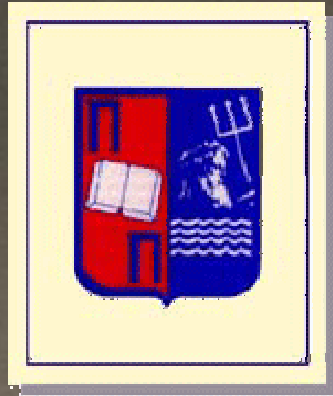


Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Τμήμα Χρηματοοικονομικής και Τραπεζικής Διοικητικής



Παράγωγα επί Μετεωρολογικών Δεικτών

Weather Derivatives

Φοιτητής που εργάστηκε:
Ευθυμίου Εμμανουήλ

Επιβλέπων Καθηγητής :
Μπένος Αλεξανδρος

Πειραιάς, Σεπτέμβριος 2002

ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΕΠΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Πρόλογος

Η εργασία αυτή αναζητά τις συνέπειες από την χρήση μίας νέας γενιάς χρηματοοικονομικών παραγώγων, που είναι γνωστά ως Παράγωγα επί Μετεωρολογικών Δεικτών (Weather Derivatives), σαν μέσο αντιστάθμισης κινδύνου. Τα Παράγωγα επί Μετεωρολογικών Δεικτών είναι μία μορφή χρηματοοικονομικών εργαλείων που εμφανίστηκε πολύ πρόσφατα στις διεθνείς αγορές (1997). Η ιδιαιτερότητά τους έγκειται στο γεγονός ότι χρησιμοποιούνται από επιχειρήσεις για την κάλυψη κινδύνων που δημιουργούνται σε αυτές από τις μεταβολές του καιρού δηλαδή από την μεταβλητότητα που παρουσιάζουν διάφορα καιρικά φαινόμενα. Σύμφωνα με το Υπουργείο Εμπορίου των Η.Π.Α. το 22% του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος των Η.Π.Α. παρουσιάζει συσχέτιση με τον καιρό και τις μεταβολές του. Ακόμη υπολογίζεται πως το 70% όλων των ειδών των επιχειρήσεων σε όλα τα μήκη και πλάτη της γης αντιμετωπίζουν κινδύνους σχετικούς με καιρικά φαινόμενα. Τα παραπάνω αποτελούν στοιχεία που στηρίζουν την δημιουργία της αγοράς των Παραγώγων επί Μετεωρολογικών Δεικτών που ξεκίνησε και αναπτύχθηκε στις Η.Π.Α. το 1997 και τα 2 τελευταία χρόνια υπάρχει και αναπτύσσεται και στην Ευρώπη , την Ασία κ.α. Η εργασία θα αποτελείται από τρία μέρη:

1. Παρουσίαση των Π.Μ.Δ.

Εδώ θα γίνει μία εισαγωγή στα Π.Μ.Δ., θα παρουσιαστούν τα κύρια χαρακτηριστικά τους καθώς και μία αναφορά στην αγορά των Π.Μ.Δ. παγκοσμίως.

2. Τιμολόγηση των Π.Μ.Δ.

Αναφορά στους διάφορους τρόπους τιμολόγησης των παραγώγων αυτών.

3. Case Study

Εφαρμογή χρήσης Π.Μ.Δ. στην Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρικού της Ελλάδας για την αντιμετώπιση κινδύνου από μειωμένη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος λόγω ενός όχι και τόσο ζεστού καλοκαιριού η εναλλακτικά για την αντιμετώπιση μη επαρκούς παροχής ενέργειας στην περίπτωση ενός πολύ ζεστού καλοκαιριού.

Εισαγωγή στα Παράγωγα επί Μετεωρολογικών δεικτών

Τα καιρικά φαινόμενα και οι μεταβολές του καιρού είναι από χρόνια γνωστό ότι επηρεάζουν τα αποτελέσματα πολλών ειδών επιχειρήσεων. Η επιρροή αυτή μπορεί να παρουσιάζεται είτε στον όγκο των πωλήσεων της εκάστοτε εταιρίας, είτε στο κόστος κατασκευής των προϊόντων κλπ. Για παράδειγμα είναι γνωστό πως οι πωλήσεις μιας εταιρίας διανομής πετρελαίου θέρμανσης είναι άμεσα συνυφασμένες με την θερμοκρασία. Ένας όχι και τόσο κρύος χειμώνας θα επέφερε πτώση στις πωλήσεις της εταιρίας, ενώ ένας χειμώνας πιο κρύος από συνήθως θα επέφερε αύξηση σε αυτές. Σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη από το Αμερικάνικο Υπουργείο Εμπορίου, Department of Commerce, το 22% του Αμερικάνικου Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος εξαρτάται άμεσα από τις μεταβολές του καιρού. Ακόμα, σύμφωνα με έρευνες υπολογίζεται πως το 70% των επιχειρήσεων αντιμετωπίζουν κινδύνους σχετικούς με τον καιρό.

Οι εταιρίες που εξαρτώνται περισσότερο από τον καιρό είναι κυρίως:

- Οι εταιρίες παροχής ενέργειας κάθε μορφής
(Επιχειρήσεις Ηλεκτρικού Ρεύματος, Εταιρίες λιανικής πώλησης πετρελαίου θέρμανσης, Εταιρίες φυσικού αερίου κλπ)
- Οι εταιρίες που σχετίζονται με τη Γεωργία
(Καλλιέργειες, Οινοποιίες, Εταιρίες παραγωγής φρουτοχυμών κλπ)
- Επιχειρήσεις ψυχαγωγίας
(Ψυχαγωγικά Πάρκα π.χ. Disneyland, Χιονοδρομικά κέντρα, εταιρίες εκμεταλλεύσεως ακτών κλπ)

- Και πολλά ακόμη είδη εταιριών που τα αποτελέσματά τους έχουν είτε προφανή συσχέτιση με τα κάποιο ή κάποια καιρικά φαινόμενα είτε κάποια όχι και τόσο εμφανή συσχέτιση π.χ. Έχει αποδειχθεί ότι γίνονται περισσότερα ατυχήματα τις βροχερές ημέρες, άρα τα αποτελέσματα μιας ασφαλιστικής εταιρίας για κάποιο συγκεκριμένο εξάμηνο επηρεάζονται από την βροχόπτωση το εξάμηνο αυτό.

Τα καιρικά φαινόμενα που επηρεάζουν τα αποτελέσματα των επιχειρήσεων μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες.

1. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα-φυσικές καταστροφές

(Πλημμύρα, Ξηρασία, Τυφώνας κλπ)

2. Τα πιο ήπια καιρικά φαινόμενα, των οποίων η διαχρονική μεταβλητότητα επηρεάζει τα αποτελέσματα των επιχειρήσεων.

(Ζεστός Χειμώνας, υγρό Καλοκαίρι, άνω του μετρίου χιονόπτωση κλπ)

Οι επιχειρήσεις μπορούν να καλύψουν τον κίνδυνο στον οποίο υποβάλλονται τα αποτελέσματά τους από την πρώτη κατηγορία καιρικών φαινομένων, με τη βοήθεια προϊόντων προερχόμενων από τον ασφαλιστικό χώρο.

Ακραία καιρικά φαινόμενα και φυσικές καταστροφές

Η ασφαλιστική αγορά ορίζει ως φυσική καταστροφή το φαινόμενο εκείνο το οποίο προκαλεί ζημία πέραν των 5 εκατομμυρίων δολαρίων σε ασφαλισμένη περιουσία και επηρεάζει σημαντικό αριθμό ασφαλιστών και ασφαλιζόμενων (βλ. *Louberge and Schlesinger- 1999*)

Οι φυσικές καταστροφές όπως λόγω χάρη οι σεισμοί, οι τυφώνες, οι πλημμύρες και οι μεγάλης εκτάσεως πυρκαϊές έχουν σημειώσει αύξηση όσον αφορά την συχνότητα και το μέγεθος της ζημιάς που προκαλούν, τα τελευταία 20 χρόνια.

Μια πιθανή εξήγηση για τα αίτια αυτού το φαινομένου μπορεί να αποδοθεί στις κλιματολογικές αλλαγές που συντελούνται τα τελευταία έτη στη γη και ιδιαίτερα στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Η μεγάλη αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού, που οδήγησε στην επέκταση και εξάπλωση των πόλεων, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της βιομηχανίας προκάλεσε και εξακολουθεί να προκαλεί σημαντικές συνέπειες στο κλίμα της γης. Το ποσοστό της επιφάνειας της γης που καλύπτεται από οικοδομές ολοένα και αυξάνεται τα τελευταία χρόνια και συνεπώς το ποσοστό της επιφάνειας της γης που καλύπτεται από δάση ολοένα και μειούται. Έτσι η ηλιακή ακτινοβολία δεν απορροφάται στο βαθμό που θα έπρεπε με συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας παγκοσμίως. Ακόμη η ολοένα και αυξανόμενη έκλυση ρύπων από τα αυτοκίνητα και τις βιομηχανίες, όπως και η τρύπα του στρώματος του όζοντος στην ατμόσφαιρα συνέβαλλαν στην αύξηση αυτή.

Πέρα από την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, άλλη μια σημαντική αλλαγή που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στο κλίμα της γης είναι η μετατόπιση της εποχικότητας. Σημαντικό ρόλο σε αυτή την αλλαγή διαδραμάτισε η αντίδραση του κλίματος της γης στο φαινόμενο El Nino. Το φαινόμενο El Nino είναι ένα φαινόμενο κυκλικής θέρμανσης των τροπικών ζωνών του Ειρηνικού Ωκεανού στο οποίο αποδίδεται από τους ειδικούς ,κατά μεγάλο βαθμό, η αλλαγή της μορφής του κλίματος παγκοσμίως.

Οι επιχειρήσεις μπορούν να καλύψουν τον κίνδυνο στον οποίο υποβάλλονται τα αποτελέσματά τους από αυτή την κατηγορία καιρικών φαινομένων, με τη βοήθεια προϊόντων προερχόμενων από τον ασφαλιστικό χώρο.

Πλήρης και εμπειριστατωμένη έρευνα των ακραίων καιρικών και κλιματολογικών φαινομένων υπάρχει στην ιστοσελίδα <http://www.ncdc.noaa.gov/extremes>.

Ασυνήθιστα καιρικά φαινόμενα

Εκτός από τα ακραία καιρικά φαινόμενα και τις φυσικές καταστροφές που προκαλούν τεράστιες ζημιές στην οικονομία, σημαντικές ζημιές μπορεί να προκαλέσουν και λιγότερο δραματικά καιρικά φαινόμενα. Πάρα πολλές βιομηχανίες έχουν μεγάλη εξάρτηση από τα καιρικά φαινόμενα και ακόμη και όχι τόσο ακραία καιρικά φαινόμενα είναι δυνατόν να έχουν μεγάλη επιρροή στα αποτελέσματα τους εάν είναι αφύσικα και παρατεταμένα κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων περιόδων του έτους.

Για παράδειγμα η αμπελουργία είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στις κλιματολογικές συνθήκες. Έλλειψη ηλιοφάνειας και χαμηλές θερμοκρασίες μεταξύ της περιόδου που προηγείται αυτής του ανθίσματος και της περιόδου ωρίμανσης επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα των καρπών και συνεπώς και την ποιότητα του παραγόμενου οίνου. Το 1988 στην Καλιφόρνια η παραγωγή των καρπών σταφυλιού που προοριζόταν για παραγωγή οίνου έπεσε κατά 30%. Αυτό οφειλόταν στην περισσότερο βροχερή και κρύα από τη συνήθη Άνοιξη, καθώς και στον πολύ ζεστό Ιούλιο και Αύγουστο που ακολούθησε. Τέλος καλοκαιρινοί μήνες με υψηλότερη του κανονικού βροχόπτωση μπορεί να αποδειχθούν ιδιαίτερα επιζήμιοι για τους οινοποιούς καθώς η υψηλή βροχόπτωση έχει ως αποτέλεσμα το σάπισμα των καρπών πάνω στα αμπέλια και την καθυστέρηση της συγκομιδής της σοδειάς.

Ένας άλλος κλάδος που εξαρτάται σημαντικά από τον καιρό και τις μεταβολές του είναι ο κλάδος της ζυθοποιίας. Οι πωλήσεις της μύρας μειώνονται δραστικά κατά την διάρκεια ενός όχι και τόσο ζεστού καλοκαιριού. Εκτός από την μείωση των πωλήσεων, σε μία τέτοια περίπτωση οι ζυθοποιοί αντιμετωπίζουν και αύξηση του κόστους αποθήκευσης καθώς το εμπόρευμα τους δεν πωλήθηκε.

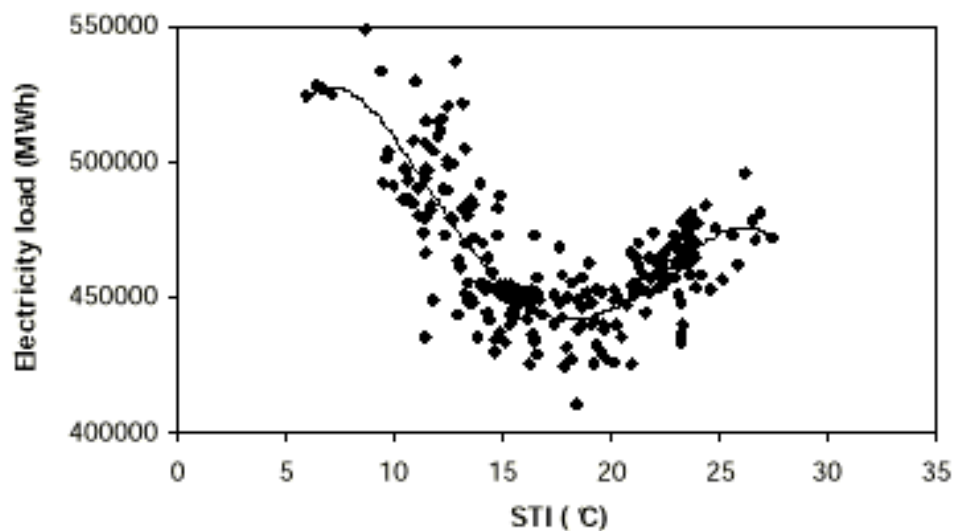
Ακόμη και στον κλάδο των κατασκευαστικών εταιριών, οι καιρικές μεταβολές μπορεί να επιφέρουν σημαντικές απώλειες καθώς κάποια αλλοπρόσαλλα καιρικά φαινόμενα μπορεί να επιβραδύνουν πολύ την ολοκλήρωση κάποιου έργου με συνέπεια την υπέρβαση του συμπεφωνημένου χρονικού ορίου περάτωσης της κατασκευής που πιθανόν να έχει και οικονομικές κυρώσεις για τον κατασκευαστή. Για παράδειγμα το τσιμέντο, για να αποκτήσει την μέγιστη αντοχή πρέπει να τεθεί σε κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία, η βροχόπτωση και ο παγετός εμποδίζουν την εργασία κ.λ.π.

Άλλοι κλάδοι που επηρεάζονται από τις μεταβολές του καιρού είναι ο κλάδος της ψυχαγωγίας (Ψυχαγωγικά Πάρκα π.χ. Disneyland, Χιονοδρομικά κέντρα, εταιρίες εκμεταλλεύσεως ακτών, εταιρίες παραγωγής κινηματογραφικών ταινιών κλπ) και ο κλάδος των αναψυκτικών και φυσικών χυμών. Για τον τελευταίο κλάδο, ο Ross το 1984 σε έρευνα που διεξήγαγε, παρουσίασε την επιρροή των μεταβολών του καιρού στην παραγωγή πορτοκαλοχυμού στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η έρευνα παρουσιάζει την αλληλεπίδραση μεταξύ των τιμών του πορτοκαλοχυμού και ενός εξωγενούς ως προς τις τιμές παράγοντα, του καιρού.

Τα εμπειρικά του αποτελέσματα δείχνουν ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες δεν ευνοούν την παραγωγή πορτοκαλιών καθώς οι πορτοκαλιές μπορούν να αντέξουν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, λίγες μόνο ώρες προτού καταστραφούν οι καρποί τους. Το 1895 στην Florida των Η.Π.Α. λόγω υψηλού παγετού κατεστράφη σχεδόν ολοσχερώς η παραγωγή πορτοκαλιών της πολιτείας. Έτσι η παραγωγή μειώθηκε κατά 97% και χρειάστηκε να περάσουν 16 χρόνια μέχρι να επανέλθει στα φυσιολογικά επίπεδα παραγωγής (προ παγετού).

Τελευταίος αλλά και πιο σημαντικός είναι ο κλάδος ενέργειας καθώς πολύ σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση ενέργειας από τα νοικοκυριά παίζει ο καιρός. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι αυξάνει σημαντικά, λόγω της

εκτεταμένης χρήσης κλιματιστικών, και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία. (βλ. Torro, Meneu και Valor). Τον χειμώνα αυξάνει η κατανάλωση άλλων ειδών παροχής ενέργειας, όπως του πετρελαίου θέρμανσης και του φυσικού αερίου, λόγω της ανάγκης για θέρμανση. Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει τη σχέση κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος και θερμοκρασίας, για το έτος 1997 στην Ισπανία.



Η κάλυψη κινδύνων σχετικών με τη δεύτερη κατηγορία καιρικών φαινομένων ήταν αδύνατη, και άφηγε πολλές επιχειρήσεις εκτεθειμένες σε μεγάλους κινδύνους. Αυτό το πεδίο κινδύνου που αντιμετώπιζαν και αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις, το σχετικό με την μεταβλητότητα των συνήθων καιρικών φαινομένων, έρχονται να καλύψουν τα Παράγωγα επί Μετεωρολογικών Δεικτών.

Παρουσίαση των Παραγώγων επί Μετεωρολογικών Δεικτών

Τα Παράγωγα επί Μετεωρολογικών δεικτών, εις το εξής Π.Μ.Δ. είναι παράγωγα προϊόντα, όμοια με τα γνωστά μας χρηματοοικονομικά παράγωγα (forwards, swaps, options κλπ), μόνο που σε αυτά το υποκείμενο προϊόν δεν είναι κάτι εμπορεύσιμο (μετοχή ή χρηματοοικονομικός δείκτης) αλλά ένας δείκτης βασισμένος σε καιρικά φαινόμενα, όπως η θερμοκρασία, η βροχή, η χιονόπτωση, η υγρασία κλπ.

Για να γίνει ένα τυπικό Π.Μ.Δ πρέπει να προσδιοριστούν οι επτά παρακάτω παράμετροι:

- Ο τύπος του συμβολαίου (swap, call option, put option κλπ)
- Η περίοδος ισχύος του συμβολαίου
- Ένας επίσημος μετεωρολογικός σταθμός απ' όπου θα λαμβάνονται τα μετεωρολογικά δεδομένα
- Ο υποκείμενος μετεωρολογικός δείκτης (W)
- Η τιμή(strike) πάνω ή κάτω από την οποία θα εξασκείται το call ή το put, όταν πρόκειται για option και ο εξασκίσιμος δείκτης σύμφωνα με τον οποίο θα γίνεται η ανταλλαγή, όταν πρόκειται για swap. (S)
- Το ποσόν (tick) που θα πληρώνεται από τον πωλητή του Π.Μ.Δ. ανά μονάδα διαφοράς του υποκείμενου δείκτη από την τιμή strike (k)
- Το premium που θα πληρώνει ο αγοραστής του Π.Μ.Δ. όταν πρόκειται για option.

