθεση των αποτελεσμάτων. Για $n = 1000$ επαναλήψεις:

```

no=1000;          # Number of random cases for Monte Carlo model
vLast=matrix(c(v1[250],v2[250],v3[250],v4[250],v5[250])), # current value of the
portfolio

```

Η κλήση της συνάρτησης συνδυάζεται με τυχαίο φύλλο παραγωγής (random seed generator) τυχαίων αριθμών, έτσι ώστε οι τυχαία προσομοιωμένες τιμές να είναι οι ίδιες κάθε φορά που καλείται η συνάρτηση με το ίδιο seed, ώστε να έχουμε συνεπή και φιλικά προς επεξεργασία αποτελέσματα.

Συνεπώς:

```

set.seed(123482);      # Use this to make the randomly generated data the same each
time you run the simulation.
# Change the 123482 to another large integer to change the sequence.
# Omit line to have a truly random sequence of numbers each time you run it.

```

```

res=MonteCarlo(vLast,5,m,chl,1,no);
fix(res);
resTXT=round(res,digits=4) #round the result matrix “res” to 4-digits, but save in
another variable in order not to lose precision

```

```
write.table(resTXT, "resTXT.txt", sep="\t"); # export to .txt file
```

```
v1s= res[,7];      # simulated values of 1st asset
v2s= res[,8];      # simulated values of 2nd asset
v3s= res[,9];      # simulated values of 3rd asset
v4s= res[,10];     # simulated values of 4th asset
v5s= res[,11];     # simulated values of 5th asset
```

Τα αποτελέσματα της κλήσης της συνάρτησης MonteCarlo αποθηκεύονται στον πίνακα res. Όπως προαναφέρθηκε η συνάρτηση δίνει ως έξοδο πίνακα διαστάσεων (*iterations*) $\times$ ($2n1 + 1$). Εν προκειμένω τρέξαμε 1000 προσομοιώσεις για χαρτοφυλάκιο 5 μετοχών, οπότε όπως αναμενόταν η έξοδος είναι πίνακας res (1000×11). Ο πίνακας παρατίθεται συμπυκνωμένος παρακάτω και αποτυπώνεται με ακρίβεια τεσσάρων (4) δεκαδικών ψηφίων για λόγους αισθητικούς, και οικονομίας χώρου. Σημειώνεται ότι στο περιβάλλον του RStudio, όπως και σε όλους τους υπολογισμούς, ο πίνακας res διατηρήθηκε με 10 δεκαδικά ψηφία.

n=1000

Πίνακας 7.3. Έξοδος συναρτήσεως MonteCarlo για $n = 1000$

#	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	V1s	V2s	V3s	V4s	V5s
1	-0,5279	0,6582	-1,7130	1,5719	0,4649	0,3243	9,5330	1,0769	0,1535	0,5060
2	-0,5984	0,5275	0,5986	-0,8912	-1,2025	0,3231	9,5030	1,1492	0,1449	0,4673
3	-0,3121	-1,3932	0,7038	0,8536	-0,2057	0,3278	9,2217	1,1498	0,1528	0,4994
4	-0,2096	0,8128	0,9435	0,6811	0,3786	0,3295	9,5963	1,1862	0,1563	0,5235
5	0,2878	0,6249	-1,7858	1,6944	-1,4876	0,3379	9,6236	1,1175	0,1597	0,4908
6	-1,5479	-2,3630	0,8855	-1,2998	1,4098	0,3080	8,9298	1,0800	0,1337	0,4761
7	0,2412	-1,5280	0,3113	1,0652	-0,0822	0,3371	9,2629	1,1658	0,1568	0,5140
8	0,9997	-0,3221	0,3444	1,7230	-2,1494	0,3503	9,5490	1,2231	0,1678	0,5066
9	-0,5160	-0,9684	1,3576	0,4464	-1,1196	0,3245	9,2671	1,1654	0,1511	0,4808
10	0,3747	0,6257	0,1092	1,2754	-0,0803	0,3394	9,6340	1,1880	0,1617	0,5285
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
991	-0,5205	-1,9289	0,4954	-1,0087	-1,3136	0,3244	9,1123	1,1260	0,1414	0,4550
992	-1,0673	1,6074	0,7105	-1,2559	1,0001	0,3155	9,6283	1,1378	0,1418	0,4975
993	-1,1664	0,8099	-0,7242	1,5855	1,7698	0,3140	9,4835	1,0771	0,1511	0,5224
994	0,6798	0,5950	-1,4824	-0,1994	-0,0055	0,3447	9,6651	1,1490	0,1533	0,5119
995	-0,1186	0,5267	-0,9486	-1,4982	-3,0021	0,3311	9,5592	1,1227	0,1425	0,4336
996	0,0295	0,7083	-1,2320	1,0453	0,4048	0,3336	9,6071	1,1229	0,1557	0,5175
997	1,0835	-0,5093	-0,0523	1,1569	-1,4668	0,3518	9,5276	1,2116	0,1643	0,5124
998	0,9818	0,5339	-0,5651	-0,5122	-0,9641	0,3500	9,6908	1,1979	0,1554	0,5048
999	-2,2717	-0,2037	0,7652	0,4591	-0,7201	0,2969	9,1910	1,0586	0,1397	0,4474
1000	1,1489	-0,2022	0,4645	-1,2213	1,6091	0,3530	9,5866	1,2377	0,1539	0,5559

Στη συνέχεια, με χρήση των προσομοιωμένων τιμών για κάθε μετοχή, υπολογίζεται η προσομοιωμένη αξία του χαρτοφυλακίου.

```
p=a[1]*v1s+a[2]*v2s+a[3]*v3s+a[4]*v4s+a[5]*v5s;
p=matrix(p,ncol=1); # matrix w/ simulated values of the portfolio
fix(p);
write.table(p, "psim.txt", sep="\t"); # export to .txt file
```

με τον πίνακα των προσομοιωμένων αξιών του χαρτοφυλακίου να ακολουθεί επίσης συμπυκνωμένος.

Πίνακας 7.4. Προσομοιωμένες αξίες του χαρτοφυλακίου σε €

#	<i>VpSimulated</i>
1	21036
2	21022
3	20767
4	21543
5	21302
6	19903
7	20978
8	21629
9	20792
10	21678
.	.
.	.
991	20315
992	21254
993	20979
994	21541
995	20923
996	21366
997	21579
998	21721
999	20102
1000	21880

Η επόμενη συνάρτηση “returnZZ” αποτελεί μια παραλλαγή της συνάρτησης “returnZ”, που χρησιμοποιήθηκε νωρίτερα, και υπολογίζει τη μεταβολή στην αξία του χαρτοφυλακίου αφαιρώντας από κάθε προσομοιωμένη τιμή για την αξία του χαρτοφυλακίου, την τρέχουσα τιμή του, δηλαδή την αξία του χαρτοφυλακίου την τελευταία ημέρα διαπραγμάτευσης με βάση τα ιστορικά δεδομένα (29/5/2015). Η παραπάνω διαδικασία μας επιστρέφει η τον αριθμό πιθανές αποδόσεις (όσες και ο αριθμός των προσομοιώσεων) και λαμβάνοντας το κάτω ποσοστημόριο της κατανομής των τιμών που προκύπτουν θα οδηγηθούμε στην επιθυμητή τιμή της VaR. Συγκεκριμένα:

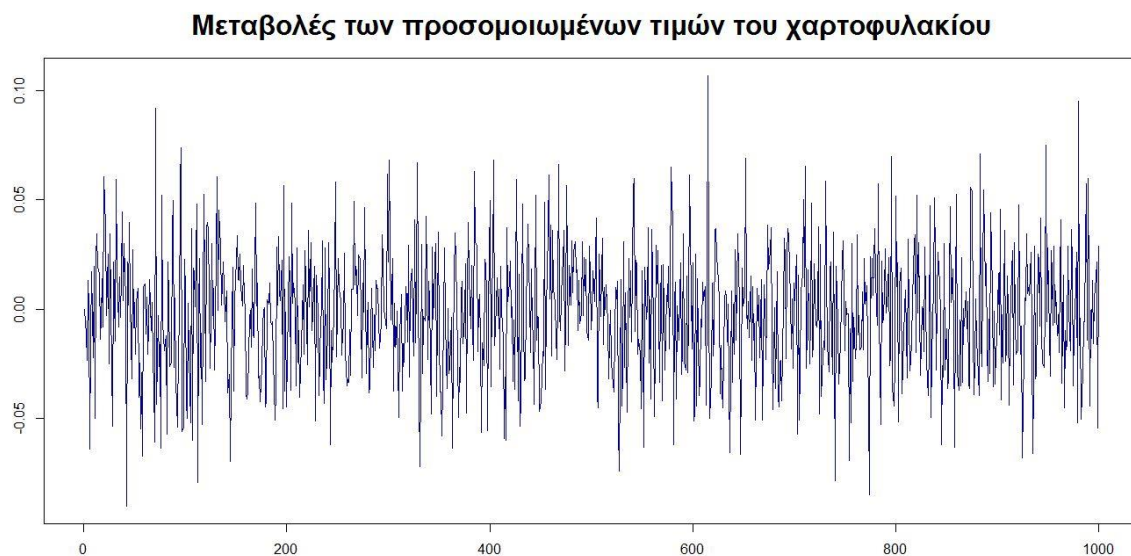
function w/ (length(k) x 1) vec of simulated values as input, (length(k) x 3) vec of 1.no, 2.simulated value, 3.sim-lastday value return as output

```
returnZZ=function(k){  
  m=length(k);  
  Y=matrix(c(1,k[1],0),nrow=1);  
  finalres=matrix(nrow=m,ncol=3);  
  finalres[1,]=Y;  
  for (i in 2:m) {  
    z=(k[i]-p0[250])/p0[250];  
    Y=matrix(c(i,k[i],z),ncol=3);  
    finalres[i,]=Y;  
  };  
  return(finalres);  
};
```

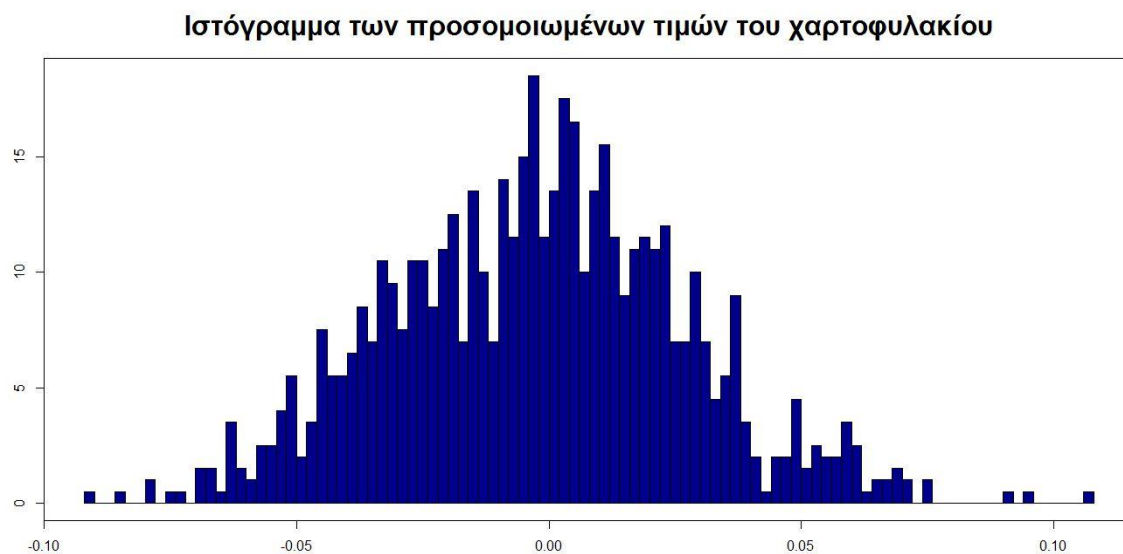
```
r=returnZZ(p); #returns matrix w/ 1.# sim ,2.portf sim value,3.simulated return of  
portf  
fix(r);
```

Στη συνέχεια προχωράμε στην γραφική απεικόνιση των μεταβολών των τιμών του χαρτοφυλακίου με το διάγραμμα, αλλά και το ιστόγραμμα των μεταβολών. Στο διάγραμμα 7.2 διαπιστώνεται η τυχαιότητα της διαδικασίας, ενώ στο 7.3 παρατηρείται η αναμενόμενη κανονικότητα των τιμών, λόγω της από κοινού συνάρτησης κατανομής των μεταβολών των τιμών.

```
plot(r[,3],type="l", col="darkblue", ann=F); #plot simulated returns of portfolio  
title(main="Μεταβολές των προσομοιωμένων τιμών του χαρτοφυλακίου",cex.main=2,  
col.main="black", font.main=2);  
hist(r[,3],freq=T,breaks=100, col="darkblue", ann=F); #histogram of simulated  
returns of portfolio  
title(main="Ιστόγραμμα των προσομοιωμένων τιμών του χαρτοφυλακίου",  
col.main="black", font.main=2);  
box();
```



Σχήμα 7.2. Γραφική αναπαράσταση των μεταβολών των προσομοιωμένων τιμών του χαρτοφυλακίου.



