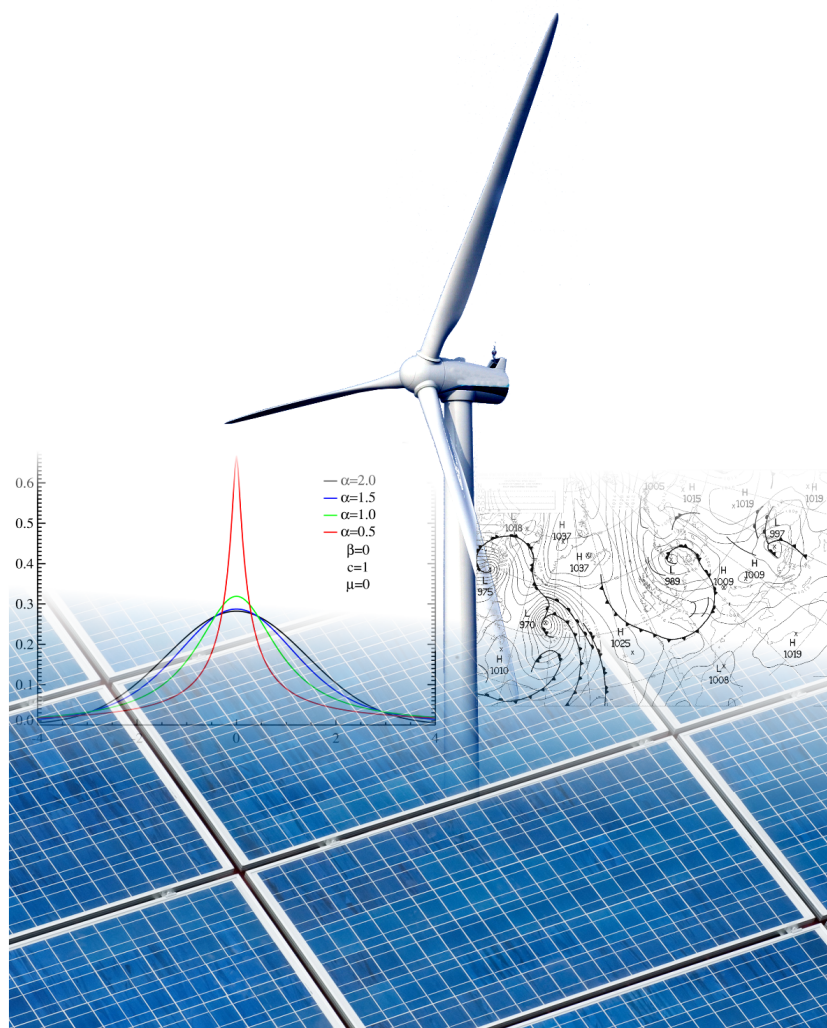




**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"**

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**



Αγγέλης Κ. Χρήστος

**Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη**

**Επιβλέπων:
Επίκουρος Καθηγητής Ν. Μαμάσης**

Επιτροπή Παρακολούθησης:

**Επίκουρος Καθηγητής Ν. Μαμάσης
Καθηγητής Δ. Καλιαμπάκος
Καθηγητής Δ. Κουτσογιάννης**

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία είναι αφιερωμένη στους καθηγητές του παρόντος μεταπτυχιακού προγράμματος «Περιβάλλον και Ανάπτυξη» και οι οποίοι με τις προσπάθειές τους έδειξαν ότι η δημόσια δωρεάν παιδεία μπορεί να έχει υψηλό επίπεδο.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή Δημήτρη Καλιαμπάκο για την εμπύχωση που μας παρείχε καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών καθώς και τον Επίκουρο Καθηγητή Νίκο Μαμάση που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με κάτι πραγματικά ενδιαφέρον.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Αντικείμενο και Σκοπός της Εργασίας.....	1
1.2	Διάρθρωση της Εργασίας.....	2
2	Μεθοδολογία	3
2.1	Εισαγωγή στις Έννοιες.....	3
2.2	Ο άνεμος.....	3
2.3	Η Ηλιακή Ακτινοβολία:.....	4
2.4	Η Ανεμογεννήτρια.....	6
2.5	Η μοντελοποίηση της ανεμογεννήτριας.....	10
2.6	Ο υπολογισμός της παραγόμενης από τον άνεμο ενέργειας.....	13
2.7	Τα φωτοβολταϊκά πάνελ.....	16
2.8	Υπολογισμός στατιστικών μεγεθών ταχύτητας ανέμου.....	18
2.9	Υπολογισμός στατιστικών μεγεθών ηλιοφάνειας.....	20
2.10	Υπολογισμός στατιστικών μεγεθών Ζήτησης.....	22
2.11	Η επιρροή του μέγεθους της διασποράς στο μοντέλο.....	24
2.12	Ο ταμιευτήρας και τα χαρακτηριστικά του.....	25
2.13	Έλεγχος – επαλήθευση μοντέλου φωτοβολταϊκών.....	28
2.14	Έλεγχος – επαλήθευση μοντέλου ανεμογεννητριών.....	28
3	Το αριθμητικό Μοντέλο.....	31
3.1	Η Δομή του αριθμητικού μοντέλου.....	31
3.2	Ο αλγόριθμος του βήματος της συνάρτησης αστοχίας.....	32
3.3	Υπολογισμός βέλτιστου αριθμού χρονικών βήματων.....	35
4	Παράδειγμα χρήσης του προγράμματος.....	38
5	Η βελτιστοποίηση	41
5.1	Τα υπο εξέταση σενάρια.....	41
5.2	Τα χαρακτηριστικά των αποτελεσμάτων και η ερμηνεία τους.....	43
5.3	Η εύρεση της βέλτιστης οικονομικά λύσης.....	50
6	Ιδέες για τη βελτίωση του μοντέλου.....	55
	Βιβλιογραφικές αναφορές.....	57
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	59
	Ο Κώδικας του προγράμματος:.....	59
	Πίνακες Αποτελεσμάτων:.....	68

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα το οποίο αποτελείται από φωτοβολταϊκά πάνελ, ανεμογεννήτριες και αντλησοσταμείευση για την κάλυψη αναγκών 100 000 κατοίκων, επιχειρείται να βρεθεί ο οικονομικότερος συνδυασμός πηγών ενέργειας και μεγέθους ταμιευτήρα για δεδομένο επίπεδο υπηρεσίας. Για να επιτευχθεί αυτό δημιουργείται ένα αριθμητικό μοντέλο το οποίο υλοποιείται σε γλώσσα Pascal παρέχοντας ένα λογισμικό υπολογισμού που υποστηρίζει πολύ μεγαλύτερο αριθμό βημάτων από ένα λογιστικό φύλλο καθώς και μαζική επεξεργασία σεναρίων. Από χρονοσειρές μετεωρολογικών σταθμών υπολογίζονται για κάθε ημέρα του έτους στατιστικά μεγέθη (μέση τιμή, τυπική απόκλιση) για την μέση ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, της μέσης ταχύτητας του ανέμου και της μέσης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Τμήματα του μοντέλου που αφορούν τον υπολογισμό ενέργειας σε κάθε βήμα καθώς και τα στατιστικά των μετεωρολογικών δεδομένων επαληθεύονται υπολογίζοντας ετήσιους βαθμούς απόδοσης οι οποίοι συγκρίνονται με τιμές της βιβλιογραφίας.

Με δεδομένα τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά της ζήτησης ενέργειας, εκτελούνται σεναρία με όλους τους συνδυασμούς μεγεθών ταμιευτήρα, συντελεστή ασφαλείας της παραγωγής και ποσοστού ανεμογεννητριών επί του συνόλου της παραγωγής. Προκύπτει ότι η χρήση των φωτοβολταϊκών πάνελ ενώ μπορεί να έχει θετική επιρροή στο επίπεδο υπηρεσίας, είναι οικονομικά ασύμφορη για κάθε σενάριο, αν συνυπολογιστεί το κόστος τους και ο μειωμένος ετήσιος βαθμός απόδοσης. Στη συνέχεια εξετάζοντας το πρόβλημα δύο παραμέτρων πλέον, εξάγονται συμπεράσματα για το πως μεταβάλλεται το επίπεδο υπηρεσίας σε σχέση με τον συντελεστή ασφαλείας της παραγωγής ενέργειας και το μέγεθος του ταμιευτήρα, χωρίς όμως να δίνεται βέλτιστη οικονομικά λύση λόγω τις ιδιαιτερότητας της κοστολόγησης του ταμιευτήρα.

ABSTRACT

In an autonomous hybrid system comprised of photovoltaic panels, wind generators and pumped storage to cover the needs of 100 000 households, the optimal combination of energy sources and reservoir is investigated for a given service level. To achieve this, a numerical model was created on Pascal. The resulting computational software supports is capable of handling a much larger number of steps than a spread sheet, as well as multiple scenario processing.

Using weather station timelines, statistical data (mean and standard deviation) on average intensity of solar radiation, average wind speed and average electricity requirements are processed for every day of the year. Parts of the model regarding energy calculations for each iteration, as well as the statistical values of the meteorological data are verified by calculating capacity factors, the values of which are compared to literature.

Using weather data and energy requirements, scenarios capturing all combinations of reservoir size, production safety factor and percentage of wind generators in the total production are performed. It is observed that the use of photovoltaic panels, although having a positive effect on service levels, is financially inadvisable in every scenario as a result of their high cost and low capacity factors. As a system with two variables is consequently examined, conclusions are extracted on the variations of service levels with respect to the safety factor of energy production and the reservoir size; however, an optimal economic solution is not provided due to inconsistencies in reservoir expenditures.

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και Σκοπός της Εργασίας

Λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού και της ανόδου του βιοτικού του επιπέδου που είναι άμεσα συνδεδεμένο με την κατανάλωση ενέργειας, η αύξηση της ζήτησης για ενέργεια σε παγκόσμιο επίπεδο ακολουθεί εκθετικούς ρυθμούς. Η ενέργεια αυτή προέρχεται επί το πλείστον από ορυκτά καύσιμα τα οποία αφενός είναι πεπερασμένα, αφετέρου η καύση τους αυξάνει τα ποσοστά του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα για το οποίο υπάρχουν ενδείξεις ότι μέσω του φαινομένου του θερμοκηπίου οδηγεί στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας με καταστρεπτικές συνέπειες για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια υπάρχει αύξηση της ζήτησης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, δηλαδή από φυσικές πηγές που ανανεώνονται συνεχώς όπως είναι ο άνεμος, η ηλιακή ακτινοβολία, η βιομάζα και η γεωθερμία.

Οι ανανεώσιμες πηγές παρότι δεν έχουν τα δύο μεγάλα προβλήματα των ορυκτών καυσίμων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, έχουν τα μειονεκτήματά τους, όπως το ακριβότερο αρχικό κόστος και την μη σταθερή απόδοση κάθε στιγμή, και γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται κυρίως σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας. Συγκεκριμένα η αιολική ενέργεια παράγεται μόνο όταν υπάρχουν ικανοί άνεμοι για να κινηθούν οι έλικες των ανεμογεννητριών, και η ηλιακή ενέργεια όταν υπάρχει αρκετή ηλιοφάνεια για να παράξουν ενέργεια τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Δεδομένου ότι οι αποφάσεις στις σύγχρονες κοινωνίες παίρνονται με βάση του τι είναι οικονομικά συμφέρον, ενδιαφέρον θα ήταν να μελετηθεί πως θα μπορούσε να βελτιστοποιηθεί ένα σύστημα ανανεώσιμων πηγών δηλαδή μειωθεί το κόστος για κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο υπηρεσίας/διαθεσιμότητας.

Η απόδοση των δυο ανανεώσιμων πηγών που αναφέρθηκαν είναι άμεση συνάρτηση του κλίματος της περιοχής στην οποία έχουν εγκατασταθεί τα αντίστοιχα συστήματα παραγωγής ενέργειας και μιας και δεν είναι εφικτό να γίνουν μακροχρόνιες προβλέψεις για τον καιρό -αφού τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα αποτελούνε χαοτικό σύστημα- για την προσομοίωσή τους θα απαιτηθούν στοχαστικά μοντέλα. Η αναλυτική λύση αυτών δεν είναι πάντοτε εφικτή αλλά χάρη στη σύγχρονη τεχνολογία μπορούνε να παραχθούν αριθμητικά μοντέλα με τόσο

λεπτομερή που να πλησιάζουν την αναλυτική λύση. Με τα μοντέλα αυτά θα γίνει μια προσπάθεια να βρεθεί η βέλτιστη λύση για συγκεκριμένα επίπεδα υπηρεσίας σε διάφορα κλίματα για δεδομένα κόστη ανά μονάδα ενέργειας, ανάλογα με το είδος αυτής. Με δεδομένες κάποιες παραδοχές που θα γίνουν παρακάτω, γίνεται σαφές είναι ότι στόχος της πτυχιακής εργασίας αυτής δεν είναι ένας αυστηρός προσδιορισμός συγκεκριμένων τεχνικών λύσεων για κάθε κλίμα αλλά η παροχή συμπερασμάτων για τα χαρακτηριστικά των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών και πως τελικά αυτές μπορούν βέλτιστα να συνεισφέρουν στη λύση του προβλήματος.

1.2 Διάρθρωση της Εργασίας

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις έννοιες που απαρτίζουν το πρόβλημα όπως ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και στα χαρακτηριστικά τους, Κατόπιν παρουσιάζουμε τις τεχνολογίες που υπάρχουν σε ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πάνελ και μονάδες αποθήκευσης ενέργειας και τον τρόπο που αυτά μοντελοποιούνται στην κατόπιν υπολογιστική διαδικασία. Στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται μια στατιστική ανάλυση των μετεωρολογικών μεγεθών που μας αφορούν καθώς και των χαρακτηριστικών στη ζήτηση ενέργειας. Το κεφάλαιο καταλήγει σε ένα συνδυασμό όλων τα παραπάνω σε μια επαλήθευση όσο αφορά τους ετήσιους συντελεστές που προκύπτουν από το μοντέλο σε σχέση με αυτούς που βρίσκονται στην βιβλιογραφία.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η λογική του μοντέλου, οι διαδικασίες που εκτελούνται σε κάθε βήμα καθώς και η αξιολόγηση της ακρίβειας που προσφέρει συναρτήσει του αριθμού των βημάτων. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του λογισμικού που αναπτύχθηκε για την υπολογιστική διαδικασία ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο καταλήγουμε σε συμπεράσματα για την συμπεριφορά του συστήματος εξετάζοντας διάφορα σενάρια και τα αποτελέσματα που δίνει το μοντέλο για αυτά όσο αφορά την αξιοπιστία τους.

Το έκτο και τελευταίο κεφάλαιο αποτελείται από ιδέες και προτάσεις βελτιστοποίησης του μοντέλου.

2 Μεθοδολογία

2.1 Εισαγωγή στις Έννοιες

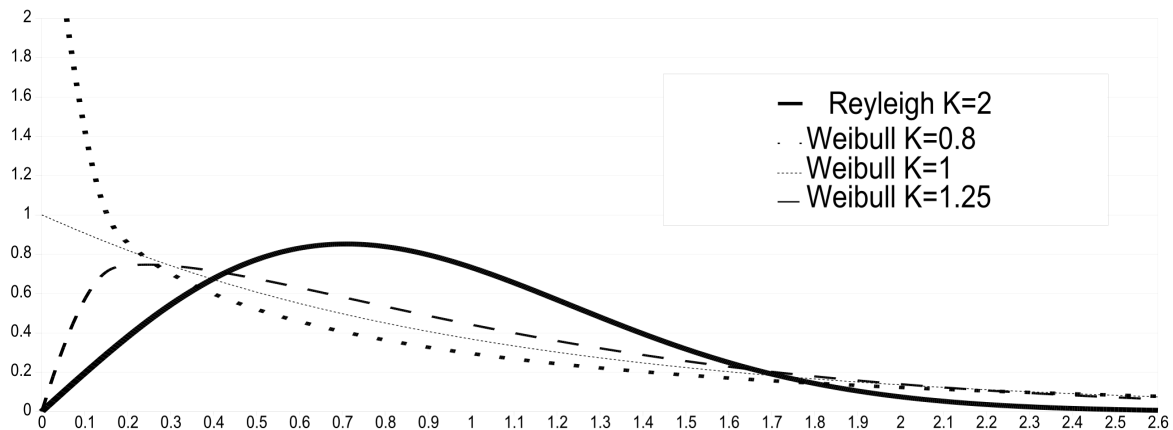
Για να καταστεί εφικτό να αξιολογηθεί ένα αυτόνομο σύστημα το οποίο τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές με χρήση αριθμητικών μεθόδων, θα πρέπει να γίνουν αρκετές παραδοχές, τις οποίες πρέπει όμως να γνωρίζουμε καλά ώστε να μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Θα πρέπει να δούμε τα όσα εμπλέκονται σ αυτή τη διαδικασία με μια πιο αφηρημένη οπτική ώστε να κατασκευαστεί ένα μαθηματικό και στη συνέχεια ένα αριθμητικό ομοίωμα που θα τα περιγράφει. Στις παρακάτω παραγράφους παρουσιάζονται όλα όσα απαρτίζουν το πρόβλημά μας καθώς και το πως αντιμετωπίζονται από αυτό.

2.2 Ο άνεμος

Η ταχύτητα του ανέμου σε μια περιοχή είναι ένα τυχαίο μέγεθος το οποίο εξαρτάται από το κλίμα της περιοχής. Όπως προαναφέρθηκε δεν ενδιαφέρει να προσδιοριστεί κάποιος μηχανισμός από τον οποίο θα προκύπτει η ταχύτητα στα μικρά χρονικά πλαίσια της μετεωρολογικής πρόβλεψης, αλλά τα στατιστικά μεγέθη του ανέμου αυτού και συγκεκριμένα μόνο η ταχύτητα και όχι η διεύθυνση του ανέμου μιας και οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες οριζοντίου τύπου έχουν μηχανισμό για να προσανατολίζονται αυτόματα στο μέτωπο του ανέμου.

Από δειγματοληψία στις τοποθεσίες που μας ενδιαφέρουν μπορούμε να δημιουργήσουμε μια κατανομή ταχυτήτων για μια δεδομένη περίοδο. Η περίοδος αυτή πρακτικά, ταυτίζεται σχεδόν πάντα με το έτος λόγω της ισχυρής ετήσιας περιοδικότητας που εμφανίζουν τα καιρικά φαινόμενα. Αυτή η κατανομή γίνεται προσπάθεια να περιγραφεί από στατιστικές κατανομές με μεγαλύτερα η μικρότερα ποσοστά επιτυχίας (Eugene 2001^[1]) αν και στην πράξη χρησιμοποιείται κυρίως η κατανομή Rayleigh και η Weibull. Εργασία για την σύγκριση αυτών των δύο κατανομών και την ακρίβεια με την οποία περιγράφουν τα καταγεγραμμένα μεγέθη (Yanping 2010^[2]) έδειξε ότι η κατανομή Weibull εμφανίζει μεγαλύτερη συσχέτιση με τα δεδομένα και ειδικά σε περιπτώσεις όπου η καταγραφή έχει γίνει σε ανοικτές θάλασσες η κατά τη διάρκεια των νυκτερινών ωρών. Θα μπορούσε κάποιος να έχει φτάσει στο συμπέρασμα αυτό πολύ πιο γρήγορα, χωρίς καν να συλλέξει δείγμα, αν

απλά παρατηρούσε ότι η Rayleigh είναι μια ειδική περίπτωση της Weibull για συντελεστή σχήματος $K=2$ οπότε εξ ορισμού θα πρέπει να δίνει ίδια ή καλύτερα αποτελέσματα.



Γράφημα 1: η κατανομή Weibull για διαφορετικές τιμές του συντελεστή σχήματος K . Για $K = 1$ ταυτίζεται με την εκθετική κατανομή και για $K = 2$ και συντελεστή κλίμακας $\lambda^2 = 2\sigma^2$ ταυτίζεται με την κατανομή Reyleigh (όπου σ η παράμετρος της κατανομής Reyleigh)

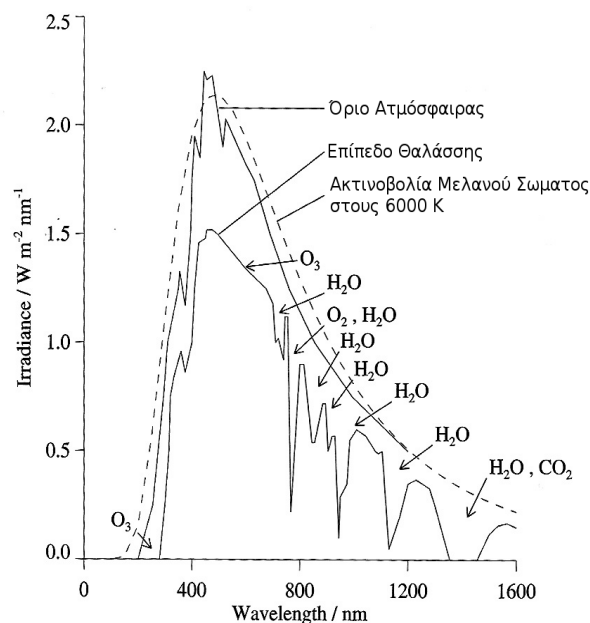
2.3 Η Ηλιακή Ακτινοβολία:

Οι διαδικασίες σύντηξης στον πυρήνα του ηλίου, καταλήγουν σε έκλυση ενέργειας, της οποίας μέρος της φτάνει στην Γη με τη μορφή ακτινοβολίας. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της είναι ότι οι περισσότερες από τις μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούμε στην γη είναι αποτέλεσμα της ηλιακής: Η κίνηση των αερίων μαζών που κινούν τις ανεμογεννήτριες, η εξάτμιση του νερού και η συμπύκνωσή του σε μεγαλύτερα υψόμετρα η οποία γίνεται ενέργεια στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, η ανάπτυξη της βιομάζας η οποία είτε μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα είτε μέσα στην πάροδο εκατομμυρίων ετών η συσσώρευση της δημιούργησε τα ορυκτά καύσιμα.

Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της ατμόσφαιρας, στο μέρος όπου ο ήλιος είναι στο ζενίθ, είναι ίση με 1366 W/m^2 η οποία αναλύεται περίπου σε 50% υπέρυθη ακτινοβολία, 40% ορατό φως, και 10% υπεριώδης ακτινοβολία. Από το διάγραμμα απορρόφησης στο επίπεδο της θαλάσσης -στο αντίστοιχο σημείο όπου ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ- είναι περίπου $1100\text{-}1200 \text{ W/m}^2$ τα οποία αναλύονται σε 53% υπέρυθη ακτινοβολία, 44% ορατό φως και 3 υπεριώδης ακτινοβολία.

Η ένταση της ακτινοβολίας αυτής όπως αναφέρθηκε παρατηρείται σε ένα σημείο όταν ο ήλιος είναι στο ζενίθ. Αν εξετάσουμε μια άλλη περιοχή της ατμόσφαιρας όπου ο ήλιος δεν χτυπά κάθετα θα διαπιστώσουμε ότι ένταση της ακτινοβολίας είναι μειωμένη λόγω του ότι η ίδια επιφάνεια προβολής της ηλιακής ακτινοβολίας αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη επιφάνεια επί

της ατμόσφαιρας ή του εδάφους. Επίσης παρατηρείται αυξομείωση της ακτινοβολίας αυτής ανάλογα με την εποχή του χρόνου λόγω της αυξομείωσης της απόστασης από τον ήλιο, μιας και η τροχιάς της γης γύρω απ τον ήλιο είναι ελλειπτική. Απειροελάχιστη διακύμανση της τάξης 0.1% (1.3 W) παρατηρείται σε 11ετής κύκλους που συσχετίζονται με τις ηλιακές κηλίδες αλλά η διαφορά αυτή είναι αμελητέα σε σχέση με τα μεγέθη που εξετάζονται στην παρούσα εργασία. Από φασματοσκοπικές μετρήσεις έχει παρατηρηθεί ότι η ακτινοβολία που διέρχεται την ατμόσφαιρα δεν απορροφάται εξίσου σε όλα τα μήκη κύματος αλλά σε άλλα σημεία περισσότερο και σε άλλα λιγότερο λόγω των αερίων μέσα απ τα οποία διέρχεται.

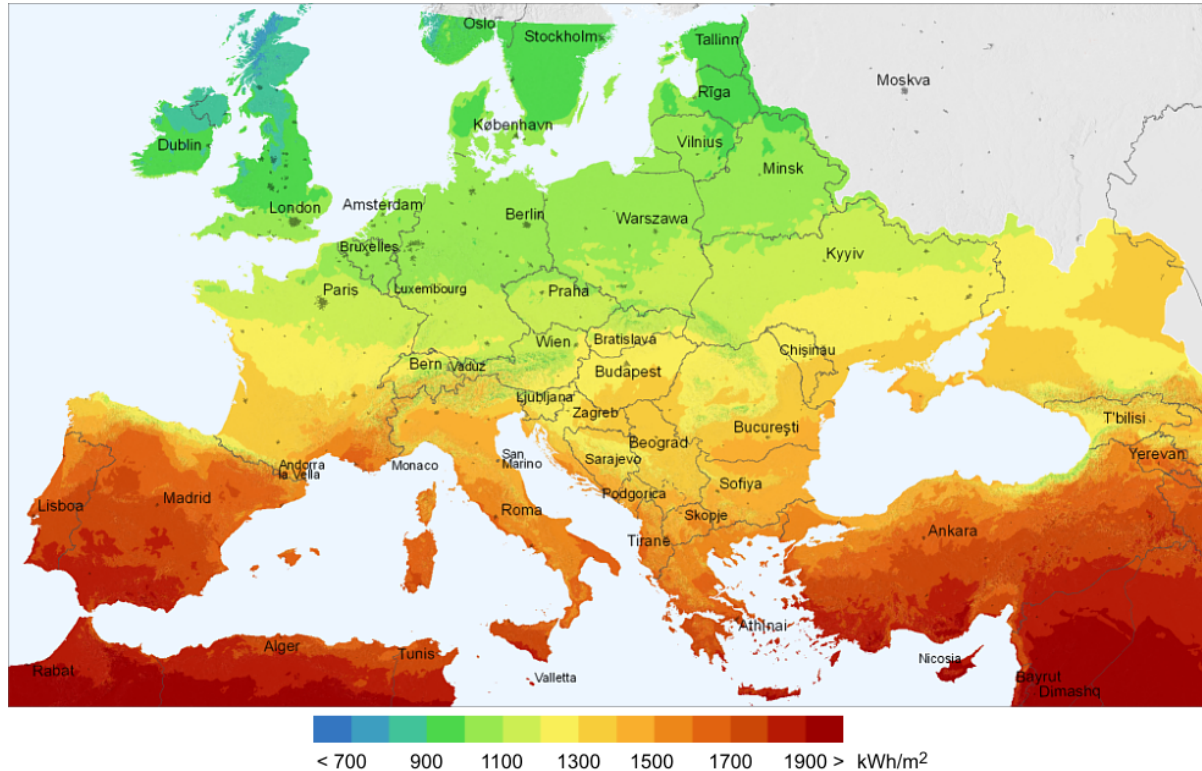


Γράφημα 2: Εικόνα 1 - Φάσμα απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα της γης (Πηγή Ιστοσελίδα Πανεπιστημίου Colorado^[3])

Η ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της γης μετράται εκφράζεται με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με την ζητούμενη εφαρμογή. Μπορεί η στιγμιαία ισχύς της να εκφράζεται στιγμιαία σε W/m^2 ή αν το ζητούμενο είναι μια μονάδα ενέργειας που παρέχεται συνολικά σε $Joule/m^2$ ή Wh/m^2 (συνηθέστερα MJ/m^2 ή kWh/m^2). Καθώς η γη περιστρέφεται γύρω απ τον ήλιο λόγω της κλίσης του άξονα περιστροφής έχουμε εποχιακή διακύμανση της ημερήσιας ακτινοβολίας - την οποία βιώνουμε σαν εναλλαγή των εποχών – οπότε ένα μέτρο για την μέτρηση της ακτινοβολίας είναι η συνολική τιμή της στη διάρκεια του χρόνου ανά μονάδα επιφανείας.

Η ενέργεια που μεταφέρεται μέσω ακτινοβολίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας και για θέρμανση (βιοκλιματικός σχεδιασμός), ζεστό νερό (ηλιακοί

θερμοσίφωνες) και ηλεκτρική ενέργεια. Οι συνηθέστεροι τρόποι για να γίνει αυτό είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ή η συλλογή της θερμότητας της ακτινοβολίας αυτής για να ζεσταθεί ρευστό (συνήθως νερό για την λειτουργία ατμοστρόβιλου άμεσα ή έμμεσα μέσω άλλου ρευστού).



Εικόνα 1: Χάρτης της μέσης τιμής της ετήσιας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας στην Ευρώπη. (Πηγή solargis <http://solargis.info>^[4])

2.4 Η Ανεμογεννήτρια

Ανεμογεννήτριες ονομάζονται οι μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια από την κίνηση του ανέμου σε κινητική ενέργεια και στη συνέχεια σε ηλεκτρική. Από τον 6ο αιώνα μ.Χ. έχουν καταγραφεί στην Περσία Μηχανές που να ανακτούν την ενέργεια του ανέμου, καθώς και οι πρώτες χρήσεις σε ευρωπαϊκό έδαφος γύρω στο 11ο αιώνα. Γύρω στον 14ο αιώνα η Ολλανδοί χρησιμοποίησαν ανεμόμυλους για να κινήσουν αντλίες που θα αντλούσαν τα νερά από το δέλτα του Ρήνου. Το 1900 υπολογίζεται ότι 2500 ανεμόμυλοι με συνδυασμένη μέγιστη ισχύ περί τα 30 MW λειτουργούσαν στη Δανία και κινούσαν μύλους και αντλίες. Μέχρι το 1908 στις Ηνωμένες Πολιτείες λειτουργούσαν 72 ανεμογεννήτριες με ισχύ από 5 έως 25 kW. Ανεμογεννήτριες οριζοντίου τύπου ισχύος 100 kW όπως υπάρχουν σήμερα με

πολύ καλό ετήσιο συντελεστή απόδοσης της τάξης του 32% εγκαταστάθηκαν στη Γιάλτα το 1931.

Υπάρχουν δύο κύρια είδη ανεμογεννητριών, οι οριζοντίου άξονα και οι κατακόρυφου. Οι κατακόρυφου άξονα όπου όπως μαρτυρά το όνομά τους έχουν τα πτερύγιά τους να περιστρέφονται περί του κατακόρυφου άξονα. Αυτό τους δίνει κάποια πλεονεκτήματα όπως:

- Μπορούν να τοποθετηθούν αρκετά κοντά η μία στην άλλη, όχι λόγω του μεγέθους τους αλλά λόγω του τρόπου λειτουργίας τους. Στην περίπτωση των ανεμογεννητριών οριζοντίου τύπου αυτό δεν είναι δυνατόν λόγω της επιβράδυνσης του ανέμου δημιουργούν. Αυτό μεταφράζεται σε πολλαπλάσια απόδοση ανά μονάδα εμβαδού αιολικού πάρκου σε σχέση με ανεμογεννήτριες οριζόντιου τύπου.
- Η κατασκευή τους είναι συχνά φθηνότερη λόγω των μικρότερων τάσεων που δημιουργούν στο φέρον οργανισμό τους.
- Λειτουργούν με μικρότερες ταχύτητες ανέμων πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να τοποθετηθούν χαμηλότερα στο έδαφος πράγμα που συνεπάγεται εύκολη συντήρηση.

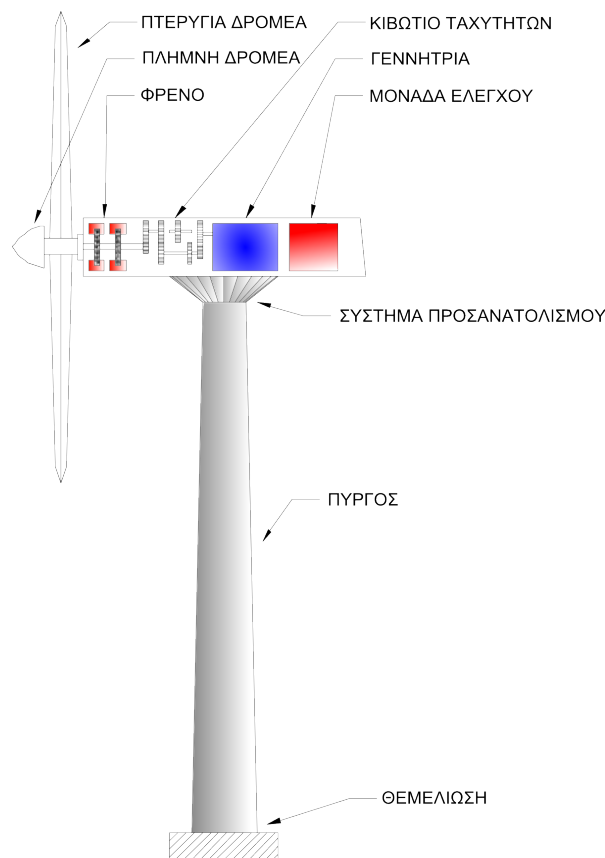


Εικόνα 2: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα - Ανεμογεννήτρια τύπου VAWT 5000 (Πηγή Ιστοσελίδα REM enterprises^[5])

Στα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών κατακόρυφου τύπου συγκαταλέγονται:

- Το χαμηλότερο ύψος τους τις περιορίζει σε περιβάλλοντα με χαμηλότερες ταχύτητες ανέμων.
- Ο σχεδιασμός των λεπίδων επιτρέπει μεγαλύτερες στρέψεις των φορέων με αποτέλεσμα την κόπωση του υλικού τους και πολλές φορές την καταστροφή των λεπίδων.

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα μιας και είναι η επικρατούσα τεχνολογία (ειδικά σε μεγάλες εγκαταστάσεις) αυτή τη στιγμή με μεγαλύτερους βαθμούς απόδοσης.