Οι πληρωμή (P) ενός Π.Μ.Δ.(Το ποσόν δηλαδή που πρέπει να δώσει ο πωλητής ενός Π.Μ.Δ. στον αγοραστή του) δίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$P_{\text{swap}}=k*(W-S)$$

$$P_{\text{call}}=k*\max (W-S, 0)$$

$$P_{\text{put}}=k*\max (S-W, 0)$$

Οι μετεωρολογικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται πιο συχνά σαν υποκείμενοι στα Π.Μ.Δ. είναι:

- Ημερήσιοι Δείκτες Θερμοκρασίας

Heating Degree Days (HDDs) : $\max(65^{\circ}\text{F}-W,0)$

Cooling Degree Days (CDDs) : $\max(W-65^{\circ}\text{F},0)$

(Για τα HDDs και τα CDDs ακολουθεί αναλυτικός ορισμός)

Energy Degree Days (EDDs) : $\text{CDDs}+\text{HDDs}$

Growing Degree Days (GDDs) :

Variable Degree Days (VDDs) : Όμοια με CDDs και HDDs, μόνο που υπάρχει ελευθερία στην επιλογή του Benchmark των 65°F

- Δείκτες Βροχόπτωσης
- Δείκτες Χιονόπτωσης
- Δείκτες Υγρασίας
- Δείκτες Έντασης Ανέμων :
- Άλλοι δείκτες ή Συνδυασμοί των παραπάνω.

Στην αγορά των Π.Μ.Δ. το μεγαλύτερο ποσοστό των συμβολαίων που γίνονται είτε σε οργανωμένα χρηματιστήρια, είτε OTC (over the counter) γίνονται πάνω σε δείκτες που αφορούν την θερμοκρασία, και συγκεκριμένα πάνω σε HDDs και CDDs.

Οι δείκτες αυτοί ορίζονται παρακάτω

Ορισμός 1 (Μέση Θερμοκρασία)

Δεδομένου ενός συγκεκριμένου μετεωρολογικού σταθμού, έστω T_i^{\max} και T_i^{\min} η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία αντίστοιχα (μετρημένη σε βαθμούς Κελσίου) της ημέρας i . Ορίζουμε ως μέση θερμοκρασία T_i της ημέρας i ως

$$T_i = \frac{T_i^{\max} + T_i^{\min}}{2}$$

Ορισμός 2 (Degree Days)

Έστω T_i η μέση θερμοκρασία της ημέρας i . Ορίζουμε ως Heating Degree Days HDD_i και Cooling Degree Days CDD_i αυτής της ημέρας ως

$$HDD_i = \max\{18 - T_i, 0\}$$

$$CDD_i = \max\{T_i - 18, 0\}$$

Στον ορισμό 2 παραπάνω παρατηρούμε πως ο αριθμός των HDDs ή CDDs για μια συγκεκριμένη ημέρα είναι απλά ο αριθμός των βαθμών Κελσίου που η μέση θερμοκρασία της ημέρας αυτής αποκλίνει από ένα σημείο αναφοράς.). Οι Ονομασίες Heating and Cooling degree days προέρχονται από τον κλάδο ενέργειας των Η.Π.Α Έχει καθιερωθεί στις Η.Π.Α. το σημείο αυτό αναφοράς να είναι οι 18°C (65° Fahrenheit. . Ο λόγος είναι πως όταν η θερμοκρασία βρίσκεται κάτω από τους 18°C οι άνθρωποι τείνουν να καταναλώσουν ενέργεια για να θερμάνουν τα σπίτια τους, ενώ όταν η θερμοκρασία βρίσκεται πάνω από τους 18°C, τείνουν να θέτουν σε

λειτουργία τα κλιματιστικά για να δροσίσουν τα σπίτια τους.. Τα περισσότερα Π.Μ.Δ. με υποκείμενο δείκτη σχετικό με την θερμοκρασία, βασίζονται στην άθροιση των HDDs ή των CDDs κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου (Ενός μήνα, μίας εποχής, ενός έτους κλπ).

Έτσι η πληρωμή (P) ενός Π.Μ.Δ. που βασίζεται σε HDDs για n ημέρες θα δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P = k * \max\{H_n - S\},$$

όπου k=tick,

το ποσόν δηλαδή που θα πληρώνεται από τον πωλητή του Π.Μ.Δ. ανά μονάδα διαφοράς του υποκείμενου δείκτη από την τιμή strike,

$$H_n = \sum_{i=1}^n HDD_i,$$

S= Strike Price.

Αντίστοιχα ισχύουν και για την πληρωμή ενός Π.Μ.Δ. που βασίζεται σε CDDs για n ημέρες.

Γιατί ξεκίνησε η αγορά των Π.Μ.Δ.

Υπάρχει μια σειρά παραγόντων που βρίσκονται πίσω από την δημιουργία και την ανάπτυξη της αγοράς των Παραγώγων επί Μετεωρολογικών δεικτών. Ένας από αυτούς είναι η απελευθέρωση των αγορών Ενέργειας. Οι παραγωγοί ενέργειας από καιρό είχαν παρατηρήσει ότι η κατανάλωση ενέργειας και οι τιμές αυτής είναι υψηλότερα συσχετισμένες με τις μεταβολές του καιρού. Όμως με την απελευθέρωση της, η αγορά ενέργειας έγινε πιο ανταγωνιστική, και οι κύριοι παίχτες της αποφάσισαν πως η αύξηση που επέφερε ο κίνδυνος από τις καιρικές μεταβολές στο

κόστος παραγωγής της ενέργειας από τα εργοστάσια τους και κατά συνέπεια και στις τιμές τους στην αγορά έπρεπε να εξαλειφθεί. Τα Π.Μ.Δ. ήταν το εργαλείο για την αντιστάθμιση αυτού του κινδύνου.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που κρύβεται πίσω από τη γέννηση της αγοράς των Π.Μ.Δ. είναι ότι οι αγορές χρήματος και κεφαλαίου και οι ασφαλιστικές αγορές έχουν έρθει πολύ κοντά. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μια μιά αύξηση στον αριθμό των catastrophe bonds που εκδίδονται και ακόμη το Chicago Board of Trade (CBOT) εισήγαγε και τα catastrophe options. Τα Παράγωγα επί Μετεωρολογικών Δεικτών φαίνεται να είναι η λογική συνέχεια της σύγκλισης των δύο αυτών αγορών.

Η Ιστορία των Π.Μ.Δ. από τη γέννηση τους μέχρι σήμερα

Τα Παράγωγα επί Μετεωρολογικών δεικτών, έχουν πολύ μικρή ιστορία. Η απαρχή αυτής της Ιστορίας βρίσκεται στην Αμερική το Σεπτέμβριο του 1997 οπού δύο Αμερικάνικες εταιρίες ενέργειας, οι Enron και Koch έκαναν το πρώτο swap βασισμένο σε μετεωρολογικό δείκτη και συγκεκριμένα σε Heating Degree Days. Στη συνέχεια παρατίθενται τα πιο σημαντικά γεγονότα στην ιστορία των Π.Μ.Δ. , από την γέννηση τους τον Σεπτέμβρη του 1997 μέχρι τις μέρες μας.

- **Σεπτέμβριος 1997:** Οι εταιρίες Enron και Koch, και οι δύο εταιρίες ενέργειας των Η.Π.Α., κάνουν το πρώτο Π.Μ.Δ. Ένα swap βασισμένο σε Heating Degree Days (HDDs).

Σκοπός αυτής της συναλλαγής ήταν να καλυφθούν και οι δύο εταιρίες έναντι του κινδύνου που αντιμετώπιζαν από τις μεταβολές της κατανάλωσης ενέργειας

που θα προκαλούσαν οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας τον χειμώνα του 1997-98

- **Χειμώνας 1997:** *Το φαινόμενο El Nino έχει μεγάλη επίδραση στην Αμερικάνικη Οικονομία.*

Το φαινόμενο El Nino είναι ένα φαινόμενο κυκλικής θέρμανσης των τροπικών ζωνών του Ειρηνικού Ωκεανού που συνδέεται με αυξημένη βροχόπτωση στις νοτιότερες Η.Π.Α., ξηρασία στις δυτικές Η.Π.Α., ζεστότερους χειμώνες στις βόρειες κεντρικές Η.Π.Α., και πιο ψυχρούς χειμώνες στις νοτιοδυτικές και νοτιοανατολικές πολιτείες των Η.Π.Α. Το όνομα El Nino σημαίνει “μικρό αγόρι” στα Ισπανικά και προέρχεται από το γεγονός ότι το φαινόμενο συνήθως συμβαίνει κοντά στα Χριστούγεννα. Το El Nino έχει έναν κύκλο ο οποίος είναι περίπου 7 χρόνια. Κατά τον χειμώνα 1997-1998 το φαινόμενο παρουσιάστηκε στην πιο έντονη μορφή του στα χρονικά και έλαβε πολύ μεγάλη δημοσιότητα από τα Μ.Μ.Ε. των Ηνωμένων Πολιτειών. Τότε πάρα πολλές επιχειρήσεις, που ήρθαν αντιμέτωπες με την πιθανότητα σημαντικά μειωμένων αποτελεσμάτων λόγω του ασυνήθιστα ήπιου χειμώνα, αποφάσισαν να αντιμετωπίσουν τον εποχικό κίνδυνο από τις μεταβολές του καιρού. Έτσι στράφηκαν πολλές από τις επιχειρήσεις αυτές στην ανερχόμενη αγορά των Π.Μ.Δ.

- **Σεπτέμβριος 1998:** *Πραγματοποιείται το πρώτο Π.Μ.Δ. πέραν των συνόρων των Η.Π.Α. μεταξύ της Enron και της Σκωτικής Hydro.*

Επρόκειτο για ένα swap σε heating degree days, το οποίο είχε ως σκοπό να προστατεύσει την Σκοτσέζικη Hydro, παραγωγό ενέργειας με υδροηλεκτρικά εργοστάσια, έναντι στην πιθανότητα ενός ήπιου η ζεστού χειμώνα στην Σκωτία.

- **Ιούνιος 1999:** *Ιδρύεται η Weather Risk Management Association (W.R.M.A.) στην Washington, D.C., από τους κύριους marketers των Π.Μ.Δ.*
- **Σεπτέμβριος 1999:** *Το Chicago Mercantile Exchange (C.M.E.) δημιουργεί την πρώτη οργανωμένη αγορά για Π.Μ.Δ.*

Η κίνηση αυτή έγινε κυρίως για να μεγεθυνθεί η αγορά και για να αφαιρεθεί ο πιστωτικός κίνδυνος από τα συμβόλαια.. Μέχρι τότε όλα τα συμβόλαια που γίνονταν με τη χρήση παραγώγων επί μετεωρολογικών δεικτών, γίνονταν over the counter (O.T.C.). Έτσι γεννήθηκε το πρώτο χρηματιστήριο για Π.Μ.Δ. Σήμερα στο *Chicago Mercantile Exchange* διαπραγματεύονται Heating Degree Day (HDD) και Cooling Degree Day (CDD) futures και options σε futures σε δέκα πόλεις των Η.Π.Α. (Atlanta, Chicago, Cincinnati, Dallas, Des Moines, Las Vegas, New York, Philadelphia, Portland and Tucson.)

- **Δεκέμβριος 1999:** *Η I-WeX μια πολυεθνική με έδρα το Λονδίνο, σε συνεργασία με το London International Financial Futures and Options Exchange (LIFFE), δημιουργεί το πρώτο ηλεκτρονικό χρηματιστήριο για Π.Μ.Δ.*
- **Ιούλιος 2001:** *το LIFFE δημιουργεί τρεις ευρωπαϊκούς μετεωρολογικούς δείκτες βασισμένους στην θερμοκρασία (Λονδίνο, Παρίσι, Βερολίνο).*

Διαφορές των Π.Μ.Δ. από τα άλλα Χρηματοοικονομικά Παράγωγα

Τα παράγωγα επί μετεωρολογικών δεικτών, αν και μοιάζουν σε πολλά σημεία με τα γνωστά χρηματοοικονομικά παράγωγα (Παράγωγα επί επιτοκίων, επί συναλλάγματος, επί χρηματιστηριακών δεικτών κλπ), παρουσιάζουν και αρκετές διαφορές από αυτά, διαφορές που κάνουν τα Π.Μ.Δ. να ξεχωρίζουν. Συγκεκριμένα:

- Στα παράγωγα επί μετεωρολογικών δεικτών, το υποκείμενο προϊόν δεν είναι διαπραγματεύσιμο. Έτσι δεν μπορεί κανείς να πάρει θέση στο υποκείμενο προϊόν και στο αντίστοιχο Π.Μ.Δ. ταυτόχρονα
- Το υποκείμενο προϊόν των Π.Μ.Δ. είναι η μητέρα φύση και αυτή δεν επιδέχεται κανενός είδους καθοδήγηση ή παραποίηση. Αντίθετα στα χρηματοοικονομικά παράγωγα έχουν παρατηρηθεί κατά καιρούς προσπάθειες καθοδήγησης των αγορών προς όφελος κάποιων.
- Στα Π.Μ.Δ. το υποκείμενο προϊόν μπορεί να προβλεφθεί με μεγάλο βαθμό ακρίβειας.

Διαφορές των Π.Μ.Δ. από τα ασφαλιστικά προϊόντα

Αρκετά είναι και τα σημεία στα οποία τα Π.Μ.Δ. διαφοροποιούνται από τα κλασσικά ασφαλιστικά προϊόντα. Συγκεκριμένα:

- Τα Π.Μ.Δ. καλύπτουν γεγονότα χαμηλού κινδύνου τα οποία όμως έχουν αρκετά μεγάλη πιθανότητα να συμβούν. Για παράδειγμα ένας ζεστός χειμώνας, ένα δροσερό καλοκαίρι κλπ. Τα ασφαλιστικά προϊόντα, από την άλλη, καλύπτουν γεγονότα υψηλού κινδύνου, γεγονότα που έχουν όμως μικρή πιθανότητα να συμβούν. Για παράδειγμα ένας τυφώνας, μια πλημμύρα κλπ.
- Οι κάτοχοι των παραγώγων επί μετεωρολογικών δεικτών τα χρησιμοποιούν για να καλυφθούν ενάντια σε κινδύνους που προέρχονται από τις μεταβολές του καιρού. Για να λάβουν την πληρωμή τους, εάν αυτή υπάρχει, δεν χρειάζεται να κατέχουν αποδεικτικά στοιχεία ότι όντως επλήγησαν από το φαινόμενο έναντι του οποίου είχαν καλυφθεί. Αντίθετα οι κάτοχοι ασφαλιστικών συμβολαίων, προκειμένου να αποζημιωθούν πρέπει να αποδείξουν υπέστησαν ζημιές.

- Ένα παράγωγο μπορεί να ανακληθεί (παίρνοντας ακριβώς την αντίθετη θέση στην αγορά). Ένα ασφαλιστικό συμβόλαιο δεν γίνεται να ανακληθεί.
- Μια επιχείρηση με Π.Μ.Δ. μπορεί να αντισταθμίσει τον κίνδυνο που αντιμετωπίζει από κάποιον ανταγωνιστή. Για παράδειγμα, μία αγροτική μονάδα με πορτοκαλιές στην Καλιφόρνια μπορεί να αντισταθμίσει με την χρήση ενός Π.Μ.Δ. την δυσμενή θέση στην οποία θα την έφερνε μία πιθανή μεγάλη αύξηση σοδειάς, λόγω ευνοϊκών καιρικών συνθηκών, των ανταγωνιστών της στην Φλόριντα. Με τη χρήση ασφαλιστικών προϊόντων, κάτι τέτοιο είναι αδύνατο.

Μεγέθη αγορών Π.Μ.Δ. παγκοσμίως

Η αγορά των παραγώγων επί μετεωρολογικών δεικτών είναι νέα και ανερχόμενη αγορά. Ο κύριος όγκος των συναλλαγών γίνεται στις Η.Π.Α. απ' όπου και ξεκίνησαν τα Π.Μ.Δ. ενώ τα τελευταία χρόνια αρχίζει δειλά-δειλά και αναπτύσσεται η Ευρωπαϊκή καθώς και η Ασιατική αγορά.

Το 2001 η PricewaterhouseCoopers διεξήγαγε μια έρευνα για λογαριασμό της *Weather Risk Management Association (W.R.M.A.)* για να διαπιστωθεί το μέγεθος της αγοράς των Π.Μ.Δ. παγκοσμίως. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες:

Notional Value by Contract Coverage Period and Region, All Contract Types (Thousands of U.S. Dollars)										
Period of Contract Coverage	North America					Rest of the World				TOTAL
	West	Midwest	East	South	Total	Asia	Australia	Europe	Other	
10/15/1997-4/14/98	15,857	121,900	31,453	200	169,410	0	0	0	0	169,410
4/15/1998-10/14/98	42,958	365,419	287,985	37,570	733,932	0	0	0	0	733,932
10/15/1998-4/14/99	166,835	358,754	455,803	119,914	1,101,306	0	0	320	300	1,101,926
4/15/1999-10/14/99	115,560	212,426	92,375	219,500	639,861	1,561	0	0	0	641,422
10/15/1999-4/14/00	274,095	938,910	571,654	457,903	2,242,562	2,799	0	70,690	1,689	2,317,738
4/15/2000-10/14/00	178,775	167,768	117,420	159,590	623,553	15,920	594	183	262	640,513
10/15/2000-4/14/01	325,559	740,639	564,168	155,266	1,785,632	29,147	1,929	49,146	10,279	1,876,134
Total	1,119,640	2,905,817	2,120,857	1,149,943	7,296,257	49,427	2,523	120,339	12,529	7,481,075

Source: PricewaterhouseCoopers-WRMA survey of weather risk management contracts, June 2001.

The Number of Contracts by Contract Coverage Period and Region, All Contract Types										
Period of Contract Coverage	North America					Rest of the World				TOTAL
	West	Midwest	East	South	Total	Asia	Australia	Europe	Other	
10/15/1997-4/14/98	12	38	30	2	82	0	0	0	0	82
4/15/1998-10/14/98	42	83	53	31	209	0	0	0	0	209
10/15/1998-4/14/99	76	175	144	87	482	0	0	2	2	486
4/15/1999-10/14/99	68	101	42	150	361	1	0	0	0	362
10/15/1999-4/14/00	143	309	232	202	886	6	0	30	1	923
4/15/2000-10/14/00	237	339	305	197	1,078	31	2	12	3	1,126
10/15/2000-4/14/01	158	521	508	192	1,379	79	4	160	11	1,633
Total	736	1,566	1,314	861	4,477	117	6	204	17	4,821

Source: PricewaterhouseCoopers-WRMA survey of weather risk management contracts, June 2001

Summary Statistics for All Contract Types and All Geographical Regions						
Period of Contract Coverage includes all or part of:				Percent Year over Year Growth		
	Number of Contracts	Total Notional Value(\$1000s)	Average Notional Value(\$1000s)	Number of Contracts	Notional Value	Average Notional value
October 15th to April 14th						
1997	82	169,410	2,066	na	na	na
1998	486	1,101,926	2,267	493	550	10
1999	923	2,317,738	2,511	90	110	11
2000	1,633	1,876,134	1,149	77	-19	-54
April 15th to October 14th						
1998	209	733,932	3,512	na	na	na
1999	362	641,422	1,772	73	-13	-50
2000	1,126	640,513	569	211	0	-68
Total	4,821	7,481,075	1,552	na	na	na

Source: PricewaterhouseCoopers-WRMA survey of weather risk management contracts, June 2001.