Σχήμα 7.3. Ιστόγραμμα των μεταβολών των προσομοιωμένων τιμών του χαρτοφυλακίου.

Συνεχίζοντας τη διαδικασία, τα στοιχεία της 3^{ης} στήλης του διανύσματος “Y” ταξινομούνται κατά αύξουσα σειρά και το αντίστοιχο q – ποσοστημόριο για το ανάλογο επίπεδο εμπιστοσύνης μας επιστρέφει της απόλυτη τιμή της αντίστοιχης VaR, αλλά και την VaR σε μορφή ποσοστού. Η εν λόγω διαδικασία πραγματοποιείται για τον υπολογισμό της 80%, 90%, 95% και 99% VaR αντίστοιχα.

```
s=sort(r[,3]);          #sorting returns of portfolio
s=as.matrix(s);         #save s as matrix
fix(s);
vport0=t(a)%*%vLast;
vport0;                 #current(starting) value of the portfolio
```

computing 80% AVaR and percentage VaR

```
q1=no*0.2;             #quantile = 20%
Av1=vport0*(-s[q1]);   #AVaR-80%
f1=c("AvaR-80% is",Av1);
f1;
"AvaR-80% is"         "597.41667"
```

```
VaR1_percent=s[q1]*100;
VaR1_percent;         # percentage VaR-80%
f11=c("Percentage VaR-80% is",VaR1_percent);
f11;
"Percentage VaR-80% is" "-2.80968%"
```

```
q2=no*0.1;             #quantile = 10%
Av2=vport0*(-s[q2]);   #AVaR-95%
f2=c("AvaR-90% is",Av2);
f2;
"AvaR-90% is"         "857.09422"
```

```
VaR2_percent=s[q2]*100;
VaR2_percent;         # percentage VaR-90%
f22=c("Percentage VaR-90% is",VaR2_percent);
f22;
"Percentage VaR-90% is" "-4.03095%"
```

```
q3=no*0.05;           #quantile = 5%
Av3=vport0*(-s[q3]);   #AVaR-95%
f3=c("AvaR-95% is",Av3);
f3;
"AvaR-95% is"         "1078.34063%"
```

```
VaR3_percent=s[q3]*100;
VaR3_percent;         # percentage VaR-95%
f33=c("Percentage VaR-95% is",VaR3_percent);
f33;
"Percentage VaR-95% is" "-5.07148%"
```

```
q4=no*0.01;           #quantile = 1%
Av4=vport0*(-s[q4]);   #AVaR-99%
```

```
f4=c("AvaR-99% is",Av4);
f4;
"AvaR-99% is"      "1428.12391%"

VaR4_percent=s[q4]*100;
VaR4_percent;      # percentage VaR-99%
f44=c("Percentage VaR-99% is",VaR4_percent);
f44;
"Percentage VaR-99% is" "-6.71653%"
```

Στην συνέχεια προχωράμε στον υπολογισμό ορισμένων χρήσιμων στατιστικών στοιχείων για την απόδοση του χαρτοφυλακίου όπως η μέγιστη, η ελάχιστη και η μέση τιμή, η διακύμανση, η τυπική απόκλιση, καθώς και η λόξωση και η κύρτωση.

```
#useful statistical data
minimum_return=min(r[,3]);
minimum_return;      # minimum return
maximum_return=max(r[,3]);
maximum_return;      #maximum return
mean_return=mean(r[,3]);
mean_return;         #mean return
return_variance=var(r[,3]);
return_variance;     #variance
return_std_deviation=sd(r[,3]);
return_std_deviation; #standard deviation
require(moments);    # specific library for computing skew and kurtosis
return_skewness=skewness(r[,3]);
return_skewness;     #skewness
return_kurtosis=kurtosis(r[,3]);
return_kurtosis;     #kurtosis
```

Τα στατιστικά δεδομένα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 7.5. Σύνοψη διαφόρων στατιστικών στοιχείων για την κατανομή των προσομοιωμένων αποδόσεων του χαρτοφυλακίου

1000 simulations	
<i>Min return</i>	-0,090219
<i>Max return</i>	0,106998
<i>Mean return</i>	-0,002391
<i>Variance</i>	0,000862
<i>StD</i>	0,02937
<i>Skewness</i>	0,098528
<i>Kurtosis</i>	3,031941

Παρατηρείται ότι η λόξωση είναι κοντά στο μηδέν (0), ενώ η κύρτωση είναι περίπου 3, οπότε μπορεί να θεωρηθεί ότι η ημερήσια απόδοση του χαρτοφυλακίου ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή περίπου -0,002 και τυπική απόκλιση περίπου 0,03.

Ο υπολογισμός της VaR με τη μέθοδο Monte Carlo πραγματοποιήθηκε για 1000 πιθανά σενάρια, με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν νωρίτερα. Επαναλαμβάνουμε τις παραπάνω διαδικασίες για 5000 και 10000 προσομοιώσεις αντίστοιχα και επιστρέφονται τα παρακάτω αποτελέσματα:

n=5000

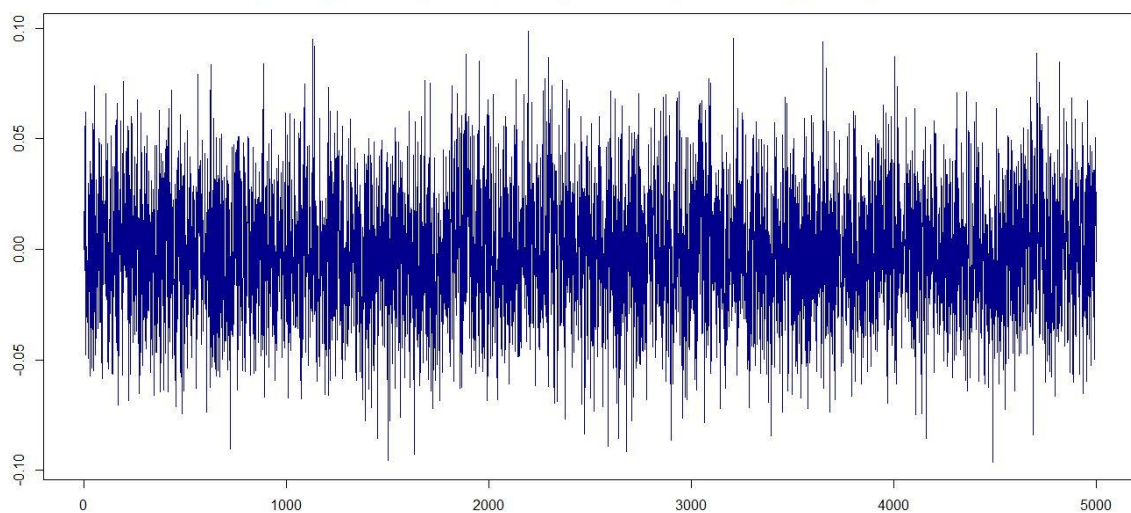
Πίνακας 7.6. Έξοδος συναρτήσεως MonteCarlo για n = 5000

#	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	V1s	V2s	V3s	V4s	V5s
1	2,007	0,4689	-0,7958	0,7409	1,1015	0,3687	9,8027	1,2493	0,1691	0,5836
2	0,9739	-0,2324	2,4419	-0,8844	0,4283	0,3499	9,5609	1,3022	0,1579	0,5457
3	-0,2496	1,8158	0,6962	0,4076	-0,6724	0,3289	9,7612	1,1853	0,1556	0,5032
4	0,6636	-1,6674	0,4068	1,0784	-1,6211	0,3444	9,2885	1,1918	0,1599	0,4962
5	1,8973	-0,0113	1,5494	-1,2615	0,7971	0,3666	9,7077	1,3281	0,1613	0,5687
6	0,1865	-0,7941	0,3285	-0,0917	0,205	0,3362	9,3761	1,1707	0,1517	0,5107
7	-1,0758	-0,1599	-1,2818	-2,8522	-1,461	0,3154	9,3345	1,055	0,1292	0,4222
8	1,698	1,1851	-0,253	0,7886	1,0609	0,3629	9,8885	1,2588	0,1692	0,5827
9	0,0017	-0,1221	0,8158	0,4245	-1,2634	0,3331	9,4654	1,1842	0,1549	0,4905
10	-0,6488	-0,6901	-0,6867	-1,2148	-0,4763	0,3223	9,2971	1,0915	0,1393	0,4622
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4991	-1,8274	0,2208	-1,0144	-1,1205	0,1647	0,3036	9,3102	1,0289	0,133	0,4493
4992	-0,5707	0,1753	-0,4499	0,1124	-0,6301	0,3236	9,4479	1,1117	0,1476	0,4783
4993	1,5225	-1,2073	-0,029	0,4078	0,6267	0,3597	9,463	1,231	0,1625	0,5539
4994	2,6293	-0,0756	-1,8376	0,017	-0,1362	0,3805	9,7845	1,2419	0,1669	0,5564
4995	1,7166	0,6239	-1,1687	0,2042	-0,1995	0,3633	9,7942	1,2198	0,1635	0,5412
4996	0,5976	0,1399	0,3431	-0,8479	-1,1277	0,3433	9,5788	1,2043	0,1522	0,4937
4997	0,0811	0,8251	-0,3295	-0,7818	1,1778	0,3344	9,6328	1,1579	0,1487	0,5229
4998	0,8084	0,79	0,0456	0,6622	-1,5855	0,347	9,7135	1,2126	0,1618	0,5055
4999	0,5237	-0,3103	-1,7479	-0,3701	0,0478	0,342	9,4951	1,1225	0,1496	0,5013
5000	1,6651	-2,3633	1,276	1,7611	-0,0152	0,3623	9,29	1,2764	0,1718	0,5627

Πίνακας 7.7. Προσομοιωμένες αξίες του χαρτοφυλακίου σε €

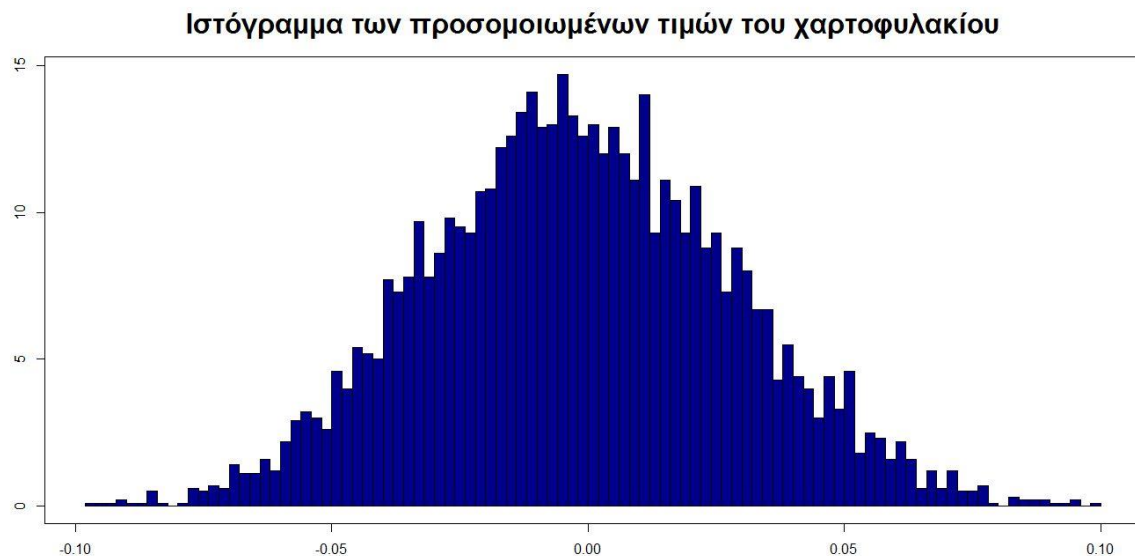
#	<i>VpSimulated</i>
1	22450
2	21991
3	21706
4	21061
5	22447
6	21129
7	20246
8	22582
9	21224
10	20506
.	.
.	.
4991	20206
4992	20883
4993	21720
4994	22335
4995	22153
4996	21494
4997	21507
4998	21809
4999	21147
5000	21665

Μεταβολές των προσομοιωμένων τιμών του χαρτοφυλακίου



Σχήμα 7.4. Γραφική αναπαράσταση των μεταβολών των προσομοιωμένων τιμών του χαρτοφυλακίου.