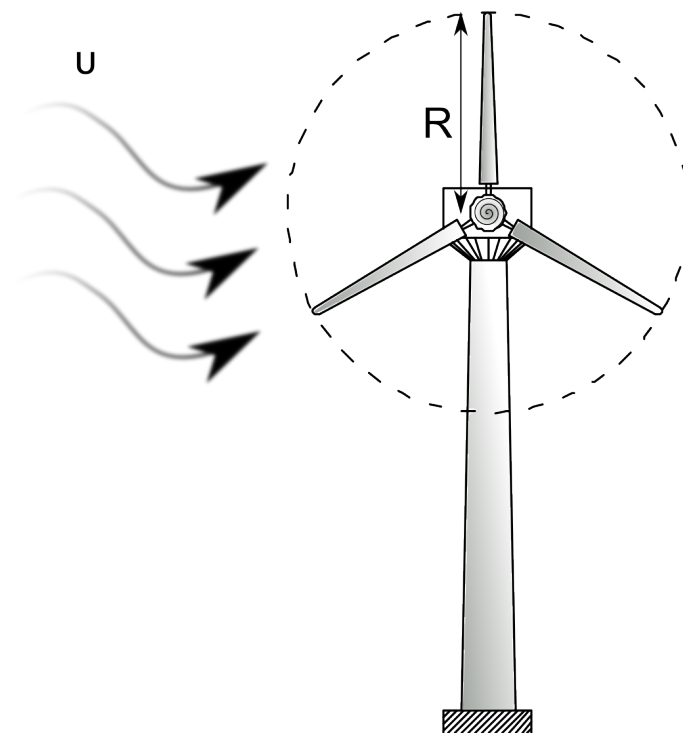
Εικόνα 3: Τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα
(Πηγή Ιδία επεξεργασία)

Σε μια ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα καθώς η αέρια μάζα περνάει μέσα από τον ιδεατό δίσκο που περιγράφουν τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας με ταχύτητα, προσπαθούμε να ανακτήσουμε την κινητική ενέργεια της μάζας αυτής και να την μετατρέψουμε σε κινητική ενέργεια στις έλικες. Αν δεχτούμε ότι κάθε στιγμή dt ο ιδεατός δίσκος αυτός μια μάζα dM όγκου $dl \cdot A$ όπου A το εμβαδόν του δίσκου ίσο με πr^2 . Η κινητική ενέργεια E μιας μάζας M (στην προκειμένη dM) που κινείται με ταχύτητα v ισούται με:

$$E = \frac{1}{2} dM u^2 \rightarrow E = \frac{1}{2} \rho dV u^2 \rightarrow E = \frac{1}{2} \rho dl Au^2 \quad \text{Εξίσωση 2.4 1}$$

Επειδή αν παραγωγίσω την ενέργεια προς τον χρόνο παίρνω την ισχύ προκύπτει:

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{\frac{1}{2} \rho dl Au^2}{dt} = \frac{1}{2} \rho Au^2 \frac{dl}{dt} \quad 2.4 2$$



Εικόνα 4: Ροή αέριας μάζας μέσω του δίσκου που δημιουργείται από την περιστροφή των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας (Πηγή Ιδία επεξεργασία)

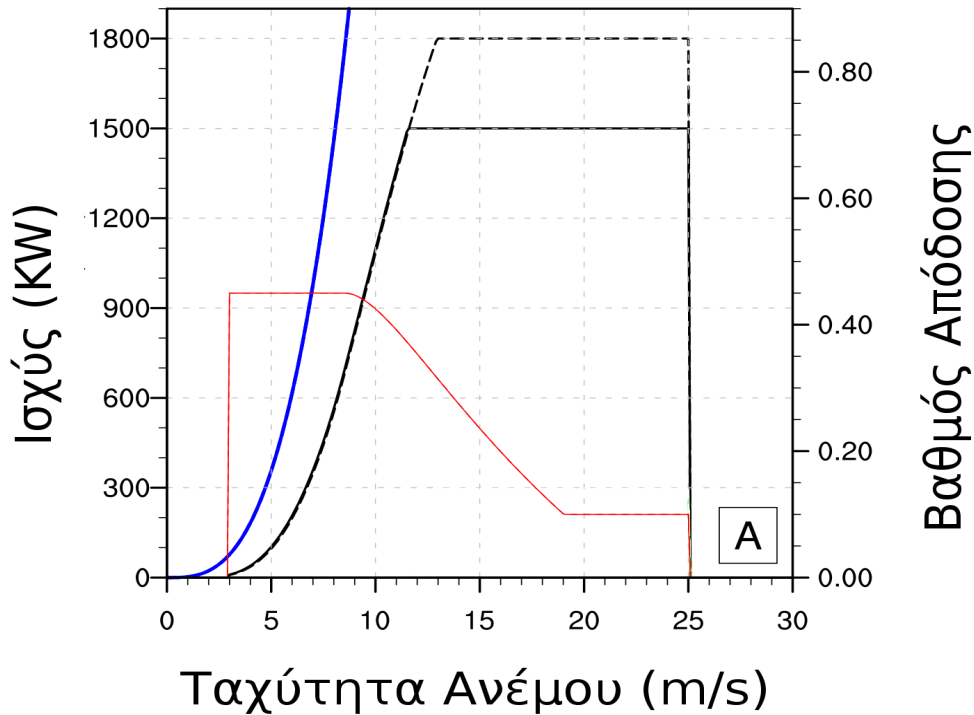
Και επειδή το το πάχος του δίσκου dl απαρτίζει τον όγκο του για χρόνο dt τότε dl/dt ισούται με την ταχύτητα u του αέρα. Οπότε αντικαθιστώ:

$$\frac{dl}{dt} = u \rightarrow \frac{1}{2} \rho A u^2 \frac{dl}{dt} = \frac{1}{2} \rho A u^2 u = \frac{1}{2} \rho A u^3 = P \quad 2.4.3$$

Πέραν του περιορισμών που θέτει η μηχανική με τον βαθμό απόδοσης να είναι πάντα μικρότερος του 1 λόγω τριβών και απωλειών, υπάρχει ακόμα ένα όριο στο πόση ενέργεια από την ενέργεια του ανέμου μπορούμε να ανακτήσουμε. Σε μια ιδεατή ανεμογεννήτρια που θα ανακτούσε όλη αυτή την ενέργεια θα είχαμε τον άνεμο να σταματά πάνω στα πτερύγια (στον ιδεατό δίσκο) πράγμα που θα δημιουργούσε κατάλυση της συνέχειας του ρευστού. Ο γερμανός Albert Betz απέδειξε το 1919 ότι λόγω της διατήρησης της συνέχειας του και της ορμής του υπάρχει ένα μέγιστο θεωρητικό όριο στο πόση ενέργεια μπορεί να ανακτηθεί και ισούται με 16/27 (περίπου 59,3%) της κινητικής ενέργειας της αέριας μάζας που διέρχεται του δίσκου. Στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες ο σχεδιασμός ο βαθμός απόδοσης μπορεί να φτάσει το 75% του θεωρητικού μεγίστου δηλαδή το 45%.

2.5 Η μοντελοποίηση της ανεμογεννήτριας

Για να υπολογιστεί η ισχύς -και συνεπακόλουθα η ενέργεια- σε κάθε χρονικό βήμα πρέπει να δημιουργήσουμε μια συνάρτηση ισχύος με τουλάχιστον ένα όρισμα: την ταχύτητα του ανέμου. Το να χρησιμοποιήσουμε την σχέση που μας δίνει την κινητική ενέργεια του ανέμου επί έναν βαθμό απόδοσης της ανεμογεννήτριας θα ήταν πολύ βολικό. Η συνάρτηση που θα προέκυπτε θα είχε τη μορφή υπερβολής τρίτου βαθμού. Εάν όμως κοιτάξουμε σε διαγράμματα που απεικονίζουν σχέση ισχύος και ταχύτητας ανέμου ανεμογεννητριών του εμπορίου θα δούμε ότι όλα έχουν την εξής μορφή:



Γράφημα 3: Διάγραμμα απόδοσης μιας τυπικής ανεμογεννήτριας (Scott B. et al 2011^[6])

Παρατηρούμε την ταχύτητα έναρξης στα 3 m/s (cut-in speed), δηλαδή την ελάχιστη ταχύτητα που χρειάζεται για να κινηθεί η ανεμογεννήτρια και την ταχύτητα παύσης λειτουργίας (cut-out speed) στα 25 m/s με σκοπό την προστασία της ανεμογεννήτριας. Η μπλε γραμμή απεικονίζει την κινητική ενέργεια του ανέμου και η κόκκινη γραμμή τον βαθμό απόδοσης. Παρατηρούμε ότι η ανεμογεννήτρια παράγει ενέργεια με σταθερό βαθμό απόδοσης μέχρι τα 12 m/s ταχύτητα ανέμου και κατόπιν μέχρι τα την ταχύτητα παύσης λειτουργίας η ενέργεια που παράγεται είναι σταθερή και ίση με την ονομαστική ισχύ (rated power), στην προκειμένη περίπτωση 1500 kW. Με μαύρη διακεκομμένη γραμμή φαίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα μιας ανεμογεννήτριας ονομαστικής ισχύος 1800 kW.

Προς επαλήθευση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του παραπάνω διαγράμματος θα χρησιμοποιηθούν ως παράδειγμα μερικές ανεμογεννήτριες του εμπορίου. Παρατηρείται ότι ο βαθμός απόδοσης είναι κοντά στο 30% στο σημείο που ορίζει η ονομαστική απόδοση με την ονομαστική ταχύτητα ανέμου (για $\rho = 1.204 \text{ kg/m}^3$ στους 20°C , κανονικές συνθήκες) και όλες οι ονομαστικές ταχύτητες κυμαίνονται από 12 έως 15 m/s. Η ονομαστική ισχύς τους κυμαίνεται από 0,95 έως 3 MW και παρατηρείται μια μικρή συσχέτιση της με την ταχύτητα ανέμου και το μήκος λεπίδας.

Μπορούμε έτσι χωρίς βλάβη της γενικότητας για την περίπτωση μας να κάνουμε την παραδοχή μιας ιδεατής “τυπικής” ανεμογεννήτρια η οποία θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά: ελάχιστη ταχύτητα λειτουργίας 3 m/s, μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας 25 m/s, ονομαστική ισχύ 2 MW. Η Η συνάρτηση ορίζεται ως εξής:

$$x < 3 \text{ m/s} \rightarrow f(x) = 0 \text{ MW}$$

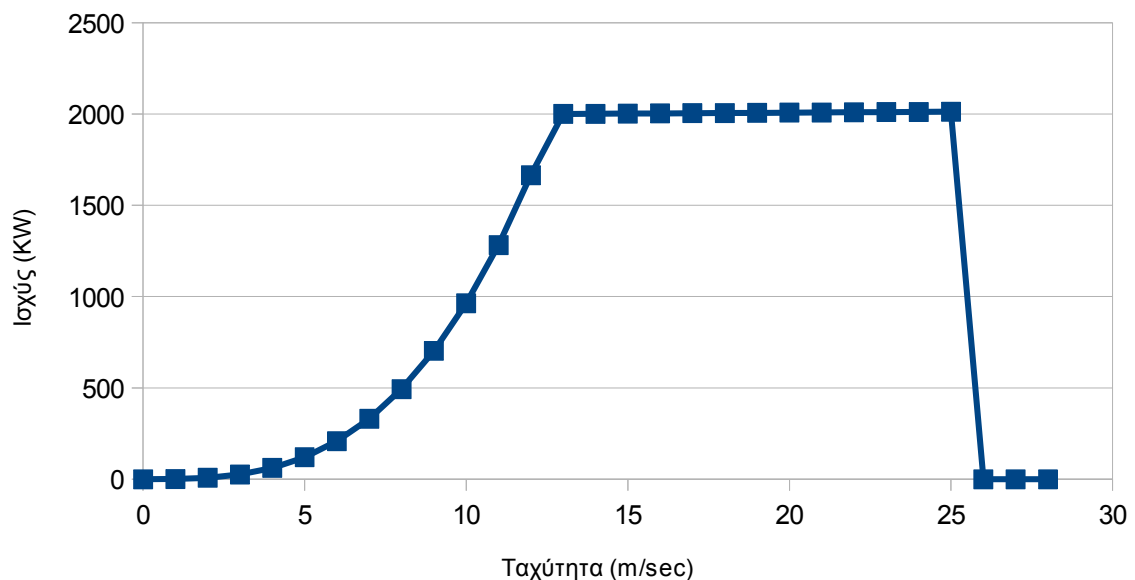
$$3 \text{ m/s} \leq x < 12.76 \text{ m/s} \rightarrow f(x) = \frac{1}{2} a \rho A x^3 \quad 2.5 \text{ 1}$$

$$12.76 \text{ m/s} \leq x < 25 \text{ m/s} \rightarrow f(x) = 2 \text{ MW}$$

$$x \geq 25 \text{ m/s} \rightarrow f(x) = 0 \text{ MW}$$

Με την παραδοχή ότι εμβαδό $A = 4000 \text{ m}^2$, βαθμός απόδοσης $a = 40\%$ και πυκνότητα αέρα $\rho = 1.204 \text{ kg/m}^3$ οπότε και προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα:

Διάγραμμα Ταχύτητας Ανέμου-Ισχύος



Γράφημα 4: Διάγραμμα ισχύος του μοντέλου της ανεμογεννήτριας Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών του εμπορίου
(Πηγή: Ιστοσελίδα *Industrial Wind Energy Opposition*)^[7]

Μοντέλο	Ονομαστική Απόδοση (rated power) MW	Μήκος λεπίδας	Ονομαστική Ταχύτητα Ανέμου (rated windspeed) m/s
GE 1.5s	1.5	35.25	12
GE 1.5sle	1.5	38.5	14
Vestas V82	1.65	41	13
Vestas V90	1.8	45	11
Vestas V100	2.75	50	15
Vestas V90	3.0	45	15
Vestas V112	3.0	56	12
Gamesa G87	2.0	43.5	13.5
Siemens	2.3	46.5	13.5
Bonus (Siemens)	1.3	31	14
Bonus (Siemens)	2.0	38	15
Bonus (Siemens)	2.3	41.2	15
Suzlon 950	0.95	32	11
Suzlon S64	1.25	32	12
Suzlon S88	2.1	44	14
Repower MM92	2.0	46.25	11.2
Clipper Liberty	2.5	44.5	11.5
Mitsubishi MWT95	2.4	47.5	12.5

2.6 Ο υπολογισμός της παραγόμενης από τον άνεμο ενέργειας

Ο τύπος υπολογισμού που προαναφέρθηκε για τον προσδιορισμό της ισχύος της ιδεατής ανεμογεννήτριας συναρτήσει του χρόνου μπορεί με μαθηματική ή αριθμητική ολοκλήρωση να μας δώσει την παρεχόμενη ενέργεια. Για να πάρουμε σωστά αποτελέσματα μέσω της αριθμητικής ολοκλήρωσης απαιτείται κατάλληλο χρονικό βήμα. Δεδομένης της αδράνειας της ανεμογεννήτριας θα μπορούσε το χρονικό βήμα αυτό να είναι της τάξης των λεπτών σε καμία περίπτωση όμως ημερήσιο. Η παραγόμενη ισχύς δεν είναι ανάλογη του ανέμου (μη γραμμική σχέση) οπότε η εφαρμογή του τύπου που συνδέει ταχύτητα ανέμου με ισχύ με ημερήσιο χρονικό βήμα δεν μπορεί να δώσει σωστά αποτελέσματα.

Με την παραδοχή ότι τα 10 λεπτά είναι ένα αρκούντως μικρό βήμα για να γίνει αριθμητική ολοκλήρωση προσπαθήσαμε να καταλήξουμε σε μια εμπειρική σχέση ταχύτητας ανέμου και παραγόμενης ισχύος. Αρχικά εφαρμόσαμε τη συνάρτηση 2.5.1 σε δείγμα

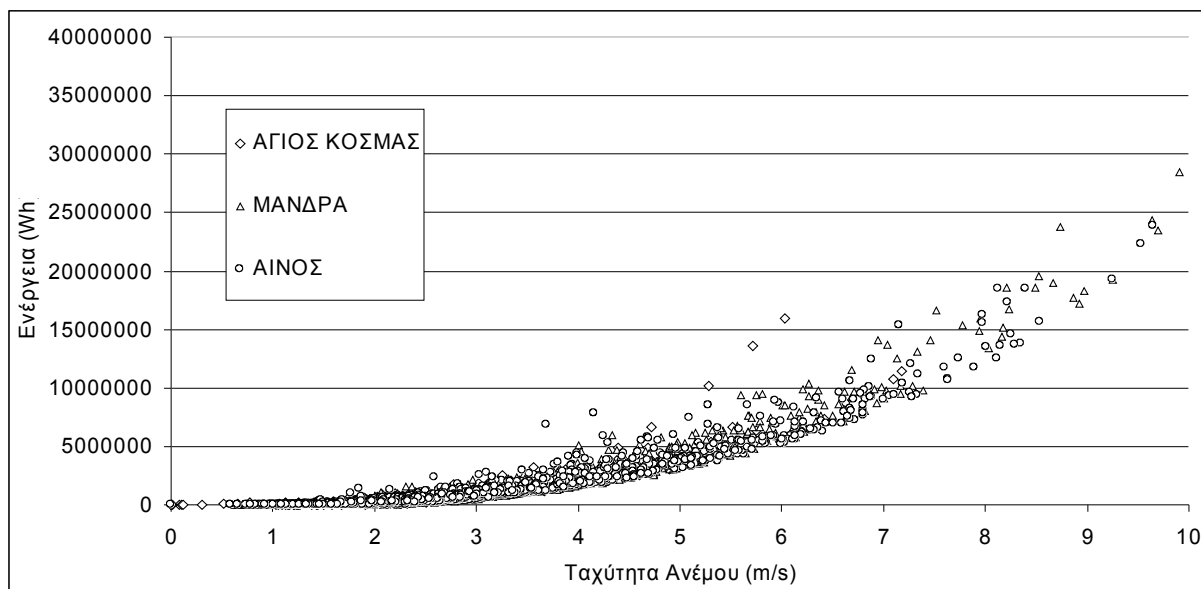
ταχύτητας ανέμου με μέσο όρο δεκαλέπτου, επί 1/6 της ώρας (μιας και το δεκάλεπτο είναι το 1/6 της ώρας) για να προσδιορίσουμε τις παραγόμενες ενέργειες του κάθε 10λέπτου σε Wh.

Στη συνέχεια με χρήση του λογισμικού Hydrognomon υπολογίσαμε με διαδικασία συνάθροισης (aggregation) το μέσο ημερήσιο όρο της ταχύτητας του ανέμου και το άθροισμα των ενεργειών των δεκάλεπτων σε ημερήσια συνολική ενέργεια. Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε για 3 δείγματα από 3 διαφορετικούς μετεωρολογικούς σταθμούς, συγκεκριμένα:

- Στον Μ.Σ. Μάνδρα για την περίοδο από 06/07/2005 – 04-01-2013
- Στον Μ.Σ. Άγιος Κοσμάς για την περίοδο από 25/02/2005 – 04/01/2013
- Στο Μ.Σ. Αίνου για την περίοδο από 16/11/2006 – 04/01/2013

Δημιουργείται έτσι ένα νέφος σημείων για τους 3 σταθμούς (Γράφημα 5) το οποίο μπορεί να περιγραφεί με πολυώνυμο 3ου βαθμού με συντελεστή συσχέτισης περίπου 95%, όπως φαίνεται στο γράφημα 6. Η γραμμή τάσης που περιγράφει το σύνολο των παρατηρήσεων είναι πολύ κοντά στις επιμέρους γραμμές τάσεων των τριών σταθμών. Καταλήγουμε στη συνάρτηση:

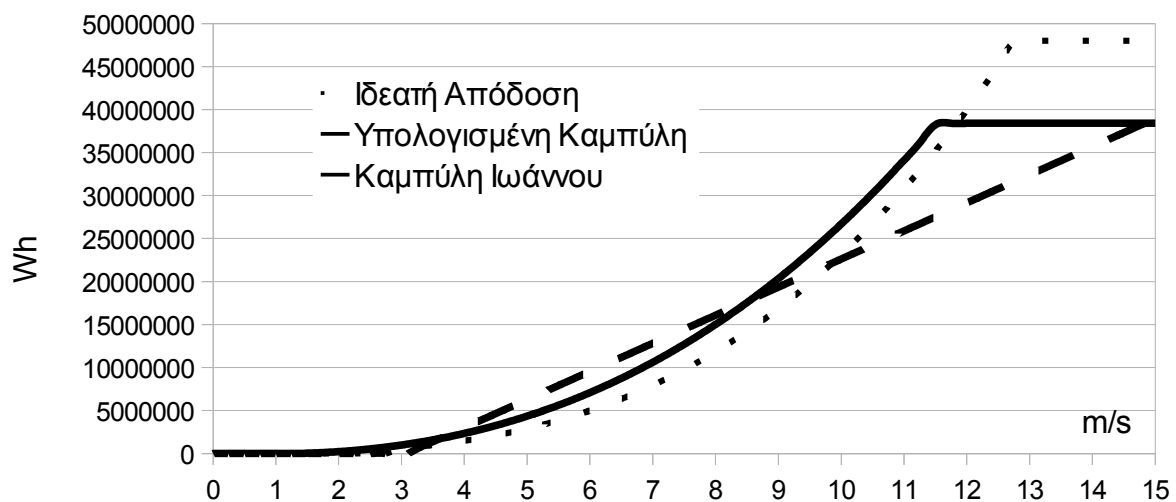
$$\begin{aligned}
 x < 1.5 \text{ m/s} &\rightarrow f(x) = 0 \text{ Wh} \\
 1.5 \text{ m/s} \leq x < 11.5 \text{ m/s} &\rightarrow f(x) = (11752x^3 + 186477x^2 - 387116x + 153668) \text{ Wh} \\
 11.5 \text{ m/s} \geq x &\rightarrow f(x) = 38400000 \text{ Wh}
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$



Γράφημα 5: Συσχέτιση μέσης ημερήσιας ταχύτητας ανέμου και ημερήσιας παραγόμενης ενέργειας από τη μοντελοποιημένη ανεμογεννήτρια (2MW) σε 3 μετεωρολογικούς σταθμούς.

Η οποία όπως φαίνεται στο γράφημα 6 έχει παντού μεγαλύτερη τιμή από μια υποθετική

περίπτωση όπου η μέση ημερήσια ταχύτητα του ανέμου ταυτίζεται με την στιγμιαία καθ όλη τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό υποθέτουμε ότι συμβαίνει μέχρι τα 11,5 m/s όπου και παράγεται το 80% περίπου της ενέργειας της ιδεατής περίπτωσης όπου η ανεμογεννήτρια δουλεύει στην ονομαστική της ισχύ επί 24ώρου βάσεως. Στα δεδομένα μας δεν υπάρχει μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου πάνω από 10 m/s, είναι όμως μια υπόθεση η οποία επιβεβαιώνεται συγκρίνοντας με την αντίστοιχη διαδικασία του Ιωάννου^[8] (2012) στην οποία η μέγιστη ημερήσια ενέργεια είναι ίση με το 80% της ενέργειας που θα παραγόταν από την 24ωρη συνεχή λειτουργία στην ονομαστική ισχύ. Σημειώνεται ότι έχει γίνει αναγωγή των μεγεθών της εργασίας του Ιωάννου^[8] στην οποία οι ανεμογεννήτριες είχαν ονομαστική ισχύ 7.5 MW ενώ στην παρούσα εργασία οι ανεμογεννήτριες έχουν ονομαστική ισχύ 2.0 MW.



Γράφημα 6: Σύγκριση υπολογισμένης καμπύλης μέσης ημερήσιας ταχύτητας ανέμου και παραγόμενης ενέργειας (βάση της συνάρτησης 2.6.1) με την ιδεατή περίπτωση όπου έχουμε σταθερή ταχύτητα ανέμου καθ όλη τη διάρκεια του 24ώρου και της αντίστοιχης καμπύλης που προέκυψε από εργασία του Ιωάννου (2012)^[8].

Γνωρίζοντας ότι οι ανεμογεννήτριες είναι κοντά η μία στην άλλη κάνουμε την παραδοχή ότι έχουμε 100% συσχέτιση του ανέμου που τις κινεί, οπότε όλες οι ανεμογεννήτριες διατρέχονται απ τον ίδιο άνεμο οπότε για K ανεμογεννήτριες ίδιου τύπου η απόδοση είναι K φορές η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας.

Δεδομένου ότι στο δείγμα δεν είχαμε μέση ημερήσια ταχύτητα πάνω από 10 m/s αλλά ούτε μέση ταχύτητα δεκαλέπτου πάνω από 20 m/s μπορούμε με ασφάλεια να πούμε ότι για όλες τις μέσες ημερήσιες τιμές πάνω από 11,5 m/s η απόδοση είναι στο 80% της ιδεατής μιας ανεμογεννήτριας 2 MW δηλαδή 38.4 MWh.

2.7 Τα φωτοβολταϊκά πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι επιφάνειες οι οποίες παράγουν διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού -και άρα ενέργεια- όταν δεχθούν ηλιακή ακτινοβολία μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση ημιαγώγιμων υλικών και με την ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ φωτονίων και ηλεκτρονίων.



*Εικόνα 5: Φωτοβολταϊκά πάνελ εγκατεστημένα σε φωτοβολταϊκό πάρκο.
(Πηγή ιστοσελίδα Olympus trade group^[9])*

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα στα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι οι μονοκρυσταλλικού, πολυκρυσταλλικού και άμορφου Πυριτίου, τελλουριούχου καδμίου και δισεληνίδιου χαλκού, ινδίου και γαλλίου. (Mark Z. Jacobson 2009^[10]). Ο βαθμός απόδοσης των στοιχείων της αγοράς κυμαίνεται από 12-18% ενώ σε εξέλιξη βρίσκονται στοιχεία με απόδοση πάνω από 40% από την Spectrolab^[11].

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πάνελ μετράται σε Wp (Watts Peak) που είναι η μέγιστη απόδοση σε W του φωτοβολταϊκού πάνελ κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και με ένταση ακτινοβολίας συγκεκριμένης φασματικής κατανομής 1000 W.

Σε εργασία τους οι Κυμάκης, Καλυκάκης και Παπάζογλου αξιολογούν την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου στην Κρήτη, κάνοντας εκτίμηση των συνολικών απωλειών του πάρκου από διάφορους παράγοντες όπως είναι οι απώλειες των συστημάτων μετατροπής και μεταφοράς (εντός πάρκου) καθώς και την μειωμένη απόδοση λόγω της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Έτσι έχουμε την δυνατότητα να πάρουμε ρεαλιστικά δεδομένα για την απόδοση ενός συστήματος που αποτελείται από φωτοβολταϊκά πάνελ. Στο φωτοβολταϊκό πάρκο της προαναφερθείσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν 1428 πάνελς τύπου MSX 120 της Solarex, τύπου πολυκρυσταλλικού πυριτίου και 60 inverters Sunny Boy SB2500 μαζί με τον

αντίστοιχο μετρητικό εξοπλισμό θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας. Το σύστημα αυτό θεωρείται τυπικό και παρούσα εργασία θα γίνει η παραδοχή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ίδιας απόδοσης και χαρακτηριστικών.

Η συνολική ενέργεια από ακτινοβολία που δέχθηκε το πάρκο στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών πάνελ κατά το έτος 2007 ήταν 1984.38 KW/m² και η μέση θερμοκρασία 16,46C. Ο υπολογισμός των απωλειών από μεταβολή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας είναι δύσκολο να εκτιμηθεί -αν και είναι εφικτό με χρήση τύπου που δίνεται απαιτείται διόρθωση για κάθε χρονικό βήμα- οπότε δεν θα γίνει διόρθωση με βάση την μέση θερμοκρασία της ιδεατής τοποθεσίας όπου εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Από αυτή την ηλιακή ακτινοβολία παρήχθησαν 229 MW ενέργειας. Προκύπτει ότι παραγόμενη ενέργεια για κάθε μήνα είναι ανάλογη της συνολικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία άρα η απόδοση ισχύος του φωτοβολταϊκού φαίνεται να έχει γραμμική σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι υπολογίζεται ο ετήσια απόδοση του συστήματος του πάρκου (capacity factor) σε:

$$CF = \frac{E}{R_p \times 365 \times 24h} = \frac{229MWh}{(1428 \times 120w) \times 8760h} = \frac{229MWh}{1501.114MWh} = 15.26\%$$

2.7 1

Όπου E η ετήσια παραγόμενη ετήσια ενέργεια από το σύστημα και R_p η ονομαστική ισχύς (Rated Power) του συστήματος (1428 panel ονομαστικής ισχύος 120 W έκαστο) για λειτουργία ενός χρόνου.

Ο βαθμός απόδοσης του πάνελ (Performance Rating) υπολογίζεται διαφορετικά και ανάγεται στην συνολική ηλιακή ενέργεια που δέχτηκε το σύστημα.

$$P_{out} = P_{in} \times W_p \times PR \quad \text{Εξίσωση 2.7 2}$$

Όπου P_{out} η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς, P_{in} η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας, W_p η ονομαστική ισχύς και PR ο βαθμός απόδοσης.

Με την παραδοχή ότι το το φαινόμενο είναι γραμμικό μπορώ να πολλαπλασιάσω με αυθαίρετο χρονικό βήμα τις δύο εξισώσεις και να συγκρίνω ενέργειες εισόδου και εξόδου:

$$P_{out} = P_{in} \times W_p \times PR \rightarrow P_{out} \times t_{year} = P_{in} \times t_{year} \times W_p \times PR \rightarrow$$

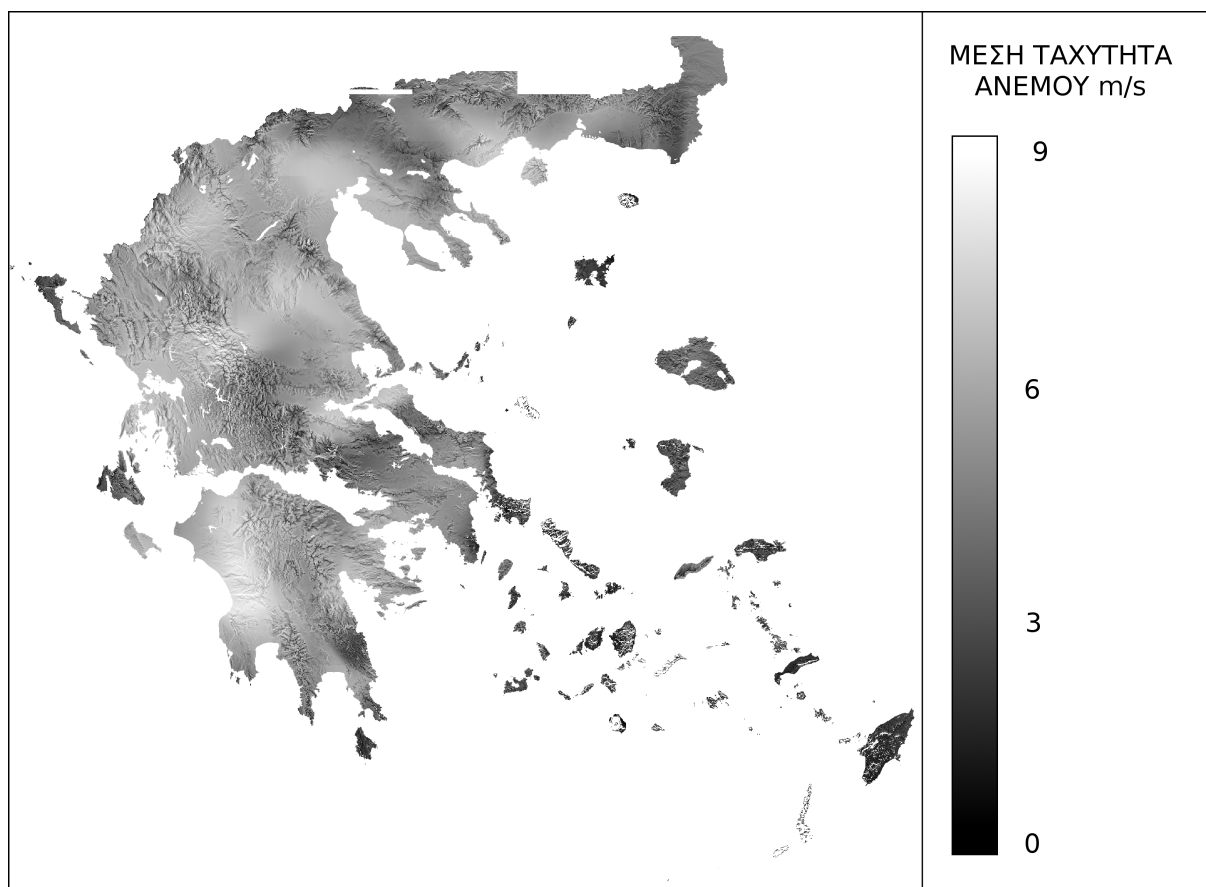
$$229MWh = 1984.38kWh \times \left(\frac{120W}{1000W} \times 1428 \right) \times PR \rightarrow PR = 67.357\% \quad 2.7 3$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι παραγόμενη ενέργεια από κάθε χρονικό βήμα του αριθμητικού μοντέλου θα προκύπτει σαν γινόμενο της ονομαστική ισχύος , τον βαθμό απόδοσης, της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και του χρονικού βήματος.

2.8 Υπολογισμός στατιστικών μεγεθών ταχύτητας ανέμου.

Για τα δεδομένα του ανέμου αναζητήθηκαν δεδομένα από μετεωρολογικό σταθμό που βρισκόταν σε υψηλότερο υψόμετρο από τους συνηθισμένους ώστε το προφίλ των μετρήσεων του ανέμου να είναι συμβατό με αυτό που περιμένει κανείς στις τοποθεσίες όπου είναι οικονομικά συμφέρον να τοποθετηθεί μια ανεμογεννήτρια. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός του Αίνου της Κεφαλλονιάς.

Η επιλογή διαφορετικών σταθμών για μετρήσεις ταχύτητας ανέμου και εντάσεως ηλιακής ακτινοβολίας έγινε από ανάγκη οι μετρήσεις να είναι αντιπροσωπευτικές των περιοχών που εγκαθίστανται φωτοβολταϊκά πάνελς και ανεμογεννήτριες. Λόγω αυτής της επιλογής όμως χάνεται η όποια ευκαιρία υπήρχε για συσχέτισης δεδομένων ηλιοφάνειας και ταχύτητας ανέμου, πράγμα που δεν επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα γιατί δεν λαμβάνεται υπόψιν στο αριθμητικό μοντέλο η συσχέτιση αυτή.