Από τους παραπάνω πίνακες γίνεται σαφές πως η αγορά της Βορείου Αμερικής είναι αυτή που κυριαρχεί στα παράγωγα επί μετεωρολογικών δεικτών και μάλιστα κατέχει απόλυτα την ηγετική θέση και ως προς τον αριθμό των συμβολαίων που διακινούνται, αλλά και ως προς τα ποσά με βάση τα οποία γίνονται τα συμβόλαια αυτά. Η απόσταση της αμερικάνικης αγοράς από αυτήν της Ευρώπης και της Ασίας είναι τεράστια. Τα τελευταία χρόνια όμως οι δυο τελευταίες παρουσιάζουν υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης κυρίως ως προς τον αριθμό των συμβολαίων που συνάπτονται ετησίως, γεγονός που δείχνει πως ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις σε Ευρώπη και Ασία προσπαθούν να καλυφθούν από τους μετεωρολογικούς κινδύνους.

Η Χρήση των Π.Μ.Δ. από τις επιχειρήσεις

Τα κίνητρα κάτω από τα οποία οι επιχειρήσεις επιθυμούν να αντιμετωπίσουν την έκθεση τους στον κίνδυνο από τις καιρικές μεταβολές ποικίλουν. Τα πιο σημαντικά από αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

- *Εξομάλυνση των εσόδων ή αποζημίωση για την έλλειψη ζήτησης.*

Για παράδειγμα, ένας παρασκευαστής παγωτών θα επιθυμούσε κάποιου είδους ασφάλιση έναντι ενός ασυνήθιστα ψυχρού καλοκαιριού.

- *Κάλυψη επιπρόσθετου κόστους.*

Για παράδειγμα ένας απρόσμενος παγετός μπορεί να κατέστρεφε τις σοδειές των πορτοκαλιών και να αύξανε το κόστος ενός παρασκευαστή πορτοκαλοχυμού.

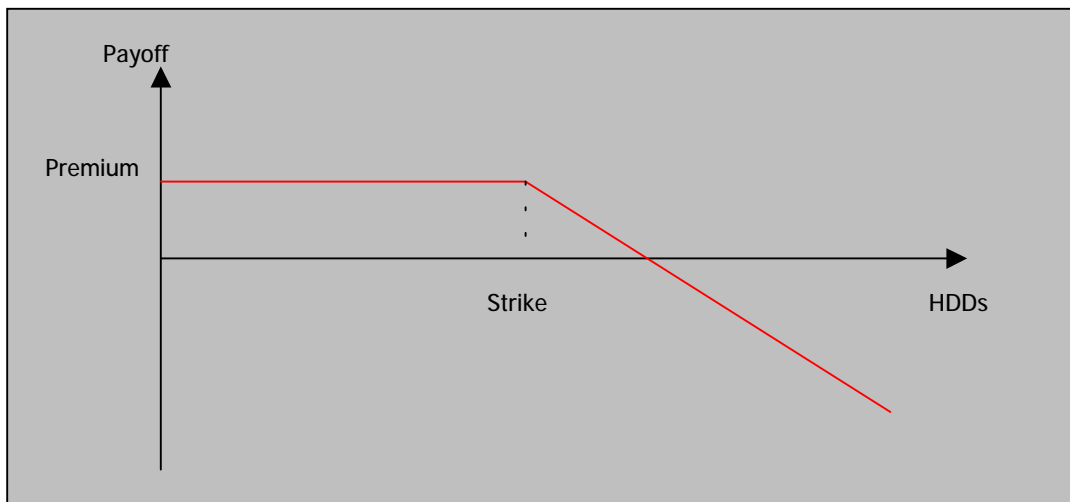
- *Αποζημίωση χαμένου κόστους ευκαιρίας*

Ιδανικά, οι παραγωγοί θα παρήγαγαν, και οι πωλητές λιανικής θα αποθήκευαν την ακριβή ποσότητα προϊόντων που θα αγόραζαν οι καταναλωτές. Ο καιρός και οι μεταβολές του εισάγουν περισσότερη αβεβαιότητα στις εκτίμησεις της ζήτησης των καταναλωτών. Για παράδειγμα ένας παραγωγός παγωτού θα ήθελε ασφάλεια έναντι ενός stock-out που θα συνέβαινε ένα ασυνήθιστα ζεστό καλοκαίρι.

Παράδειγμα αντιστάθμισης κινδύνου με χρήση Π.Μ.Δ.

Μία εταιρία διανομής πετρελαίου θέρμανσης, στη περίπτωση ενός πολύ κρύου χειμώνα θα έχει αυξημένα έσοδα, καθώς θα υπάρχει αυξημένη ζήτηση για θέρμανση

των κατοικιών από τους πελάτες της. Αντίθετα στην περίπτωση ενός όχι και τόσο κρύου χειμώνα θα έχει πτώση στα έσοδα της, αφού η ζήτηση για πετρέλαιο θέρμανσης θα είναι μειωμένη και άρα και οι πωλήσεις της εταιρίας θα είναι μειωμένες. Για να αντισταθμίσει τον κίνδυνο στον οποίο εκτίθεται η εταιρία από την μεταβλητότητα της θερμοκρασίας, αποφασίζει να πουλήσει ένα call option που θα βασίζεται σε Heating Degree Days (HDDs) και θα έχει σαν διάρκεια τους μήνες του χειμώνα. Έτσι όταν ο χειμώνας δεν θα είναι πολύ κρύος, ο δείκτης των HDDs θα είναι χαμηλός (πιθανόν και χαμηλότερα από την strike price) και η εταιρία σαν πωλήτρια ενός call option θα απολαμβάνει το premium του call χωρίς να είναι αναγκασμένη να πληρώνει τον αντισυμβαλλόμενο. Έτσι θα αντισταθμίζει με το κέρδος από το premium τα μειωμένα έσοδα λόγω του ήπιου χειμώνα. Αντίθετα στην περίπτωση ενός πολύ κρύου χειμώνα, ο δείκτης των HDDs θα είναι υψηλός. Έτσι η εταιρία θα είναι αναγκασμένη να πληρώνει τον αντισυμβαλλόμενο το συμπεφωνημένο ποσό ανά μονάδα απόκλισης από την τιμή strike πάνω στον δείκτη των HDDs. Ταυτόχρονα όμως η εταιρία εξ' αιτίας ακριβώς του κρύου χειμώνα, θα έχει αυξημένες πωλήσεις και από τα έξτρα έσοδα της θα πληρώνει τον αντισυμβαλλόμενο, τον αγοραστή δηλαδή του call. Με αυτό τον τρόπο η εν λόγω εταιρία θα μειώσει την έκθεσή της στον κίνδυνο από την μεταβλητότητα της θερμοκρασίας.



Τιμολόγηση των Παραγώγων επί Μετεωρολογικών Δεικτών

Πολλά έχουν γραφτεί κατά καιρούς σχετικά με την αποτίμηση των Π.Μ.Δ. Στα πρώτα χρόνια της γέννησης της αγοράς των Π.Μ.Δ. οι πρώτες προσπάθειες αποτίμησης έγιναν με βάση το μοντέλο των Black και Scholes. Γρήγορα όμως αυτή η προσέγγιση απορρίφθηκε και η αγορά στράφηκε σε μεθόδους αποτίμησης που βασίζονται στην ανάλυση Ιστορικών Στοιχείων.

Οι λόγοι για τους οποίους η μέθοδος αποτίμησης των Black και Scholes δεν μπορεί να εφαρμοστεί στα Π.Μ.Δ. είναι αρκετοί. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι:

- Η Μεθοδολογία των Black και Scholes για την αποτίμηση των options απαιτεί το υποκείμενο προϊόν να είναι εμπορεύσιμο. Στην περίπτωση των Π.Μ.Δ. οι υποκείμενοι δείκτες δεν είναι εμπορεύσιμοι.
- Δεύτερον, είναι αδύνατο να δημιουργηθεί ένα χαρτοφυλάκιο ουδέτερο ως προς τον κίνδυνο (risk-neutral portfolio) συνδυάζοντας ταυτόχρονες θέσεις σε Π.Μ.Δ. και στον υποκείμενο προϊόν όπως απαιτεί η μεθοδολογία των Black και Scholes.
- Η μέθοδος των Black και Scholes είναι ακατάλληλη και για έναν ακόμη λόγο: Τα Π.Μ.Δ. όπως υπάρχουν σήμερα στην αγορά, συσσωρεύουν αξία κατά τη διάρκεια του χρόνου. Για παράδειγμα κάθε μέρα ενός ψυχρότερου από το

φυσιολογικό καιρού, στα πλαίσια ενός option σε HDDs θα προσέθετε αξία στην τελική αποπληρωμή στη λήξη του Π.Μ.Δ. Λόγω αυτού του χαρακτηριστικού τους, τα Π.Μ.Δ. μοιάζουν πολύ με ένα είδος εξωτικών options ,τα ασιατικά, των οποίων η πληρωμή βασίζεται στην μέση τιμή του υποκειμένου δείκτη κατά τη διάρκεια της ζωής τους.

Εναλλακτικοί Τρόποι Τιμολόγησης των Π.Μ.Δ.

Οι εναλλακτικοί τρόποι τιμολόγησης των Π.Μ.Δ., οι οποίοι δεν θυμίζουν σε τίποτα τους τρόπους τιμολόγησης των χρηματοοικονομικών παραγώγων είναι:

- *Ανάλυση Burn*

Ίσως η πιο απλή μέθοδος που χρησιμοποιείται στην αγορά. Σύμφωνα με αυτήν, το option τιμολογείται με βάση το μέσο ιστορικό payout του, για ένα δεδομένο αριθμό ετών. Πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η ευκολία ως προς την κατανόηση, και η ταχύτητα της . Η ανάλυση Burn απαντά στην ερώτηση : «Τι ποσό θα έπρεπε να είχαμε πληρώσει, εάν τα προηγούμενα n χρόνια και σε καθένα από αυτά πουλούσαμε ένα option όμοιο με αυτό που θέλουμε να τιμολογήσουμε;» Η μέση τιμή αυτών των ποσών δίνει μια ένδειξη για το πού περίπου πρέπει να βρίσκεται η τιμή του option μας.

Η διαδικασία αυτή, που δεν λαμβάνει υπ'όψιν της τις πιέσεις από την προσφορά και την ζήτηση και τα premiums των πωλητών, ακολουθεί τα παρακάτω βήματα :

- 1)Συλλογή των ιστορικών μετεωρολογικών δεδομένων
- 2)Μετατροπή των δεδομένων σε HDDs η CDDs
- 3)Διόρθωση επί των δεδομένων

- 4) Για κάθε έτος στο παρελθόν, καθορισμός της πληρωμής που θα είχε το option
- 5) Εύρεση του μέσου όρου των πληρωμών αυτών
- 6) Αναγωγή της τιμής του μέσου όρου στην εποχή του διακανονισμού του συμβολαίου.

- *Τιμολόγηση με τη χρήση Monte-Carlo Simulation*

Πιο εξελεγμένα μοντέλα για την τιμολόγηση των Π.Μ.Δ. βασίζονται στην απευθείας μοντελοποίηση του εκάστοτε καιρικού φαινομένου ενδιαφέροντος. Τα βήματα που ακολουθεί κανείς όταν επιλέξει μια τέτοια διαδικασία είναι:

- 1) Συλλογή των ιστορικών μετεωρολογικών δεδομένων.
- 2) Διόρθωση επί των δεδομένων
- 3) Δημιουργία στατιστικού μοντέλου για το καιρικό φαινόμενο ενδιαφέροντος
- 4) Προσομοίωση πιθανών μελλοντικών καταστάσεων του καιρικού φαινομένου με τη βοήθεια Monte-Carlo Simulation
- 5) Για κάθε πιθανή μελλοντική κατάσταση, υπολογισμός των πληρωμών που θα έχει το option
- 6) Εύρεση του μέσου όρου των πληρωμών αυτών
- 7) Αναγωγή της τιμής του μέσου όρου στην εποχή του διακανονισμού του συμβολαίου.

Τέλος, στο άρθρο τους «Dynamical Pricing of Weather Derivatives», οι Dorje C Brody , Joanna Syroka και Mihail Zervos (Quantitative Finance, June 2002)

παρήγαγαν αναλυτικές εκφράσεις για το αναμενόμενο προεξοφλητικό payoff Παραγώγων επί Μετεωρολογικών δεικτών βασισμένων α) σε CDDs ή HDDs και β) σε αθροιστική θερμοκρασία

CASE STUDY

Εισαγωγή

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας θα γίνει μια προσπάθεια χρήσης κάποιου Μετεωρολογικού Παραγώγου στην Ελληνική Αγορά. Συγκεκριμένα θα γίνει μια θεωρητική χρήση ενός Π.Μ.Δ. για λογαριασμό της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού της Ελλάδας (Δ.Ε.Η.) με σκοπό να αντισταθμιστεί από πλευράς της εταιρίας ο υφιστάμενος κίνδυνος στον οποίο υποβάλλεται η ίδια από τις μεταβολές της θερμοκρασίας.

Η περίπτωση η οποία θα αναλυθεί, ακολουθεί παρακάτω:

Η Ελλάδα είναι μία χώρα με πολύ ζεστά καλοκαίρια. Τα τελευταία χρόνια, που η χρήση των κλιματιστικών έχει γίνει ευρέως διαδεδομένη, παρατηρείται τακτικά τα καλοκαίρια το εξής φαινόμενο: Τις κρίσιμες ημέρες όπου η θερμοκρασία αγγίζει τα όρια του καύσωνα και η χρήση των κλιματιστικών γίνεται τότε για λόγους υγείας επιτακτική, η παροχή ηλεκτροδότησης από την Δ.Ε.Η. δεν είναι αρκετή για να καλύψει την λογικά αυξημένη ζήτηση. Έτσι η Δ.Ε.Η. για να καλύψει την υψηλή ζήτηση, αναγκάζεται να δημοσιοποιεί παρακλήσεις για μειωμένη χρήση των κλιματιστικών προς το καταναλωτικό κοινό, καθώς και να αγοράζει ηλεκτρική ενέργεια από την spot αγορά, από εταιρίες ενέργειας του εξωτερικού, γεγονός που δημιουργεί επιπρόσθετο κόστος στην εταιρία. Το κόστος αυτό στο οποίο υποβάλλεται η εταιρία σε περιπτώσεις υψηλής ζήτησης Η/Ε δεν ελέγχεται από την εταιρία καθώς εξαρτάται κυρίως από την μεταβλητότητα της θερμοκρασίας (που δεν μπορεί να ελεγχθεί) και δημιουργεί έναν νέο κίνδυνο για τα αποτελέσματά της.

Ένας τρόπος αντιμετώπισης του κινδύνου αυτού είναι η αγορά ημερησίων call options πάνω στην ηλεκτρική ενέργεια. Το μειονέκτημα αυτής της αντιμετώπισης είναι το πολύ υψηλό κόστος αγοράς των call options.

Με την χρήση ενός Π.Μ.Δ. η εταιρία μπορεί να αντιμετωπίσει τον κίνδυνο αυτό με αρκετά χαμηλότερο κόστος από ότι με την αγορά των call options πάνω στην Η/Ε(βλ. Ellithorpe and Putnam, «Weather Derivatives and their Implications for Power Markets»). Συγκεκριμένα εάν η εταιρία πάρει θέση long σε ένα call option σε CDDs, ένα πολύ ζεστό καλοκαίρι θα της αποφέρει κέρδη από την πλευρά του option, κέρδη με τα οποία θα μπορεί να αντιμετωπίσει οποιοδήποτε επιπρόσθετο κόστος λόγω της υπερβολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Επίκεντρο της έρευνας μας, τοπολογικά, είναι το λεκανοπέδιο της Αττικής, το οποίο και αποτελεί πυρήνα πληθυσμιακής συγκέντρωσης της Ελλάδας, ενώ

χρονολογικά η έρευνα θα αναφέρεται στους καλοκαιρινούς μήνες που παρουσιάζουν την υψηλότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Αρχικός στόχος της πτυχιακής αυτής εργασίας ήταν:

- Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του ορτίου αυτού, το οποίο θα πρέπει να καλύπτει όσο το δυνατόν πληρέστερα τον κίνδυνο που προαναφέρθηκε,
- Ο έλεγχος της κάλυψης αυτής
- καθώς και η τιμολόγηση του ορτίου

Για να γίνει μία πλήρης και τεκμηριωμένη εργασία τα δεδομένα που θα χρειαζόμασταν θα ήταν:

A) Οι ανώτατες και κατώτατες τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας της Αττικής, για τουλάχιστον 20 έτη. Καθόσον όμως κάθε κέντρο παρατήρησης της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας πιθανόν να είχε αποκλίσεις από τα υπόλοιπα, θα ήταν ορθότερο, να λάβουμε τιμές από περισσότερα από ένα κέντρα και να δημιουργήσουμε έναν πληθυσμιακά σταθμισμένο δείκτη θερμοκρασίας.

B) Ημερήσια δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για το λεκανοπέδιο της Αττικής και για τα προηγούμενα 20 έτη

Γ) Ο ακριβής τρόπος κοστολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας (πάγιο και χρέωση ανά μονάδα κατανάλωσης)

Δ) Το επιπρόσθετο κόστος/kW στο οποίο υποβάλλεται η εταιρία στην περίπτωση την οποία και θα αναλύσουμε, δηλαδή στην περίπτωση της υπερβολικής ζήτησης για ενέργεια (π.χ. κόστος εισαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κ.λ.π.).

Το πρώτο μέρος των δεδομένων ζητήθηκε από την Ε.Μ.Υ. η οποία ικανοποίησε εν μέρει το αίτημά μας καθώς μας χορήγησε ημερήσια δεδομένα ανώτατων και κατώτατων ατμοσφαιρικών θερμοκρασιών για 30 έτη, αλλά από έναν μόνο σταθμό παρακολούθησης στην Αττική.

