



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

**ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΤΡΕΝΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Φάντι Ραφίκ

Βόλος, Σεπτέμβριος 2011



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΤΡΕΝΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του
Φάιντι Ραφίκ

Επιβλέπων : Μανόλης Βάβαλης
Αναπληρωτής Καθηγητής Τ.Μ.Η.Υ.Τ.Δ

(Υπογραφή)

.....
Μανόλης Βάβαλης
Αναπληρωτής Καθηγητής
Τ.Μ.Η.Υ.Τ.Δ

(Υπογραφή)

.....
Λευτέρης Τσουκαλάς
Καθηγητής Τ.Μ.Η.Υ.Τ.Δ.

Βόλος, Σεπτέμβριος 2011

(Υπογραφή)

.....

Φάντι Ραφίκ

Πίνακας περιεχομένων

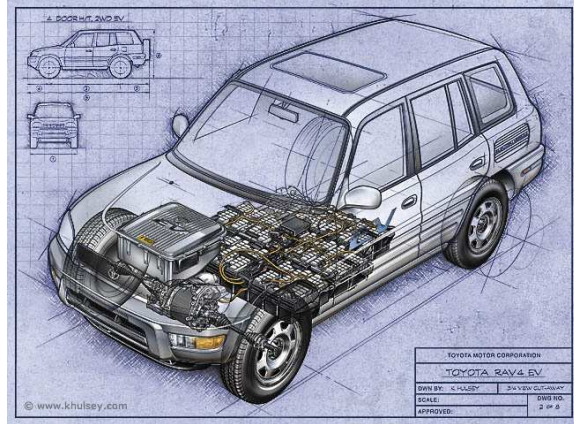
ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΤΡΕΝΩΝ	1
ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΤΡΕΝΩΝ	3
1 Εισαγωγή	8
2 Τεχνολογικό Υπόβαθρο Και Υφιστάμενη Κατάσταση	10
2.1 Τεχνολογικό Υπόβαθρο	10
2.2 Υφιστάμενη κατάσταση.....	27
3 Σχεδιασμός και Υλοποίηση Πλατφόρμας Προσομοίωσης	30
4 Μελέτες Εφαρμογής και Αποτελέσματα	39
5 Ανασκόπηση και Συμπεράσματα.....	46
6 Βιβλιογραφία	48

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Πλήρως ηλεκτρικό TOYOTARAV4 EV	8
Εικόνα 2 Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β κρυσταλλικού πυριτίου.....	17
Εικόνα 3 Διακύμανση της ισχύς των Φ/Β με βάση την Θερμοκρασία.....	18
Εικόνα 4 Βήματα αποθήκευσης της ενέργειας στις μπαταρίες	18
Εικόνα 5 SOC για κάθε μέρα ενός μήνα.....	22
Εικόνα 6 Διαδικασία φόρτισης της Lead-acid.....	24
Εικόνα 7 Διαδικασία φόρτισης της NiMH	25
Εικόνα 8 Διαδικασία φόρτισης της Li-ion.....	26
Εικόνα 9 Εξέλιξη της ενεργειακής πυκνότητας της Li-ion συγκρινόμενη με αυτή της NiMH και NiCD.....	27
Εικόνα 10 GraphicalUserInterface	34
Εικόνα 11 Επικοινωνία Matlab-Gridlab-D.....	34
Εικόνα 12 Υψόμετρο της Διαδρομής Βόλος -Λάρισα.....	36
Εικόνα 13 Υψόμετρο για την Διαδρομή Άνω Λεχώνια - Μηλιές	36
Εικόνα 14 Τρόπος Εγκατάστασης φωτοβολταϊκών [47].....	37
Εικόνα 15 Διακύμανση της Ενέργειας.....	40
Εικόνα 16 Διακύμανση της Ενέργειας.....	41
Εικόνα 17 Η ενέργεια σε Kwh για μία μέρα του μήνα και για τα τρία είδη Φ\Β	43
Εικόνα 18 Αριθμός Διαδρομών για μια μέρα με βάση την διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια για Lead-acid μπαταρία	44
Εικόνα 19 Αριθμός Διαδρομών για μια μέρα με βάση την διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια για NiMH μπαταρία.....	44
Εικόνα 20.....	45
Εικόνα 21	45

1 Εισαγωγή

Λόγω των οικονομικών συγκυριών και βεβαίως των περιβαλλοντικών ανησυχιών υπάρχει ανάγκη για περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον οχήματα τα λειτουργικά έξοδα των οποίων είναι ιδιαίτερα μικρά. Η ηλεκτροκίνηση θεωρείται μια εξαιρετική επιλογή. Αυτή τη στιγμή κυκλοφορούν περισσότερα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) και plug-in υβριδικά και λιγότερα ηλεκτρικά. Διαφαίνεται όμως ότι πολύ σύντομα το πλήθος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (EV) θα αυξηθεί ραγδαία, ιδιαίτερα με την κυκλοφορία των νέων μοντέλων γνωστών εταιριών όπως το ToyotaRAV4 EV, η κυκλοφορία του οποίου αναμένεται σε λίγους μήνες. Υπάρχει εν γένει μια μεγάλη προσπάθεια εγκατάλειψης της χρήσης κινητήρων εσωτερικής καύσης και αντικατάστασης τους από μέσα αποθήκευσης ενέργειας όπως οι μπαταρίες και οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές. Τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) έχουν, μεταξύ άλλων, δύο αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα υβριδικά οχήματα που τα κάνουν να διαφέρουν: (α) οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ουσιών επιβλαβείς για το περιβάλλον μπορεί να εξαιρεθεί πλήρως και (β) η κίνηση των τροχών του οχήματος έχει απλοποιηθεί σημαντικά. [1]



Εικόνα 1 Πλήρως ηλεκτρικό TOYOTARAV4 EV

Παρόλη την επιτυχία τόσο των HEV όσο και των EV αυτοκινήτων δεν έχουμε διαπιστώσει ανάλογες προσπάθειες και πρακτικές για ηλεκτροκινούμενα τρένα τα οποία θα ακολουθούν την ίδια φιλοσοφία, πρακτική και ενδεχομένως και ίδιες συγκεκριμένες τεχνολογικές λύσεις με αυτά των EV αυτοκινήτων. Τα αναφερόμενα τρένα (τα οποία θα ονομάζουμε EV τρένα) διαφέρουν σημαντικά από τα υπάρχοντα ηλεκτρικά τρένα σε πολλές παραμέτρους με σημαντικότερη την αντικατάσταση των ηλεκτρικών καλωδίων τα οποία έχουν υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης με μπαταρίες.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να διερευνήσουμε κατά πόσο είναι δυνατόν η ανάπτυξη τρένων που έχουν τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που θα κινούνται αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια και θα εξαρτώνται σχεδόν αποκλειστικά από φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία θα τροφοδοτούν την μηχανή αυτών δια μέσω μπαταριών.

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού θα υλοποιήσουμε μια πλατφόρμα προσομοίωσης η οποία θα συμπεριλαμβάνει διάφορες λογισμικές μονάδες όπως το MATLAB και θα στηρίζεται στο σύστημα προσομοίωσης και ανάλυσης δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας GridLAB-D. Το εν λόγω σύστημα μας προσφέρει σημαντικό υπόβαθρο για να σχεδιάσουμε το μοντέλο ενός ολοκληρωμένου συστήματος EV τρένων.

Το βασικό ερώτημα που μας απασχολεί είναι το κατά πόσο οι τεχνολογικές λύσεις που έχουν με τόση επιτυχία αναπτυχθεί για EV (αλλά και HEV) αυτοκίνητα μπορούν να οδηγήσουν σε μια νέα γενιά ηλεκτροκινούμενων τρένων. Συγκεκριμένα, βασικός άμεσος στόχος είναι να μελετήσουμε

1. κατά πόσο είναι κατ' αρχήν εφικτό να πραγματοποιήσουμε την χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων και μπαταριών για την κίνηση των τρένων για τις διαδρομές, Λεχώνια-Μηλιές και το Βόλος-Λάρισα.
2. Την επίδραση των διαφορετικών παραμέτρων που εμπλέκονται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα EV τρένων.

Το υπόλοιπο της παρούσας εργασίας είναι οργανωμένο ως εξής: Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφουμε το απαιτούμενο για την μελέτη μας τεχνολογικό υπόβαθρο και παραθέτουμε την υφιστάμενη κατάσταση στην περιοχή των EVτρένων. Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει στοιχεία που αφορούν τον σχεδιασμό και την υλοποίηση της πλατφόρμας προσομοίωσης που αναπτύξαμε, ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο θα βρείτε γενικότερα πειραματικά αποτελέσματα αλλά και ειδικότερα στοιχεία από τις μελέτες περίπτωσης που θεωρήσαμε. Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα κατ' αρχήν συμπεράσματά μας καθώς και μια σύντομη αναφορά σε περαιτέρω πεδία έρευνας.

2 Τεχνολογικό Υπόβαθρο Και Υφιστάμενη Κατάσταση

2.1 Τεχνολογικό Υπόβαθρο

2.1.1 Συστήματα προσομοίωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Τα ηλεκτρικά μοντέλα προσομοίωσης είναι μια κατηγορία προγραμμάτων που εστιάζουν στην μελέτη και ανάλυση της λειτουργίας ηλεκτρικών συστημάτων ενέργειας και περιλαμβάνουν (α) μακροπρόθεσμο σχεδιασμό παραγωγής και μεταφοράς (β) βραχυπρόθεσμες λειτουργικές προσομοιώσεις και (γ) ανάλυση αγοράς. Τα βασικά συστατικά που μοντελοποιούνται είναι η ροή του φορτίου, το βραχυκύκλωμα, η ευστάθεια του συστήματος, η βέλτιστη κατανομή φορτίων στις μονάδες και η μετάδοση της ενέργειας.[2]

Τα προγράμματα προσομοίωσης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την ανάλυση, τον σχεδιασμό και την λειτουργία των σύγχρονων συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Παρακάτω θα περιγραφούν μερικά σημαντικά τέτοια συστήματα.

Simpow Είναι ένα λογισμικό για την προσομοίωση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Επικεντρώνεται κυρίως στην δυναμική προσομοίωση στο πεδίο του χρόνου και την ανάλυση στο πεδίο της συχνότητας. Διαθέτει μια ενσωματωμένη γλώσσα προγραμματισμού με την οποία ο χρήστης μπορεί να κατασκευάσει τα δικά του μοντέλα και μεθόδους. Χρησιμοποιείται από το 1977, σε πολλά σχέδια και μελέτες αλληλεπίδρασης συστημάτων συνεχούς τάσης, HVDC light και σταθμών αιολικής ενέργειας. Η προσομοίωση και ανάλυση χαρακτηριστικών εξασφαλίζει τον αποτελεσματικό σχεδιασμό, την αναβάθμιση και την αξιοποίηση των ηλεκτρικών δικτύων της ενέργειας για παραγωγή, μεταφορά και διανομή ενέργειας για βιομηχανίες χάλυβα, χαρτοβιομηχανίες και για βιομηχανίες παραγωγής πετρελαίου. Το community παραμένει ενεργό μέχρι και σήμερα.[3]

InterPSS Είναι ένα σύστημα προσομοίωσης της ενέργειας το οποίο αποτελείται από ένα σύστημα μοντέλων ενέργειας και ένα σύνολο διασυνδέσεων με τις οποίες ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με τον πυρήνα της μηχανής προσομοίωσης του. Στόχος του είναι να αποτελέσει ένα θεμέλιο για την δημιουργία υπολογιστικών πλεγμάτων εκτελώντας προσομοιώσεις συστημάτων ενέργειας παράλληλα, κάνοντας χρήση φθηνών υπολογιστών, σε ένα τοπικό δίκτυο, και να ενημερώνει μέσω του community τους χρήστες του για τυχόν ενημερώσεις.[4]

Neplan Είναι ένα εργαλείο, που χρησιμοποιείται για την ανάλυση, σχεδιασμό, βελτιστοποίηση και διαχείριση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Δίνει την δυνατότητα δημιουργίας μικρών συστημάτων ενέργειας τα οποία μπορεί ο ίδιος ο χρήστης να μοντελοποιεί. Η παρούσα έκδοση είναι η 5.4.5, ενώ το community παραμένει ενεργό μέχρι και σήμερα.[5]

