



Μελέτη προσομοίωσης κυκλωμάτων ηλεκτρικών
δικτύων στις σύγχρονες αγορές ηλεκτρικής
ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Ελευθέριος Τσουκαλάς
Καθηγητής Π.Θ.

Παναγιώτα Τσομπανοπούλου
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Π.Θ.

ΤΜΗΜΑ

**ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**



ΒΟΛΟΣ 2017



Research on Electrical Grid Circuits Simulation Tools used on Modern Electrical Energy Market

DIPLOMA THESIS

KONSTANTINOS APOSTOLOU

Supervisors:

Eleftherios Tsoukalas
Professor UTH

Panagiota Tsobanopoulou
Associate Professor UTH

**DEPARTMENT OF
ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**



VOLOS 2017

Ευχαριστίες

Με αφορμή την παρούσα διπλωματική θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους επιβλέποντες Καθηγητές μου, τον κ. Τσουκαλά Ελευθέριο και την κα. Τσομπανοπούλου Παναγιώτα για την καθοδήγησή τους και τις συμβουλές τους, κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αρχικά γίνεται αναφορά στα σημερινά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, στη συνέχεια στα ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και έπειτα στα εργαλεία προσομοίωσής τους.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που είναι τα πιο διαδεδομένα αυτή τη στιγμή, ενώ γίνεται ανάλυση και για τη νέα τάση που είναι η μετατροπή τους σε ευφυή δίκτυα (smart grids).

Στη συνέχεια, ξεκινάει η μελέτη πάνω στα εργαλεία προσομοίωσης ηλεκτρικών δικτύων .

Αρχικά, γίνεται αναφορά στο Homer ένα εργαλείο που ως κύριο χαρακτηριστικό έχει την υλοποίηση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με το χαμηλότερο κόστος, λαμβάνοντας υπόψη και έξοδα εγκατάστασης.

Παρακάτω, αναλύεται το RETScreen, που το βασικό του στοιχείο είναι ο έλεγχος της τεχνικής και οικονομικής βιωσιμότητας κάποιου έργου.

Έπειτα, αναλύεται το Hybrid2 το οποίο αναφέρεται κυρίως σε συστήματα που έχουν και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθορίζοντας με ευκολία την απόδοσή τους.

Ακόμα, παρουσιάζεται το ViPOR, ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο που έχει εφαρμογές σε χωριά, βρίσκοντας τον καλύτερο δυνατό τρόπο ηλεκτροδότησής τους.

Τέλος, αναλύεται το GridLAB-D. Το συγκεκριμένο σύστημα προσομοίωσης, βοηθάει περισσότερο όσους ασχολούνται με συστήματα διανομής ενέργειας. Είναι ένα διαρκώς αναπτυσσόμενο εργαλείο και ανανεώνονται διαρκώς τα χαρακτηριστικά του, ενώ μπορεί να συνεργαστεί και με άλλα εργαλεία, όπως το MATLAB.

Στην τελευταία ενότητα, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για τα παραπάνω εργαλεία.

Abstract

In the present diploma thesis, firstly the modern power systems are being mentioned, then smart grids are being discussed and finally there is a meticulous analysis on power system simulation tools.

In the first chapter, there is a presentation of the power systems that are being used by most countries nowadays, and also it is mentioned the fact that they will be transformed to smart grids.

Afterwards, there is the discussion about the electrical network simulation tools.

Firstly, the tool Homer is being mentioned, which is a tool with a main aspect of creating power systems with the lowest cost, taking into account the installation cost.

Furthermore, RETScreen is being presented, which is able to help the designer to determine if a project is viable or not.

Moreover, Hybrid2 is discussed, which is mostly about systems with renewable energy sources, specifying the projects efficiency.

In addition, ViPOR is mentioned, which is a useful tool for finding the best way of creating a power system for villages.

Finally, there is GridLAB-D. This simulation tool is helping those who design systems for distributing energy. It is still a developing tool which has renewable properties, while it can work together with other tools such as MATLAB.

In the last section, there are some conclusions about those tools.

Περιεχόμενα

	Σελίδα
1. Εισαγωγή.....	9
1.2 Δομή ηλεκτρικού δικτύου.....	9
1.3 Ευφυή Δίκτυα	11
2. Συστήματα προσομοίωσης κυκλωμάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	13
3. Homer.....	14
3.1 Ανάλυση Βασικών λειτουργιών.....	15
3.1.1 Προσομοίωση.....	15
3.1.2 Βελτιστοποίηση.....	16
3.1.3 Ανάλυση της ευαισθησίας.....	16
3.2 Τρόποι Υλοποίησης φορτίων.....	17
3.2.1 Πρωτεύον φορτίο.....	17
3.2.2 Deferrable Load.....	17
3.2.3 Θερμικό Φορτίο.....	18
3.3 Πηγές.....	18
3.4 Στοιχεία.....	18
3.5 Σύστημα διανομής.....	19
3.6 Τρόπος χρήσης του προγράμματος.....	19
4. RETScreen.....	22
4.1 Τρόπος λειτουργίας.....	22
4.2 Τρόπος χρήσης του προγράμματος.....	23
5. Hybrid2.....	24
5.1 Δομή του προγράμματος.....	24
5.2 Τρόπος λειτουργίας.....	24
5.3 Τρόπος χρήσης.....	26
5.4 Loads Module.....	26
5.5 Διαχωρισμοί φορτίων.....	27
5.5.1 Πρωτεύοντα φορτία.....	27
5.5.2 Deferrable Load.....	28
5.5.3 Προαιρετικά φορτία.....	29
5.6 Υποσύστημα.....	30
5.7 Παραμετροποίηση.....	30
5.8 Στοιχεία.....	31
5.9 Οικονομικά.....	32
6. ViPOR.....	33
6.1 Δεδομένα εισόδου.....	33
6.2 Παράδειγμα χωριού με το ViPOR.....	33
6.3 Παράδειγμα αποτελέσματος.....	35
6.4 Λογική Βελτιστοποίησης.....	35
6.5 Στοιχεία.....	35
6.6 Τρόπος λειτουργίας προγράμματος.....	36
6.7 Είδη φορτίων.....	37

6.8	Είδη πηγών.....	37
6.9	Αποτελέσματα.....	37
6.10	Άλλα δεδομένα εισόδου.....	37
6.11	Εμφάνιση τελικών αποτελεσμάτων.....	39
7.	GridLAB-D.....	41
7.1	Λόγοι χρήσης του GridLAB-D	42
7.2	Δυνατότητες.....	42
7.3	Τρόπος Χρήσης του GridLAB-D.....	43
7.4	Αρχεία εισόδου.....	43
7.5	Εκτέλεση	44
7.6	Αρχεία εξόδου.....	44
7.7	Μοντέλο GridLAB-D.....	44
7.8	Δημιουργία Μοντέλου με GLM αρχεία.....	46
7.9	Εκτέλεση μοντέλου.....	46
7.10	Βελτίωση μοντέλου.....	46
7.11	Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση αντικειμένων.....	47
7.12	Συσχέτιση με άλλα αντικείμενα.....	48
7.13	Δημιουργία πληθυσμών αντικειμένων.....	49
7.14	Ενσωμάτωση πληροφοριών.....	50
7.15	Παραγωγή αποτελεσμάτων.....	50
8.	Συμπεράσματα.....	52
9.	Βιβλιογραφία.....	54

(Κενή σελίδα)

1. Εισαγωγή

Ο ηλεκτρισμός είναι η μορφή της ενέργειας που έχει γίνει περισσότερο χρήσιμη από οποιαδήποτε άλλη στη σύγχρονη ζωή. Το ηλεκτρικό δίκτυο αποτελεί μία από της πιο σύνθετες δομές που έχουν σχεδιαστεί, κυρίως λόγω της αξιοπιστίας του.

Τα περισσότερα ηλεκτρικά δίκτυα κατασκευάστηκαν στον κόσμο τα τελευταία σαράντα με εξήντα χρόνια. Παρόλο που η τεχνολογία έχει επηρεάσει άλλους τομείς στη βιομηχανία, τα ηλεκτρικά δίκτυα έχουν παραμείνει στάσιμα. Και αυτό συμβαίνει, διότι τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε ορυκτές πηγές ενέργειας. Επίσης, σε περιόδους που υπάρχει μεγάλη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, γίνεται και χρήση σταθμών ενέργειας, που τροφοδοτούνται από πετρέλαιο, κάτι το οποίο πέραν του ότι είναι ακριβό, μολύνει και το περιβάλλον.

Ο κύριος σκοπός ενός ηλεκτρικού συστήματος, είναι να παράγει, να μεταφέρει και να διανέμει την ενέργεια. Ωστόσο, η βιομηχανία στις μέρες μας έρχεται αντιμέτωπη με πολλές προκλήσεις, όπως τις οικονομικές δυσκολίες λόγω της υψηλής τιμής των υλικών, τις περιβαλλοντικές ανησυχίες, το έλλειμμα καυσίμων, την διατήρηση της ενέργειας. Είναι λοιπόν προφανές, ότι αυτά τα θέματα είναι ιδιαίτερα δύσκολο να επιλυθούν με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο.

Αναγνωρίζοντας επομένως αυτές τις προκλήσεις, η ενεργειακή κοινότητα αρχίζει να συνδυάζει την επιστήμη της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών με τον ηλεκτρισμό, ώστε να υλοποιηθεί μία δομή που αποκαλείται «Ευφυές Δίκτυο» (Smart Grid). [11]

1.2 Δομή ηλεκτρικού δικτύου

Για να λυθεί το πρόβλημα της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, ο William Stanley κατασκεύασε το πρώτο επαγωγικό πηνίο, που αποτέλεσε τον προάγγελο του σύγχρονου (ηλεκτρικού) μετασχηματιστή καθώς και το πρώτο πλήρες σύστημα υψηλής τάσης μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο αποτελείται από γεννήτριες, μετασχηματιστές και υψηλής τάσης γραμμές μεταφοράς, που αποτέλεσε τη βάση της σύγχρονης διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι όλη η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στους σταθμούς παραγωγής, αρχικά μεταφέρεται σε κοντινούς μετασχηματιστές που μετατρέπουν τη χαμηλή τάση της ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλή. Με αυτόν τον τρόπο, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με τις γραμμές μεταφοράς σε πολύ μεγάλες αποστάσεις με λιγότερες απώλειες, καθώς οι σταθμοί παραγωγής είναι συνήθως μακριά από μεγάλα αστικά κέντρα. Το δίκτυο μεταφοράς μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στους υποσταθμούς μέσης και χαμηλής τάσης, στους οποίους μετατρέπεται η τάση της ηλεκτρικής ενέργειας από

υψηλή σε μέση και χαμηλή τάση, προκειμένου με τη βοήθεια εναέριων γραμμών να διανεμηθεί σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν μέση τάση και σε σπίτια που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση.

Έχουμε δύο τύπους δικτύου, ανάλογα με την τάση της ηλεκτρικής ισχύος που διακινεί, το δίκτυο (Σύστημα) Μεταφοράς και το δίκτυο Διανομής.

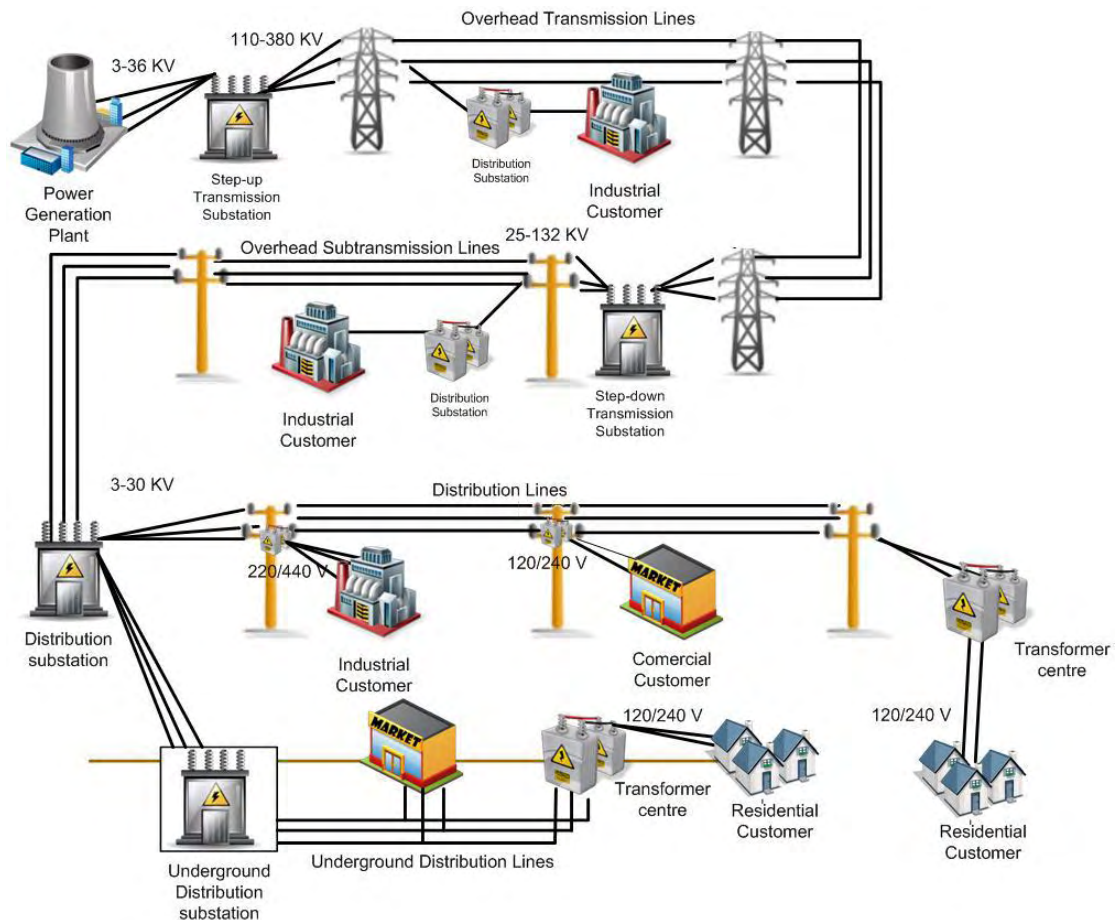
Το δίκτυο Μεταφοράς, μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους σταθμούς παραγωγής στους υποσταθμούς μεταφοράς. Η μεταφορά γίνεται σε υψηλή τάση, μέσω του δικτύου υψηλής τάσης (150kV) και υπερυψηλής (400kV) για να μειωθούν οι απώλειες ισχύος, όταν οι αποστάσεις είναι μεγάλες. Οι γραμμές Μεταφοράς δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν άμεσα τους καταναλωτές που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση (220/380V) αλλά φθάνουν μέχρι ορισμένα σημεία, τους υποσταθμούς μεταφοράς, όπου γίνεται υποβιβασμός της τάσης στη μέση τάση, δηλαδή στα 20 kV του δικτύου. Οι υποσταθμοί αποτελούν κόμβους στο δίκτυο του ηλεκτρισμού. Από αυτά τα σημεία όπου βρίσκονται οι υποσταθμοί μεταφοράς, αρχίζουν οι γραμμές διανομής, που καταλήγουν στους υποσταθμούς διανομής όπου γίνεται υποβιβασμός της μέσης τάσης στη χαμηλή τάση που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι καταναλωτές.

Τα συστατικά στοιχεία των γραμμών μεταφοράς είναι:

- Πυλώνες ή πύργοι, στους οποίους στηρίζονται οι αγωγοί των εναέριων γραμμών
- Μονωτήρες, μέσω των οποίων αναρτώνται στους πυλώνες οι αγωγοί γραμμών
- Αγωγοί, κυρίως από χαλκό και αλουμίνιο.