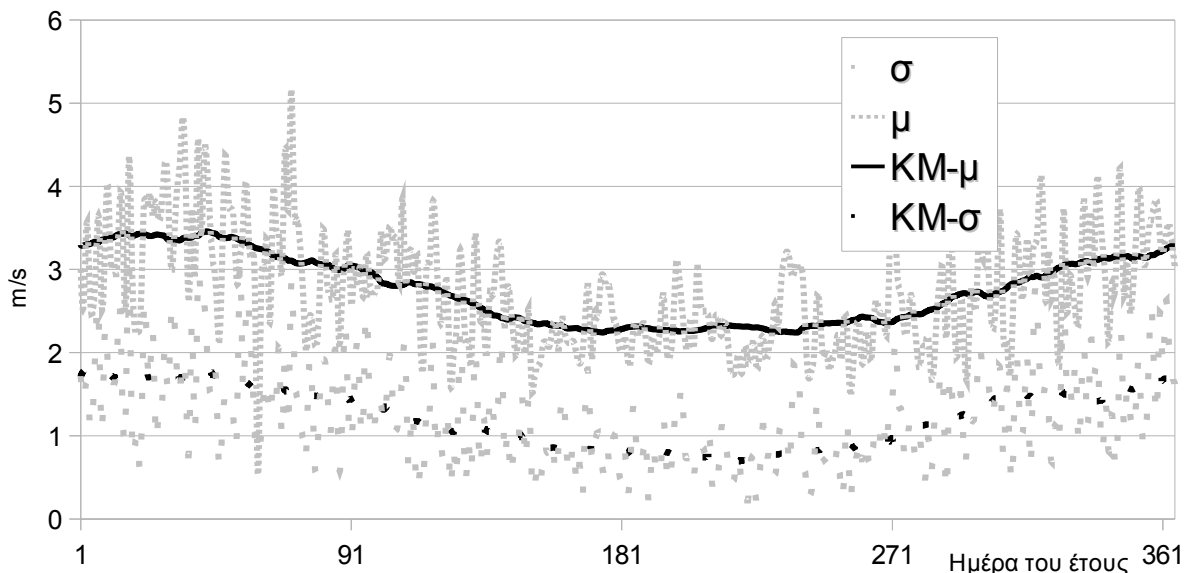
Εικόνα 6: Η μέση ταχύτητα του ανέμου στον ελληνικό χώρο σε ύψος 40m. Πηγή ιδία επεξεργασία δεδομένων του ΚΑΠΕ^[13]

Παρότι η τοποθεσία του σταθμού μοιάζει κατάλληλη για τοποθέτηση ανεμογεννήτριας παρατηρεί κανείς ότι η μέση ταχύτητα ανέμου είναι 2.76 m/s τιμή αρκετά μικρότερη από την

τιμή που αναφέρεται στην διεθνή βιβλιογραφία ως προαπαιτούμενο για μια οικονομικά συμφέρουσα εγκατάσταση ανεμογεννήτριας. Αυτή η ασυμφωνία οφείλεται στη διαφορά ύψους οργάνου και ύψους ανεμογεννήτριας, λόγω της διαφοράς της ταχύτητας του ανέμου καθώς το υψόμετρο αυξάνει (wind gradient). Η σχέση που δίνει την μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999^[14]) έχει ως εξής:

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}} \quad 2.8.1$$

Όπου u_1 και u_2 οι ταχύτητες του ανέμου και z_1 και z_2 τα υψόμετρα στα σημεία 1 και 2, ενώ το z_0 είναι ο συντελεστής τραχύτητας του εδάφους. Δεδομένου ότι η μέση ετήσια τιμή του ανέμου από το δείγμα προσδιορίστηκε στα 2.76 m/s στο ύψος οργάνου για το οποίο ελήφθη τιμή 6 m και η μέση ετήσια τιμή στο που δίνει το κέντρο ανανεώσιμων πηγών Ελλάδος (ΚΑΠΕ) είναι 6.35 (μέσω διγραμμικής παρεμβολής στα στοιχεία του κανάβου του ΚΑΠΕ) για το ύψος των 40 m ο οπότε λύνοντας την εξίσωση 2.8.1 ως προς z_0 συντελεστής τραχύτητας προσδιορίζεται σε 1.4. Σαν τυπικό ύψος μιας ανεμογεννήτριας 2 MW ελήφθησαν τα 90 m ενώ. Έτσι προκύπτει ότι u_2 προς u_1 ισούται με 2.86. Όλο το στατιστικό δείγμα θα πολλαπλασιαστεί επί τον συντελεστή αυτόν με την μέση τιμή να φτάνει τα 8,94 m/s και την διασπορά να παραμένει η ίδια.



Γράφημα 7: Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της ταχύτητα τους ανέμου για τον μετεωρολογικό σταθμό Αίνου στην Κεφαλλονιά για κάθε ημέρα του έτους (δεδομένα 6 ετών) καθώς και οι κυλιόμενοι μέσοι 2 μηνών των μεγεθών αυτών.

Το δείγμα που συλλέχθηκε από τον μετεωρολογικό σταθμό για την περίοδο 01/01/2006 μέχρι 31/12/2012 με περίοδο καταγραφής τα 10 λεπτά μετατράπηκε σε ημερήσιο δείγμα με το πρόγραμμα hydrognomon, και για κάθε μέρα του έτους υπολογίστηκε μια μέση τιμή και μια τυπική απόκλιση όπως φαίνεται στο γράφημα 7. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο κυλιόμενος μέσος της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης για διάστημα 2 μηνών. Δεν υπάρχει πρόβλεψη φαινομένων αυτοσυσχέτισης από το αριθμητικό μοντέλο οπότε ο συντελεστής Hurst θα ισούται με 0.5.

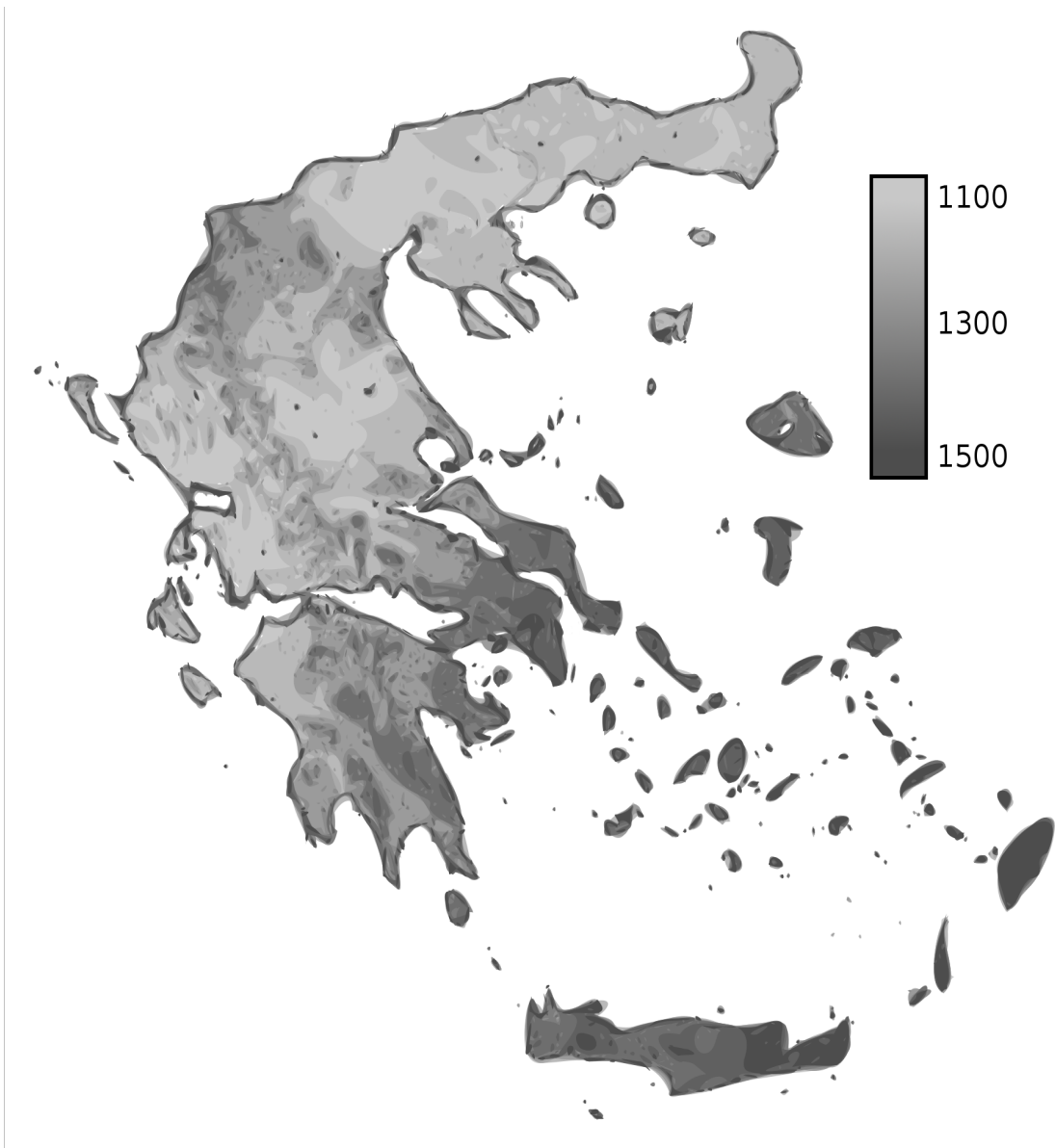
2.9 Υπολογισμός στατιστικών μεγεθών ηλιοφάνειας.

Μετά από μελέτη διαφορετικών πηγών ^{[15],[16]} για την μέση ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα καθώς και για την συνολική μέση ενέργεια που φτάνει στο έδαφος αναζητήθηκαν δεδομένα λεπτομερέστερα δεδομένα. Αρκετές χρονοσειρές δεδομένων ηλιοφάνειας έδιναν στατιστικά μεγέθη που δεν ανταποκρινόταν ούτε χονδρικά στις προηγούμενες τιμές, πράγμα που είναι λογικό αν ληφθούν υπόψιν παράγοντες όπως κακή βαθμονόμηση, λάθος κλίση ή πιθανή σκίαση από αντικείμενα. Τελικώς επιλέχθηκαν τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Πεντέλης που καλύπτουν το διάστημα 08/11/2005-07/01/2013. Μετά από συνάθροιση (aggregation) των χρονοσειρών με το πρόγραμμα hydrognomon προέκυψαν μέσες ημερήσιες και μέσες μηνιαίες τιμές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Μετά από σύγκριση των τιμών της μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας ($W/day/m^2$) και της συνολικής ετήσιας ακτινοβολίας ($kWh/day/m^2$) με τις αντίστοιχες τιμές από τις προαναφερθείσες πηγές δημιουργήθηκαν στατιστικά δεδομένα για κάθε μέρα του έτους ξεχωριστά για όλη την περίοδο που υπήρχε καταγραφή δεδομένων (η 29 Φεβρουαρίου παραλήφθηκε).

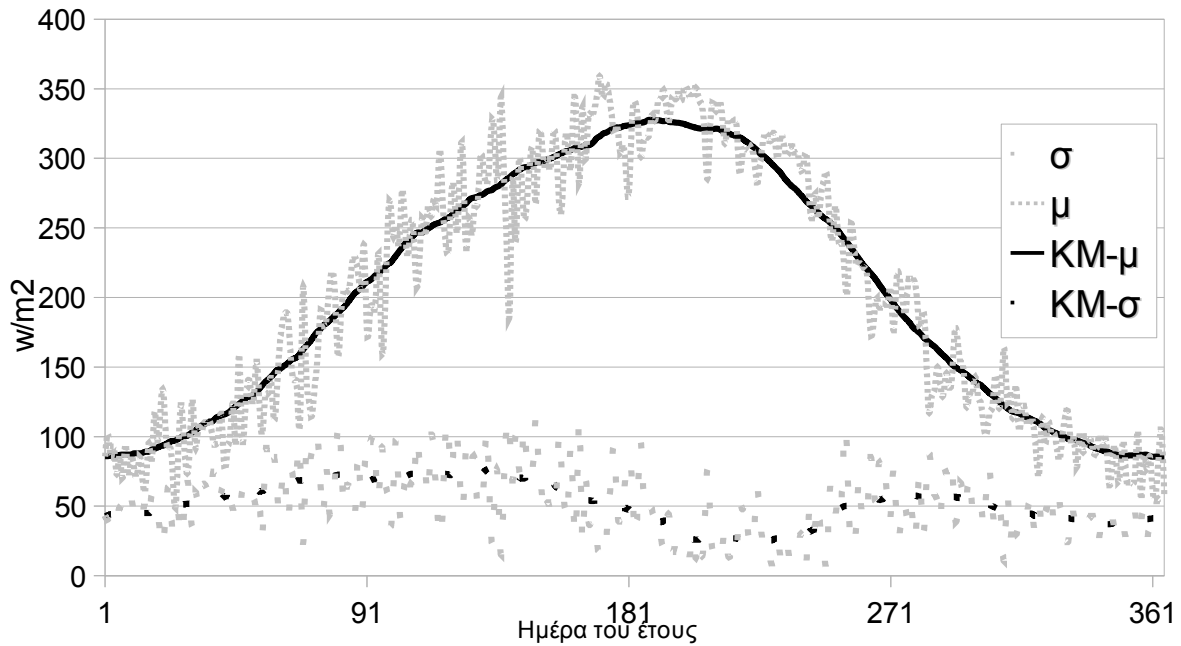
Τα στατιστικά δεδομένα αυτά είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για κάθε ημέρα. Δεδομένου του ότι το πλήθος των παρατηρήσεων για κάθε μέρα είναι μικρό (6 ή 7 για κάθε ημέρα) παρατηρούνται διακυμάνσεις λόγω της τυχαιότητας του φαινομένου. Επειδή ο παράγοντας που επηρεάζει την ένταση της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας είναι το ύψος του ηλίου μπορούμε να δεχτούμε σαν στατιστικά μεγέθη για την εκάστοτε μέρα τον κυλιόμενο μέσο της μέσης τιμής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας για την ημέρα αυτή και αντίστοιχα τον κυλιόμενο μέσο της τυπικής απόκλισης. Μετά από διαδοχικές δοκιμές παρατηρήθηκε ότι ο κυλιόμενος μέσος 2 μηνών δίνει αρκετά ομαλή καμπύλη χωρίς όμως να αλλοιώνει τα ελάχιστα του χειμώνα και τα μέγιστα του καλοκαιριού.

Η διασπορά με μέγιστη τιμή το 0,53 ξεπερνά ελάχιστα το 0,50 για μόλις 25 ημέρες κατά τη διάρκεια του έτους οπότε η παραδοχή που γίνεται στο κεφάλαιο 2.11 για τα στατιστικά μεγέθη των παραγόμενων τιμών από τη γεννήτρια τυχαίων αριθμών συνεχίζει να ισχύει.

Να σημειωθεί ότι δεν υπολογίστηκε ο παράγοντας τις αυτοσυσχέτισης οπότε η γεννήτρια τυχαίων αριθμών αναμένεται να δώσει δείγμα με συντελεστή hurst 0.5.



Εικόνα 7: Ελληνικός χάρτης συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με φωτοβολταϊκά ισχύος 1kWp, η ενέργεια είναι εκφρασμένη σε kWh/kWp, (Πηγή: Ιδία επεξεργασία από δεδομένα της European Commision Joint Research Centre^[15])



Γράφημα 8: Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας για το μετεωρολογικό σταθμό Πεντέλης για κάθε ημέρα του έτους (δεδομένα 6 ετών) καθώς και οι κυλιόμενοι μέσοι 2 μηνών των μεγεθών αυτών.

2.10 Υπολογισμός στατιστικών μεγεθών ζήτησης

Η ΔΕΣΜΗΕ παρέχει δεδομένα για κάθε ώρα του χρόνου που αφορούν την παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα, τις εισαγωγές και τις εξαγωγές αυτού, το διαθέσιμο αρχείο της καλύπτει το διάστημα από 01/01/2004 μέχρι 10/01/2011. Δίνεται έτσι η επιλογή του ωριαίου χρονικού βήματος αν και θα χρησιμοποιηθεί το ημερήσιο. Έτσι από περίπου 2900 παρεχόμενα αρχεία excel (ένα για κάθε ημέρα) επιλέχθηκαν οι τελικές καταναλώσεις για όλη την Ελλάδα χωρίς τις απώλειες.

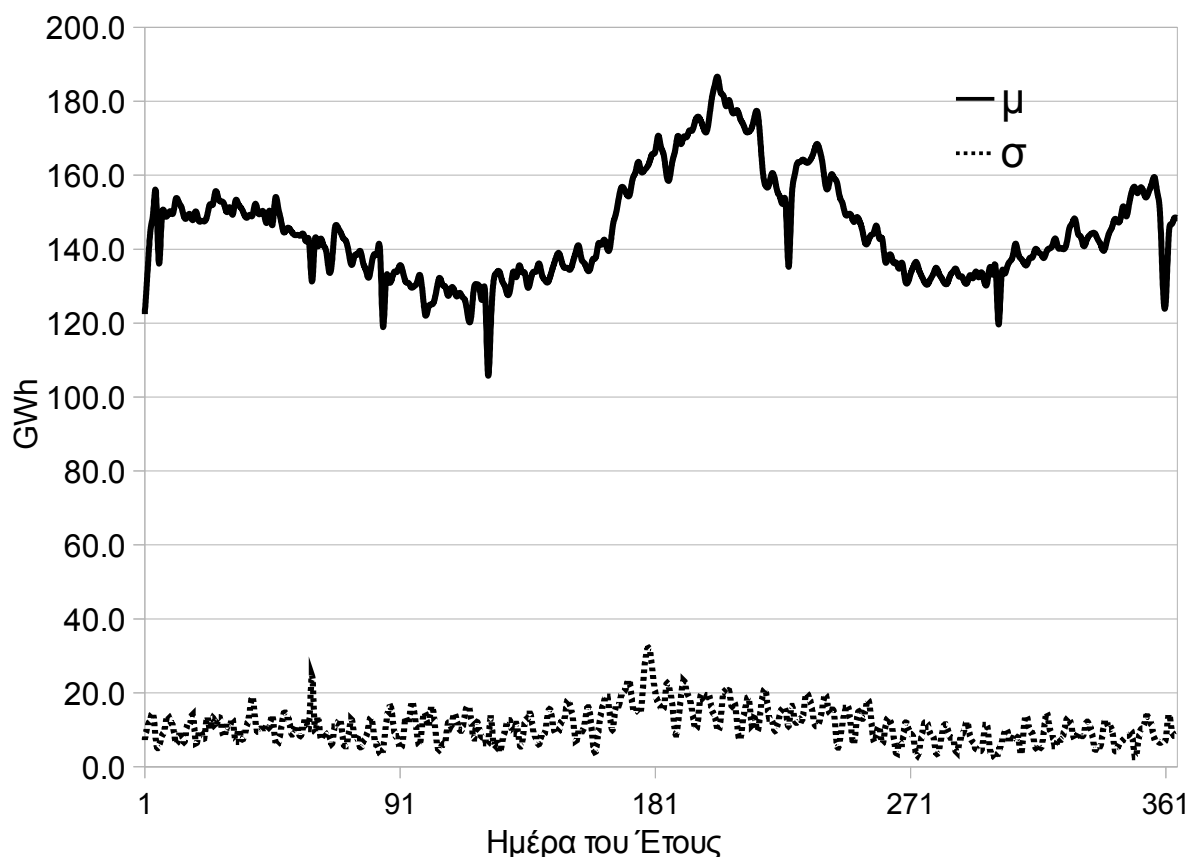
Οι τιμές αυτές συγκεντρώθηκαν και παράχθηκε για κάθε ημέρα του έτους μια μέση τιμή και μια τυπική απόκλιση (8 συνολικά δείγματα για κάθε ημέρα, όσα και τα έτη) με επεξεργασία ανάλογη αυτής που έγινε για τα μεγέθη της ηλιοφάνειας, με τη διαφορά ότι δεν χρησιμοποιήθηκε κυλιόμενος μέσος. Η χρήση του αποφεύχθηκε γιατί θα χανόταν πληροφορία που αφορά αιχμές προς τα κάτω σε αργίες και σαββατοκύριακα όπως φαίνεται στο γράφημα 9. Με μέση διασπορά κάθε δείγματος (8 ημερών) ήταν της τάξης του 0,076 οπότε η διακυμάνσεις της τιμής της κατανάλωσης για την ίδια μέρα του έτους διαφορετικών ετών είναι μικρές.

Επειδή οι τιμές αυτές θα αναχθούν σε κάποιο πληθυσμό και ο πληθυσμός μιας χώρας

δεν είναι σταθερός διερευνήθηκε το ενδεχόμενο να γίνει διόρθωση των μεγεθών κάθε έτους πριν τη στατιστική επεξεργασία ανάλογα με τον πληθυσμό της χώρας το αντίστοιχο έτος. Μια εκτίμηση του πληθυσμού θα μπορούσε να δοθεί με γραμμική παρεμβολή των τιμών του πληθυσμού ανάμεσα στις απογραφές. Δεδομένου όμως ότι η απογραφή του 2011 παρουσίασε αμελητέα μείωση σε σχέση με το 2001 από 10 934 097 σε 10 815 197 κατοίκους (2012 Ελληνική Στατιστική Αρχή) μπορεί να γίνει μια παραδοχή σταθερού πληθυσμού 10 850 000 κατοίκων για όλη τη διάρκεια των δεδομένων (2004-2011) χωρίς επιμέρους διορθώσεις. Τα μεγέθη που παρατηρήθηκαν για όλη την Ελλάδα στη διάρκεια αυτή έχουν ως εξής:

Μέση ημερήσια κατανάλωση 145.42 GWh για το σύνολο της Ελλάδας, η οποία αντιστοιχεί σε 13.4 kWh ανά ημέρα ανά άτομο. Η τυπική απόκλιση των μεγεθών αυτών ήταν 18.00 GWh και 1.659 kWh αντίστοιχα.

Συνολική ετήσια κατανάλωση 53.114 TWh για το σύνολο της Ελλάδας η οποία αντιστοιχεί σε 4.895 MWh ανά άτομο ανά έτος.



Γράφημα 9: η μέση ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για κάθε ημέρα του έτους: μέση τιμή και τυπική απόκλιση αυτής. Εμφανείς οι αρνητικές αιχμές για τις αργίες και τα Σαββατοκύριακα (Πηγή: ίδια επεξεργασία δεδομένων ΔΕΣΜΗΕ^[17])

Η αναγωγή από τον πληθυσμό της Ελλάδας σε μικρότερο πληθυσμό θα γίνει αναλογικά χωρίς να εισαχθεί συντελεστής αιχμής. Μιας και η διαστασιολόγηση που επιχειρείται να γίνει εμπεριέχει την έννοια της αποθήκευσης και η στιγμιαία αιχμή δεν είναι αυτή που καθορίζει το επίπεδο της υπηρεσίας μπορούμε να υποθέσουμε ότι δεν συνιστά σφάλμα το να μη ληφθούν συντελεστές αιχμής.

Όπως και στα μεγέθη της ηλιοφάνειας και του ανέμου δεν έγινε έλεγχος αυτοσυσχέτισης έτσι και εδώ η γεννήτρια τυχαίων αριθμών αναμένεται να δώσει δείγμα με συντελεστή hurst 0.5.

2.11 Η επιρροή του μέγεθους της διασποράς στο μοντέλο.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, χάριν απλότητας και ευκολίας στη επεξεργασία των δεδομένων θα γίνει η παραδοχή της κανονικής κατανομής των μετεωρολογικών μεγεθών. Αφού υπολογιστεί η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση η γεννήτρια τυχαίων αριθμών θα παράγει τυχαίο δείγμα με συγκεκριμένη μέση τιμή και τυπική απόκλιση. Οι αρνητικές τιμές, χωρίς φυσική σημασία, θα αντικαθίστανται με μηδέν. Έτσι όμως το δείγμα που θα δημιουργηθεί από την γεννήτρια που θα έχει τις αρνητικές τιμές αυτού υποκατεστημένες το με μηδέν περιμένουμε να έχει μεγαλύτερη μέση τιμή και μικρότερη τυπική απόκλιση από αυτούσιο το δείγμα της γεννήτριας.

Για το σκοπό αυτό πρέπει να ελεγχθεί ποια μ και σ μπορούν να δημιουργήσουν νέα σύνολα δεδομένων που στην περίπτωση όπου οι αρνητικές τους τιμές αντικατασταθούν με μηδέν, τότε στα σύνολα αυτά το νέο μ' και σ' θα διαφέρει σημαντικά από το μ και σ που τα δημιούργησαν. Για το σκοπό αυτό θα παραγάγουμε τυχαία δεδομένα με μέση τιμή 1 και μεταβλητή διασπορά (η οποία για μέση τιμή 1 ταυτίζεται με την τυπική απόκλιση) και στη συνέχεια αφού αντικαταστήσουμε τις αρνητικές τιμές με μηδέν και υπολογίσουμε τα νέα μ' και σ' θα υπολογίσουμε τη διαφορά $\mu'-\mu$ και $\sigma'-\sigma$.

Όπως φαίνεται στο γράφημα το οποίο παράχθηκε προσεγγιστικά με αριθμητική μέθοδο για τιμές διασποράς μέχρι 0.35 οι διαφορές των δύο κατανομών είναι σχεδόν μηδέν ενώ ακόμα και για διασπορά 0.7 η νέα μέση τιμή είναι μόλις 3% μεγαλύτερη ενώ η τυπική απόκλιση μόλις 4% μικρότερη. Για μεγαλύτερες τιμές έχουμε σχεδόν εκθετική αύξηση. Έτσι φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι δεδομένα ταχυτήτων ανέμων με διασπορά μικρότερη από 0.7 είναι “Ασφαλή” για τους υπολογισμούς μας.



Γράφημα 10: Η μεταβολή της μέσης τιμής και της διασποράς μιας κανονικής κατανομής ($\mu = 1$ και σ) και μιας νέας κατανομής (μ' και σ') η οποία προκύπτει από το δείγμα της πρώτης όταν σε αυτό έχουμε αντικαταστήσει όλες τις αρνητικές τιμές με το μηδέν). Η διασπορά σ φαίνεται στο οριζόντιο άξονα (Πηγή: ίδια επεξεργασία – αριθμητικό μοντέλο.)

2.12 Ο ταμιευτήρας και τα χαρακτηριστικά του

Αν η ζήτηση για ενέργεια καλυπτόταν από ένα μη διασυνδεδεμένο με το δίκτυο σύστημα ανανεώσιμων πηγών ασυμφωνία της προσφοράς και της ζήτησης κάθε στιγμή είτε σε αποτυχία της κάλυψης των αναγκών δηλαδή σε αστοχία του συστήματος είτε σε πλεόνασμα δηλαδή σε σπατάλη ενέργειας.

Για το λόγο αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια διάταξη αποθήκευσης ενέργειας: τέτοιες διατάξεις είναι οι χημικές μπαταρίες, οι πυκνωτές, και συστήματα αποθήκευσης μηχανικής ενέργειας όπως οι σφόνδυλοι (κινητική ενέργεια) και οι αντλησοταμίευση νερού (δυναμική ενέργεια). Οι πυκνωτές έχουν ιδανικά χαρακτηριστικά για αποθήκευση ενέργειας, αποδίδουν σχεδόν όλη την αποθηκευμένη ενέργεια με ελάχιστες απώλειες και με οποιοδήποτε ρυθμό (ισχύς) χωρίς φθορές, αλλά έχουν υψηλό κόστος ανά μονάδα ενέργειας και μικρή χωρητικότητα. Οι χημικές μπαταρίες με μεγαλύτερες απώλειες (ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας), έχουν πεπερασμένη ισχύ και φθείρονται όταν τους ζητηθεί μεγάλη ισχύς ή πέσουν σε χαμηλά επίπεδα φόρτισης (επίσης ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας). Τέλος δεν είναι οικονομικά συμφέρουσες για εφαρμογή μεγέθους όπως αυτού που εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Από τα μηχανικά συστήματα αυτό που μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλες ποσότητες ενέργειας αναλογικά με το κόστος του είναι ένα σύστημα ταμιευτήρων με αντλησοταμίευση.

Τα συστήματα αντλησοταμίευσης παράγουν ενέργεια λειτουργώντας σαν υδροηλεκτρικά εργοστάσια με τη διαφορά ότι η διαδικασία είναι αντιστρεπτή για τις περιόδους όπου υπάρχει περίσσεια παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος οπότε υπάρχει άντληση νερού στον ταμιευτήρα και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με την μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε κινητική η οποία κινεί τον υδροστρόβιλο δίνεται από την εξίσωση:

$$P_E = P_D * n_1 = \frac{dE}{dt} * n_1 = \frac{dm}{dt} * g * h * n_1 = \frac{dv}{dt} * \rho * g * h * n_1 = Q * \rho * g * h * n_1 \quad 2.12 \ 1$$

Ενώ ο ρυθμός αποταμίευσης δυναμικής ενέργειας από άντληση του νερού δίνεται από την εξίσωση:

$$P_D = P_E * n_2 \rightarrow P_E = \frac{PD}{n_2} = \frac{dE}{dt} \frac{1}{n_2} = \frac{dm}{dt} \frac{g * h}{n_2} = \frac{dv}{dt} \frac{\rho * g * h}{n_2} = \frac{Q * \rho * g * h}{n_2} \quad 2.12 \ 2$$

Όπου

PE = Ισχύς ηλεκτρικής ενέργειας

PD = ρυθμός μεταβολής δυναμικής ενέργειας

m = μάζα νερού (kg)

v = όγκος νερού (m³)

ρ = πυκνότητα νερού (1000 kg/m³)

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s²)

h = διαφορά ύψους ταμιευτήρων (m)

Q = παροχή νερού (m³/s)

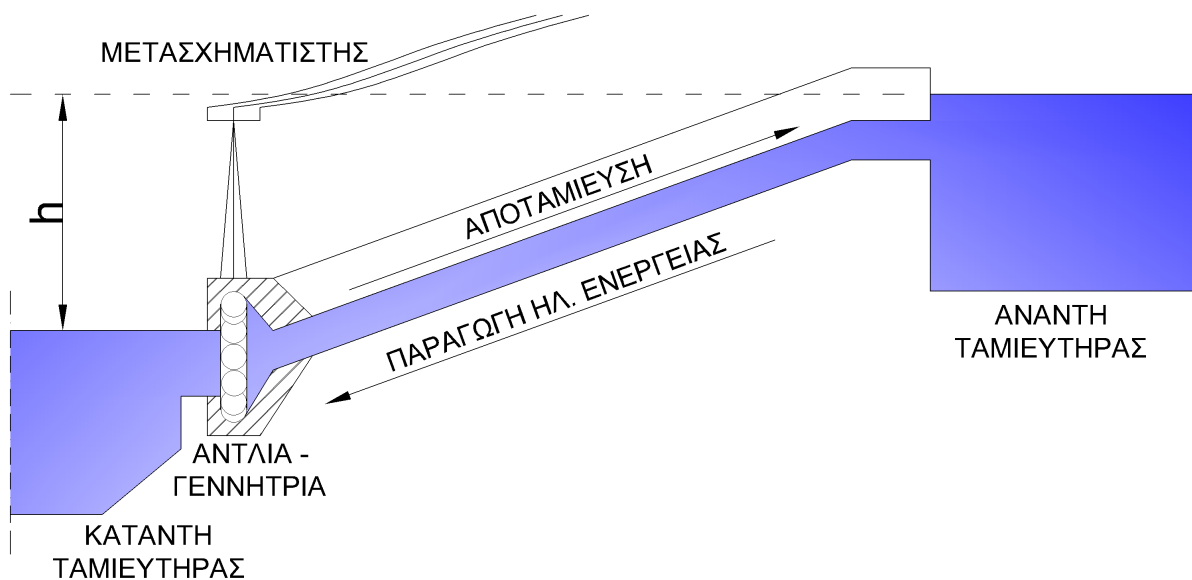
n1 = ο βαθμός απόδοσης της μετατροπής της δυναμικής ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική, στο σύστημα υδροστρόβιλου και γεννήτριας συνήθως 0,9 σε τελευταίας τεχνολογίας εγκαταστάσεις.

n2 = ο βαθμός απόδοσης της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε δυναμική του νερού στο σύστημα αντλίας και κινητήρα λαμβάνεται 0,9 σε τελευταίας τεχνολογίας εγκαταστάσεις.

Ο τύπος αυτός αν ολοκληρωθεί επί χρονικού βήματος δίνει μετατροπή σε μονάδες ενέργειας και επειδή το φαινόμενο είναι γραμμικό μπορεί να πολλαπλασιαστεί με οποιαδήποτε μονάδα χρόνου: έτσι η ηλεκτρική ισχύς μετατρέπεται σε Wh και η παροχή του νερού σε ποσότητα.

Αγνοώντας τις για υψομετρική διαφορά 100 m, 1 m³ νερού ισοδυναμεί με, 0.2725 kWh ενέργειας, μια αρκετά μικρή ποσότητα ενέργειας για τον όγκο του νερού. Αν με την ενέργεια

αυτή επιχειρούσαμε να ζεστάνουμε τον ίδιο όγκο νερού θα ανεβάζαμε την θερμοκρασία του μόλις κατά 0.23C. Σε ένα άλλο παράδειγμα με δεδομένη την υπολογισμένη κατανάλωση 13.4 kWh ανά ημέρα ανά άτομο για ένα νησί σαν την Κέρκυρα του οποίου ο πληθυσμός μαζί με τουρίστες διπλασιάζεται το καλοκαίρι στις 200.000 άτομα, χρειαζόμαστε για 4 ημέρες κάλυψη των αναγκών συνολική ενέργεια της τάξης των 8,04 GWh που αντιστοιχεί σε όγκο νερού 39,3 hm³ ελάχιστα λιγότερο απ την χωρητικότητα της λίμνης του Μαραθώνα. Δεδομένου ότι μια οικονομικά συμφέρουσα λύση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με αντλησοταμίευση θα προκύψει σε ένα νησί από το γεγονός ότι δεν χρειάζεται να υλοποιηθεί δίκτυο μεταφοράς, το μέγεθος του ταμιευτήρα υπάρχει περίπτωση να είναι περιοριστικός παράγοντας. Μια λύση για την αύξηση της χωρητικότητας σε ενέργεια είναι το η μεγαλύτερη διαφορά ύψους μεταξύ των ταμιευτήρων. Οι τουρμπίνες τύπου francis με την τρέχουσα τεχνολογία μπορούν να αντλήσουν νερό σε διαφορά υψομέτρου μεταξύ ταμιευτήρων μέχρι και 600 m (BraveNewClimate^[18] 2010). Στην παρούσα εργασία η χωρητικότητα του ταμιευτήρα θα εκφράζεται σε Wh οπότε θα είναι εύκολο να αναχθεί σε διάφορες χωρητικότητες και ύψη ταμιευτήρα για να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε κάποιο συμπέρασμα για το αν τελικώς είναι κατασκευαστικά εφικτές οι λύσεις που θα προκύψουν από τα αποτελέσματα. Για μια καλύτερη κατανόηση της τάξεως των μεγεθών 1 GWh ισοδυναμεί με 3.66 hm³ σε ύψος 100 m.



Εικόνα 8: Μονάδα αντλησοταμίευσης. Φαίνονται οι δυο ταμιευτήρες, η υψομετρική τους διαφορά, η αντλία - γεννήτρια και ο μετασχηματιστής – σύνδεση με το δίκτυο. Ο κατάντη ταμιευτήρας μπορεί να είναι και η θάλασσα. (Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

2.13 Έλεγχος – επαλήθευση μοντέλου φωτοβολταϊκών

Μια εκτίμηση των μέσων μεγεθών απόδοσης του αριθμητικού μοντέλου θα μας βοηθήσει να δούμε πόσο κοντά στην πραγματικότητα είναι τα δεδομένα και οι τύποι υπολογισμού που θα χρησιμοποιήσουμε:

Πίνακας 2 Ετήσια απόδοση φωτοβολταϊκών (Capacity Factor) σε διάφορες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών. (Πηγή: Us Department of Energy 2011^[19])

Πόλη	Γεωγραφικό Μήκος	Σταθερή Κλίση πάνελ	Κίνηση πάνελ σε 1 άξονα	Κίνηση πάνελ σε 2 αξόνες
Miami	25.767	20%	25%	26%
Fort Worth	32.717	21%	26%	28%
Phoenix	33.483	24%	31%	33%
Los Angeles	34.050	22%	27%	28%
Chicago	41.833	17%	22%	23%
Boston	42.350	18%	23%	24%
Seattle	47.617	14%	18%	19%

Το φωτοβολταϊκό πάνελ ονομαστικής ισχύος 120 Wp που έγινε η παραδοχή ότι θα χρησιμοποιηθεί σαν αντιπροσωπευτικό στην παρούσα εργασία μετρήθηκε ότι έχει συνολική απόδοση -μαζί με όλες τις απώλειες όλου του συστήματος μεταφοράς και μετατροπής σε εναλλασσόμενο ρεύμα- 67.357% της ονομαστικής, και τα δεδομένα για την ηλιοφάνεια έχουν μέση ετήσια τιμή 203.13 W/m². Η ονομαστική ισχύς αφορά την περίπτωση 100% απόδοσης υπό συνεχή ακτινοβολία 1000 W/m². Οπότε η ετήσια απόδοση των φωτοβολταϊκών θα είναι ίση με:

$$\frac{203.13 \text{ w/m}^2}{1000 \text{ w/m}^2} \times 67.357\% = 13.682\% \quad 2.13 \ 1$$

τιμή περίπου 5% μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή που θα υπολογιζόταν από τον προηγούμενο πίνακα για το ίδιο γεωγραφικό μήκος μέσω γραμμικής παρεμβολής. Αυτό οφείλεται στο ότι στον παραπάνω υπολογισμό της απόδοσης υπολογίστηκαν οι συνολικές απώλειες του φωτοβολταϊκού πάρκου. Σαν συμπέρασμα τα αποτελέσματα των υπολογισμών είναι συμβατά με την πραγματικότητα.