PowerWorld Simulator Είναι ένα διαδραστικό πακέτο συστημάτων προσομοίωσης που σχεδιάστηκε για να προσομοιώνει την λειτουργία της υψηλής τάσης σε συστήματα ενέργειας σε ένα χρονικό πλαίσιο που κυμαίνεται από μερικά λεπτά έως και αρκετές ώρες. Ο πυρήνας του λογισμικού είναι σε θέση να εκτελεί αποτελεσματικά την ανάλυση της ροής της ενέργειας σε συστήματα που περιέχουν έως και 100.000 buses. Ακριβώς επειδή ασχολείται με υψηλής τάσης συστήματα ενέργειας δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.[6]

SimPowerSystems Είναι μια επέκταση του Simulink (περιβάλλον προσομοίωσης) που διαθέτει εργαλεία για την μοντελοποίηση και προσομοίωση της παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος. Η τρέχουσα έκδοση είναι η 5.4 που εκδόθηκε στις 8 Απριλίου του 2011 με ενεργό community.[7]

AEPS SystemPlanning Είναι ένα εργαλείο μοντελοποίησης και προσομοίωσης ηλεκτρικών συστημάτων ενέργειας, με έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική. Επιτρέπει την γραφική μοντελοποίηση, ενώ προσαρμόζεται ώστε να αντανακλά το σύνολο των ηλεκτρικών συσκευών της οικίας ή της επιχείρησης. Χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά, όπως, πότε οι συσκευές είναι απενεργοποιημένες ή πόση ενέργεια καταναλώνεται, μπορεί να δημιουργηθεί ένα λεπτομερές προφίλ της ενεργειακής κατανάλωσης. Εναλλακτικά συστατικά παραγωγής ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά ,ανεμογεννήτριες, υδροηλεκτρικές γεννήτριες μπορούν και αυτές να προστεθούν.[8]

PSAF Είναι μια ολοκληρωμένη σειρά από προγράμματα λογισμικού που εκτελεί τις προσομοιώσεις και τις αναλύσεις της μεταφοράς της ενέργειας ή των βιομηχανικών συστημάτων, όπως απαιτείται από τους ηλεκτρολόγους μηχανικούς. Ισχύει άμεσα τόσο για τον τύπο ρεύματος όσο και για βιομηχανικό τριφασικό ηλεκτρικό σύστημα ισχύος. Διαθέτει μια εκτεταμένη βιβλιοθήκη για τον εξοπλισμό και τα μοντέλα επεξεργασίας όπως επίσης και την δυνατότητα να συμπεριλάβει ορισμένους ελέγχους από τον χρήστη.[9]

Microtran Είναι μια εταιρία που ιδρύθηκε το 1987 με σκοπό την ανάπτυξη και την εμπορία ηλεκτρομαγνητικών προγραμμάτων ανάλυσης. Αποτελείται από 5 συστατικά στοιχεία αλλά αυτό που μας ενδιαφέρει είναι το Microtran. Είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας κάτω από παροδικές συνθήκες.[10]

Agora Είναι ουσιαστικά ένα εργαλείο σχεδιασμού, αποκατάστασης και παρακολούθησης του δικτύου. Ενισχύει το υπάρχον σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων διαχείρισης ενέργειας. Χρησιμοποιεί δεδομένα πραγματικού χρόνου για γρήγορη και αξιόπιστη πληροφόρηση. Προσφέρει γρήγορες και αξιόπιστες λύσεις αποκατάστασης, ενώ τέλος, συνδράμει στην βελτίωση των επενδύσεων μέσω ακριβούς σχεδιασμού και ανάλυση κινδύνου. [11]

V&R EnergySystem Είναι ένα σύνολο συστημάτων για την βελτίωση της σταθερότητας και της αξιοπιστίας της μεταφοράς και διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος. Προσφέρει ένα ευρύ φάσμα προηγμένων υπηρεσιών παροχής συμβουλών, εξελιγμένες επιστημονικές έρευνες και περιεκτικές προγραμματιστικές εφαρμογές συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας για περιεκτικές αναλύσεις, όσον αφορά το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ,τόσο off-line όσο και σε πραγματικό χρόνο.[Error! Reference source not found.]

Fendi Είναι μια γραφική διεπαφή χρήστη για προγράμματα προσομοίωσης ενός συστήματος ηλεκτροπαραγωγής. Είναι ένα ανοιχτό πηγαίο πρόγραμμα με ανοιχτή αρχιτεκτονική που βασίζεται σε plugins. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλών ειδών μηχανές προσομοίωσης για AC υπολογισμούς βραχυκυκλώματος, μέτρηση αντίστασης, σταθερότητα ροής φορτίου και παροδικές προσομοιώσεις. [13]

Τέλος να αναφέρουμε τα **DOE-2**, **EnergyPlus**, **Energy-10**, **ENER-WIN** και **HOT2000 Software**, τα οποία προσομοιώνουν τις ωριαίες καταναλώσεις ενέργειας και το ενεργειακό κόστος ενός κτιρίου. Σχετίζονται όμως με την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω θέρμανσης,

ψύξης, φωτισμού και κατάλληλου σχεδιασμού του υφιστάμενου κτιρίου, οπότε δεν αποτελούν αντικείμενο έρευνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2.1.1.1 *To λογισμικό σύστημα GridLAB-D*

Το κυριότερο εργαλείο προσομοίωσης που θα χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι το GridLAB-D[14]. Είναι ένα ευέλικτος, βασισμένος σε πράκτορες, προσομοιωτής ο οποίος έχει τη δυνατότητα να μοντελοποιήσει την συμπεριφορά αντικείμενων με την πάροδο του χρόνου. Αποτελεί ένα εργαλείο προσομοίωσης και ανάλυσης συστημάτων διανομής ενέργειας που παρέχει πολύτιμες πληροφορίες στους χρήστες που σχεδιάζουν και διαχειρίζονται συστήματα ενέργειας, καθώς και σε επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που θέλουν να επωφεληθούν απ' τις τελευταίες ενεργειακές τεχνολογίες. Ενσωματώνει τις πιο προηγμένες τεχνικές μοντελοποίησης, με υψηλής απόδοσης αλγορίθμους για να πετύχει την βέλτιστη προσομοίωση κατά την τελική χρήση. Τα βασικά συστατικά από τα οποία αποτελείται, είναι οι *ενότητες*, οι *κλάσεις* και τα *αντικείμενα*, τα οποία αποτελούν τα δεδομένα εισαγωγής με τα οποία ο πυρήνας της μηχανής εκτελεί την προσομοίωση. Ο πυρήνας του GridLAB-D υλοποιεί την επικοινωνία και τον συντονισμό όλων των ενότητων, καθώς και όλων των συναρτήσεων υποστήριξης ώστε να λειτουργήσουν οι ενότητες αυτές. Διαθέτει έναν εξελιγμένο αλγόριθμο που συντονίζει ταυτόχρονα την κατάσταση εκατομμυρίων ανεξάρτητων συσκευών κάθε μία από τις οποίες περιγράφεται από πολλές διαφορετικές εξισώσεις. Η διαφορά του με προϋπάρχοντα εργαλεία προσομοίωσης είναι ότι χειρίζεται τόσο ασυνήθιστες καταστάσεις με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια όσο και μεγάλες χρονικές ανομοιογένειες που μπορεί να κυμαίνονται από μερικά δευτερόλεπτα, μέχρι πολλά χρόνια. Είναι τέλος πολύ εύκολο να ενσωματωθεί σε καινούριες ενότητες και συστήματα τρίτων. Αναπτύχθηκε στο Pacific Northwest National Laboratory του Υπουργείου Ενέργειας των Η.Π.Α. σε συνεργασία με την βιομηχανία και διάφορα Πανεπιστήμια.[14]

Ένα μοντέλο GridLAB-D μπορεί να έχει είτε την μορφή ενός glm(GridLAB-D Model) αρχείου είτε την μορφή ενός xml αρχείου. Ένα αρχείο xml αποτελεί αναπαράσταση του μοντέλου που προσομοιώνεται ενώ ένα αρχείο glm παρέχει βασικές πληροφορίες όσον αφορά τις τιμές των παραμέτρων για τις ιδιότητες των αντικειμένων (η σημασία των οποίων θα αναλυθεί παρακάτω). Επιπρόσθετα περιέχει και προδιαγραφές για την σύνθεση πολλών αντικειμένων με σκοπό την δημιουργία ενός νέου μοντέλου, έτσι ώστε τα παραγόμενα αυτά μοντέλα να μπορούν να δημιουργηθούν από σχετικά απλά μοντέλα. Τέλος, τα glm αρχεία επιτρέπουν την περιγραφή της συμπεριφοράς των αντικειμένων της προσομοίωσης ενώ τα xml αρχεία δεν έχουν αυτή την δυνατότητα. Σε γενικές γραμμές και τα δύο είδη αρχείων χρησιμοποιούνται για δυο λόγους: Για την προβολή των αποτελεσμάτων και για την ανταλλαγή δεδομένων με άλλα εργαλεία.[15]

Από αρχιτεκτονικής άποψης το GridLAB-D λειτουργεί ως συνδυασμός ενός compiler και ενός Λειτουργικού Συστήματος. Καθορίζει τις ενότητες, τα αντικείμενα, τις κλάσεις, που είναι τα βασικά συστατικά για την δημιουργία ενός μοντέλου προς προσομοίωση, την ιεραρχία κληρονομικότητας, τους ονομαζόμενους τύπους μεταβλητών και τις συνδέσεις στα διάφορα αντικείμενα. Επίσης κάτι ακόμη που πρέπει να σημειωθεί είναι πως το μοντέλο προσομοίωσης του GridLAB-D καθοδηγείται με βάση τα γεγονότα που συμβαίνουν και όχι με βάση τον χρόνο.[16]

Οι ενότητες(modules) συνήθως δημιουργούνται από προγραμματιστές για να υλοποιήσουν ένα σύνολο από κλάσεις, κάθε μία από τις οποίες χρησιμοποιείται με την σειρά της για να ορίσει/προσδιορίσει αντικείμενα ενός συγκεκριμένου τύπου. Η παρούσα έκδοση του

GridLAB-D υποστηρίζει μια πληθώρα διαφορετικών ενότητων: (a) climate, (b) commercial, (c) communications, (d) generators, (e) market, (f) network, (g) plc, (h) reliability, (j) residential, (k) tape.[17]

Τα blocks των κλάσεων χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν, να τροποποιήσουν ή να ελέγξουν ορισμούς κλάσεων. Αν μια κλάση έχει ήδη οριστεί σε μια ενότητα, στην συνέχεια ένα block κλάσης μπορεί είτε να τροποποιήσει, είτε να επιβεβαιώσει τον ορισμό που παρέχεται από την ενότητα. Επίσης, για να είναι η φόρτωση του block μιας κλάσης επιτυχής θα πρέπει οι ιδιότητες που προσπελαύνονται στο block να έχουν ήδη οριστεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Ωστόσο, αν υπάρχουν οποιεσδήποτε διαφορές ανάμεσα στο block της κλάσης και στον ορισμό της κλάσης από την ενότητα τότε ο φορτωτής των κλάσεων θα προσπαθήσει να αντιμετωπίσει την ασυμφωνία με διάφορους τρόπους.

Οι κλάσεις μπορούν να υλοποιηθούν μεταγλωττιζόμενες

- μέσα στις ενότητες οπότε και ονομάζονται στατικές και ο κώδικάς τους δεν μπορεί να τροποποιηθεί κατά την διάρκεια της προσομοίωσης ή
- κατά την διάρκεια της εκτέλεσης όποτε και ονομάζονται δυναμικές και ο κώδικάς τους μπορεί να τροποποιηθεί κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

Οι στατικές κλάσεις μεταγλωττίζονται πριν την έναρξη της προσομοίωσης. Ο κώδικάς τους είναι πιο πολύπλοκος στη σύνταξη και συνήθως υλοποιούνται σε C ή σε C++. Συχνά συναντώνται ως ομάδες σχετικών κλάσεων και τυπικά είναι πιο σταθερές και αξιόπιστες.

Αντίθετα, οι δυναμικές κλάσεις δεν μεταγλωττίζονται μέχρι να υπάρξει αναφορά σ' αυτές ή μέχρι την διαδικασία loadconfiguration (όταν δηλαδή διαβάζονται τα #include αρχεία), είτε όταν υπάρξει αναφορά στο αρχείο glm. Μολονότι είναι πιο ευέλικτες και προσαρμοσμένες στις ανάγκες του χρήστη, είναι επιρρεπείς σε σφάλματα και ενδογενώς πιο περιορισμένες στην λειτουργικότητά τους.