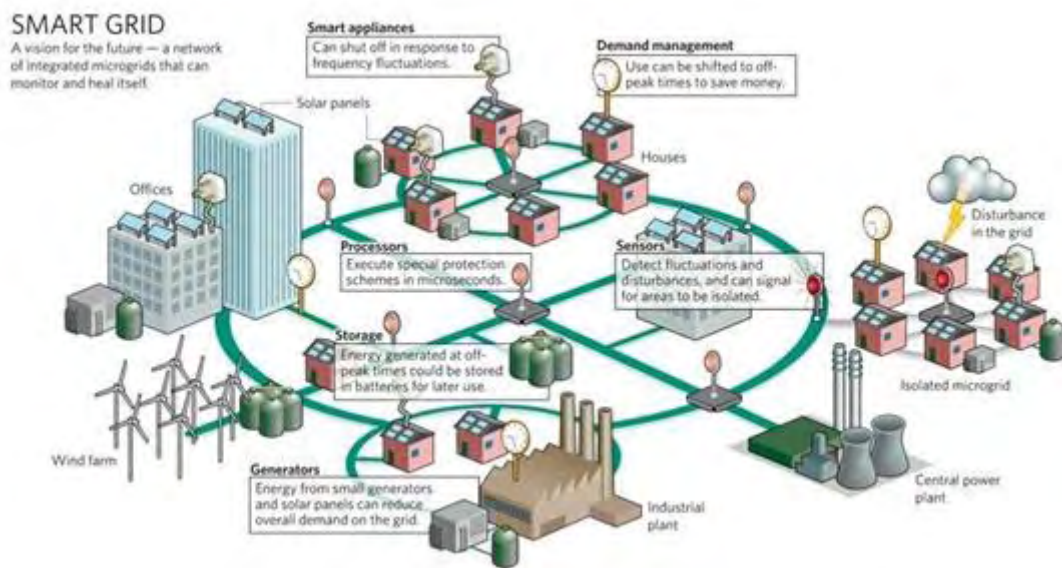
Το δίκτυο Διανομής, περιλαμβάνει:

- το δίκτυο διανομής μέσης τάσης (20kV) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής.
- το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (220/380V) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές. [12]



1.3 Ευφυή Δίκτυα

Ευφύες δίκτυο, είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που περιλαμβάνει μία ποικιλία από ενεργειακούς μετρητές μεταξύ των οποίων και έξυπνους μετρητές, έξυπνες συσκευές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επίσης, ο έλεγχος της παραγωγής και της διανομής του ηλεκτρισμού, είναι σημαντικοί παράγοντες των ευφών δικτύων. Ακόμη, υπάρχει η δυνατότητα για ανίχνευση βλαβών και αυτόματη επίλυσή τους χωρίς την παρέμβαση των τεχνικών. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι θα υπάρχει ακόμα μεγαλύτερη αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου, και θα είναι λιγότερο ευάλωτο σε φυσικές καταστροφές.



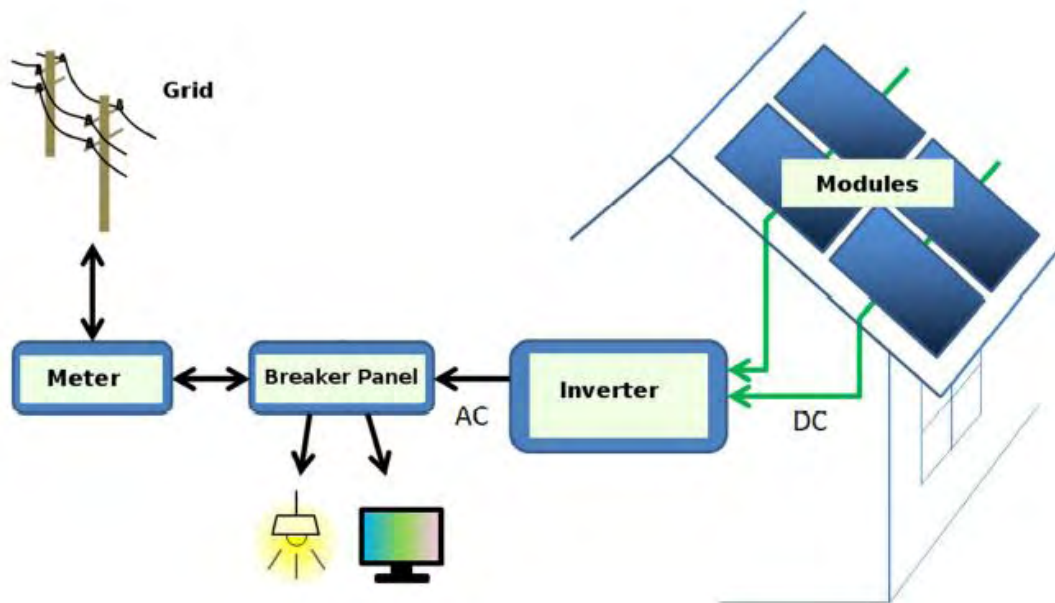
Ουσιαστικά, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στο μέλλον, τα έξυπνα δίκτυα, θα είναι τα ήδη υπάρχοντα ηλεκτρικά δίκτυα με αρκετές βελτιώσεις και προσθήκες ώστε να αντεπεξέρχονται στις απαιτήσεις της σύγχρονης εποχής με χρήση της τεχνολογίας που προσφέρει η πληροφορική. Έτσι, θα υπάρχει η δυνατότητα για απομακρυσμένο έλεγχο όλων των σταδίων από την παραγωγή της ενέργειας μέχρι την κατανάλωσή της, θα εξασφαλίζεται καλύτερα η βιωσιμότητα και η ποιότητα υπηρεσιών, θα γίνεται κατανεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και έξυπνη καταμέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας.

Για να μελετηθεί λοιπόν καλύτερα, η εν γένει συμπεριφορά των ευφών δικτύων υπάρχουν συγκεκριμένα εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί γι' αυτό το σκοπό, τα οποία αναλύονται παρακάτω.

2. Συστήματα προσομοίωσης κυκλωμάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

- Homer
- RETScreen
- Hybrid2
- ViPOR
- GridLAB-D

Καθένα από τα παραπάνω συστήματα, μπορεί να κάνει βελτιστοποιήσεις σε κάποιους τομείς που θα δούμε παρακάτω.



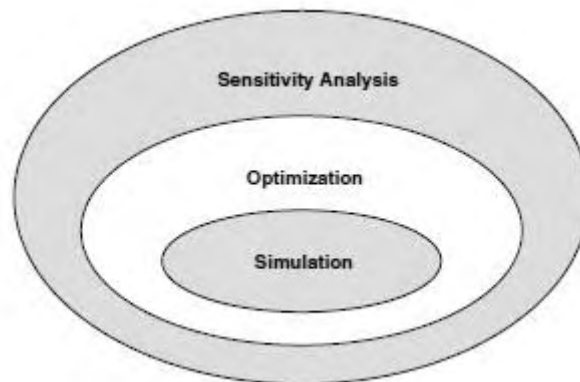
3. Homer

Το λογισμικό Homer είναι ένα υπολογιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από το NREL (National Renewable Energy Laboratory), προκειμένου να συνεισφέρει στην περιγραφή συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Το Homer δίνει τη δυνατότητα μοντελοποίησης της φυσικής συμπεριφοράς ενός συστήματος ενέργειας και του κόστους του, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας του, καθόλη τη διάρκεια της ζωής του. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να συγκρίνει διάφορες επιλογές, ανάλογα με τις τεχνικές και οικονομικές απαιτήσεις που έχουν τεθεί. [1]

Το πρόγραμμα κατά την προσομοίωση εκτελεί πολλαπλές μελέτες ροής φορτίου, σε ωριαία βάση, και για τη διάρκεια ενός ολόκληρου έτους . Στη συνέχεια επεκτείνεται σε όλη την περίοδο ζωής του συστήματος. Βρίσκει τον συνδυασμό των εξαρτημάτων του μικροδικτύου που ικανοποιούν τα υπάρχοντα φορτία με το μικρότερο δυνατό κόστος. Από τις χιλιάδες προσομοιώσεις που εκτελεί βρίσκει το βέλτιστο σύστημα και παράγει αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας κάποιων μεταβλητών [2].

Το λογισμικό, υλοποιεί τρεις βασικές λειτουργίες: Προσομοίωση, βελτιστοποίηση και ανάλυση ευαισθησίας. Κατά τη διαδικασία της Προσομοίωσης, το Homer μοντελοποιεί τις διάφορες απαιτήσεις του συστήματος προς υλοποίηση, με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά και το κόστος του. Κατά τη διαδικασία της Βελτιστοποίησης, το πρόγραμμα συγκρίνει διαφορετικές υλοποιήσεις του συστήματος, προκειμένου να βρει αυτή που ικανοποιεί τις τεχνικές προδιαγραφές στο χαμηλότερο κόστος. Τέλος, κατά την Ανάλυση της Ευαισθησίας, γίνεται εκ νέου βελτιστοποίηση αλλά για διαφορετικές τιμές του συνόλου τιμών των μεταβλητών. [1]

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τη σχέση ανάμεσα στην προσομοίωση, την βελτιστοποίηση και την ανάλυση της ευαισθησίας. Η βελτιστοποίηση είναι υπερσύνολο της προσομοίωσης, διότι κάθε βελτιστοποίηση για κάθε στοιχείο απαιτεί πολλές προσομοιώσεις. Παρόμοια, η ανάλυση της ευαισθησίας είναι υπερσύνολο της βελτιστοποίησης, επειδή απαιτούνται πολλές βελτιστοποιήσεις κατά το στάδιο της ανάλυσης της ευαισθησίας.



Προκειμένου το Homer να κάνει γρηγορότερους υπολογισμούς, και να περιορίσει την πολυπλοκότητα, έτσι ώστε η βελτιστοποίηση και η ανάλυση της ευαισθησίας να είναι πρακτικά εφαρμόσιμες, η λογική προσομοίωσης του Homer δεν είναι τόσο λεπτομερείς όσο άλλα παρόμοια λογισμικά. Παρόλα αυτά, είναι πιο ευέλικτο όσον αφορά την ποικιλία των συστημάτων που μπορεί να προσομοιώσει.

3.1 Ανάλυση Βασικών λειτουργιών

3.1.1. Προσομοίωση

Η πιο ουσιαστική δυνατότητα του συγκεκριμένου λογισμικού, είναι η προσομοίωση συστημάτων μακροπρόθεσμης λειτουργίας. Η λειτουργία της προσομοίωσης, καθορίζει πως ένα σύστημα με συγκεκριμένες προδιαγραφές, ο συνδυασμός των στοιχείων του συστήματος συγκεκριμένου μεγέθους και με συγκεκριμένη πολιτική λειτουργίας θα μπορούσε να συμπεριφερθεί σε μία μακρά περίοδο χρόνου.

Η διαδικασία της προσομοίωσης, εξυπηρετεί δύο σκοπούς. Πρώτον, εξετάζει αν το σύστημα είναι εφικτό να υλοποιηθεί. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα θα μπορεί να αντεπεξέρχεται στις απαιτήσεις του ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου, αλλά και να ικανοποιεί τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί από το χρήστη. Έπειτα, κάνει μία εκτίμηση του κόστους του συστήματος καθόλη τη διάρκεια της ζωής του, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους εγκατάστασης. Έτσι, μπορούν να γίνονται συγκρίσεις για τα οικονομικά στοιχεία διάφορων

μοντέλων κάτι που αποτελεί τη βάση της διαδικασίας της βελτιστοποίησης που γίνεται στη συνέχεια.

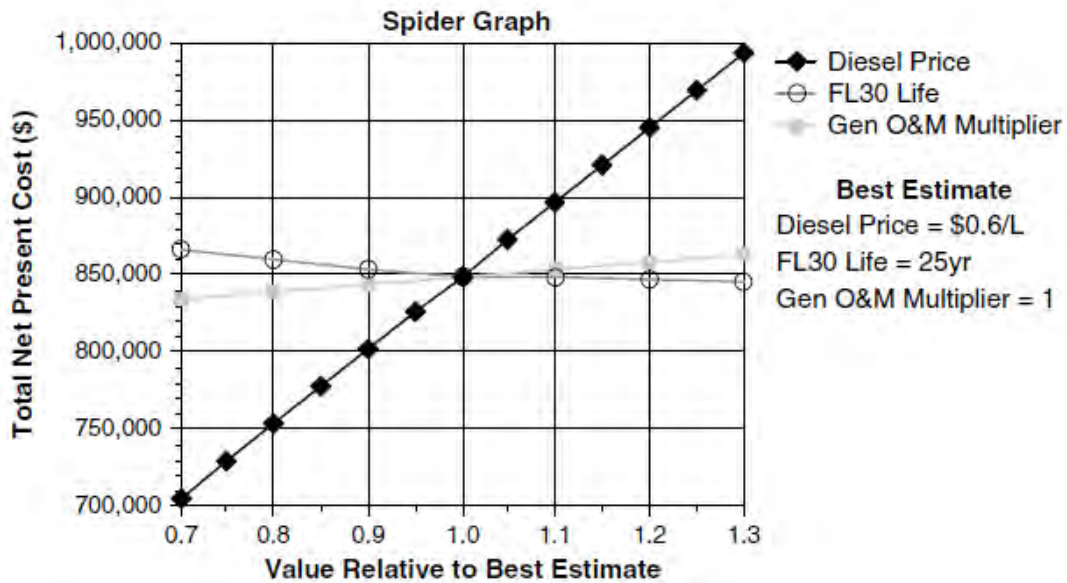
3.1.2. Βελτιστοποίηση

Σε αυτή τη φάση, καθορίζεται η καλύτερη δυνατή υλοποίηση του συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι θα επιτυγχάνονται οι απαιτήσεις του χρήστη στο χαμηλότερο δυνατό κόστος. Το να βρεθεί η βέλτιστη υλοποίηση, μπορεί να περιλαμβάνει και την απόφαση του συνόλου των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν, το μέγεθος και την ποσότητα κάθε στοιχείου και την στρατηγική διανομής που θα πρέπει να χρησιμοποιεί το σύστημα. Ο στόχος της διαδικασίας αυτής είναι να καθοριστεί η βέλτιστη τιμή από κάθε μεταβλητή απόφασης που ενδιαφέρει τον χρήστη του προγράμματος. Μεταβλητή απόφασης, είναι μία μεταβλητή που ο χρήστης έχει έλεγχο και το Homer μπορεί να χρησιμοποιήσει πιθανές τιμές κατά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης. Τέτοιου είδους μεταβλητές είναι ο αριθμός των γεννητριών, το μέγεθός τους, ο αριθμός των μπαταριών, η στρατηγική διανομής ενέργειας κ.α.

3.1.3. Ανάλυση της Ευαισθησίας

Η ανάλυση της Ευαισθησίας, στην ουσία μας δείχνει πόσο ευαίσθητα είναι τα αποτελέσματα όταν γίνονται αλλαγές στα δεδομένα εισόδου. Σε αυτό το στάδιο, ο χρήστης βάζει στο Homer ένα εύρος τιμών για κάθε μεταβλητή εισόδου. Τέτοιες μεταβλητές μπορεί να είναι για παράδειγμα η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και η τιμή των καυσίμων. Ο χρήστης του προγράμματος μπορεί να κάνει ανάλυση ευαισθησίας με οποιοδήποτε αριθμό μεταβλητών ευαισθησίας.

Μία από τις πιο σημαντικές αιτίες που χρειάζεται η Ανάλυση της Ευαισθησίας είναι η αντιμετώπιση της αβεβαιότητας. Αν ο χρήστης δηλαδή δεν είναι σίγουρος για την τιμή μιας συγκεκριμένης μεταβλητής, μπορεί να ορίσει ένα πιθανό εύρος τιμών και να δει πως συμπεριφέρεται το σύστημα για τις διάφορες τιμές.



3.2. Τρόποι Υλοποίησης φορτίων

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα με τον όρο φορτίο εννοούμε τις απαιτήσεις ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Υπάρχουν τρία είδη φορτίων που μοντελοποιεί το Homer. Το πρωτεύον φορτίο (Primary load), το οποίο είναι οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου προγράμματος. Το Defferable Load το οποίο είναι οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούν να ικανοποιηθούν οποιαδήποτε στιγμή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Το θερμικό φορτίο (Thermal Load) είναι οι απαιτήσεις για θέρμανση.

3.2.1. Πρωτεύον φορτίο (Primary Load).

Είναι το φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας που είναι συνυφασμένες με τα φώτα, τις οικιακές συσκευές, τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και τις βιομηχανικές διαδικασίες συνήθως αποτελούν το πρωτεύον φορτίο.

Ο χρήστης καθορίζει το φορτίο αυτό σε kilowatts για κάθε ώρα του χρόνου.