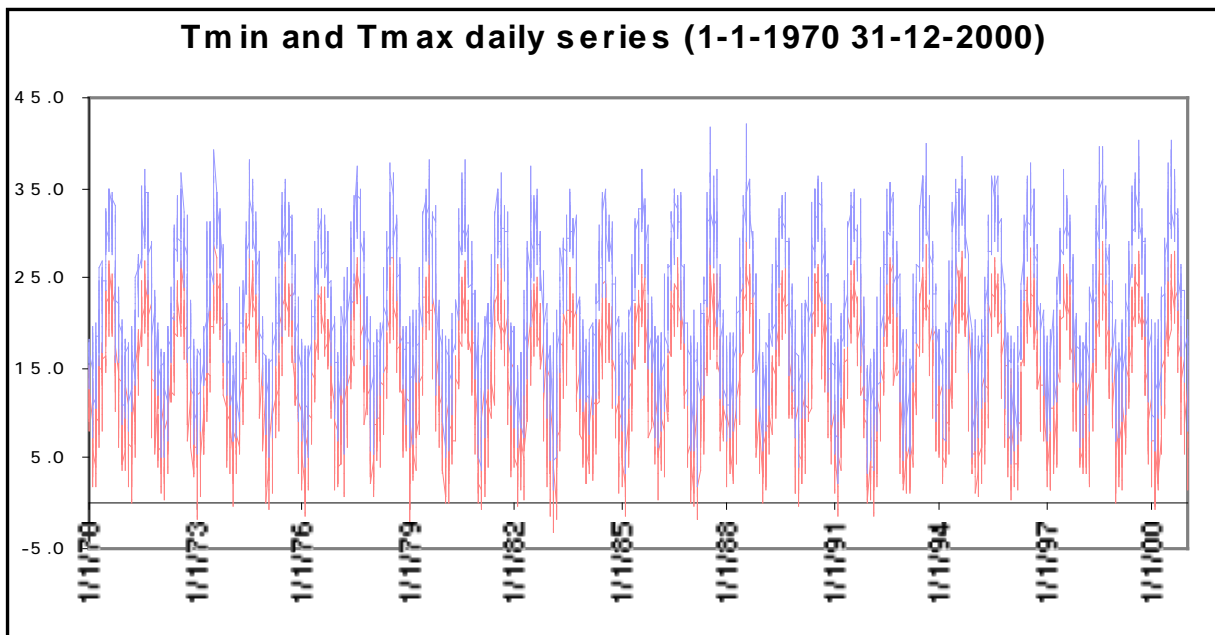
Τα υπόλοιπα δεδομένα που αφορούσαν στην κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, στο κόστος εισαγωγής κλπ, εάν και κατ' επανάληψη βεβαιωθήκαμε ότι θα τα λάβουμε από το αρμόδιο κέντρο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της Δ.Ε.Η. στην Αττική και η διαδικασία της χορήγησης των δεδομένων καθυστερούσε για διάφορους λόγους, εν τέλει, στα μέσα Μαΐου, λάβαμε την τελική απάντηση από τον Γενικό Διευθυντή διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, η οποία ήταν και αρνητική.

Έτσι η έρευνα αυτή θα περιοριστεί σε καθαρά θεωρητικά πλαίσια, καθώς η άρνηση χορήγησης δεδομένων από μέρους της Δ.Ε.Η. δεν επιτρέπει την ολοκλήρωση της αρχικής φιλόδοξης ιδέας η οποία εμπεριείχε και πρακτική εφαρμογή.

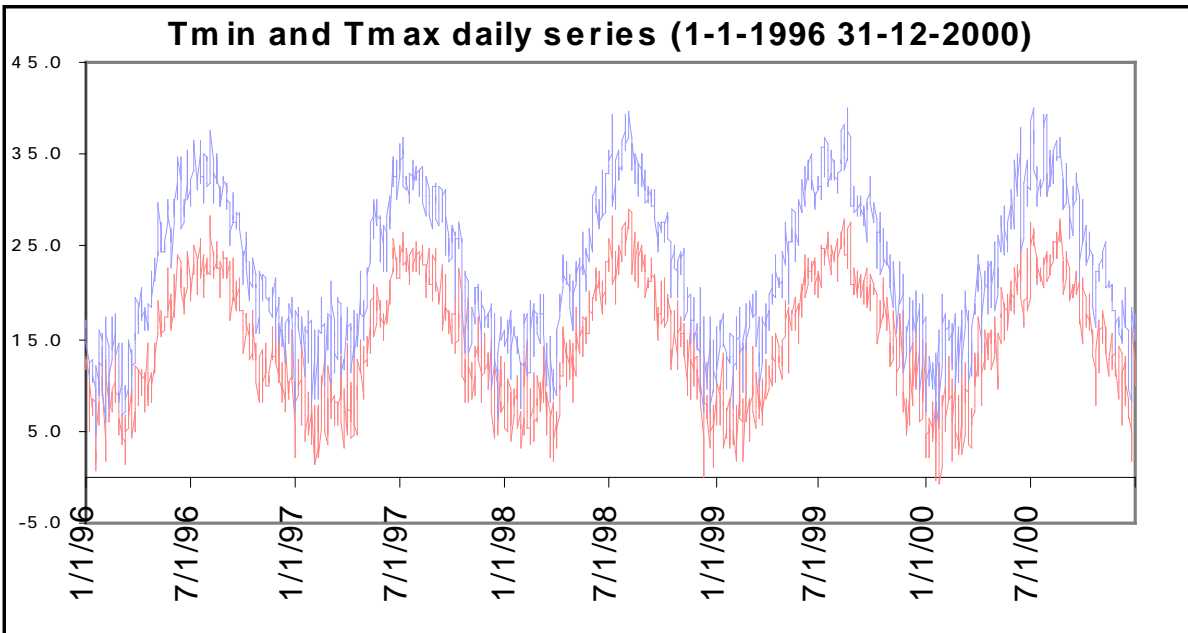
Παρουσίαση των Δεδομένων

Τα δεδομένα τα σχετικά με την ατμοσφαιρική θερμοκρασία που θα χρησιμοποιήσουμε με σκοπό την τιμολόγηση του Π.Μ.Δ. ελήφθησαν από τον σταθμό παρατήρησης της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας της Ε.Μ.Υ. που βρίσκεται στο παλιό αεροδρόμιο του Ελληνικού. Πρόκειται για δύο ημερήσιες σειρές

δεδομένων, που εκτείνονται από την 1-1-1970 έως την 31-12-2000. Η πρώτη σειρά αποτελείται από τις μέγιστες ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες της κάθε ημέρας του παραπάνω διαστήματος και η δεύτερη από τις ελάχιστες ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες της κάθε ημέρας, μετρούμενες και οι δύο σε °C. Έτσι λοιπόν έχουμε δύο σειρές ημερήσιων δεδομένων, τις οποίες από εδώ και στο εξής θα ονομάζουμε



T_{\min} (ελάχιστη) και T_{\max} (μέγιστη)



Οι δύο παραπάνω σειρές είναι πλήρεις, δηλαδή δεν υπάρχουν missing values.

Προβλέποντας τον καιρό

Όπως είδαμε προηγουμένως, η χρήση των συνήθων μεθόδων για την τιμολόγηση των options (βλ. Black and Scholes) δεν λειτουργεί αποτελεσματικά στην περίπτωση των Μετεωρολογικών Παραγώγων. Έτσι για να βρεθεί μία αντικειμενική τιμή για το υπό εξέταση Π.ΜΔ. πρέπει να ακολουθήσουμε το δρόμο της πρόβλεψης του υποκείμενου μετεωρολογικού δείκτη. Η υπάρχουσα βιβλιογραφία η σχετική με την πρόβλεψη του καιρού (π.χ. Katz και Murphy, 1997)

βασίζεται περισσότερο σε φυσικούς νόμους και κανόνες και στην αλληλεπίδραση των διαφόρων φυσικών φαινομένων στην γη και στην ατμόσφαιρά της.. Μία τέτοια προσέγγιση, αν και δίνει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα για προβλέψεις λίγων ωρών ή ημερών, δεν είναι το ίδιο αποτελεσματική με περισσότερο μακροχρόνιες προβλέψεις μηνών ή και λίγων ετών που απαιτούνται στην περίπτωση των Π.Μ.Δ. Για τις μακροχρόνιες προβλέψεις των δεικτών αυτών, η χρήση της θεωρίας των χρονολογικών σειρών, δηλαδή η μοντελοποίηση μετεωρολογικών χρονοσειρών και η πρόγνωση των μελλοντικών τους τιμών όπως προβλέπει η θεωρία της ανάλυσης χρονοσειρών, δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Η μοντελοποίηση μέσω της θεωρίας των χρονοσειρών αποκαλύπτει έναν τεράστιο πλούτο πληροφοριών σχετικά με τις δυναμικές του δεσμευμένου μέσου και τις δυναμικές της δεσμευμένης διακύμανσης της σειράς. Δηλαδή, μέσω μιας τέτοιας προσέγγισης επιτυγχάνονται με μεγάλη ακρίβεια σημειακές προβλέψεις (point forecasting), αλλά παρέχεται και η δυνατότητα για τεκμηριωμένη ποσοτικοποίηση της σχετικής προβλεπτικής αβεβαιότητας (density forecasting) αντίστοιχα.

Στο παρελθόν έχουν γίνει και άλλες προσπάθειες μοντελοποίησης μετεωρολογικών χρονοσειρών. Για παράδειγμα η ανάλυση της βροχόπτωσης του Harvey (1989) και των Hyndman και Grundwald (2000) οι οποίες όμως δεν έγιναν κοινά αποδεκτές. Ο Seater (1993) μελέτησε την μακροχρόνια τάση της θερμοκρασίας. Ακόμη οι Cao και Wei (2001), οι Torro, Meneu και Valor (2001) και οι Campbell και Diebold (2001) μελέτησαν την μοντελοποίηση χρονοσειρών της μέσης θερμοκρασίας- όπως αυτή ορίστηκε παραπάνω.

Αρθρογραφία

Black and Scholes Wont do

Bob Dischel

Ένας από τους πρώτους που ασχολήθηκαν με την τιμολόγηση των Π.Μ.Δ. είναι ο Bob Dischel.

Στο άρθρο του **Black and Scholes won't do** ο B.Dischel, όπως εύγλωττα δηλώνει ο τίτλος, απέρριψε την χρήση της μεθοδολογίας των Black και Scholes για την τιμολόγηση των Π.Μ.Δ. Έτσι, έκανε μια πρώτη προσπάθεια να μοντελοποιήσει τον υποκείμενο δείκτη ενός οπτίον το οποίο ήταν βασισμένο πάνω σε HDDs. έχοντας σαν τελικό σκοπό την τιμολόγηση του. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρει ο ίδιος ο συγγραφέας, αντί για την αρχή διατήρησης της ορμής και την αρχή διατήρησης της ενέργειας που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά στα μοντέλα πρόβλεψης του καιρού από τους μετεωρολόγους, επέλεξε να ακολουθήσει στοχαστικές αρχές. Και αυτό γιατί στη συγκεκριμένη περίπτωση σκοπός του ήταν η τιμολόγηση ενός οπτίον και όχι η πρόβλεψη του καιρού. Για τη δημιουργία του μοντέλου του αυτού ξεκίνησε από την ίδια στοχαστική διαφορική εξίσωση που χρησιμοποιείται σε άλλες αγορές οπτίον και για την οποία αναφορές γίνονται σε κάθε άρθρο ή βιβλίο που ασχολείται με την τιμολόγηση των οπτίον.(π.χ Hull 1993) μόνο που σε αυτήν ενσωμάτωσε τις αρχές και την διαισθητική λογική της επιστήμης της μετεωρολογίας.

Equilibrium Valuation of Weather Derivatives

Melanie Cao and Jason Wei

Οι Melanie Cao και Jason Wei στο άρθρο τους Equilibrium Valuation of Weather Derivatives, γενικεύοντας το μοντέλο του Lucas (1978) ενσωματώνουν σε αυτό τον καιρό, θεωρώντας τον σαν μια θεμελιώδη μεταβλητή της οικονομίας. Η μελέτη τους επικεντρώθηκε στην θερμοκρασία και συγκεκριμένα στα Π.Μ.Δ. επί της θερμοκρασίας. Μελετώντας την συμπεριφορά της θερμοκρασίας σε πέντε μεγάλες πόλεις των Η.Π.Α. για το χρονικό διάστημα 1979-1989, πρότειναν ένα μοντέλο που θα εξηγούσε την εξέλιξη της ημερήσιας θερμοκρασίας, στο οποίο θα εμπεριέχονταν όλες οι βασικές ιδιότητες της συμπεριφοράς της, περιλαμβάνοντας και τους εποχικούς κύκλους και την ανομοιογενή μεταβλητότητα της κατά τη διάρκεια του έτους. Η μεταβλητή της θερμοκρασίας βρέθηκε ότι επηρεάζει την συνολική παραγωγή και ταυτοχρόνως (contemporaneously) και με υστέρηση (lag). Οι Cao και Wei με αυτή τους την εργασία συμπέραναν ότι η τιμή του κινδύνου στην αγορά που σχετίζεται με την θερμοκρασία είναι ασήμαντη στις περισσότερες περιπτώσεις και περίπου ίση με το μηδέν.

“Weather Forecasting for Weather Derivatives”

by

Sean Campbell and Francis X. Diebold

Οι Campbell και Diebold στο άρθρο τους “Weather forecasting for weather derivatives” χρησιμοποιώντας δεδομένα για 10 πόλεις των Η.Π.Α. και για το χρονικό διάστημα 1-1-1960 έως 10-18-2000 κατέληξαν σε ένα λιτό αλλά πλήρως περιγραφικό μοντέλο των δυναμικών της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αλλά και των μεταβολών της. Στην έρευνά τους αυτή, οι συγγραφείς ήλεγξαν την ακρίβεια της προβλεπτικότητας του μοντέλου τους για χρονικούς ορίζοντες μίας, επτά και τριάντα ημερών με αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Single Factor Stochastic Models with Seasonality Applied to Underlying Weather Derivatives Variables

Hipòlit Torró Vicente Meneu and Enric Valor

Στο άρθρο των *Hipòlit Torró, Vicente Meneu, και Enric Valor* με τίτλο “*Single Factor Stochastic Models with Seasonality Applied to Underlying Weather Derivatives Variables*” οι συγγραφείς, προσπαθούν να τροποποιήσουν κλασσικά στοχαστικά μοντέλα της χρηματοοικονομικής και να τα εφαρμόσουν στην μέση ημερήσια ατμοσφαιρική θερμοκρασία. Χρησιμοποιώντας δεδομένα ημερησίας ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας από τέσσερις μεγάλες πόλεις της ηπειρωτικής Ισπανίας, το Μπιλμπάο (βόρεια Ισπανία), τη Μαδρίτη (Κεντρική Ισπανία), τη Σεβίλλη (Νότια Ισπανία) και τη Βαλένθια (Ανατολική Ισπανία), από τον Ιανουάριο του 1970 έως τον Απρίλιο του 1999, δημιούργησαν έναν πληθυσμιακά σταθμισμένο δείκτη θερμοκρασίας, τον οποίο και προσπάθησαν να μοντελοποιήσουν με απώτερο σκοπό τους, την χρήση των εκτιμημένων μοντέλων για την πρόβλεψη δεικτών HDDs ή CDDs με τη βοήθεια Montecarlo simulations.

Στο άρθρο αυτό ακολουθούν την προσέγγιση των Chan, Karoly, Longstaff και Sanders (1992) οι οποίοι εκτίμησαν και συνέκριναν ένα σετ κλασσικών στοχαστικών μοντέλων συνεχούς χρόνου που περιγράφουν την συμπεριφορά των βραχυχρόνιων επιτοκίων. Στο σετ αυτό συμπεριέλαβαν τα μοντέλα των Vasicek (1977), των Cox, Ingersoll και Ross (1985) και των Brennan και Schwartz (1982). Τα παραπάνω μοντέλα χρησιμοποιούν μια mean-reverting δομή σε κάποια σταθερά και κάποια από αυτά μελετούν και την επιρροή του level της μεταβλητής στην διασπορά. Ο Bali (1999) είχε προτείνει ένα γενικότερο μοντέλο από αυτό των Chan, Karoly, Longstaff και Sanders στο οποίο είχε προσθέσει μία GARCH συμπεριφορά στην διακύμανση επιτρέποντας ταυτόχρονα στην διακύμανση να εξαρτάται και από το level των επιτοκίων. Από αυτό το τελευταίο γενικευμένο μοντέλο, μπορούν να δημιουργηθούν όλα τα προηγούμενα κάτω από συγκεκριμένους περιορισμούς.

Οι συγγραφείς ήλεγξαν και συνέκριναν την απόδοση όλων των παραπάνω μοντέλων, όταν εφαρμόζονταν στον σταθμισμένο δείκτη της θερμοκρασίας, καθώς

και των τροποποιημένων μορφών αυτών, δηλαδή μετά την πρόσθεση του εποχικού παράγοντα.

Ο εν λόγω εποχικός παράγοντας, εισάγεται στο μοντέλο, ακολουθώντας την εργασία του Pilironic για την μοντελοποίηση των τιμών ενέργειας (1998), καθώς και ακολουθώντας την εργασία των Pirrong και Jermakyan (1999) για την κοστολόγηση της ζήτησης ενέργειας και των παραγώγων ενέργειας.

Οι Torró, Meneu και Valor κατέληξαν στα παρακάτω συμπεράσματα:

α) Για να είναι αξιόπιστο, ένα μοντέλο, πρέπει να περιέχει μία mean-reverting προς την εποχιακή τάση παράμετρο

β) Υπάρχει αυτοπαλλίνδρομη συμπεριφορά στην δεσμευμένη διακύμανση της σειράς, η οποία πρέπει να μοντελοποιηθεί

γ) Η διακύμανση της θερμοκρασίας έχει χαμηλή ευαισθησία στο level της θερμοκρασίας, με το οποίο είναι αντίστροφα συνδεδεμένη. Δηλαδή σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών (καλοκαίρι) η διακύμανση είναι χαμηλότερη από ότι σε περιόδους χαμηλών θερμοκρασιών (χειμώνας).

Dynamical Pricing of Weather Derivatives

Dorje C Brody , Joanna Syroka and Mihail Zervos

Στο άρθρο αυτό, οι συγγραφείς, παρήγαγαν αναλυτικές εκφράσεις για το αναμενόμενο προεξοφλητικό payoff Παραγώγων επί Μετεωρολογικών δεικτών βασισμένων α) σε CDDs ή HDDs και β) σε αθροιστική θερμοκρασία.. Για να μοντελοποιήσουν τα dynamics της θερμοκρασίας χρησιμοποιούν μία στοχαστική διαδικασία που ονομάζεται κλασματική κίνηση Brown (Fractional Brownian Motion ή FBM). Προτείνουν ένα νέο, δυναμικό μοντέλο για την εξέλιξη της θερμοκρασίας,

το οποίο δίνεται από μία διαδικασία Ornstein-Uhlenbeck που σαν βάση έχει μία FBM. Κίνητρο για την πρόταση του νέου αυτού μοντέλου υπήρξε η εμπειρική παρατήρηση πως τα dynamics της θερμοκρασίας παρουσιάζουν μακροχρόνιες χρονικές εξαρτήσεις, καθώς και το γεγονός ότι οι μεταβολές της θερμοκρασίας κατανέμονται κανονικά. Οι παραπάνω ιδιότητες σύμφωνα με τους Syroka και Toumi (2001) μπορούν να μοντελοποιηθούν επαρκώς από μία FBM.