2.14 Έλεγχος – επαλήθευση μοντέλου ανεμογεννητριών

Για να δούμε κατά πόσο τα αποτελέσματα του αριθμητικού μοντέλου είναι συμβατά με την πραγματικότητα θα κάνουμε μια επαλήθευση του μοντέλου. Θα αθροίσουμε για κάθε μέρα του έτους την παραγόμενη ενέργεια η οποία θα προκύψει για την ιδεατή

ανεμογεννήτρια των 2 MW και την μέση τιμή του ανέμου εκείνης της ημέρας. Επειδή συνάρτηση της απόδοσης δεν είναι γραμμική σχέση ο υπολογισμός της ενέργειας με βάση τη μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου για κάθε ημέρα ενδεχομένως να υποεκτιμά τον ετήσιο βαθμό απόδοσης της ανεμογεννήτριας, μπορεί να μας δώσει όμως μια αρκετά προσέγγιση της τάξης μεγέθους του.

Η ετήσια απόδοση της ανεμογεννήτριας προσδιορίζεται από τον τύπο:

$$\frac{E_{produced}}{E_{optimal}} \quad 2.14 \ 1$$

όπου $E_{produced}$ η μέση ενέργεια που παράγεται κάθε έτος και $E_{optimal}$ η ενέργεια που θα παραγόταν εάν η ανεμογεννήτρια λειτουργούσε αδιάκοπα επί ένα έτος στην ονομαστική της ισχύ (η οποία σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στα φωτοβολταϊκά πάνελ ταυτίζεται με τη μέγιστη). Για το αριθμητικό μοντέλο λόγω του ημερησίου βήματος θεωρήσαμε ότι η ενέργεια E_i (εκφρασμένη σε Wh) που παράγεται για την ημέρα i του έτους με μέση ημερήσια τιμή ανέμου W_{s_i} (εκφρασμένη σε m/s) δίνεται από τη σχέση:

$$E_i = 11752 W_{s_i}^3 + 186477 W_{s_i}^2 - 387116 W_{s_i} + 153668 \quad 2.14 \ 2$$

και η συνολική ετήσια ενέργεια:

$$E_{produced} = \sum_{i=1}^{365} E_i \quad 2.14 \ 3$$

Ισχύει ότι:

$$E_{optimal} = 24h \times 365 \times P_{nominal} = 24h \times 365 \times 2MW = 17.52GWh \quad 2.14 \ 4$$

Μετά από αριθμητική ολοκλήρωση της σχέσης 2.14.3 λαμβάνουμε σαν αποτέλεσμα 5.53 GWh. Η σχέση 2.14.1 δίνει σαν αποτέλεσμα ετήσιο βαθμό απόδοσης 31.57%. Αν χρησιμοποιήσουμε το αντίστοιχο πολυώνυμο από την αντίστοιχη εργασία του X. Ιωάννου (Ιωάννου 2012^[8]) ο βαθμός απόδοσης ανέρχεται σε 32.79%, μόλις 3.8% μεγαλύτερο. Από τον πίνακα 3 παρατηρούμε ότι για την Ελλάδα ο μέσος βαθμός απόδοσης είναι στην ίδια τάξη μεγέθους. Ο πίνακας αναφέρεται στο μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης πανελλαδικά και δεδομένου ότι το σύστημα που μελετάμε αναφέρεται σε αυτόνομο σύστημα του οποίου η εφαρμογή αφορά κυρίως νησιά τα οποία έχουν μεγαλύτερες του μέσου όρου ταχύτητες ανέμου η διαφορά 1,67% αμελητέα, επαληθεύοντας το αριθμητικό μοντέλο.

Πίνακας 3: Μέσοι ετήσιοι βαθμοί απόδοσης ανεμογεννητριών ανά τον κόσμο.

(Boccard N 2008^[20])

Χώρα	Σύνολο Ονομαστικής Ισχύος (GWh)	Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας (TWh)	Ετήσια Απόδοση (Capacity Factor)
Ευρώπη των 15	56.3	97.7	20.80%
Γερμανία	22.2	33.7	17.50%
Ισπανία	14.1	28.8	24.80%
Δανία	3.1	6.1	22.80%
Ιταλία	2.7	4.2	19.10%
Ηνωμένο Βασίλειο	2.5	5.3	26.10%
Γαλλία	2.4	4.2	22.30%
Πορτογαλία	2.2	3.8	22.70%
Ολλανδία	1.7	3.5	21.50%
Αυστρία	1	2	20.10%
Ελλάδα	0.9	1.9	29.30%
Ιρλανδία	0.8	1.9	29.30%
Σουηδία	0.7	1.2	21.70%
Βέλγιο	0.3	0.5	20.00%
Πολωνία	0.3	0.5	25.90%
Καναδάς	2.4	4.4	22.30%
Ηνωμένες Πολιτείες	16.6	32.1	25.50%

3 Το αριθμητικό Μοντέλο

3.1 Η Δομή του αριθμητικού μοντέλου

Σε γλώσσα προγραμματισμού Pascal (freepascal/Lazarus IDE) αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα που δημιουργεί συνθετικές χρονοσειρές ταχύτητας ανέμου και έντασης ηλιακής ακτινοβολίας και με βάση τις χρονοσειρές αυτές εξομοιώνει την λειτουργία ενός υβριδικού συστήματος φωτοβολταϊκών συστημάτων και ανεμογεννητριών.

Με χρήση των δυνατοτήτων των σύγχρονων Η/Υ μπορούμε να δημιουργήσουμε στοχαστικές ανελίξεις με τόσο μεγάλο αριθμό βημάτων που να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε συμπεράσματα τα οποία πλησιάζουν τις αναλυτικές λύσεις. Η λειτουργία του προγράμματος που θα παρουσιαστεί παρακάτω συνοψίζεται στα εξής τρία επίπεδα:

- Το επίπεδο του βήματος της συνάρτησης αστοχίας: σε κάθε χρονικό βήμα η συνάρτηση υπολογίζει εισροές ενέργειας στο σύστημα από την λειτουργία ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών πάνελ και εκροές ενέργειας από την κατανάλωση. Αν η εισροές είναι μεγαλύτερες από τις εκροές η διαφορά αυτή αποθηκεύεται στον ταμιευτήρα εφόσον υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα. Στην περίπτωση που εκροές είναι μεγαλύτερες των εισροών η διαφορά τους αφαιρείται από τον ταμιευτήρα για να καλυφθούν οι ανάγκες της κατανάλωσης εφόσον υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια στον ταμιευτήρα, εφόσον δεν υπάρχει καταγράφεται αστοχία. Το επόμενο βήμα ξεκινά με την νέα μειωμένη η αυξημένη στάθμη του ταμιευτήρα.
- Το επίπεδο της συνάρτησης αστοχίας: Η συνάρτηση καλείται και έχει σαν παραμέτρους την χωρητικότητα σε MW των φωτοβολταϊκών συστημάτων και τον ανεμογεννητριών, το μέγεθος του ταμιευτήρα, τον βαθμό απόδοσης της αποθήκευσης της ενέργειας στον ταμιευτήρα, τον αριθμό των βημάτων που θα εκτελεστούν καθώς και έναν πίνακα με τα στατιστικά μεγέθη της ταχύτητας του ανέμου, της ηλιοφάνειας και της ζήτησης ενέργειας.
- Το επίπεδο κυρίως προγράμματος: Το πρόγραμμα αποτελείται από μια λίστα σεναρίων στην οποία φορτώνονται σεναρία με διάφορες παραμέτρους της συνάρτησης αστοχίας που μας ενδιαφέρουν. Αυτά εκτελούνται με τη σειρά και επιστρέφονται τα αποτελέσματα για αξιολόγηση και υπολογισμό του επιπέδου υπηρεσίας.

3.2 Ο αλγόριθμος του βήματος της συνάρτησης αστοχίας.

Ο παρακάτω ψευδοκώδικας εξηγεί τον τρόπο που δουλεύει το κάθε βήμα:

Υπολογισμός ημέρας d του έτους με χρήση υπολοίπου ακέραιας διαίρεσης μεταξύ αριθμού βήματος i και των ημερών του έτους (365). η αρίθμηση των ημερών ξεκινά απ το μηδέν:

$$d = i \text{ mod } 365$$

φόρτωση απ τον πίνακα randomdata των στατιστικών μεγεθών της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης των μέσων μεγεθών της ηλιοφάνειας, της ταχύτητας ανέμου και της κατανάλωσης για την ημέρα του έτους αυτή:

```
windspeed_average = randomdata[0,d]
windspeed_stdev = randomdata[1,d]
solar_irr_average = randomdata[2,d]
solar_irr_stdev = randomdata[3,d]
consumption_average = randomdata[4,d]
consumption_stdev = randomdata[5,d]
```

Υπολογισμός τυχαίας τιμής ταχύτητας ανέμου, ηλιακής ακτινοβολίας και κατανάλωσης βάση των παραπάνω μεγεθών. Οι τιμές ακολουθούν κανονική κατανομή:

```
Windspeed = Gauss-Random (windspeed_average ,windspeed_stdev)
solar_irr = Gauss-Random (solar_irr_average, solar_irr_stdev)
consumption = Gauss-Random (consumption_average,
consumption_stdev)
```

Έλεγχος ότι καμία απ τις παραπάνω τιμές δεν είναι αρνητική. Στην περίπτωση όπου κάποια τιμή είναι αρνητική τίθεται ίση με το μηδέν:

```
Windspeed = max(windspeed, 0)
solar_irr = max (solar_irr, 0)
consumption = max (consumption, 0)
```

Μετατροπή των μετεωρολογικών μεγεθών σε ενέργεια. Η συνολική ονομαστική ισχύς των ανεμογεννητριών αναφέρεται σαν WindCapacity και η αντίστοιχη ονομαστική ισχύς των φωτοβολταϊκών PVCapacity και δίνονται από το σενάριο. Οι ενέργειες που υπολογίζονται είναι αντίστοιχα οι WindEnergy και PVEnergy. Ο Βαθμός απόδοσης των Φωτοβολταϊκών Pveff είναι σταθερά ίση με 67.357% (0.67357). Μιας και η ισχύς εκφράζεται ανά 1000 W ηλιακής ακτινοβολίας πρέπει να γίνει η αντίστοιχη διαίρεση δια 1000. Τελικά χρησιμοποιούμε ένα συντελεστή 1000.

Τέλος τα μεγέθη πολλαπλασιάζονται με το 24(ώρες) για να μετατραπεί η ισχύς σε ενέργεια. Στον τύπο της ανεμογεννήτριας χρησιμοποιείται το πολυώνυμο που υπολογίστηκε για ανεμογεννήτρια. Σημειώνεται ότι επειδή ο τύπος αφορούσε ανεμογεννήτρια 2 MW και το WindCapacity εκφράζεται σε MW διαιρούμε δια του δυο. Ο τύπος σαν αποτέλεσμα έδινε Wh οπότε διαιρούμε δια του 1 000 000 για να μετατρέψουμε σε MWh, συνολικά διά 2 000 000

$$PVEnergy = PVCapacity / 1000 * Pveff * solar_irr * 24$$

$$WindEnergy = (1752*Windspeed^3+186477*Windspeed^2-387116*Windspeed+153668) * WindCapacity * 24 / 2$$

Επειδή το πολυώνυμο για πολύ μικρές τιμές του Windspeed ενδέχεται να πάρει αρνητικές τιμές και για πολύ μεγάλες πάνω από την ονομαστική -και μέγιστη- ισχύ διασφαλίζουμε ότι δεν θα συμβεί αυτό. Η πιθανότητα να έχουμε ταχύτητα ανέμου πάνω από 25 m/s είναι αμελητέα οπότε ο έλεγχος αμελείται:

```
if WindEnergy > (WindCapacity * 24) then WindEnergy = (WindCapacity * 24)
```

```
if WindEnergy < 0 then WindEnergy = 0
```

Υπολογισμός της ισορροπίας του συστήματος, με storedenergy συμβολίζεται η αποθηκευμένη ενέργεια, με storagesize το μέγεθος του ταμιευτήρα και με wastedenergy η ενέργεια που χάνετε λόγω υπερχείλησης. Με τον μετρητή fails καταγράφουμε τις αστοχίες του συστήματος. Η μεταβλητή storeefficiency είναι ο συντελεστής απόδοσης της μετατροπής της ενέργειας για τον οποίο γίνεται η παραδοχή ότι η τιμή του είναι ίδια για την παραγωγή ενέργειας από τον ταμιευτήρα και για την αποθήκευση ενέργειας στον ταμιευτήρα.

Το ισοζύγιο ενέργειας του συστήματος εκφράζεται από τη μεταβλητή energydelta

$$\text{PVEnergy} + \text{WindCapacity} - \text{Consumption} = \text{energydelta}$$

Σε περίπτωση θετικού ισοζυγίου υπολογίζουμε την αύξηση της ενέργειας του ταμιευτήρα και στην υποπερίπτωση υπερχειρίσεως υπολογίζουμε την ενέργεια που χάνεται

```
if energydelta > 0 then
  {Storedenergy = Storedenergy + energydelta * storeefficiency
  {if storedenergy > storagesize then
    {wastedenergy = wastedenergy + storedenergy - storagesize
    storedenergy = storagesize
  }
}
```

Στην περίπτωση αρνητικού ισοζυγίου υπολογίζουμε την μείωση της ενέργειας (αυξημένη όμως λόγω απωλειών). Στην υποπερίπτωση αστοχίας καταγράφουμε την αστοχία με αύξηση του μετρητή των αστοχιών κατά ένα.

```
if energydelta < 0 then
  {Storedenergy = Storedenergy + energydelta / storeefficiency
  {if storedenergy < 0 then
    {fails = fails+1
    storedenergy = 0}
  }
}
```

αύξηση του μετρητή βημάτων i κατά 1 και έναρξη του επόμενου βήματος.

3.3 Υπολογισμός βέλτιστου αριθμού χρονικών βήματων

Ο αριθμός χρονικών βημάτων, στην παρούσα περίπτωση, αριθμός ημερών για τον οποίο θα τρέξει το μοντέλο πρέπει να δίνει μια λύση όσο πιο κοντά γίνεται σε μια αναλυτική λύση σε λογικό χρονικό διάστημα. Για το σκοπό αυτό θα τρέξουμε το μοντέλο με ίδιες παραμέτρους για διάφορες τάξεις μεγέθους του αριθμού των χρονικών βήματων και θα εξετάσουμε την διασπορά των αποτελεσμάτων.

Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να είναι τέτοια που να δίνουν και αστοχίες και υπερχειλίσεις ώστε να γίνει επαλήθευση. Μετά από πρόχειρους υπολογισμούς καταλήγουμε σε 125 MW ανεμογεννητριών και 125 MWp φωτοβολταϊκών τα οποία με δεδομένες τις υπολογισμένες ετήσιες αποδόσεις της τάξης του 32.79% και 13.68% υπολογίζεται να δώσουν 983.70 και 410.46 MWh ανά ημέρα, τα οποία συνολικά υπερβαίνουν κατά 55,68 MWh (4.1%) την μέση ετήσια ζήτηση των 1338.47 MWh (για 100.000 κατοίκους). Το μέγεθος του ταμιευτήρα ελήφθη 10 GWh που ισοδυναμεί με ταμιευτήρα χωρητικότητας περίπου 10.2 hm³ σε ύψος 400 m.

Η λίστα εργασιών φορτώθηκε με 120 εργασίες οι οποίες ανά 20 ήταν ίδιες και η κάθε 20άδα από την επόμενη διέφερε μόνο στον αριθμό βημάτων. Ο πίνακας με τα μετεωρολογικά δεδομένα και τα δεδομένα ζήτησης είναι ο ίδιος που θα χρησιμοποιηθεί καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας. Οι 6 διαφορετικές εργασίες που επαναλήφθηκαν 20 φορές έкаστη ήταν οι εξής:

Πίνακας 4: η λίστα με τις 6 διαφορετικές εργασίες που έкаστη επαναλήφθηκε 20 φορές.

Ισχύς Α/Γ (MW)	Ισχύς Φ/Β (MW)	Μέγεθος Ταμ (MWh)	Πλήθος Βημάτων
125	125	10000	1000
125	125	10000	10000
125	125	10000	100000
125	125	10000	1000000
125	125	10000	10000000
125	125	10000	100000000

Από στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων παρατηρείται ότι όσο αφορά την υπερχειλιζόμενη ενέργεια η μέση τιμή της φαίνεται να συγκλίνει από τα 10 000 βήματα αλλά διασπορά πέφτει κάτω από το 1% στα 1 000 000 βήματα. Παρατηρείται σύγκληση καθώς τα βήματα αυξάνονται, αλλά δεδομένου ότι για κάθε 1 000 000 βήματα απαιτούνται περίπου 1 δευτερόλεπτο υπολογιστικού χρόνου σε επεξεργαστή κατηγορίας Intel Core2 3.0GHz (Χρήση

ενός νήματος/πυρήνα) ο αυξημένος χρόνος για τα 100 000 000 δεν φαίνεται να δίνει πολύ μεγαλύτερης ακρίβειας αποτελέσματα ή πολύ μεγαλύτερου επιπέδου εμπιστοσύνης. Ακριβώς ίδια εικόνα παρουσιάζουν και τα στατιστικά μεγέθη που προκύπτουν από τα αποτελέσματα του αριθμού των αστοχιών, με την διασπορά να πέφτει κάτω του 1% για 1 000 000 βήματα και το επίπεδο εμπιστοσύνης 99% συγκλίνει στο 0.039%. Έτσι για τη συνέχεια της εργασίας επιλέγεται το 1 000 000 σαν ιδανικός αριθμός βημάτων.

Πίνακας 5: Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων υπερχειλιζόμενης ενέργειας 20 εκτελέσεων του μοντέλου για κάθε περίπτωση πλήθους βημάτων . Οι στήλες με αστερίσκο περιέχουν τιμές ανοιγμένες στον αριθμό των βημάτων.

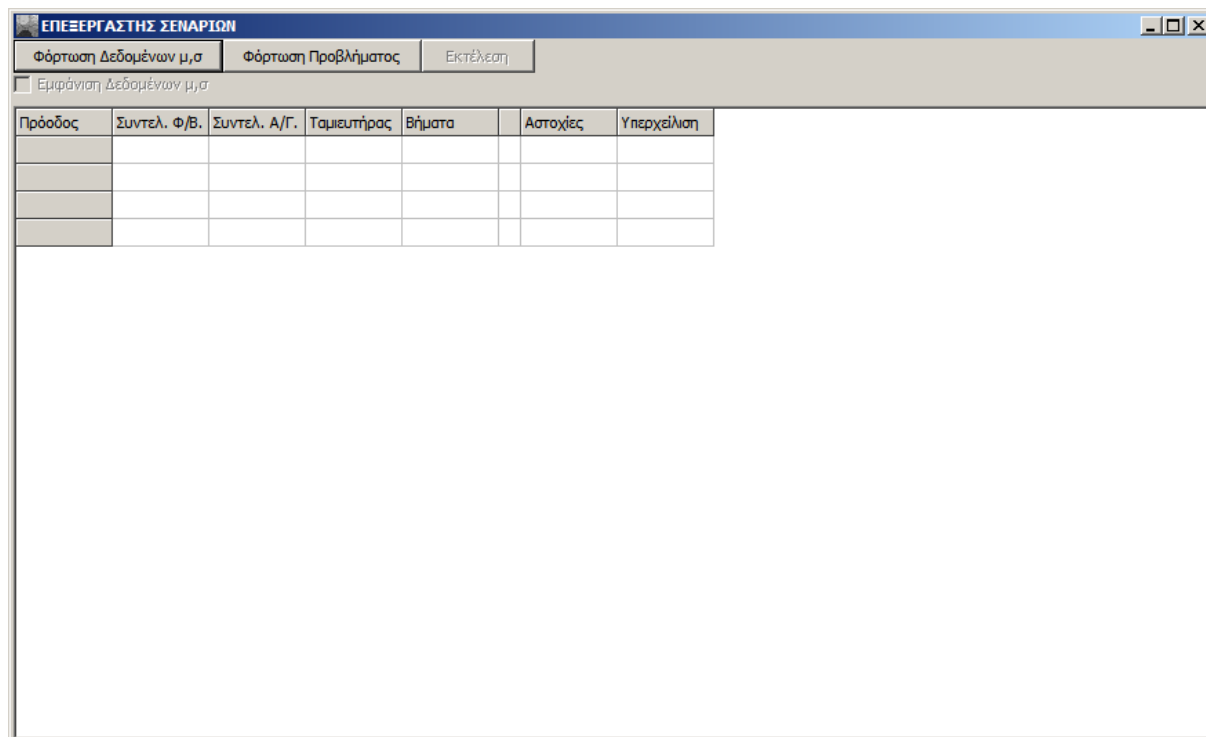
Πλήθος Βημάτων (Ημέρες)	Μέση Τιμή (MWh)	Τυπική Απόκλιση (MWh)	Διασπορά	Μέση Τιμή* (MWh)	Επίπεδο Εμπιστοσύνης 95%*	Επίπεδο Εμπιστοσύνης 99%*	Χρόνος (s) εκτέλεσης (τάξη μεγέθους)
1000	170815	22177	12.98%	170.815	9.719	12.773	0.01
10000	1725783	72940	4.23%	172.578	3.197	4.201	0.01
100000	17229834	254017	1.47%	172.298	1.113	1.463	0.1
1000000	172835643	1116970	0.65%	172.836	0.490	0.643	1
10000000	1728781734	1742790	0.10%	172.878	0.076	0.100	10
100000000	17279074308	9541601	0.06%	172.791	0.042	0.055	100

Πίνακας 6: Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων αριθμού αστοχιών 20 εκτελέσεων του μοντέλου για κάθε περίπτωση πλήθους βημάτων. Οι στήλες με αστερίσκο περιέχουν τιμές ανοιγμένες στον αριθμό των βημάτων.

Πλήθος βημάτων (Ημέρες)	Μέση Τιμή Πλήθους Αστοχιών	Τυπική Απόκλιση Πλήθους Αστοχιών	Διασπορά	Μέση Τιμή Ποσοστού Αστοχιών	Επίπεδο Εμπιστοσύνης 95%*	Επίπεδο Εμπιστοσύνης 99%*	Χρονος (s) εκτέλεσης (τάξη μεγέθους)
1000	124	18	14.16%	12.10%	0.77%	1.01%	0.01
10000	1096	59	5.35%	11.20%	0.26%	0.34%	0.01
100000	11436	171	1.50%	11.37%	0.07%	0.10%	0.1
1000000	113576	669	0.59%	11.34%	0.03%	0.04%	1
10000000	1132567	2079	0.18%	11.33%	0.01%	0.01%	10
100000000	11333071	5462	0.05%	11.33%	0.00%	0.00%	100

4 Παράδειγμα χρήσης του προγράμματος

Σε περιβάλλον windows εκτελούμε το project1.exe και βρισκόμαστε στην κεντρική οθόνη του προγράμματος:



Εικόνα 9: Η κεντρική οθόνη του προγράμματος σε περιβάλλον Windows

Από το κουμπί φόρτωση δεδομένων διαλέγουμε ένα csv που περιέχει τα μετεωρολογικά δεδομένα καθώς και τα δεδομένα ζήτησης. Το αρχείο έχει χωρισμένα με κόμμα τις εξής 6 πεδία σε κάθε σειρά.

1. μέση τιμή ταχύτητας ανέμου βήμα (m/s)
2. τυπική απόκλιση ταχύτητας ανέμου για το βήμα (m/s)
3. μέση τιμή ηλιοφάνειας για το βήμα (W/m^2)
4. τυπική απόκλιση για το βήμα (W/m^2)
5. μέση τιμή κατανάλωσης ενέργειας για το βήμα (MWh)
6. τυπική απόκλιση κατανάλωσης ενέργειας για το βήμα (MWh)

Κάθε γραμμή είναι μια εγγραφή για κάθε βήμα μέσα στο έτος. Δεδομένου ότι εξετάζουμε το τρέχον πρόβλημα με χρονικό βήμα ίσο με μια ημέρα στο αρχείο υπάρχουν 365 σειρές/εγγραφές. Αν το χρονικό βήμα ήταν ωριαίο θα υπήρχαν αντίστοιχα 8760 εγγραφές.

Μόλις επιλέξουμε το αρχείο που θέλουμε (το statistics.csv με το οποίο εκτελέστηκε η παρούσα εργασία επισυνάπτεται ως παράδειγμα) εμφανίζεται ο πίνακας με τα στατιστικά δεδομένα, για τον οποίο δίνεται η επιλογή της απόκρυψης από την κεντρική οθόνη του προγράμματος.

Βήμα	μ Ανέμου	σ Ανέμου	μ Ακτινοβολίας	σ Ακτινοβολίας	μ Κατανάλωσης	σ Κατανάλωσης
1	9.413165667	4.651755986	85.9499494	41.82031566	1128.178779	66.59713631
2	9.394655111	4.67000821	86.01190774	42.13835159	1233.455681	101.3189011
3	9.438349556	4.671947444	86.1238006	42.32215029	1335.669668	118.0065495
4	9.450266222	4.652175283	86.22158333	42.67068511	1382.367426	131.1009003
5	9.500951778	4.677128145	86.46206845	43.05506508	1427.462449	62.54845248
6	9.532411778	4.712987381	86.84219048	43.45103078	1255.577642	50.72392773
7	9.525341222	4.686749067	87.11704167	43.99966566	1365.963393	75.75857862
8	9.601369556	4.760110577	87.07747024	44.66613775	1378.481504	93.95684782
9	9.605421222	4.752356959	87.08408631	45.22223592	1373.56139	128.9037975
10	9.693366222	4.853823762	87.19892857	45.52032998	1385.193391	113.7631758
11	9.678669	4.926313669	87.99125595	45.98751602	1379.588999	99.31892221
12	9.688837889	4.940012511	87.99614286	46.44503443	1415.989204	58.57566694
13	9.763197889	4.984737822	87.92275595	46.9316558	1407.467996	75.58329428
14	9.787507889	4.984455118	88.47488393	47.24539683	1394.070927	84.89338738
15	9.814916222	4.995184612	89.20909821	47.32370476	1368.170417	61.84080922
16	9.816981778	5.025711484	89.19120238	47.46191468	1370.976132	105.0614892
17	9.759781778	4.991140226	90.69346429	47.70421583	1377.205989	108.2409656
18	9.714657333	4.949435717	91.29990476	48.10415983	1362.715846	127.7808072
19	9.751599	4.967423662	92.07028869	48.39476131	1384.936448	62.01654689
20	9.792671778	4.994529806	93.13662798	48.71507991	1361.627824	81.85550136
21	9.809990667	4.99113015	93.6543244	49.12374845	1360.815758	85.22572539
22	9.807051222	4.92251937	94.81719048	49.43102277	1359.478405	72.60647761
23	9.763674556	4.887292136	95.96292857	49.51758021	1373.604707	124.0354724

Εικόνα 10: Ο πίνακας των στατιστικών μεγεθών μετά την φόρτωσή τους από αρχείο

Στη συνέχεια προχωρούμε στη φόρτωση του προβλήματος με αντίστοιχη διαδικασία φορτώνοντας το αρχείο Best10E6.csv που επισυνάπτεται ως παράδειγμα και εμπεριέχει όλα τα σενάρια που παρουσιάζονται στην παράγραφο 5.1. Το αρχείο Best10E7.csv περιέχει τα ίδια δεδομένα με την επιλογή 10 000 000 βημάτων αντί για 1 000 000 χρήσιμο αν χρειάζεται μεγαλύτερη ακρίβεια σε περιπτώσεις όπου ζητείται λογαριθμικό γράφημα για παράδειγμα. Τα αρχεία περιέχουν σε κάθε γραμμή 4 πεδία

1. Την ονομαστική ισχύ του συστήματος των φωτοβολταϊκών πάνελ σε MWp
2. Την ονομαστική ισχύ του συστήματος των ανεμογεννητριών σε MW
3. Το μέγεθος του ταμιευτήρα σε GWh
4. Τον αριθμό των βημάτων για τα οποία θα εκτελεστεί το σενάριο

Σε κάθε γραμμή/εγγραφή περιέχεται ένα ξεχωριστό σενάριο. Στο αρχείο του παραδείγματος υπάρχουν 21 περιπτώσεις αναλογίας Φωτοβολταϊκών/Ανεμογεννητριών 20

περιπτώσεις μεγέθους ταμειυτήρα (από 5 έως 100 GWh) και 6 περιπτώσεις υπερδιαστασιολόγησης (0%-25%) που δίνουν συνολικά 2520 σενάρια και ίσο αριθμό γραμμών στο αρχείο.

Αφού φορτωθεί το σενάριο Με τις 4 αριστερές στήλες γεμάτες με τις παραμέτρους των σεναρίων πλέον το κουμπί “ΕΚΤΕΛΕΣΗ” ενεργοποιείται και μόλις το πατήσουμε το πρόγραμμα αρχίζει να συμπληρώνει τα αποτελέσματα (αστοχίες και υπερχειλιζόμενη ενέργεια σε MWh) στις δύο δεξιότερες στήλες μόλις τα υπολογίσει. Παράλληλα στον τίτλο της εφαρμογής φαίνεται το ποσοστό προόδου της και η τρέχουσα εργασία και στην αριστερή στήλη προόδου η κατάσταση της κάθε εργασίας.

Πρόοδος	Συντελ. Φ/Β	Συντελ. Α/Γ	Ταμειυτήρας	Βήματα	Αστοχίες	Υπερχειλίαση
Ολοκληρώθη	407.6151912	0	5000	10000000	3640194	2104732842.
Ολοκληρώθη	387.2344317	8.504103456	5000	10000000	3523263	1949265591.
Ολοκληρώθη	366.8536721	17.00820691	5000	10000000	3350066	1795768201.
Ολοκληρώθη	346.4729125	25.51231037	5000	10000000	3098566	1644553177.
Ολοκληρώθη	326.092153	34.01641382	5000	10000000	2738478	1494333897.
Ολοκληρώθη	305.7113934	42.52051728	5000	10000000	2304412	1349766578.
Ολοκληρώθη	285.3306339	51.02462074	5000	10000000	1884832	1209393826.
Ολοκληρώθη	264.9498743	59.52872419	5000	10000000	1523822	1076143830.
Ολοκληρώθη	244.5691147	68.03282765	5000	10000000	1239907	968128127.2
Σε Εξέλιξη	224.1883552	76.5369311	5000	10000000		
0%	203.8075956	85.04103456	5000	10000000		
0%	183.4268361	93.54513801	5000	10000000		
0%	163.0460765	102.0492415	5000	10000000		
0%	142.6653169	110.5533449	5000	10000000		
0%	122.2845574	119.0574484	5000	10000000		
0%	101.9037978	127.5615518	5000	10000000		
0%	81.52303825	136.0656553	5000	10000000		
0%	61.14227868	144.5697587	5000	10000000		
0%	40.76151912	153.0738622	5000	10000000		
0%	20.38075956	161.5779657	5000	10000000		
0%	0	170.0820691	5000	10000000		
0%	407.6151912	0	5000	10000000		

Εικόνα 11: Το πρόγραμμα σε διαδικασία υπολογισμού

Τα αποτελέσματα μπορούν να επιλεγούν και να αντιγραφούν μέσω προχείρου (διαδικασία αντιγραφής-επικόλλησης) σε άλλη εφαρμογή όπως λογιστικό φύλλο για περαιτέρω επεξεργασία.

5 Η βελτιστοποίηση

5.1 Τα υπο εξέταση σενάρια

Για τα στατιστικά μεγέθη των μετεωρολογικών μεγεθών και της ζήτησης για πληθυσμό 100 000 κατοίκων που δημιουργήσαμε, θα επιχειρηθεί να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός ισχύος ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών πάνελ και μεγέθους ταμιευτήρα που μπορεί να καλύψει την δεδομένη ζήτηση και το επίπεδο υπηρεσίας που προκύπτει ώστε να πλησιάσουμε όσο το δυνατόν τη βέλτιστη λύση.

Πίνακας 7 οι συνδιασμοί ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών που θα εξεταστούν στην παρούσα διαδικασία βελτιστοποίησης για συντελεστή ασφαλείας 1 (υπερδιαστασιολόγηση 0%)

Όνομ. Ισχύς Α/Γ	Όνομ. Ισχύς Φ/Β	Μέση Ισχύς Α/Γ	Μέση Ισχύς Φ/Β	Συνολική Μέση
0.000	427.996	0.000	58.558	58.558
10.000	404.030	3.279	55.279	58.558
20.000	380.064	6.558	52.000	58.558
30.000	356.099	9.837	48.721	58.558
40.000	332.133	13.116	45.442	58.558
50.000	308.167	16.395	42.163	58.558
60.000	284.201	19.674	38.884	58.558
70.000	260.235	22.953	35.605	58.558
80.000	236.270	26.232	32.326	58.558
90.000	212.304	29.511	29.047	58.558
100.000	188.338	32.790	25.768	58.558
110.000	164.372	36.069	22.489	58.558
120.000	140.406	39.348	19.210	58.558
130.000	116.441	42.627	15.931	58.558
140.000	92.475	45.906	12.652	58.558
150.000	68.509	49.185	9.373	58.558
160.000	44.543	52.464	6.094	58.558
170.082	20.381	55.770	2.789	58.558

Σαν πρώτο βήμα θα δημιουργήσουμε συνδυασμούς μεγεθών φωτοβολταϊκών πάρκων και ανεμογεννητριών που η ισχύς τους επί την μέση ετήσια απόδοσή τους θα μας δίνουν την μέση καταναλισκόμενη (επαυξημένη κατά 5% για να αντισταθμιστούν οι απώλειες της αντλησοταμίευσης) ισχύ για διάφορα μεγέθη ταμιευτήρα. Πρέπει:

$$P_{WT} \times CF_{WT} + P_{PV} \times CF_{PV} = P_{Consumption} \times P_{SF} \quad 5.1.1$$

P_{WT} = Ονομαστική ισχύς ανεμογεννητριών

CF_{WT} = Ετήσιος Β.Α. ανεμογεννητριών (Capacity Factor), ίσος με 32.79%

P_{PV} = Ονομαστική ισχύς φωτοβολταϊκού συστήματος (MW_{peak})

CF_{PV} = Ετήσιος Β.Α. φωτοβολταϊκού συστήματος (Capacity Factor) 13.68%

$P_{CONSUMPTION}$ = Η ισχύς της μέσης ωριαίας κατανάλωσης ίση με 55.767 MW

P_{SF} = Συντελεστής ασφαλείας, της ζήτησης.