3.2.2. Deferrable Load.

Είναι το φορτίο της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται σε οποιαδήποτε στιγμή για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Οι αντλίες νερού, οι σταθμοί φόρτισης μπαταριών είναι παραδείγματα τέτοιου φορτίου διότι επιτρέπεται κάποιου είδους ευελιξία για το πότε πρέπει να ικανοποιηθεί η ανάγκη του φορτίου.

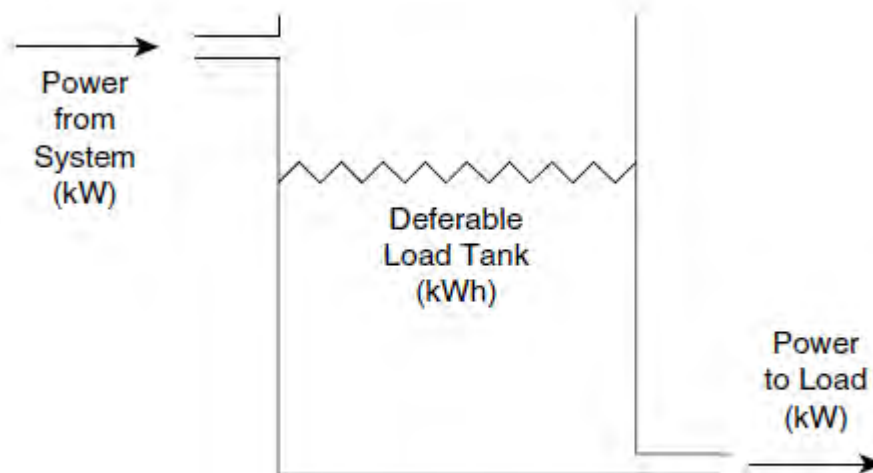


Figure 15.12 Deferrable load tank analogy.

3.2.3. Θερμικό Φορτίο (Thermal Load)

Το Homer μοντελοποιεί το θερμικό φορτίο με τον ίδιο τρόπο που μοντελοποιεί και το πρωτεύον. Ο χρήστης καθορίζει το θερμικό φορτίο που απαιτείται για κάθε ώρα του χρόνου.

3.3 Πηγές

Ο όρος πηγές αναφέρεται σε οποιοδήποτε εξωγενή παράγοντα που χρησιμοποιείται από το σύστημα ώστε να παραχθεί ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τέσσερις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή, αιολική, υδροενέργεια και βιομάζα), όπως επίσης και τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από τα στοιχεία του συστήματος. Η ηλιακή ενέργεια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το κλίμα και την γεωγραφική τοποθεσία, η αιολική ενέργεια εξαρτάται από ρεύματα κυκλοφορίας του ανέμου μεγάλης κλίμακας, η υδροενέργεια εξαρτάται από τις βροχοπτώσεις και την τοπογραφία και τέλος η βιομάζα βασίζεται στο πόσο προηγμένη βιολογικά είναι η περιοχή.

3.4 Στοιχεία

Στο Homer, στοιχείο ορίζεται οποιοδήποτε μέρος τους συστήματος που παράγει, διανέμει, μετατρέπει ή αποθηκεύει ενέργεια. Μοντελοποιούνται συνολικά 10 είδη στοιχείων. Τα τρία από αυτά παράγουν ηλεκτρισμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Άλλα τρία είδη στοιχείων, είναι τα στοιχεία που το δίκτυο μπορεί να τα χειριστεί όπως αυτό χρειάζεται. Τέτοια στοιχεία είναι οι

γεννήτριες, το δίκτυο και οι βραστήρες. Δύο επόμενα είδη στοιχείων είναι οι μετατροπείς και τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την ηλεκτρόλυση. Οι μετατροπείς μετατρέπουν το ηλεκτρικό ρεύμα από εναλλασσόμενο σε συνεχές, ενώ τα στοιχεία ηλεκτρόλυσης μετατρέπουν το περίσσειμα ηλεκτρικού ρεύματος σε υδρογόνο μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού. Τέλος, τα δύο στοιχεία που απομένουν, είναι οι μπαταρίες και τράπεζες αποθήκευσης υδρογόνου.

3.5 Σύστημα διανομής

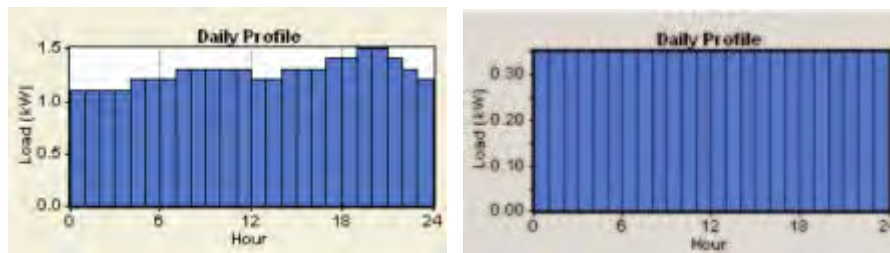
Εκτός από τη μοντελοποίηση κάθε στοιχείου ξεχωριστά, το Homer πρέπει να προσομοιώσει και πως θα λειτουργήσουν όλα μαζί ως σύστημα. Γι' αυτό το λόγο απαιτείται να λαμβάνονται αποφάσεις ανά ώρα στις οποίες θα καθορίζεται για παράδειγμα ποιες γεννήτριες θα πρέπει να λειτουργήσουν και τι ισχύ θα πρέπει να αποδώσουν, αν θα πρέπει να φορτιστούν ή να αποφορτιστούν οι μπαταρίες και αν θα πρέπει να γίνει αγορά ενέργειας από το δίκτυο.

3.6 Τρόπος Χρήσης του Προγράμματος

Πρώτα πρέπει να ορίσουμε το σύστημα ενέργειας πατώντας το Add/Remove. Εκεί εμφανίζονται οι επιλογές ώστε να προστεθούν διάφορα στοιχεία του δικτύου όπως πολλαπλά φορτία, γεννήτριες, συσσωρευτές ενέργειας κ.α.



Στη συνέχεια πρέπει να ορίσουμε το φορτίο. Παρέχεται η δυνατότητα μοντελοποίησης δύο διαφορετικών φορτίων για ένα σύστημα.



Έπειτα, για τον υπολογισμό του κόστους πρέπει να ληφθεί υπόψη και το κόστος του πετρελαίου. Αυτό γίνεται πατώντας το εικονίδιο Diesel στο πρόγραμμα.



Επίσης, πρέπει να επιλεγούν οι οικονομικοί παράγοντες όπως: Το ετήσιο επιτόκιο, ο χρόνος ζωής του συστήματος κτλ. Για να γίνει αυτό πατάμε στο εικονίδιο Economics του προγράμματος.

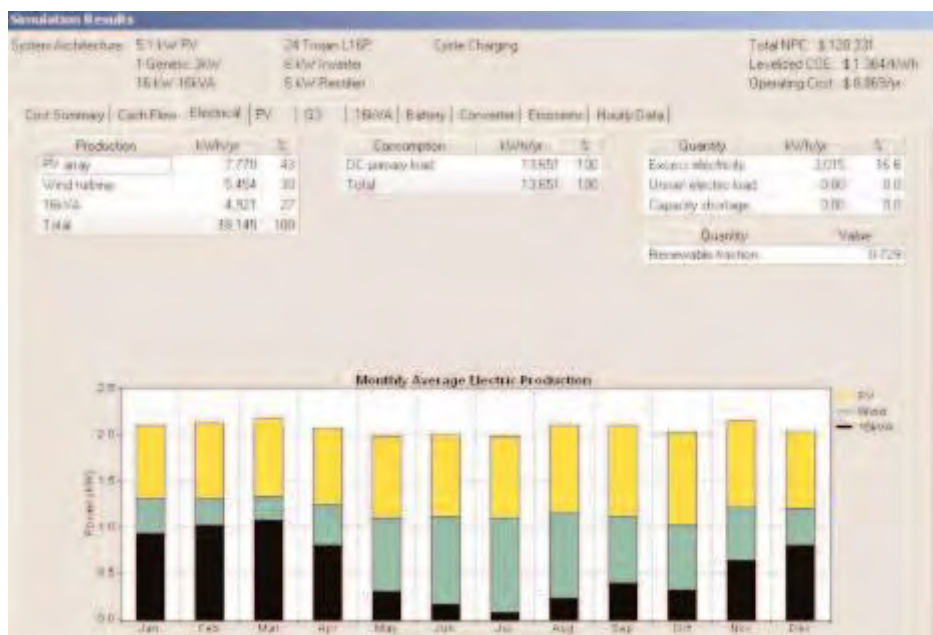
Πρέπει στη συνέχεια, να διαλέξουμε τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί επιλέγοντας τα αντίστοιχα εικονίδια όπως Diesel generator, Converter, Batteries.

Τέλος, για την εξαγωγή συμπερασμάτων πατάμε Calculate για να υπολογιστούν οι διάφορες υλοποιήσεις του συστήματος μας.

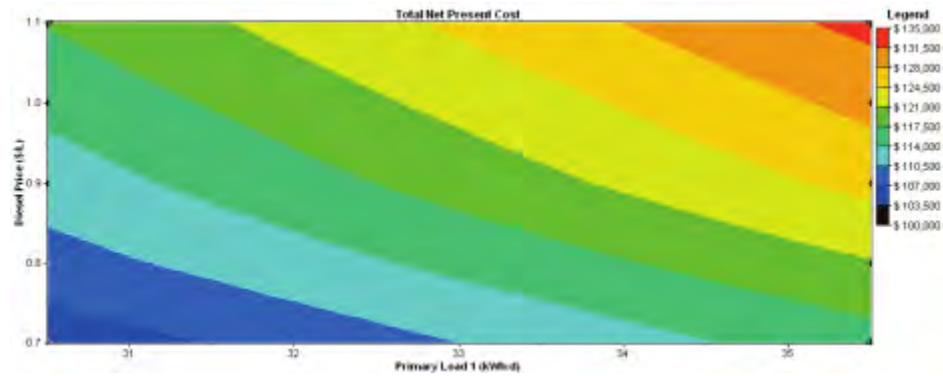
Το πρόγραμμα μας δείχνει πληροφορίες για τις διαθέσιμες βελτιστοποιήσεις με βάση τα δεδομένα που έχουμε εισάγει.

PV (kW)	Q3	10kVA	L1FP	Cost (kWh)	Total Cost (\$/yr)	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC (\$/kWh)	COE (\$/kWh)	Res. Fac.	Days (yr)	10kVA (kWh)
235	1	10	24	4	\$17,500	13,953	\$106,132	1.181	0.44	5,167	2,030
10	1	10	24	4	\$7,500	16,976	\$155,592	1.321	0.21	7,252	2,694
157	1	10	24	4	\$14,000	16,392	\$113,962	1.359	0.25	6,421	2,524
10	1	10	24	4	\$0	21,190	\$136,989	1.951	0.80	3,250	1,627
612	1	10	24	4	\$24,000	30,110	\$258,623	2.470	0.22	17,236	6,888
612	1	10	24	4	\$31,500	29,170	\$288,059	2.889	0.25	16,473	6,558
10	1	10	24	4	\$0	35,727	\$298,945	2.617	0.80	52,145	6,780
10	1	10	24	4	\$7,500	36,050	\$283,584	2.730	0.80	52,145	6,780

Επιλέγοντας κάθε ξεχωριστή λύση που παρέχεται, μπορούμε να δούμε σημαντικές λεπτομέρειες για κάθε στοιχείο του συστήματος.



Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα για προβολή αποτελεσμάτων της Ευαισθησίας του συστήματος.



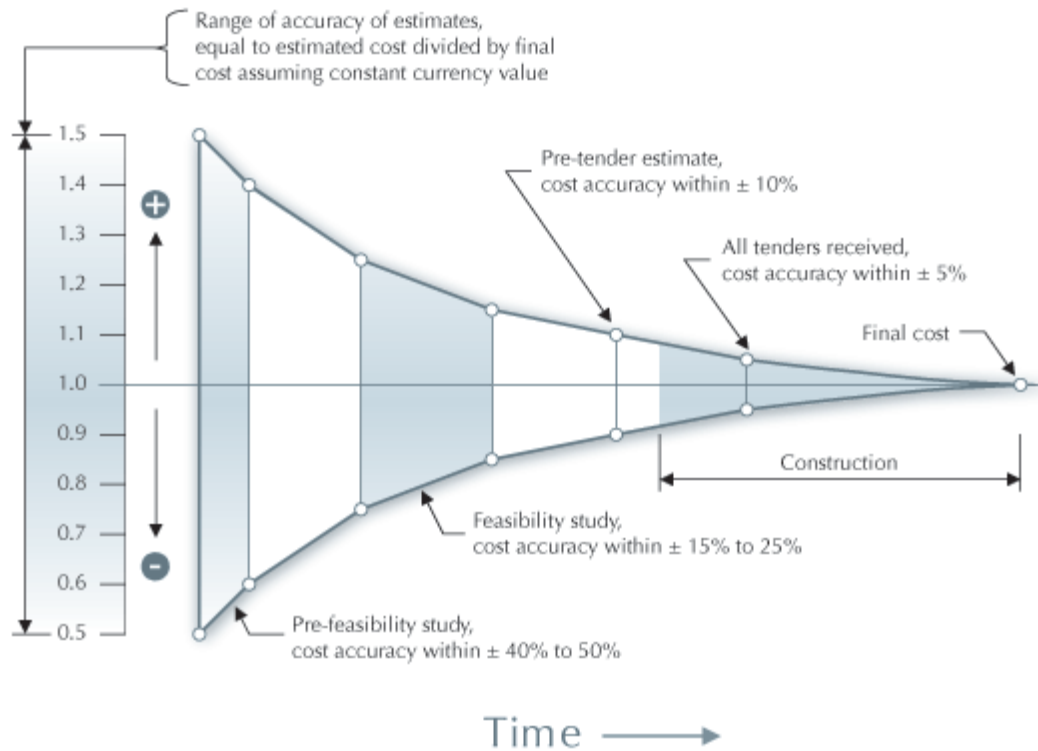
4. RETScreen

Τα τελευταία χρόνια, έχει αυξηθεί κατά πολύ η χρήση τεχνολογιών για απόδοση στην ενέργεια και για ανανεώσιμες μορφές της. Προκειμένου, να επωφεληθούμε απ' αυτές τις τεχνολογίες, θα πρέπει πρωτίστως, να δούμε αν μία πρόταση για κάποιο έργο είναι βιώσιμη. Το RETScreen δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε ανάλυση σ' αυτές τις τεχνολογίες.

4.1 Τρόπος λειτουργίας του RETScreen

Αρχικά γίνεται ανάλυση του έργου προς υλοποίηση. Σ' αυτό το στάδιο το εργαλείο ελέγχει τα εξής:

- Τις πηγές ενέργειας στην τοποθεσία του έργου.
- Την επίδοση του διαθέσιμου εξοπλισμού
- Τα αρχικά έξοδα του έργου
- Τα ετήσια και περιοδικά έξοδα



Στη συνέχεια, το RETScreen, πραγματοποιεί οικονομική ανάλυση του έργου. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει:

- Τα έξοδα του βασικού συστήματος ενέργειας
- Τη χρηματοδότηση
- Τους φόρους πάνω στον εξοπλισμό και τα εισοδήματα
- Τα χαρακτηριστικά του τοπικού περιβάλλοντος

4.2 Τρόπος χρήσης του προγράμματος

Το RETScreen πραγματοποιεί μία τυπική ανάλυση πέντε βημάτων.

Αρχικά, πρέπει να δώσουμε τις ρυθμίσεις για τις συνθήκες της τοποθεσίας του έργου. Στη συνέχεια, πρέπει να ορίσουμε το ενεργειακό μοντέλο. Έπειτα, πρέπει να γίνει η αξιολόγηση του κόστους του έργου και η ανάλυση των εκπομπών. Ακολουθεί μια πιο ολοκληρωμένη οικονομική ανάλυση και τέλος υπάρχει και η ανάλυση της ευαισθησίας.

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα για τις αναλύσεις είναι:

- Προβολή των δεδομένων σε γραφήματα
- Χρονικά γραφήματα
- Αναφορές

5. Hybrid2

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι ένα ευέλικτο και εύκολο στη χρήση λογισμικό που βοηθάει στη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη απόδοσης συστημάτων ενέργειας.