Τέλος, μια τρίτη κατηγορία κλάσεων είναι οι runtime κλάσεις. Είναι οι κλάσεις που δεν έχουν οριστεί ακόμη από μια υπάρχουσα ενότητα, δηλαδή υπάρχει η δυνατότητα να οριστεί η συμπεριφορά μιας νέας κλάσης, να καθορίζει την συμπεριφορά άλλων κλάσεων καθώς και τη δική της με βάση τις τιμές των ιδιοτήτων των άλλων κλάσεων. Οι runtime classes θα χρησιμοποιηθούν ως επί το πλείστον στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Το block του αντικειμένου χρησιμοποιείται για τον καθορισμό ενός ή περισσότερων στιγμιότυπων μιας κλάσης. Περιγράφουν στιγμιότυπα μιας κλάσης που μπορεί να ανταποκριθεί ή/και να ενεργεί σε άλλα αντικείμενα. Η πιο απλή περίπτωση ενός block αντικειμένου είναι η παρακάτω:

```
Moduleresidential;
```

```
Objecthouse{ Floorarea 2500 sf;}
```

Η οποία θα καθορίσει ένα ανώνυμο σπίτι 2.500 τετραγωνικών ποδιών.[18]

2.1.2 Ηλεκτρικά οχήματα

Τα συμβατικά οχήματα εκπέμπουν σημαντικές ρυπογόνες ουσίες και οφείλονται για την ραγδαία αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα. Η ηλεκτροκίνηση και η αύξηση της

αυτοκινούμενης μεταφοράς είναι δύο από τις σημαντικότερες τεχνολογικές επαναστάσεις του εικοστού αιώνα. Ένα από τα επιτεύγματα αυτής της επανάστασης είναι τα ηλεκτρικά οχήματα (EV). Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι ότι είναι προωθούμενο από έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες, και όχι από ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες με βάση πώς και πού η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται:

- Οχήματα που στηρίζονται σε συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από ένα off-board σύστημα παραγωγής. Περιλαμβάνει τρόλεϊ όπου η ενέργεια παρέχεται από εναέρια καλώδια, καθώς και τα περισσότερα ηλεκτρικά συστήματα σιδηροδρομικής μεταφοράς.
- Οχήματα που στηρίζονται σε αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια από ένα σύστημα παραγωγής off-board. Αυτά περιλαμβάνουν μπαταρίες ως μέσο για την αποθήκευση της ενέργειας. Είναι οχήματα με μηδενική εκπομπή CO₂.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με τα EV που έχουν ηλεκτρικό σύστημα προώθησης το οποίο είναι συνδεδεμένο με μια συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, την μπαταρία. Η υψηλή απόδοση των μπαταριών είναι απαραίτητη ως αποτέλεσμα της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μπαταρίες, οι συμβατικές συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, έχουν υψηλή απαίτηση ενέργειας και χαμηλής απαίτηση ισχύος για χρήση στα EV. Ένας άλλος υποψήφιος για αποθήκευση ενέργειας για τα EV είναι ο υπέρ-πυκνωτής (UC). Οι υπέρ-πυκνωτές σε αντίθεση με τις μπαταρίες έχουν χαμηλή απαίτηση ενέργειας και υψηλή απαίτηση ισχύος [20]

Τα βασικά συστατικά ενός EV είναι ένα ηλεκτρικό μοτέρ, μια ηλεκτρική μονάδα ελέγχου, μια μπαταρία έλξης, ένα σύστημα διαχείρισης μπαταρίας, ένα σύστημα φόρτισης μπαταρίας, ένα σύστημα πέδησης για ανατροφοδότηση του συστήματος κτλ.

Είναι σημαντικό να εξετάσουμε την λειτουργία κάθε επιμέρους συνιστώσας του EV. Ένα EV κινείται από έναν ηλεκτροκινητήρα. Η λειτουργία ενός ηλεκτροκινητήρα μπορεί να γίνει κατανοητή μέσω των αρχών της φυσικής και του ηλεκτρομαγνητισμού. Σε ένα ηλεκτρικό σύστημα προώθησης, η ηλεκτρική μονάδα ελέγχου ρυθμίζει την ποσότητα ρεύματος και τάσης. Ο ελεγκτής παίρνει σήμα από το πεντάλ του γκαζιού και ελέγχει την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται στον κινητήρα. Υπάρχουν δύο τύποι ηλεκτρικών συστημάτων κίνησης: εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) και συνεχούς ρεύματος (DC). Στο παρελθόν, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος ήταν ευρέως χρησιμοποιούμενες σε εφαρμογές με μεταβλητή ταχύτητα. Λόγω των τελευταίων εξελίξεων, σε ηλεκτρονικά υψηλής ισχύος, οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος πλέον είναι περισσότερο διαδεδομένες. Ωστόσο οι κινητήρες με εναλλασσόμενο ρεύμα είναι πιο γνωστοί σε αυτό τον τομέα και αυτοί του συνεχούς ρεύματος είναι ευκολότερο να ελεγχτούν, λιγότερο ακριβοί αλλά μεγαλύτεροι σε μέγεθος άρα και βαρύτεροι. [21]

2.1.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Το φαινόμενο της παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή, μέσω των φωτοβολταϊκών, ονομάζεται p-effect και μελετήθηκε για πρώτη φορά από το Γάλλο φυσικό Becquerel το 1839. Η χρήση του ήταν περιορισμένη εργαστηριακά μέχρι το 1954, όταν τα Bell Laboratories παρήγαγαν το πρώτο κύτταρο πυριτίου, το οποίο βρήκε γρήγορα εφαρμογή στα διαστημικά προγράμματα των ΗΠΑ. Από τότε έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική για χρήση σε δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από την Γή. Έχοντας ωριμάσει στις διαστημικές εφαρμογές, άρχισε να εξαπλώνεται και σε γήινες εφαρμογές που κυμαίνονται από ηλεκτρικά οχήματα μέχρι την ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων βιομηχανικών εγκαταστάσεων και περιοχών.

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη, ενώ η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεπτικότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης, ενώ απαιτούν ελάχιστη συντήρηση. Τα περιβαλλοντικά οφέλη είναι σημαντικότερα. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι ένα kWh παραγόμενο από φωτοβολταϊκά αποτρέπει την έκλυση 1,3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα το χρόνο. Επιπλέον η χρήση φωτοβολταϊκών συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές κι άλλων επικίνδυνων ρύπων, όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξειδία του αζώτου, οι ενώσεις του θείου κ.τ.λ.

Το ηλιακό φως είναι μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Όταν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (που είναι ουσιαστικά ένας “ημιαγωγός”), άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστόν ο ηλεκτρισμός δεν είναι τίποτε άλλο παρά κίνηση ηλεκτρονίων. Σε αυτή την απλή αρχή της φυσικής λοιπόν βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας.

Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν, με τη τωρινή αλλά συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία, το 5-19% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν π.χ. τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα φωτοβολταϊκά “λεπτού υμενίου” (thin-film), όπως είναι τα άμορφα [a-Si], τα μικρομορφικά [μ-Si], τα CIS-CIGS, CdTe, κ.λπ. Η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής ευχέρειας του χρήστη.

Η στιγμιαία ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα εξαρτάται από πολλές παραμέτρους που αφορούν τα κελιά των φωτοβολταϊκών και τις συνθήκες περιβάλλοντος όπως η θερμοκρασία. Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού κρίνεται από την ετήσια παραγωγή σε kWh και το κόστος παραγωγής. Για την Ελλάδα ένα φωτοβολταϊκό σύστημα με βέλτιστη κλίση και βέλτιστο προσανατολισμό παράγει κατά μέσο όρο γύρω στα 2.200 kWh/έτος/kWp. Λίγο πιο συγκεκριμένα η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού εξαρτάται από:

- τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής (ημέρες της ηλιοφάνειας),
- την κλίση των φωτοβολταϊκών πάνελ ως προς το οριζόντιο επίπεδο και τον προσανατολισμό τους (η βέλτιστη απόδοση είναι με νότιο προσανατολισμό και κλίση περίπου 30ο),
- την ηλικία των φωτοβολταϊκών πλαισίων (υπολογίζεται ότι τα πλαίσια έχουν ζωή 25-30 χρόνια με απόδοση τουλάχιστον 80% για τα πρώτα 20 έτη).
- το γεωγραφικό πλάτος (όσο πιο νότια είναι η περιοχή, τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολία).[22]

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) βλέπουμε τα διάφορα είδη φωτοβολταϊκών και τις τιμές των χαρακτηριστικών τους.

Πίνακας 1 Τύποι Φωτοβολταϊκών και Τα χαρακτηριστικά τους

ΤΥΠΟΣ	'Λεπτού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας	a-Si: 4,5-6,5% μ-Si: 8-9% CIS-CIGS: 6-12% CdTe: 6-11%	11-16%	11-19%
Επιφάνεια ανά kWp	9-25 m ²	7-9 m ²	5,5-9 m ²

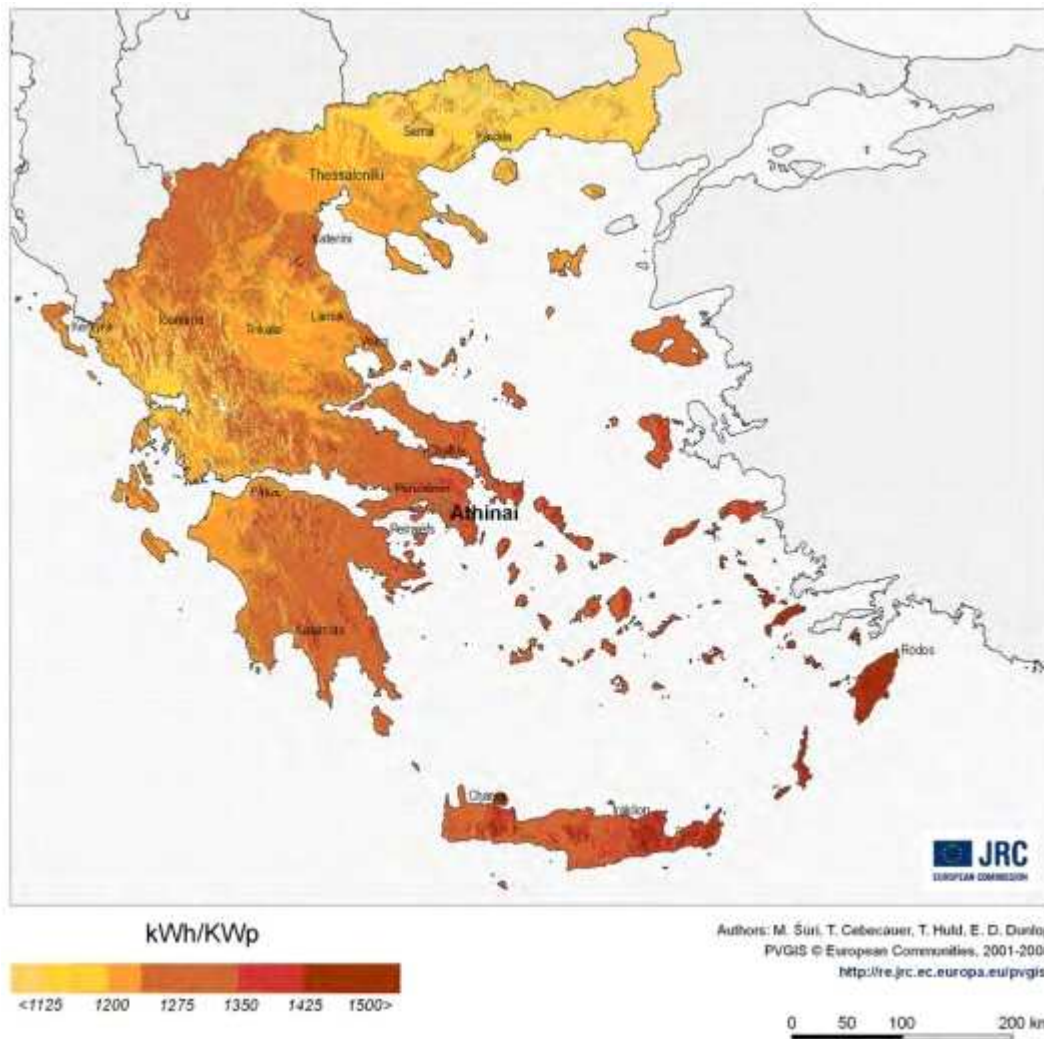
Πιο αναλυτικά τα είδη των φωτοβολταϊκών

Μονοκρυσταλλικά: Αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα καθαρού κρυσταλλικού πυριτίου πάνω στο οποίο τοποθετείται μεταλλικό πλέγμα το οποίο λειτουργεί ως ηλεκτρική επαφή και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η λειτουργία του ως ηλιακό στοιχείο. Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου που κατασκευάζονται από καθαρούς κρυστάλλους είναι κυλινδρικής μορφής αλλά συχνά κόβονται τετράγωνα για να είναι εύκολη η τοποθέτησή τους στις φωτοβολταϊκές μονάδες. Η απόδοσή τους είναι η υψηλότερη και φτάνει τις τιμές από 13% έως 16%. Έχουν το υψηλότερο κόστος από τις άλλες τεχνολογίες.