Σημείωση: Παρότι οι επαναλήψεις αυξήθηκαν από 1000 σε 5000, καθιστώντας δυσδιάκριτη την αναπαράσταση των δεδομένων, είναι ακόμα εμφανής η τυχαιότητα της διαδικασίας.



Σχήμα 7.5. Ιστόγραμμα των μεταβολών των προσομοιωμένων τιμών του χαρτοφυλακίου.

Και προχωρώντας στα αποτελέσματα για τις VaR:

```
"AvaR-80% is"      "580.79799"
"Percentage VaR-80% is" "-2.73152%"
```

```
"AvaR-90% is"      "837.31458"
"Percentage VaR-90% is" "-3.93793%"
```

```
"AvaR-95% is"      "1055.36656"
"Percentage VaR-95% is" "-4.96344%"
```

```
"AvaR-99% is"      "1447.58835"
"Percentage VaR-99% is" "-6.80808%"
```

Και τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία της κατανομής των αποδόσεων:

Πίνακας 7.8. Σύνοψη διαφόρων στατιστικών στοιχείων για την κατανομή των προσομοιωμένων αποδόσεων του χαρτοφυλακίου.

5000 simulations	
<i>Min return</i>	-0,096251
<i>Max return</i>	0,098719
<i>Mean return</i>	-0,001696
<i>Variance</i>	0,0008884
<i>StD</i>	0,02981
<i>Skewness</i>	0,086225
<i>Kurtosis</i>	2,853818

n=10000

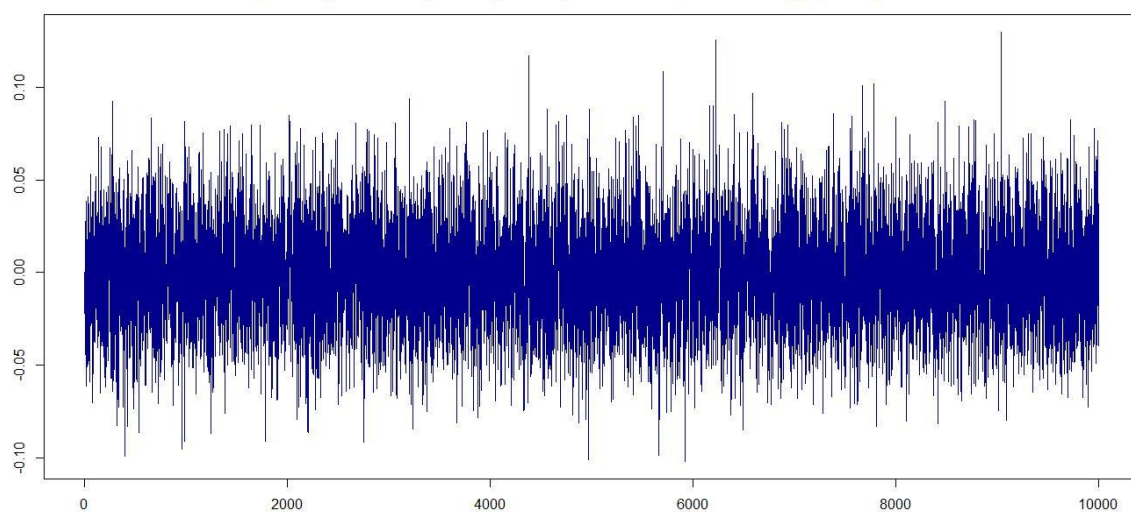
Πίνακας 7.9. Έξοδος συναρτήσεως MonteCarlo για n = 10000

#	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	V1s	V2s	V3s	V4s	V5s
1	-0,681	1,2061	0,6716	-1,4839	2,1248	0,3218	9,6066	1,1539	0,1426	0,5238
2	-0,2869	-1,5293	-1,6463	-0,2469	-1,1357	0,3283	9,2026	1,0714	0,1433	0,4579
3	0,2949	1,2429	0,3932	-1,0617	-0,1353	0,3381	9,729	1,1999	0,1507	0,508
4	0,1404	-1,6699	0,6065	0,5325	-0,9695	0,3354	9,2284	1,169	0,1538	0,4916
5	0,01	0,243	0,5662	0,9123	0,5729	0,3332	9,5269	1,1795	0,1575	0,5296
6	-0,2232	1,9379	0,4732	-0,2061	1,4293	0,3293	9,7853	1,1801	0,1525	0,5369
7	1,0804	-0,8748	-0,3469	2,2867	0,1318	0,3518	9,4665	1,1969	0,1693	0,5505
8	0,352	0,4293	0,6366	-1,2757	0,035	0,339	9,5984	1,2036	0,1493	0,5084
9	-0,8074	1,0094	-0,4513	-0,5687	0,0879	0,3197	9,5587	1,1069	0,1439	0,483
10	-0,4826	-0,7781	0,0104	1,4777	-0,9448	0,325	9,3018	1,1228	0,1544	0,4858
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9991	0,7316	0,2697	0,1479	-1,0707	0,7214	0,3456	9,6164	1,2064	0,1518	0,5287
9992	-0,1302	2,0425	-0,5037	-0,3102	0,5257	0,3309	9,8144	1,1521	0,151	0,5143
9993	0,097	1,0858	-0,0548	-0,0145	1,9839	0,3347	9,6787	1,171	0,1535	0,5501
9994	2,4838	0,5197	0,344	-0,4753	0,3862	0,3777	9,8692	1,3236	0,1684	0,5783
9995	-0,9297	0,981	-0,8436	-0,3592	-0,422	0,3177	9,5396	1,0872	0,1434	0,4704
9996	1,7202	-0,7245	1,685	-0,1387	-1,3342	0,3634	9,5665	1,3141	0,1651	0,53
9997	0,7325	-0,8617	-0,3833	-0,6637	1,1234	0,3456	9,4282	1,1758	0,1513	0,5311
9998	-1,2035	0,5632	-1,4219	-1,8691	-1,3693	0,3134	9,4383	1,0506	0,1334	0,4308
9999	-0,2878	-0,3402	0,1134	-1,3817	1,0651	0,3282	9,3958	1,1412	0,1426	0,5034
10000	0,1618	1,8367	-2,0702	-0,7592	2,1445	0,3358	9,8144	1,1127	0,1477	0,5362

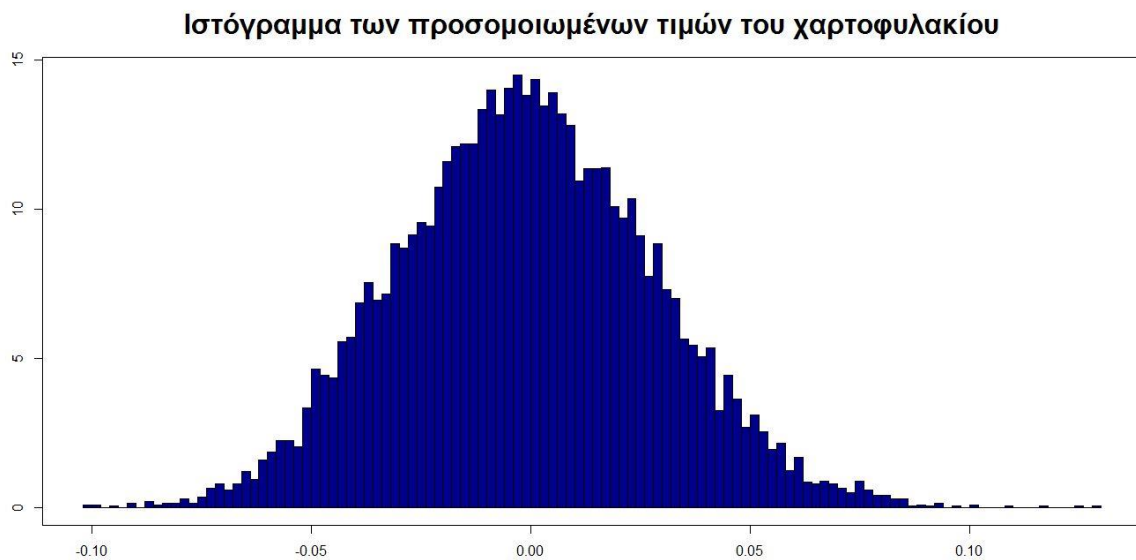
Πίνακας 7.10. Προσομοιωμένες αξίες του χαρτοφυλακίου σε €

#	<i>VpSimulated</i>
1	21393
2	20324
3	21737
4	20834
5	21460
6	21847
7	21606
8	21552
9	21027
10	20751
.	.
.	.
9991	21697
9992	21725
9993	21734
9994	22776
9995	20884
9996	22047
9997	21333
9998	20428
9999	20987
10000	21701

Μεταβολές των προσομοιωμένων τιμών του χαρτοφυλακίου



Σχήμα 7.6. Γραφική αναπαράσταση των μεταβολών των προσομοιωμένων τιμών του χαρτοφυλακίου.



Σχήμα 7.7. Ιστόγραμμα των μεταβολών των προσομοιωμένων τιμών του χαρτοφυλακίου.

Και προχωρώντας στα αποτελέσματα για τις VaR:

```
"AvaR-80% is"      " 553.21266"
"Percentage VaR-80% is" "-2.60178%"
```

```
"AvaR-90% is"      " 818.13019"
"Percentage VaR-90% is" "-3.84770%"
```

```
"AvaR-95% is"      "1017.58285"
"Percentage VaR-95% is" "-4.78574%"
```

```
"AvaR-99% is"      "1392.99833"
"Percentage VaR-99% is" "-6.55134%"
```

Και τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία της κατανομής των αποδόσεων:

Πίνακας 7.11. Σύνοψη διαφόρων στατιστικών στοιχείων για την κατανομή των προσομοιωμένων αποδόσεων του χαρτοφυλακίου.

10000 simulations	
Min return	-0,10191
Max return	0,12986
Mean return	-0,00112
Variance	0,00084
StD	0,0289
Skewness	0,11281
Kurtosis	3,01252

7.4 ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ

Ο επανέλεγχος της παραπάνω εφαρμογής θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση του ελέγχου του Kupiec, που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4.7.2. Ο επανέλεγχος με τη μέθοδο Kupiec χρησιμοποιεί PF(Proportion of Failure) Coverage tests, ώστε να δώσουν απάντηση στο εάν το μοντέλο αποτίμησης κινδύνου θα πρέπει να απορριφθεί ή όχι. Η διαδικασία ξεκινά, με την καταγραφή των υπερβάσεων (exceedances). Έστω N ο αριθμός των περιπτώσεων στις οποίες η τιμή της VaR που υπολογίσαμε για το χαρτοφυλάκιο, ξεπερνά την πραγματική τιμή της VaR στο δείγμα που μας παρέχεται από τα ιστορικά δεδομένα. Τότε ο αριθμός των υπερβάσεων ακολουθεί την διωνυμική κατανομή, $N \sim B(T, p)$, υπό την μηδενική υπόθεση ότι $H_0: \frac{N}{T} = p$. Ιδανικά θα πρέπει ο ρυθμός αποτυχίας N/T να ισούται με την πιθανότητα p η οποία αντιστοιχεί στον συντελεστή εμπιστοσύνης. Ο έλεγχος του Kupiec με «κάλυψη άνευ όρων» (unconditional coverage) συνίσταται να διεξαχθεί με τον υπολογισμό του λόγου πιθανοφάνειας (LR – Likelihood Ratio) με χρήση του τύπου:

$$LR_{ucPOF} = -2 \ln \left(\frac{(1-p)^{T-x} \cdot p^x}{[1 - \frac{x}{T}]^{T-x} \cdot (\frac{x}{T})^x} \right)$$

Όπου T ο αριθμός των παρατηρήσεων, x ο αριθμός των παραβιάσεων και p το επιλεγθέν επίπεδο εμπιστοσύνης. Υπό την μηδενική υπόθεση (H_0) ότι το μοντέλο είναι ορθό, ο λόγος πιθανοφάνειας ακολουθεί ασυμπτωτικά την κατανομή της χ^2 (chi-square) με ένα βαθμό ελευθερίας. Εάν η τιμή του στατιστικού LR_{ucPOF} υπερβαίνει την κρίσιμη τιμή της χ^2 (για το συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης), η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και συνεπώς το μοντέλο θεωρείται ανακριβές και εν συνεχεία απορρίπτεται. Ταυτόχρονα, ολοκληρώνοντας τη διαδικασία επανελέγχου του μοντέλου μας, υπολογίζουμε τις τιμές για τις P-Values του ελέγχου. Οι τιμές των P-Values θα μας δώσουν μια εικόνα για την ελάχιστη πιθανότητα αποτυχίας απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης και άρα αποδοχής του μοντέλου.