Το αριθμητικό μοντέλο θα εκτελεστεί για διάφορα μεγέθη ταμειυτήρα από 5 έως 100 GWh (βήμα 5 GWh προκύπτουν 20 περιπτώσεις) , για συμμετοχή ανεμογεννητριών από 0 έως 100% (βήμα 5%, προκύπτουν 21 περιπτώσεις) και για Συντελεστή Ασφαλείας από 0 έως 25% (βήμα 5% προκύπτουν 6 περιπτώσεις). Έτσι θα εξεταστούν 2520 σενάρια (20x21x6) και θα προκύψει το ποσοστό αστοχιών και η μέση ημερήσια υπερχειλίση για κάθε σενάριο.

Τα δεδομένα θα εκτελεστούν με ακρίβεια 10 000 000 βημάτων, τα οποία παρότι δεν φαίνεται να προσφέρουν αυξημένη ακρίβεια σε σχέση με τη φαινομενικά ικανοποιητική ακρίβεια των 1 000 000 βημάτων θα μας δώσουν πιο ομαλά και γραφήματα όταν αυτά εκφραστούν σε λογαριθμική κλίμακα.

Η διαθεσιμότητα η οποία εκφράζεται σαν ποσοστό του χρόνου που παρέχεται η αξιόπιστη η υπηρεσία μπορεί να εκφραστεί και σε nines (εννιάρια). Για παράδειγμα ποσοστό διαθεσιμότητας 99,99% του χρόνου που αντιστοιχεί σε 36.5 ημέρες εκτός υπηρεσίας ανά 100 έτη, αναφέρεται σαν 4-nines.

Με δεδομένο τον αριθμό των αστοχιών ως προς τις συνολικές επαναλήψεις μετά την εκτέλεση του μοντέλου, υπολογίζεται το ποσοστό των αστοχιών και ο αριθμός των nines υπολογίζεται ως:

$$N = -\log_{10}(Fail_{rate}) \quad 5.1.2$$

Όπου:

N: Ο Αριθμός των 9 (π.χ. 5 για 99,999%)

Failrate: Το ποσοστό των αστοχιών.

5.2 Τα χαρακτηριστικά των αποτελεσμάτων και η ερμηνεία τους

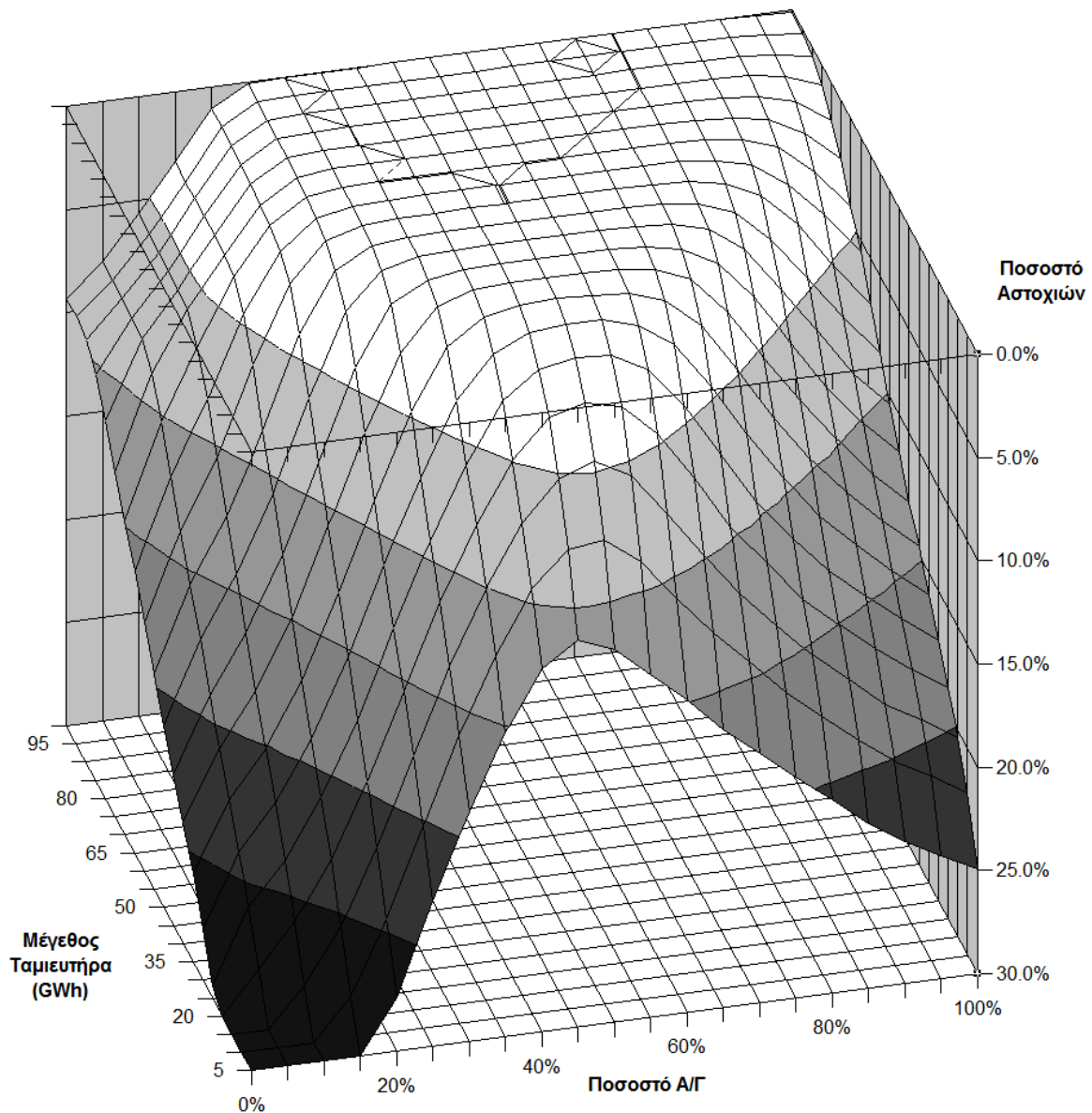
Εκτελώντας τα 2520 σενάρια για τις 3 παραμέτρους που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο προκύπτει ο αριθμός των αστοχιών $F(x,y,z)$ και η υπερχειλιζόμενη ενέργεια $G(x,y,z)$ όπου x το ποσοστό συμμετοχής των ανεμογεννητριών, y το μέγεθος του ταμιευτήρα και z το ποσοστό υπερδιαστασιολόγησης. Προκύπτει ακόμα η ανάγκη γραφικής αναπαράστασης αυτών στον τετραδιάστατο χώρο και πιθανώς η ανάγκη γραμμικού προγραμματισμού ή γενετικού αλγορίθμου για τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης C για κάθε F .

Αρχικά θα κρατήσουμε μία παράμετρο σταθερή (τον συντελεστή ασφαλείας ή ποσοστό υπερδιαστασιολόγησης) και θα δούμε πως εξελίσσεται ο ρυθμός των αστοχιών και τα μεγέθη της υπερχείλισης.

Από το γράφημα 11 παρατηρούμε:

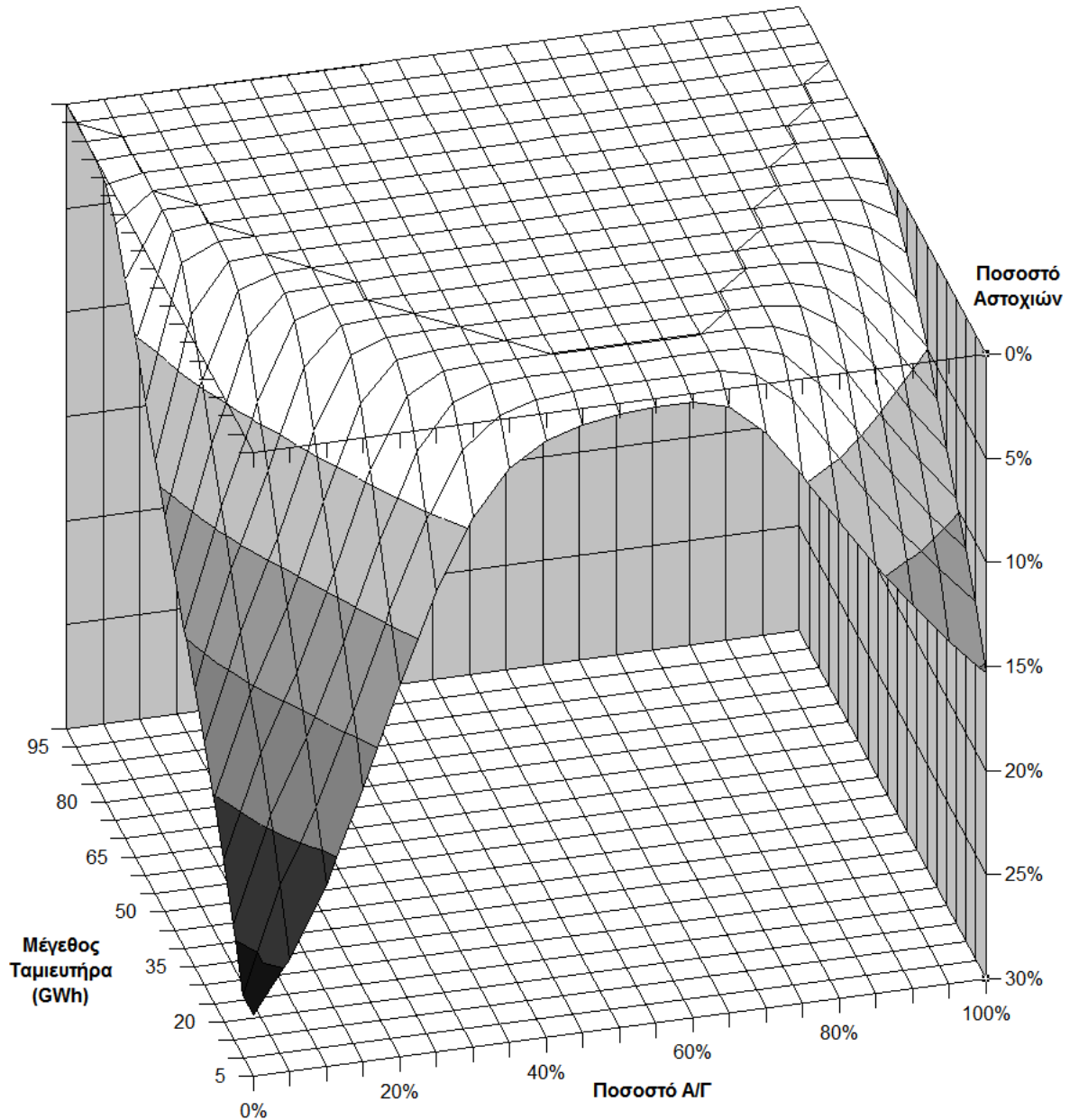
- Την μείωση του ποσοστού των αστοχιών καθώς το μέγεθος του ταμιευτήρα μεγαλώνει, αποτέλεσμα περισσότερο από αναμενόμενο, μιας και υπάρχει περισσότερη ενέργεια αποθηκευμένη για περιπτώσεις συνεχούς χαμηλής παραγωγής ενέργειας.
- Τα μεγαλύτερα ποσοστά αστοχιών σε περιπτώσεις αποκλειστικής χρήσης φωτοβολταϊκών για δεδομένο μέγεθος ταμιευτήρα από τα αντίστοιχα ποσοστά αστοχιών για αποκλειστική χρήση ανεμογεννητριών. Αυτό οφείλεται στις μεγαλύτερες εποχιακές διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με της εποχιακές διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου, που δημιουργούν χρονοσειρές χαμηλής παραγωγής ενέργειας.
- Τα μικρότερα ποσοστά αστοχιών σε περιπτώσεις μικτών συστημάτων από τα αντίστοιχα συστήματα που αποτελούνται σχεδόν από μόνο μια πηγή ενέργειας. Αυτό οφείλεται στις αντίθετες εποχιακές διακυμάνσεις των μεγεθών της ηλιοφάνειας και της ταχύτητας του ανέμου. Θα μπορούσε κανείς να υποθέσει ότι μια βέλτιστη λύση εμπεριέχει συμμετοχή σχεδόν ισόποση ισχύ ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών πάνελ. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει γιατί όχι μόνο για ίση συμμετοχή χρειαζόμαστε μεγαλύτερη ισχύ φωτοβολταϊκών πάνελ από ισχύ ανεμογεννητριών λόγω της μειωμένης ετήσιας απόδοσής τους (Capacity Factor), αλλά και της μεγαλύτερης τιμής τους σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες ίδιας ονομαστικής ισχύος. Θα ίσχυε όμως στην περίπτωση όπου η ετήσια απόδοση μιας πηγής ήταν αντιστρόφως ανάλογη του

κόστους της ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος.



Γράφημα 11: Το ποσοστό αστοχιών συναρτήσκει του μεγέθους του ταμιευτήρα και του ποσοστού συμμετοχής των ανεμογεννητριών στην παραγωγή ενέργειας (για 0% υπερδιαστασιολόγηση συστήματος ή συντελεστής ασφαλείας ίσος με 1)

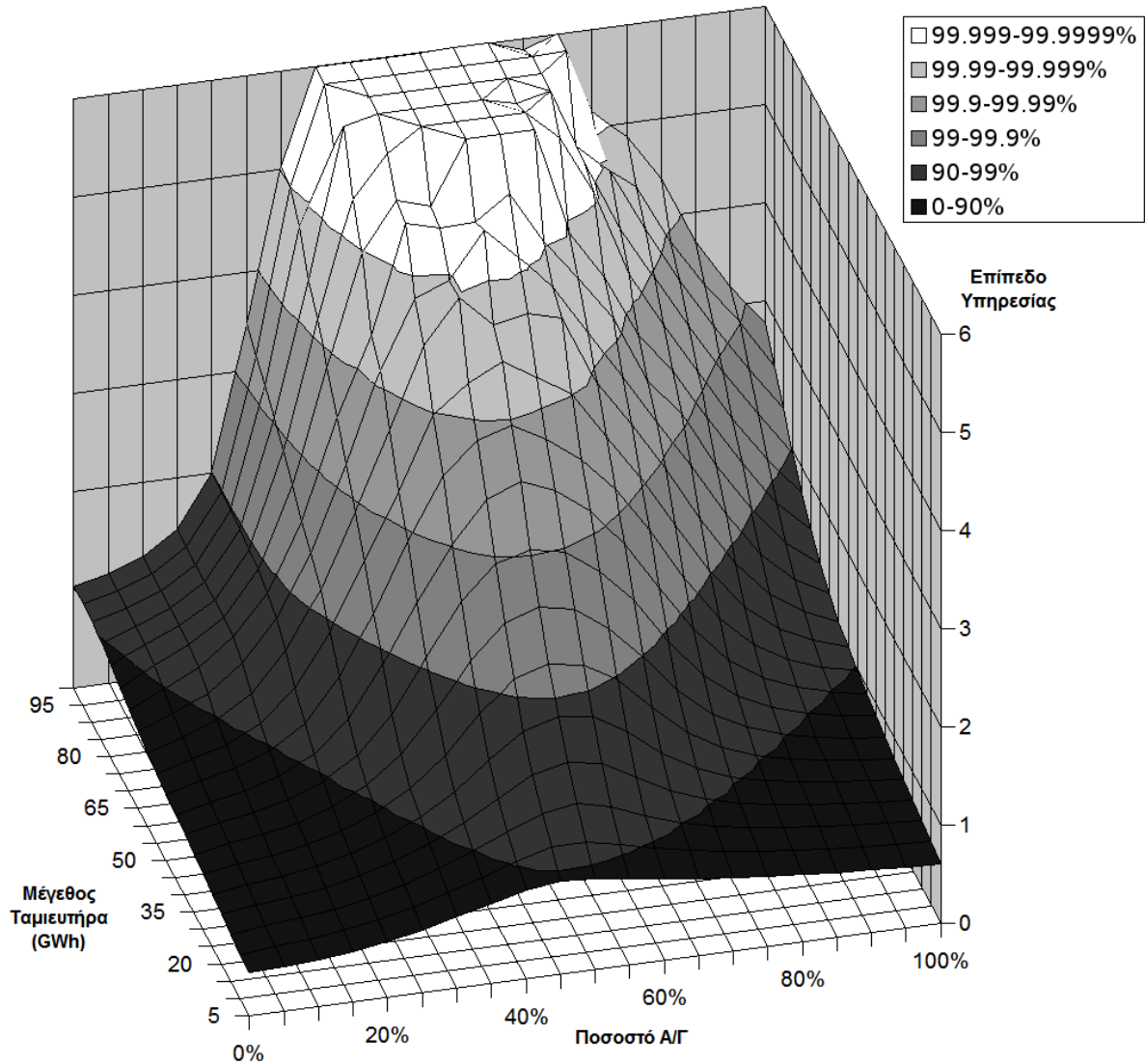
Τα αποτελέσματα μπορούν να αναπαρασταθούν επίσης με χρήση ισοϋψών η χαρτών στους οποίους η τιμή της συνάρτησης f αναπαρίσταται με χρήση χρωμάτων. Το γράφημα 11 αφορά την περίπτωση μηδενικής υπερδιαστασιολόγησης (μοναδιαίος συντελεστής ασφαλείας). Έχουν υπολογιστεί ακόμα τα αποτελέσματα για 5 περιπτώσεις υπερδιαστασιολόγησης χωρίς να κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν όλα τα αντίστοιχα γραφήματα πλην ενός για να επισημανθούν οι όποιες ποιοτικές διαφορές.



Γράφημα 12: Το ποσοστό αστοχιών συναρτήσκει του μεγέθους του ταμιευτήρα και του ποσοστού συμμετοχής των ανεμογεννητριών στην παραγωγή ενέργειας (για 25% υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος ή συντελεστή ασφαλείας 1.25)

Παρατηρείται ότι τα συμπεράσματα που εξήχθησαν παραπάνω για τα χαρακτηριστικά του συστήματος από το διάγραμμα αστοχιών χωρίς υπερδιαστασιολόγηση συνεχίζουν να ισχύουν και για την περίπτωση υπερδιαστασιολόγησης κατά 25%.

Για καλύτερη άποψη των μεγεθών το επίπεδο υπηρεσίας παρατίθεται σε λογαριθμική κλίμακα εκφρασμένο σε “nines” για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις μηδαμινής και κατά 25% υπερδιαστασιολόγησης.

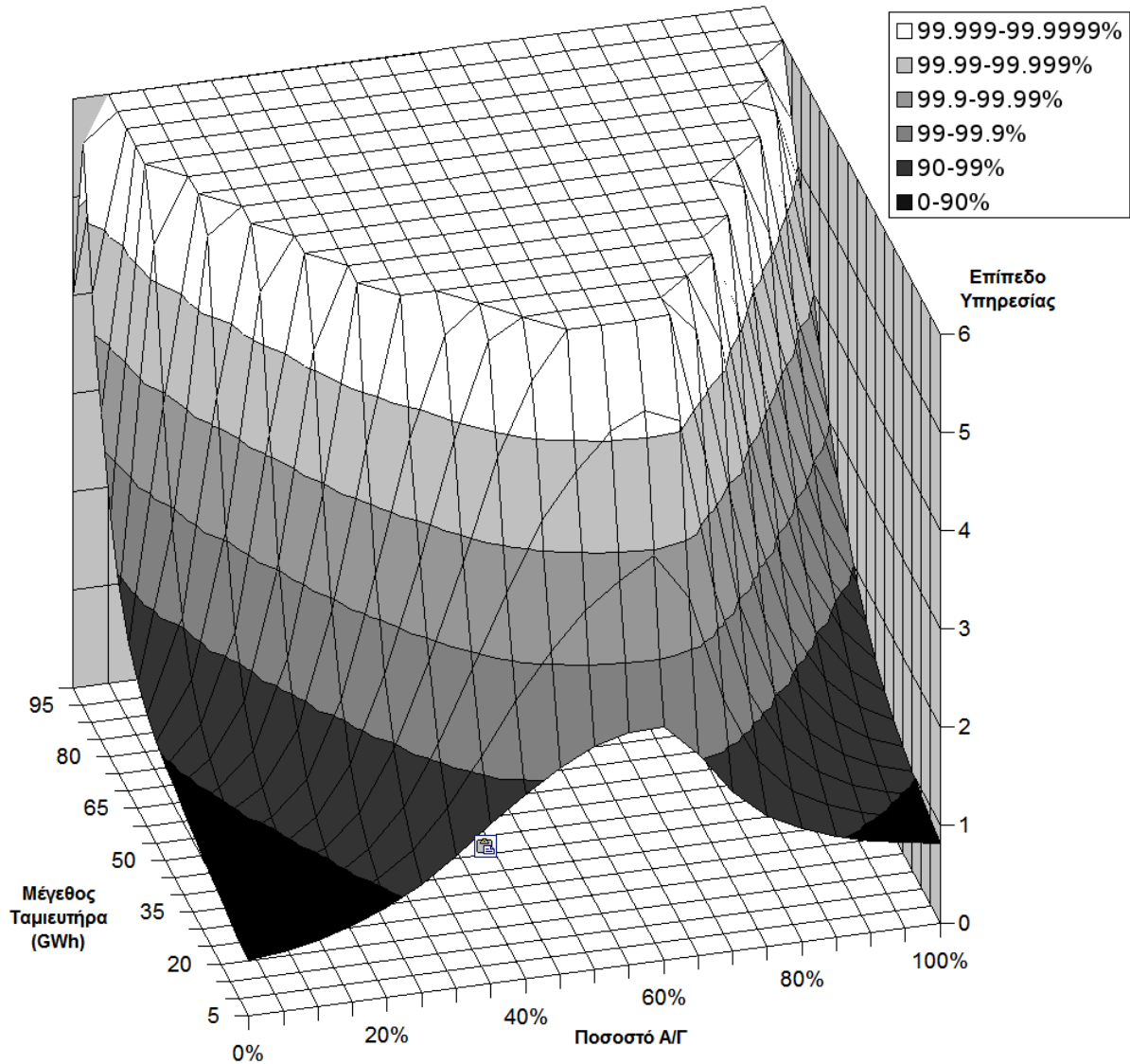


Γράφημα 13: Επίπεδο υπηρεσίας εκφρασμένο σε *nines* για διάφορες αναλογίες φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών και διάφορα μεγέθη ταμιευτήρα (χωρίς υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος)

Τα συμπεράσματα είναι εμφανή και στο λογαριθμικό γράφημα. Για ουσιοδέστερη ανάγνωσή του αξίζει να παρατεθεί η παρακάτω αντιστοιχία:

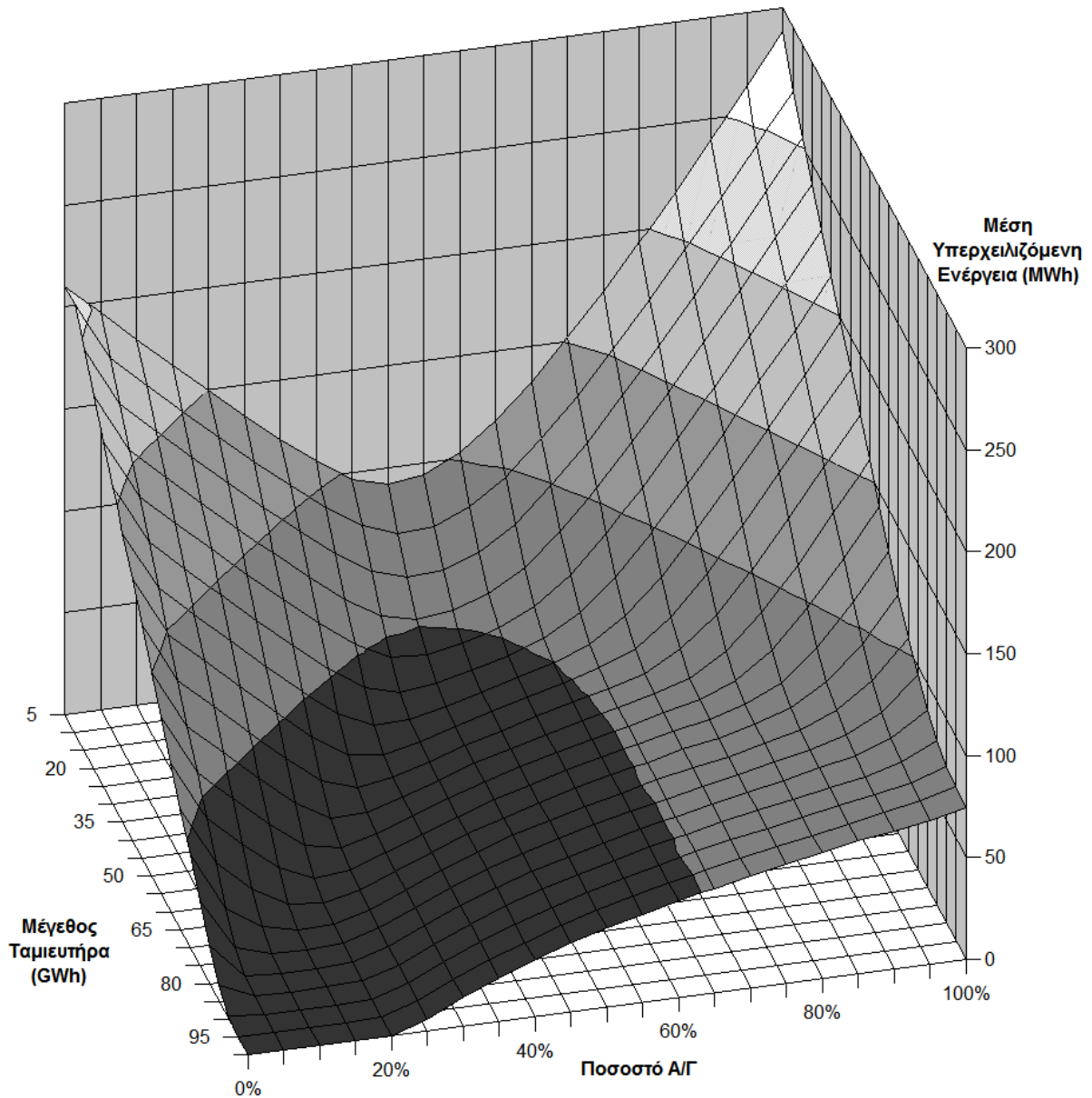
Πίνακας 8: Ενδεικτικές αντιστοιχίες ποσοστών αποτυχίας και επιπέδου υπηρεσίας

Εκτός Υπηρεσίας	Ποσοστό Αστοχίας	Επίπεδο Υπηρεσίας	
1 ημέρα ανά μήνα	3.33%	96.67%	1.477
1 ημέρα ανά έτος	0.27%	99.73%	2.562
5 ημέρες ανά δεκαετία	0.14%	99.86%	2.863
3.65 ημέρες ανά δεκαετία	0.10%	99.90%	3.000
100 ημέρες ανά 500 έτη	0.05%	99.95%	3.261
10 ημέρες ανά 100 έτη	0.03%	99.97%	3.562



Γράφημα 14: Επίπεδο υπηρεσίας εκφρασμένο σε *nines* για διάφορες αναλογίες φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών και διάφορα μεγέθη ταμιευτήρα (για 25% υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος)

Στοιχεία για την συμπεριφορά του συστήματος μπορούμε να αντλήσουμε και από την ενέργεια που υπερχειλίζεται από τον ταμιευτήρα. Από την συνολική υπερχειλιζόμενη ενέργεια στο τέλος του μοντέλου, όταν αυτή διαιρεθεί με τον αριθμό των βημάτων, προκύπτει η μέση υπερχειλιζόμενη ενέργεια ανά βήμα και στην προκειμένη περίπτωση ανά ημέρα. Να σημειωθεί ότι ο άξονας που αντιστοιχεί στο μέγεθος του ταμιευτήρα έχει αναστραφεί για καλύτερη προβολή των αποτελεσμάτων. Η τιμή των 300 MWh ανά ημέρα αντιστοιχεί στο 22.41% της μέσης ημερήσιας παραγωγής.

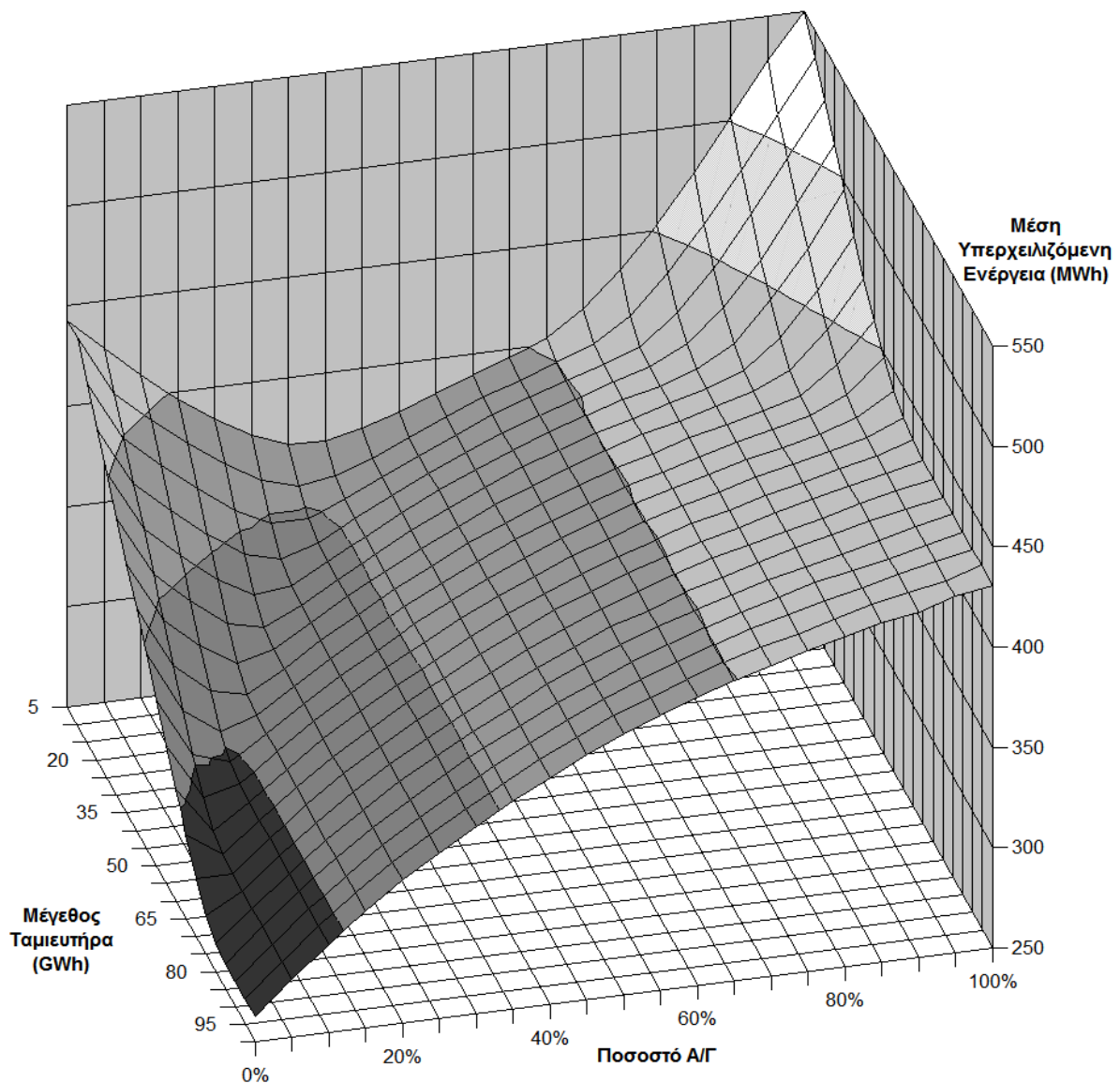


Γράφημα 15: Η μέση υπερχειλιζόμενη ενέργεια ανά ημέρα συναρτήσει του μεγέθους του ταμιευτήρα και του ποσοστού συμμετοχής των ανεμογεννητριών στην παραγωγή ενέργειας (χωρίς υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος)

Παρατηρείται:

- Σε περιπτώσεις περιορισμένης δυνατότητας αποθήκευσης η υπερχείλιση είναι μικρότερη για συμμετοχή 45% ανεμογεννητριών στην παραγωγή ενέργειας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μεικτά συστήματα εξαρτώνται από δύο μεγέθη με αντίθετη εποχιακή διακύμανση, έτσι τα φωτοβολταϊκά συμπληρώνουν τις ανεμογεννήτριες.

- Η για κάθε μέγεθος ταμιευτήρα μικρότερη υπερχειλίση ενός αμιγώς φωτοβολταϊκού συστήματος σε σχέση με ένα αντίστοιχο σύστημα ανεμογεννητριών. Αυτό οφείλεται στην υψηλότερη συσχέτιση που εμφανίζει το διάγραμμα ζήτησης συναρτήσει της ημέρας του έτους με την καμπύλη της ηλιακής ακτινοβολίας
- Στην περίπτωση αμιγούς φωτοβολταϊκού συστήματος υπάρχει πιο γραμμική σχέση υπερχειλίσης λόγω της μικρότερης διασποράς των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Σε περίπτωση υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος, υπάρχει ομοιόμορφη αύξηση των τιμών και τα χαρακτηριστικά του γραφήματος παραμένουν τα ίδια.



Γράφημα 16: Η μέση υπερχειλιζόμενη ενέργεια ανά ημέρα συναρτήσει του μεγέθους του ταμιευτήρα και του ποσοστού συμμετοχής των ανεμογεννητριών στην παραγωγή ενέργειας (25% υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος)

5.3 Η εύρεση της βέλτιστης οικονομικά λύσης

Αρχικά πρέπει να επαναληφθεί η επισήμανση που έγινε και σε προηγούμενες παραγράφους: συμμετοχή 50% της παραγόμενης ενέργειας από το σύστημα από μια πηγή δεν σημαίνει ότι η ονομαστική ισχύ της πηγής αυτή αποτελεί το 50% της συνολικής ονομαστικής εγκατεστημένης ισχύος γιατί ο ετήσιος βαθμός απόδοσης (Capacity Factor) των πηγών δεν είναι ο ίδιος. Επίσης η τιμή της ανά μονάδα εγκατεστημένης ενέργειας δεν είναι ίδια για όλες τις πηγές.

Ποιοτικά με περίπου την μισό βαθμό ετήσιας απόδοσης για τα φωτοβολταϊκά πάνελ σε σχέση με μια ανεμογεννήτρια τα πράγματα εμφανίζονται να κλείνουν υπέρ της λύσης των ανεμογεννητριών ως πιο συμφέρουσας οικονομικά, κάτι που φαίνεται να ενισχύεται από το γεγονός ότι το κόστος ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος είναι μικρότερο για μια ανεμογεννήτρια.

Θα μπορούσε να υπολογιστεί ένα σταθμισμένο κόστος ενέργειας (Levelized Cost of Energy) με εισαγωγή πλήθους παραδοχών όσο αφορά επιτόκια προεξόφλησης, κόστη επενδύσεων και συντήρησης αλλά δεδομένης της μειωμένης ακρίβειας αποτελεσμάτων που μπορούν να παράγουν αυτές οι παραδοχές, το να ληφθούν τυπικές τιμές της βιβλιογραφίας αποτελεί λογική λύση. Από τη σχετική βιβλιογραφία λαμβάνουμε τιμές σε ευρώ ανά MW εγκατεστημένης ονομαστικής ισχύος:

Πίνακας 9 Τιμές σε ευρώ ανά MW εγκατεστημένης ισχύος. Για τους υπολογισμούς ισοτιμίας έγινε η παραδοχή ότι ισχύει 0.748 ευρώ ανά δολάριο (Μέση ισοτιμία 2011).