Το Hybrid2 περιλαμβάνει τέσσερα μέρη. Το γραφικό περιβάλλον χρήστη, το στοιχείο προσομοίωσης, το στοιχείο των οικονομικών και τέλος το γραφικό περιβάλλον αποτελεσμάτων.

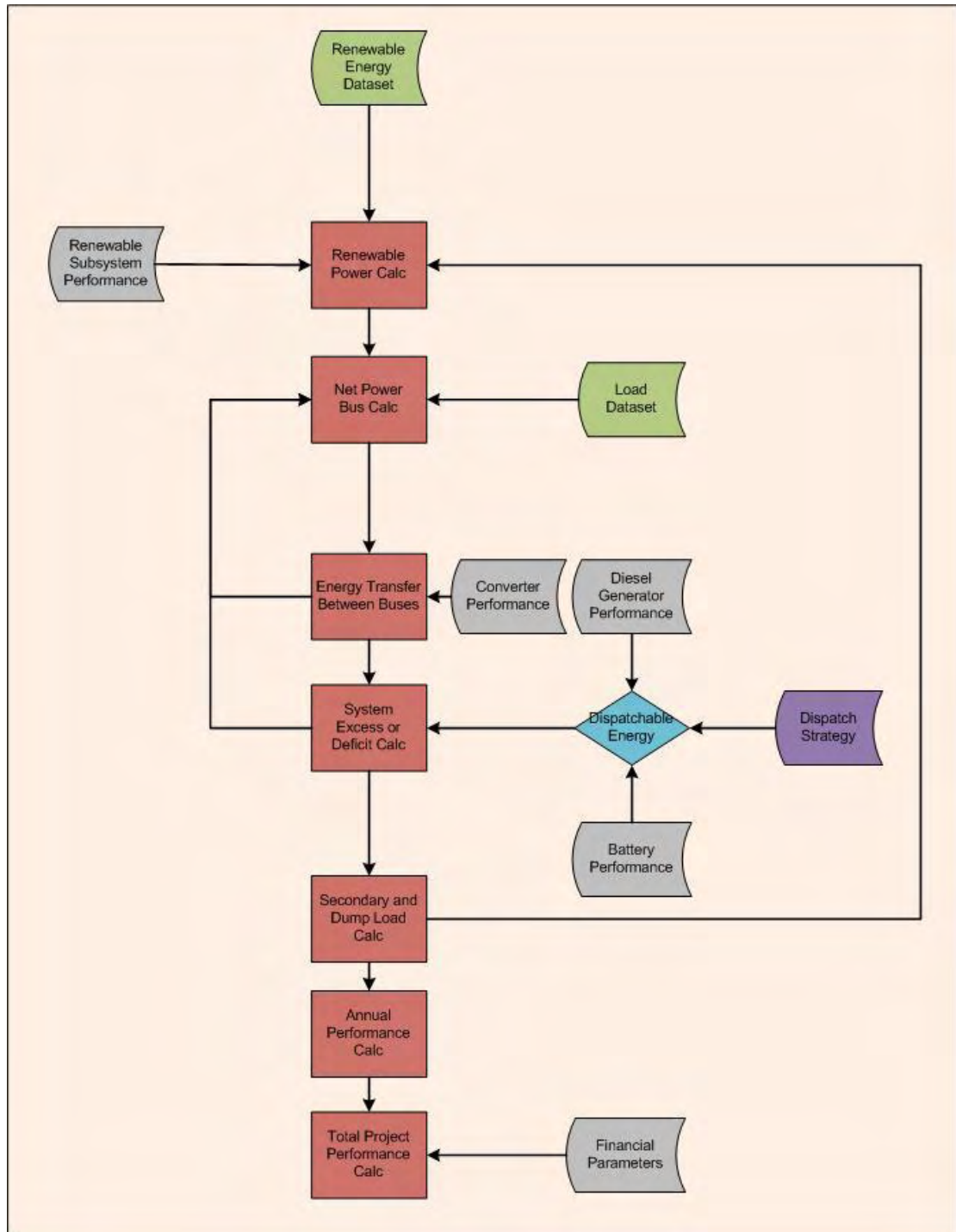
Υπάρχουν δύο ειδών μοντέλα προσομοίωσης, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως. Το πρώτο είναι γνωστό ως λογιστικό μοντέλο (logistics model). Χρησιμοποιείται κυρίως για μακροπρόθεσμες προβλέψεις της απόδοσης και παρέχει τη δυνατότητα για οικονομικές αναλύσεις. Το δεύτερο είδος, έχει να κάνει με δυναμικά μοντέλα και περιγράφουν τη συμπεριφορά του συστήματος στις αλλαγές των δεδομένων εισόδου. Το Hybrid2 ανήκει στη πρώτη κατηγορία.

5.1 Δομή του Προγράμματος

Το Hybrid2 διαιρεί το project σε πέντε κατηγορίες, οι οποίες είναι δομημένες σε τέσσερα επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο είναι το project. Το δεύτερο επίπεδο αποτελείται από τα στοιχεία (Modules) όπως το σύστημα ενέργειας, το σύστημα των φορτίων και το οικονομικό μοντέλο. Στο τρίτο επίπεδο βρίσκεται το υποσύστημα και στο τέλος είναι τα στοιχεία. [3]

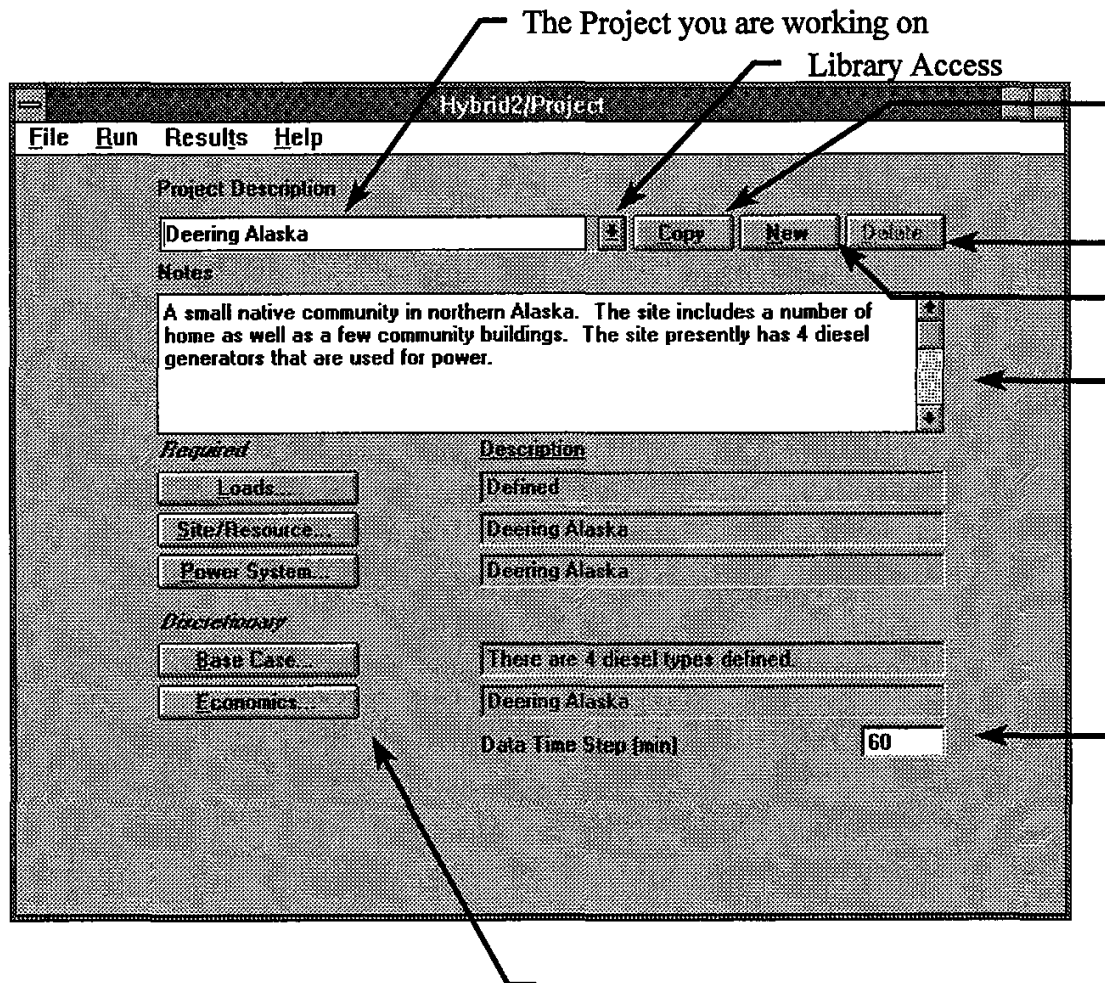
5.2 Τρόπος λειτουργίας

Ουσιαστικά το Hybrid2 λειτουργεί υπολογίζοντας το πλεόνασμα και το έλλειμα ενέργειας που υπάρχει σε κάθε βήμα χρόνου. Κάθε βήμα χρόνου, χωρίζεται σε 6 μικρότερα βήματα και η προσομοίωση μπορεί να επιστρέψει σε κάθε ένα από αυτά τα βήματα μέχρι το τέλος των υπολογισμών. Στο πρώτο βήμα, το Hybrid2 υπολογίζει την διαθέσιμη ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές βασιζόμενο σε δεδομένα που έχουν εισαχθεί από τον χρήστη. Στο δεύτερο βήμα, υπολογίζεται το φορτίο σε κάθε ζυγό. Στο τρίτο βήμα, αν υπάρχει θετικό φορτίο σε κάθε ζυγό, μετατρέπεται το ηλεκτρικό ρεύμα από ac σε dc. Στο τέταρτο βήμα, η προσομοίωση θα διανείμει ενέργεια στον ζυγό που έχει ακόμα θετικό φορτίο. Η στρατηγική διανομής θα καθορίσει πόσο πόση ενέργεια θα πρέπει να φτάσει στο συγκεκριμένο ζυγό. Στο πέμπτο βήμα, αν υπάρχει ακόμα πλεόνασμα ενέργειας θα αποθηκευτεί σε δευτερεύοντα και μη κρίσιμα φορτία. Τέλος, στο έκτο βήμα, το Hybrid2 θα συνοψίσει τις παραμέτρους απόδοσης για κάθε ανεξάρτητο βήμα. Με βάση τα δεδομένα που έχει εισάγει ο χρήστης, θα υπολογιστεί η απόδοση του έργου για ένα χρόνο. [4]



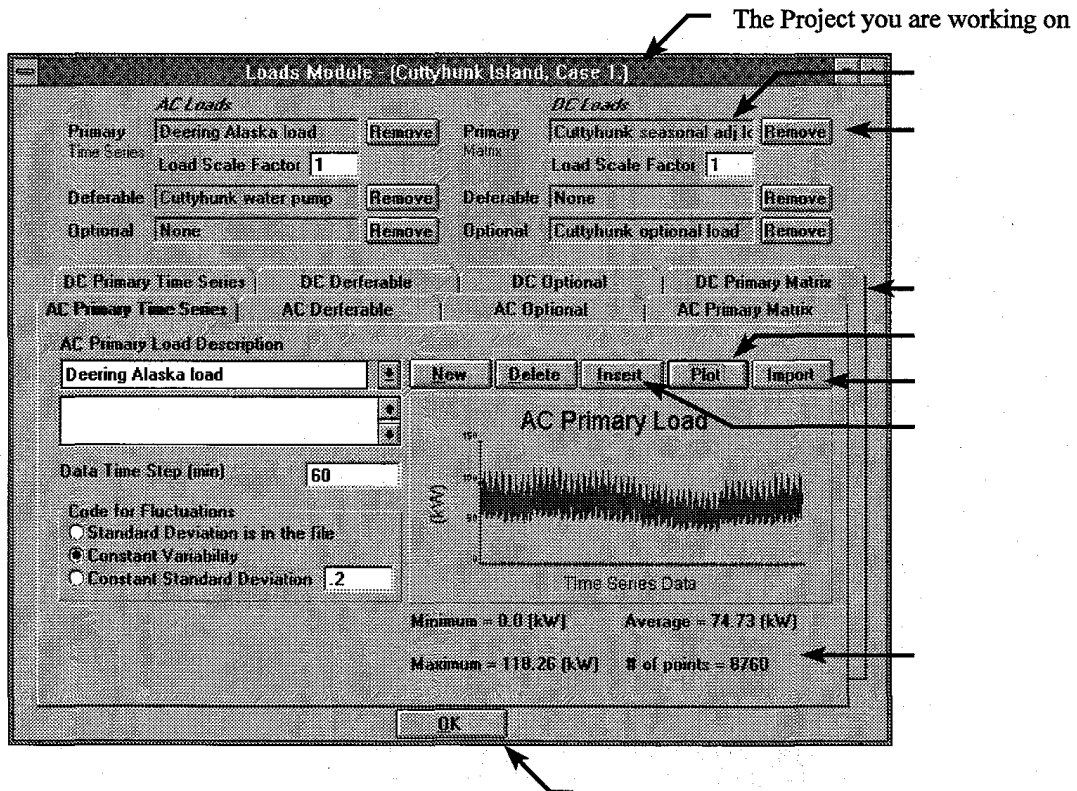
5.3. Τρόπος χρήσης του προγράμματος

Το πρώτο βήμα για να δημιουργηθεί ένα project είναι να πατήσουμε New και μετά να ονομάσουμε το Project. Ο χρήστης στη συνέχεια θα πρέπει να καθορίσει τα χρονικά βήματα που επιθυμεί.



5.4 Loads Module

Το Hybrid2 επιτρέπει στο σύστημα που δημιουργούμε να περιέχει φορτία τόσο σε AC όσο και σε DC ζυγούς. Ο κώδικας επίσης δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν τρία διαφορετικά είδη φορτίων – το πρωτεύον, το deferrable load και κάποια προαιρετικά φορτία. Κάθε είδος φορτίου ορίζεται σε ξεχωριστή καρτέλα. Επίσης, υπάρχει βιβλιοθήκη που βοηθάει τον χρήστη να επιλέξει διάφορα στοιχεία.



5.5 Διαχωρισμοί φορτίων

5.5.1. Πρωτεύοντα φορτία

Ως πρωτεύον φορτίο, το Hybrid2 ορίζει το απαιτούμενο φορτίο του συστήματος που αναλύουμε. Το φορτίο αυτό δημιουργείται από δεδομένα χρονικών σειρών, στα οποία κάθε βήμα της προσομοίωσης έχει ένα καθορισμένο φορτίο. Το πρωτεύον φορτίο πρέπει να μπορεί να υποστηριχθεί από την ισχύ του συστήματος. Αν κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό θα ανακοινωθεί από το πρόγραμμα στο τελικό παραγόμενο αρχείο σφαλμάτων. Αν το project περιλαμβάνει deferrable load ή προαιρετικά φορτία σε κάποιους ζυγούς, θα πρέπει στους συγκεκριμένους ζυγούς να οριστούν και πρωτεύοντα φορτία. Αυτό συμβαίνει διότι, υπάρχει περίπτωση αυτά τα φορτία να χρειαστεί να μεταφερθούν στο πρωτεύον φορτίο. Παρόλα αυτά, ο χρήστης μπορεί να ορίσει μηδενικό πρωτεύον φορτίο για να ικανοποιήσει τη συγκεκριμένη απαίτηση.

Για να ορίσει ο χρήστης πρωτεύοντα φορτία, μπορεί να χρησιμοποιήσει τη συνάρτηση πινάκων πρωτευόντων φορτίων που είναι ενσωματωμένη στον κώδικα του Hybrid2.

Loads Module - (Cuttyhunk Island, Case 1.)