Η ύπαρξη μακροχρόνιων εξαρτήσεων στο σέτ δεδομένων που χρησιμοποιήσαν οι συγγραφείς, ελέγχθηκε με την μέθοδο των Syroka και Toumi. Με τη μέθοδο αυτή αναλύονται οι μεταβολές της θερμοκρασίας που μένουν αφού αφαιρεθεί η ετήσια εποχικότητα της σειράς, και στη συνέχεια ποσοτικοποιείται ο τρόπος με τον οποίο η μεταβλητότητα εξαρτάται από τον χρόνο. Η στατιστική η οποία χρησιμοποιείται, είναι η

$$\sigma(T) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{X}_i^2}$$

η οποία λαμβάνεται ως παρακατω:

Τα ημερήσια δεδομένα χωρίζονται σε N μή επικαλυπτόμενα μέρη μήκους T ημερών, για όλα τα $N \geq 10$. Για ένα δεδομένο N, παίρνεται ο μέσος όρος \bar{X}_i μέσα σε κάθε i από τα N μέρη του σετ, για $i=1 \dots N$. Απο αυτό παίρνεται το στατιστικό $\sigma(T)$. Είναι γνωστό πως για τελείως τυχαίες και ασυσχέτιστες μεταβολές είναι $\sigma(T) \sim T^{-1/2}$. Από την άλλη, για μία απαλή μεταβλητικότητα, με λίγο θόρυβο και λίγη τυχαιότητα, το $\sigma(T)$ είναι περίπου σταθερό. Επομένως ένας εκθέτης γ μεταξύ 0 και $-1/2$ υποδηλώνει την ύπαρξη χρονικής συσχέτισης μεταξύ των ημερησίων τιμών. Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί έναντι των άλλων κλασσικών μεθόδων (π.χ. spectral analysis) στην ανακάλυψη μακροχρόνιων χρονικών εξαρτήσεων σε μία σειρά.

Η FBM εισήχθη για πρώτη φορά το 1940 από τον Kolomogorov σαν ένα θεωρητικό εργαλείο για την μελέτη των δινών, στη συνέχεια μελετήθηκε από τους Mandelbrot και Van Ness (1968) σαν μια γενίκευση της standard Brownian Motion, και το 1969 παρουσιάστηκε από τους Mandelbrot και Wallis σαν μία από τις πιο απλές στοχαστικές διαδικασίες που επιδεικνύουν μακροχρόνιες εξαρτήσεις. Κάθε FBM χαρακτηρίζεται από τον εκθέτη Hurst $H \in (0,1)$ (προς τιμήν του υδρολόγου Hurst).

Για δεδομένο $H \in (0,1)$, η σχετική FBM W^H είναι μία Gaussian στοχαστική διαδικασία που μπορεί να οριστεί σε έναν κατάλληλο χώρο πιθανοτήτων (Ω, F, P^H) και που ικανοποιεί τις παρακάτω ιδιότητες:

Η διαδικασία W^H είναι συνεχής με $W_0^H = 0$, W_t^H είναι μία Gaussian τυχαία μεταβλητή με μέσο 0 για κάθε $t \geq 0$, και $E[W_t^H W_s^H] = \frac{1}{2}(t^{2H} + s^{2H} - |t-s|^{2H})$, για κάθε $t, s \geq 0$.

Οι Brody, Syroka και Zervos, στο άρθρο αυτό πήραν την παρακάτω fractional Ornstein-Uhlenbeck διαδικασία σαν βασικό μοντέλο για την εξέλιξη της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας,

$$dX_t = \kappa_t(\theta_t - X_t)dt + \sigma_t dW_t^H,$$

όπου

X_t είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία της ημέρας t ,

W_H είναι μία FBM,

κ_t είναι ο ρυθμός του mean reversion,

σ_t είναι η τυπική απόκλιση της X_t , και

θ_t είναι η αναμενόμενη τιμή στην οποία επιστρέφει η θερμοκρασία με ρυθμό κ_t , την ημέρα t .

Ξεκινώντας από αυτήν την διαδικασία και με την χρήση της κλασματικής στοχαστικής ανάλυσης που αναπτύχθηκε πρόσφατα από τους Duncan (2000) και Hu και Oksendal (1999), βρήκαν αναλυτικές λύσεις για την τιμολόγηση options βασισμένων σε Degree Days (HDDs και CDDs) και στην αθροιστική θερμοκρασία.

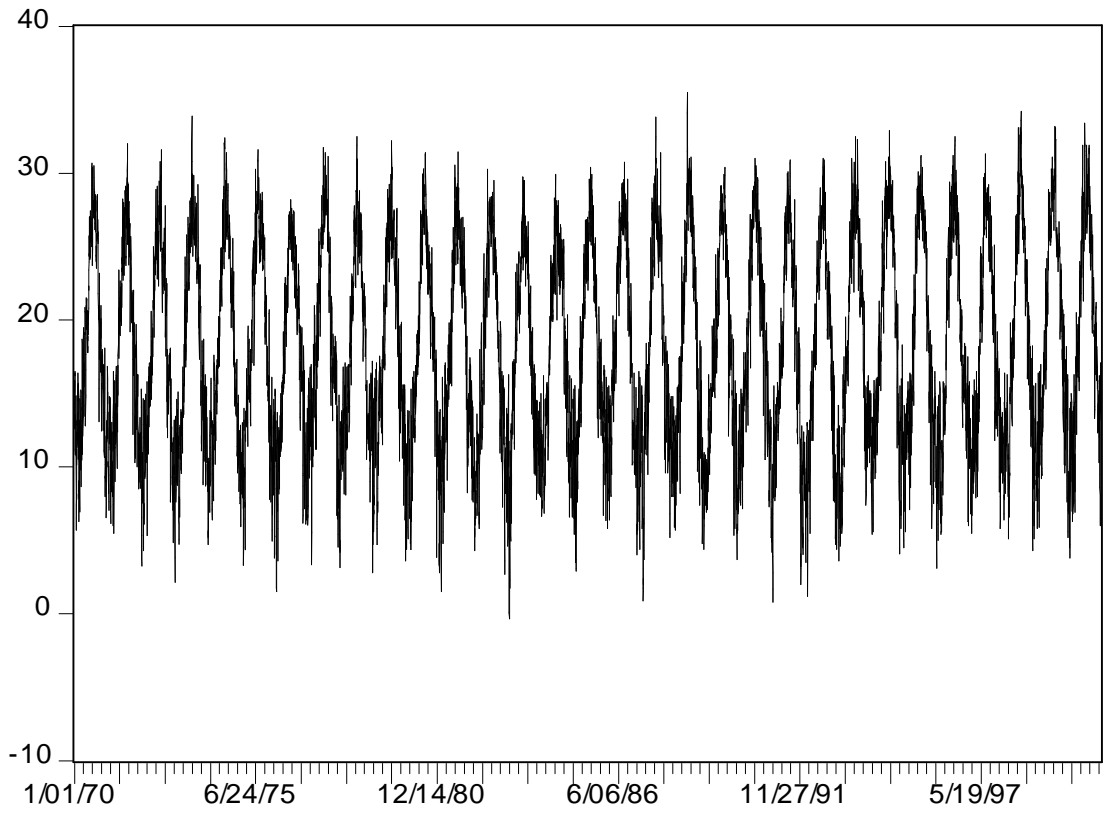
Απευθείας χρήση της σειράς των CDDs για την τιμολόγηση του Π.Μ.Δ.

Απότερος στόχος μας είναι ουσιαστικά η πρόβλεψη του συγκεκριμένου υποκείμενου του Π.Μ.Δ. δείκτη για το χρονικό διάστημα που ενδιαφερόμαστε, δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση στόχος μας είναι η πρόβλεψη του δείκτη των CDDs για το διάστημα Ιουλίου-Αυγούστου του έτους 2000. Έχοντας σαν δεδομένα τις σειρές των μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών κάθε ημέρας, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε για τον αριθμό των CDDs κάθε ημέρας. Πρώτα δημιουργούμε την σειρά T η οποία αντικατοπτρίζει κατα μία έννοια την μέση θερμοκρασία κάθε ημέρας.

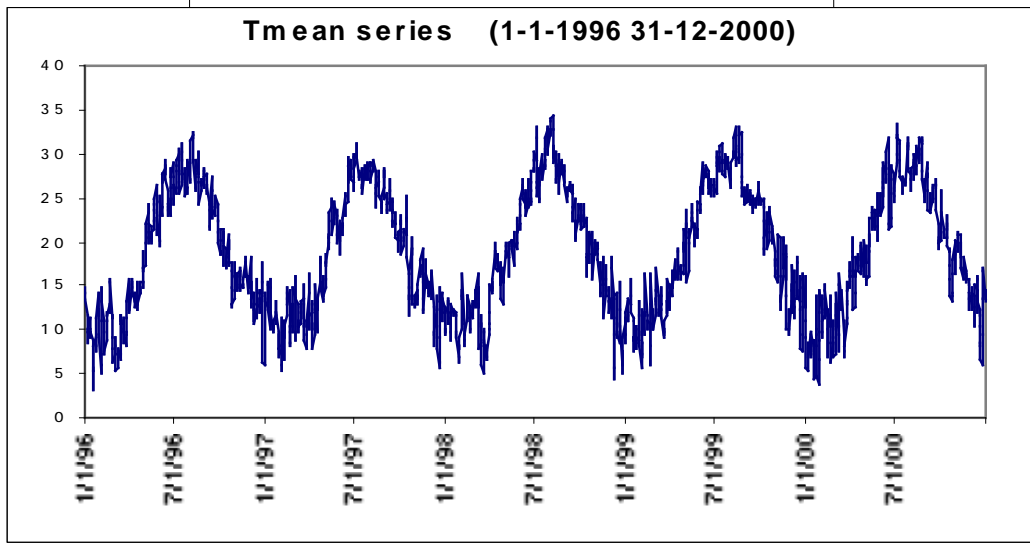
Ορίζουμε ως μέση θερμοκρασία T_i της ημέρας i ως

$$T_i = \frac{T_i^{\max} + T_i^{\min}}{2}$$

με το i να κινείται στο διάστημα $\{1/1/1970 \text{ έως } 31/12/2000\}$



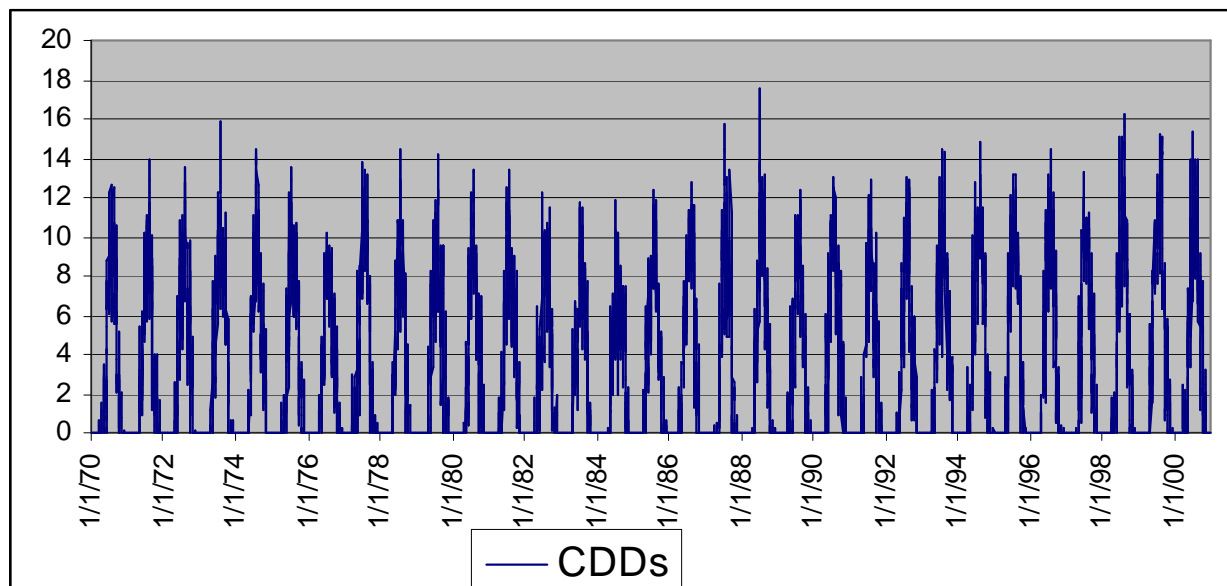
— AVERAGE TEMPERATURE



Στη συνέχεια δημιουργούμε την σειρά ενδιαφέροντος μας, την σειρά δηλαδή των CDDs .

Έστω T_i η μέση θερμοκρασία της ημέρας i . Ορίζουμε ως Cooling Degree Days CDD_i της ημέρας i ως

$$CDD_i = \max\{T_i - 18, 0\}$$



περιγράφει καλύτερα και να κάνουμε πρόβλεψη για το χρονικό διάστημα που χρειαζόμαστε.

Όπως όμως θα δείξουμε, η απευθείας μοντελοποίηση της χρονοσειράς των CDDs οδηγεί σε λανθασμένα αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι η φύση της σειράς τέτοια, δηλαδή ο τρόπος που την ορίσαμε που δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για την μοντελοποίησή της και την χρήση του μοντέλου αυτού περαιτέρω. Το παρακάτω παράδειγμα αποδεικνύει του λόγου το αληθές.

Έστω δύο πόλεις η A και η B και έστω ότι για 5 μέρες παρακολουθούμε τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες τους που είναι οι παρακάτω:

Ημέρα	Θερμοκρασία Πόλης A	Θερμοκρασία Πόλης B
1	17 °C	3 °C
2	17.5 °C	10 °C
3	18 °C	7 °C
4	17 °C	3 °C
5	16.5 °C	16 °C

Έτσι, ο αντίστοιχος αριθμός των CDDs που δημιουργούνται από αυτές είναι:

Ημέρα	CDDs Πόλης A	CDDs Πόλης B
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0

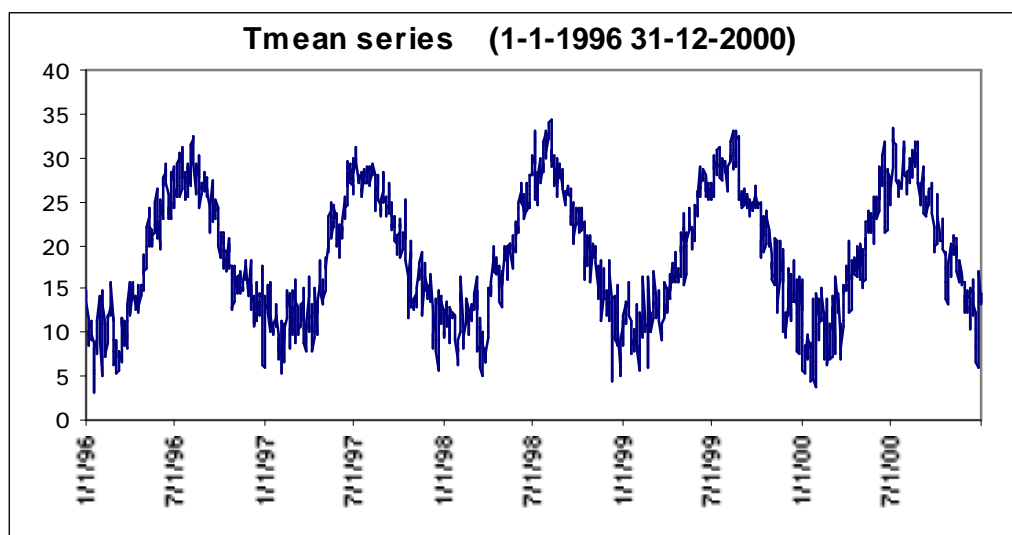
Όπως εύκολα μπορεί κανείς να δει, και οι δύο πόλεις στο διάστημα αυτών των 5 ημερών είχαν μηδενικό αριθμό CDDs, αν και η πόλη A έχει σαφώς διαφορετικές θερμοκρασίες από την πόλη B στο διάστημα αυτό. Το γεγονός αυτό δεν αποτυπώνεται καθόλου στην σειρά των CDDs, με αποτέλεσμα δύο ολότελα διαφορετικά patterns θερμοκρασιών να αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο. Μελετώντας λοιπόν μόνο την σειρά των CDDs χάνουμε πολύτιμες πληροφορίες για την συμπεριφορά της χρονοσειράς της θερμοκρασίας.

Από το παραπάνω παράδειγμα γίνεται σαφές πως η απ' ευθείας μοντελοποίηση της σειράς των CDDs μπορεί εύκολα να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα.

Μια πιθανή λύση όπως θα δούμε παρακάτω είναι η μελέτη και εύρεση του κατάλληλου μοντέλου για την σειρά της μέσης θερμοκρασίας όπως αυτή έχει οριστεί προηγούμενα.

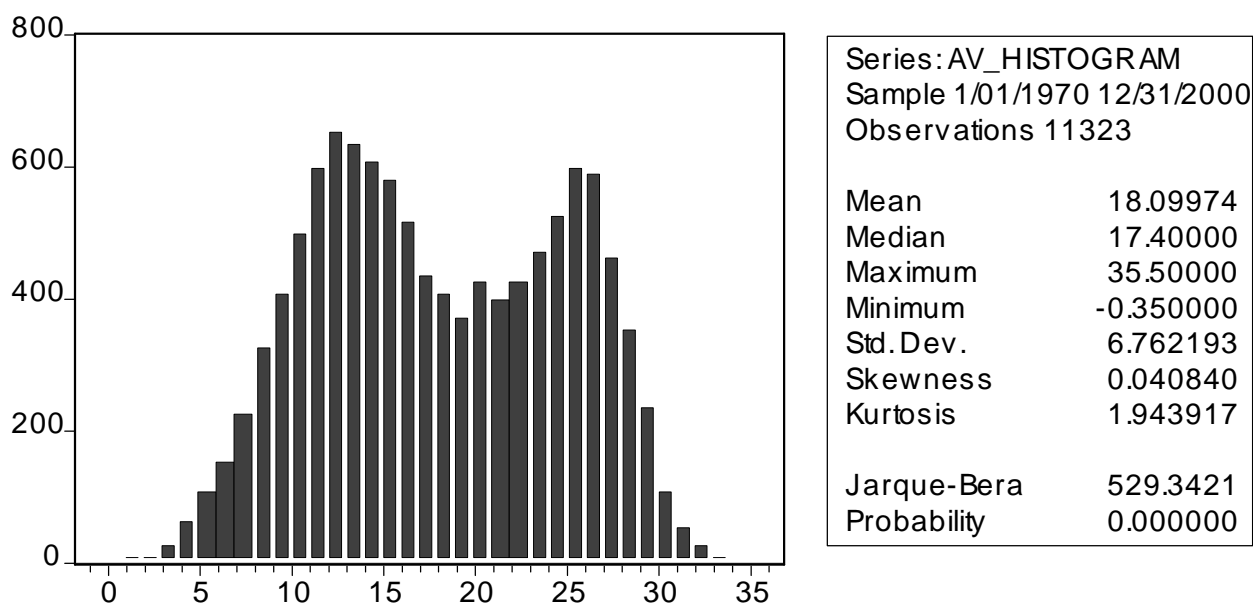
Μοντελοποιώντας την μέση ημερήσια θερμοκρασία

Ακολουθώντας την προσέγγιση των Sean Campbell και Francis X. Diebold στο άρθρο “Weather Forecasting for Weather Derivatives” παρακάμπτουμε την αντίοικονομική ιδέα της ξεχωριστής μοντελοποίησης των χρονοσειρών και της μέγιστης ημερήσιας και της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, και επικεντρώνουμε την προσπάθεια μας στην απευθείας μοντελοποίηση της σειράς της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, όπως αυτή προκύπτει από τις δύο προαναφερθείσες σειρές.