	Φ/Β €/ MWp	A/Γ€ MWp
Ιωάννου 2012 ^[8]	2000000	1150000
Mc Kinsey 2012 ^[21]	2094400	
I.E.A 2011 ^[22]	2333760	
I.E.A. 2012 ^[23]		1196800
E.E.R.E 2011 ^[24]		1000000

Από τον πίνακα προκύπτει ότι για ίδια εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών χρειαζόμαστε διπλάσια χρήματα από την αντίστοιχη ισχύ ανεμογεννητριών. Με την αναλογία 2:1 μπορούμε να ξανατρέξουμε το μοντέλο για διαφορετικά σύνολα σεναρίων τα οποία θα έχουν σταθερό κόστος. Αν κάνουμε την χοντροειδή παραδοχή του 1 ευρώ ανά W

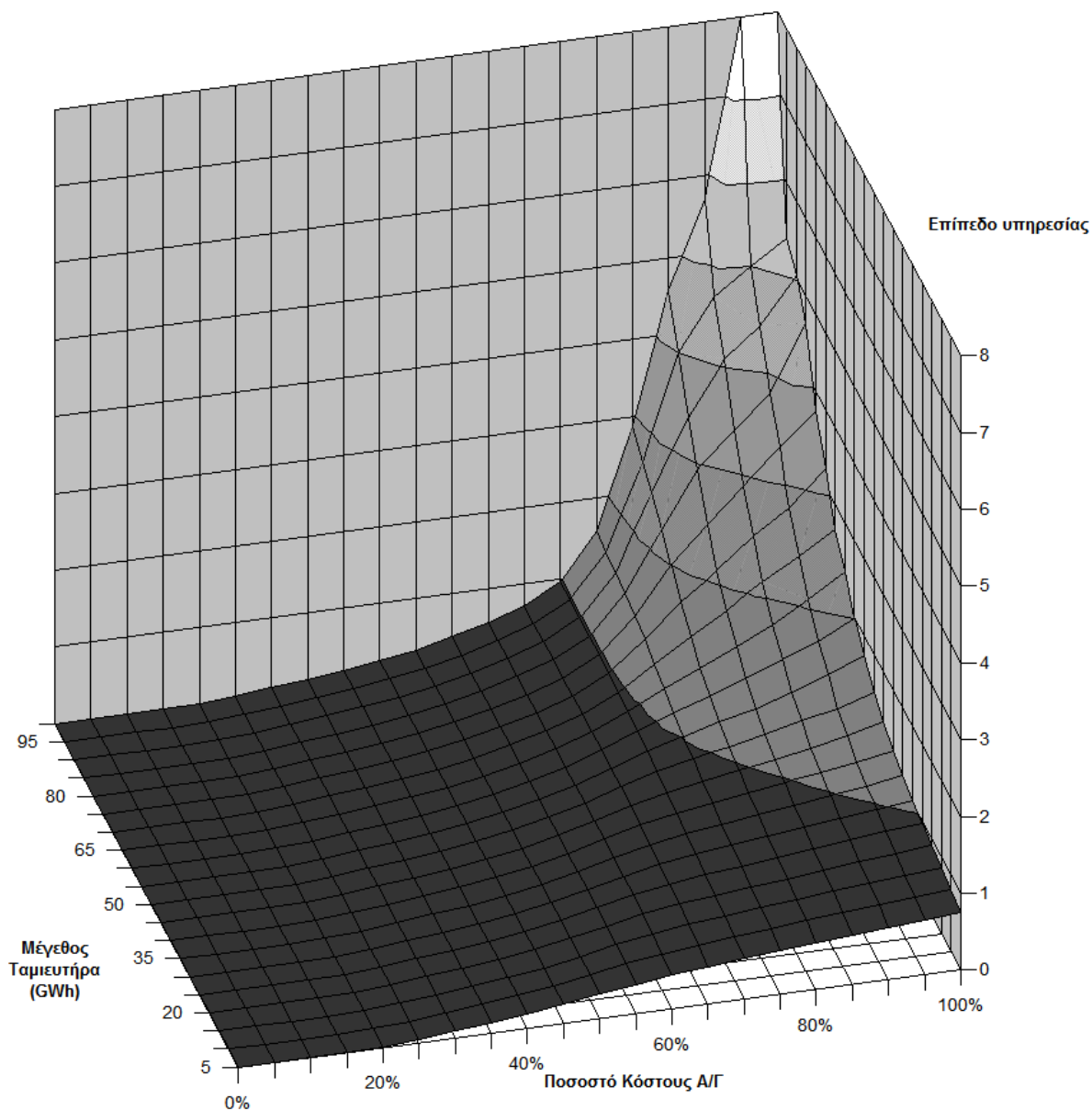
εγκατεστημένης ισχύος ανεμογεννητριών και των 2 ευρώ ανά W εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών (Wp) για 200, 250 και 300 εκ ευρώ προκύπτουν τα παρακάτω σενάρια:

Πίνακας 10 Σενάρια ίσου κόστους

200 εκ ευρώ		250 εκ ευρώ		300 εκ ευρώ	
MWp Φ/B	MW A/Γ	MWp Φ/B	MW A/Γ	MWp Φ/B	MW A/Γ
100.00	0.00	125.00	0.00	150.00	0.00
95.00	10.00	118.75	12.50	142.50	15.00
90.00	20.00	112.50	25.00	135.00	30.00
85.00	30.00	106.25	37.50	127.50	45.00
80.00	40.00	100.00	50.00	120.00	60.00
75.00	50.00	93.75	62.50	112.50	75.00
70.00	60.00	87.50	75.00	105.00	90.00
65.00	70.00	81.25	87.50	97.50	105.00
60.00	80.00	75.00	100.00	90.00	120.00
55.00	90.00	68.75	112.50	82.50	135.00
50.00	100.00	62.50	125.00	75.00	150.00
45.00	110.00	56.25	137.50	67.50	165.00
40.00	120.00	50.00	150.00	60.00	180.00
35.00	130.00	43.75	162.50	52.50	195.00
30.00	140.00	37.50	175.00	45.00	210.00
25.00	150.00	31.25	187.50	37.50	225.00
20.00	160.00	25.00	200.00	30.00	240.00
15.00	170.00	18.75	212.50	22.50	255.00
10.00	180.00	12.50	225.00	15.00	270.00
5.00	190.00	6.25	237.50	7.50	285.00
0.00	200.00	0.00	250.00	0.00	300.00

Όπως είναι αναμενόμενο για σενάρια που επι το πλείστον οι ανάγκες καλύπτονται με φωτοβολταϊκά -με δεδομένο περιορισμό στον προϋπολογισμό- υπάρχει ποσοστό αστοχίας κοντά στο 100% γιατί η ζήτηση δεν καλύπτεται από την παραγωγή ούτε τις ημέρες με μεγάλη ηλιοφάνεια.

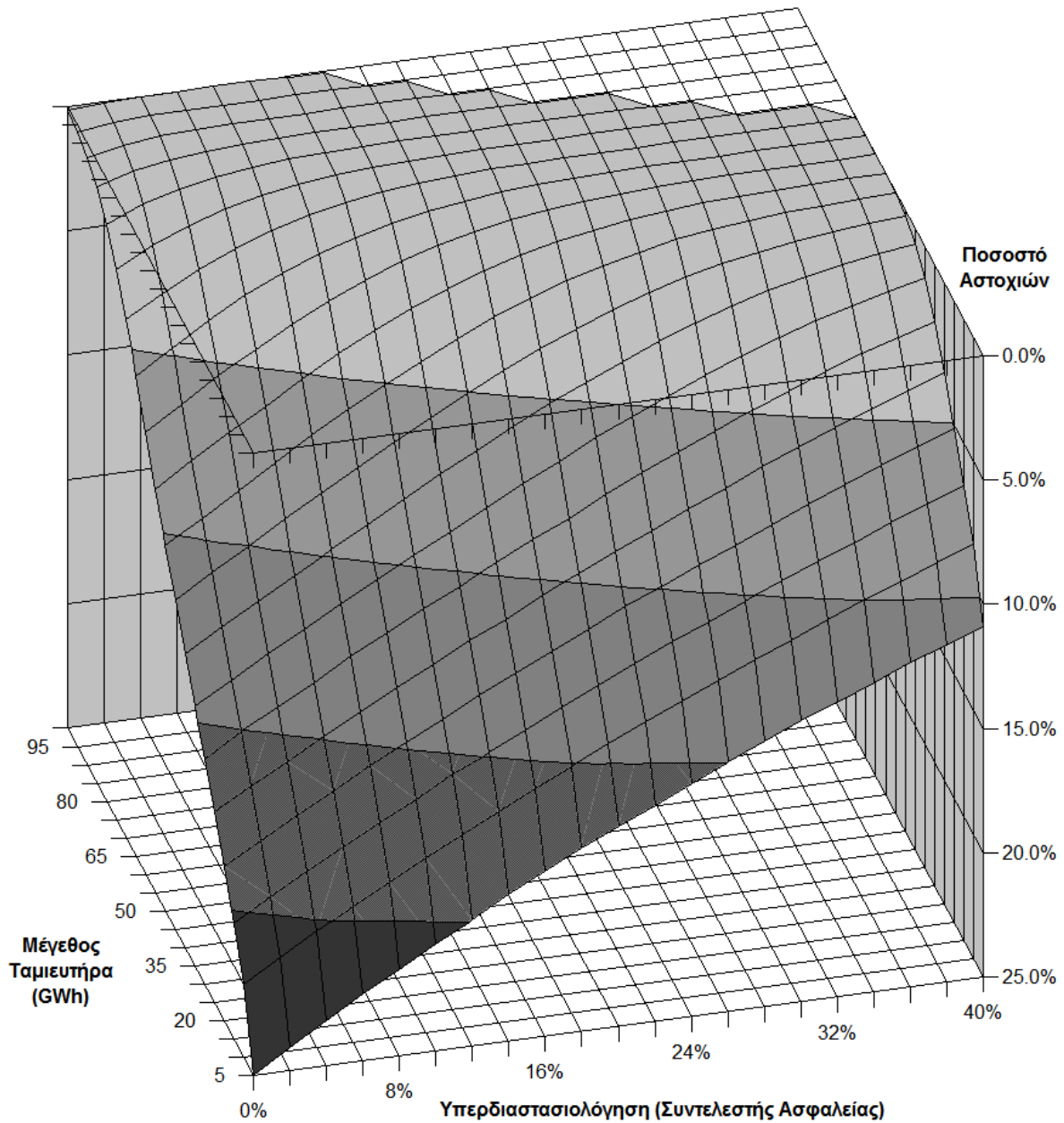
Μένει να μελετηθεί κατά πόσο μικρά ποσοστά του προϋπολογισμού μπορούν να μειώσουν τα ποσοστά αστοχίας εφόσον δεσμευθούν για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών τα οποία θα δρουν συμπληρωματικά με το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας να παράγεται από τις ανεμογεννήτριες. Στο γράφημα 17 παρατηρούμε ότι για δεδομένο ποσοστό αστοχίας (επίπεδο υπηρεσίας) και δεδομένο προϋπολογισμό η βέλτιστη λύση -που δίνει το ελάχιστο δυνατό μέγεθος ταμιευτήρα- αποτελείται αποκλειστικά από ανεμογεννήτριες.



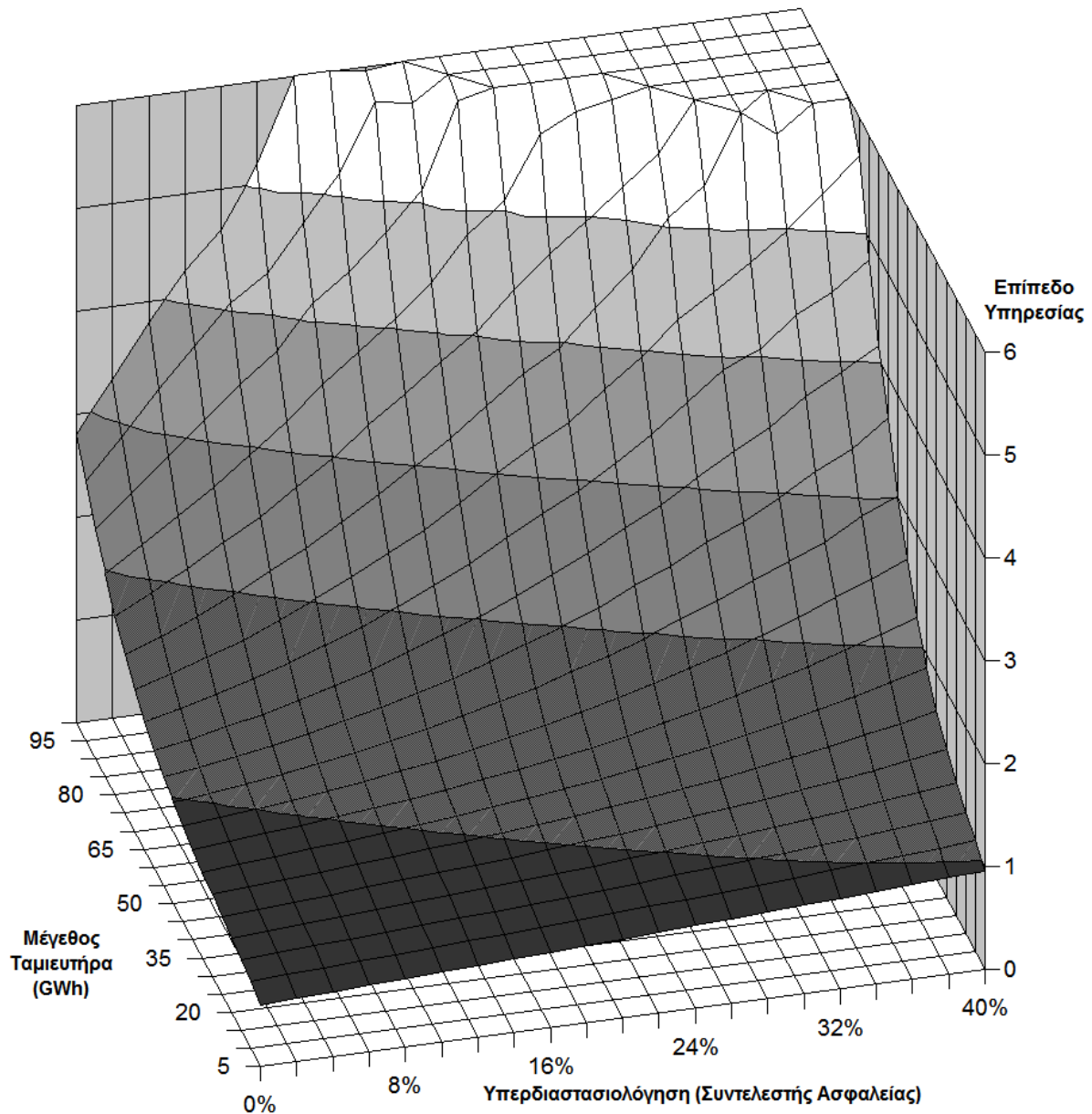
Γράφημα 17: Η μεταβολή του επιπέδου υπηρεσίας για διάφορα μεγέθη ταμιευτήρα και διάφορους συνδυασμούς ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών πάνελ σταθερού συνολικού προϋπολογισμού.

Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η απλοποίηση του αρχικού προβλήματος 3 παραμέτρων $f(x,y,z)$ σε πρόβλημα 2 παραμέτρων $f(y,z)$ εφόσον ο παράγοντας x που αφορά το ποσοστό συμμετοχής των ανεμογεννητριών προσδιορίστηκε στο 100% για κάθε περίπτωση βέλτιστης λύσης. Μένει να προσδιοριστεί ο οικονομικά βέλτιστος συνδυασμός μεγέθους ταμιευτήρα και υπερδιαστασιολόγησης (συντελεστή ασφαλείας) συστήματος ανεμογεννητριών για δεδομένο επίπεδο υπηρεσίας.

Εκτελούμε το αριθμητικό μοντέλο για όλα τα πιθανά σενάρια που προκύπτουν από τους συνδυασμούς χωρητικότητας ταμιευτήρα (από 5 έως 100 GWh με βήμα 5 GWh) και συντελεστές ασφαλείας από 1 έως 1.4 (0-40% υπερδιαστασιολόγηση με βήμα 2%), οπότε και προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:



Γράφημα 18: Η μεταβολή του ποσοστού αστοχιών για διάφορα μεγέθη ταμιευτήρα και διάφορες τιμές υπερδιαστασιολόγησης (συντελεστή ασφαλείας) ανεμογεννητριών



Γράφημα 19: Η μεταβολή του επιπέδου υπηρεσίας για διάφορα μεγέθη ταμιευτήρα και διάφορες τιμές υπερδιαστασιολόγησης (συντελεστή ασφαλείας) ανεμογεννητριών

Για τον προσδιορισμό του βέλτιστου συνδυασμού μεγέθους ταμιευτήρα και συντελεστή ασφαλείας ανεμογεννητριών (υπερδιαστασιολόγηση συστήματος) απαιτείται τελικά μια συνάρτηση κόστους-χωρητικότητας του ταμιευτήρα. Για να καταστεί δυνατή η κατασκευή της συνάρτησης αυτής πρέπει να υπάρχει σαν δεδομένο η υψομετρική διαφορά των ταμιευτήρων που προκύπτουν, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της υποψήφιας προς κατασκευή του ταμιευτήρα θέσης και των γεωλογικών χαρακτηριστικών του.

6 Ιδέες για τη βελτίωση του μοντέλου

Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας με σκοπό να δώσει όσο καλύτερα αποτελέσματα είναι εφικτό να παραχθούν στον περιορισμένο χρόνο εκπόνησης της εργασίας. Μια καλή κατανόηση του μοντέλου και των παραμέτρων του, την χονδρικότητα των παραδοχών του και την ευαισθησία των αποτελεσμάτων στις παραδοχές αυτές μπορεί να μας οδηγήσει στο επόμενο βήμα προς την βελτίωση της ποιότητας και της ακρίβειας των αποτελεσμάτων

Μέγεθος βήματος: Το μέγεθος του βήματος μπορεί να πάρει οποιοδήποτε μέγεθος, μηνιαίο ημερήσιο, ωριαίο, δεκάλεπτο ή άλλο αυθαίρετο μέγεθος. Υπάρχει αρχική πρόβλεψη στον κώδικα για κάτι τέτοιο, αλλά η τρέχουσα υλοποίηση δεν είναι δυνατόν να εκτελέσει βήμα πέρα από το ημερήσιο, λόγω παραδοχών που έχουν υπεισέλθει στον κώδικα όπως το πολυώνυμο μετατροπής της μέσης ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου σε μέση ημερήσια παραγόμενη ισχύ. Ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα είναι δυνατόν να ανακτηθούν από μετεωρολογικούς σταθμούς καθώς και το αρχείο της ΔΕΣΜΗΕ παρέχει ωριαίους φόρτους δικτύου. Η υλοποίηση που θα υποστηρίζει διάφορα μεγέθη βημάτων, απαιτεί και τρόπο εισαγωγής διαφορετικού πολυώνυμου για τον υπολογισμό της παραγόμενης από ανεμογεννήτριες ισχύος.

Εξαγωγή αποτελεσμάτων για κάθε χρονικό βήμα του έτους: με καταγραφή των αστοχιών/απωλειών για κάθε βήμα του έτους θα μπορούμε να υπολογίσουμε την κατανομή τους μέσα στο έτος: για παράδειγμα να δούμε το ποσοστό αστοχιών για την 34η ημέρα του έτους ή για οποιοδήποτε βήμα (ακόμα και αν το βήμα δεν είναι ημερήσιο). Με κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να διαπιστωθούν περαιτέρω περιοδικότητες (ημερήσια περιοδικότητα της στάθμης του ταμιευτήρα)

Χρήση καταλληλότερων κατανομών: Η κανονική κατανομή μας δίνει μια ικανοποιητική για την εφαρμογή προσέγγιση του φαινομένου αλλά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν καταλληλότερες κατανομές ειδικά για τα μετεωρολογικά μεγέθη (weibull ή reyleigh)

Δημιουργία καλύτερων χρονοσειρών που θα διατηρούν περισσότερα στατιστικά χαρακτηριστικά από την διασπορά και τη μέση τιμή, όπως την αυτοσυσχέτιση και την τιμή του συντελεστή Hurst.

Επεξεργαστής σεναρίων: Ένα εργαλείο που θα παράγει τον πίνακα των εργασιών με

όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των μεγεθών που θα δίνονται, για παράδειγμα όλους τους συνδυασμούς σεναρίων για όλες τις τιμές ταμειωτήρα από 5 GWh έως 25 GWh με βήμα 2 GWh. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να συνδυαστεί με την αυτόματη μορφοποίηση των αποτελεσμάτων σε πίνακες ή την δυνατότητα παραγωγής γραφημάτων.

Διαδικασία αυτόματης βελτιστοποίησης σεναρίων: εκτέλεση του μοντέλου με παραμέτρους που θα δίνονται όχι από προκαθορισμένη λίστα σεναρίων αλλά που θα δημιουργούνται δυναμικά από γραμμικό προγραμματισμό ή από γενετικό αλγόριθμο.

Χρήση περισσότερων επεξεργαστών/πυρήνων/νημάτων: στο επίπεδο του επεξεργαστή σεναρίων το πρόβλημα είναι 100% παραλληλίστιμο. Διαφορετικά σενάρια μπορούν να εκτελούνται παράλληλα σε περισσότερους από έναν πυρήνες χωρίς κανέναν περιορισμό γεγονός που δίνει στο πρόβλημα σύμφωνα με το νόμο του Amdah συντελεστή P κοντά στη μονάδα και το καθιστά πανεύκολα παραλληλίστιμο (Embarrassingly parallel).

Βιβλιογραφικές αναφορές

- [1.] Eugene C. Morgan a, Matthew Lackner, Richard M. Vogel, Laurie G. Baise - *Probability distributions for offshore wind speeds*, 2011.
- [2.] Yanping He - *Land Surface Wind Speed Probability Distributions in North America: Observations, Theory, and Regional Climate Model Evaluations*, 2010
- [3.] Ιστοσελίδα University of Colorado – Laboratory for Atmospheric and Space Physics - (<http://lasp.colorado.edu/>)
- [4.] Ιστοσελίδα SolarGis: Maps of Global horizontal irradiation (GHI) (http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Europe-en.png)
- [5.] Ιστοσελίδα REM enterprises (www.pacwind.remnet.com)
- [6.] Scott B. Capps , Alex Hall1 and Mimi Hughes, *Sensitivity of Southern California Wind Energy to Turbine Characteristics*, Wind Energ. 2011
- [7.] Ιστοσελίδα: Industrial Wind Energy Opposition - Size specifications of common industrial wind turbines (<http://www.aweo.org/windmodels.html>)
- [8.] Ιωάννου Χ. *Στοχαστική προσομοίωση και βελτιστοποίηση υβριδικού συστήματος ανανεώσιμης ενέργειας*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο 2012
- [9.] Ιστοσελίδα Olympus trade group (<http://otg.gr/wp-content/uploads/2012/05/Photovoltaics3.jpg>)
- [10.] Mark Z. Jacobson *Review of Solutions to Global Warming, Air Pollution, and Energy Security* 2009 (σελ 4)
- [11.] Ιστοσελίδα Boing Spectrolabs (<http://www.spectrolab.com/>)
- [12.] Κυμάκης Ε., Καλυκάκης Σ, Παπάζογλου Θ. *Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete* 2009
- [13.] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ελλάδας - Η μέση ταχύτητα του ανέμου στον ελλαδικό χώρο. (http://www.geodata.gov.gr/geodata/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=22&sobi2Id=72&Itemid)
- [14.] Κουτσογιάννης Δ, Ξανθόπουλος Θ. *Τεχνική Υδρολογία*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο 1999
- [15.] Ιστοσελίδα Joint Research Centre PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>)

- [16.] Ιστοσελίδα NASA Atmospheric Science Data Center
(<http://eosweb.larc.nasa.gov/>)
- [17.] Ιστοσελίδα ΔΕΣΜΗΕ (<http://www.desmie.gr/leitoyrgia-dedomena/metriseis/>)
- [18.] Ιστοσελίδα BraveNewClimate
(<http://bravenewclimate.com/2010/04/05/pumped-hydro-system-cost/>)
- [19.] U.S Department of Energy, *2010 Solar Technologies Market Report*, 2011
(<http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51847.pdf>)
- [20.] Boccard N - *Capacity Factor of Wind Power Realized Values vs. Estimates*,
2008
- [21.] 12321
- [22.] International Energy Agency, *Solar Energy Perspectives*, 2011
(http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Energy_Perspectives2011.pdf)
- [23.] Lantz E., Wiser R., Hand M., *The Past and Future Cost of Wind Energy*,
International Energy Agency 2012
- [24.] U.S. Department of Energy, *wind technologies market report*, 2011
(http://www1.eere.energy.gov/wind/pdfs/2011_wind_technologies_market_report.pdf)
- [25.] Aanesen K., Heck S., Pinner D., *Solar power: Darkest before dawn*, McKinsey
on Sustainability & Resource Productivity 2012 (www.mckinsey.com)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ο Κώδικας του προγράμματος:

Ακολουθεί ο Κώδικας του προγράμματος σε freepascal (Lazarus) με επισήμανση σύνταξης σε γραμματοσειρά σταθερού πλάτους. Παρακάτω ο κώδικας της μονάδας (Unit3) που περιέχει την συνάρτηση που υπολογίζει το ρυθμό αστοχίας:

```
unit Unit3;
```

```
{ $mode objfpc } { $H+ }
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Classes, SysUtils, Math, Forms, Dialogs;
```

```
type
```

```
Trndata = array of array of real;
```

```
//Public
```

```
var
```

```
//Επειδή μια συνάρτηση με την κλασσική μαθηματική έννοια δεν μπορεί να μας  
//επιστρέψει δύο αποτελέσματα χρησιμοποιούμε ένα προγραμματιστικό τρικ που  
μας
```

```
//επιτρέπει να κάνουμε "κοινόχρηστη" την τιμή του ορίσματος wastedwater,  
και στη
```

```
//συνέχεια να επιστρέψουμε την τιμή στο όρισμα μετά την κλήση της  
συνάρτησης
```

```
wastedwater:real;
```

```
//'λλη μια Global μεταβλητή για να ξέρουμε σε ποιο σημείο βρίσκεται η  
εκτέλεση
```

```
//της συνάρτησης και να ενημερώνουμε το χρήστη
```

```
jobprogress:integer;
```

```
//αν δοκιμάσουμε να κλείσουμε την εφαρμογή την ώρα που τρέχει η κυρίως  
συνάρτηση
```

```
//θα πρέπει να περιμένουμε να τερματίσει η συνάρτηση (πράγμα που μπορεί να  
πάρει
```

```
//πολύ χρόνο). με το TerminateFlag η συνάρτηση ξέρει ότι ο χρήστης έχει  
ζητήσει
```

```
//τερματισμό της εφαρμογής και τερματίζει πριν την ολοκλήρωση. Εναλλακτικά  
για
```

```
//ομαλό τερματισμό της συνάρτησης θα μπορούσαμε να την τρέξουμε σε
```


Ξεχωριστό νήμα

```
terminateflag:boolean;  
//randomdata: Trndata;  
function servicelevel(iterations:integer;Storagesize,PV_Capacity,  
    WT_Capacity:real;randomdata:Trndata;var wastedenergy:real):longint;
```

implementation

```
//Η κύρια συνάρτηση που μας δίνει το τον αριθμό των αστοχιών και άρα  
//το επίπεδο υπηρεσίας  
function servicelevel(iterations:integer;Storagesize,PV_Capacity,  
    WT_Capacity:real;randomdata:Trndata;var wastedenergy:real):longint;  
//Αρχικοποίηση σταθερών - βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού συστήματος όπως  
//υπολογίστηκε στην εργασία  
const PV_eff = 0.67357;  
//Αρχικοποίηση σταθερών - βαθμός απόδοσης αντλησοταμίευσης. Σημειώνεται  
//ότι αυτή η τιμή έχει γίνει παραδοχή ότι είναι κοινή για άντληση και  
ταμίευση  
const Stor_eff = 0.9;  
//Αρχικοποίηση μεταβλητών ελέγχου: i ο μετρητής του κυρίως βρόγχου και  
fails  
//ο μετρητής αστοχιών  
var i, fails :longint;  
//Μεταβλητές υπολογισμού θέσης του βήματος μέσα στο έτος και μεγέθους του  
//έτους σε βήματα με σκοπό την δυνατότητα χρήσης διαφόρων χρονικών  
βημάτων  
//παρόλα αυτά στην παρούσα έκδοση του προγράμματος αρκετά στοιχεία έχουν  
//εισαχθεί (hardcoded) με την παραδοχή ημερισίου βήματος οπότε δεν  
υπάρχει  
//δυνατότητα αλλαγής του βήματος για την ώρα  
var yearpos,yearsize :longint;  
//Μεταβλητή που κρατά την τιμή του μεγέθους του βήματος (σε ώρες)  
var timestephours:real;  
//Μεταβλητές των μετεωρολογικών δεδομένων για το τρέχον χρονικό βήμα  
var solar_irr,windspeed,consumption:real;  
//Μεταβλητές μεγεθών ενέργειας για το βήμα σε MWh  
var solarenergy,windenergy,energydelta,storedenergy:real;  
  
begin  
// *** ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΙΜΩΝ ***  
//αρχικοποίηση του ταμειευτήρα στο 1/2 της αρχικής χωρητικότητας  
    storedenergy:=storagesize/2;  
//Υπολογισμός του μεγέθους του έτους σε βήματα ίσο με το πλήθος των
```

γραμμών

```
//του πίνακα συν 1 γραμμή. η αρίθμηση του πίνακα ξεκινά απ το μηδέν!  
yearsize:=(high(randomdata[1])+1);  
//Υπολογισμός του χρονικού βήματος σε ώρες (ώστε η υπολογιζόμενη ισχύς  
που θα  
//προκύπτει απ' το εκάστοτε σύστημα για το χρονικό βήμα να μετατραπεί σε  
wh  
//Οι 8760 ώρες του έτους διαιρούνται με το πλήθος.  
//στη γενική μορφή του είναι timestephours:=8760/yearsize;  
//στην παρούσα έκδοση ισούται πάντα με 24 αφού το χρονικό βήμα είναι  
hardcoded  
timestephours := 24;  
//αρχικοποίηση των αστοχιών σε 0, η Pascal είναι αρκετά ευγενική για να  
το  
//κάνει για μας, αλλά είναι σημαντικό να υπάρχει σε περίπτωση port σε  
άλλη  
//γλώσσα, π.χ. C  
fails:=0;  
wastedenergy:=0;  
  
//*** ΚΥΡΙΩΣ ΒΡΟΓΧΟΣ ***  
//Η αρίθμηση ξεκινάει απ το 0 γιατί διευκόλυνση των πράξεων υπολοίπου  
(modulo)  
for i:=0 to iterations-1 do  
begin  
//υπολογισμός θέσης στο έτος με χρήση υπολοίπου διαίρεσης  
yearpos:=i mod (yearsize-1);  
//δημιουργία τυχαίων μετεωρολογικών μεγεθών για το επόμενο βήμα. τα  
μεγέθη  
//αυτά βασίζονται στην μέση τιμή και τυπική απόκλιση του βήματος, στην  
//περίπτωσή μας ημερήσιο βήμα  
  
//ταχύτητα του ανέμου για το βήμα εκφρασμένη σε m/s  
windspeed:=randg(randomdata[0,yearpos],randomdata[1,yearpos]);  
//ηλιακή ακτινοβολία για το βήμα εκφρασμένη σε w/m^2  
solar_irr:=randg(randomdata[2,yearpos],randomdata[3,yearpos]);  
//κατανάλωση για το βήμα εκφρασμένη σε MWh  
consumption:=randg(randomdata[4,yearpos],randomdata[5,yearpos]);  
//Αποκλείουμε τις αρνητικές τιμές για την κατανάλωση  
consumption:=max(consumption,0);  
  
//υπολογισμός παραγόμενης ηλιακής ισχύος από τα πάνελ  
//Διαίρεση με το 1000 λόγο του ορισμού του ονομαστικού watt-peak  
//πολλαπλασιασμός με το μέγεθος του χρονικού βήματος σε ώρες
```

```

//για να προκύψει μέγεθος ενέργειας σε MWh
solarenergy:=solar_irr * PV_eff * PV_capacity / 1000 * 24;

//υπολογισμός της παραγόμενης από της ανεμογεννήτριες ενέργειας με
//χρήση του πολυωνύμου που προσδιορίστηκε στην εργασία για
ανεμογεννήτρια
//2MW σε Wh οπότε διαιρούμε με το 2000000 για να έχουμε αποτέλεσμα σε
MW
//ανά MW εγκατεστημένης ενέργειας και πολλαπλασιάζω με την
εγκατεστημένη
//ενέργεια (WT_Capacity)
//Energy(Wh) = 11752*WDSPA3 + 186477*WDSPA2 - 387116*WDSP + 153668
//όπου WDSP η μέση ημερήσια ταχύτητα του ανέμου (m/s)
windenergy :=
(11752*windspeed**3 + 186477*windspeed**2 - 387116*windspeed +
153668) *WT_Capacity/2000000;
//Το πολυώνυμο μπορεί να δώσει αρνητικές τιμές για πολύ μέσες
ημερήσιες
//ταχύτητες ανέμου, καθώς και μεγαλύτερες της ονομαστικής (μέγιστης)
//ισχύως οπότε γίνεται έλεγχος ότι η τιμή θα είναι εντός των ορίων
αυτών
windenergy := max(0,windenergy);
windenergy := min(WT_Capacity*24,windEnergy);

//προσδιορισμός ισοζυγίου ενέργειας
Energydelta := solarenergy + windenergy - consumption;
//Σε περίπτωση θετικού ισοζυγίου υπολογίζουμε την αύξηση της ενέργειας
του
//ταμιευτήρα και στην υποπερίπτωση υπερχειλίσσης υπολογίζουμε την
ενέργεια
//που χάνεται και ορίζουμε την ταμιευμένη ενέργεια ήση με το μέγεθος
του
//ταμιευτήρα
if energydelta > 0 then begin
    storedenergy := storedenergy + energydelta * stor_eff;
    if storedenergy > storagesize then begin
        wastedenergy := wastedenergy + storedenergy - storagesize;
        storedenergy := storagesize;
    end;
end;
//Στην περίπτωση αρνητικού ισοζυγίου υπολογίζουμε την μείωση της
ενέργειας
//(αυξημένη όμως λόγω απωλειών). Στην υποπερίπτωση αστοχίας
καταγράφουμε
//την αστοχία με αύξηση του μετρητή των αστοχιών κατά ένα

```

```

if energydelta < 0 then begin
    Storedenergy := Storedenergy + energydelta / stor_eff;
    if storedenergy < 0 then begin
        fails := fails + 1;
        storedenergy := 0;
    end;
end;

    //Ανά 100.000 επαναλήψεις δίνουμε τον έλεγχο στην εφαρμογή και
    ενημερώνουμε
    //τον μετρητή προόδου της κυρίως εφαρμογής
    if (i mod 10000)=0 then begin
        application.ProcessMessages;
        jobprogress := (i * 100) div iterations;
        //έλεγχος αν έχει ζητηθεί τερματισμός της εφαρμογής
        if terminateflag=true then break;
    end;
end;
result:=fails;
end;

end.