AC Loads

Primary Time Series: Block Island Load [Remove] Load Scale Factor: 1

Deferable: Cuttyhunk water pump [Remove]

Optional: None [Remove]

DC Loads

Primary Matrix: Cuttyhunk seasonal adj load [Remove] Load Scale Factor: 1

Deferable: None [Remove]

Optional: Cuttyhunk optional load [Remove]

AC Primary Time Series | AC Deferable | AC Optional | AC Primary Matrix

DC Primary Time Series | DC Deferable | DC Optional | DC Primary Matrix

DC Primary Load Description

Cuttyhunk seasonal adj load

This load represents a seasonal DC water heating load that peaks in the

Data Time Step (min): 60

Constant Variability in Load: .1

Daily Pattern

Hour	Power (kW)	Month	Scale Factor
1	10	1	2
2	10	2	2
3	10	3	2
4	10	4	5
5	10	5	7

Daily Energy = 575.0 (kWh)

New Delete Insert

Daily Average Power = 23.96 (kW)

Yearly Energy = 3,450.0 (kWh)

Yearly Average Power = 0.39 (kW)

OK

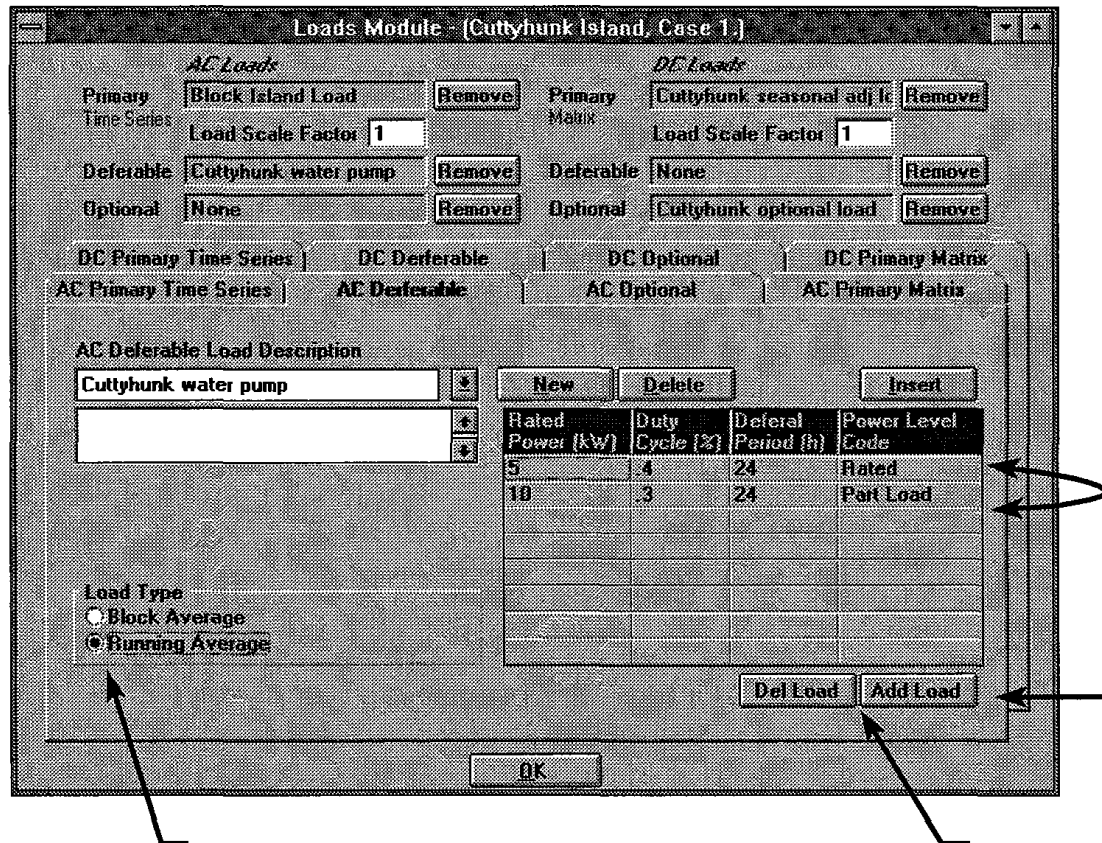
Ο πίνακας αυτός επιτρέπει στον χρήστη να καθορίσει το μέσο όρο του φορτίου για κάθε ώρα μιας συνηθισμένης μέρας, και έναν μηνιαίο παράγοντα για κάθε μήνα του χρόνου.

Παρόλα αυτά, αν ο χρήστης θέλει να εισάγει περισσότερες λεπτομέρειες για το πρωτεύον φορτίο, θα ήταν καλύτερα να δημιουργήσει ένα αρχείο με φορτία σε χρονικές σειρές και να εισάγει στο Hybrid2 αυτό το αρχείο.

5.5.2. Deferrable Load

Το συγκεκριμένο είδος φορτίου, είναι ένα ηλεκτρικό φορτίο που περιέχει περιορισμένη ποσότητα ενέργειας και γι' αυτό επιτρέπεται και κάποια απόκλιση. Αυτά τα φορτία μπορεί να χρειαστεί να αναβληθούν για κάποια χρονική περίοδο, όσο το πρόγραμμα περιμένει να διαπιστώσει αν υπάρχει πλεόνασμα ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή αν κάποιος πετρελαιοκινητήρας μπορεί να παράξει την απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Αν όμως το φορτίο αυτό δεν αντιμετωπιστεί

μέσα στο χρονικό περιθώριο που έχει τεθεί, τότε αντιμετωπίζεται ως πρωτεύον φορτίο και παρέχεται άμεσα η απαιτούμενη ενέργεια.

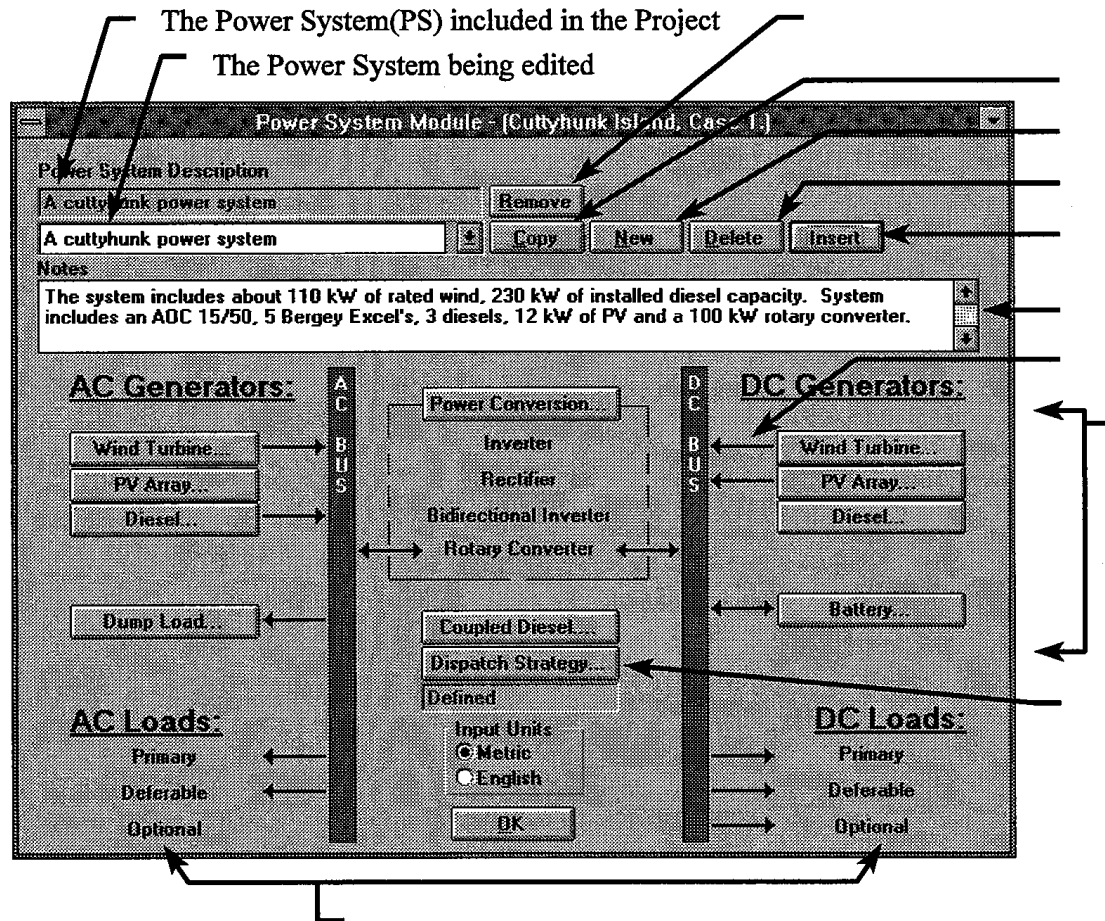


5.5.3 Προαιρετικά φορτία

Τέτοιου είδους φορτία, θεωρούνται, χρήσιμες εφαρμογές φορτίων για πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας. Πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας, είναι επί της ουσίας, το περίσσειμα από τα πρωτεύοντα και deferrable φορτία. Προκειμένου λοιπόν, το συγκεκριμένο περίσσειμα να χαθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα, τέτοιο φορτίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να θερμανθεί το νερό, όταν υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας. Τα φορτία αυτά μπορεί να είναι είτε AC είτε DC.

5.6 Υποσύστημα

Ο τομέας του υποσυστήματος στο Hybrid2 επιτρέπει στο χρήστη να καθορίσει ένα σύστημα ισχύος που θα συμπεριληφθεί στο έργο. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα πλέγμα τριών ζυγών. Συγκεκριμένα είδη στοιχείων που χρησιμοποιούνται σε κάθε υποσύστημα συνδέονται σε έναν από τους ζυγούς. Μετατροπείς μπορούν να τοποθετηθούν ανάμεσα σε δύο ζυγούς.



Το υποσύστημα χρησιμοποιείται για να περιγράψει, ποια στοιχεία και σε τι ποσότητα θα χρησιμοποιηθούν στο σύστημα ισχύος.

5.7 Παραμετροποίηση (Configurations)

Στο Hybrid2 μπορούν να γίνουν πολλές παραμετροποιήσεις. Για παράδειγμα, τα συστήματα μπορεί να περιέχουν ανεμογεννήτριες σε πολλούς ή και σε κανέναν από τους ζυγούς.

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί. Οι περιορισμοί αυτοί εξαρτώνται και από το υπό σχεδίαση σύστημα, αλλά υπάρχουν κάποιες γενικές κατηγορίες.

- Πετρελαιοκινητήρες μπορούν να βρίσκονται μόνο σε ένα ζυγό.
- Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να βρίσκονται σε ένα ζυγό.
- Οι μετατροπείς δεν μπορούν να είναι πάνω από ένας προς κάθε κατεύθυνση.
- Ένα σύστημα που χρειάζεται DC ζυγούς πρέπει να έχει μπαταρίες.

5.8 Στοιχεία (components)

Το σύστημα είναι κατασκευασμένο από το συνδυασμό διάφορων στοιχείων, καθένα από τα οποία είναι καθορισμένο από μία λίστα παραμέτρων. Τα στοιχεία μπορούν να επιλεγούν από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος, ή να δημιουργηθούν εξ αρχής από τον χρήστη. Οι πληροφορίες που απαιτούνται για τη δημιουργία του στοιχείου, θα είναι διαθέσιμες από τον κατασκευαστή του.

The screenshot shows a software window titled "DC Wind Turbine Module - (A cutyhanik power system)". It contains several sections:

- Component List Table:**

Description	Quantity
Bergey BWC Excel 10 KW	4
Jacobs 23-12.5, 12.5 kW turbine	4
- System Parameters:**
 - Wind Power Scale Factor: 1
 - Wind Turbine Spacing (m): 100
 - Wind Power Response Factor: 1.5
 - Avg. Wind Turbine O/M Cost (\$/kWh): .03
- Wind Turbine Component Details (Bergey BWC Excel 10 KW):**
 - Rated Power (kW): 10
 - Hub Height (m): 24.4
 - Avg. Interval for Pwr (min): 10
 - Capital Cost Domestic (\$): 16950
 - Capital Cost International (\$): 0
 - Tower Capital Cost (\$): 6220
 - Installation Cost (\$): 3000
 - Overhaul Costs (\$): 1000
 - Overhaul Period (yr): 10
- Power Curve Graph:** A graph showing Power (kW) on the y-axis (0 to 10) and Wind Speed on the x-axis (3 to 50). The curve shows a peak power of approximately 10 kW at a wind speed of about 15 m/s.
- Control and Input Elements:**
 - Buttons: Copy, New, Delete, Insert, Add Data, Del Data, OK.
 - Input Units: Metric (selected), English.
 - Power Curve Input Table:

W. Spd	Power
3	0
4	.1
5	.6
6	1.3
7	2.3
8	3.3
9	4.3
10	5.3

5.9 Οικονομικά (Economics)

Το Hybrid2 περιλαμβάνει ένα λεπτομερές οικονομικό μοντέλο που επιτρέπει στον χρήστη να καθορίσει βασικά οικονομικά στοιχεία για μία συγκεκριμένη προσομοίωση. Η οικονομική μηχανή του προγράμματος χρησιμοποιεί στοιχεία που έχουν παρασχεθεί από τον χρήστη για να υπολογιστούν διάφορα κόστη του έργου. Ακόμα, μπορούν να ληφθούν υπόψη παράμετροι όπως η επέκταση του δικτύου, φόροι και έξοδα συντήρησης. [3]

Economic Description
Cuttyhunk Island [Remove]

Input Units
 Metric
 English

Buttons: Copy, New, Delete, Insert

Sample economics input information.

Component Costs | **System Costs** | **Economic Parameters**

Dump Load | **Wind Turbine** | **Battery** | **PV Array** | **Power Converter** | **Diesel**

Wind Turbine Overhaul Parameters
 [Important Note: Enter Turbines in the order they are defined. Entering AC Turbines first followed by DC Turbines.]

Cost (\$)	Period (yr)
\$1,000.00	20
\$2,000.00	20
\$3,000.00	20

Buttons: Add Data, Del Data

Wind Turbine O/M Cost (\$/kWh) 0.025

AC
 Domestic Turbine Cost (\$) 85000
 International Turbine Cost (\$) 0
 Tower Cost (\$) 20000
 Installation Cost (\$) 12500

DC
 Domestic Turbine Cost (\$) 84750
 International Turbine Cost (\$) 0
 Tower Cost (\$) 31100
 Installation Cost (\$) 12500

OK

6. ViPOR

Το ViPOR είναι επί της ουσίας ένα πρόγραμμα για μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση συστημάτων ηλεκτροδότησης χωριών. Παρέχει τη δυνατότητα να βελτιστοποιεί το συνδυασμό κεντρικής και απομονωμένης παραγωγής ενέργειας. Μπορεί να διαλέγει ανάμεσα στην επέκταση του δικτύου και τη χρήση υβριδικών συστημάτων. Επίσης, μπορεί να καθορίσει τη βέλτιστη τοποθέτηση μετασχηματιστών και να σχεδιάσει το δίκτυο διανομής με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

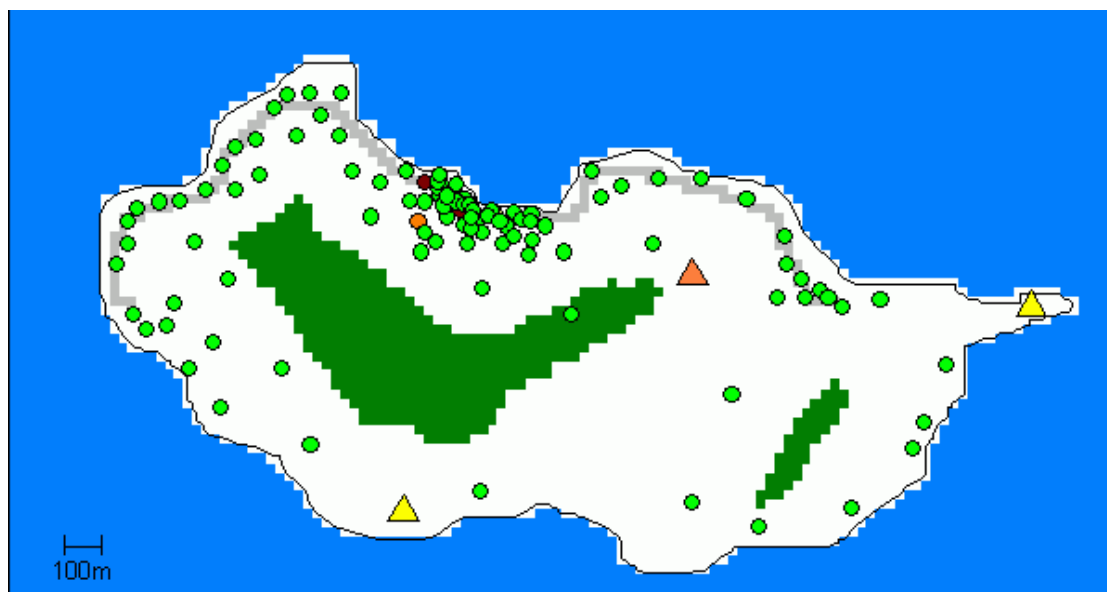
Η διαδικασία της βελτιστοποίησης περιλαμβάνει τόσο το κόστος όσο και τα έσοδα. [5]