Πολυκρυσταλλικά που προκύπτουν από μεγάλες ορθογώνιες ράβδους καθαρού πυριτίου που βρίσκονται μέσα σε ειδικούς κλιβάνους στους οποίους μέσα ψύχεται αργά τήγμα πυριτίου για τη δημιουργία μεγάλων κρυστάλλων. Τα στοιχεία αυτά είναι εξαρχής τετράγωνης μορφής αφού κόβονται από τις ορθογώνιες ράβδους. Το μέγεθός τους είναι λίγο μεγαλύτερο από αυτό των μονοκρυσταλλικών στοιχείων.

Λεπτές μεμβράνες έχουν πάρα πολύ μικρό πάχος και έτσι περιορίζεται πολύ το κόστος τους. Η απόδοσή τους δεν είναι μεγαλύτερη από τα στοιχεία καθαρού κρυστάλλου αλλά επιδέχονται βελτιώσεων και αναμένεται να αναπτυχθούν τα επόμενα χρόνια. Τα πιο γνωστά υλικά που αποτελούν τις κυψέλες αυτές είναι Άμορφοπυρίτιο (a-Si), CopperIndiumDiselenide (CIGS) και CadmiumTelluride (CdTe).

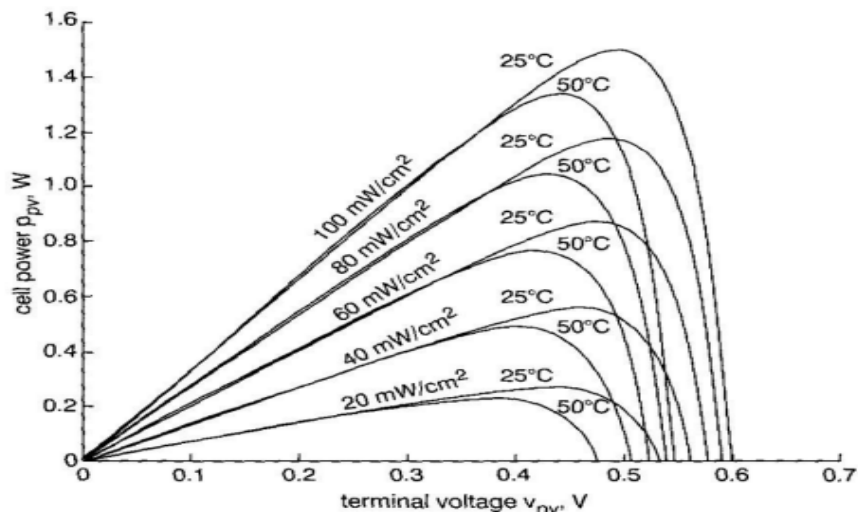
Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα φωτοβολταϊκό παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ' ό,τι στις βόρειες κάτι που φαίνεται στην Εικόνα 2. Παρατηρούμε πως στον Βόλο και στην Λάρισα, στις περιοχές δηλαδή που μας ενδιαφέρουν, η παραγωγή ενέργειας είναι η μέγιστη δυνατή.[23]



Εικόνα 2 Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β κρυσταλλικού πυριτίου

Να σημειωθεί εδώ πως η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων μειώνεται όσο η θερμοκρασία παίρνει πολύ υψηλές τιμές. Παρακάτω παρατηρούμε την άξια λόγω ελάττωση της ισχύος του φωτοβολταϊκού όταν η θερμοκρασία αυξηθεί από τους 25 στους 50 βαθμούς

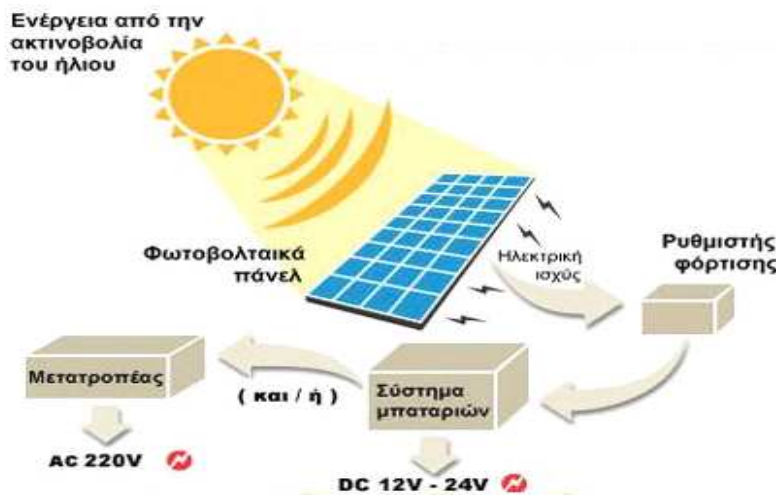
Κελσίου.



Εικόνα 3 Διακύμανση της ισχύς των Φ/Β με βάση την Θερμοκρασία

Source: 1 Analyses of Solar Energy Power Generation Depending on Meteorological Conditions for Istanbul

Για την φόρτιση των μπαταριών από τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα χρησιμοποιηθεί ένας ρυθμιστής φόρτισης. Στη παρακάτω εικόνα βλέπουμε την διαδικασία αποθήκευσης της ενέργειας στο σύστημα μπαταριών.



Εικόνα 4 Βήματα αποθήκευσης της ενέργειας στις μπαταρίες

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια απλή ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και σταματά τη φόρτιση όταν διαπιστώσει ότι η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως. Αλλιώς θα υπήρχε ο σοβαρός κίνδυνος να καταστραφεί η μπαταρία.

Επειδή οι μπαταρίες έχουν την τάση να αποφορτίζονται σταδιακά ακόμα κι αν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή, ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει αυτόματα να ξαναρχίσει η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστώσει ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο της πλήρους φόρτισης. Αρκετοί ρυθμιστές φόρτισης έχουν υποδοχή πάνω στην οποία συνδέουμε τις ηλεκτρικές συσκευές που θέλουμε να τροφοδοτήσουμε από τη μπαταρία. Έτσι, έχουν την επιπλέον δυνατότητα να διακόψουν τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών όταν διαπιστώσουν ότι η μπαταρία κοντεύει να αδειάσει πλήρως, προστατεύοντάς την πάλι με αυτό τον τρόπο από πλήρη αποφόρτιση που θα οδηγούσε στην καταστροφή της.

Το μέγεθος του ρυθμιστή φόρτισης εξαρτάται από το μέγεθος των φωτοβολταϊκών που θα συνδέουμε πάνω του. Πρέπει να υπερκαλύπτει την συνολική ένταση σε Ampere των φωτοβολταϊκών. Αν, για παράδειγμα, η ονομαστική ένταση σε Ampere των φωτοβολταϊκών είναι 10A, τότε πρέπει να επιλέξουμε ένα ρυθμιστή φόρτισης 12A. Επίσης, πρέπει να είναι κατάλληλος και για την τάση του φωτοβολταϊκού συστήματος.[24]

2.1.4 Μπαταρίες

Η μπαταρία είναι μια συσκευή η οποία αποθηκεύει ενέργεια μέσω χημικών αντιδράσεων και στη συνέχεια αποδεδεσμεύει σε μορφή ηλεκτρισμού. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ηλεκτροχημικές διατάξεις όπως η γαλβανική. Η μπαταρία αποτελείται από δοχείο κατασκευασμένο από μονωτικό υλικό (εβονίτη, πλαστικό, γυαλί) με ηλεκτρολύτη (οξύ ή αλκάλιο), στο οποίο υπάρχουν τα ηλεκτρόδια. Η σύνδεσή και η συγκεκριμένη διάταξη των ηλεκτροδίων στηλών, προκαλεί τη διέλευση του ρεύματος σε ένα κύκλωμα. Η μπαταρία ή αλλιώς ηλεκτρικός συσσωρευτής φορτίζεται όταν περάσει συνεχές ρεύμα από άλλη πηγή ρεύματος, όπου ταυτόχρονα γίνονται αντίστροφες χημικές αντιδράσεις, με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται. Η μπαταρίες χωρίζονται σε κατηγορίες με βάση την [25]:

- *Χωρητικότητα:* την ποσότητα του ηλεκτρισμού που αποθηκεύεται και που μπορεί η μπαταρία να διοχετεύσει σε αμπερ για 1 ώρα.
- *Μέση τάση:* σε Volt κατά το χρόνο της φόρτισης και εκφόρτισης,
- *Ειδική ενέργεια κατά βάρος και όγκο:* την ενέργεια σε Wh που παρέχεται κατά την εκφόρτιση από 1 kgf βάρους ή 1 δεκατόμετρο του όγκου του ηλεκτρικού συσσωρευτή,
- *Απόδοση κατά χωρητικότητα:* το λόγο της ποσότητας των Ah που αποδίδεται κατά την εκφόρτιση προς την ποσότητα των Ah που απορροφάται κατά τη φόρτιση,
- *Απόδοση κατά ενέργεια (ή βαθμό απόδοσης):* το λόγο της ενέργειας που αποδίδεται κατά την εκφόρτιση προς την ενέργεια που απορροφάται κατά τη φόρτιση

Η χωρητικότητα της αποθηκευμένης ενέργειας (kWh) είναι υψίστης σημασίας, δεδομένου ότι καθορίζει άμεσα την απόσταση που το όχημα μπορεί να κινείται σε λειτουργία CD(Charge

Depleting operatingmode [26]), καθώς και τη μάζα της μπαταρίας. Για PHEVs (Plug-inhybridelectricvehicles), η απαίτηση αποθήκευσης ενέργειας κυμαίνεται συνήθως από 6-30 kWh, ανάλογα με το εύρος CD(σε σύγκριση με 1-2 kWh για τα συμβατικά υβριδικά και 30-50 kWh για BEVs). Η χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας αντιπροσωπεύει την «διαθέσιμη» ή «συνολική» χωρητικότητα ενέργειας ανάλογα με το αν το παράθυρο SOC(stateofcharge) λαμβάνεται υπόψη ή όχι. Σε γενικές γραμμές, η χρήσιμη ενέργεια της μπαταρίας αυξάνεται γραμμικά με το εύρος CD. Τόσο η υψηλή ενέργεια (Wh/kg) όσο και η πυκνότητα ενέργειας (Wh /l), δηλαδή ο λόγος της συνολικής ενέργειας (Wh) προς τη μάζα της μπαταρίας (kg) / όγκος (l), είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη αποθήκευσης υψηλών ποσών ενέργειας χωρίς αυτό να συνεπάγεται σημαντικό πρόσθετο βάρος / όγκο.

Να σημειωθεί εδώ ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (σε Wh/km) αυξάνεται γραμμικά με τη μάζα του οχήματος, 6-7 Wh/km για κάθε 100 κιλά που θα προστεθεί στο βάρος του οχήματος. [26]

Η χωρητικότητα της μπαταρίας μετράται σε Ah(ampere - hours) και παριστά τη χρονική περίοδο κατά την οποία η μπαταρία είναι σε θέση να παρέχει ένα συγκεκριμένο ρεύμα. Η χωρητικότητα εξαρτάται άμεσα από τον τύπο των μπαταριών, τον αριθμό των εξαρτημάτων της μπαταρίας και την κατασκευή της. Κάθε κατασκευαστής χρησιμοποιεί την δική του μεθοδολογία για την μέτρηση της χωρητικότητας.[27]

Σημαντικό είναι να αναφέρουμε και τους παρακάτω έννοιες και όρους οι οποίοι προφανώς και σχετίζονται άμεσα με οποιοδήποτε σύστημα EV.

Κύκλος Ζωής: Οι απαιτήσεις για μεγαλύτερο κύκλο ζωής εξαρτάται από τον τρόπο διαχείρισης της ενέργειας.

Χρόνος φόρτισης (h): Γρήγορος χρόνος επαναφόρτισης είναι απαραίτητος για τα ηλεκτρικά οχήματα. Επηρεάζει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Το stageofcharge (SOC) μιας μπαταρίας είναι το ποσοστό της ενέργειας που απομένει στην μπαταρία. Μια μπαταρία στο 90% του SOC βρίσκεται στο 10% του stateofdischarge(SOD).