Για n = 1000

Αρχικά γράφεται μια απλή συνάρτηση, που δέχεται ως είσοδο τις τιμές του χαρτοφυλακίου και επιστρέφει ως έξοδο τις διαφορές των τιμών από μέρα σε μέρα, για τις 250 ημέρες διαπραγμάτευσης των ιστορικών δεδομένων.

```
# function w/ real values of the portfolio as input, 1.no of day 2.real value 3. daily
difference as output
diafores=function(k){
  m=length(k);
  Y=matrix(c(1,k[1],0),nrow=1);
  finalres=matrix(nrow=m,ncol=3);
  for (i in 1:m-1) {
```

```

z=k[i]-k[i+1];
Y=matrix(c(i,k[i],z),ncol=3);
finalres[i,]=Y };
dif=k[249]-k[250];
finalres[250,]=c(250,k[250],dif);
return(finalres) };
d1=diafores(p0);
d1=matrix(d1,ncol=3);
d1=d1[-250,];
diff=d1[,3];
diff=as.matrix(diff);

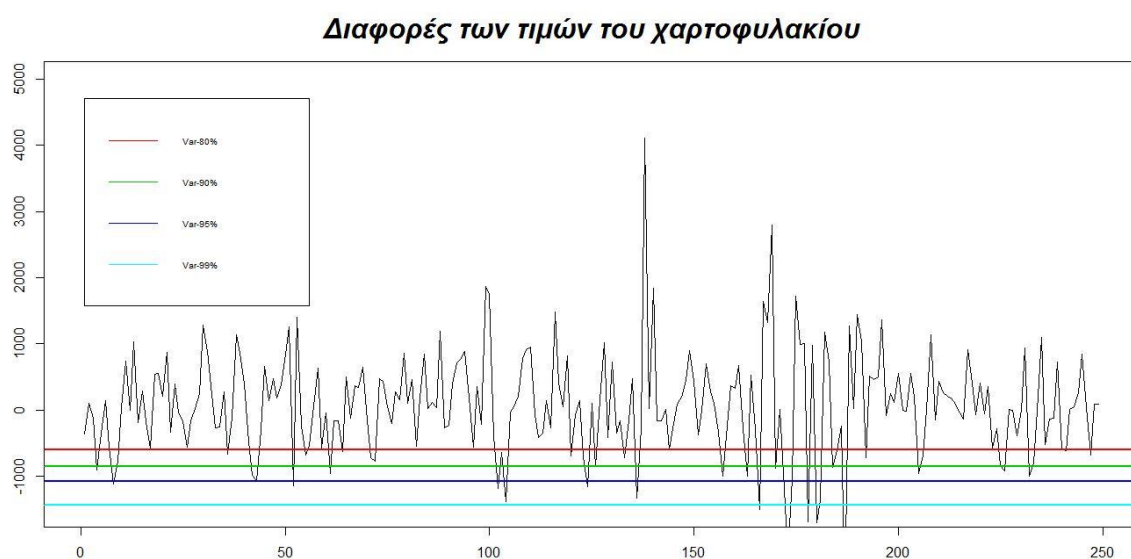
```

Στη συνέχεια ακολουθεί η γραφική αναπαράσταση των διαφορών των τιμών, ενώ στο ίδιο διάγραμμα ενσωματώνουμε τις ευθείες που αντιπροσωπεύουν την τιμή της VaR για κάθε επίπεδο εμπιστοσύνης ξεχωριστά.

```

# plot portfolio's differences per day along w/ 80-90-95-99% VaR
plot(diff,type="l", ylim=c(-1500,5000), ann=F);
abline(h=-Av1,col=2,lwd=2);
abline(h=-Av2,col=3,lwd=2);
abline(h=-Av3,col=4,lwd=2);
abline(h=-Av4,col=5,lwd=2);
legend(1, 4700, c("Var-80%", "Var-90%", "Var-95%", "Var-99%"), cex=0.6,
      col=c(2, 3, 4, 5), lty=1);
title(main="Διαφορές των τιμών του χαρτοφυλακίου", cex.main=2, col.main="black",
      font.main=4);

```



Σχήμα 7.8. Γραφική αναπαράσταση των διαφορών των τιμών του χαρτοφυλακίου.

Στη συνέχεια, με χρήση τεσσάρων μετρητών καταγράφων το πλήθος των παραβιάσεων για κάθε τιμή της VaR ώστε να προχωρήσουμε στον επανέλεγχο.

```
ypervaseis1=0;
for (i in 1:249) {;
  if (-Av1>diff[i]) ypervaseis1=ypervaseis1+1;
};
ypervaseis1 #violations 80% VaR;
```

```
ypervaseis2=0;
for (i in 1:249) {;
  if (-Av2>diff[i]) ypervaseis2=ypervaseis2+1;
};
ypervaseis2 #violations 90% VaR;
```

```
ypervaseis3=0;
for (i in 1:249) {;
  if (-Av3>diff[i]) ypervaseis3=ypervaseis3+1;
};
ypervaseis3 #violations 95% VaR;
```

```
ypervaseis4=0;
for (i in 1:249) {;
  if (-Av4>diff[i]) ypervaseis4=ypervaseis4+1;
};
ypervaseis4 #violations 99% VaR;
```

Στη συνέχεια, έχοντας καταγράψει τον αριθμό των παραβιάσεων προχωράμε στον υπολογισμό της πραγματικής τιμής του στατιστικού LR_{ucReal} , ώστε να γίνει σύγκριση με την κρίσιμη τιμή της $\chi^2(1)$. Αξίζει εδώ να σημειώσουμε πως επιλέγουμε 95% - επίπεδο εμπιστοσύνης για την διεξαγωγή του ελέγχου, όπως συνηθίζεται να λαμβάνεται για εμπειρικές μελέτες. Τέλος, ο υπολογισμός του LR_{ucReal} , καθώς και των P-Values γίνεται με τη χρήση της έτοιμης συνάρτησης “VaR.test” που συμπεριλαμβάνεται στο πακέτο “rugarch” για την R. Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο τις διαφορές των τιμών, το επίπεδο εμπιστοσύνης και την τιμή της VaR, αλλά και το επίπεδο εμπιστοσύνης που επιλέγεται για τον επανέλεγχο, και επιστρέφει σε μορφή λίστας στοιχεία και σχόλια για τις υπερβάσεις, το λόγο πιθανοφάνειας, τις P-Values, αλλά και την απόφαση αποδοχής ή απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης και συνεπώς του μοντέλου.

```
library(PerformanceAnalytics);  
library(quantmod);  
library(rugarch);
```

```
VarbackTest=matrix(c(1:249));  
for (i in 1:249) {;  
  VarbackTest[i]=-Av1;  
};
```

```
VaR.test = VaRTest(1-0.8, actual=d1[,3], VaR=VarbackTest, conf.level=0.95);  
# LR test for correct number of exceedances  
VaR.test[1:7];
```

```
VarbackTest=matrix(c(1:249));  
for (i in 1:249) {;  
  VarbackTest[i]=-Av2;  
};
```

```
VaR.test = VaRTest(1-0.9, actual=d1[,3], VaR=VarbackTest, conf.level=0.95);  
# LR test for correct number of exceedances  
VaR.test[1:7];
```

```
VarbackTest=matrix(c(1:249));  
for (i in 1:249) {;  
  VarbackTest[i]=-Av13  
};
```

```
VaR.test = VaRTest(1-0.95, actual=d1[,3], VaR=VarbackTest, conf.level=0.95);  
# LR test for correct number of exceedances  
VaR.test[1:7];
```

```
VarbackTest=matrix(c(1:249));  
for (i in 1:249) {;  
  VarbackTest[i]=-Av4;  
};
```

```
VaR.test = VaRTest(1-0.99, actual=d1[,3], VaR=VarbackTest, conf.level=0.95);  
# LR test for correct number of exceedances  
VaR.test[1:7];
```

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στην οθόνη μετά από την εκτέλεση των παραπάνω εντολών.

Πίνακας 7.12. Εμφάνιση αποτελεσμάτων backtest

80% VaRtest \$expected.exceed [1] 49 \$actual.exceed [1] 43 \$uc.H0 [1] "Correct Exceedances" \$uc.LRstat [1] 1.203 \$uc.critical [1] 3.841 \$uc.LRp [1] 0.2726 \$uc.Decision [1] "Fail to Reject H0"	90% VaRtest \$expected.exceed [1] 24 \$actual.exceed [1] 25 \$uc.H0 [1] "Correct Exceedances" \$uc.LRstat [1] 0.0004457 \$uc.critical [1] 3.841 \$uc.LRp [1] 0.9832 \$uc.Decision [1] "Fail to Reject H0"
95% VaRtest \$expected.exceed [1] 12 \$actual.exceed [1] 13 \$uc.H0 [1] "Correct Exceedances" \$uc.LRstat [1] 0.02523 \$uc.critical [1] 3.841 \$uc.LRp [1] 0.8738 \$uc.Decision [1] "Fail to Reject H0"	99% VaRtest \$expected.exceed [1] 2 \$actual.exceed [1] 5 \$uc.H0 [1] "Correct Exceedances" \$uc.LRstat [1] 1.977 \$uc.critical [1] 3.841 \$uc.LRp [1] 0.1597 \$uc.Decision [1] "Fail to Reject H0"

Στη συνέχεια ακολουθούν οι αντίστοιχοι πίνακες για $n = 5000$ και $n = 10000$ επαναλήψεις καθώς και το διάγραμμα των διαφορών των τιμών του χαρτοφυλακίου σε σχέση με τις τιμές της VaR.

Για $n = 5000$



Σχήμα 7.9. Γραφική αναπαράσταση των διαφορών των τιμών του χαρτοφυλακίου.

Ακολουθεί ο πίνακας με τα αποτελέσματα του backtest.

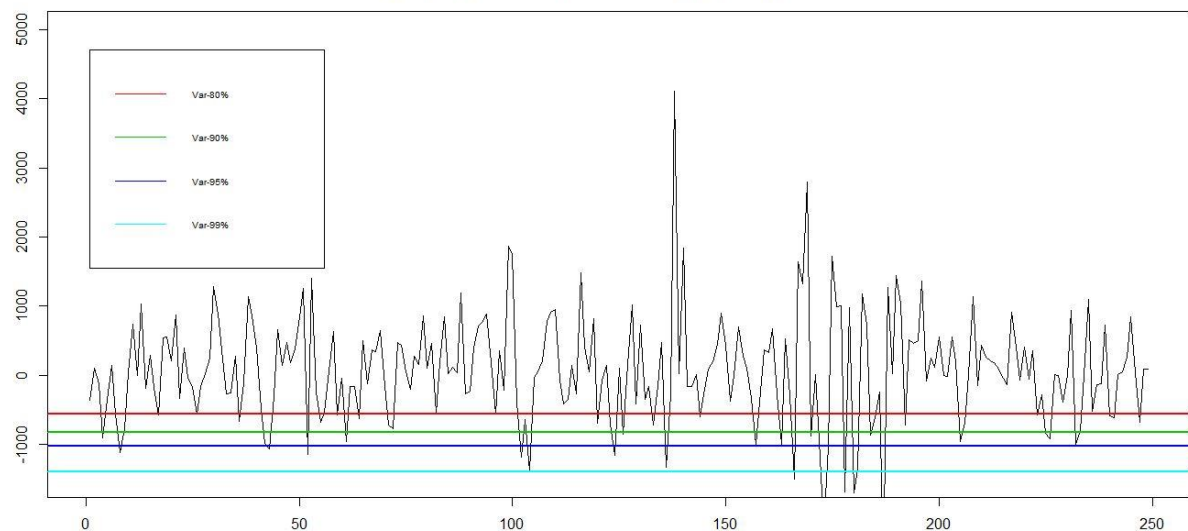
Πίνακας 7.13. Εμφάνιση αποτελεσμάτων backtest

80% VaRtest	90% VaRtest
<code>\$expected.exceed</code> [1] 49	<code>\$expected.exceed</code> [1] 24
<code>\$actual.exceed</code> [1] 44	<code>\$actual.exceed</code> [1] 26
<code>\$uc.H0</code> [1] "Correct Exceedances"	<code>\$uc.H0</code> [1] "Correct Exceedances"
<code>\$uc.LRstat</code> [1] 0.8706	<code>\$uc.LRstat</code> [1] 0.0533
<code>\$uc.critical</code> [1] 3.841	<code>\$uc.critical</code> [1] 3.841
<code>\$uc.LRp</code> [1] 0.3508	<code>\$uc.LRp</code> [1] 0.8174
<code>\$uc.Decision</code> [1] "Fail to Reject H0"	<code>\$uc.Decision</code> [1] "Fail to Reject H0"

95% VaRtest	99% VaRtest
\$expected.exceed [1] 12	\$expected.exceed [1] 2
\$actual.exceed [1] 14	\$actual.exceed [1] 5
\$uc.H0 [1] "Correct Exceedances"	\$uc.H0 [1] "Correct Exceedances"
\$uc.LRstat [1] 0.1956	\$uc.LRstat [1] 1.977
\$uc.critical [1] 3.841	\$uc.critical [1] 3.841
\$uc.LRp [1] 0.6583	\$uc.LRp [1] 0.1597
\$uc.Decision [1] "Fail to Reject H0"	\$uc.Decision [1] "Fail to Reject H0"

Για $n = 10000$

Διαφορές των τιμών του χαρτοφυλακίου



Σχήμα 7.10. Γραφική αναπαράσταση των διαφορών των τιμών του χαρτοφυλακίου.