Το ViPOR μπορεί να αποφασίσει ποια σπίτια μπορούν να τροφοδοτηθούν από απομονωμένα συστήματα ενέργειας (π.χ. με χρήση ηλιακής ενέργειας) και ποια θα πρέπει να συμπεριληφθούν στο δίκτυο. Το δίκτυο είναι σχεδιασμένο λαμβάνοντας πάντα υπόψη το έδαφος. [6]

6.1 Δεδομένα Εισόδου

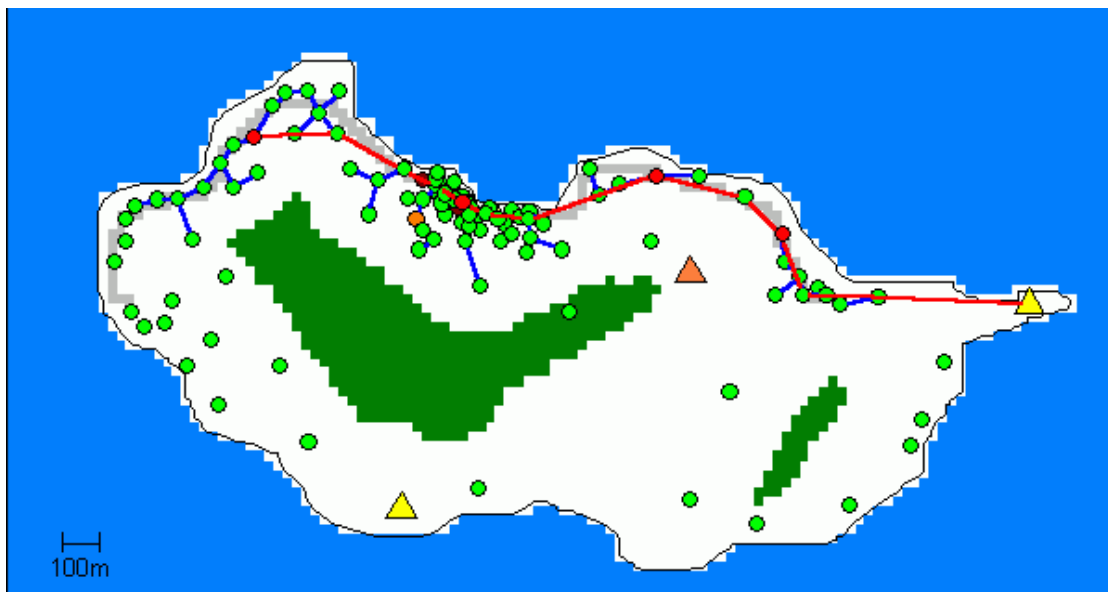
Τα δεδομένα που πρέπει να εισάγει στο πρόγραμμα ο χρήστης είναι κατά βάση, η τοποθεσία, το είδος του εδάφους και οι απαιτήσεις ισχύος για κάθε φορτίο. Επίσης, θα πρέπει να καθοριστούν πιθανές τοποθεσίες για ένα κεντρικό σύστημα ενέργειας. Ακόμη, θα πρέπει να συμπεριληφθούν κόστη για καλώδια και μετασχηματιστές, και για γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος.

6.2 Παράδειγμα χωριού με το ViPOR



- Το νερό εμφανίζεται με μπλε, το δάσος με πράσινο και το γρασίδι με άσπρο.
- Οι πράσινες κουκίδες είναι σπίτια, οι καφέ είναι μαγαζιά και το πορτοκαλί είναι εκκλησία.
- Το κίτρινο τρίγωνο είναι σημείο με ανέμους μεγάλης έντασης, ενώ το πορτοκαλί με μικρής έντασης.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η λύση που θα πρότεινε το ViPDR είναι η εξής:



- Οι κόκκινες και οι μπλε γραμμές είναι καλώδια, ενώ οι κόκκινες κουκίδες είναι μετασηματιστές.
- Το ViPDR διάλεξε ένα σημείο με ανέμους μεγάλης έντασης για να τροφοδοτήσει το κεντρικό σύστημα.
- Τα σπίτια στο σύστημα θα τροφοδοτηθούν από φωτοβολταϊκά. [5]

6.3 Παράδειγμα αποτελέσματος

Solution						
Costs						
Component	Net Present (\$)	Initial Capital (\$)	Total Annualized (\$/yr)	Annualized Capital (\$/yr)	Annual O&M (\$/yr)	Annual Fuel (\$/yr)
Centralized Generation:	101,981	16,225	7,978	3,636	1,560	2,782
Isolated Generation:	32,054	21,670	2,508	2,288	220	0
Distribution System:	48,856	40,138	3,910	3,140	770	
Totals:	182,891	78,033	14,396	9,064	2,550	2,782
Per Load:	1,759	750	138	87	25	27

Revenue		Profit	
	Net Present (\$)	Annual (\$/yr)	
Centralized Loads:	71,672	7,896	Net Present Profit: -101,633 \$
Isolated Loads:	9,585	1,056	Annualized Profit: -5,444 \$/yr
Total:	81,258	8,952	Levelized COE: 0.594 \$/kWh
			Levelized Profit: -0.224 \$/kWh

6.4 Λογική Βελτιστοποίησης

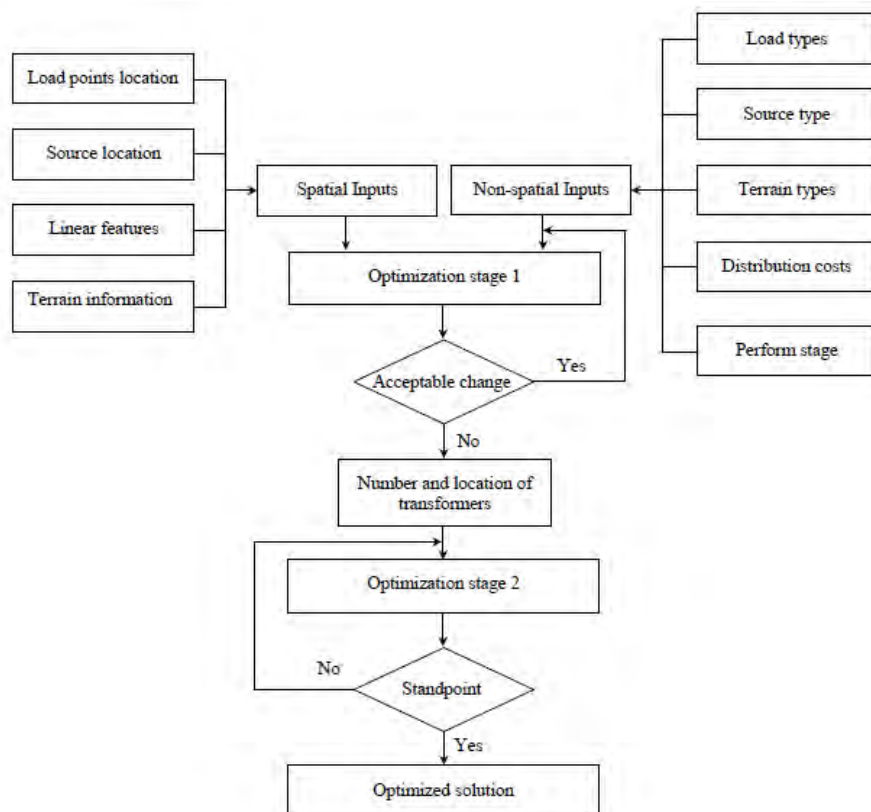
Το ViPOR χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης που βοηθάει στον υπολογισμό της σχεδίασης ενός συστήματος διανομής με το χαμηλότερο κόστος. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης γίνονται επανειλημμένες αλλαγές σε στοιχεία τους συστήματος για να μπορέσει να βρεθεί η βέλτιστη λύση. Για παράδειγμα, το ViPOR μπορεί να προσθέσει στην τύχη κάποιο κόμβο στο δίκτυο διανομής, να μετακινήσει έναν μετασχηματιστή ή να διαλέξει άλλο σημείο για το κεντρικό σύστημα ενέργειας. Κάθε αλλαγή που καταλήγει σε χαμηλότερο κόστος γίνεται αποδεκτή από το σύστημα και συνεχίζει παρακάτω από εκείνο το σημείο. Ωστόσο, αλλαγές που αυξάνουν το κόστος αντιμετωπίζονται πιθανοτικά. Κάποιες γίνονται αποδεκτές και κάποιες άλλες όχι. Αν μία αλλαγή δεν γίνει αποδεκτή τότε το σύστημα επανέρχεται στην αμέσως προηγούμενη κατάσταση. Η διαδικασία της βελτιστοποίησης πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, ένας απλοποιημένος αλγόριθμος χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση ενός συστήματος διανομής χαμηλής τάσης. Έτσι το ViPOR έχει τη δυνατότητα να καθορίσει γρήγορα τον αριθμό και την τοποθεσία των μετασχηματιστών. Στο δεύτερο στάδιο, ένας πιο περίπλοκος αλλά και πιο αργός αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να σχεδιαστεί το σύστημα με μεγαλύτερη ακρίβεια.

6.5 Στοιχεία

Τα στοιχεία που περιέχονται στο ViPOR είναι τα εξής:

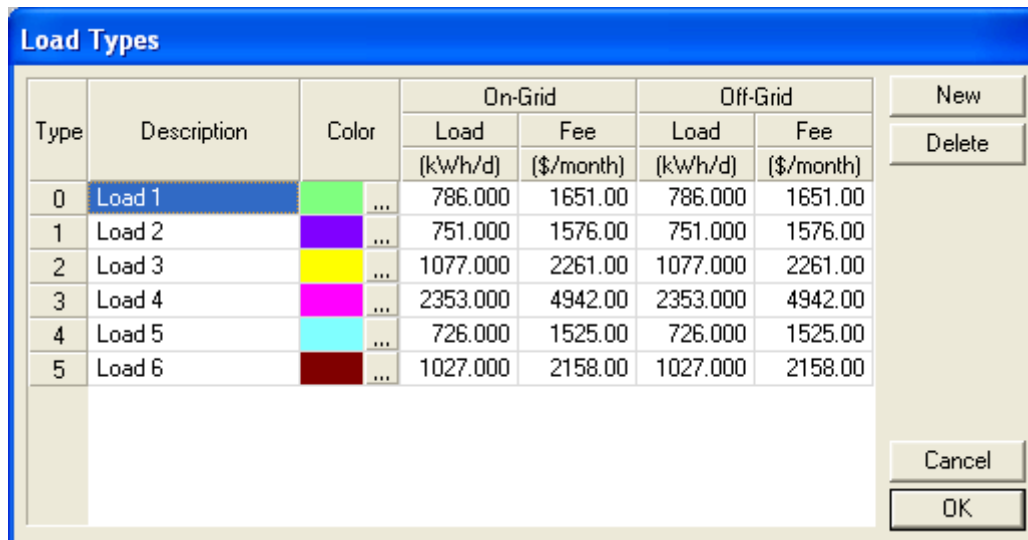
- Φωτοβολταϊκά
- Γεννήτριες πετρελαίου
- Ανεμογεννήτριες
- Υδρογεννήτριες
- Μπαταρίες
- Μετατροπείς
- Στοιχεία ηλεκτρόλυσης
- Δεξαμενή Υδρογόνου
- Διάφορα είδη γεννητριών
- Δεδομένα για τις γραμμές διανομής
- Δεδομένα για τις απαιτήσεις του φορτίου
- Πληροφορίες για τη γεωγραφική περιοχή [7]

6.6 Τρόπος λειτουργίας του προγράμματος



6.7 Είδη Φορτίων

Στο ViPOR χρησιμοποιούνται επτά διαφορετικά είδη φορτίων όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Type	Description	Color	On-Grid		Off-Grid	
			Load	Fee	Load	Fee
			(kWh/d)	(\$/month)	(kWh/d)	(\$/month)
0	Load 1	...	786.000	1651.00	786.000	1651.00
1	Load 2	...	751.000	1576.00	751.000	1576.00
2	Load 3	...	1077.000	2261.00	1077.000	2261.00
3	Load 4	...	2353.000	4942.00	2353.000	4942.00
4	Load 5	...	726.000	1525.00	726.000	1525.00
5	Load 6	...	1027.000	2158.00	1027.000	2158.00

6.8 Είδη πηγών

Το είδος της πηγής είναι από τα πιο δύσκολα σημεία κατά τη χρήση του ViPOR. Συνήθως συνδυάζεται με τη χρήση του εργαλείου Homer που αναλύθηκε παραπάνω.

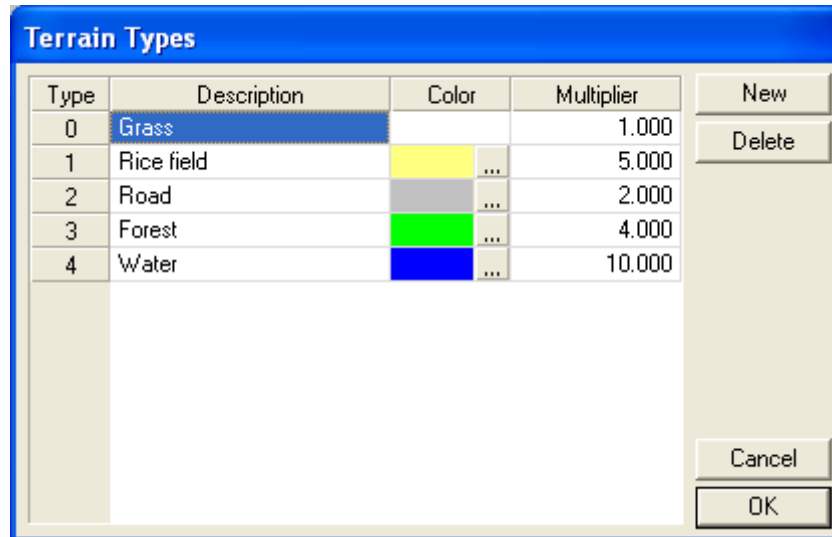
6.9 Αποτελέσματα

Το ViPOR ασχολείται κυρίως με το συνολικό κόστος ηλεκτροδότησης, ωστόσο περιλαμβάνονται και τα έξοδα παραγωγής και διανομής της ενέργειας. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη διάφορα σενάρια, το ηλεκτρικό ρεύμα θα μπορούσε να παρέχεται από διαφορετικές πηγές ενέργειας, όπως από ανεξάρτητα οικιακά ηλιακά συστήματα ή από κεντρικά συστήματα διαφορετικών μεγεθών ή ακόμα και από ένα μεγαλύτερο δίκτυο διανομής από μία περιοχή όχι και τόσο μακριά από το τρέχον δίκτυο. Το ViPOR μπορεί να κάνει ένα συνδυασμό όλων των παραπάνω ώστε να βρεθεί η βέλτιστη λύση.

6.10 Άλλα δεδομένα εισόδου

Το είδος του εδάφους είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για το ViPOR, ώστε να καταφέρει να υπολογίσει τη βέλτιστη λύση για το σχεδιασμό του δικτύου διανομής. Το έδαφος περιλαμβάνεται στο συγκεκριμένο λογισμικό,

στην ανάλυση που υλοποιεί ορίζοντας ένα δίκτυο εδαφών συγκεκριμένης ανάλυσης και ένας κόστος που μπορεί να έχει κάθε είδος εδάφους. Γενικότερα, τα είδη των εδαφών που έχουν οριστεί, είναι το νερό (πολύ ακριβό), δάσος (λιγότερο ακριβό), γρασίδι (πιο φθηνό σε σχέση με το δάσος) και μία περιοχή όπου υπάρχουν δρόμοι.