Το stateofdischarge(SOD) είναι το αντίθετο του SOC. Είναι σημαντικό για τους χρήστες των μπαταριών να γνωρίζουν πότε η μπαταρία είναι σχεδόν άδεια και πρέπει να φορτιστεί. Επίσης, οι χρήστες πρέπει να γνωρίζουν πότε η μπαταρία είναι φορτισμένη για να σταματήσουν την φόρτιση. [28]

Το κόστος της μπαταρίας μετράται σε €/kWh ή σε €/kW. Το κόστος των μπαταριών(σε επίπεδο κυττάρου, μονάδα ή συσκευασίας) περιλαμβάνει το κόστος υλικών (π.χ. ανόδου / καθόδου υλικών), το κόστος κατασκευής και άλλα έξοδα (π.χ. R & D, το μάρκετινγκ, μεταφορά). Το υλικό έχει κόστος για ~ 75% του συνολικού κόστους της μπαταρίας, ενώ η κατασκευή και τα άλλα έξοδα αντιπροσωπεύουν περίπου το 5% και 20% αντίστοιχα. .

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2 Κόστος Μπαταριών) παρουσιάζεται το κόστος ανά Wh. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η μπαταρία μολύβδου-οξέος βρίσκεται στην κορυφή της λίστας. Είναι η μπαταρία που προτιμάται στα αυτοκίνητα και όχι στους φορητούς υπολογιστές. [29]

Πίνακας 2 Κόστος Μπαταριών

Τύπος Μπαταρίας	Τιμή(\$/Wh)
Lead-acid	\$0.17
Alkalinelong-life	\$0.19
Carbon-zinc	\$0.31
NiMH	\$0.99
NiCAD	\$1.50
Li-ion	\$0.47

Οι δύο βασικοί παράγοντες της φόρτισης μπαταριών είναι η ένταση του ρεύματος και ο χρόνος. Μια μπαταρία μπορεί θεωρητικά να φορτιστεί αργά με μικρή ένταση, ή γρήγορα με μεγάλη ένταση. Στην συνέχεια θα δούμε τους τρεις γνωστούς συνδυασμούς:

Η «κλασική» φόρτιση (*C/10 ratecharge*) γίνεται με ένταση ίση με το ένα δέκατο της ονομαστικής τιμής της χωρητικότητας "C". Δηλαδή την μπαταρία των 500 mAh την φορτίζουμε με ένταση 50 mA, την μπαταρία των 800 mAh με ένταση 80 mA κ.ο.κ. Από την ενέργεια που παρέχει ο φορτιστής μόνο το 60% μένει στην μπαταρία. Το υπόλοιπο μετατρέπεται σε θερμότητα και χάνεται. Γι' αυτό είναι αναγκαία η επιμήκυνση του χρόνου φόρτισης κατά 40-60%. Όταν η μπαταρία λοιπόν είναι εντελώς αφόρτιστη, ο χρόνος για την κλασική φόρτιση είναι 14-16 ώρες.

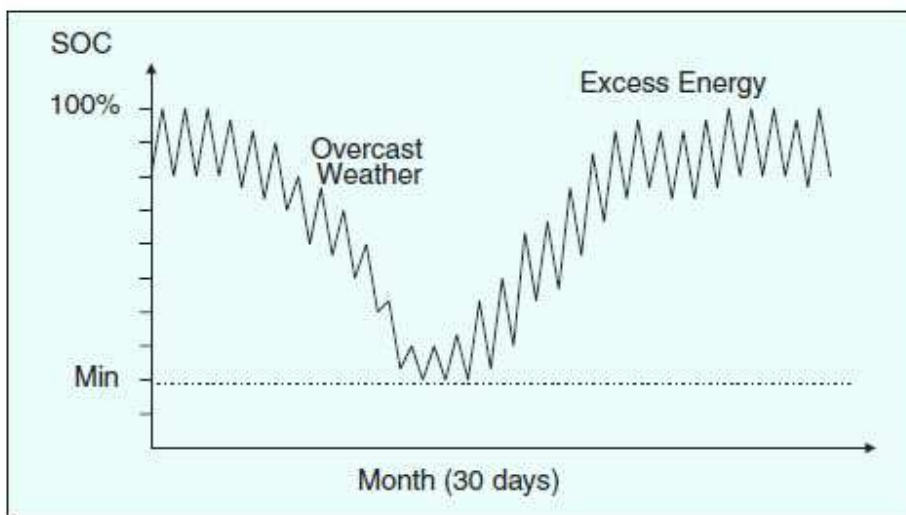
Γρήγορη καλείται η φόρτιση με ρεύμα διπλάσιο (*C/5*) έως και πενταπλάσιο (*C/2*), του ρεύματος της κλασικής φόρτισης. Οι μπαταρίες Ni-Cd και Ni-MH μπορούν να δεχθούν γρήγορη φόρτιση με την προϋπόθεση ότι θα τηρηθούν οι αναλογούντες χρόνοι. Δηλαδή μια μπαταρία 500 mAh μπορούμε να την φορτίσουμε με ρεύμα 100 - 250 mA αλλά πάντα μειώνοντας αναλογικά τον χρόνο. Αντίστοιχα για φόρτιση με ένταση 170 mA (δηλαδή με *C/3*) ο χρόνος θα είναι 4,7 ώρες (αν στην αρχή είναι τελείως αφόρτιστος), για φόρτιση με ένταση 250mA (δηλαδή με *C/2*) ο χρόνος θα είναι 2,8 ώρες (αν στην αρχή είναι τελείως αφόρτιστος). Οι ανωτέρω χρόνοι πρέπει να μειωθούν αναλογικά, αν η μπαταρία την στιγμή που αρχίζει "γρήγορη φόρτιση" έχει ήδη ένα ποσοστό της ενέργειάς του. Οι χρόνοι της γρήγορης φόρτισης δεν πρέπει να παρατείνονται. Υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος, εκτός βέβαια από την ταχύτατη καταστροφή των στοιχείων. Στην γρήγορη φόρτιση δεν υπάρχει άλλη μέθοδος για αυτόματη διακοπή της πλην της παρεμβολής χρονοδιακόπτη..

Ταχεία φόρτιση (λέγεται και υπερταχεία) είναι κάθε ρυθμός που φορτίζει την μπαταρία σε μία ώρα ή συντομότερα. Αυτό επιτυγχάνεται με εντάσεις από C έως 3C, δηλαδή από 10 έως 30 φορές μεγαλύτερες από ότι στην κλασική φόρτιση. Για να αντέξει μια μπαταρία την υπερταχεία φόρτιση πρέπει να είναι κατασκευασμένη ειδικά γι' αυτή την μεταχείριση και να φέρει την ανάλογη ένδειξη. Η υπερταχεία φόρτιση επιτρέπεται μόνο αν ο φορτιστής έχει την δυνατότητα να ανιχνεύσει το τέλος της και να την τερματίσει αυτόματα. Η "υπερταχεία φόρτιση" είναι κανόνας για τις μπαταρίες τροφοδοσίας ηλεκτροκινητήρων. Με το κατάλληλο ρεύμα μπορείς να τις φορτίσεις σε 20-60 λεπτά. [38]

Για την επαναφόρτιση μιας μπαταρίας, μια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας ίση με την χωρητικότητα της μπαταρίας εκχέεται στις κυψέλες (κύτταρα) της. Η φόρτιση ορίζεται από τρεις παραμέτρους: Το ρεύμα, την τάση, την διάρκεια χρήσης. Η διάρκεια φόρτισης κάθε μπαταρίας εξαρτάται από τον τύπο της μπαταρίας και τις ανάγκες των χρηστών. Παρακάτω θα αναλυθεί η διαδικασία φόρτισης για τις μπαταρίες που συνήθως χρησιμοποιούνται στα

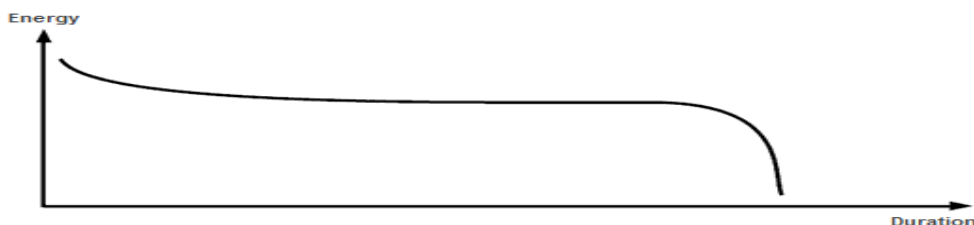
ηλεκτρικά οχήματα. Η μπαταρία δεν μπορεί να αποθηκεύσει περισσότερη ενέργεια από αυτή που επιτρέπεται από τις προδιαγραφές της. Αν η μπαταρία εξακολουθεί να φορτίζεται θα υπερφορτιστεί με αποτέλεσμα την πρόωρη φθορά της λόγω της επιπλέον ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμότητα.[31]

Όσον αφορά τις *EVB (electrical vehicle batteries)* που αποτελούν το μέσο αποθήκευσης της ενέργειας σε συστήματα που κάνουν χρήση ανανεώσιμης ενέργειας συνήθως βιώνουν βαθύς κύκλους ζωής και μη-προβλεπόμενες συμπεριφορές φόρτισης. Για παράδειγμα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα δείχνει την διακύμανση της ενέργειας της μπαταρίας σε ένα αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών. Η κατάσταση της φόρτισης (SOC) της μπαταρίας είναι το άθροισμα της καθημερινής μεταφοράς ενέργειας κατά την φόρτιση/εκφόρτιση. Διαπιστώνεται πως η ημερήσια ζήτηση ενέργειας είναι περίπου σταθερή. Όταν ο καιρός είναι νεφελώδης λιγότερη ενέργεια παρέχεται από το σύστημα των φωτοβολταϊκών. Αυτό προκαλεί αντίστοιχα την μείωση του SOC της μπαταρίας. [30]



Εικόνα 5 SOC για κάθε μέρα ενός μήνα

Ο τρόπος με τον οποίο οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες φορτίζονται εξαρτάται από τη χημεία που χρησιμοποιούν, τις συνθήκες χρήσης καθώς και την ποιότητα των εξαρτημάτων.



[31]

Όλες οι μπαταρίες έχουν εγγενή αποφόρτιση. Το “self - discharge” στις νικελίου μπαταρίες είναι 10-15% της χωρητικότητας της κατά τις πρώτες 24 ώρες μετά την φόρτιση, ακολουθούμενη από 10-15% για κάθε μήνα. Οι μπαταρίες Li-ion αποφορτίζονται περίπου 5%

για το πρώτο 24ώρο και 1-2% στους επόμενους μήνες χρήσης της [32] ενώ οι μολύβδου οξέος 3-20% /μήνα[33]. Σε υψηλές θερμοκρασίες το self-discharge για όλες τις τεχνολογίες μπαταριών αυξάνει, όπως αυξάνει με την ηλικία και την χρήση. [32]

Τα κύρια χαρακτηριστικά των μπαταριών έλξης για τα EV είναι:

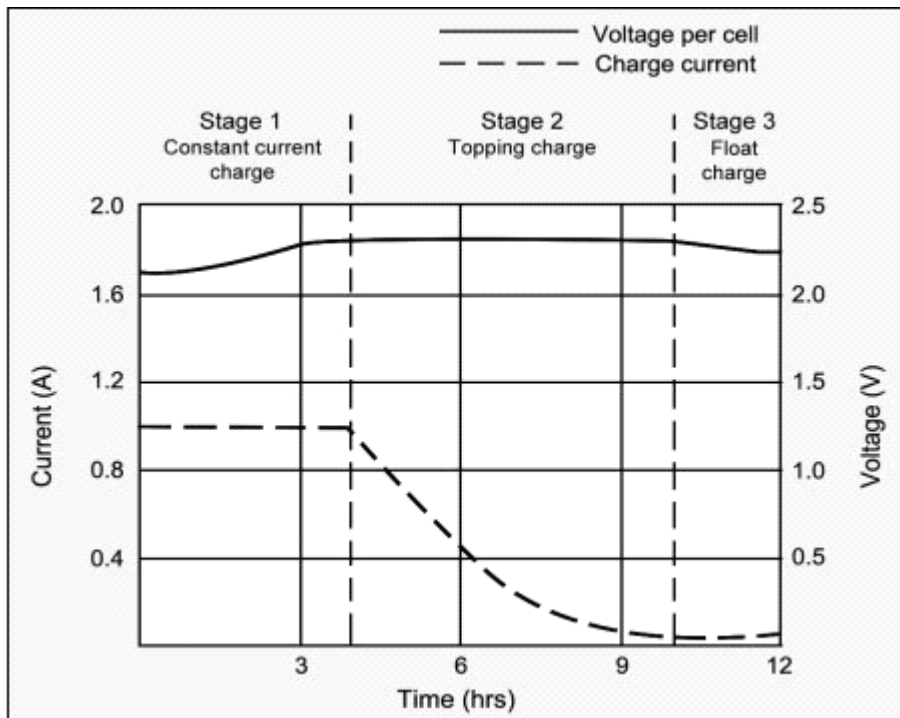
- Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα μπορεί να επιτευχθεί μια φόρτιση
- Η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα καθιστά δυνατή την επίτευξη σταθερής ισχύς
- Μεγάλη διάρκεια ζωής [Electric vehicle battery system,SandeepDhameja]
- Υψηλή χωρητικότητα σε Ah(ampere - hours)

Οι EV μπαταρίες διαφέρουν από τις SLI (starting,lighting,ignition) μπαταρίες επειδή έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνουν ενέργεια διαρκώς. Μικρότερες και ελαφρότερες μπαταρίες μειώνουν το βάρος του οχήματος και βελτιώνουν την επίδοση του. Συγκρίνοντας τις μπαταρίες με τα υγρά καύσιμα, όλες οι τεχνολογίες μπαταριών έχουν αρκετά χαμηλότερη ενέργεια και αυτό συχνά επιδρά σε μεγάλο βαθμό στα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα.