```

Ο Κώδικας της μονάδας δύο (unit2) είναι υπεύθυνος για την αρχικοποίηση του παραθύρου που απεικονίζει τα στατιστικά μεγέθη του κάθε βήματος και περιέχει μόνο την εντολή αρχικοποίησης οπότε και παραλείπεται. Ακολουθεί ο κώδικας της μονάδας ένα (unit1) που περιέχει τον κώδικα του κυρίως παραθύρου.

```
unit Unit1;
```

```
{ $mode objfpc } { $H+ }
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Classes, SysUtils, FileUtil, Forms, Controls, Graphics, Dialogs, Arrow,
PairSplitter, Grids, Buttons, StdCtrls, ExtCtrls, unit2, unit3;
```

```
type
```

```
{ TForm1 }
```

```

TForm1 = class(TForm)
  Button1: TButton;
  Button2: TButton;
  Button3: TButton;
  CheckBox1: TCheckBox;
  CheckBox2: TCheckBox;
  OpenDialog1: TOpenDialog;
  Splitter1: TSplitter;
  StringGrid1: TStringGrid;
  Timer1: TTimer;
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
  procedure Button2Click(Sender: TObject);
  procedure Button3Click(Sender: TObject);
  procedure CheckBox1Change(Sender: TObject);
  procedure FormClose(Sender: TObject; var CloseAction: TCloseAction);
  procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
private
  { private declarations }
public
  //Global μεταβλητές
  //για να ξέρει το κάθε Unit σε ποιο job είμαστε
  CurrentJob:integer;
  { public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

{$R *.lfm}

{ TForm1 }

//κώδικας που είναι υπεύθυνος για το παράθυρο διαλόγου επιλογής αρχείου
σεναρίων
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var
  oFileStrings:TStringList;
  oRowStrings:TStringList;
  i:integer;
begin
  oFileStrings := TStringList.Create;

```

```

oRowStrings := TStringList.Create;
OpenDialog1.execute;
try
  oFileStrings.LoadFromFile(OpenDialog1.FileName);
  form2.StringGrid1.RowCount := oFileStrings.Count+1;
  for i := 0 to oFileStrings.Count - 1 do
  begin
    oRowStrings.Clear;
    oRowStrings.CommaText := oFileStrings[i];
    oRowStrings.Insert(0,IntToStr(i+1));
    if oRowStrings.Count > form2.StringGrid1.ColCount then
      form2.StringGrid1.ColCount := oRowStrings.Count;
    form2.StringGrid1.Rows[i+1].Assign(oRowStrings);
  end;
  form2.StringGrid1.Cells[0,0] := 'Βήμα';
finally
  oFileStrings.Free;
  oRowStrings.Free;
end;
//Ενεργοποίηση της επιλογής για απόκρυψη του παραθύρου που δείχνει τα στατιστικά
//δεδομένα καθώς και ενεργοποίηση του κουμπιού για να αρχίσει η επεξεργασία
//εφόσον έχουν φορτωθεί και η λίστα σεναρίων και το αρχείο με τα στατιστικά μεγέθη
checkbox1.Enabled:=true;
checkbox1.checked:=true;
if (checkbox1.enabled=true and checkbox2.enabled=true) then
button3.enabled:=true;

end;

//κώδικας που είναι υπεύθυνος για το παράθυρο διαλόγου επιλογής αρχείου στατιστικών μεγεθών
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
var
  oFileStrings:TStringList;
  oRowStrings:TStringList;
  i:integer;
begin
oFileStrings := TStringList.Create;
  oRowStrings := TStringList.Create;
  OpenDialog1.execute;
  try
    //φόρτωση του αρχείου σε αντικείμενο oFileStrings, κάθε εγγραφή και μια

```

γραμμή

```
oFileStrings.LoadFromFile(OpenDialog1.FileName);
StringGrid1.RowCount := oFileStrings.Count+1;
for i := 0 to oFileStrings.Count - 1 do
begin
    //Διαχωρισμός των πεδίων του αρχείου σε στήλες
    oRowStrings.Clear;
    oRowStrings.CommaText := oFileStrings[i];
    oRowStrings.Insert(0, '0%');
    if oRowStrings.Count > StringGrid1.ColCount then
        StringGrid1.ColCount := oRowStrings.Count;
    StringGrid1.Rows[i+1].Assign(oRowStrings);
end;
finally
    oFileStrings.Free;
    oRowStrings.Free;
end;

checkbox2.Enabled:=true;
if (checkbox1.enabled=true and checkbox2.enabled=true) then
button3.enabled:=true;
end;

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
var
    i,x,y:integer;
    wastedenergy:real;
    //Δημιουργία Δυναμικού Πίνακα 2 διαστάσεων
    var randomdata: array of array of real;
begin
    //Εναρξη περιοδικής ενημέρωσης της προόδου της τρέχουσας εργασίας
    timer1.enabled:=true;

    //Ορισμός του μεγέθους του δυναμικού πίνακα σε μέγεθος ίσο με το αρχείο
των
    //δεδομένων μ και σ, δηλαδή διάσταση 6 επί τον αριθμό των γραμμών του
αρχείου
    setlength(randomdata,6,form2.StringGrid1.rowcount-1);
    //Αντιγραφή των δεδομένων του stringgrid στον πίνακα
    for x := 0 to high(randomdata) do
        for y := 0 to high(randomdata[1]) do
            randomdata[x,y]:=strtofloat(form2.stringgrid1.cells[x+1,y+1]);

    //ΚΛΗΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΣΤΟΧΙΩΝ&ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗΣ
```

```

for i:= 1 to (stringgrid1.rowcount-1) do
  begin
    //Ενημέρωση προόδου στο stringgrid και της Global μεταβλητής
    stringgrid1.cells[0,i]:='σε Εξέλιξη';
    currentjob:=i;
    //κλήση Συνάρτησης
    stringgrid1.cells[6,i]:=floattostr(servicelevel(
      strtoint(stringgrid1.cells[4,i]),
      strtoint(stringgrid1.cells[3,i]),
      strtofloat(stringgrid1.cells[1,i]),
      strtofloat(stringgrid1.cells[2,i]),
      randomdata,wastedenergy));
    //Ενημέρωση του stringgrid όσο αφορά τις απώλειες;
    stringgrid1.cells[7,i]:=floattostr(wastedenergy);
    //Ενημέρωση για την πρόοδο
    stringgrid1.cells[0,i]:='ολοκληρώθηκε';
  end

end;
//κώδικας που αποκρύπτει η εμφανίζει το παράθυρο με τα στατιστικά εφόσον
αυτό ζητηθεί
procedure TForm1.CheckBox1Change(Sender: TObject);
begin
  form2.visible:=checkbox1.checked;
end;

//κώδικας που ενημερώνει την καθολική (global) μεταβλητή terminateflag ότι
ο χρήστης
//έχει ζητήσει τερματισμό του προγράμματος, έτσι ώστε ο τερματισμός να
είναι εφικτός
//ακόμα και μέσα από τον βρόγχο της κυρίως συνάρτησης
procedure TForm1.FormClose(Sender: TObject; var CloseAction: TCloseAction);
begin
  terminateflag:=true;
end;

//Ενημέρωση για την πρόοδο της επεξεργασίας ανά 1000ms
procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
  form1.caption:='Πρόοδος '+inttostr(currentjob)+'ης εργασίας:
'+inttostr(jobprogress)+'%';
end;

end.

```


Πίνακες Αποτελεσμάτων:

α) Αποτελέσματα σεναρίων της παραγράφου 5.1

Παρατίθενται οι πίνακες με τα αποτελέσματα του μοντέλου για τα σενάρια που περιγράφονται στην παράγραφο 5.1 για 6 διαφορετικές περιπτώσεις υπερδιαστασιολόγησης. Πρώτα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ποσοστών αστοχίας, κατόπιν το επίπεδο υπηρεσίας, ουσιαστικά η λογαριθμική κλίμακα των πρώτων έξι πινάκων και στη συνέχεια η μέση ημερήσια υπερχείλιση.

Η πρώτη στήλη (ΦΒ) του πίνακα δείχνει το ποσοστό συμμετοχής των Φωτοβολταϊκών στην τελική παραγωγή ενέργειας και η πρώτη γραμμή (Χ.Τ) την χωρητικότητα του ταμιευτήρα σε GWh. Η Ένδειξη Κ.Α. στον πίνακα επιπέδου υπηρεσίας σημαίνει «Καμία Αστοχία»

Ποσοστά Αστοχίας - Υπερδιαστασιολόγηση 0%

ΦΒ/Χ.Τ.	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	36.41%	36.41%	33.67%	31.40%	29.37%	27.53%	25.78%	24.14%	22.67%	21.20%	19.58%	17.97%	16.38%	14.82%	13.25%	11.71%	10.33%	9.55%	9.30%	9.28%
5%	35.24%	32.38%	30.00%	27.89%	25.86%	24.05%	22.38%	20.79%	19.02%	17.23%	15.47%	13.76%	12.00%	10.26%	8.81%	7.96%	7.77%	7.76%	7.72%	7.73%
10%	33.51%	30.59%	28.13%	25.88%	23.74%	21.85%	20.09%	18.22%	16.22%	14.30%	12.38%	10.38%	8.46%	6.83%	5.95%	5.76%	5.76%	5.75%	5.76%	5.75%
15%	30.97%	28.05%	25.52%	23.15%	20.96%	19.00%	17.00%	14.86%	12.71%	10.60%	8.44%	6.26%	4.53%	3.73%	3.47%	3.47%	3.46%	3.42%	3.37%	3.40%
20%	27.37%	24.46%	21.92%	19.53%	17.39%	15.31%	13.07%	10.83%	8.58%	6.23%	4.03%	2.51%	1.77%	1.48%	1.28%	1.21%	1.11%	1.06%	1.05%	0.99%
25%	23.06%	20.20%	17.72%	15.41%	13.24%	11.08%	8.79%	6.48%	4.17%	2.30%	1.20%	0.67%	0.43%	0.30%	0.19%	0.13%	0.09%	0.06%	0.05%	0.03%
30%	18.84%	16.03%	13.60%	11.41%	9.25%	7.01%	4.76%	2.75%	1.28%	0.58%	0.26%	0.12%	0.06%	0.03%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35%	15.27%	12.48%	10.10%	7.84%	5.65%	3.59%	1.87%	0.82%	0.34%	0.12%	0.06%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
40%	12.44%	9.51%	7.08%	4.90%	2.99%	1.50%	0.65%	0.24%	0.10%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
45%	11.30%	7.64%	5.17%	3.18%	1.68%	0.75%	0.30%	0.11%	0.04%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50%	11.94%	7.54%	4.56%	2.61%	1.32%	0.59%	0.23%	0.09%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
55%	13.36%	8.91%	5.54%	3.02%	1.47%	0.66%	0.27%	0.11%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60%	14.87%	10.78%	7.58%	4.63%	2.35%	1.06%	0.47%	0.19%	0.07%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
65%	16.42%	12.68%	9.85%	7.02%	4.33%	2.27%	1.02%	0.41%	0.16%	0.07%	0.03%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
70%	17.96%	14.39%	11.96%	9.47%	6.94%	4.49%	2.50%	1.19%	0.51%	0.20%	0.09%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
75%	19.40%	16.03%	13.78%	11.65%	9.42%	7.12%	4.87%	2.92%	1.47%	0.68%	0.29%	0.12%	0.06%	0.03%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
80%	20.72%	17.53%	15.41%	13.46%	11.57%	9.54%	7.40%	5.31%	3.46%	1.94%	0.95%	0.42%	0.18%	0.08%	0.04%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%
85%	22.02%	18.89%	16.89%	15.03%	13.33%	11.54%	9.70%	7.76%	5.87%	4.01%	2.48%	1.33%	0.64%	0.30%	0.15%	0.07%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%
90%	23.10%	20.05%	18.18%	16.45%	14.84%	13.24%	11.61%	9.89%	8.12%	6.34%	4.60%	3.06%	1.80%	0.94%	0.48%	0.25%	0.13%	0.06%	0.04%	0.02%
95%	24.06%	21.13%	19.34%	17.71%	16.15%	14.64%	13.17%	11.69%	10.13%	8.45%	6.79%	5.15%	3.64%	2.34%	1.37%	0.73%	0.38%	0.20%	0.10%	0.06%
100%	24.94%	22.09%	20.38%	18.81%	17.33%	15.93%	14.52%	13.20%	11.79%	10.32%	8.81%	7.28%	5.69%	4.25%	2.86%	1.81%	1.06%	0.56%	0.31%	0.17%

Ποσοστά Αστοχίας - Υπερδιαστασιολόγηση 5%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	34.36%	34.34%	31.66%	29.43%	27.41%	25.52%	23.76%	22.19%	20.69%	19.07%	17.38%	15.74%	14.13%	12.49%	10.80%	9.06%	7.17%	5.06%	2.94%	1.31%
5%	32.92%	30.15%	27.79%	25.64%	23.59%	21.81%	20.15%	18.38%	16.48%	14.68%	12.89%	11.04%	9.13%	7.08%	4.86%	2.54%	0.87%	0.18%	0.03%	0.01%
10%	30.87%	28.00%	25.52%	23.22%	21.15%	19.29%	17.38%	15.30%	13.26%	11.29%	9.21%	7.02%	4.67%	2.30%	0.72%	0.12%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%
15%	27.89%	24.96%	22.42%	20.06%	17.96%	15.94%	13.72%	11.47%	9.27%	6.96%	4.57%	2.26%	0.70%	0.12%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
20%	23.81%	20.98%	18.44%	16.14%	13.98%	11.68%	9.38%	7.04%	4.61%	2.37%	0.81%	0.17%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
25%	19.34%	16.55%	14.07%	11.85%	9.58%	7.26%	4.95%	2.75%	1.10%	0.28%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
30%	15.13%	12.40%	10.06%	7.80%	5.56%	3.39%	1.60%	0.54%	0.12%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35%	11.43%	8.82%	6.46%	4.33%	2.36%	0.99%	0.30%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
40%	8.35%	5.71%	3.52%	1.80%	0.70%	0.20%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
45%	6.11%	3.37%	1.65%	0.65%	0.20%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50%	5.65%	2.31%	0.94%	0.31%	0.08%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
55%	7.28%	2.99%	1.09%	0.36%	0.10%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60%	9.61%	5.31%	2.42%	0.87%	0.24%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
65%	11.86%	8.05%	5.05%	2.54%	0.98%	0.27%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
70%	13.93%	10.45%	7.87%	5.19%	2.86%	1.24%	0.41%	0.11%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
75%	15.83%	12.53%	10.29%	7.99%	5.61%	3.42%	1.69%	0.67%	0.20%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
80%	17.52%	14.47%	12.37%	10.31%	8.23%	6.08%	3.97%	2.24%	1.04%	0.37%	0.11%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
85%	19.09%	16.08%	14.13%	12.30%	10.48%	8.56%	6.59%	4.65%	2.89%	1.54%	0.68%	0.25%	0.07%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
90%	20.44%	17.52%	15.67%	13.96%	12.31%	10.64%	8.89%	7.12%	5.30%	3.58%	2.16%	1.08%	0.48%	0.18%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
95%	21.64%	18.84%	17.05%	15.47%	13.86%	12.41%	10.78%	9.26%	7.56%	5.89%	4.26%	2.79%	1.63%	0.82%	0.34%	0.12%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%
100%	22.74%	19.95%	18.29%	16.74%	15.29%	13.87%	12.44%	11.04%	9.54%	7.98%	6.47%	4.94%	3.45%	2.21%	1.23%	0.64%	0.27%	0.10%	0.03%	0.01%

Ποσοστά Αστοχίας - Υπερδιαστασιολόγηση 10%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	32.38%	32.38%	29.79%	27.53%	25.49%	23.58%	21.85%	20.31%	18.71%	16.95%	15.22%	13.58%	11.90%	10.18%	8.37%	6.45%	4.29%	2.19%	0.72%	0.13%
5%	30.73%	27.98%	25.60%	23.43%	21.43%	19.68%	17.88%	15.95%	14.01%	12.18%	10.28%	8.28%	6.17%	3.89%	1.75%	0.46%	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%
10%	28.33%	25.47%	22.99%	20.69%	18.65%	16.72%	14.63%	12.47%	10.38%	8.22%	5.95%	3.56%	1.46%	0.34%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15%	24.93%	22.05%	19.48%	17.16%	15.06%	12.80%	10.49%	8.20%	5.83%	3.37%	1.38%	0.33%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
20%	20.57%	17.73%	15.24%	12.94%	10.67%	8.29%	5.89%	3.49%	1.51%	0.40%	0.07%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
25%	15.98%	13.29%	10.86%	8.56%	6.19%	3.86%	1.86%	0.63%	0.13%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
30%	11.87%	9.23%	6.90%	4.59%	2.51%	1.02%	0.28%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35%	8.34%	5.80%	3.55%	1.75%	0.65%	0.16%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
40%	5.56%	3.11%	1.41%	0.48%	0.11%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
45%	3.60%	1.46%	0.47%	0.11%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50%	2.65%	0.70%	0.16%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
55%	3.10%	0.57%	0.10%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60%	5.20%	1.56%	0.34%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
65%	7.80%	4.01%	1.63%	0.45%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
70%	10.29%	6.85%	4.18%	1.96%	0.68%	0.16%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
75%	12.57%	9.40%	6.98%	4.61%	2.51%	1.04%	0.33%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
80%	14.58%	11.64%	9.45%	7.32%	5.13%	3.12%	1.59%	0.62%	0.19%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
85%	16.38%	13.51%	11.53%	9.64%	7.70%	5.70%	3.82%	2.21%	1.05%	0.40%	0.13%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
90%	17.97%	15.22%	13.37%	11.60%	9.88%	8.10%	6.32%	4.53%	2.91%	1.60%	0.76%	0.30%	0.09%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
95%	19.42%	16.66%	14.93%	13.30%	11.73%	10.16%	8.54%	6.90%	5.18%	3.59%	2.24%	1.23%	0.56%	0.22%	0.07%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
100%	20.73%	18.00%	16.32%	14.79%	13.30%	11.87%	10.45%	8.93%	7.41%	5.86%	4.32%	2.96%	1.80%	0.96%	0.45%	0.18%	0.06%	0.02%	0.00%	0.00%

Ποσοστά Αστοχίας – Υπερδιαστασιολόγηση - 15%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	30.53%	30.54%	27.92%	25.71%	23.63%	21.74%	20.06%	18.45%	16.72%	14.89%	13.18%	11.46%	9.69%	7.83%	5.85%	3.71%	1.74%	0.50%	0.08%	0.01%
5%	28.64%	25.89%	23.48%	21.28%	19.36%	17.56%	15.62%	13.57%	11.64%	9.67%	7.65%	5.46%	3.17%	1.27%	0.28%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10%	25.91%	23.06%	20.54%	18.27%	16.26%	14.11%	11.87%	9.71%	7.48%	5.14%	2.77%	0.96%	0.19%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15%	22.09%	19.25%	16.66%	14.44%	12.17%	9.75%	7.39%	5.00%	2.62%	0.91%	0.17%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
20%	17.52%	14.74%	12.27%	9.95%	7.49%	5.04%	2.74%	1.01%	0.24%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
25%	13.00%	10.32%	7.92%	5.50%	3.20%	1.40%	0.40%	0.07%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
30%	9.07%	6.44%	4.11%	2.07%	0.77%	0.18%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35%	5.82%	3.36%	1.54%	0.51%	0.11%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
40%	3.55%	1.43%	0.44%	0.10%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
45%	2.17%	0.58%	0.11%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50%	1.46%	0.25%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
55%	1.30%	0.12%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60%	2.23%	0.24%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
65%	4.47%	1.31%	0.25%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
70%	7.10%	3.71%	1.53%	0.42%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
75%	9.62%	6.49%	4.01%	1.98%	0.71%	0.19%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
80%	11.85%	8.94%	6.72%	4.55%	2.58%	1.16%	0.40%	0.11%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
85%	13.88%	11.13%	9.10%	7.12%	5.12%	3.25%	1.74%	0.75%	0.27%	0.07%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
90%	15.68%	12.98%	11.16%	9.36%	7.53%	5.73%	3.98%	2.41%	1.26%	0.53%	0.19%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
95%	17.35%	14.65%	12.93%	11.30%	9.67%	8.05%	6.39%	4.71%	3.16%	1.88%	0.98%	0.42%	0.14%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
100%	18.80%	16.12%	14.48%	12.95%	11.48%	10.03%	8.50%	7.01%	5.42%	3.92%	2.60%	1.50%	0.79%	0.35%	0.13%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%

Ποσοστά Αστοχίας – Υπερδιαστασιολόγηση 20%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	28.75%	28.73%	26.18%	23.91%	21.85%	20.02%	18.32%	16.58%	14.72%	12.92%	11.16%	9.35%	7.46%	5.47%	3.32%	1.47%	0.39%	0.06%	0.00%	0.00%
5%	26.59%	23.87%	21.44%	19.30%	17.37%	15.41%	13.33%	11.29%	9.25%	7.17%	4.95%	2.72%	0.97%	0.19%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10%	23.51%	20.70%	18.14%	15.96%	13.81%	11.51%	9.23%	6.95%	4.53%	2.28%	0.70%	0.11%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15%	19.41%	16.56%	14.06%	11.79%	9.33%	6.87%	4.40%	2.11%	0.65%	0.11%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
20%	14.73%	11.95%	9.53%	7.09%	4.59%	2.30%	0.79%	0.16%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
25%	10.27%	7.64%	5.21%	2.90%	1.18%	0.30%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
30%	6.58%	4.06%	1.99%	0.68%	0.15%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35%	3.83%	1.66%	0.51%	0.10%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
40%	2.17%	0.59%	0.12%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
45%	1.30%	0.21%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50%	0.88%	0.09%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
55%	0.69%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60%	0.88%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
65%	2.11%	0.24%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
70%	4.36%	1.49%	0.35%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
75%	6.92%	3.88%	1.77%	0.57%	0.13%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
80%	9.35%	6.46%	4.23%	2.29%	0.96%	0.29%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
85%	11.62%	8.85%	6.81%	4.78%	2.89%	1.47%	0.59%	0.19%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
90%	13.56%	10.92%	9.09%	7.23%	5.39%	3.61%	2.13%	1.04%	0.42%	0.14%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
95%	15.36%	12.76%	11.01%	9.35%	7.76%	6.07%	4.38%	2.88%	1.69%	0.80%	0.34%	0.11%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
100%	16.99%	14.35%	12.76%	11.18%	9.71%	8.24%	6.71%	5.16%	3.63%	2.34%	1.35%	0.68%	0.29%	0.10%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Ποσοστά Αστοχίας – Υπερδιαστασιολόγηση 25%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	27.03%	27.00%	24.45%	22.20%	20.13%	18.30%	16.59%	14.71%	12.81%	10.99%	9.16%	7.24%	5.21%	3.11%	1.33%	0.35%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%
5%	24.63%	21.89%	19.46%	17.33%	15.36%	13.27%	11.13%	9.02%	6.89%	4.67%	2.42%	0.83%	0.15%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10%	21.25%	18.41%	15.92%	13.68%	11.37%	8.96%	6.64%	4.22%	1.99%	0.59%	0.09%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
15%	16.89%	14.05%	11.59%	9.13%	6.59%	4.09%	1.88%	0.54%	0.09%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
20%	12.10%	9.40%	6.91%	4.40%	2.13%	0.69%	0.13%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
25%	7.87%	5.25%	2.89%	1.12%	0.29%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
30%	4.53%	2.19%	0.73%	0.15%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35%	2.39%	0.73%	0.14%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
40%	1.31%	0.22%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
45%	0.80%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50%	0.53%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
55%	0.43%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60%	0.42%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
65%	0.88%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
70%	2.37%	0.41%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
75%	4.66%	1.91%	0.57%	0.11%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
80%	7.11%	4.31%	2.24%	0.89%	0.26%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
85%	9.44%	6.77%	4.67%	2.81%	1.36%	0.52%	0.15%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
90%	11.60%	9.00%	7.08%	5.21%	3.49%	1.99%	0.95%	0.36%	0.11%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
95%	13.56%	10.97%	9.23%	7.54%	5.88%	4.22%	2.69%	1.54%	0.73%	0.30%	0.09%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
100%	15.29%	12.75%	11.10%	9.58%	8.05%	6.50%	4.94%	3.49%	2.19%	1.27%	0.63%	0.26%	0.09%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Επίπεδο Υπηρεσίας - Υπερδιαστασιολόγηση 0%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	0.439	0.439	0.473	0.503	0.532	0.560	0.589	0.617	0.644	0.674	0.708	0.745	0.786	0.829	0.878	0.932	0.986	1.020	1.031	1.032
5%	0.453	0.490	0.523	0.555	0.587	0.619	0.650	0.682	0.721	0.764	0.810	0.862	0.921	0.989	1.055	1.099	1.109	1.110	1.112	1.112
10%	0.475	0.514	0.551	0.587	0.625	0.661	0.697	0.739	0.790	0.845	0.907	0.984	1.073	1.166	1.226	1.240	1.240	1.241	1.239	1.240
15%	0.509	0.552	0.593	0.635	0.679	0.721	0.770	0.828	0.896	0.975	1.074	1.204	1.344	1.428	1.460	1.459	1.461	1.466	1.472	1.468
20%	0.563	0.611	0.659	0.709	0.760	0.815	0.884	0.965	1.066	1.205	1.395	1.601	1.752	1.829	1.892	1.918	1.955	1.975	1.980	2.004
25%	0.637	0.695	0.752	0.812	0.878	0.955	1.056	1.189	1.380	1.638	1.920	2.172	2.366	2.517	2.713	2.879	3.048	3.190	3.317	3.477
30%	0.725	0.795	0.866	0.943	1.034	1.154	1.322	1.561	1.893	2.235	2.589	2.918	3.222	3.523	3.858	4.178	4.390	4.772	4.996	5.032
35%	0.816	0.904	0.996	1.106	1.248	1.445	1.728	2.088	2.475	2.924	3.248	3.707	4.137	4.321	4.979	5.357	5.921	5.538	K.A.	K.A.
40%	0.905	1.022	1.150	1.309	1.525	1.823	2.186	2.617	3.020	3.548	3.986	4.523	4.821	5.409	5.469	5.770	6.155	K.A.	K.A.	K.A.
45%	0.947	1.117	1.287	1.498	1.775	2.123	2.523	2.950	3.423	3.861	4.260	4.959	4.963	5.319	5.367	6.699	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
50%	0.923	1.123	1.341	1.583	1.879	2.229	2.634	3.043	3.564	3.961	4.438	4.631	5.420	5.328	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
55%	0.874	1.050	1.257	1.520	1.832	2.179	2.564	2.974	3.421	3.769	4.225	4.699	5.102	5.569	K.A.	6.523	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
60%	0.828	0.967	1.120	1.335	1.628	1.976	2.324	2.724	3.171	3.517	4.014	4.607	4.750	5.036	K.A.	K.A.	5.921	K.A.	K.A.	K.A.
65%	0.785	0.897	1.007	1.153	1.363	1.645	1.991	2.392	2.787	3.173	3.524	3.900	4.235	4.620	4.903	5.699	7.000	6.398	K.A.	5.886
70%	0.746	0.842	0.922	1.024	1.158	1.348	1.602	1.925	2.293	2.703	3.061	3.430	3.748	4.157	4.405	5.086	5.208	5.215	K.A.	K.A.
75%	0.712	0.795	0.861	0.934	1.026	1.148	1.313	1.534	1.831	2.170	2.541	2.926	3.234	3.478	3.767	4.204	4.492	4.907	4.790	5.161
80%	0.684	0.756	0.812	0.871	0.937	1.020	1.131	1.275	1.460	1.712	2.024	2.375	2.742	3.089	3.355	3.649	3.956	4.269	4.524	4.857
85%	0.657	0.724	0.772	0.823	0.875	0.938	1.013	1.110	1.231	1.396	1.606	1.875	2.197	2.516	2.829	3.126	3.412	3.696	3.924	4.379
90%	0.636	0.698	0.740	0.784	0.829	0.878	0.935	1.005	1.091	1.198	1.337	1.514	1.744	2.026	2.319	2.597	2.896	3.190	3.427	3.699
95%	0.619	0.675	0.714	0.752	0.792	0.834	0.880	0.932	0.994	1.073	1.168	1.288	1.438	1.631	1.864	2.136	2.422	2.703	3.018	3.195
100%	0.603	0.656	0.691	0.726	0.761	0.798	0.838	0.880	0.928	0.986	1.055	1.138	1.245	1.372	1.544	1.741	1.974	2.252	2.505	2.778

Επίπεδο Υπηρεσίας - Υπερδιαστασιολόγηση 5%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	0.464	0.464	0.500	0.531	0.562	0.593	0.624	0.654	0.684	0.720	0.760	0.803	0.850	0.903	0.967	1.043	1.145	1.296	1.532	1.884
5%	0.482	0.521	0.556	0.591	0.627	0.661	0.696	0.736	0.783	0.833	0.890	0.957	1.040	1.150	1.313	1.595	2.063	2.734	3.488	4.222
10%	0.510	0.553	0.593	0.634	0.675	0.715	0.760	0.815	0.877	0.947	1.036	1.154	1.330	1.637	2.142	2.934	3.994	5.367	6.301	K.A.
15%	0.555	0.603	0.649	0.698	0.746	0.798	0.863	0.940	1.033	1.157	1.340	1.646	2.153	2.914	3.963	5.143	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
20%	0.623	0.678	0.734	0.792	0.855	0.933	1.028	1.152	1.336	1.625	2.091	2.777	3.733	5.056	6.398	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
25%	0.714	0.781	0.852	0.926	1.019	1.139	1.305	1.561	1.957	2.553	3.310	4.352	5.770	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
30%	0.820	0.906	0.997	1.108	1.255	1.470	1.796	2.265	2.920	3.780	4.780	6.523	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
35%	0.942	1.055	1.190	1.364	1.627	2.006	2.525	3.204	4.066	5.056	6.523	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
40%	1.078	1.244	1.454	1.744	2.153	2.690	3.360	4.243	4.951	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
45%	1.214	1.472	1.782	2.187	2.705	3.379	4.164	5.081	6.523	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
50%	1.248	1.637	2.028	2.511	3.083	3.760	4.431	5.432	5.678	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
55%	1.138	1.524	1.961	2.443	2.989	3.613	4.345	5.222	6.398	6.398	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
60%	1.017	1.275	1.616	2.062	2.618	3.217	3.892	4.745	5.824	6.523	6.046	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
65%	0.926	1.094	1.296	1.595	2.009	2.562	3.211	3.932	4.717	5.420	6.699	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
70%	0.856	0.981	1.104	1.285	1.543	1.906	2.384	2.963	3.649	4.399	5.310	5.854	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
75%	0.800	0.902	0.988	1.097	1.251	1.466	1.771	2.174	2.700	3.347	4.007	5.056	6.000	6.222	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
80%	0.756	0.839	0.908	0.987	1.085	1.216	1.401	1.650	1.981	2.437	2.961	3.593	4.242	5.119	5.398	7.000	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
85%	0.719	0.794	0.850	0.910	0.980	1.068	1.181	1.333	1.539	1.813	2.166	2.610	3.159	3.790	4.363	5.569	6.523	6.301	5.886	K.A.
90%	0.690	0.756	0.805	0.855	0.910	0.973	1.051	1.148	1.276	1.446	1.666	1.965	2.319	2.754	3.307	3.896	4.450	4.943	6.000	K.A.
95%	0.665	0.725	0.768	0.810	0.858	0.906	0.967	1.034	1.122	1.230	1.370	1.555	1.787	2.085	2.467	2.917	3.417	3.963	4.431	5.097
100%	0.643	0.700	0.738	0.776	0.816	0.858	0.905	0.957	1.020	1.098	1.189	1.306	1.462	1.655	1.909	2.196	2.566	3.000	3.512	4.025

Επίπεδο Υπηρεσίας - Υπερδιαστασιολόγηση 10%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	0.490	0.490	0.526	0.560	0.594	0.627	0.661	0.692	0.728	0.771	0.818	0.867	0.924	0.992	1.077	1.190	1.368	1.659	2.143	2.893
5%	0.512	0.553	0.592	0.630	0.669	0.706	0.748	0.797	0.854	0.914	0.988	1.082	1.210	1.411	1.758	2.336	3.205	4.423	5.796	K.A.
10%	0.548	0.594	0.639	0.684	0.729	0.777	0.835	0.904	0.984	1.085	1.226	1.449	1.836	2.466	3.403	4.590	6.398	K.A.	K.A.	K.A.
15%	0.603	0.657	0.710	0.765	0.822	0.893	0.979	1.086	1.235	1.472	1.861	2.478	3.406	4.570	6.046	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
20%	0.687	0.751	0.817	0.888	0.972	1.081	1.230	1.457	1.822	2.396	3.176	4.247	5.319	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
25%	0.797	0.877	0.964	1.067	1.208	1.413	1.731	2.200	2.891	3.816	4.848	6.398	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
30%	0.926	1.035	1.161	1.338	1.600	1.991	2.553	3.283	4.281	5.268	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
35%	1.079	1.237	1.450	1.758	2.190	2.789	3.538	4.592	5.377	6.523	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
40%	1.255	1.507	1.850	2.318	2.949	3.719	4.719	5.921	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
45%	1.443	1.835	2.326	2.947	3.680	4.745	5.824	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
50%	1.577	2.155	2.792	3.510	4.281	5.367	6.301	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
55%	1.508	2.241	2.981	3.788	4.604	5.538	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
60%	1.284	1.808	2.466	3.229	4.072	4.921	5.854	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
65%	1.108	1.397	1.788	2.350	3.074	3.933	4.721	5.886	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
70%	0.988	1.164	1.379	1.707	2.165	2.791	3.565	4.376	5.180	7.000	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
75%	0.901	1.027	1.156	1.337	1.600	1.982	2.486	3.110	3.861	4.759	5.602	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
80%	0.836	0.934	1.025	1.136	1.290	1.506	1.798	2.206	2.726	3.380	4.084	4.777	5.745	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
85%	0.786	0.869	0.938	1.016	1.113	1.244	1.418	1.655	1.977	2.402	2.893	3.535	4.271	4.903	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
90%	0.745	0.817	0.874	0.935	1.005	1.091	1.200	1.344	1.536	1.795	2.122	2.530	3.036	3.612	4.316	5.244	5.854	K.A.	K.A.	K.A.
95%	0.712	0.778	0.826	0.876	0.931	0.993	1.069	1.161	1.285	1.445	1.650	1.911	2.250	2.661	3.146	3.729	4.433	4.883	6.699	K.A.
100%	0.683	0.745	0.787	0.830	0.876	0.926	0.981	1.049	1.130	1.232	1.364	1.529	1.746	2.017	2.345	2.738	3.206	3.752	4.332	5.125