Type	Description	Color	Multiplier	
0	Grass		1.000	New
1	Rice field	...	5.000	Delete
2	Road	...	2.000	
3	Forest	...	4.000	
4	Water	...	10.000	

Cancel
OK

Στο συγκεκριμένο λογισμικό, τα γραμμικά στοιχεία είναι απλά συλλογή σημείων που ενώνονται από γραμμές, με αποτέλεσμα το αναμενόμενο εξαγόμενο σχέδιο (format) να περιέχει ένα σημείο σε κάθε γραμμή. Το σχέδιο (format) ενός σημείου εξαρτάται από το σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται.

Linear Features

Features

Feature:

Description: Color:

Points

#	Easting (m)	Northing (m)
0	639983.6	5279795.2
1	639964.8	5279795.2
2	639938.9	5279795.2
3	639922.4	5279795.2
4	639896.5	5279795.2
5	639877.7	5279795.2
6	639851.8	5279795.2
7	639835.3	5279795.2
8	639809.4	5279776.3
9	639790.6	5279734.0

6.11 Εμφάνιση τελικών αποτελεσμάτων

Η βέλτιστη παραμετροποίηση του δικτύου που θα μας δοθεί θα είναι χωρισμένη σε συνδυασμό κεντρικών και απομονωμένων συστημάτων ή μόνο σε κεντρικά ή απομονωμένα συστήματα. Σε κάθε επιλογή, το συνολικό κόστος μπορεί να χωριστεί σε όρους παραγωγής και διανομής και σε κόστος ανά φορτίο. Επίσης, για κάθε επιλογή θα γίνει αναλυτική παρουσίαση των επιμέρους εξόδων.

Solution

Costs | Other

Component	Net Present (\$)	Initial Capital (\$)	Total Annualized (\$/yr)	Annualized Capital (\$/yr)	Annual O&M (\$/yr)	Annual Fuel (\$/yr)
Centralized Generation:	5,772,637	-1,426,863	419,753	90,449	140,191	189,113
Isolated Generation:	0	0	0	0	0	0
Distribution System:	935,107	792,435	103,150	87,301	15,849	
Totals:	6,707,744	-634,427	522,903	177,750	156,040	189,113
Per Load:	1,117,957	-105,738	87,150	29,625	26,007	31,519

Revenue	Net Present (\$)	Annual (\$/yr)
Centralized Loads:	1,537,251	169,356
Isolated Loads:	0	0
Total:	1,537,251	169,356

Profit	Value
Net Present Profit:	-5,170,493 \$
Annualized Profit:	-353,547 \$/yr
Levelized COE:	0.213 \$/kWh
Levelized Profit:	-0.144 \$/kWh

Solution
✕

Costs
Other

Centralized Loads:	6	Total Centralized Load:	6,720.0 kWh/d
Isolated Loads:	0	Total Isolated Load:	0.0 kWh/d
LV Line Length:	0 m	No. of Transformers:	6
MV Line Length:	98,087 m	Max. Transformer Load:	2,353.0 kWh/d

Close

Το συνολικό κόστος σε κάθε επίπεδο των φορτίων, ο συνολικός αριθμός των φορτίων, η καταμέτρηση των μετασχηματιστών και των πηγών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Load (kWh/day)	Total Cost (\$)	Gen. Cost (\$)	Dist. Cost (\$)	Isolated Cost (\$)
0	17492818	0	0	17492818
751	16482310	618387.75	326149.5	15537773
786	16334220	650421.5	237122.05	15446676
2539	13559898	2267909	408699.28	10883290
3104	12727801	2771971	542752.25	9413078
...
5934	7934978	5104654	784182.19	2046141.9
5969	8025023.5	5136198	933780.81	1955044.6
5994	7981200.5	5157444.5	933780.81	1889975.3
6720	6707743.5	5772636.5	935107.13	0

Σημεία φορτίων.

Number	Type	Description	Load size (kWh/d)	Wire Run (m)	Depth (m)
0	Load 1	Added manually	786	0	0
1	Load 2	Added manually	751	0	0
2	Load 3	Added manually	1077	0	0
3	Load 4	Added manually	2353	0	0
4	Load 5	Added manually	726	0	0
5	Load 6	Added manually	1027	0	0

Μετασηματιστές.

Type	Number	Load (kWh/d)	Wire Run (m)
Load	0	786	15,827
Load	1	751	18,680
Load	2	1,077	14,816
Load	3	2,353	19,408
Load	4	726	13,676
Load	5	1,027	15,681

Πηγές. [8]

Number	Description	Load (kWh/d)
0	Added manually	1,027
1	Added manually	5,693
2	Added manually	0
3	Added manually	0

7. GridLAB-D

Το GridLAB-D είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης και ανάλυσης συστημάτων διανομής ενέργειας, το οποίο παρέχει σημαντικές πληροφορίες στους χρήστες που σχεδιάζουν ή διαχειρίζονται συστήματα διανομής. Αναπτύχθηκε στο Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), χρηματοδοτούμενο τόσο από τη βιομηχανία όσο και από ακαδημαϊκούς χώρους.

Το GridLAB-D είναι ένα ευέλικτο περιβάλλον προσομοίωσης, το οποίο μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα μεγάλο αριθμό άλλων εργαλείων για διαχείριση και ανάλυση δεδομένων. Ο πυρήνας του GridLAB-D είναι ένας περίπλοκος αλγόριθμος, που μπορεί να συντονίζει ταυτόχρονα την κατάσταση εκατομμυρίων ανεξάρτητων μεταξύ τους συσκευών, κάθε μία από τις οποίες περιγράφεται από πολλαπλές διαφορικές εξισώσεις. Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου αλγορίθμου σε σχέση με άλλους προσομοιωτές, είναι ότι μπορεί να διαχειριστεί ασυνήθιστες καταστάσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια,

μπορεί να διαχειριστεί μεγάλες χρονικές αλλαγές, από δευτερόλεπτα έως έτη, και μπορεί να ενσωματωθεί σε άλλα εργαλεία.

Γενικά, το GridLAB-D εξετάζει με λεπτομέρεια, την αλληλεπίδραση κάθε μέρους ενός συστήματος διανομής με τα υπόλοιπα.

7.1 Λόγοι χρήσης του GridLAB-D

Τα περισσότερα εργαλεία ακόμα και σήμερα, δεν παρέχουν τις δυνατότητες ανάλυσης που χρειάζονται, ώστε να μελετηθούν οι μελλοντικές αντιδράσεις ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η διαρκής εξέλιξη της επιστήμης της πληροφορικής σε συνδυασμό με τις πολλαπλές και αλληλοκαλυπτόμενες αγορές ενέργειας και τις νέες πολιτικές διανομής ενέργειας οδηγούν σε αβεβαιότητα για το μέλλον αυτού του τομέα.

Το GridLAB-D παρέχει δυνατότητες που υποστηρίζουν τη σχεδίαση και την ανάλυση τεχνολογιών αυτόματης διανομής ενέργειας, με πολλές βελτιστοποιήσεις, συντονισμό συσκευών, αξιοπιστία, αναγνώριση σφαλμάτων και επίλυσή τους. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα μοντελοποίησης της συμπεριφοράς των καταναλωτών.

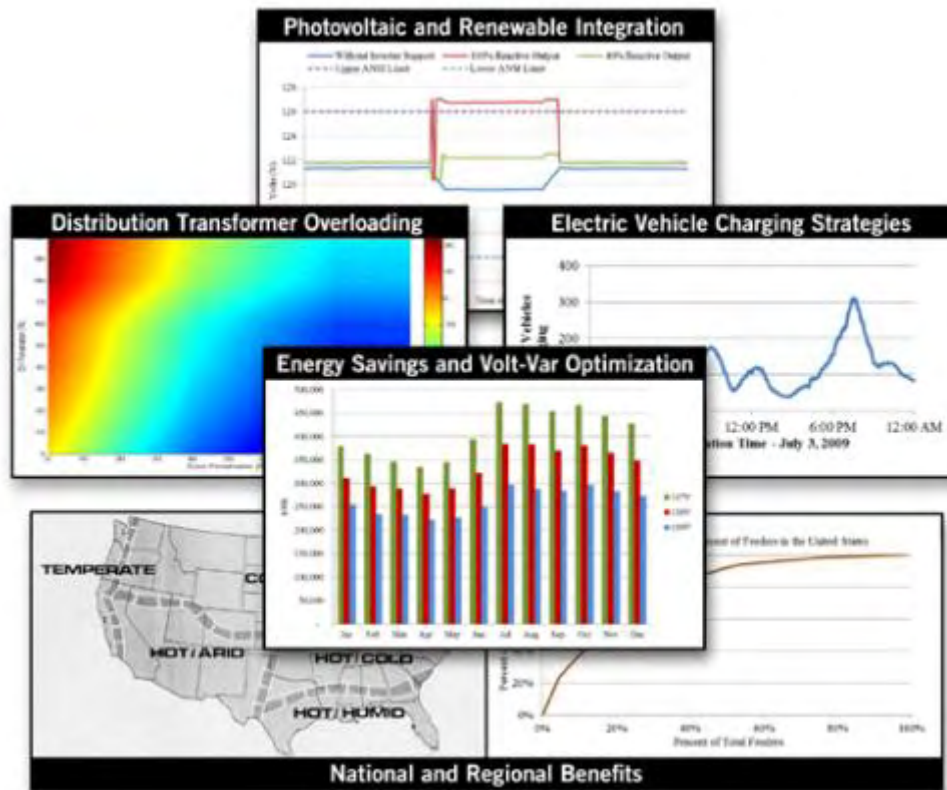


7.2 Δυνατότητες

Το GridLAB-D, με το να επιτρέπει να γίνεται η μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος διανομής σε χρονικές περιόδους από δευτερόλεπτα έως χρόνια, παρέχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει της αντιδράσεις ανάμεσα σε φυσικά φαινόμενα, συστήματα εταιριών, αγορές και ιδιώτες και πως όλα αυτά μαζί επηρεάζουν το σύστημα διανομής.

Πιο αναλυτικά, υποστηρίζονται τριφασικά συστήματα ενέργειας, η δυνατότητα χρήσης τελικού φορτίου για χιλιάδες σπίτια και συσκευές, καταναμημένα παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας, αυτοματοποιημένη κατανομή ενέργειας.

Επίσης, λόγω του υψηλού επιπέδου API που χρησιμοποιεί μπορεί να αλληλεπιδρά με άλλα εργαλεία ενώ υπάρχει και η δυνατότητα ορισμού ζώνης ώρας ώστε να χρησιμοποιείται σε διάφορες χώρες. [9]



7.3 Τρόπος χρήσης του GridLAB-D

7.4 Αρχεία εισόδου

Το GridLAB-D χρησιμοποιεί δύο βασικά είδη αρχείων εισόδου, τα .glm και τα .xml. Τα .glm χρησιμοποιούνται για να συνθέσουν τον πληθυσμό των αντικειμένων και για να κωδικοποιήσουν τη συμπεριφορά τους. Τα .xml χρησιμοποιούνται για να γίνεται σωστή ενσωμάτωση βιβλιοθηκών που προϋπάρχουν.

Μέχρι και τώρα, δεν υπάρχει κάποιο εργαλείο για την επεξεργασία των .glm αρχείων, ωστόσο το GldEditor είναι υπό ανάπτυξη. Τα αρχεία .xml μπορούν να προβληθούν χρησιμοποιώντας XSL/CSS editors που βρίσκονται ανακοινωμένοι στην επίσημη ιστοσελίδα του GridLAB-D.

7.5 Εκτέλεση GridLAB-D

Το GridLAB-D μπορεί να εκτελεστεί δίνοντας την εντολή `gridlabd myfile`. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα να περαστούν ορίσματα από την γραμμή εντολών, τα οποία αξιολογούνται και εκτελούνται με τη σειρά που εμφανίζονται.

7.6 Αρχεία εξόδου

Για την παραγωγή των αρχείων εξόδου υπάρχουν επίσης δύο τρόποι. Ο πρώτος και πιο απλός, είναι με το να δώσουμε την εντολή `-o myfile.xml`

Ο δεύτερος τρόπος, είναι χρησιμοποιώντας το `tape module` αντικείμενα ώστε να παραχθούν χρονικές σειρές συγκεκριμένων τιμών για όλο το μοντέλο.

7.7 Μοντέλο GridLAB-D

Ένα GridLAB-D μοντέλο είναι αποθηκευμένο είτε σε GLM είτε σε XML αρχείο, παρόλα αυτά υπάρχουν συνήθως και άλλα αρχεία που το συνοδεύουν για τη σωστή υλοποίηση του.

Τα δύο αυτά αρχεία έχουν κάποιες διαφορές. Το XML είναι πιστή αναπαράσταση του ακριβούς μοντέλου που προσομοιώνεται. Το GLM όμως, μπορεί να παρέχει πληροφορίες για παραμέτρους και στατιστικά στοιχεία.

Γενικότερα, χρησιμοποιούνται συνήθως τα GLM αρχεία για να για την περιγραφή των μοντέλων, ενώ τα XML για προβολή των αποτελεσμάτων και για την ανταλλαγή δεδομένων με άλλες εφαρμογές.

Ένα παράδειγμα θα ήταν το εξής. Έστω ότι θέλουμε να ορίσουμε ένα σπίτι, το οποίο θα έχει ένα εμβαδό (`floor_area`) 2500 sf με απόκλιση των 250 sf.

Ο ορισμός ως GLM θα είναι ως εξής:

```

1  module residential;
2  object house {
3      floor_area random.normal(2500,250);
4  };

```

Ο παραπάνω κώδικας θα παράξει αυτόματα τον XML κώδικα που θα είναι ο εξής:

```

1 <module>
2   <residential/>
3 </module>
4 <house>
5   <floor_area>2534.2 sf</floor_area>
6 </house>

```

Το GLM αρχείο όρισε το `floor_area` με τυχαία τιμή και απόκλιση. Έτσι, αν τρέχαμε το GridLAB-D πολλές φορές με τον ίδιο κώδικα, θα μπορούσαμε να δούμε διαφορετικές τιμές για το `floor_area` σε κάθε εκτέλεση. Γενικά όμως οι τιμές θα κυμαίνονταν σε ένα μέσο όρο των 2500 sf με μία απόκλιση των 250 sf. Από την άλλη μεριά, το xml θα μας έδινε πάντα τις ίδιες τιμές. Γι' αυτό πρέπει να γίνεται σωστή χρήση των αρχείων ανάλογα με την λειτουργία που έχουμε να υλοποιήσουμε.

Το σπίτι στο παραπάνω παράδειγμα ορίστηκε ως αντικείμενο (object). Αν θέλουμε όμως να περιγράψουμε πολλά αντικείμενα, είναι αρκετά δύσκολο να γίνει με τη χρήση του object. Γι' αυτό υπάρχουν οι κλάσεις (classes). Οι κλάσεις μπορούν να ομαδοποιήσουν τα αντικείμενα. Συνήθως, ορίζουμε μία κλάση με αντικείμενα που έχουν παρόμοια δομή.

Έτσι, ο παραπάνω κώδικας με ορισμό κλάσης θα ήταν ως εξής:

```

1 // class example
2 class house {
3   double floor_area[sf];
4 };

```

Με αυτόν τον τρόπο, το GridLAB-D καταλαβαίνει ότι το `floor_area` είναι μια ιδιότητα όλων των σπιτιών και είναι αποθηκευμένο σε μονάδες sf (τετραγωνικά πόδια).

Αντίθετα, τα XML αρχεία δεν χρησιμοποιούν κλάσεις, ή όχι με τον τρόπο που χρησιμοποιούνται στα GLM. Στα GLM αρχεία, μία κλάση μπορεί να οριστεί εξαρχής, ενώ στα XML μπορεί να περιγραφεί με περιορισμένο τρόπο. Αυτό συμβαίνει, διότι ο ορισμός κλάσης δεν είναι εύκολα μεταφέρσιμος από ένα σύστημα σε ένα άλλο, ενώ η περιγραφή της είναι.

Γι' αυτό το λόγο τα XML αρχεία συχνά χρησιμοποιούν ένα αρχείο περιγραφής (XSD file) ώστε να γνωρίζουν πως να μεταφράσουν το XML. Το XSD αρχείο περιέχει πληροφορίες για τις κλάσεις, όμως παραλείπει πολλά στοιχεία που ορίζονται στα GLM.