Οι EVB μπορούν να χρησιμοποιούνται καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και είτε να φορτίζονται άμεσα από φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι τοποθετημένα στα οχήματα ή σε σταθμούς, είτε κατά την διάρκεια της νύχτας μέσω ηλεκτρικού κυκλώματος (π.χ. της ΔΕΗ). [34]

Τρεις είναι οι κύριοι τύποι μπαταριών

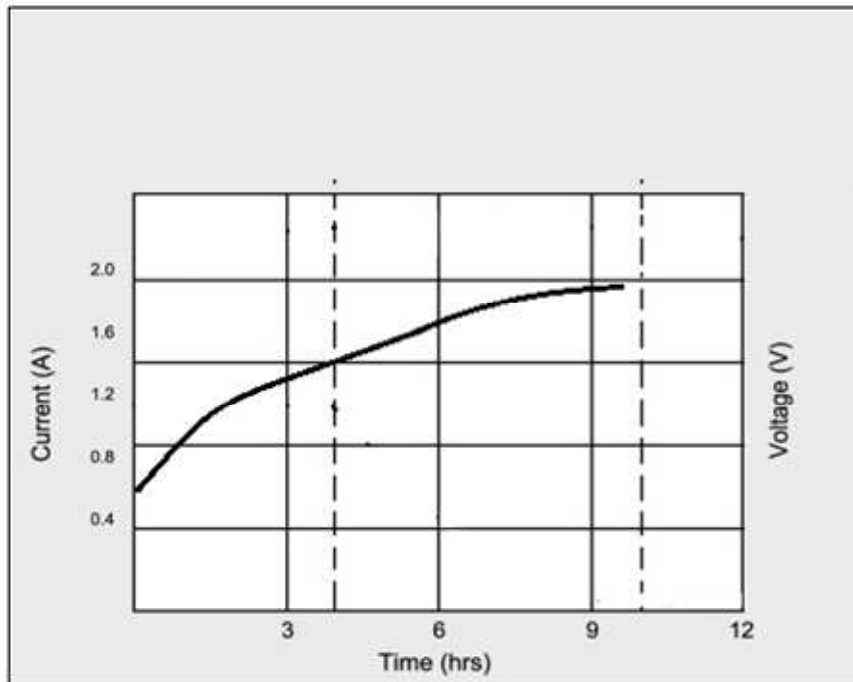
Μπαταρίες Μολύβδου Οξέος (Lead - acid)Είναι οι πιο φθηνές και οι πιο κοινές μπαταρίες που είναι διαθέσιμες και αποφορτίζονται περίπου για το 80%. Παραδοσιακά τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν αυτό το είδος της μπαταρίας λόγω της ανεπτυγμένης τεχνολογίας, την υψηλή διαθεσιμότητα και το χαμηλό κόστος. Ο χρόνος φόρτισης των είναι 12-16 ώρες, αλλά μπορεί να φθάσει μέχρι και 36-48 ώρες για μεγάλες σταθερές μπαταρίες. Σε υψηλότερα ρεύματα φόρτισης και σε πολλαπλά στάδια φόρτισης, ο χρόνος φόρτισης μπορεί να μειωθεί σε 10 ώρες ή λιγότερο.



Εικόνα 6 Διαδικασία φόρτισης της Lead-acid

Η φόρτιση των μπαταριών μολύβδου οξέος ολοκληρώνεται σε τρία στάδια, τα οποία είναι: Σταθερό ρεύμα φόρτισης, πλήρης φόρτιση και επίπεδη φόρτιση (float charge). Στην Εικόνα 6 και στο [Error! Reference source not found.] θα βρείτε περισσότερες σχετικές πληροφορίες.[35]

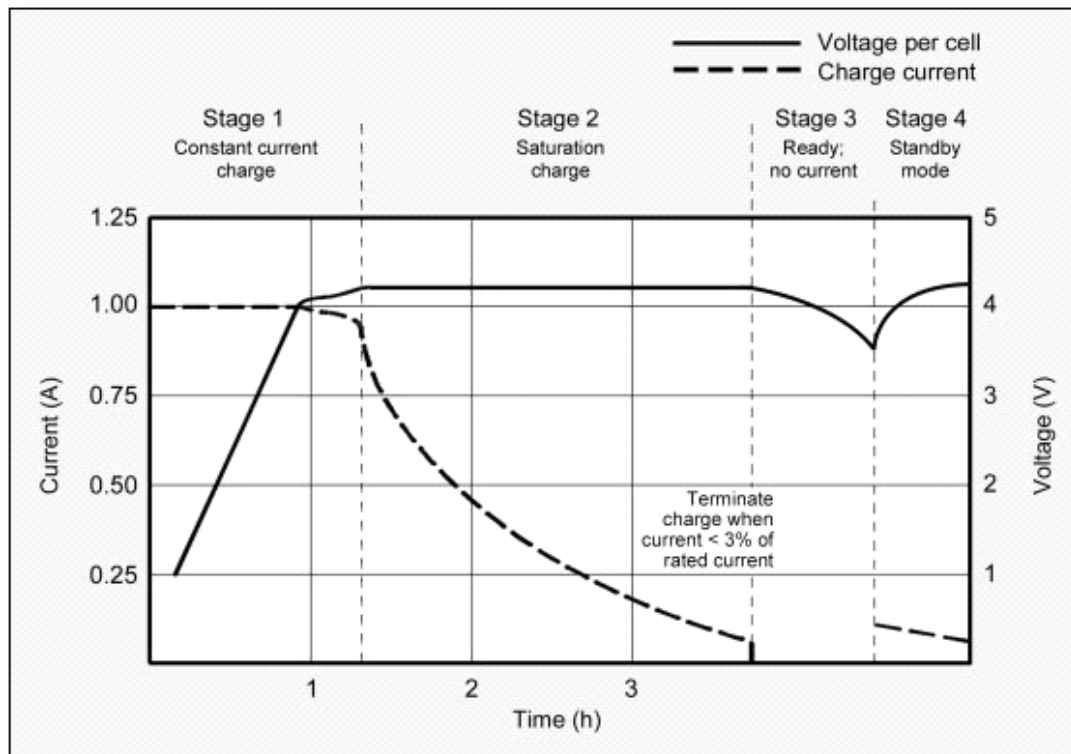
Μπαταρίες Νικελίου Υβριδίου Μετάλλου(*Nickelmetalhydride*) Θεωρείται μια σχετικά ώριμη τεχνολογία αν και λιγότερο αποδοτική (60-70%) σε φόρτιση και αποφόρτιση από ότι οι Lead-acid μπαταρίες. Διαθέτουν ενεργειακή πυκνότητα 30-80 Wh/ Kg, πολύ υψηλή, γεγονός που τις διαφοροποιεί και πάλι από τις Lead-acid. Όταν χρησιμοποιούνται σωστά



Εικόνα 7 Διαδικασία φόρτισης της NiMH

μπορεί να έχουν εξαιρετικά μακρά διάρκεια ζωής. Κάποια από τα μειονεκτήματα αυτών των μπαταριών είναι η κακή απόδοση, η υψηλή αυτό-αποφόρτιση και η κακή επίδοση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Στη ταχεία φόρτιση αναφέρεται ως χρόνος φόρτισης οι 1- 4 ώρες, στην γρήγορη φόρτιση οι 10-14 ώρες, ενώ στην κλασσική φόρτιση οι περισσότερο από 40 ώρες. [36]

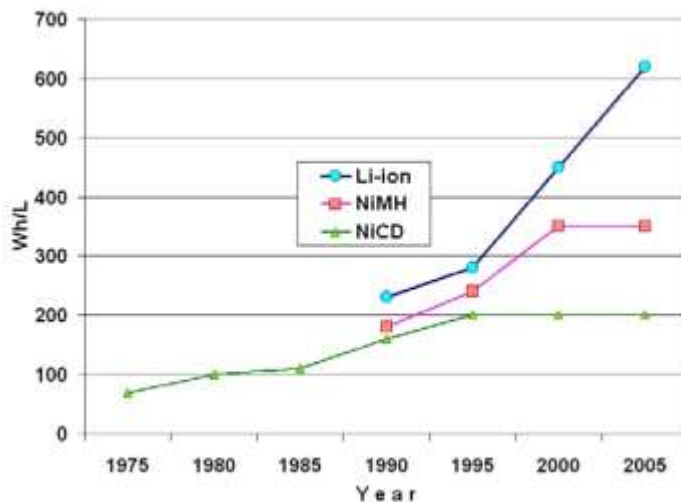
Μπαταρίες Λιθίου-Ιόντος (Lithium - ion) Ευρέως γνωστές λόγω της χρήση τους σε φορητούς υπολογιστές και σε ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης αλλά και από την χρήση τους σε ηλεκτρικά οχήματα τις τελευταίες δεκαετίες. Έχουν την καλύτερη πυκνότητα ενέργειας και μικρή απώλεια ενέργειας όταν δεν χρησιμοποιούνται. Τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα κάνουν χρήση αυτών των μπαταριών αξιοποιώντας τις νέες πρακτικές, οι οποίες θυσιάζουν την ενέργεια και την πυκνότητα ισχύος για να παρέχουν ασφάλεια, φιλικότητα προς το περιβάλλον και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Οι μπαταρίες αυτές δεν είναι απαραίτητο να φορτιστούν πλήρως, όπως συμβαίνει με τις μολύβδου οξέος. Στην πραγματικότητα, είναι καλύτερα να μην φορτίζονται πλήρως, διότι οι υψηλές τάσεις τείνουν να χαλάσουν την μπαταρία. Η επιλογή ενός χαμηλότερου ορίου τάσης, ή η εξάλειψη του κορεσμού της μπαταρίας ως προς την φόρτιση, παρατείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, μειώνει όμως το χρόνο λειτουργίας. Το ποσοστό φόρτισης της μέσης κατανάλωσης της μπαταρία Li-ion είναι μεταξύ 0,5 και 1C στο στάδιο 1, και ο χρόνος φόρτισης είναι περίπου τρεις ώρες.[37]



Εικόνα 8 Διαδικασία φόρτισης της Li-ion

Νικελίου υδριδίου μετάλλου (NiMH) είναι οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται ευρύτατα από τους κατασκευαστές μαζικής παραγωγής HEVs (π.χ. Toyota). Θεωρείτε όμως ότι έχουν φτάσει στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους και δεν αναμένουμε σημαντικές νέες τεχνικές βελτιώσεις και μείωση του κόστους .

Οι κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιούν και μπαταρίες ιόντων λιθίου, επειδή προσφέρουν ενεργειακή πυκνότητα υψηλότερη από ό, τι οι μπαταρίες NiMH. Επίσης, χαρακτηρίζονται από την απουσία της μνήμης και τον χαμηλό ρυθμό αποφόρτισης. Θεωρούνται ως η καλύτερη επιλογή για την αποθήκευση ενέργειας, όχι μόνο για PHEV, αλλά και για BEV και HEV, βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Οι μπαταρίες λιθίου ιόντος προσφέρουν ένα ευρύ πεδίο των νέων εξελίξεων και δεν έχουν ακόμη επιτύχει το ίδιο επίπεδο ωριμότητας όπως οι μπαταρίες NiMH (βλ. Εικόνα 9).