Επίπεδο Υπηρεσίας - Υπερδιαστασιολόγηση 15%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	0.515	0.515	0.554	0.590	0.627	0.663	0.698	0.734	0.777	0.827	0.880	0.941	1.014	1.106	1.233	1.430	1.758	2.300	3.085	4.164
5%	0.543	0.587	0.629	0.672	0.713	0.756	0.806	0.867	0.934	1.015	1.117	1.263	1.499	1.896	2.546	3.549	4.762	K.A.	K.A.	K.A.
10%	0.587	0.637	0.687	0.738	0.789	0.851	0.926	1.013	1.126	1.289	1.558	2.017	2.723	3.761	5.161	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
15%	0.656	0.716	0.778	0.840	0.915	1.011	1.131	1.301	1.582	2.040	2.766	3.788	5.620	6.699	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
20%	0.757	0.832	0.911	1.002	1.126	1.297	1.562	1.994	2.623	3.552	4.686	6.523	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
25%	0.886	0.986	1.101	1.260	1.495	1.854	2.397	3.153	4.207	5.301	7.000	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
30%	1.042	1.191	1.386	1.683	2.115	2.746	3.568	4.578	6.398	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
35%	1.235	1.473	1.813	2.295	2.963	3.727	4.883	6.097	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
40%	1.449	1.843	2.355	3.018	3.861	5.097	6.398	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
45%	1.664	2.239	2.940	3.732	4.767	5.921	7.000	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
50%	1.835	2.609	3.474	4.535	5.194	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
55%	1.885	2.904	3.881	4.939	5.721	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
60%	1.653	2.613	3.670	4.975	6.155	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
65%	1.350	1.882	2.595	3.464	4.604	6.000	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
70%	1.148	1.431	1.815	2.377	3.098	3.985	4.947	6.398	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
75%	1.017	1.188	1.397	1.702	2.148	2.711	3.460	4.342	5.187	5.796	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
80%	0.926	1.049	1.172	1.342	1.589	1.934	2.402	2.973	3.679	4.472	5.252	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
85%	0.858	0.954	1.041	1.148	1.291	1.489	1.760	2.125	2.576	3.173	3.837	4.572	5.770	6.523	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
90%	0.805	0.887	0.952	1.029	1.123	1.242	1.400	1.618	1.898	2.275	2.719	3.296	3.884	4.618	5.638	5.886	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
95%	0.761	0.834	0.888	0.947	1.015	1.094	1.194	1.327	1.501	1.725	2.008	2.381	2.840	3.339	3.959	4.604	5.495	K.A.	7.000	K.A.
100%	0.726	0.793	0.839	0.888	0.940	0.999	1.070	1.154	1.266	1.406	1.586	1.824	2.103	2.461	2.871	3.360	3.928	4.496	5.387	6.046

Επίπεδο Υπηρεσίας - Υπερδιαστασιολόγηση 20%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	0.541	0.542	0.582	0.621	0.661	0.699	0.737	0.781	0.832	0.889	0.952	1.029	1.127	1.262	1.479	1.832	2.410	3.254	4.332	5.678
5%	0.575	0.622	0.669	0.714	0.760	0.812	0.875	0.947	1.034	1.144	1.305	1.566	2.013	2.718	3.760	4.963	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
10%	0.629	0.684	0.741	0.797	0.860	0.939	1.035	1.158	1.344	1.642	2.155	2.951	4.059	5.553	6.398	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
15%	0.712	0.781	0.852	0.928	1.030	1.163	1.357	1.676	2.188	2.958	4.051	5.959	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
20%	0.832	0.923	1.021	1.149	1.339	1.638	2.104	2.806	3.769	4.921	6.301	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
25%	0.989	1.117	1.283	1.538	1.927	2.527	3.335	4.365	5.854	7.000	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
30%	1.182	1.392	1.701	2.169	2.827	3.649	4.903	6.155	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
35%	1.417	1.779	2.289	2.986	3.832	5.046	6.301	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
40%	1.663	2.230	2.923	3.853	4.810	5.745	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
45%	1.884	2.677	3.594	4.674	5.495	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
50%	2.057	3.045	4.101	5.252	6.699	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
55%	2.163	3.333	4.644	5.553	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
60%	2.055	3.442	4.764	6.000	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
65%	1.676	2.616	3.678	4.959	7.000	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
70%	1.361	1.828	2.450	3.283	4.442	5.420	6.699	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
75%	1.160	1.411	1.751	2.240	2.899	3.744	4.635	5.745	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
80%	1.029	1.189	1.373	1.640	2.020	2.540	3.189	3.933	4.991	5.770	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
85%	0.935	1.053	1.167	1.320	1.539	1.834	2.231	2.721	3.355	4.095	4.979	5.229	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
90%	0.868	0.962	1.041	1.141	1.268	1.442	1.671	1.982	2.374	2.860	3.458	4.210	4.854	5.854	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
95%	0.813	0.894	0.958	1.029	1.110	1.217	1.358	1.541	1.772	2.099	2.472	2.942	3.530	4.152	4.799	6.000	6.699	K.A.	K.A.	K.A.
100%	0.770	0.843	0.894	0.951	1.013	1.084	1.174	1.288	1.441	1.631	1.871	2.167	2.539	3.002	3.443	4.023	4.686	5.824	7.000	7.000

Επίπεδο Υπηρεσίας - Υπερδιαστασιολόγηση 25%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	0.568	0.569	0.612	0.654	0.696	0.738	0.780	0.832	0.892	0.959	1.038	1.140	1.283	1.507	1.876	2.459	3.327	4.365	5.721	K.A.
5%	0.609	0.660	0.711	0.761	0.814	0.877	0.954	1.045	1.162	1.331	1.617	2.082	2.817	3.876	5.347	6.398	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
10%	0.673	0.735	0.798	0.864	0.944	1.048	1.178	1.374	1.702	2.231	3.067	4.273	5.745	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
15%	0.772	0.852	0.936	1.040	1.181	1.389	1.726	2.267	3.069	4.204	5.481	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
20%	0.917	1.027	1.160	1.356	1.672	2.160	2.888	3.893	5.194	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
25%	1.104	1.279	1.538	1.949	2.544	3.393	4.504	6.222	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
30%	1.344	1.660	2.136	2.812	3.642	4.717	6.222	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
35%	1.622	2.139	2.852	3.758	4.836	5.721	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
40%	1.881	2.662	3.582	4.788	5.796	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
45%	2.099	3.107	4.272	5.523	K.A.	6.699	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
50%	2.272	3.486	4.724	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
55%	2.371	3.739	5.092	6.699	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
60%	2.375	3.947	5.252	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
65%	2.055	3.475	5.102	6.523	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
70%	1.625	2.383	3.330	4.513	5.620	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
75%	1.332	1.720	2.242	2.960	3.871	5.276	6.523	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
80%	1.148	1.365	1.650	2.048	2.584	3.307	4.169	5.222	6.523	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
85%	1.025	1.169	1.331	1.551	1.867	2.286	2.810	3.510	4.283	5.013	5.886	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
90%	0.936	1.046	1.150	1.283	1.457	1.700	2.024	2.441	2.953	3.582	4.285	5.187	7.000	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
95%	0.868	0.960	1.035	1.123	1.231	1.374	1.570	1.814	2.137	2.530	3.023	3.644	4.193	5.125	5.854	6.097	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.
100%	0.815	0.894	0.955	1.018	1.094	1.187	1.306	1.457	1.659	1.897	2.204	2.588	3.037	3.575	4.194	4.810	5.367	6.301	K.A.	K.A.

Μέση Ημερήσια Υπερχείλιση (MWh)- Υπερδιαστασιολόγηση 0%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	210	210	197	183	169	156	142	128	114	100	87	73	59	46	32	18	8	2	0	0
5%	195	181	167	154	140	126	113	99	85	71	58	44	30	17	7	1	0	0	0	0
10%	180	166	152	138	125	111	97	83	70	56	42	28	16	6	1	0	0	0	0	0
15%	164	151	137	123	109	96	82	68	54	41	27	14	5	2	0	0	0	0	0	0
20%	150	136	122	108	95	81	67	53	39	26	14	7	4	2	2	1	1	1	0	0
25%	135	121	107	94	80	66	52	39	26	16	11	9	8	7	7	6	6	6	6	6
30%	121	107	93	80	66	52	39	28	20	17	16	15	15	14	14	14	14	14	14	14
35%	108	94	80	67	53	41	31	26	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	21
40%	97	83	69	56	44	36	31	29	29	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
45%	92	77	64	52	43	38	35	35	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
50%	94	77	65	54	47	42	40	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
55%	103	85	71	60	52	47	45	44	44	43	44	43	44	43	43	43	43	43	43	43
60%	116	97	83	70	60	53	50	49	48	48	48	48	48	48	47	48	48	48	48	47
65%	132	113	99	86	73	63	57	54	52	52	51	51	51	52	51	51	51	52	51	51
70%	152	132	118	104	91	78	68	61	58	56	56	55	56	55	55	55	55	55	55	55
75%	172	153	139	125	111	98	85	74	67	62	60	59	59	58	59	59	58	58	58	58
80%	194	175	161	147	133	120	106	93	81	73	67	64	63	63	62	62	61	62	61	62
85%	216	197	183	169	155	142	129	115	101	89	79	72	69	67	66	66	65	65	65	65
90%	240	220	206	192	178	165	151	138	124	110	98	87	79	74	71	69	68	68	68	67
95%	264	243	229	216	202	188	175	161	147	134	120	107	96	86	80	76	73	71	71	71
100%	288	267	253	239	226	212	198	184	170	157	143	130	117	104	95	87	81	77	76	74

Μέση Ημερήσια Υπερχείλιση (MWh)- Υπερδιαστασιολόγηση 5%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	255	255	241	228	214	200	186	173	159	145	132	118	104	90	76	63	49	36	23	15
5%	239	225	212	198	184	171	157	143	129	116	102	88	74	61	47	35	27	24	24	23
10%	223	210	196	182	169	155	141	127	114	100	86	73	59	47	40	38	37	37	37	37
15%	208	194	181	167	153	140	126	112	98	85	71	60	53	50	50	50	50	50	50	50
20%	193	180	166	152	139	125	111	97	84	73	65	63	62	62	62	62	62	62	62	62
25%	179	165	152	138	124	111	97	85	77	73	73	72	72	72	72	72	72	72	72	72
30%	166	152	138	124	111	98	89	83	82	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
35%	153	140	126	113	101	94	91	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
40%	142	129	116	106	100	97	96	97	96	96	96	96	96	96	97	96	96	96	96	96
45%	135	122	112	106	104	103	103	102	103	102	102	103	102	102	103	103	102	102	102	103
50%	136	121	113	110	109	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
55%	144	127	119	115	114	114	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113
60%	160	140	129	122	119	118	118	117	118	118	118	117	118	118	117	118	118	118	118	118
65%	177	158	145	133	127	123	122	122	122	121	122	122	122	122	122	122	121	121	122	121
70%	198	178	164	151	140	132	128	126	126	126	126	126	126	126	126	125	125	126	125	125
75%	219	200	186	173	159	147	139	133	130	130	129	129	129	130	129	129	130	129	129	129
80%	241	223	209	195	181	168	156	146	139	135	133	133	132	134	133	132	133	133	133	132
85%	264	246	232	218	205	191	178	165	154	145	140	137	136	137	136	136	136	136	136	136
90%	289	270	256	243	229	215	201	187	174	162	153	146	142	140	140	139	138	139	139	139
95%	314	294	280	266	253	239	225	212	198	184	172	161	153	147	145	143	143	142	143	143
100%	338	318	304	291	278	263	249	235	223	209	195	183	171	161	154	149	147	146	145	145

Μέση Ημερήσια Υπερχείλιση (MWh)- Υπερδιαστασιολόγηση 10%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	301	301	287	273	260	246	232	218	205	191	177	163	150	136	122	108	95	84	76	74
5%	285	271	257	243	230	216	202	188	175	161	147	133	120	106	96	90	88	88	88	88
10%	269	255	241	228	214	200	186	173	159	145	131	118	108	104	102	102	102	102	102	102
15%	254	240	226	212	199	185	171	157	144	131	121	117	116	115	115	115	115	115	115	115
20%	239	225	211	198	184	170	157	144	134	129	128	127	127	127	128	127	127	127	127	127
25%	225	212	198	184	170	157	147	141	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138
30%	213	199	185	172	160	153	149	148	148	148	148	148	147	148	148	147	147	147	147	147
35%	202	188	175	165	159	157	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156
40%	194	181	171	166	164	164	164	164	164	163	163	164	163	164	164	164	164	164	164	163
45%	190	179	173	171	170	170	171	171	170	170	171	171	171	170	170	171	170	171	171	170
50%	190	181	178	177	177	177	176	177	177	176	177	177	177	177	177	177	177	177	177	177
55%	197	185	183	182	182	183	183	183	182	182	182	182	182	182	182	182	183	182	182	182
60%	209	193	189	187	187	188	187	187	187	187	187	188	187	187	187	188	187	187	187	188
65%	226	209	199	194	192	192	192	192	192	192	192	192	192	191	192	192	192	191	192	192
70%	246	229	216	205	199	197	196	196	196	196	196	196	196	195	196	196	196	196	196	196
75%	268	250	237	223	213	205	201	201	200	200	200	201	200	200	200	200	200	200	200	200
80%	291	273	260	246	233	221	212	207	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	203
85%	315	297	283	269	256	242	229	220	214	210	208	208	207	207	207	206	207	206	207	207
90%	340	321	308	294	280	267	253	240	229	220	215	212	211	211	211	211	210	211	211	211
95%	365	347	332	319	305	291	277	264	251	239	228	221	218	215	215	214	213	213	214	214
100%	391	372	357	343	330	317	302	289	276	262	249	239	230	223	220	218	218	217	217	217

Μέση Ημερήσια Υπερχείλιση (MWh)- Υπερδιαστασιολόγηση 15%

ΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	347	347	334	320	306	292	279	265	251	237	223	210	196	183	169	155	145	139	137	136
5%	331	317	303	290	276	262	249	235	221	207	194	180	167	158	153	152	152	152	152	152
10%	315	301	288	274	260	246	233	219	205	191	179	171	167	166	167	167	166	166	166	167
15%	300	286	273	259	245	231	218	204	192	184	181	180	180	180	180	180	180	180	180	180
20%	286	272	258	245	231	217	205	197	193	193	193	192	192	192	193	192	192	193	192	192
25%	273	259	245	232	220	210	205	203	203	204	203	204	203	203	203	203	203	203	203	203
30%	262	248	235	224	217	214	214	213	213	214	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213
35%	254	240	230	225	223	222	222	222	222	222	222	222	222	222	223	222	222	222	222	222
40%	249	239	233	231	230	231	230	231	231	231	231	231	231	231	230	231	230	231	230	231
45%	250	241	239	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238
50%	253	246	244	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
55%	258	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	250
60%	266	258	256	257	257	257	256	257	256	256	257	257	256	257	256	257	256	256	257	257
65%	280	267	263	262	261	262	261	262	262	262	262	262	261	262	262	261	262	261	262	262
70%	299	282	273	268	266	266	266	266	266	266	266	266	266	266	266	266	266	266	265	266
75%	320	303	290	280	274	271	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
80%	343	325	312	299	288	280	276	275	274	275	275	274	274	274	274	274	274	274	274	274
85%	368	349	336	323	309	298	289	282	279	278	279	277	279	278	278	279	277	278	278	278
90%	392	374	360	347	333	320	308	297	289	285	283	282	283	282	282	281	282	282	282	281
95%	418	400	386	372	358	344	331	318	307	298	292	288	286	285	285	285	285	284	285	285
100%	444	426	411	398	384	371	357	343	330	318	307	300	294	290	289	288	289	288	288	289

β) Αποτελέσματα σεναρίων της παραγράφου 5.3

Παρατίθενται οι πίνακες με τα αποτελέσματα του μοντέλου για τα σενάρια που περιγράφονται στην παράγραφο 5.2 για 3 διαφορετικές περιπτώσεις συνολικού κόστους: 200, 250 και 300 εκατομμύρια ευρώ. Πρώτα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ποσοστών αστοχίας, κατόπιν το επίπεδο υπηρεσίας, ουσιαστικά η λογαριθμική κλίμακα των πρώτων έξι πινάκων και στη συνέχεια η μέση ημερήσια υπερχέλιση.

Η πρώτη στήλη (ΚΦΒ) του πίνακα δείχνει το ποσοστό κόστους των Φωτοβολταϊκών επί του συνολικού κόστους και η πρώτη γραμμή (Χ.Τ) την χωρητικότητα του ταμιευτήρα σε GWh. Η Ένδειξη Κ.Α. στον πίνακα επιπέδου υπηρεσίας σημαίνει «Καμία Αστοχία»

Στους 3 τελευταίους πίνακες παρατίθενται οι συνδυασμοί σεναρίων για αποκλειστική χρήση ανεμογεννητριών με ποσοστά υπερδιαστασιολόγησης (ΥΔΛ) από 0 έως 40% και διάφορα μεγέθη ταμιευτήρα (Χ.Τ) , όπως αυτά παρουσιάζονται στο τέλος της παραγράφου 5.3%

Ποσοστά Αστοχίας – Συνολικό κόστος 200 εκατομμύρια ευρώ

ΚΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
5.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
10.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
15.0%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.5%	99.6%	99.6%	99.5%	99.6%	99.5%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%
20.0%	97.2%	97.3%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%
25.0%	89.8%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.8%	89.9%	89.9%	89.8%	89.9%
30.0%	80.3%	80.3%	80.3%	80.3%	80.3%	80.4%	80.3%	80.3%	80.3%	80.2%	80.2%	80.2%	80.3%	80.3%	80.2%	80.2%	80.3%	80.3%	80.3%	80.2%
35.0%	72.9%	73.0%	73.0%	72.9%	73.1%	72.9%	72.9%	72.8%	73.0%	72.9%	72.9%	72.9%	73.0%	73.0%	72.9%	72.9%	72.9%	72.9%	72.9%	73.0%
40.0%	64.7%	64.7%	64.7%	64.6%	64.6%	64.7%	64.6%	64.6%	64.7%	64.6%	64.6%	64.6%	64.6%	64.8%	64.7%	64.7%	64.5%	64.6%	64.7%	64.7%
45.0%	55.9%	55.6%	55.6%	55.5%	55.5%	55.6%	55.6%	55.4%	55.4%	55.5%	55.6%	55.5%	55.4%	55.8%	55.5%	55.6%	55.5%	55.6%	55.5%	55.4%
50.0%	47.9%	46.3%	45.9%	45.7%	45.7%	45.9%	45.8%	45.8%	45.9%	45.7%	46.0%	45.8%	45.8%	45.8%	45.8%	45.8%	45.7%	45.9%	45.9%	46.0%
55.0%	41.5%	38.3%	37.1%	36.5%	36.0%	36.1%	36.3%	36.2%	36.0%	36.3%	36.0%	36.0%	36.3%	35.9%	36.0%	36.0%	36.3%	36.0%	36.2%	36.1%
60.0%	36.5%	33.0%	31.1%	29.6%	28.5%	28.0%	27.4%	27.2%	27.2%	27.0%	27.0%	27.2%	27.1%	27.0%	27.1%	27.1%	26.8%	27.0%	27.2%	27.0%
65.0%	32.7%	29.2%	27.1%	25.3%	23.8%	22.6%	21.5%	20.6%	19.9%	19.3%	19.2%	19.0%	19.0%	18.9%	18.8%	19.1%	18.9%	18.9%	18.9%	18.8%
70.0%	29.5%	26.1%	24.1%	22.6%	20.9%	19.5%	18.0%	16.6%	15.5%	14.2%	13.3%	12.4%	11.8%	11.3%	10.9%	10.8%	10.7%	10.5%	10.6%	10.7%
75.0%	26.8%	23.8%	21.8%	20.1%	18.7%	17.1%	15.7%	14.3%	12.6%	11.2%	9.8%	8.2%	7.0%	5.7%	4.7%	4.0%	3.4%	3.2%	3.0%	2.6%
80.0%	24.6%	21.6%	19.8%	18.3%	16.6%	15.1%	13.7%	12.3%	10.5%	9.0%	7.4%	5.8%	4.3%	2.9%	1.8%	1.0%	0.6%	0.3%	0.2%	0.1%
85.0%	22.7%	19.8%	18.0%	16.4%	14.9%	13.4%	11.9%	10.4%	8.8%	7.3%	5.6%	3.9%	2.6%	1.5%	0.8%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
90.0%	20.9%	18.1%	16.5%	14.8%	13.3%	11.8%	10.2%	8.7%	7.3%	5.5%	4.1%	2.6%	1.6%	0.7%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
95.0%	19.3%	16.5%	14.9%	13.4%	11.8%	10.4%	8.9%	7.4%	5.8%	4.4%	2.8%	1.7%	0.8%	0.4%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
100.0%	17.8%	15.3%	13.6%	12.0%	10.6%	9.2%	7.5%	6.2%	4.4%	3.1%	1.8%	1.0%	0.4%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Επίπεδο Υπηρεσίας – Συνολικό κόστος 200 εκατομμύρια ευρώ

ΚΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0.00%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.00%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10.00%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15.00%	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
20.00%	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
25.00%	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.047	0.046	0.046	0.047	0.046
30.00%	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.096	0.096	0.096	0.095	0.095	0.096	0.096	0.096	0.095	0.095	0.096
35.00%	0.137	0.137	0.137	0.137	0.136	0.137	0.137	0.138	0.136	0.137	0.137	0.138	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137
40.00%	0.189	0.189	0.189	0.190	0.190	0.189	0.190	0.190	0.189	0.190	0.190	0.190	0.190	0.189	0.189	0.189	0.190	0.189	0.189	0.189
45.00%	0.252	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.256	0.257	0.256	0.255	0.256	0.256	0.254	0.256	0.255	0.256	0.255	0.256	0.256
50.00%	0.320	0.334	0.339	0.340	0.340	0.339	0.340	0.339	0.339	0.340	0.337	0.339	0.339	0.339	0.339	0.339	0.340	0.338	0.338	0.338
55.00%	0.382	0.417	0.431	0.437	0.444	0.442	0.440	0.442	0.444	0.440	0.443	0.443	0.441	0.445	0.444	0.444	0.441	0.443	0.442	0.442
60.00%	0.437	0.481	0.508	0.529	0.545	0.553	0.562	0.566	0.565	0.568	0.569	0.566	0.567	0.569	0.567	0.566	0.571	0.568	0.566	0.568
65.00%	0.485	0.534	0.567	0.597	0.623	0.645	0.667	0.686	0.701	0.714	0.717	0.721	0.720	0.724	0.725	0.719	0.724	0.724	0.723	0.725
70.00%	0.530	0.583	0.617	0.646	0.679	0.710	0.744	0.779	0.809	0.848	0.877	0.907	0.927	0.947	0.962	0.967	0.972	0.981	0.976	0.971
75.00%	0.571	0.624	0.661	0.697	0.729	0.768	0.804	0.844	0.898	0.952	1.011	1.089	1.157	1.247	1.331	1.398	1.466	1.498	1.524	1.578
80.00%	0.610	0.666	0.704	0.738	0.780	0.820	0.862	0.911	0.978	1.048	1.131	1.236	1.368	1.544	1.752	2.003	2.228	2.477	2.638	2.867
85.00%	0.645	0.704	0.746	0.785	0.827	0.873	0.924	0.985	1.055	1.140	1.249	1.408	1.579	1.818	2.104	2.474	2.950	3.390	4.004	4.569
90.00%	0.680	0.741	0.783	0.831	0.877	0.929	0.989	1.060	1.139	1.256	1.392	1.592	1.794	2.135	2.483	2.908	3.393	4.081	4.658	5.699
95.00%	0.715	0.782	0.827	0.874	0.927	0.983	1.053	1.128	1.234	1.358	1.555	1.766	2.073	2.391	2.793	3.348	3.807	4.456	5.000	K.A.
100.00%	0.751	0.816	0.868	0.919	0.975	1.035	1.125	1.211	1.354	1.505	1.740	2.007	2.373	2.682	3.245	3.754	4.658	5.046	5.301	K.A.

Μέση Ημερήσια Υπερχείλιση – Συνολικό κόστος 200 εκατομμύρια ευρώ

ΚΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45%	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50%	13	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55%	35	17	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	68	47	34	22	14	7	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65%	108	85	71	59	46	36	23	16	10	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0
70%	154	132	117	106	90	77	63	52	39	30	20	14	9	5	3	1	1	0	0	0
75%	203	182	167	153	141	127	112	100	86	72	59	47	38	28	22	17	14	10	8	7
80%	255	233	222	207	192	179	165	152	137	124	110	97	85	76	70	62	59	59	56	57
85%	304	287	273	260	244	231	217	204	191	177	165	151	143	133	129	127	123	125	123	123
90%	362	341	328	317	300	287	273	260	244	232	221	212	202	197	192	191	191	193	191	191
95%	418	397	383	371	356	341	329	317	304	289	277	271	265	261	259	258	258	258	259	260
100%	474	452	440	426	412	397	383	370	359	347	340	335	330	327	327	326	325	326	325	326

Μέση Ημερήσια Υπερχείλιση – Συνολικό κόστος 250 εκατομμύρια ευρώ

ΚΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35%	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	23	8	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45%	60	40	26	16	9	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50%	111	89	75	62	50	37	27	17	11	6	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0
55%	171	149	135	121	108	96	82	67	55	42	32	24	17	14	10	9	7	6	5	4
60%	234	214	200	186	173	158	145	132	117	106	94	84	81	76	73	74	72	73	71	71
65%	303	282	268	256	241	227	213	200	189	177	167	162	160	159	156	159	157	158	159	158
70%	371	351	338	324	311	295	283	272	259	251	245	244	244	240	241	241	240	241	245	239
75%	440	423	409	394	381	368	357	345	336	331	328	327	325	328	325	324	325	327	325	325
80%	514	497	481	469	454	443	431	420	417	411	411	409	409	412	410	409	407	410	409	410
85%	588	569	556	544	529	516	509	500	496	493	493	493	490	492	492	491	492	493	491	493
90%	664	645	631	618	606	594	587	581	580	577	578	575	578	577	572	578	576	576	577	574
95%	737	719	707	692	681	672	664	662	664	659	660	662	658	659	660	657	656	659	660	661
100%	815	797	781	768	757	751	749	744	743	741	744	742	742	741	742	741	742	742	741	743

Μέση Ημερήσια Υπερχείλιση – Συνολικό κόστος 250 εκατομμύρια ευρώ

ΚΦΒ/Χ.Τ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25%	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30%	14	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35%	54	34	22	13	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	116	95	80	67	53	41	30	20	13	8	4	3	1	1	0	0	0	0	0	0
45%	190	171	156	140	128	113	101	89	77	68	61	58	58	53	56	55	56	56	55	56
50%	270	252	237	224	211	197	183	173	166	159	160	158	156	158	157	158	157	157	156	157
55%	355	336	320	309	296	281	270	267	261	259	259	257	258	258	257	258	258	256	257	259
60%	441	424	409	399	382	372	366	360	361	360	359	359	357	358	358	359	359	360	357	359
65%	529	512	499	487	476	467	462	461	460	461	462	460	459	456	461	458	458	460	458	458
70%	621	600	587	581	566	562	559	559	558	562	559	557	561	560	561	559	561	561	556	558
75%	711	693	682	675	665	661	658	660	658	656	662	657	656	656	661	660	659	660	661	657
80%	805	789	775	764	763	762	758	757	759	759	759	759	759	761	759	759	757	759	760	757
85%	898	880	869	861	860	858	856	858	857	860	855	858	856	858	857	860	856	859	855	857
90%	993	975	966	959	957	958	957	955	958	959	959	956	957	958	954	957	955	958	958	956
95%	1090	1072	1063	1056	1058	1058	1055	1057	1061	1054	1057	1058	1056	1054	1059	1057	1056	1058	1057	1055
100%	1185	1165	1162	1160	1156	1152	1155	1155	1152	1160	1157	1154	1157	1155	1155	1156	1155	1152	1153	1154

Ποσοστά Αστοχίας – Αποκλειστική Χρήση Ανεμογεννητριών, Υπερδιαστασιολόγηση 0-40%

(ΥΔΛ/Χ.Τ)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
2%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
4%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.5%	99.6%	99.6%	99.5%	99.6%	99.5%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%
8%	97.2%	97.3%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%
10%	89.8%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.9%	89.8%	89.9%	89.9%	89.8%	89.9%
12%	80.3%	80.3%	80.3%	80.3%	80.3%	80.4%	80.3%	80.3%	80.3%	80.2%	80.2%	80.2%	80.3%	80.3%	80.2%	80.2%	80.3%	80.3%	80.3%	80.2%
14%	72.9%	73.0%	73.0%	72.9%	73.1%	72.9%	72.9%	72.8%	73.0%	72.9%	72.9%	72.9%	73.0%	73.0%	72.9%	72.9%	72.9%	72.9%	72.9%	73.0%
16%	64.7%	64.7%	64.7%	64.6%	64.6%	64.7%	64.6%	64.6%	64.7%	64.6%	64.6%	64.6%	64.6%	64.8%	64.7%	64.7%	64.5%	64.6%	64.7%	64.7%
18%	55.9%	55.6%	55.6%	55.5%	55.5%	55.6%	55.6%	55.4%	55.4%	55.5%	55.6%	55.5%	55.4%	55.8%	55.5%	55.6%	55.5%	55.6%	55.5%	55.4%
20%	47.9%	46.3%	45.9%	45.7%	45.7%	45.9%	45.8%	45.8%	45.9%	45.7%	46.0%	45.8%	45.8%	45.8%	45.8%	45.8%	45.7%	45.9%	45.9%	46.0%
22%	41.5%	38.3%	37.1%	36.5%	36.0%	36.1%	36.3%	36.2%	36.0%	36.3%	36.0%	36.0%	36.3%	35.9%	36.0%	36.0%	36.3%	36.0%	36.2%	36.1%
24%	36.5%	33.0%	31.1%	29.6%	28.5%	28.0%	27.4%	27.2%	27.2%	27.0%	27.0%	27.2%	27.1%	27.0%	27.1%	27.1%	26.8%	27.0%	27.2%	27.0%
26%	32.7%	29.2%	27.1%	25.3%	23.8%	22.6%	21.5%	20.6%	19.9%	19.3%	19.2%	19.0%	19.0%	18.9%	18.8%	19.1%	18.9%	18.9%	18.9%	18.8%
28%	29.5%	26.1%	24.1%	22.6%	20.9%	19.5%	18.0%	16.6%	15.5%	14.2%	13.3%	12.4%	11.8%	11.3%	10.9%	10.8%	10.7%	10.5%	10.6%	10.7%
30%	26.8%	23.8%	21.8%	20.1%	18.7%	17.1%	15.7%	14.3%	12.6%	11.2%	9.8%	8.2%	7.0%	5.7%	4.7%	4.0%	3.4%	3.2%	3.0%	2.6%
32%	24.6%	21.6%	19.8%	18.3%	16.6%	15.1%	13.7%	12.3%	10.5%	9.0%	7.4%	5.8%	4.3%	2.9%	1.8%	1.0%	0.6%	0.3%	0.2%	0.1%
34%	22.7%	19.8%	18.0%	16.4%	14.9%	13.4%	11.9%	10.4%	8.8%	7.3%	5.6%	3.9%	2.6%	1.5%	0.8%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
36%	20.9%	18.1%	16.5%	14.8%	13.3%	11.8%	10.2%	8.7%	7.3%	5.5%	4.1%	2.6%	1.6%	0.7%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
38%	19.3%	16.5%	14.9%	13.4%	11.8%	10.4%	8.9%	7.4%	5.8%	4.4%	2.8%	1.7%	0.8%	0.4%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
40%	17.8%	15.3%	13.6%	12.0%	10.6%	9.2%	7.5%	6.2%	4.4%	3.1%	1.8%	1.0%	0.4%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Επίπεδο Υπηρεσίας – Αποκλειστική Χρήση Ανεμογεννητριών, Υπερδιαστασιολόγηση 0-40%

(ΥΔΛ/Χ.Τ)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0.00%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.00%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.00%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6.00%	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8.00%	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
10.00%	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.047	0.046	0.046	0.047	0.046
12.00%	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.096	0.096	0.096	0.095	0.095	0.096	0.096	0.096	0.095	0.095	0.096
14.00%	0.137	0.137	0.137	0.137	0.136	0.137	0.137	0.138	0.136	0.137	0.137	0.138	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137
16.00%	0.189	0.189	0.189	0.190	0.190	0.189	0.190	0.190	0.189	0.190	0.190	0.190	0.190	0.189	0.189	0.189	0.190	0.189	0.189	0.189
18.00%	0.252	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.256	0.257	0.256	0.255	0.256	0.256	0.254	0.256	0.255	0.256	0.255	0.256	0.256
20.00%	0.320	0.334	0.339	0.340	0.340	0.339	0.340	0.339	0.339	0.340	0.337	0.339	0.339	0.339	0.339	0.339	0.340	0.338	0.338	0.338
22.00%	0.382	0.417	0.431	0.437	0.444	0.442	0.440	0.442	0.444	0.440	0.443	0.443	0.441	0.445	0.444	0.444	0.441	0.443	0.442	0.442
24.00%	0.437	0.481	0.508	0.529	0.545	0.553	0.562	0.566	0.565	0.568	0.569	0.566	0.567	0.569	0.567	0.566	0.571	0.568	0.566	0.568
26.00%	0.485	0.534	0.567	0.597	0.623	0.645	0.667	0.686	0.701	0.714	0.717	0.721	0.720	0.724	0.725	0.719	0.724	0.724	0.723	0.725
28.00%	0.530	0.583	0.617	0.646	0.679	0.710	0.744	0.779	0.809	0.848	0.877	0.907	0.927	0.947	0.962	0.967	0.972	0.981	0.976	0.971
30.00%	0.571	0.624	0.661	0.697	0.729	0.768	0.804	0.844	0.898	0.952	1.011	1.089	1.157	1.247	1.331	1.398	1.466	1.498	1.524	1.578
32.00%	0.610	0.666	0.704	0.738	0.780	0.820	0.862	0.911	0.978	1.048	1.131	1.236	1.368	1.544	1.752	2.003	2.228	2.477	2.638	2.867
34.00%	0.645	0.704	0.746	0.785	0.827	0.873	0.924	0.985	1.055	1.140	1.249	1.408	1.579	1.818	2.104	2.474	2.950	3.390	4.004	4.569
36.00%	0.680	0.741	0.783	0.831	0.877	0.929	0.989	1.060	1.139	1.256	1.392	1.592	1.794	2.135	2.483	2.908	3.393	4.081	4.658	5.699
38.00%	0.715	0.782	0.827	0.874	0.927	0.983	1.053	1.128	1.234	1.358	1.555	1.766	2.073	2.391	2.793	3.348	3.807	4.456	5.000	K.A.
40.00%	0.751	0.816	0.868	0.919	0.975	1.035	1.125	1.211	1.354	1.505	1.740	2.007	2.373	2.682	3.245	3.754	4.658	5.046	5.301	K.A.

Μέση Ημερήσια Υπερχείλιση – Αποκλειστική Χρήση Ανεμογεννητριών, Υπερδιαστασιολόγηση 0-40%

(ΥΔΛ/Χ.Τ)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18%	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	13	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22%	35	17	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24%	68	47	34	22	14	7	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26%	108	85	71	59	46	36	23	16	10	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0
28%	154	132	117	106	90	77	63	52	39	30	20	14	9	5	3	1	1	0	0	0
30%	203	182	167	153	141	127	112	100	86	72	59	47	38	28	22	17	14	10	8	7
32%	255	233	222	207	192	179	165	152	137	124	110	97	85	76	70	62	59	59	56	57
34%	304	287	273	260	244	231	217	204	191	177	165	151	143	133	129	127	123	125	123	123
36%	362	341	328	317	300	287	273	260	244	232	221	212	202	197	192	191	191	193	191	191
38%	418	397	383	371	356	341	329	317	304	289	277	271	265	261	259	258	258	258	259	260
40%	474	452	440	426	412	397	383	370	359	347	340	335	330	327	327	326	325	326	325	326