Αποτελέσματα backtest:

Πίνακας 7.14. Εμφάνιση αποτελεσμάτων backtest

80% VaRtest \$expected.exceed [1] 49 \$actual.exceed [1] 51 \$uc.H0 [1] "Correct Exceedances" \$uc.LRstat [1] 0.03593 \$uc.critical [1] 3.841 \$uc.LRp [1] 0.8497 \$uc.Decision [1] "Fail to Reject H0"	90% VaRtest \$expected.exceed [1] 24 \$actual.exceed [1] 27 \$uc.H0 [1] "Correct Exceedances" \$uc.LRstat [1] 0.1921 \$uc.critical [1] 3.841 \$uc.LRp [1] 0.6612 \$uc.Decision [1] "Fail to Reject H0"
95% VaRtest \$expected.exceed [1] 12 \$actual.exceed [1] 15 \$uc.H0 [1] "Correct Exceedances" \$uc.LRstat [1] 0.5175 \$uc.critical [1] 3.841 \$uc.LRp [1] 0.4719 \$uc.Decision [1] "Fail to Reject H0"	99% VaRtest \$expected.exceed [1] 2 \$actual.exceed [1] 5 \$uc.H0 [1] "Correct Exceedances" \$uc.LRstat [1] 1.977 \$uc.critical [1] 3.841 \$uc.LRp [1] 0.1597 \$uc.Decision [1] "Fail to Reject H0"

7.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο 7.3 αναλύθηκε λεπτομερώς η διαδικασία υπολογισμού της ημερήσιας VaR του χαρτοφυλακίου που επιλέξαμε, με χρήση της προσομοίωσης Monte Carlo. Η διαδικασία εκτελέστηκε για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης καθώς και για διαφορετικό αριθμό μελλοντικών σεναρίων. Ειδικότερα, στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι τιμές της VaR, καθώς και οι ποσοστιαίες απώλειες του χαρτοφυλακίου, για 20%, 10%, 5% και 1% επίπεδα σημαντικότητας καθώς και για 1000, 5000 και 10000 προσομοιώσεις.

Πίνακας 7.15. Σύνοψη αποτελεσμάτων υπολογισμού της VaR

Επίπεδο εμπιστοσύνης	Αριθμός Σεναρίων					
	1000		5000		10000	
	VaR	%VaR	VaR	%VaR	VaR	%VaR
80%	-597,42	-2,809%	-580,79	-2,731%	-553,21	-2,602%
90%	-857,09	-4,031%	-837,31	-3,938%	-818,13	-3,848%
95%	-1078,34	-5,071%	-1055,36	-4,963%	-1017,58	-4,786%
99%	-1428,12	-6,716%	-1447,59	-6,808%	-1392,99	-6,551%

Για παράδειγμα, από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνουμε ότι για επίπεδο σημαντικότητας 95% και για 5000 προσομοιωμένες τιμές η τιμή της VaR είναι περίπου -1055 ευρώ (ή -4,96%). Περιγραφικά, η συγκεκριμένη τιμή της VaR μας δίνει την πληροφορία ότι στο 95% των περιπτώσεων οι αυριανές απώλειες του χαρτοφυλακίου μας δεν θα ξεπεράσουν τα 1055 ευρώ (4,96% της αξίας) ή αντίστοιχα ότι υπάρχει 5% πιθανότητα οι αυριανές μας απώλειες να υπερβούν τα 1055 ευρώ. Αντίστοιχα με 99% επίπεδο εμπιστοσύνης και για 10000 προσομοιώσεις η τιμή της VaR είναι περίπου -1392 ευρώ (6,55%), δηλαδή υπάρχει 1% πιθανότητα οι αυριανές απώλειες του χαρτοφυλακίου μας να υπερβούν τη συγκεκριμένη τιμή.

Παρατηρούμε ότι αυξάνοντας τον αριθμό των παραγόμενων μελλοντικών σεναρίων, για δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης, οι αποκλίσεις στις τιμές των VaR είναι ιδιαίτερα μικρές. Συγκεκριμένα, για 99% επίπεδο εμπιστοσύνης η τιμή της VaR κυμαίνεται περίπου στο -6,7%, για 95% περίπου -4,95%, για 90% περίπου -3,95% και τέλος για 80% επίπεδο εμπιστοσύνης κυμαίνεται στο 2,7%, με τις μεταξύ τους αποκλίσεις να μην ξεπερνούν το -0,25%.

Αντίθετα, όπως γίνεται αντιληπτό, σημαντικές διαφορές προκύπτουν αν εξετάσουμε τις παραχθείσες τιμές των VaR με κριτήριο το επίπεδο εμπιστοσύνης. Συγκεκριμένα, για 1000 επαναλήψεις η τιμή της VaR είναι περίπου στο -2,6% για 80% επίπεδο εμπιστοσύνης, η τιμή κυμαίνεται στο -3,8% και -4,8%, για 90% και 95% αντίστοιχα, ενώ τέλος λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή της, -6,5% περίπου, για 99% επίπεδο σημαντικότητας. Συνεπώς, είναι φανερό το πώς η μεταβολή του επηρεάζει καθοριστικά την εκτίμηση της VaR για ένα χαρτοφυλάκιο.

Από τα συμπεράσματα που εξήχθησαν παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως οι τιμές για τις πιθανές απώλειες της αξίας του υπό εξέταση χαρτοφυλακίου δεν εξαρτώνται άμεσα από τον αριθμό των παραγόμενων μελλοντικών προσομοιωμένων τιμών. Παρότι σε μεγάλα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και επιχειρήσεις πραγματοποιούνται εκτιμήσεις με τουλάχιστον 10000 προσομοιώσεις, είναι φανερό ότι, ακόμα και τα αποτελέσματα των 1000 επαναλήψεων επαρκούν για μια αρκετά καλή εκτίμηση της τιμής της VaR. Αντίθετα, το επίπεδο εμπιστοσύνης, που θα επιλέξει ο εκάστοτε αναλυτής για την πρόβλεψη και τιμολόγηση των αναμενόμενων απωλειών, παίζει πρωτεύοντα ρόλο και έχει άμεση επίδραση στον υπολογισμό της, όσο το δυνατόν πιο, ακριβούς τιμής της Αξίας σε κίνδυνο.

Όσον αφορά τον επανέλεγχο των αποτελεσμάτων, αναφέρθηκε και νωρίτερα ότι, επιλέχθηκε ο έλεγχος Kupiec για την πιθανότητα αποτυχίας με κάλυψη «άνευ όρων» (Kupiec's unconditional coverage proportion of failure). Συγκεκριμένα ορίζεται ως μηδενική υπόθεση η ισότητα του ρυθμού αποτυχίας με τον συντελεστή εμπιστοσύνης που επιλέγεται για τον έλεγχο. Συνηθίζεται, σε εμπειρικές μελέτες, να λαμβάνεται 5% συντελεστής εμπιστοσύνης όταν η υπόθεση αφορά σφάλματα τύπου I, δηλαδή όταν εξετάζεται η εσφαλμένη απόρριψη του σωστού μοντέλου. Σε μεγάλα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, που έχουν ως κύριο αντικείμενο τη διαχείριση κινδύνου, τα σφάλματα τύπου II, δηλαδή σφάλματα που αφορούν την αποδοχή ενός λανθασμένου μοντέλου, μπορεί να αποβούν μοιραία για την πορεία και την ευημερία τους. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούν 10%, είτε ακόμα και 20% επίπεδο σημαντικότητας για τις μελέτες τους.

Εν προκειμένω, επιλέχθηκε ο έλεγχος του Kupiec να διεξαχθεί με χρήση του 95% συντελεστή της χ^2 . Για κάθε τιμή της VaR υπολογίστηκαν οι υπερβάσεις σε σχέση με τα ιστορικά δεδομένα, καθώς και η πραγματική τιμή του στατιστικού λόγου πιθανοφάνειας, LR_{uc} . Το κριτήριο, για την αποδοχή της υπό εξέταση τιμής της VaR, ορίζει ότι δεν θα πρέπει η πραγματική τιμή του LR_{uc} να ξεπερνά της κρίσιμη τιμή της χ^2 για ένα βαθμό ελευθερίας, συγκεκριμένα $\chi^2 = 3,84$. Επίσης, υπολογίστηκαν και οι τιμές των P-values για τον έλεγχο Kupiec. Όλα τα αποτελέσματα για τον επανέλεγχο συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα με παράθεση των LR_{uc} και των αντίστοιχων P-values τους για 1000, 5000 και 10000 προσομοιώσεις και για 80%, 90%, 95% και 99% επίπεδο εμπιστοσύνης αντίστοιχα.

Πίνακας 7.16. Σύνοψη αποτελεσμάτων Kupiec's test

Επίπεδο εμπιστοσύνης	Αριθμός Σεναρίων					
	1000		5000		10000	
	LRuc	P-Value	LRuc	P-Value	LRuc	P-Value
80%	1,203	0,2726	0,8706	0,3508	0,03593	0,8497
90%	0,0004	0,9832	0,0533	0,8174	0,1921	0,6612
95%	0,02523	0,8738	0,1956	0,6583	0,5175	0,4719
99%	1,977	0,1597	1,977	0,1597	1,977	0,1597

Όπως γίνεται αντιληπτό καμία τιμή του λόγου πιθανοφάνειας δεν ξεπερνά την κρίσιμη τιμή του 3,84. Συνεπώς, ο έλεγχος του μοντέλου δεν απορρίπτει τη μηδενική υπόθεση και το μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστο. Για περαιτέρω ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου μπορούμε να εξετάσουμε τις τιμές των P-values για κάθε τιμή της VaR.

Για παράδειγμα, για επίπεδο σημαντικότητας 90% και 5000 προσομοιώσεις η τιμή του P-value βρέθηκε περίπου 0,81 ενώ για 10000 προσομοιώσεις και 95% επίπεδο εμπιστοσύνης η τιμή που λαμβάνουμε είναι περίπου 0,47. Οι τιμές των P-values εκφράζουν την ελάχιστη πιθανότητα μη απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης, και εξαρτώνται άμεσα από το επίπεδο εμπιστοσύνης και τον αριθμό των παραγόμενων σεναρίων. Συνεπώς, για συντελεστή εμπιστοσύνης 10% και 5000 επαναλήψεις η ελάχιστη πιθανότητα μη απόρριψης της H_0 είναι 81,74%, σαφώς κατά πολύ μεγαλύτερη από τον συντελεστή εμπιστοσύνης, με αποτέλεσμα να μην απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση. Αντίστοιχα, και για 5% επίπεδο εμπιστοσύνης και 10000 επαναλήψεις, η ελάχιστη πιθανότητα μη απόρριψης της H_0 υπολογίζεται στο 47,19% επίσης κατά πολύ μεγαλύτερο από το 5%. Με την ίδια διαδικασία διαπιστώνεται ότι δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση σε καμία περίπτωση, και συνεπώς το μοντέλο υπολογισμού της VaR που κατασκευάστηκε, θεωρείται αξιόπιστο.