Εικόνα 9 Εξέλιξη της ενεργειακής πυκνότητας της Li-ion συγκρινόμενη με αυτή της NiMH και NiCD

Όπως υπογραμμίζεται από τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας για τα PHEV, το κλειδί για την ανάπτυξη της τεχνολογίας των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι η συνεχής βελτίωση της ενεργειακής πυκνότητας. Την ίδια στιγμή, η ενεργειακή πυκνότητα των άλλων μπαταριών έχει παραμείνει σταθερή. [26]

Ας κλείσουμε την παράγραφο αυτή με τον παρακάτω πίνακα ο οποίος ανακεφαλαιώνει τα χαρακτηριστικά των τριών τύπων παταριών.

Type	Voltage ^a	Energy density ^b		Power ^c	Effi. ^d	E/\$ ^e	Disch. ^f	Cycles ^g	Life ^h	
	(V)	(MJ/kg)	(Wh/kg)	(Wh/L)	(W/kg)	(%)	(Wh/\$)	(%/month)	(#)	(years)
Lead-acid	2.1	0.11-0.14	30-40	60-75	180	70%-92%	5-8	3%-4%	500-800	5-8 (car battery), 20 (stationary)
NiMH	1.2	0.11-0.29	30-80	140-300	250-1000	66%	2.75	30%	500-1000	
Li ion	3.6	0.58	150-250	250-360	1800	80-90%	2.8-5 ^[7]	5%-10%	1200	2-3

Source: <http://en.wikipedia.org/wiki/Battery>

2.2 Υφιστάμενη κατάσταση

Ανάλογες προσπάθειες για την μελέτη ανάπτυξης EV τρένων τα οποία δεν βασίζονται σε συνεχή παροχή ηλεκτρικού μέσω ενός δικτύου καλωδίων δεν φαίνεται να αναφέρονται στην επίσημη βιβλιογραφία (π.χ. scopus). Παρόλα αυτά όμως πιστεύουμε ότι η μεγάλη επιτυχία των EV αυτοκινήτων μας επιτρέπει να ισχυριστούμε ότι μια τέτοια αρχική τουλάχιστον μελέτη είναι δικαιολογημένη ιδιαίτερα αν λάβει κανείς υπόψη το γεγονός της πολύ μικρότερης τριβής ολίσθησης των EV τρένων.

Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων τόσο στα οχήματα όσο και στους σιδηροδρομικούς σταθμούς, για την μείωση του διοξειδίου του άνθρακα και την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι γενικότερα ευρέως διαδομένη. Έχουν γίνει λίγες σχετικά προσπάθειες μελέτης και υλοποίησης συστημάτων τρένων τα οποία χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τόσο για την κίνηση τους όσο και για τον κλιματισμό τους. Μερικές από τις προσπάθειες αυτές είναι ακόμα εν εξελίξει σε διάφορες περιοχές της υφής όπως Santa Cruz, της Καλιφόρνιας, στην Ιταλία, στην Λεών της Ισπανίας, στο Βέλγιο και στην

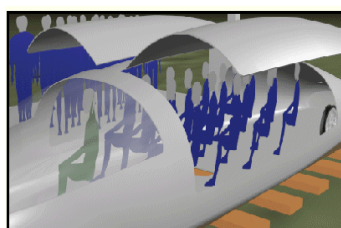
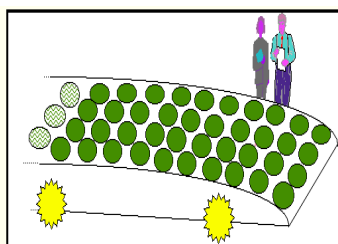
Ελβετία και επειδή έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά με την προσπάθεια μας τα αναφέρουμε συνοπτικά παρακάτω.

Το Project **SolTrain** ξεκίνησε το 1990 με ορίζοντα ολοκλήρωσης το 2004. Το πρώτο του πειραματικό «ταξίδι» έγινε το φθινόπωρο του 2001. Παρ'όλα αυτά δεν βρήκαμε κάποια απτή απόδειξη ύπαρξης τελικού προϊόντος.

Σύμφωνα με την επίσημη σελίδα του Project[39] το τρένο **SolTrain** θα είναι αυτοκινούμενο με ενσωματωμένες μπαταρίες και ηλεκτρικούς κινητήρες. Η ενέργεια παρέχεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι τοποθετημένα στην οροφή του τρένου. Στους σταθμούς θα υπάρχει δυνατότητα επαναφόρτισης των τρένων αλλά και δυνατότητα πώλησης του πλεονάσματος της ενέργειας στη ΔΕΗ και μελλοντική αγορά από αυτή σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ή μέρες με η επαρκή ηλιακή ακτινοβολία.

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Μια 8x20(160 sqft) panel area θα μπορεί να προσφέρει 2kW ηλιακή ενέργεια. Για ένα ελαφρύ, αεροδυναμικό όχημα αυτό είναι ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας που απαιτείται για την κίνηση του. Το μοντέλο του τρένου θα έχει την μορφή της παρακάτω Εικόνας .



είναι κατασκευασμένο από σύνθετα υλικά(Fiberglas,honeycomb, Kevlar, carbonfiber). Οι μπαταρίες θα εισαχθούν σε ένα κανάλι κάτω από το κέντρο του τρένου. Επιπλέον, το

πρωτότυπο μοντέλο θα προσφέρει μια ευκαιρία για να χρησιμοποιηθεί ως πλατφόρμα έρευνας για την ανάπτυξη νέων τύπων μπαταριών, ultracapacitors, κλπ.[39]

Το πρόγραμμα **Robla Solar**[49] ξεκίνησε πρόσφατα στο Πανεπιστήμιο León y Fene της Ισπανίας έχει σχέση με την κατασκευή ενός αυτόνομου ηλεκτρικού κινητήρα τροφοδοτούμενη από ηλεκτρική ενέργεια, που θα παρέχεται από τα φωτοβολταϊκά που θα βρίσκονται στην οροφή του τρένου. Παράλληλα, ο κινητήρας θα ανακτά ενέργεια από την επιβράδυνση και το φρενάρισμα, ενέργειες που θα έχουν ως αποτέλεσμα την φόρτιση των μπαταριών. Για το σχεδιασμό των τρένων θα εξετασθούν τα μικρά ευέλικτα και ελαφριά τρένα, όπου η αεροδυναμική παίζει σημαντικό ρόλο στην εξοικονόμηση ενέργειας. Με άλλα λόγια το Robla Solar είναι ένα υπό ανάπτυξη πρωτοποριακό έργο μηχανικής στον τομέα των φωτοβολταϊκών συστημάτων και στην χρήση μεθόδων προώθησης που βελτιστοποιούν την κατανάλωση. Τα πρώτα ουσιαστικά αποτελέσματα του έργου (για τρένο με 8 επιβάτες) αναμένονται το 2013.[40]

Η Ιταλία κατά το 2005 ανακοίνωσε μια προσπάθεια για το πρώτο ηλιακό-υποβοηθούμενο τρένο της Ευρώπης. Οι ηλιακοί συλλέκτες (φωτοβολταϊκά) δεν παρέχουν ενέργεια στις μηχανές του τρένου αλλά ενέργεια για τον κλιματισμό, φωτισμό και τα συστήματα ασφαλείας. Αποτελεί βεβαίως ένα ενδιαφέρον θέμα αλλά άπτεται μονό περιφερειακά με τους στόχους και την φιλοσοφία της παρούσας διπλωματικής εργασίας.[41]

Η οροφή της Βέλγικης σιδηροδρομικής γραμμής υψηλών ταχυτήτων έχει καλυφθεί με 16.000 ηλιακά panels, ώστε να παρέχει αρκετή ενέργεια για τα τρένα που λειτουργούν μέσω του σταθμού Antwerp. Το πλήθος των φωτοβολταϊκά συστημάτων που έχουν εγκατασταθεί μπορούν να παράγουν ενέργεια που μπορεί να χορηγηθεί σε 4,000 τρένα ετησίως. Το

παραπάνω έργο είναι πολύ εντυπωσιακό και αποτελεί ένα τεράστιο βήμα για την σιδηροδρομική κυκλοφορία, ωστόσο διαφέρει από τον στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. [42]

Το ελβετικό **road-train** είναι ένα ιδανικό μέσο μεταφοράς για μικρές αποστάσεις και υψηλή χωρητικότητα σε επιβάτες. Στην οροφή του έχει ηλιακούς συλλέκτες που δίνει πρόσθετη ενέργεια στους κινητήρες. Τα συγκεκριμένα τρένα δεν εφοδιάζουν τις μηχανές του τρένου εξολοκλήρου από την ηλιακή ενέργεια που παράγουν οι ηλιακοί συλλέκτες και έτσι δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένο στην παρούσα διπλωματική εργασία.[43]

Από όλα τα τρένα που αναφέρθηκαν πιο πάνω, πιο κοντά στη μελέτη μας είναι αυτά της SantaCruz και της Λυών. Και είναι και αυτά τα οποία έμειναν μόνο στην επίπεδο του σχεδιασμού και δεν έχουν προχωρήσει σε υλοποιήσεις κάποιου τύπου. Ωστόσο, αυτό της Ελβετίας, της Ιταλίας και το Τούνελ από Φωτοβολταϊκά στο Βέλγιο χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

3 Σχεδιασμός και Υλοποίηση Πλατφόρμας Προσομοίωσης

Για το σχεδιασμό του μοντέλου μας χρησιμοποιήσαμε αρκετές από τις συνιστώσες του GridLAB-D. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήσαμε τις ενότητες *tape*, *power flow*, *residential* και υλοποιήσαμε δικές μας *runtime* κλάσεις για να μοντελοποιήσουμε τις μπαταρίες. Η φόρτιση των μπαταριών γίνεται μέσω συναρτήσεων που υλοποιούνται στην *Matlab* και όχι με το *GridLAB-D* για το λόγο ότι δεν χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε προς το παρόν κάποιες από τις συνιστώσες του *GridLAB-D*. Πιο αναλυτικά:

Tape module: Υλοποιεί αντικείμενα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία και την αλλαγή του ορίου κατάστασης σε ένα μοντέλο τηρώντας παρόλα αυτά τις ιδιότητες των επιμέρους αντικειμένων. Τα αντικείμενα *player* και *shaper* χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση του μοντέλου σε καθορισμένες ώρες από ένα αρχείο που έχει την κατάληξη *player* και *shaper* αντίστοιχα. Τα αντικείμενα *recorder* και *collector* χρησιμοποιούνται για την συλλογή πληροφοριών από το μοντέλο. Στο μοντέλο μας χρησιμοποιήσαμε τα αντικείμενα *player* και *recorder*.

- **Player:** Παρέχει την δυνατότητα ενημέρωσης μιας μεταβλητής ενός αντικειμένου σε συγκεκριμένους χρόνους. Οι τιμές διαβάζονται από ένα αρχείο όπου στην πρώτη του στήλη πρέπει να υπάρχουν τα *timestamps* και στην δεύτερη στήλη οι τιμές. Η ιδιότητα της οποίας η τιμή θα καθορίζεται από το αρχείο θα πρέπει να αποτελεί ιδιότητα του πατέρα του αντικειμένου *player*. Στο μοντέλο μας χρησιμοποιήσαμε το αντικείμενο *player* ώστε κάθε χρονική στιγμή να ενημερώνεται η τιμή για την ιδιότητα *elevation* (περισσότερα θα αναφερθούν παρακάτω)
- **Recorder:** Παρέχει την δυνατότητα να συλλέξει την τιμή ενός ή περισσότερων ιδιοτήτων ενός αντικειμένου σε χρονικό διάστημα που ορίζεται μέσα στο αντικείμενο. Κάναμε χρήση του αντικειμένου *recorder* για να συλλέξουμε την ενέργεια της μπαταρίας κατά την φόρτιση και εκφόρτιση και την κατανάλωση ενέργειας από το κλιματιστικό και τα φώτα.

Residential Module: Προσομοιώνει διάφορες συσκευές και ηλεκτρονικά είδη που βρίσκονται μέσα στο σπίτι. Χρησιμοποιήσαμε το αντικείμενο *house* (θεωρώντας πως το τρένο είναι ένα σπίτι) και μέσω αυτού και των αντικειμένων που μας παρέχει μετρήσαμε την ενέργεια που απαιτούν τα φώτα και ο κλιματισμός .

Power flow Module: Εκτελεί διάφορες μεθόδους για την παρατήρηση των τιμών της τάσης και του ρεύματος σε ένα σύστημα. Περισσότερες λεπτομέρειες μπορείτε να βρείτε στο [PowerFlowGuide](#). Από όλα τα αντικείμενα του συγκεκριμένου *module* (ενότητα) χρησιμοποιήσαμε το αντικείμενο *meter*.