Βλέποντας την σειρά της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας των πέντε τελευταίων ετών (για να διακρίνουμε καλύτερα τα χαρακτηριστικά της), παρατηρούμε ότι παρουσιάζει έντονο εποχικό χαρακτήρα κινούμενη συνεχώς και συνεπώς μεταξύ περιόδων υψηλών μέσων θερμοκρασιών (καλοκαίρι) και χαμηλών μέσων θερμοκρασιών (χειμώνας).

Στη συνέχεια παραθέτουμε το ιστόγραμμα της κατανομής της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για όλα τα έτη (1970-2000).



Παρατηρούμε πως πρόκειται για μία δικόρυφη κατανομή με τις δύο κορυφές να βρίσκονται στους 11°C και στους 27°C. Η παρατήρηση αυτή σε συνδυασμό με την αμέσως προηγούμενη καθιστά επιτακτική την ανάγκη για εισαγωγή στο μοντέλο μας ενός εποχικού παράγοντα.

Την μοντελοποίηση της εποχικότητας του δεσμευμένου μέσου μπορούμε να την επιτύχουμε με δύο διαφορετικούς τρόπους, όπως συναντώνται στην βιβλιογραφία:

α) Με την χρήση μίας ημιτονοειδούς συναρτήσεως της μορφής $\sin(\omega t + \varphi)$, όπου το t δηλώνει τον χρόνο. Το t μπορεί να πάρει τις τιμές $1, 2, \dots, 365$ όπου αυτές δηλώνουν την 1η Ιανουαρίου, 2η Ιανουαρίου, ..., 31η Δεκεμβρίου αντίστοιχα. Εφόσον γνωρίζουμε πως η περίοδος της «ταλάντωσης» ισούται με ένα έτος (παραλείποντας τα δίσεκτα έτη), έχουμε $\omega = 2\pi/365$. Επειδή όμως τα ετήσια ελάχιστα και μέγιστα της σειράς δεν συμβαίνουν την 1η Ιανουαρίου και την 1η Ιουλίου αντίστοιχα, πρέπει να εισάγουμε μία διαφορά φάσης φ .

β) Με την χρήση μιας σειράς Fourier χαμηλού βαθμού, δηλαδή χρήση του
$$\sum_{p=1}^P \left(\delta_{c,p} \cos\left(2\pi p \frac{d(t)}{365}\right) + \delta_{s,p} \sin\left(2\pi p \frac{d(t)}{365}\right) \right)$$
 όπου το $d(t)$ μπορεί να πάρει τις τιμές $1, 2, \dots, 365$ όπου αυτές δηλώνουν την 1η Ιανουαρίου, 2η Ιανουαρίου, ..., 31η Δεκεμβρίου αντίστοιχα, και ο βαθμός της σειράς Fourier ορίζεται από το P . Η χρήση της σειράς Fourier έχει το πλεονέκτημα ότι προσδίδει ένα απαλό εποχικό pattern το οποίο είναι συμβατό με την αρχική διαίσθηση ότι οι εποχιακές μεταβολές είναι συνεχείς και όχι διακριτές.

Στο μοντέλο μας, εκτός από τον εποχικό παράγοντα που εισάγαμε, πιθανόν, για την καλύτερη μοντελοποίηση της σειράς της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, να είναι λειτουργική η εισαγωγή και άλλων, μη εποχικών παραγόντων. Συγκεκριμένα, για να συλλάβουμε μία πιθανή μεταβολή της μέσης τιμής της σειράς μας στη διάρκεια του χρόνου, εισάγουμε μία απλή γραμμική τάση. Τέλος για να συλλάβουμε τις κυκλικές δυναμικές της σειράς μας, με το οποίο εννοούμε οποιονδήποτε άλλο τύπο συνεχών

(αλλά covariance stationary) δυναμικών, εκτός από την τάση και την εποχικότητα, χρησιμοποιούμε autoregressive lags.

Για τους παραπάνω λόγους, επιλέγουμε να μοντελοποιήσουμε την εποχικότητα της σειράς μας με μία σειρά Fourier. Συνοψίζοντας τα παραπάνω, οδηγούμαστε στο μοντέλο:

$$T_t = Trend_t + Seasonal_t + \sum_{l=1}^L \rho_{t-l} T_{t-l} + \sigma \varepsilon_t$$

$$Trend_t = \beta_0 + \beta_1 t \quad (1)$$

$$Seasonal_t = \sum_{p=1}^P \left(\delta_{c,p} \cos\left(2\pi p \frac{d(t)}{365}\right) + \delta_{s,p} \sin\left(2\pi p \frac{d(t)}{365}\right) \right)$$

$$\varepsilon_t \stackrel{iid}{\sim} (0,1)$$

όπου το $d(t)$ μπορεί να πάρει τις τιμές $1,2,\dots,365$ όπου αυτές δηλώνουν την 1η Ιανουαρίου, 2η Ιανουαρίου, ..., 31η Δεκεμβρίου αντίστοιχα.

Εκτιμώ και το μοντέλο μου με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, παλινδρομώντας την μέση ημερήσια θερμοκρασία σε σταθερά, τάση, fourier και lagged παραμέτρους της μέσης θερμοκρασίας.

Επιλέγω το βέλτιστο μοντέλο, σύμφωνα με τα Akaike Information criterion (A.I.C) και το Schwartz Information Criterion (S.I.C), επιτρέποντας στο L να πάρει τιμές από 1 έως 10 και στο P να παίρνει τιμές από 1 έως 5.

Καταλήγω έτσι στο παρακάτω μοντέλο:

$$AV = 4.7837 + 1.8125e-05*T + 0.8559*AV(-1) - 0.12578*AV(-2) - 1.0366*SIN(X) - 2.1579*COS(X) + 0.1742*SIN(2*X) + 0.136*COS(2*X)$$

στο οποίο το AV είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία, το T παίρνει τιμές από 1 έως 11323 και το X ισούται με $2*\pi*d(t)/365$, όπου το d(t) ορίζεται όπως παραπάνω.

Άρα από την οικογένεια των μοντέλων (1), βέλτιστο είναι αυτό το οποίο έχει:

$$L=2$$

$$P=2$$

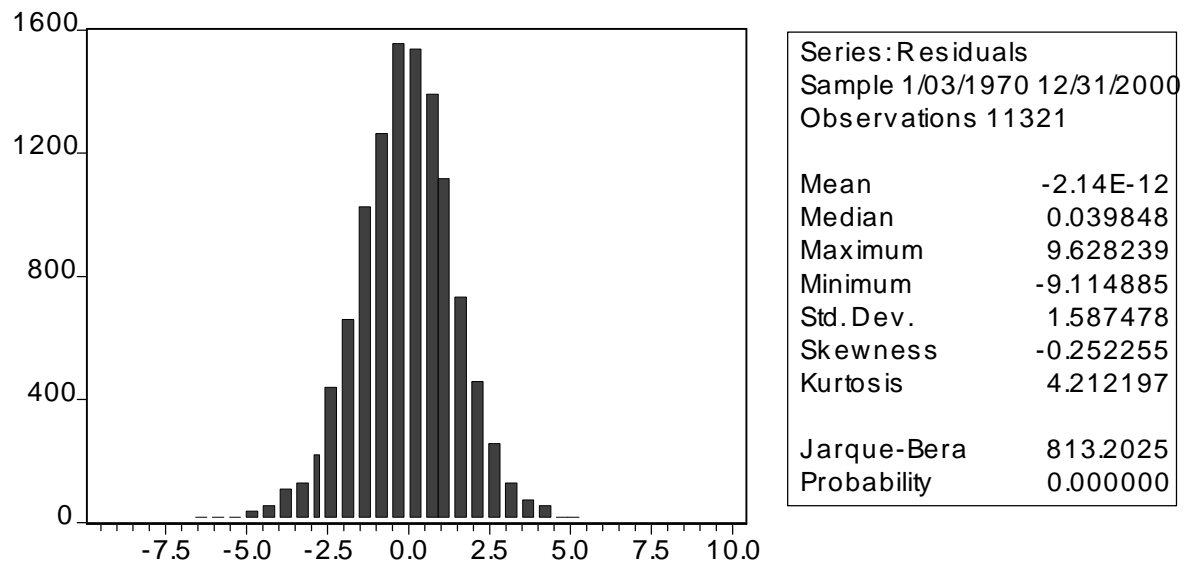
Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας της παλινδρομήσεως, όπως τον παρουσιάζει το EVIEWS. Παρατηρούμε ένα αρκετά υψηλό R^2 , ίσο με 0.944897, γεγονός που σημαίνει πως το 94,4% της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής εξηγείται από τις ανεξάρτητες μεταβλητές.

Ακόμη παρατηρούμε πως ο συντελεστής της τάσης t είναι στατιστικά σημαντικός, αν και έχει πολύ μικρή τιμή. Αυτό σημαίνει πως υπάρχει μία ανοδική τάση της θερμοκρασίας τα τελευταία έτη, αν και πολύ μικρή. (βλ. Heat Island Effect)

Dependent Variable: AV
 Method: Least Squares
 Date: 07/02/02 Time: 20:56
 Sample(adjusted): 1/03/1970 12/31/2000
 Included observations: 11321 after adjusting endpoints

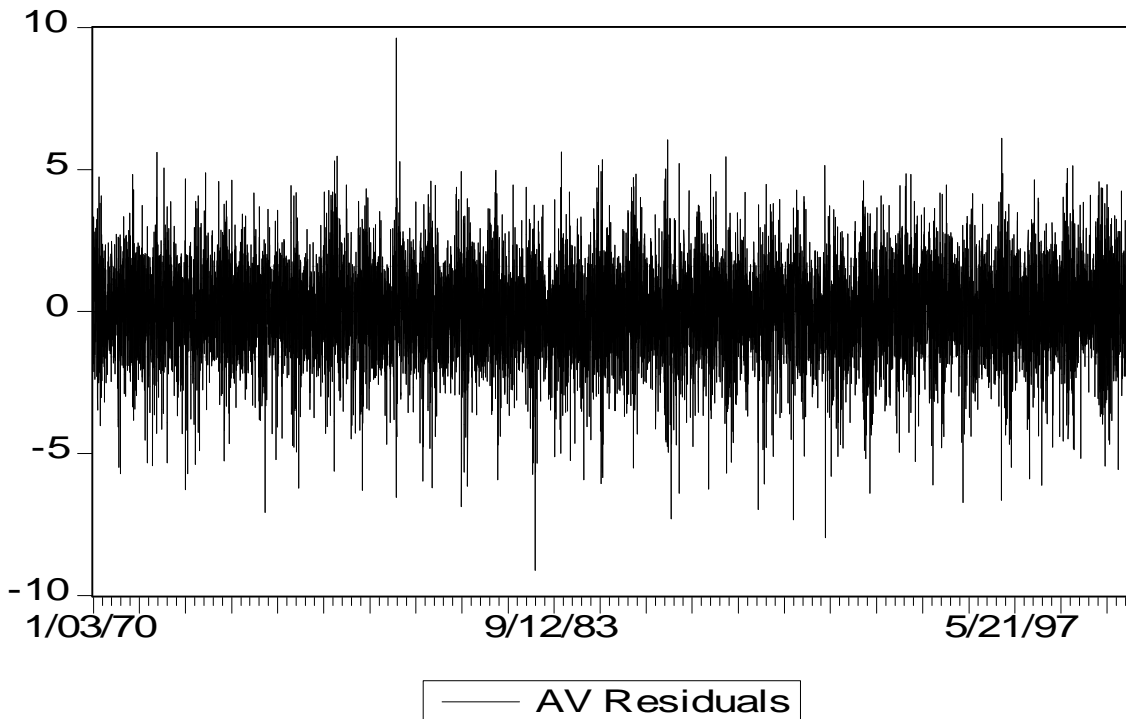
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.783700	0.118300	40.43690	0.0000
T	1.81E-05	4.59E-06	3.950396	0.0001
AV(-1)	0.855876	0.009326	91.76820	0.0000
AV(-2)	-0.125791	0.009326	-13.48845	0.0000
SIN(X)	-1.036579	0.035107	-29.52635	0.0000
COS(X)	-2.157950	0.054138	-39.86043	0.0000
SIN(2*X)	0.174185	0.021584	8.070085	0.0000
COS(2*X)	0.135983	0.021285	6.388736	0.0000
R-squared	0.944897	Mean dependent var	18.10021	
Adjusted R-squared	0.944863	S.D. dependent var	6.762698	
S.E. of regression	1.587969	Akaike info criterion	3.763495	
Sum squared resid	28527.38	Schwarz criterion	3.768678	
Log likelihood	-21295.26	F-statistic	27713.33	
Durbin-Watson stat	1.995217	Prob(F-statistic)	0.000000	

Στη συνέχεια ελέγχουμε τα κατάλοιπα της παλινδρόμησης.

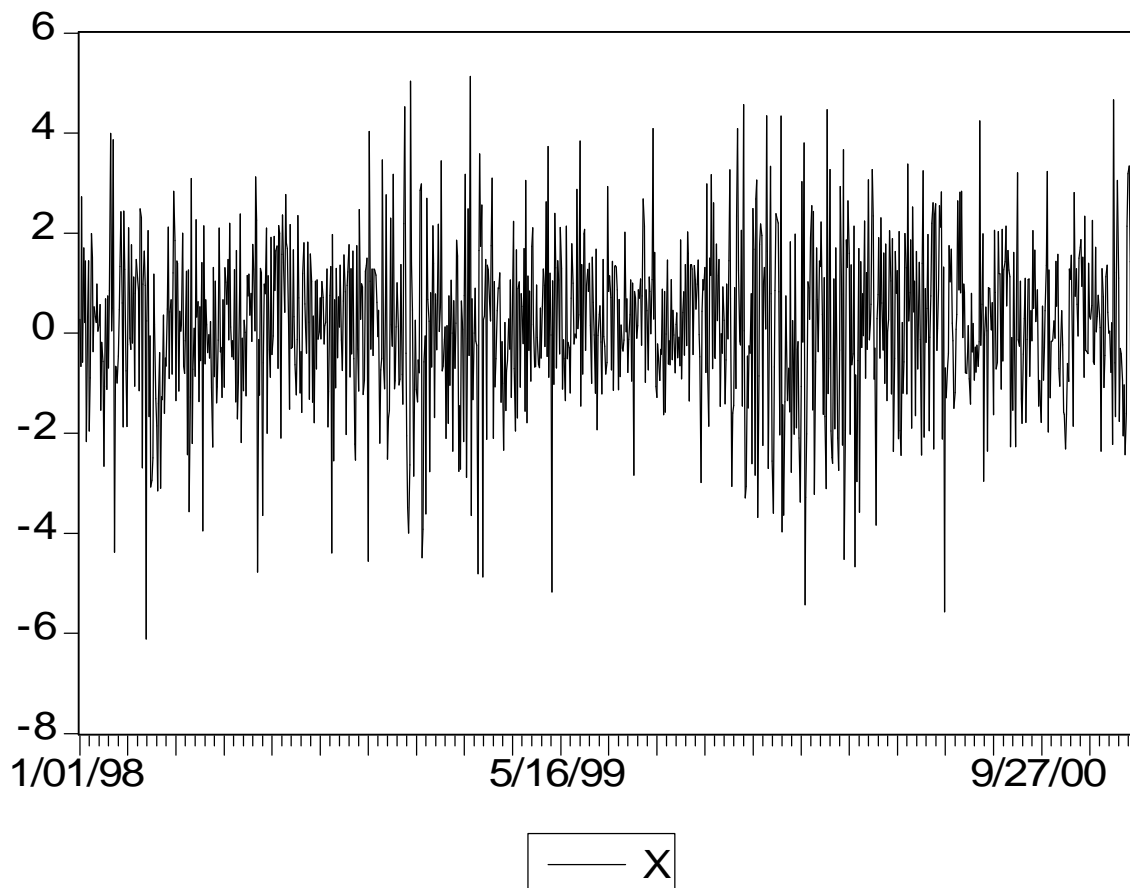


Παρατηρούμε το ιστόγραμμα των καταλοίπων, από το οποίο φαίνεται πως η κατανομή των καταλοίπων είναι μονοκόρυφη, σε αντίθεση με την κατανομή της μέσης θερμοκρασίας που είναι δικόρυφη. Αυτό οφείλεται στην ικανότητα του μοντέλου μας να συλλάβει τα εποχικά ελάχιστα και μέγιστα.

Στην συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας της σειράς των καταλοίπων του μοντέλου



Από το γράφημα αυτό δεν γίνεται άμεσα φανερή η συμπεριφορά των καταλοίπων. Για να διακρίνουμε καλύτερα τυχόν patterns στα κατάλοιπα παραθέτουμε τα κατάλοιπα του διαστήματος 1-1-1998 έως 31-12-2000, στον παρακάτω πίνακα:



Από το γράφημα αυτό γίνεται φανερό, πως η μεταβλητότητα των καταλοίπων στη διάρκεια του χρόνου, δεν είναι σταθερή. Με άλλα λόγια, παρατηρούμε πως ο καιρικός κίνδυνος είναι χρονικά μεταβαλλόμενος, δηλαδή υπάρχει εποχική ετεροσκεδαστικότητα, καθόσον το εύρος των καταλοίπων πλαταίνει και στενεύει στην διάρκεια κάθε έτους .

Correlogram of Residuals



Date: 06/30/02 Time: 21:20
Sample: 1/03/1970 12/31/2000
Included observations: 11321

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.002	0.002	0.0613	0.804
		2 -0.010	-0.010	1.2138	0.545
		3 -0.011	-0.011	2.4998	0.475
		4 0.007	0.007	3.0900	0.543
		5 0.012	0.011	4.6470	0.460
		6 0.010	0.010	5.7670	0.450
		7 0.007	0.008	6.3843	0.496
		8 0.015	0.015	8.9250	0.349
		9 0.014	0.014	11.076	0.271
		10 0.012	0.012	12.612	0.246
		11 0.023	0.023	18.547	0.070
		12 -0.002	-0.002	18.579	0.099
		13 0.011	0.011	19.943	0.097
		14 0.020	0.020	24.648	0.038
		15 0.013	0.012	26.618	0.032
		16 -0.005	-0.005	26.867	0.043
		17 0.027	0.027	35.153	0.006
		18 0.019	0.018	39.120	0.003
		19 0.005	0.004	39.388	0.004
		20 -0.009	-0.009	40.267	0.005

Οι αυτοσυσχετίσεις στα κατάλοιπα είναι αμελητέες και φαίνονται σύμφωνες με white noise, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μοντελοποιήσαμε τα γραμμικά dynamics του δεσμευμένου μέσου επαρκώς.