7.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βασική αιτία για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, αποτέλεσε η έντονη συζήτηση των τελευταίων ετών σχετικά με την μεταβλητότητα των παγκόσμιων αγορών αλλά και τον κίνδυνο στον οποίο εκτίθεται καθημερινά η πλειονότητα των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων αλλά και επιχειρήσεων. Τα τελευταία χρόνια πολλοί συνδέουν τα διάφορα εργαλεία διαχείρισης κινδύνου με την πρόσφατη χρηματοοικονομική κρίση, επιρρίπτοντας ευθύνες τόσο στον τρόπο χρήσης, όσο και στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων τους. Στη συγκεκριμένη εργασία ασχοληθήκαμε αποκλειστικά με την Αξία σε κίνδυνο, ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται κατά κόρον από πολλές τράπεζες και χρηματοπιστωτικούς οργανισμούς ως ένα στιβαρό μέτρο υπολογισμού της έκθεσης στον χρηματοοικονομικό κίνδυνο, και συγκεκριμένα στον κίνδυνο αγοράς.

Η διαχείριση των χρηματοοικονομικών κινδύνων αποτελεί συνεχώς εξελισσόμενο κλάδο αφού καλείται να προσαρμοστεί στις διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες του ευμετάβλητου οικονομικού περιβάλλοντος. Υπάρχει η ανάγκη για νέες, εξελιγμένες μεθόδους υπολογισμού του κινδύνου με σκοπό την καλύτερη πρόβλεψη και αντιμετώπιση του. Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώθηκε στον υπολογισμό της Αξίας σε Κίνδυνο μέσω μιας μη-παραμετρικής μεθόδου, της μεθόδου προσομοιώσεων Monte Carlo.

Οι μέθοδοι προσομοίωσης χρησιμοποιούνται από διάφορα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα με σκοπό τη διαχείριση του κινδύνου. Οι πολλαπλές κατανομές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε μοντέλο, η ευκολία συσχέτισης πολλών και διαφορετικών στοιχείων ενός χαρτοφυλακίου και η δυνατότητα χειρισμού μεγάλου όγκου δεδομένων αποτελούν βασικά πλεονεκτήματα των μεθόδων προσομοίωσης, και συγκεκριμένα της MC, έναντι των υπολοίπων μεθόδων αποτίμησης του κινδύνου.

Η μέθοδος MCS (Monte Carlo Simulation) είναι ιδιαίτερα ευέλικτη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για να συμπληρώσει την στοχαστική διαδικασία, είτε για την διενέργεια δειγματοληψίας (sampling) σε μια δεδομένη βάση ιστορικών δεδομένων.

Στον αντίποδα, το γεγονός ότι κάθε μοντέλο κατασκευάζεται αφότου προεπιλεγεί συγκεκριμένη κατανομή για τη δημιουργία των μελλοντικών προσομοιώσεων, μπορεί συχνά να οδηγήσει σε εσφαλμένα είτε παραπλανητικά αποτελέσματα. Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι για την διεξαγωγή προσομοιώσεων με ακρίβεια και σαφήνεια αποτελεσμάτων απαιτείται αρκετά μεγάλη υπολογιστική ισχύ και κατάλληλος εξοπλισμός ο οποίος θα μπορεί να υποστηρίξει την εν λόγω διαδικασία.

Επίσης, μέσω της σύντομης εφαρμογής που πραγματοποιήθηκε στην R, με σκοπό τον υπολογισμό της ημερήσιας VaR χαρτοφυλακίου 5 μετοχών, έγινε αντιληπτό το πώς μπορεί κανείς να κατασκευάσει ένα στοχαστικό μοντέλο υπολογισμού με αρκετά καλή ακρίβεια. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον και αντικείμενο για περαιτέρω προβληματισμό παρουσιάζουν ακόμα πιο σύνθετα χαρτοφυλάκια, που μπορεί να αποτελούνται από ομόλογα, παράγωγα και δικαιώματα (options). Ιδιαίτερα στην περίπτωση των παραγώγων, που είναι άμεσα συνδεδεμένα με τις συναλλαγές υψηλού ρίσκου, οι μέθοδοι προσομοίωσης, και συγκεκριμένα η Monte Carlo, αποτελεί απαραίτητο εργαλείο στην αποτίμηση και διαχείριση του κινδύνου που εμπεριέχουν.

Κλείνοντας, η μέθοδος αποτίμησης κινδύνου μέσω της VaR παραμένει ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία για τους διαχειριστές του κινδύνου, κυρίως σε ότι έχει να κάνει με τη μέτρηση, την ποσοτικοποίηση, καθώς και τη μόχλευση του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Η ευκολία, με την οποία η VaR αποτυπώνει τον κίνδυνο σε έναν απλό αριθμό, συνεισφέρει στην καλύτερη επικοινωνία ανάμεσα σε μετόχους και διαχειριστές και αυτός είναι ένας από τους λόγους που την έχουν καθιερώσει. Από ένα απλό εργαλείο μέτρησης του κινδύνου, η VaR εξελίσσεται σε έναν ενεργητικό παράγοντα διαχείρισής του. Χρησιμοποιείται στην μέτρηση της αποδοτικότητας, στην αξιολόγηση των επενδύσεων, στον καταμερισμό των κεφαλαίων, αλλά και στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την χρηματοοικονομική πολιτική ενός οργανισμού ή μια επιχείρησης.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, γίνεται σαφές ότι υπάρχει μεγάλο περιθώριο για εμβάθυνση και έρευνα σε ότι αφορά τη συλλογή δεδομένων, την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, αλλά και γενικότερα τη χρήση μοντέλων Monte Carlo για τον υπολογισμό της Value at Risk. Η επιλογή των παραπάνω μεθόδων προσδίδει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στα ιδρύματα και τις επιχειρήσεις που τις προτιμούν για τον υπολογισμό και τη μέτρηση της έκθεσής τους στο χρηματοοικονομικό κίνδυνο, ενώ είναι σαφές ότι το θέμα της διαχείρισης κινδύνου εξελίσσεται συνεχώς και αποτελεί κεντρικό αντικείμενο συζήτησης τόσο σε ακαδημαϊκούς χώρους, όσο και στο περιβάλλον διαφόρων χρηματοπιστωτικών οργανισμών και επιχειρήσεων.

7.7 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιήθηκε εμπειρική εφαρμογή της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo, για τον υπολογισμό της VaR, σε ένα υποθετικό χαρτοφυλάκιο το οποίο κατασκευάστηκε από πραγματικά δεδομένα ενός έτους διαπραγμάτευσης, τα οποία αντλήθηκαν από το Χρηματιστήριο Αθηνών. Η κατασκευή του χαρτοφυλακίου, η δημιουργία προσομοιωμένων μελλοντικών τιμών, καθώς και η αποτίμηση αυτού πραγματοποιήθηκαν εξολοκλήρου στο προγραμματιστικό περιβάλλον της R, με τη χρήση του ειδικά διαμορφωμένου IDE, RStudio. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας παρουσιάστηκε αναλυτικά η διαδικασία επανελέγχου τους μοντέλου μέσω της μεθόδου του Kupiec. Ακολούθησε ανάλυση των αποτελεσμάτων τόσο για τις τιμές της Αξίας σε κίνδυνο που προέκυψαν, όσο και για τα αποτελέσματα του επανελέγχου μέσω των οποίων προχωρήσαμε σε αποδοχή του μοντέλου. Το κεφάλαιο ολοκληρώθηκε με παράθεση κάποιων γενικών συμπερασμάτων, που προήλθαν μέσα από την εκπόνηση της εργασίας, καθώς και ένα γενικό σχολιασμό του ρόλου που κατέχει η VaR αλλά και ο υπολογισμός αυτής, μέσω της μεθόδου Monte Carlo προσομοιώσεων τόσο σε ακαδημαϊκούς χώρους, όσο και στο περιβάλλον των επιχειρήσεων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Π.1 ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ χ^2 (Chi-squared distribution)

	p value												
f	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.75	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.10	0.45	1.32	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	0.58	1.39	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.11	0.22	0.35	0.58	1.21	2.37	4.11	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	1.92	3.36	5.39	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	2.67	4.35	6.63	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	1.64	2.20	3.45	5.35	7.84	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	4.25	6.35	9.04	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	5.07	7.34	10.22	13.36	15.51	17.53	20.09	21.95
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	5.90	8.34	11.39	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	6.74	9.34	12.55	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	7.58	10.34	13.70	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	8.44	11.34	14.85	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	9.30	12.34	15.98	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	10.17	13.34	17.12	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	11.04	14.34	18.25	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	11.91	15.34	19.37	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	12.79	16.34	20.49	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	13.68	17.34	21.60	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	14.56	18.34	22.72	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	15.45	19.34	23.83	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	16.34	20.34	24.93	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	17.24	21.34	26.04	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	18.14	22.34	27.14	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	19.04	23.34	28.24	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	19.94	24.34	29.34	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	20.84	25.34	30.43	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	21.75	26.34	31.53	36.74	40.11	43.19	46.96	49.64
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	22.66	27.34	32.62	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	23.57	28.34	33.71	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	24.48	29.34	34.80	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
31	14.46	15.66	17.54	19.28	21.43	25.39	30.34	35.89	41.42	44.99	48.23	52.19	55.00
32	15.13	16.36	18.29	20.07	22.27	26.30	31.34	36.97	42.58	46.19	49.48	53.49	56.33
33	15.82	17.07	19.05	20.87	23.11	27.22	32.34	38.06	43.75	47.40	50.73	54.78	57.65
34	16.50	17.79	19.81	21.66	23.95	28.14	33.34	39.14	44.90	48.60	51.97	56.06	58.96
35	17.19	18.51	20.57	22.47	24.80	29.05	34.34	40.22	46.06	49.80	53.20	57.34	60.27
36	17.89	19.23	21.34	23.27	25.64	29.97	35.34	41.30	47.21	51.00	54.44	58.62	61.58
37	18.59	19.96	22.11	24.07	26.49	30.89	36.34	42.38	48.36	52.19	55.67	59.89	62.88
38	19.29	20.69	22.88	24.88	27.34	31.81	37.34	43.46	49.51	53.38	56.90	61.16	64.18
39	20.00	21.43	23.65	25.70	28.20	32.74	38.34	44.54	50.66	54.57	58.12	62.43	65.48
40	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	33.66	39.34	45.62	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
41	21.42	22.91	25.21	27.33	29.91	34.58	40.34	46.69	52.95	56.94	60.56	64.95	68.05
42	22.14	23.65	26.00	28.14	30.77	35.51	41.34	47.77	54.09	58.12	61.78	66.21	69.34
43	22.86	24.40	26.79	28.96	31.63	36.44	42.34	48.84	55.23	59.30	62.99	67.46	70.62
44	23.58	25.15	27.57	29.79	32.49	37.36	43.34	49.91	56.37	60.48	64.20	68.71	71.89
45	24.31	25.90	28.37	30.61	33.35	38.29	44.34	50.98	57.51	61.66	65.41	69.96	73.17
46	25.04	26.66	29.16	31.44	34.22	39.22	45.34	52.06	58.64	62.83	66.62	71.20	74.44
47	25.77	27.42	29.96	32.27	35.08	40.15	46.34	53.13	59.77	64.00	67.82	72.44	75.70
48	26.51	28.18	30.75	33.10	35.95	41.08	47.34	54.20	60.91	65.17	69.02	73.68	76.97
49	27.25	28.94	31.55	33.93	36.82	42.01	48.33	55.27	62.04	66.34	70.22	74.92	78.23
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	42.94	49.33	56.33	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49

Π.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΜΠΕΙΡΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Πίνακας Π.1. Τιμές κλεισίματος των επιλεγθέντων μετοχών σε € από 26/5/14 έως 29/5/15.