Επομένως, γίνεται κατανοητό, ότι το GLM μας δίνει περισσότερες δυνατότητες για το σύστημα που θέλουμε να μοντελοποιήσουμε.

7.8 Δημιουργία μοντέλου με GLM αρχεία

Το πιο απλό GLM μοντέλο που μπορούμε να δημιουργήσουμε, θα περιέχει μόνο ένα αντικείμενο και δεν θα ασχολείται καθόλου με την έννοια του χρόνου, ενώ θα καταγράφει την κατάσταση μόνο μίας ιδιότητας.

```

1 // Examples:1a.glm
2 module residential;
3 module tape;
4 object house {
5   object recorder {
6     property air_temperature;
7     file "temperature.csv";
8   };
9 }

```

Το συγκεκριμένο παράδειγμα, φορτώνει το residential και το tape module. Στη συνέχεια, ορίζει ένα σπίτι με όλες τις ιδιότητες του. Μέσα στο σπίτι ορίζει μόνο έναν recorder ο οποίος καταγράφει την ιδιότητα της θερμοκρασίας του αέρα και την αποθηκεύει σε ένα αρχείο που ονομάζεται temperature.csv.

7.9 Εκτέλεση μοντέλου

Για την εκτέλεση του μοντέλου πατάμε gridlabd house1.glm

Σαν έξοδο στο αρχείο csv θα έχουμε:

```
1970-01-01 00:02:00 UTC,+69
```

7.10 Βελτίωση του μοντέλου

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που μπορούν να γίνουν οι βελτιώσεις του μοντέλου που ορίσαμε. Ανάμεσα σ' αυτούς τους τρόπους, είναι και η χρήση του χρόνου, η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση αντικειμένων, η συσχέτιση με άλλα αντικείμενα, η δημιουργία πληθυσμών αντικειμένων, η ενσωμάτωση περιεχομένου πληροφοριών μέσα στα αντικείμενα, η χρήση συναρτήσεων και η εκτέλεση υπολογισμών κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του μοντέλου.

Συνεχίζοντας από τον κώδικα που γράψαμε πριν, προσθέτοντας τις γραμμές που φαίνονται εδώ:

```

1 // Examples:1b.glm
2 clock {
3     starttime '2000-01-01 00:00:00 UTC';
4     stoptime '2001-01-01 00:00:00 UTC';
5 }
6 module residential;
7 module tape;
8 object house {
9     object recorder {
10        property air_temperature;
11        file temperature.csv;
12    };
13 }

```

Έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

```

2000-01-01 00:00:00 UTC,+69
2000-01-01 01:00:00 UTC,+69.9947
2000-01-01 02:00:00 UTC,+70.6269
2000-01-01 03:00:00 UTC,+71.1764
2000-01-01 04:00:00 UTC,+71.6754
2000-01-01 05:00:00 UTC,+72.1189
2000-01-01 06:00:00 UTC,+72.5266
2000-01-01 07:00:00 UTC,+72.927

```

7.11 Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση αντικειμένων

Είναι πιθανό, να υπάρχει ένα αντικείμενο το οποίο να το ενεργοποιούμε σε μία καθορισμένη χρονική στιγμή, ενώ αργότερα να πρέπει να απενεργοποιηθεί. Κάθε αντικείμενο έχει ένα ζευγάρι ιδιοτήτων (αποκαλούνται in και out) οι οποίες καθορίζουν πότε ένα αντικείμενο είναι σε λειτουργία και πότε όχι.

Συνεχίζοντας το προηγούμενο παράδειγμα, τροποποιούμε τον κώδικα ώστε να φαίνεται πως δουλεύουν αυτές οι ιδιότητες.

```

1 // Examples:1d.glm
2 clock {
3     timezone EST+5EDT;
4     starttime '2000-01-01 00:00:00';
5     stoptime '2001-01-01 00:00:00';
6 }
7 module residential;
8 module tape;
9 object house {
10 object recorder {
11     property air_temperature;
12     file temperature.csv;
13     in '2000-04-01 00:00:00';
14     out '2000-04-02 00:00:00';
15 };
16 }

```

Τώρα, παράγονται τα αποτελέσματα:

```

2000-04-01 00:00:00 EST,+76.0806
2000-04-01 00:05:02 EST,+73.9952
2000-04-01 01:00:00 EST,+75.6225
...
2000-04-01 22:00:00 EST,+75.5875
2000-04-01 23:00:00 EST,+75.8156
2000-04-02 00:00:00 EST,+75.9208

```

Η πρώτη μεγάλη διαφορά είναι ότι παρόλο που η προσομοίωση άρχισε την 1^η Ιανουαρίου 2000 τα μεσάνυχτα, οι πληροφορίες ξεκίνησαν να συλλέγονται μετά την 1^η Απριλίου 2000, όπως καθορίστηκε στην ιδιότητα recorder και σταμάτησαν την 2^α Απριλίου 2000.

7.12 Συσχέτιση με άλλα αντικείμενα

Στο παράδειγμα που χρησιμοποιήσαμε, το recorder είναι μέσα στο αντικείμενο του σπιτιού. Αυτός είναι ένας βολικός τρόπος για να δηλώσουμε ότι ο recorder εξαρτάται από την ιδιότητα του σπιτιού.

Ένας άλλος τρόπος για να το πετύχουμε αυτό, είναι να δηλώσουμε ένα όνομα στο σπίτι και να το καλέσουμε μέσα από το recorder.


```

1 // Examples:1e.glm
2 clock {
3     timezone EST+5EDT;
4     starttime '2000-01-01 00:00:00';
5     stoptime '2001-01-01 00:00:00';
6 }
7 module residential;
8 module tape;
9 object house {
10     name MyHouse;
11 }
12 object recorder {
13     parent MyHouse;
14     property air_temperature;
15     file temperature.csv;
16     in '2000-04-01 00:00:00';
17     out '2000-04-02 00:00:00';
18 };
19 }

```

Σε αυτήν την περίπτωση, ο recorder αναφέρεται αποκλειστικά στο σπίτι με το όνομά του. Έτσι, με αυτόν τον μηχανισμό, μπορούμε να συνδέουμε αντικείμενα από διαφορετικά αρχεία.

Αυτή η συσχέτιση έχει αντίκτυπο στο πως πραγματοποιείται η αρχικοποίηση αντικειμένων και ο συγχρονισμός της ώρας.

Μερικά αντικείμενα, συσχετίζονται με άλλα χωρίς να χρησιμοποιούν την παραπάνω μέθοδο γονέα-παιδιού.

```

1 // Examples:1f.glm TODO: add necessary properties so this actually loads ok
2 module powerflow;
3 class link {
4     object from;
5     object to;
6 }
7 object node {
8     name Node1;
9 }
10 object node {
11     name Node2;
12 }
13 object link {
14     from Node1;
15     to Node1;
16 }

```

7.13 Δημιουργία πληθυσμών αντικειμένων

Μία από τις πιο σημαντικές δυνατότητες του GridLAB-D είναι να μπορεί να μελετήσει μεγάλους πληθυσμούς αντικειμένων καθώς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Αποτελεί πρόκληση για τους σχεδιαστές των μοντέλων να ορίσουν γρήγορα το πως θα φαίνεται το σύνολο των αντικειμένων χωρίς να πρέπει να

τα ορίσουν κάθε ένα ξεχωριστά. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας τον εξής ορισμό αντικειμένων:

```
1 object house:..5 {
2     floor_area 2500 sf;
3 };
```

Εδώ το GridLAB-D δημιουργεί 5 ίδια αντικείμενα τα οποία θα λειτουργήσουν μαζί.

7.14 Ενσωμάτωση πληροφοριών

Οι πληθυσμοί των αντικειμένων μπορεί να δημιουργήσουν διενέξεις με άλλα αντικείμενα, όπως τους recorders. Έτσι επειδή ο recorder, είναι ορισμένος μέσα στο αντικείμενο House υπάρχουν επί της ουσίας 5 recorders οι οποίοι έχουν δημιουργηθεί για να γράφουν στο ίδιο αρχείο. Γι' αυτό το λόγο μπορούμε να δώσουμε κάποιες πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν στο αρχείο εξόδου.

```
1 // Examples:1g.glm
2 clock {
3     timezone EST+5EDT;
4     starttime '2000-01-01 00:00:00';
5     stoptime '2001-01-01 00:00:00';
6 }
7 module residential;
8 module tape;
9 object house:..5 {
10 object recorder {
11     property air_temperature;
12     file `temperature{id}.csv`;
13     in '2000-04-01 00:00:00';
14     out '2000-04-02 00:00:00';
15 };
16 };
```

Ο παραπάνω κώδικας, μπορεί να γράφει σε διαφορετικό αρχείο για κάθε recorder.

7.15 Παραγωγή Αποτελεσμάτων

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που το GridLAB-D παράγει τα αποτελέσματα. Η βασική ιδέα είναι ότι υπάρχει ένα αρχείο καταγραφής δεδομένων. Ο recorder είναι συνδεδεμένος με μία ιδιότητα ενός αντικειμένου και δημιουργεί ένα αντίγραφο από κάθε τιμή και το καταγράφει σε ένα αρχείο. Σε ποιο

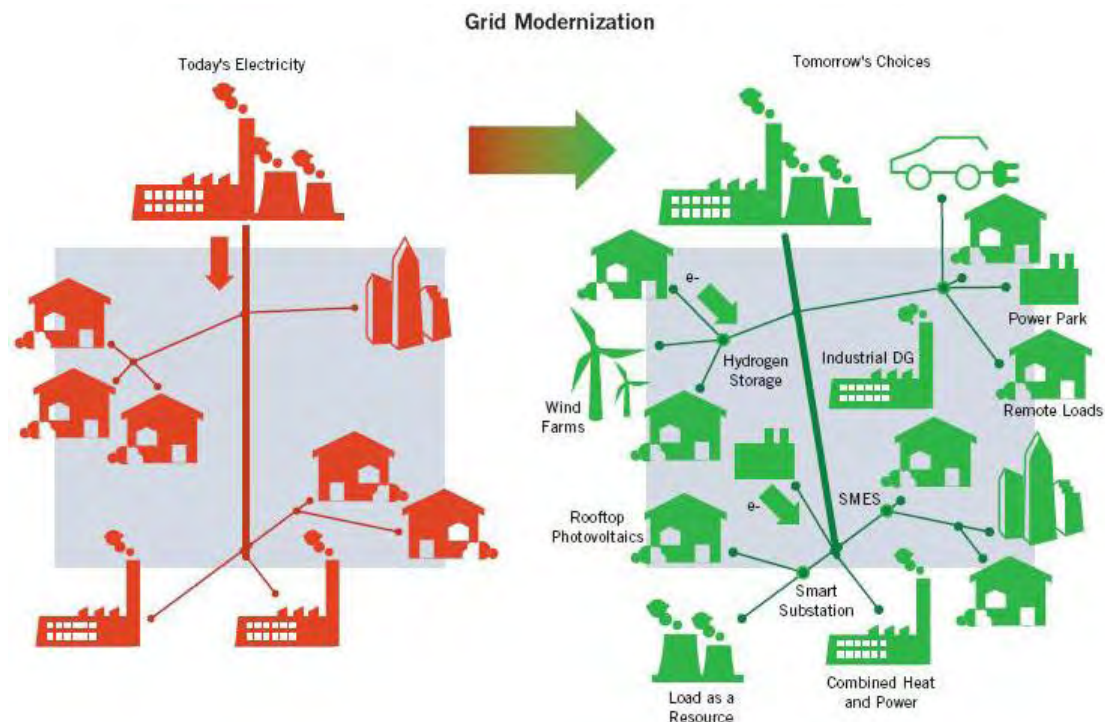
αντικείμενο θα κοιτάξει ο recorder εξαρτάται από τον ορισμό του στον κώδικα.
Για παράδειγμα:

```
object recorder {  
  parent MyHouse;  
  property air_temperature;  
  file "temperature.csv";  
};
```

Ο παραπάνω κώδικας υποδεικνύει στον recorder να παρατηρεί την θερμοκρασία και να στέλνει τις αλλαγές στο temperature.csv

8. Συμπεράσματα

Συμπεραίνουμε, λοιπόν ότι στη σημερινή εποχή, θα γίνουν αρκετές και σημαντικές αλλαγές πάνω στο μοντέλο των δικτύων που γνωρίζαμε έως τώρα. Θα γίνει εκτεταμένη χρήση των εφαρμογών της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών, τόσο σε βιομηχανικό επίπεδο, όσο και σε οικιακό.



Επομένως, θα πρέπει να υπάρχουν οπωσδήποτε και να αναπτυχθούν τα κατάλληλα εργαλεία, που θα προσομοιώνουν όσο γίνεται καλύτερα τα σύγχρονα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας που θα κατασκευαστούν μέσα στα επόμενα χρόνια.

Ήδη έχουν γίνει πολύ σημαντικά βήματα προς αυτήν την κατεύθυνση, και τα εργαλεία προσομοίωσης βρίσκονται σε πολύ καλό επίπεδο, προσφέροντας επιλογές στον χρήστη για το τι θέλει να χρησιμοποιήσει σε κάθε περίπτωση. Είδαμε παραπάνω ότι τα εργαλεία αυτά, έχουν αρκετές ομοιότητες μεταξύ τους, αλλά και σε πολλά σημεία διαφέρουν.

Επομένως, ανάλογα με το πρόβλημα που πρέπει να μοντελοποιηθεί, υπάρχει και το κατάλληλο εργαλείο, το οποίο μας δίνει πολλές δυνατότητες ώστε να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για ένα δίκτυο που είναι προς υλοποίηση.

Εν συντομία, οι δυνατότητες που μας προσφέρει κάθε εργαλείο είναι οι εξής:

Το *Homer* μπορεί να καθορίσει την υλοποίηση με το μικρότερο δυνατό κόστος. [5]

Το *RETSscreen* βοηθάει τους επαγγελματίες στο γρήγορο εντοπισμό, εκτίμηση και βελτιστοποίηση της τεχνικής και οικονομικής βιωσιμότητας των δυνητικών έργων σχετικών με την ενέργεια. [13]

Το *Hybrid2* μπορεί να καθορίσει το κόστος και την απόδοση μιας μεγάλης ποικιλίας υβριδικών ή συμβατικών συστημάτων ενέργειας, αν δοθεί το φορτίο και οι διαθέσιμες πηγές.

Το *ViPOR* μπορεί να καθορίσει τον καλύτερο τρόπο παραγωγής ενέργειας, για ένα χωριό. [5]

Το *GridLAB-D* βοηθάει τους επαγγελματίες που ενδιαφέρονται περισσότερο για τον τομέα της διανομής ενέργειας.

9. Βιβλιογραφία

- [1] TOM LAMBERT, "MICROPOWER SYSTEM MODELING WITH HOMER", 2006
- [2] Δημήτριος Ι. Παπαϊωάννου, "ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ HOMER - ΜΙΑ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ", 2015
- [3] E. Ian Baring – Gould, "Hybrid2 The Hybrid System Simulation Model", 1996
- [4] Professor Kenneth Kiger, "Solar-Deiseal Hubrid Power System Optimization and experimental validation", 2010
- [5] E. Ian Baring – Gould, "NREL's Village Power Models
- [6] International Energy Agency – Photovoltaic Power Systems Program, "World-wide overview of design and simulation tools for hybrid PV systems, IEA PVPS Task 11" 2011
- [7] Indradip Mitra, "Optimum Utilization of Renewable Energy for Electrification of Small Islands in Developing Countries", 2008
- [8] REDEO PROJECT, "Assessment of existing software programmes for rural electrification and areas of application for Cambodia, Laos and Vietnam, 2005
- [9] http://www.gridlabd.org/brochures/20121130_gridlabd_brochure.pdf
- [10] http://gridlab-d.shoutwiki.com/wiki/Getting_Started_Using_GridLAB-D
- [11] Kathiravan N, "An Advanced Metering Infrastructure for Future Electricity Networks"
- [12] ΠΑΕ, "Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας"
- [13] <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>
- [14] ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, "Ευφυή Δίκτυα στο Ελληνικό ΣΗΕ", 2016
- [15] "RETScreen Tutorial, Renewables in Remote Microgrids Conference", 2015