Correlogram of Residuals Squared

Date: 06/30/02 Time: 21:26
Sample: 1/03/1970 12/31/2000
Included observations: 11321

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.090	0.090	92.017	0.000
		2 0.077	0.069	158.33	0.000
		3 0.058	0.046	196.41	0.000
		4 0.046	0.032	220.07	0.000
		5 0.036	0.023	235.01	0.000
		6 0.044	0.032	256.69	0.000
		7 0.017	0.003	259.95	0.000
		8 0.026	0.016	267.89	0.000
		9 0.015	0.005	270.55	0.000
		10 0.032	0.024	282.50	0.000
		11 0.024	0.014	288.82	0.000
		12 0.029	0.018	298.09	0.000
		13 0.022	0.012	303.77	0.000
		14 0.040	0.029	321.51	0.000
		15 0.019	0.007	325.78	0.000
		16 0.027	0.015	334.12	0.000
		17 0.032	0.021	345.89	0.000
		18 0.027	0.014	354.28	0.000
		19 0.038	0.026	370.59	0.000
		20 0.044	0.029	392.15	0.000

Το γράφημα των αυτοσυσχετίσεων στα τετράγωνα των κατάλοιπων όμως, μας δείχνει ότι υπάρχει drastic misspecification του μοντέλου (1) σχετικό με μη γραμμικές εξαρτήσεις. Υπάρχουν ARCH effects στα κατάλοιπα, οπότε θα πρέπει να συμπεριλάβουμε στο μοντέλο μας δεσμευμένη ετεροσκεδαστικότητα.

Εισάγοντας ένα GARCH(R,D) στην εξίσωση της δεσμευμένης διακύμανσης έχουμε το αποτέλεσμα που επιθυμούμε.

Το νέο μοντέλο λοιπόν είναι:

$$T_t = Trend_t + Seasonal_t + \sum_{l=1}^L \rho_{t-l} T_{t-l} + \sigma \varepsilon_t$$

$$Trend_t = \beta_0 + \beta_1 t \quad (2)$$

$$Seasonal_t = \sum_{p=1}^P \left(\delta_{c,p} \cos\left(2\pi p \frac{d(t)}{365}\right) + \delta_{s,p} \sin\left(2\pi p \frac{d(t)}{365}\right) \right)$$

$$\sigma_t^2 = \sigma_0 + \sum_{r=1}^R a_r \varepsilon_{t-r}^2 + \sum_{d=1}^D b_d \sigma_{t-d}^2$$

$$\varepsilon_t \stackrel{iid}{\sim} (0,1)$$

Επιλέγουμε από την οικογένεια μοντέλων (2) το βέλτιστο μοντέλο, σύμφωνα με τα κριτήρια AIC και SIC και έχουμε:

Dependent Variable: AV
 Method: ML - ARCH
 Date: 07/02/02 Time: 02:15
 Sample(adjusted): 1/03/1970 12/31/2000
 Included observations: 11321 after adjusting endpoints
 Convergence achieved after 25 iterations

	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	4.724947	0.124218	38.03761	0.0000
T	2.09E-05	4.35E-06	4.813539	0.0000
AV(-1)	0.842415	0.009712	86.74080	0.0000
AV(-2)	-0.110049	0.009474	-11.61551	0.0000
SIN(X)	-1.020322	0.035824	-28.48166	0.0000
COS(X)	-2.129171	0.055623	-38.27873	0.0000
SIN(2*X)	0.167109	0.020547	8.132867	0.0000
COS(2*X)	0.137272	0.020060	6.843246	0.0000
Variance Equation				
C	0.280493	0.032479	8.636184	0.0000
ARCH(1)	0.072514	0.005805	12.49137	0.0000
GARCH(1)	0.816461	0.015827	51.58566	0.0000
R-squared	0.944879	Mean dependent var	18.10021	
Adjusted R-squared	0.944830	S.D. dependent var	6.762698	
S.E. of regression	1.588445	Akaike info criterion	3.736985	
Sum squared resid	28536.92	Schwarz criterion	3.744111	
Log likelihood	-21142.20	F-statistic	19387.32	
Durbin-Watson stat	1.968686	Prob(F-statistic)	0.000000	

Το παραπάνω, είναι το output της παλινδρόμησης, αφού έχει εισαχθεί και μία GARCH(1,1) παράμετρος στο μοντέλο. Οπότε το νέο μοντέλο που περιγράφει όσο δυνατόν καλύτερα την χρονοσειρά των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών είναι ένα μέλος της οικογένειας μοντέλων (2) και συγκεκριμένα έχει $L=2$, $P=2$, $R=1$ και $D=1$

Correlogram of Standardized Residuals

Date: 07/01/02 Time: 17:01
 Sample: 1/03/1970 12/31/2000
 Included observations: 11321

	Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.007	0.007	0.4855	0.486		
2	-0.007	-0.007	1.0430	0.594		
3	-0.009	-0.008	1.8625	0.601		
4	0.006	0.006	2.2423	0.691		
5	0.004	0.004	2.4110	0.790		
6	0.004	0.004	2.5770	0.860		
7	0.009	0.009	3.4660	0.839		
8	0.015	0.015	6.1788	0.627		
9	0.013	0.013	8.2409	0.510		
10	0.008	0.008	8.9886	0.533		
11	0.019	0.019	13.072	0.289		
12	0.002	0.002	13.140	0.359		
13	0.009	0.009	13.964	0.376		
14	0.020	0.020	18.712	0.176		
15	0.013	0.012	20.541	0.152		
16	-0.003	-0.004	20.675	0.191		
17	0.026	0.026	28.287	0.042		
18	0.015	0.014	30.790	0.030		
19	0.005	0.004	31.040	0.040		
20	-0.005	-0.005	31.308	0.051		

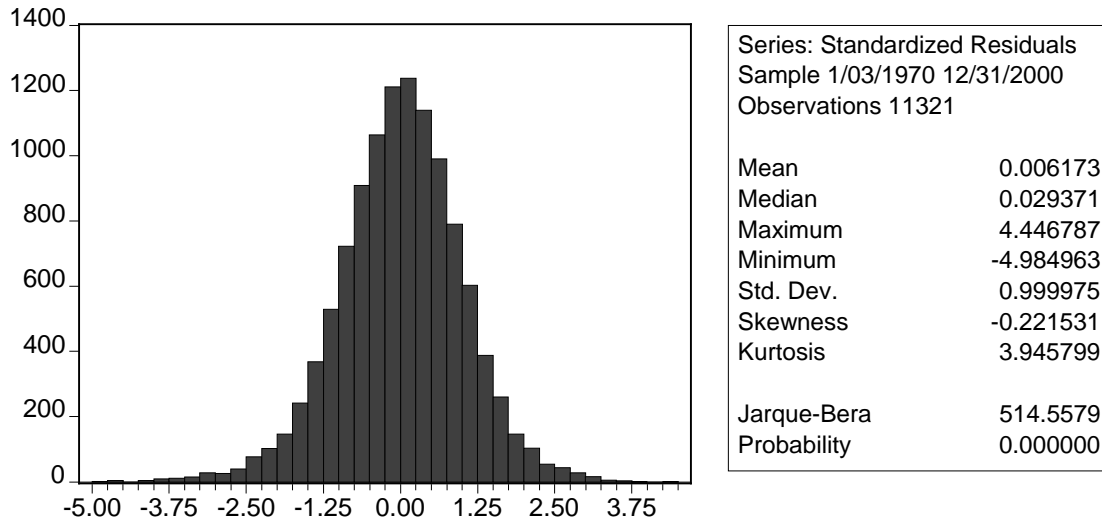
Ελέγχοντας στο νέο μοντέλο το correlogram των τυποποιημένων καταλοίπων, παρατηρούμε πως οι αυτοσυσχετίσεις στα κατάλοιπα είναι και πάλι αμελητέες, άρα μοντελοποιήσαμε τα γραμμικά dynamics του δεσμευμένου μέσω της σειράς επαρκώς.

Correlogram of Standardized Residuals Squared

Date: 07/01/02 Time: 16:58
 Sample: 1/03/1970 12/31/2000
 Included observations: 11321

	Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.010	0.010	1.1708	0.279		
2	-0.003	-0.003	1.2565	0.534		
3	0.000	0.000	1.2585	0.739		
4	-0.007	-0.007	1.8175	0.769		
5	-0.012	-0.012	3.5121	0.622		
6	-0.002	-0.002	3.5598	0.736		
7	-0.016	-0.016	6.3565	0.499		
8	-0.008	-0.008	7.0859	0.527		
9	-0.013	-0.013	9.0332	0.434		
10	0.005	0.005	9.3396	0.500		
11	-0.001	-0.001	9.3483	0.590		
12	0.003	0.002	9.4419	0.665		
13	0.000	0.000	9.4443	0.739		
14	0.014	0.014	11.797	0.623		
15	-0.009	-0.010	12.774	0.620		
16	0.008	0.008	13.479	0.637		
17	0.013	0.013	15.535	0.557		
18	0.007	0.007	16.064	0.588		
19	0.025	0.025	22.983	0.238		
20	0.024	0.024	29.565	0.077		

Και παρατηρώντας το correlogram των τετραγωνισμένων καταλοίπων, γίνεται φανερό πως πλέον τα ARCH effects των καταλοίπων έχουν εξαφανιστεί, αφού ενσωματώθηκε η ετεροσκεδαστικότητα της δεσμευμένης διακύμανσης στο μοντέλο μας.



Παρατηρούμε πως τα κατάλοιπα του τελικού μοντέλου δεν κατανέμονται κανονικά. Αυτό φαίνεται μέσω του στατιστικού τεστ Jarque-Bera, το οποίο μετρά την διαφορά της ασυμμετρίας και της κύρτωσης μίας κατανομής από αυτές της κανονικής κατανομής.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση το μηδενικό p-value του στατιστικού, μας οδηγεί στην απόφαση να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση της κανονικότητας των καταλοίπων, κάτι που φαίνεται και από το ιστόγραμμα τους, αφού η κατανομή είναι πιο λεπτόκυρτη από της κανονικής.

Προσομοίωση

Έχοντας επιλέξει το μοντέλο εκείνο που περιγράφει καλύτερα την χρονοσειρά μας, προχωράμε στο επόμενο βήμα, το οποίο είναι η πρόβλεψη των ημερήσιων μέσων τιμών για το επόμενο έτος, που στο παράδειγμά μας είναι το 2001.

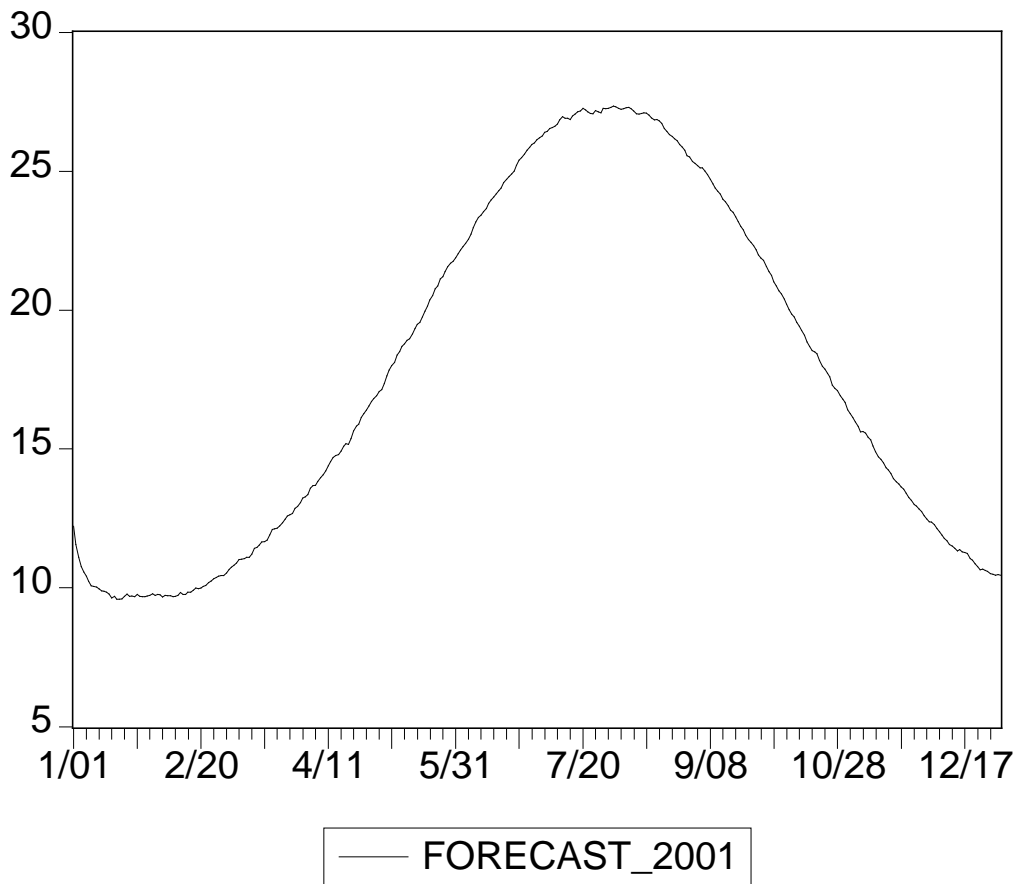
Μέσω μίας προσομοίωσης Monte-Carlo, χρησιμοποιώντας τις εκτιμημένες παραμέτρους και παίρνοντας σαν αρχικές συνθήκες τις τελευταίες παρατηρήσεις του 2000, δημιουργούμε τις 365 επόμενες παρατηρήσεις της σειράς μας, δηλαδή από 1-1-2001 έως και 31-12-2001.

Κάθε μία από τις ημέρες του διαστήματος 1-1-2001 έως και 31-12-2001 την προσομοιώνουμε 1000 φορές με το εκτιμημένο μοντέλο. Στην συνέχεια αποθηκεύουμε σε έναν πίνακα και για κάθε μία από τις παραπάνω ημέρες, τις μέσες τιμές από τις 1000 αυτές προσομοιώσεις.

Σαν στοχαστικό όρο γεννάμε τιμές από μία t-student κατανομή η οποία είναι πιο λεπτόκυρτη από την κανονική και ομοιάζει περισσότερο με τα κατάλοιπα του τελικού μας μοντέλου.

Έτσι, έχουμε τελικά έναν πίνακα στον οποίο περιέχονται οι προβλέψεις των μέσων ημερησίων θερμοκρασιών για το έτος 2001.

Παρακάτω παρατίθεται το γράφημα των προβλέψεων αυτών



Από τον παραπάνω πίνακα των προβλέψεων, δημιουργούμε και τις αντίστοιχες προβλέψεις για τα CDDs του 2001, οι οποίες θα μας χρειαστούν για την κοστολόγηση του option.

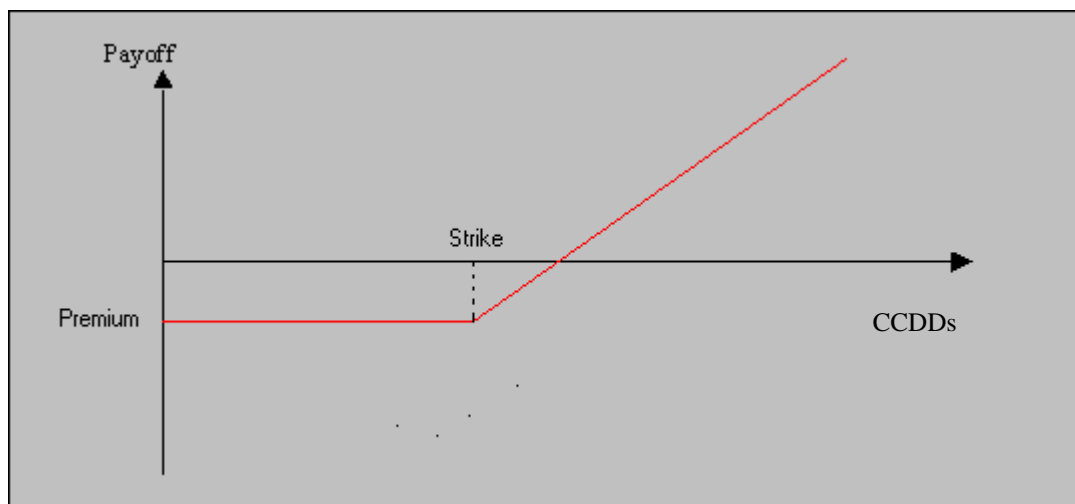
Το option και τα χαρακτηριστικά του

Τελικός σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η εύρεση των χαρακτηριστικών του option, ώστε με την χρήση του η εταιρία να καλύπτει όσο το δυνατόν πληρέστερα

τον κίνδυνο του έξτρα κόστους λόγω της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το εξωτερικό, σε περιόδους υπερβολικής ζήτησης. Προχωράμε λοιπόν στην αποσαφήνιση των χαρακτηριστικών αυτών.

- *Ο τύπος του συμβολαίου (swap, call option, put option κλπ)*

Το συμβόλαιο μας θα είναι ένα call option πάνω σε CCDDs. Συγκεκριμένα, ο υποκείμενος δείκτης του συμβολαίου θα είναι τα αθροιστικά CCDDs για το διάστημα που ενδιαφέρει. Η εταιρία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (στο συγκεκριμένο παράδειγμα η Δ.Ε.Η.), θα πάρει θέση long στο συγκεκριμένο call, έτσι ώστε όταν το καλοκαίρι είναι πολύ θερμό και το κόστος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ανά kw αυξάνει ραγδαία, θα “αποζημιώνεται” από τον αντισυμβαλλόμενο όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα των αποπληρωμών του option σε σχέση με την κίνηση του υποκείμενου δείκτη.



Long Call on CCDDs Payoff

- *Η περίοδος ισχύος του συμβολαίου*

Σαν διάστημα ισχύος του option θέσαμε το δίμηνο Ιουλίου-Αυγούστου του 2001. Θεωρούμε πως σε οποιοδήποτε άλλο διάστημα του έτους, η πιθανότητα να υπάρχει μεγάλη ζήτηση ενέργειας, τόση ώστε η Δ.Ε.Η. να καταφύγει σε αγορά ενέργειας από το εξωτερικό, είναι πολύ μικρή.

- *Ο επίσημος μετεωρολογικός σταθμός απ' όπου λαμβάνονται τα μετεωρολογικά δεδομένα*

Ο μετεωρολογικός σταθμός από όπου ελήφθησαν τα δεδομένα είναι ο σταθμός της Ε.Μ.Υ. στο Ελληνικό.