Ημ/νία	ΑΛΦΑ	ΕΛΛ	ΕΤΕ	ΕΥΡΩΒ	ΠΕΙΡ
26/5/2014	0,68	13,96	2,42	0,389	1,72
27/5/2014	0,694	14,19	2,46	0,378	1,69
28/5/2014	0,7	14,02	2,46	0,37	1,73
29/5/2014	0,698	14	2,52	0,387	1,71
30/5/2014	0,69	14,15	2,62	0,41	1,8
2/6/2014	0,711	14,34	2,59	0,407	1,82
3/6/2014	0,7	14,3	2,55	0,405	1,84
4/6/2014	0,696	14,63	2,61	0,411	1,81
5/6/2014	0,728	14,79	2,75	0,414	1,9
6/6/2014	0,76	14,85	2,9	0,42	1,93
10/6/2014	0,76	14,9	2,86	0,434	1,92
11/6/2014	0,739	14,9	2,78	0,44	1,8
12/6/2014	0,726	14,97	2,8	0,428	1,78
13/6/2014	0,715	14,74	2,7	0,41	1,7
16/6/2014	0,725	14,74	2,75	0,41	1,7
17/6/2014	0,722	14,61	2,76	0,397	1,68
18/6/2014	0,716	14,53	2,77	0,39	1,76
19/6/2014	0,716	14,64	2,86	0,39	1,8
20/6/2014	0,75	14,2	2,84	0,407	1,8
23/6/2014	0,73	14,24	2,82	0,397	1,68
24/6/2014	0,695	14,4	2,75	0,385	1,66
25/6/2014	0,677	14,3	2,62	0,381	1,59
26/6/2014	0,685	14,39	2,68	0,378	1,59
27/6/2014	0,68	14,22	2,64	0,378	1,59
30/6/2014	0,68	14,12	2,67	0,369	1,62
1/7/2014	0,685	14	2,74	0,372	1,65
2/7/2014	0,7	14,02	2,8	0,382	1,72
3/7/2014	0,705	14,03	2,82	0,38	1,74
4/7/2014	0,705	14,22	2,75	0,383	1,71
7/7/2014	0,685	14,12	2,73	0,382	1,72
8/7/2014	0,632	14	2,6	0,359	1,6
9/7/2014	0,62	13,75	2,52	0,355	1,54
10/7/2014	0,621	13,88	2,43	0,35	1,5
11/7/2014	0,617	13,93	2,47	0,353	1,52
14/7/2014	0,63	13,7	2,56	0,359	1,59
15/7/2014	0,642	13,62	2,54	0,35	1,56
16/7/2014	0,648	13,77	2,6	0,355	1,62

17/7/2014	0,651	13,87	2,57	0,354	1,63
18/7/2014	0,623	13,6	2,48	0,346	1,54
21/7/2014	0,603	13,35	2,42	0,342	1,48
22/7/2014	0,619	13,11	2,41	0,345	1,46
23/7/2014	0,608	13,32	2,41	0,337	1,52
24/7/2014	0,61	13,69	2,47	0,341	1,58
25/7/2014	0,636	13,88	2,58	0,36	1,66
28/7/2014	0,625	14,13	2,57	0,359	1,66
29/7/2014	0,615	14,04	2,51	0,345	1,59
30/7/2014	0,62	13,99	2,47	0,343	1,6
31/7/2014	0,6	13,9	2,41	0,336	1,58
1/8/2014	0,605	13,85	2,4	0,34	1,55
4/8/2014	0,605	13,83	2,33	0,34	1,51
5/8/2014	0,6	13,66	2,27	0,323	1,42
6/8/2014	0,573	13,41	2,23	0,304	1,26
7/8/2014	0,585	13,73	2,3	0,315	1,36
8/8/2014	0,579	13,28	2,21	0,295	1,26
11/8/2014	0,576	13,24	2,26	0,299	1,3
12/8/2014	0,6	13,29	2,35	0,32	1,35
13/8/2014	0,605	13,45	2,38	0,319	1,4
14/8/2014	0,61	13,31	2,4	0,318	1,42
18/8/2014	0,595	13,18	2,32	0,305	1,39
19/8/2014	0,609	13,29	2,45	0,31	1,38
20/8/2014	0,61	13,23	2,48	0,31	1,39
21/8/2014	0,632	13,48	2,58	0,315	1,44
22/8/2014	0,649	13,3	2,62	0,324	1,5
25/8/2014	0,649	13,44	2,6	0,325	1,5
26/8/2014	0,653	13,5	2,73	0,333	1,53
27/8/2014	0,645	13,25	2,68	0,337	1,54
28/8/2014	0,656	13,45	2,64	0,328	1,52
29/8/2014	0,666	13,3	2,61	0,323	1,5
1/9/2014	0,667	13,08	2,63	0,323	1,48
2/9/2014	0,651	13,1	2,55	0,321	1,38
3/9/2014	0,67	13	2,59	0,331	1,4
4/9/2014	0,69	12,98	2,71	0,349	1,47
5/9/2014	0,685	13,2	2,74	0,346	1,57
8/9/2014	0,695	12,99	2,69	0,353	1,55
9/9/2014	0,68	13,1	2,57	0,34	1,51
10/9/2014	0,685	13,01	2,57	0,347	1,52
11/9/2014	0,676	13,14	2,6	0,344	1,51
12/9/2014	0,67	13,06	2,55	0,347	1,51
15/9/2014	0,675	13,02	2,55	0,348	1,48
16/9/2014	0,645	12,88	2,45	0,328	1,43

17/9/2014	0,64	12,82	2,45	0,34	1,42
18/9/2014	0,602	12,9	2,4	0,33	1,35
19/9/2014	0,65	12,85	2,45	0,352	1,41
22/9/2014	0,64	13,07	2,37	0,347	1,35
23/9/2014	0,62	12,74	2,31	0,338	1,33
24/9/2014	0,62	12,7	2,37	0,329	1,3
25/9/2014	0,63	12,74	2,35	0,328	1,26
26/9/2014	0,64	12,64	2,33	0,324	1,3
29/9/2014	0,603	12,14	2,28	0,31	1,27
30/9/2014	0,614	12,03	2,32	0,312	1,34
1/10/2014	0,635	11,92	2,34	0,307	1,41
2/10/2014	0,633	11,9	2,27	0,306	1,37
3/10/2014	0,63	11,7	2,25	0,305	1,28
6/10/2014	0,62	11,35	2,19	0,303	1,27
7/10/2014	0,6	11,1	2,09	0,293	1,24
8/10/2014	0,615	11,12	2,07	0,298	1,18
9/10/2014	0,621	11,1	2,2	0,298	1,23
10/10/2014	0,595	11,04	2,19	0,29	1,2
13/10/2014	0,602	11,06	2,2	0,296	1,23
14/10/2014	0,558	10,4	2,08	0,265	1,16
15/10/2014	0,538	9,92	1,85	0,248	1,1
16/10/2014	0,536	10,31	1,87	0,247	1,04
17/10/2014	0,57	10,6	2,04	0,265	1,06
20/10/2014	0,59	10,74	2,05	0,272	1,14
21/10/2014	0,607	11	2,18	0,29	1,27
22/10/2014	0,602	10,96	2,29	0,283	1,22
23/10/2014	0,603	10,89	2,27	0,28	1,25
24/10/2014	0,61	10,5	2,31	0,295	1,3
27/10/2014	0,585	10,4	2,13	0,29	1,3
29/10/2014	0,56	10,4	2	0,28	1,19
30/10/2014	0,524	10,2	1,89	0,266	1,15
31/10/2014	0,52	10,15	1,92	0,277	1,16
3/11/2014	0,543	10,3	1,96	0,272	1,16
4/11/2014	0,534	10,54	1,97	0,27	1,16
5/11/2014	0,536	10,3	2,01	0,275	1,18
6/11/2014	0,537	10,48	2	0,27	1,19
7/11/2014	0,52	10,25	1,82	0,241	1,07
10/11/2014	0,525	10,03	1,76	0,243	1,09
11/11/2014	0,52	10,13	1,71	0,243	1,08
12/11/2014	0,485	10	1,61	0,236	1,03
13/11/2014	0,495	10,23	1,7	0,238	1,04
14/11/2014	0,501	10,23	1,7	0,24	1,05
17/11/2014	0,496	10,18	1,7	0,238	1,04

18/11/2014	0,512	10,3	1,75	0,256	1,11
19/11/2014	0,53	10,57	1,86	0,273	1,19
20/11/2014	0,53	10,5	1,85	0,271	1,2
21/11/2014	0,56	10,69	1,96	0,289	1,22
24/11/2014	0,559	10,6	1,98	0,279	1,21
25/11/2014	0,539	10,31	1,9	0,264	1,15
26/11/2014	0,538	10,35	1,88	0,263	1,26
27/11/2014	0,52	10	1,86	0,249	1,25
28/11/2014	0,522	10,19	1,92	0,249	1,22
1/12/2014	0,527	10,3	1,94	0,249	1,2
2/12/2014	0,535	10,58	1,97	0,26	1,24
3/12/2014	0,56	10,39	2,04	0,268	1,27
4/12/2014	0,539	10,43	1,94	0,253	1,24
5/12/2014	0,565	10,9	2,01	0,269	1,31
8/12/2014	0,579	10,89	2,05	0,273	1,34
9/12/2014	0,496	9,8	1,63	0,236	1,12
10/12/2014	0,49	9,98	1,6	0,227	1,08
11/12/2014	0,462	9,52	1,45	0,215	0,93
12/12/2014	0,47	9,6	1,46	0,21	0,93
15/12/2014	0,484	9,59	1,46	0,203	0,97
16/12/2014	0,485	9,7	1,45	0,205	0,93
17/12/2014	0,497	9,93	1,51	0,214	0,931
18/12/2014	0,51	9,89	1,58	0,213	0,935
19/12/2014	0,49	9,89	1,52	0,207	0,98
22/12/2014	0,478	9,62	1,58	0,207	1
23/12/2014	0,46	9,5	1,55	0,207	0,97
29/12/2014	0,459	9,12	1,43	0,191	0,989
30/12/2014	0,455	9	1,43	0,184	0,93
31/12/2014	0,468	9,18	1,47	0,187	0,91
2/1/2015	0,474	9,03	1,48	0,188	0,955
5/1/2015	0,447	9	1,37	0,175	0,905
7/1/2015	0,44	8,96	1,3	0,184	0,9
8/1/2015	0,424	8,97	1,25	0,178	0,929
9/1/2015	0,443	9,13	1,28	0,184	0,907
12/1/2015	0,47	9,44	1,36	0,189	0,955
13/1/2015	0,496	9,38	1,45	0,2	0,976
14/1/2015	0,485	9,18	1,49	0,199	0,94
15/1/2015	0,483	9,19	1,43	0,181	0,913
16/1/2015	0,452	9,01	1,37	0,17	0,893
19/1/2015	0,45	9,17	1,37	0,163	0,912
20/1/2015	0,45	9,9	1,32	0,169	0,919
21/1/2015	0,415	9,76	1,32	0,159	0,877
22/1/2015	0,439	9,9	1,35	0,16	0,853

23/1/2015	0,466	10,29	1,46	0,173	0,971
26/1/2015	0,412	10,17	1,27	0,155	0,8
27/1/2015	0,37	9,97	1,12	0,135	0,704
28/1/2015	0,271	9,5	0,835	0,1	0,498
29/1/2015	0,325	9,65	0,94	0,114	0,525
30/1/2015	0,324	9,7	0,925	0,11	0,518
2/2/2015	0,33	10,26	1,01	0,126	0,528
3/2/2015	0,376	10,92	1,22	0,149	0,625
4/2/2015	0,382	11,08	1,3	0,165	0,755
5/2/2015	0,374	10,58	1,14	0,149	0,642
6/2/2015	0,33	10,4	1,01	0,135	0,605
9/2/2015	0,31	10,21	0,911	0,122	0,52
10/2/2015	0,332	10,66	1,1	0,146	0,601
11/2/2015	0,305	10,31	1	0,149	0,582
12/2/2015	0,35	10,8	1,18	0,168	0,64
13/2/2015	0,395	10,99	1,37	0,182	0,72
16/2/2015	0,36	10,89	1,2	0,16	0,632
17/2/2015	0,329	10,69	1,18	0,147	0,575
18/2/2015	0,343	10,99	1,26	0,156	0,603
19/2/2015	0,365	11,09	1,35	0,16	0,63
20/2/2015	0,37	11,12	1,44	0,15	0,616
24/2/2015	0,433	12	1,68	0,174	0,739
25/2/2015	0,415	11,84	1,49	0,159	0,642
26/2/2015	0,397	12	1,46	0,152	0,62
27/2/2015	0,37	11,5	1,34	0,137	0,568
2/3/2015	0,333	11,37	1,19	0,129	0,501
3/3/2015	0,342	11,59	1,3	0,131	0,51
4/3/2015	0,34	11,46	1,25	0,12	0,475
5/3/2015	0,354	10,85	1,34	0,129	0,505
6/3/2015	0,352	10,71	1,27	0,124	0,486
9/3/2015	0,325	10,2	1,19	0,11	0,426
10/3/2015	0,32	10,28	1,2	0,115	0,409
11/3/2015	0,304	10,36	1,11	0,107	0,401
12/3/2015	0,311	10,26	1,13	0,104	0,39
13/3/2015	0,3	10,15	1,06	0,101	0,355
16/3/2015	0,304	10	1,16	0,099	0,335
17/3/2015	0,304	9,93	1,16	0,099	0,365
18/3/2015	0,278	9,9	1,04	0,091	0,355
19/3/2015	0,28	9,85	1,02	0,085	0,341
20/3/2015	0,316	10,02	1,19	0,086	0,359
23/3/2015	0,35	10,16	1,26	0,096	0,391
24/3/2015	0,349	10,15	1,26	0,103	0,388
26/3/2015	0,305	9,96	1,12	0,095	0,321