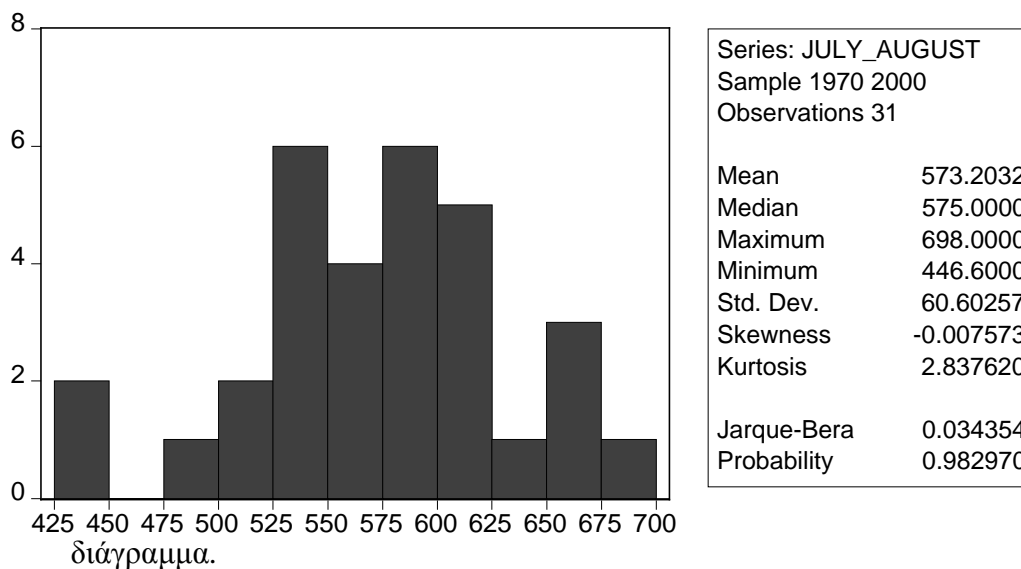
- *Ο υποκείμενος μετεωρολογικός δείκτης (W)*

Σαν υποκείμενο δείκτη για το Π.Μ.Δ. μας έχουμε λάβει τον δείκτη των CDDs. Στο συγκεκριμένο όμως παράδειγμα, τελικά αυτό που μας ενδιαφέρει είναι ο δείκτης των αθροιστικών CDDs (Cumulative Cooling Degree Days ή CCDDs) για το χρονικό διάστημα Ιουλίου-Αυγούστου.

- *To strike του Option.*

Δηλαδή, η τιμή πάνω από την οποία θα εξασκείται το call. Συνηθίζεται, στις οργανωμένες αγορές, το strike να ορίζεται ως η ιστορική μέση τιμή του δείκτη των Cumulative CDDs για το χρονικό διάστημα ενδιαφέροντος πλην μία ή δύο ιστορικές τυπικές αποκλίσεις. Εάν πρόκειται για put, τότε η τιμή του strike τίθεται στην ιστορική μέση τιμή του δείκτη των Cumulative CDDs για το χρονικό διάστημα ενδιαφέροντος συν μία ή δύο ιστορικές

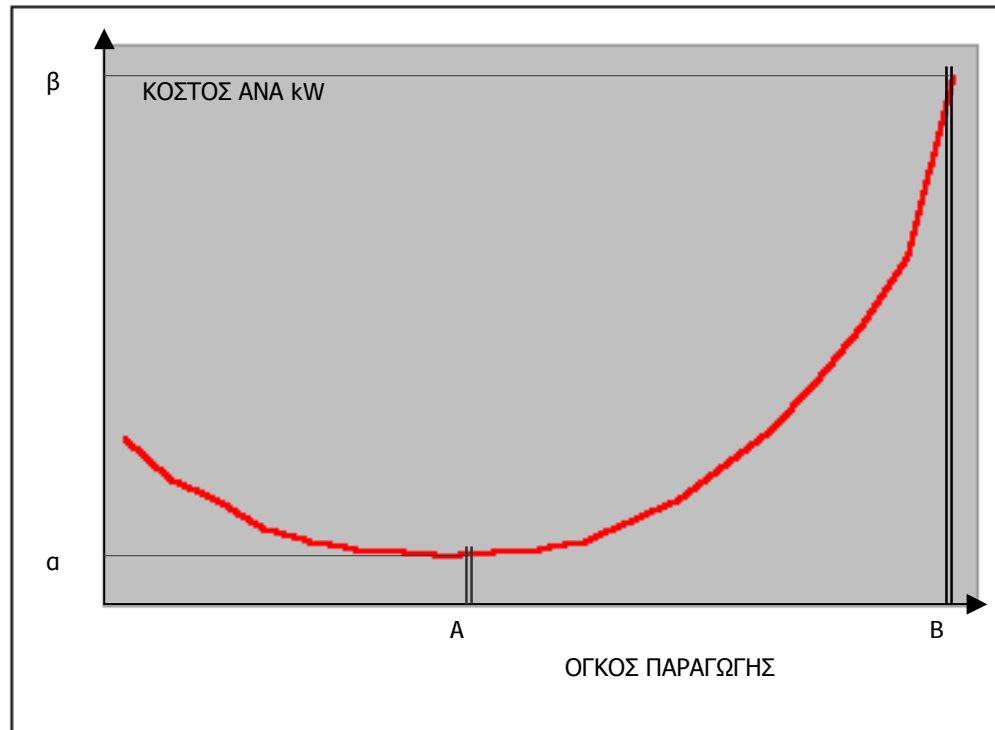
τυπικές αποκλίσεις. Στο παράδειγμά μας, η μέση ιστορική τιμή του δείκτη των CDDs για το χρονικό διάστημα Ιουλίου-Αυγούστου είναι 573,2 CDDs, ενώ η τυπική απόκλιση είναι 60.6 CDDs όπως φαίνεται και στο παρακάτω



- *To tick του Option.*

Το ποσόν που θα πληρώνεται στην ΔΕΗ από τον πωλητή του Π.Μ.Δ., ανά μονάδα διαφοράς του υποκείμενου δείκτη από την τιμή strike (k) αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μέρος στο πρόβλημα της πλήρους αντιστάθμισης του μετεωρολογικού κινδύνου από πλευράς Δ.Ε.Η.. Για να βρούμε το tick, πρέπει να κατανοήσουμε τη σχέση κόστους ανά kW και κατανάλωσης που έχει η Δ.Ε.Η.

Συγκεκριμένα το διάγραμμα Κόστους /kW-Όγκου Παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας της Δ.Ε.Η έχει την μορφή του παρακάτω σχήματος.



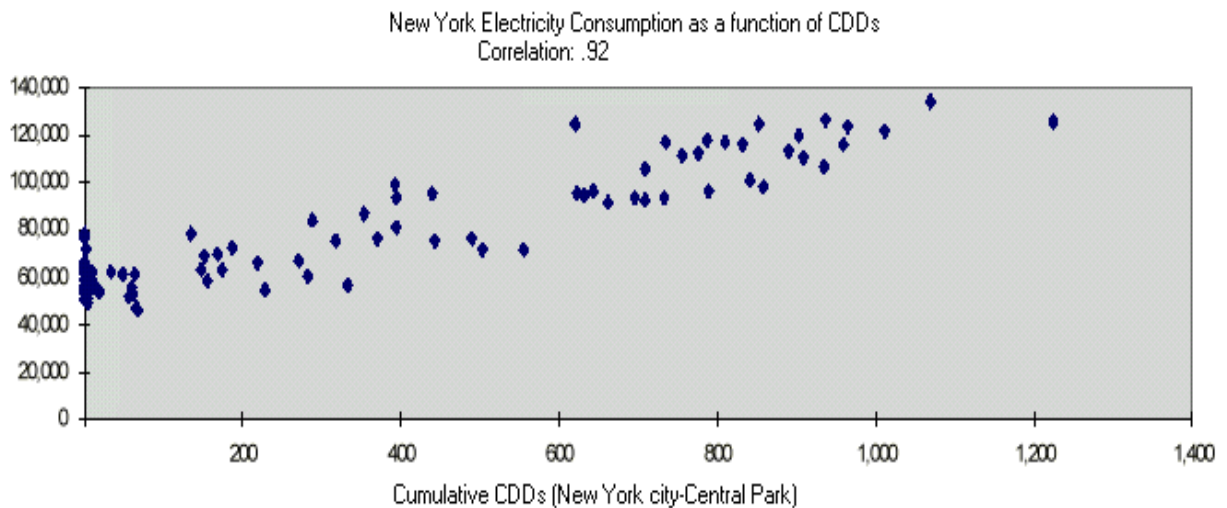
Παρατηρώντας το παραπάνω σχήμα γίνεται σαφές πως ξεπερνώντας στον όγκο παραγωγής το σημείο A, το οποίο και έχει το ελάχιστο ανά kW κόστος παραγωγής για την Δ.Ε.Η. (α *Euros/kW*), το κόστος παραγωγής αυξάνει εκθετικά και φτάνοντας στο σημείο B, το οποίο αντιστοιχεί στον

μέγιστο δυνατό όγκο παραγωγής από πλευράς Δ.Ε.Η, το κόστος παραγωγής ενός kW είναι μέγιστο (β *Euros/kW*). Όταν η ανάγκη για κατανάλωση Η/Ε υπερβαίνει το Β, τότε η Δ.Ε.Η. αναγκάζεται, για να καλύψει την ζήτηση, να αγοράσει Η/Ε από την spot αγορά και πληρώνει έστω δ *Euros/kw*.

Είναι γνωστό πως το δ είναι πολύ μεγαλύτερο από το β . Συγκεκριμένα η τιμή στην οποία αγοράζει μια εταιρία ηλεκτρική ενέργεια από την ελεύθερη αγορά, κυμαίνεται στο 20πλάσιο - 30πλάσιο της μέσης τιμής παραγωγής Η/Ε. Οπότε είναι προφανές πως η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας προκαλεί υπερβολικά μεγάλο κόστος για την εταιρία και είναι η τελευταία της λύση.

Η διαφορά $\gamma = \delta - \beta > 0$ είναι το υπερβάλλον κόστος της Δ.Ε.Η. ανά μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση αγοράς.

Στην συνέχεια παρατηρούμε το διάγραμμα κατανάλωσης Η/Ε - CCDDs. Για παράδειγμα στην περίπτωση της Νέας Υόρκης, από στοιχεία της Koch Industries έχουμε το παρακάτω διάγραμμα το οποίο είναι χαρακτηριστικό



Παρατηρούμε πως υπάρχει πολύ υψηλή συσχέτιση μεταξύ όγκου παροχής Η/Ε και CCDDs, και μάλιστα της τάξεως του 92% και ακόμη πως ο όγκος της ζήτησης Η/Ε είναι γραμμική συνάρτηση του αριθμού των CDDs. Η κλίση της ευθείας είναι της τάξης των 0.08MW/CDD.

Από τα αντίστοιχα στοιχεία της Αττικής θα μπορούσαμε να βρούμε την κλίση της ευθείας της συνάρτησης του όγκου σε σχέση με τον αριθμό των CDDs που μας ενδιαφέρει, έστω

$$\varphi \text{ kW/CDD.}$$

Έτσι στο tick θα θέταμε την τιμή

$$tick = \gamma \left(\frac{\text{Euros}}{\text{kW}} \right) \times \varphi \left(\frac{\text{kW}}{\text{CDD}} \right) = t \left(\frac{\text{Euros}}{\text{CDD}} \right)$$

- *To premium του Option*

Το ποσόν δηλαδή που θα πρέπει να πληρώσει ο αγοραστής του Π.Μ.Δ., στη συγκεκριμένη περίπτωση η Δ.Ε.Η. Το premium του option θα βρεθεί

εάν εφαρμόσουμε στην σειρά των CDDs που προβλέφθηκαν για το 2001, το strike και το tick που βρέθηκαν παραπάνω. Δηλαδή το premium του option θα ισούται με το payout που θα έδινε αυτό, εάν η θερμοκρασίες του 2001 ισούταν με αυτές της πρόβλεψης.

Εναλλακτική Στρατηγική Αντιστάθμισης του καιρικού κινδύνου.

Μια εναλλακτική στρατηγική που θα μπορούσε να ακολουθήσει η ΔΕΗ προκειμένου να αντιμετωπίσει τον προαναφερθέντα κίνδυνο είναι η παρακάτω:

Η εταιρία θα πρέπει παρατηρώντας τα ιστορικά της στοιχεία να βρει τον μέσο όρο των πληρωμών της, έστω Q (με αναγωγή στον χρόνο ενδιαφέροντος), στην περίπτωση αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από την spot αγορά.

Ακόμη, πάλι μέσα από την παρατήρηση των ιστορικών στοιχείων, θα πρέπει να βρεθεί σε ποιές θερμοκρασίες γινόταν η αγορά Η/Ε. Από τα στοιχεία αυτά θα πρέπει να βρεθεί ο μέσος όρος μ των θερμοκρασιών αγοράς καθώς και η τυπική απόκλιση τους σ . Θεωρώντας κανονικότητα, θα μπορούσαμε να βρούμε το σημείο $\mu-3\sigma$ της θερμοκρασίας και θα το παίρναμε ως όριο. Κάθε φορά που η θερμοκρασία θα ξεπερνούσε το όριο αυτό, θα ζητούσαμε από τον αντισυμβαλλόμενο να μας αποληρώσει Q Euros. Έτσι η ΔΕΗ θα αντιστάθμιζε τον κίνδυνο τον οποίο υφίσταται.

Για παράδειγμα, έστω ότι η ΔΕΗ σε κάθε αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από τις Βαλκανικές χώρες αγόραζε Q MW, κατά μέσο όρο. Και έστω ότι η μέση ημερήσια θερμοκρασία «αγοράς Η/Ε» ήταν μ °C, με τυπική απόκλιση σ °C. Η στρατηγική αντιστάθμισης του κινδύνου θα μπορούσε να είναι:

Όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει το $\mu-2\sigma$ ή $\mu-3\sigma$, η αντισυμβαλλόμενη εταιρία θα πληρώνει $Q \cdot S$ Euros για κάθε τέτοια ημέρα, όπου S

μία συμπεφωνημένη τιμή ενός MW (ίσως η τιμή της σποτ αγοράς). Σε αυτό το συμβόλαιο πιθανότατα θα μπορούσε να μπει ένα άνω φράγμα έστω U στο ποσό το οποίο η αντισυμβαλλόμενη εταιρία θα πληρώσει στην ΔΕΗ κατά το διάστημα που ενδιαφέρει (Ιούλιο Αυγουστο). Το τελικό payoff αυτής της στρατηγικής δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P = \min(U, \max(U * S * \text{days}, 0))$$

Το premium που θα πληρώναμε για αυτό το option, μπορεί να υπολογιστεί με τους τρόπους που αναφέρθηκαν προηγούμενα, δηλαδή είτε με την Burn Analysis είτε με την προσομοίωση.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑ

Τα παράγωγα επί μετεωρολογικών δεικτών είναι ένα νέο όπλο στην οπλοθήκη των επιχειρήσεων για την αντιμετώπιση των κινδύνων. Ο κίνδυνος ο προερχόμενος από τα καιρικά φαινόμενα μέχρι το πρόσφατο παρελθόν δεν αντιμετωπιζόταν σχεδόν καθόλου από τις επιχειρήσεις, αν και ασκεί μεγάλη επίδραση στα αποτελέσματά τους. Τα Π.Μ.Δ. είναι άγνωστα ακόμη στο ευρύ κοινό και για αυτό και αντιμετωπίζονται με δυσπιστία. Προς το παρόν η χρήση τους γίνεται κυρίως από μεγάλες επιχειρήσεις των ΗΠΑ, αλλά τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη της χρήσης τους είναι ραγδαία σε Ευρώπη και Ασία. Δίνουν στις επιχειρήσεις την δυνατότητα να αντισταθμίσουν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του κινδύνου στον οποίο υποβάλλονται τα αποτελέσματά τους, τον κίνδυνο τον σχετικό με τις μεταβολές των καιρικών φαινομένων.

Υπάρχουν βέβαια ακόμη μεγάλα προβλήματα στην χρήση των Π.Μ.Δ. Τα πιο σημαντικά είναι το μικρό βάθος της αγοράς, η μη ύπαρξη ενός κοινά αποδεκτού τρόπου τιμολόγησης, και η ανυπαρξία μετεωρολογικών ιστορικών στοιχείων. Παρ'όλα αυτά η αγορά των Παραγώγων επί Μετεωρολογικών Δεικτών έχει σίγουρα λαμπρό μέλλον.

Η εργασία αυτή δυστυχώς δεν ολοκληρώθηκε όπως είχε αρχικά σχεδιαστεί. Αιτία υπήρξε η οπισθοδρομική νοοτροπία των διοικούντων την Δ.Ε.Η. οι οποίοι αρνήθηκαν την παροχή δεδομένων προβάλλοντας σαν επιχείρημα τον «δήθεν» εμπιστευτικό χαρακτήρα των δεδομένων αυτών. Έτσι η εργασία παρέμεινε σε καθαρά θεωρητικά πλαίσια. Ελπίζουμε στο μέλλον οι διοικούντες τις ελληνικές επιχειρήσεις να κατανοήσουν ότι μέσα από την πανεπιστημιακή έρευνα ωφελούνται και οι επιχειρήσεις, και αντί να παρεμποδίζουν την έρευνα να την προάγουν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Black, Fischer and Scholes, Myron, 1973,“The Pricing of Options and Corporate Liabilities”, *Journal of Political Economy* 81,
- [2] Cao, Melanie and Wei, Jason, 2000,“Equilibrium Valuation of Weather Derivatives”, *Working Paper*
- [3] Clemmons, Lynda, Kaminski, Vincent and Hrgovic, Joseph, 1999,“Weather Derivatives: Hedging Mother Natures”, *Insurance and Weather Derivatives: From Exotic Options to Exotic Underlyings*, Risk Books
- [4] Considine, Geoffrey, 1999,“Introduction to Weather Derivatives”, *Weather Derivatives Group*, Aquila Energy
- [5] Dischel, Robert, 1998a,“Option Pricing - Black and Scholes Won’t Do”, *Weather Risk - An Energy & Power Risk Management and Risk Special Report*, October
- [6] Dischel, Robert, 1998b,“Weather Risk - La Nina Volatility”, *Energy & Power Risk Management*, November
- [7] Dischel, Robert, 1998c,“The Fledging Weather Market Takes off – Series of 5 articles”, *Applied Derivatives Trading*, November to April
- [8] Dischel, Robert, 1999b,“Shaping History for Weather Risk Management”, *Weather Risk - An Energy & Power Risk Management and Risk Special Report*, September
- [9] Dornier, Fabien and Queruel, Michel, 2000,“Caution to the Wind”, *Weather Risk Special Report - Risk Energy & Power Management*, August
- [10] Gakos, Peter, 1999,“Fooling Mother Nature”, *Weather Risk - An Energy & Power Risk Management and Risk Special Report*, September

[11] Geman Helyette, 1999,“The Bermuda Triangle: Weather, Electricity and Insurance Derivatives”, *Insurance and Weather Derivatives: From Exotic Options to Exotic Underlyings*, Risk Books

[12] Greene, William H., 2000,“Econometric Analysis”, Forth Edition, Prentice Hall

[13] Hull, John, 1999,“Options, Futures and Other Derivatives ”, *Forth Edition*, Prentice Hall

[14] Ramamurtie, Sailesh, 1999,“Weather Derivatives and Hedging Weather Risks”, *Insurance and Weather Derivatives: From Exotic Options to Exotic Underlyings*, Risk Books

[15] Swiss Re New Markets, 2000,“The Realities of the European Weather Risk Market”, *IIR Conference, Zurich 26 & 27 June 2000*

[16] “Weather Forecasting for Weather Derivatives” Sean Campbell and Francis X. Diebold

[17] “Dynamical Pricing of Weather Derivatives” Dorje C Brody, Joanna Syroka and Mihail Zervos

[18] “Single Factor Stochastic Models with Seasonality Applied to Underlying Weather Derivatives Variables” Hipòlit Torró, Vicente Meneu and Enric Valor

[19] <http://www.aquilaenergy.com/guaranteedweather.htm>

[20] <http://weather.bnpparibas.com>

[21] <http://www.guaranteedweather.com>

Single Factor Stochastic Models with Seasonality Applied to Underlying Weather Derivatives Variables Hipòlit Torró Vicente Meneu and Enric Valor