27/3/2015	0,3	10,04	1,11	0,097	0,34
30/3/2015	0,281	9,81	1,1	0,096	0,343
31/3/2015	0,275	9,59	1,1	0,105	0,359
1/4/2015	0,275	9,5	1,09	0,111	0,341
2/4/2015	0,262	9,39	1,09	0,114	0,345
7/4/2015	0,263	9,31	1,11	0,114	0,335
8/4/2015	0,265	9,36	1,12	0,107	0,323
9/4/2015	0,269	9,36	1,14	0,111	0,337
14/4/2015	0,24	9,03	1,08	0,098	0,311
15/4/2015	0,226	8,91	1,08	0,09	0,27
16/4/2015	0,22	9,03	1,06	0,086	0,264
17/4/2015	0,204	9	0,959	0,089	0,259
20/4/2015	0,21	9,01	1	0,089	0,232
21/4/2015	0,218	8,95	0,927	0,088	0,21
22/4/2015	0,234	8,95	1,02	0,107	0,258
23/4/2015	0,25	9	1,04	0,11	0,277
24/4/2015	0,269	9,25	1,11	0,117	0,32
27/4/2015	0,299	9,5	1,2	0,127	0,355
28/4/2015	0,31	9,36	1,22	0,127	0,38
29/4/2015	0,297	9,49	1,2	0,123	0,361
30/4/2015	0,311	9,5	1,25	0,135	0,396
4/5/2015	0,313	9,45	1,23	0,134	0,43
5/5/2015	0,293	9,3	1,1	0,123	0,369
6/5/2015	0,317	9,63	1,18	0,139	0,404
7/5/2015	0,347	9,76	1,26	0,152	0,461
8/5/2015	0,33	9,85	1,23	0,15	0,468
11/5/2015	0,312	9,4	1,19	0,135	0,416
12/5/2015	0,318	9,6	1,21	0,14	0,45
13/5/2015	0,321	9,65	1,21	0,142	0,46
14/5/2015	0,329	9,74	1,22	0,14	0,443
15/5/2015	0,305	9,5	1,19	0,13	0,401
18/5/2015	0,304	9,7	1,24	0,14	0,429
19/5/2015	0,32	10	1,24	0,147	0,45
20/5/2015	0,315	10,05	1,23	0,141	0,444
21/5/2015	0,325	9,91	1,25	0,146	0,458
22/5/2015	0,314	9,84	1,22	0,139	0,457
25/5/2015	0,3	9,49	1,17	0,133	0,429
26/5/2015	0,304	9,46	1,15	0,136	0,44
27/5/2015	0,332	9,53	1,25	0,15	0,477
28/5/2015	0,33	9,55	1,18	0,151	0,499
29/5/2015	0,334	9,5	1,16	0,152	0,507

(www.capital.gr , 2/6/2015)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ

BIBΛΙΑ

C. Alexander (2005) «*The Present and Future of Financial Risk Management*», Journal of Financial Econometrics, vol.3, No.1, p.3-25.

A. Andersen (1995) «*Managing Business Risks: An Integrated Approach*», New York: The Economist Intelligence Unit.

P. Angelopoulos and P. Mourdoukoutas (2001) «*Banking Risk Management in a Globalising economy*», Westport, Conn. USA: Quorum Books, London.

P. Artzner, F. Delbaen, J-M. Eber, and D. Heath (1999) «*Coherent Measures of Risk. Mathematical Finance*», 9, p. 203-228.

M. Ausin, P. Galeano, and P. Ghosh (2014) «*A semiparametric Bayesian approach to the analysis of financial time series with applications to value at risk estimation*», European Journal of Operational Research 232.2.

J. Bessis (2002) «*Risk Management in Banking*», 2nd ed., London, John Wiley & Sons, LTD.

J. B. Caouette, E. I. Altman, P. Narayanan & R. Nimmo (2008) «*Managing Credit Risk: The Great Challenge for Global Financial Markets*», 2nd Edition, Wiley Finance.

D. N. Chorafas (1990) «*Risk Management in Financial Institutions*», Butterworths, London.

M. Choudhry (2006) An introduction to Value-at-Risk, 4th Edition, England, John Wiley & Sons,ltd.

M. A. H. Dempster (2002) «*Risk Management: Value at Risk and Beyond*», University of Cambridge, Cambridge, UK.

H. Drummond, (2002) «*Living in a fool's paradise: the collapse of Barings' Bank*», Management Decision, Vol. 40 Iss: 3, pp.232 – 238.

R. F. Engle (1982). «*Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the variance of U.K. Inflation*», Econometrica 50, pp. 987-1008.

R. F. Engle and S. Manganelli (2004) «CAViaR: Conditional Autoregressive Value at Risk by Regression Quantiles», Journal of Business & Economic Statistics, vol. 22, no. 4, pp. 367-381.

P. Jorion (2003) «Financial Risk Manager Handbook», 2nd edition, John Wiley and Sons, New Jersey.

P. Jorion (2007) «Value-at-Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk», 3rd edition, McGraw-Hill, New York

G. A. Holton (2003) «Value at Risk: Theory and Practice», Elsevier Academic Press.

G. A. Holton (2014). «Value-at-Risk: Theory and Practice», second edition, e-book at <http://value-at-risk.net>.

D. H. Leavens (1945). «Diversification of investments. Trusts and Estates», 80 (5), p.469-473.

T.J Linsmeier, and N. Pearson (1999) «Risk Measurement: An Introduction to Value at Risk», University of Illinois at Urbana-Champaign.

C. Marrison (2002) «The Fundamentals of Risk Measurement». McGraw Hill, New York.

M. Minnich (1998) «A Primer on Value at Risk», in Fabozzi, Frank J.(ed.). Perspectives on interest rate risk management for money managers and traders, Chapter 3, p. 39-50.

E. Vaughan (1997) «Risk Management», John Wiley & Sons, New York.

PAPERS

AIRMIC-ALARM-IRM (2002), «A Risk Management Standard».

C. Albanese, A. Alexander, and J.C. Chao (1997) «Bayesian Value at Risk, Backtesting and Calibration», Working Paper, October 1997, Toronto.

T.S. Beder (1995) «VAR: Seductive but Dangerous», Financial Analysis Journal, Vol. 51, p. 12-24.

Basel Committee on Banking Supervision (1996), «*Supervisory framework for the use of “backtesting” in conjunction with the internal models approach to market risk capital requirements*», Basle, Switzerland.

Basel Committee on Banking Supervision (2010), «*Basel III: A global regulatory framework for more resilient banks and banking systems*», Bank for international settlements, Basle, Switzerland.

Basel Committee on Banking Supervision (2010), «*Basel III: International framework for liquidity risk measurement, standards and monitoring*», Bank for international settlements, Basle, Switzerland.

D. Bo (2001) «*Value at Risk*», Working paper, Tinbergen Institute Discussion Papers, number 99-034/2, National University of Singapore, Singapore.

T. Bollerslev (1986) «*Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity*», Journal of Econometrics 31, 307-327.

T. Bollerslev (1990) «*Modelling the Coherence in Short-Run Nominal Exchange Rates: A Multivariate Generalized ARCH Model*», Review of Economics and Statistics 78, pp. 498-505.

C. Culp, M. Miller, and A. Neves (1998) «*Value at Risk: Uses and Abuses*», Journal of Applied Corporate Finance 10 (Winter), pp. 26-38.

C. Culp (2002), «*The Revolution in Corporate Risk Management: A Decade in Innovations in Process and Products*», Journal of Applied Corporate Finance, vol. 14, no.4.

G. Dionne (2013), «*Risk Management: History, definition and critique*», CIRRELT 2013-17, Montreal.

R. Eckhardt (1987), «*Stan Ulam, John Von Neumann, and the Monte Carlo Method*», Los Alamos Science Special Issue.

W.G Hallerbach (1999) «*Decomposing Portfolio Value-at-Risk: A General Analysis*», Discussion paper TI 99-034/2, Tinbergen Institute Rotterdam, 29.

D. A. Hsieh (1993) «*Implications of Nonlinear Dynamics for Financial Risk Management*», Journal of Financial and Quantitative Analysis 28, pp. 41-64.

M. Kovanis, T. A. Kvaem (2012) «*Basel III: A global regulatory framework for more resilient banks and banking systems*».

P. Krokmal, J. Palmquist, and S. Uryasev (2002) «*Portfolio Optimization with Conditional Value-At-Risk Objective and Constraints*», The Journal of Risk, Vol. 4, # 2, pp. 11-27.

F. Longin (2001) «*Beyond the VaR*», Journal of Derivatives, N°8, pp 36-48.

J.P. Morgan / Reuters (1996) «*RiskMetrics, Technical Document*», 4th Edition, J.P. Morgan & Co, New York.

J.P. Morgan (1999) «*RiskMetrics: Practical Guide*», 1st edition, J.P. Morgan & Co, New York.

J. M. Mulvey, B. Shetty and D. P. Rosenbaum (1997) «*Strategic Financial Risk Management and Operations Research: A Review*», European Journal of Operations Research: EJOR, Vol.97, No.1, p.1-16, Amsterdam.

N. Oda, J. Muranaga (1997) «*A New Framework for Measuring the Credit Risk of a Portfolio-Ex Var Model*», Institute for Monetary and Economic Studies (IMES), Bank of Japan, Discussion Paper n.97-E-1, p. 1-45.

V. Platon, and A. Constantinescu (2014) «*Monte Carlo Method in Risk Analysis for Investment Projects*», Procedia Economics & Finance, Vol. 15, p393-400, 8p.

C. M. Reinhart & K. S. Rogoff (2008) «*Is the 2007 US Sub-prime Financial Crisis So Different? An International Historical Comparison*», American Economic Review, American Economic Association, vol. 98(2), pages 339-44.

P. Sukcharoensin and S. Sukcharoensin (2010) «*Applications of Statistical Distributions in Risk Management*», European Journal of economics, Finance and Administrative Sciences, issue 26.

S. Uryasev (2000) «*Conditional Value-at-Risk: Optimization Algorithms and Applications*», Financial Engineering News, issue 14.

J. von Neumann (1951) «*Various Techniques Used in Connection with Random Digits*», Notes by G E Forsythe, National Bureau of Standards Applied Math Series, 12 pp 36-38. Reprinted in von Neumann's Collected Works, 5 (1963), Pergamon Press pp 768-770.

Z. Wiener (1997) «*An Introduction to VaR (Value at Risk)*», Risk Management and Regulation in Banking, Jerusalem.

M. Woods, K. Dowd, & C.G. Humphrey (2008) «*The Value of Risk Reporting: A Critical Analysis of Value-at-Risk Disclosures in the Banking Sector*», International Journal of Financial Services Management 3(1): 45-64.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

BIBΛΙΑ

Αγγελόπουλος Χρ. Π. (2010) «*Τράπεζες και Χρηματοπιστωτικό Σύστημα, Αγορές – Προϊόντα – Κίνδυνοι*», (Γ' Έκδοση) Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

Κοσμίδου Κ., Ζοπουνίδης Κ. (2003) «*Συστήματα Διαχείρισης Τραπεζικών Κινδύνων: Η περίπτωση του Asset Liability management*», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

Προβόπουλος Γ., Καπόπουλος Π. (2001) «*Η Δυναμική του Χρηματοοικονομικού Συστήματος*», Εκδόσεις Κρητική.

Σταϊκούρας Χ. (2005) «*Τραπεζική Χρηματοοικονομική*», Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

PAPERS

Μ. Δούμπος (2005) «*Μαθηματικός Χρηματοοικονομικός Λογισμός*», Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Καινούργιος Δ. (2002) «*Value-at-risk (VAR) μεθοδολογία εκτίμησης του κινδύνου αγοράς και VAR παράγωγα εργαλεία*», Ένωση Ελληνικών Τραπεζών.

Καλφάογλου Φ. (1999) «*Υποδείγματα Μέτρησης Πιστωτικού Κινδύνου*», Τράπεζα της Ελλάδος Γενική Επιθεώρηση Τραπεζών, Δελτίο Ένωσης Ελληνικών Τραπεζών, Α' Τρίμηνο.

Πετράκης Π. (2007) «*Σύμφωνο Βασιλείας I*», Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

Bank of Greece - <http://www.bankofgreece.gr/>

Bank of International Settlements - <http://www.bis.org/>

Central Bank of Cyprus - http://www.centralbank.gov.cy/media/pdf/BCCRDG_SupervisoryReview_RAS.pdf

Investopedia - <http://www.investopedia.com>

Οικονομικό Επιμελητήριο της Ελλάδος - <http://www.oe-e.gr/oe/>

Standard and Poor's - <http://www.standardandpoors.com/home/en/eu>

NYU Stern School of Business - <http://www.stern.nyu.edu/>