- **Meter:** Παρέχουν ένα σημείο μέτρησης για την ισχύ και την ενέργεια σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Σε συνδυασμό με το αντικείμενο *recorder* σε αρχείο γράφουμε την ενέργεια της μπαταρίας σε κάθε λεπτό της διαδρομής όπως και την κατανάλωση ενέργειας από τα φώτα και το κλιματιστικό.

Για την μοντελοποίηση των μπαταριών και των φωτοβολταϊκών συστημάτων κατασκευάσαμε τις εξής **runtime κλάσεις**.

Διαδικασία αποφόρτισης μπαταρίας Οι παράμετροι που λάβαμε υπόψη για την αποφόρτιση της μπαταρίας είναι το είδος της μπαταρίας, το υψόμετρο, η αποδοτικότητα της μπαταρίας και η ενέργεια που απαιτείται εξαιτίας του βάρους, που εξαρτάται από τους επιβάτες, το είδος της μπαταρίας (δεν έχουν όλες το ίδιο βάρος) καθώς επίσης και από το βάρος του τρένου.

Είδος της μπαταρίας: Σε κάθε περίπτωση διαφέρει η αποδοτικότητα και το επίπεδο αποφόρτισης.

Υψόμετρο: Για την κίνηση μιας μάζας 1Kg απαιτείται ενέργεια $27,22 \cdot 10^{-7}$ [45] όταν η υψομετρική διαφορά μεταξύ των περιοχών που κινείται είναι 1 μέτρο. Έτσι για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ενέργειας ανάμεσα σε 2 χρονικές στιγμές υλοποιήσαμε την συνάρτηση

$$f(x) = x * \text{weight} * 27,22 * 10^{-7}$$

όπου x είναι η διαφορά του υψόμετρου μεταξύ της προηγούμενης και της τρέχουσας χρονικής στιγμής (το ρολόι της προσομοίωσης τρέχει για ένα λεπτό σε κάθε επανάληψη) και weight το συνολικό βάρος συμπεριλαμβανομένου του βάρους των επιβατών και της μπαταρίας.

Απώλεια ενέργειας της μπαταρίας: Για την κίνηση μάζας 100 kg με μηδενική κλίση καταναλώνονται 6-7 Wh /km, με την παραδοχή ότι σε κάθε λεπτό της προσομοίωσης διανύει 1 km υλοποιήσαμε την συνάρτηση

$$g(t) = 7 * \text{weight} / 100000$$

όπου weight είναι το συνολικό βάρος συμπεριλαμβανομένου του βάρους των επιβατών και της μπαταρίας.

Επίσης, να σημειωθεί εδώ πως αν η υψομετρική διαφορά ανάμεσα σε 2 χρονικές στιγμές είναι μικρότερη από 1.1 η παραπάνω συνάρτηση θα διαιρείται με το 5 λόγω του elevation. Διαφορετική κατανάλωση ενέργειας απ' ότι όταν το τρένο κινείται σε ευθεία.

Απαιτούμενη Ενέργεια μηχανής του Τρένου: Ο ηλεκτροκινητήρας με τα χαρακτηριστικά του τρένου του Βόλου και του παραδοσιακού τρένου του Πηλίου καταναλώνει 520 KWh την ώρα για ταχύτητα 90km/h. Έτσι έχουμε την συνάρτηση

$$q(t) = 0.1 * (\text{speed_of_train})$$

όπου το 0.1 υπολογίζεται ως εξής: απαιτούνται 520 KWh την μια ώρα άρα κάθε λεπτό 9 KWh με ταχύτητα 90km/h άρα 0.1 KWh με ταχύτητα 1 km/h.

Συνολικό βάρος τρένου

Οι συνιστώσες που θα προστίθενται για τον υπολογισμό του συνολικού βάρους του τρένου είναι: Το βάρος του τρένου, το βάρος των επιβατών και το βάρος της μπαταρίας. Συγκεκριμένα η συνάρτηση είναι $f(x) = \text{weight} + 60 * \text{passengers} + \text{Energy} / \text{energy_per_kg}$.

Όπου: weight το βάρος του τρένου, passengers ο αριθμός των επιβατών, Energy η ενέργεια της μπαταρίας και energy_per_kg η ενέργεια που μπορεί να αποθηκεύσει η μπαταρία για βάρος ενός κιλού και ολόκληρο το βάρος της μπαταρίας.

Συνεπώς, η συνάρτηση αποφόρτισης της μπαταρίας είναι η εξής:

$$K(t)=K(t-1) - 1/\text{efficiency}(q(t)+f(x)+g(t)*\text{elevation})$$

Όπου efficiency η αποδοτικότητα της μπαταρίας και elevation η υψομετρική διαφορά μεταξύ μεταξύ της προηγούμενης και της τρέχουσας χρονικής στιγμής.

Η μπαταρία θα φορτίζεται κυρίως από τα φωτοβολταϊκά συστήματα και σε περίπτωση που γίνει πρόβλεψη ότι μία μέρα θα είναι συννεφιασμένη και η ενέργεια των φωτοβολταϊκών δεν επαρκεί για να φορτιστούν πλήρως οι μπαταρίες θα χρησιμοποιείται το ηλεκτρικό κύκλωμα της ΔΕΗ.

Η φόρτιση της μπαταρίας υλοποιείται μέσω της ακόλουθης συνάρτησης

$$f(t)=f(t-1)+\text{efficiency}*(\text{energy}/\text{time}) ,$$

όπου το efficiency είναι η αποδοτικότητα της εκάστοτε μπαταρίας, το energy είναι η χωρητικότητα(σε Kwh) της μπαταρίας και time είναι ο χρόνος φόρτισης που θα είναι ένας τυχαίος αριθμός μεταξύ 20 και 60 όσο δηλαδή είναι και η διάρκεια για την ταχεία φόρτιση μιας μπαταρίας, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Όσον αφορά την φόρτιση από τα φωτοβολταϊκά θα χρησιμοποιηθεί ένας ρυθμιστής φόρτισης (Εικόνα 4 Βήματα αποθήκευσης της ενέργειας στις μπαταρίες). Ο ρυθμιστής φόρτισης που εμείς θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι οι MPPT 1000W (PCM4048) και MPPT 1500W (PCM6048)οι οποίοι είναι κατάλληλοι για μπαταρίες 12V,24V,36V,48V.

Οι ρυθμιστές φόρτισης σειράς PCM (mppt - Maximum Power Point Tracking), αυξάνουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών έως και το 98%, σε αντίθεση με τους κοινούς ρυθμιστές οι οποίοι αποδίδουν μόνο το 70-80% της παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκά. Η σειρά ρυθμιστών PCM mppt με την οθόνη LCD την οποία διαθέτουν μπορεί να απεικονίσει εύκολα όλες τις μετρήσεις της φ/β εγκατάστασης όπως volt – ampere – kwatt – kwh κλπ. Όλες οι ρυθμίσεις των παραμέτρων της εγκατάστασης (φόρτιση μπαταρίας κλπ), γίνονται μέσω εύκολου πληκτρολόγιου και της οθόνης LCD, ή μέσω σύνδεσης RS232 με υπολογιστή. [45]

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο θα χρησιμοποιήσουμε την ταχεία φόρτιση των μπαταριών μέσω του ρυθμιστή και έτσι οι μπαταρίες θα είναι διαθέσιμες από την στιγμή σύνδεση τους στο κύκλωμα σε 20 με 60 λεπτά. Όπως και στην διαδικασία αποφόρτισης έτσι και εδώ θα ληφθεί υπόψη το είδος της μπαταρίας και κυρίως η αποδοτικότητα της.

Για την φόρτιση τώρα των μπαταριών από το ηλεκτρικό κύκλωμα της ΔΕΗ θα δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη μέσω της διεπαφής χρήσης(graphical user interface)(θα το παρουσιάσουμε παρακάτω)να βλέπει πιθανά αποτελέσματα σε περίπτωση που κάνει πρόβλεψη ότι μια μέρα θα είναι συννεφιασμένη. Σε αυτή την περίπτωση η σύνδεση των μπαταριών θα γίνεται με το κύκλωμα της ΔΕΗ και όχι με τον ρυθμιστή και κατ' επέκταση με τα φωτοβολταϊκά με αποτέλεσμα η φόρτιση να είναι κατά 20% ταχύτερη. Ως εκ τούτου η συνάρτηση φόρτισης της μπαταρίας παίρνει την μορφή:

$$f(t)=1.2*(f(t-1)+\text{efficiency}*(\text{energy}/\text{time}))$$

Όπως θα γίνει αναφορά και παρακάτω, όπου θα κάνουμε λόγο για τη «διεπαφή χρήσης» (Graphical user Interface), ο χρήστης θα έχει την δυνατότητα να επιλέγει ο ίδιος αν τα φώτα ή ο κλιματισμός θα είναι σε λειτουργία. Σε κάθε glm αρχείο που θα προσομοιώνει την κατανάλωση ενέργειας για τα φώτα και τον κλιματισμό θα δίνεται μέσω του schedule format, συνιστώσα του GridLAB-D, πόση ενέργεια καταναλώνεται κατά την διάρκεια της ημέρας και συγκεκριμένα η διακύμανση της ενέργειας δεν θα είναι η ίδια κάθε ώρα της ημέρας.

Για την εύκολη χρήση της πλατφόρμας προσομοίωσης που αναπτύξαμε χρησιμοποιήσαμε την Matlab για να κατασκευάσουμε τη «διεπαφή χρήσης» η οποία θα δέχεται δεδομένα από το χρήστη και θα του παρουσιάζει τα σημαντικότερα αποτελέσματα. Πιο αναλυτικά: Η Matlab είναι το εργαλείο που χρησιμοποιήσαμε για να δημιουργήσουμε τη «διεπαφή χρήσης» και να αναπαραστήσουμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έξω από το περιβάλλον του GridLAB-D τον δεν έχει ανάλογες δυνατότητες. Επίσης χρησιμοποιήθηκε, όπως ήδη αναφέραμε για να γίνει και η μοντελοποίηση της φόρτισης των μπαταριών.

«Διεπαφή χρήσης»

Ο χρήστης θα χρειάζεται να δώσει τιμές για τις παραμέτρους (α)μπαταρία (β) φωτοβολταϊκά και (γ)τρένο

Αρχικά ο χρήστης θα επιλέγει διαδρομή δίνοντας 0 για αυτή του Βόλου-Λάρισα και 1 για Λεχώνια –Μηλιές. Όσον αφορά τις μπαταρίες θα πρέπει να δίνει την ενέργεια της μπαταρίας σε Kwh, με μέγιστη τιμή 400 Kwh για το τρένο Βόλου –Λάρισα και 200 Kwh για το παραδοσιακό τρένο του Πηλίου, και το είδος της μπαταρίας, 0 για μολύβδου οξέος 1 για Λιθίου-ιόντος και 2 για Νικελίου Υβριδίου, καθώς και τη θέση των φορτισμένων μπαταριών. Για τα φωτοβολταϊκά πρέπει να δίνει τον τύπο, την έκταση των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών σε m², τον μήνα που θα γίνεται η προσομοίωση (τιμές από 1 έως 12) και αν η μέρα είναι ηλιόλουστη ή συννεφιασμένη (0ή 1 αντίστοιχα), όπως επίσης και τον αριθμό των σταθμών που θα είναι εγκατεστημένα τα φωτοβολταϊκά και θα γίνεται η φόρτιση των μπαταριών.

Τέλος, για το τρένο ο χρήστης θα δίνει τον αριθμό των επιβατών (υποθέσαμε ότι ο αριθμός των επιβατών παραμένει σταθερός καθ' όλη την διάρκεια της διαδρομής, πράγμα που ανταποκρίνεται γενικά στην πραγματικότητα), το βάρος του τρένου, τη ταχύτητα του τρένου (μέγιστη 110Km/h για το Βόλος –Λάρισα και 25 Km/h για Άνω Λεχώνια –Μηλιές) και θα υπάρχει η επιλογή να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί με τιμή 0 και 1 αντίστοιχα τα φώτα και τον κλιματισμό.

Στο interface θα υπάρχουν επίσης και 3 κουμπιά (όπως φαίνεται στην Εικόνα 10 Εικόνα 10) τα οποία κατά κάποιον τρόπο θα επιτελούν την επικοινωνία μεταξύ Matlab και GridLAB-D. Μέσω του 'Submit' θα αποθηκεύονται σε αρχείο τα δεδομένα που εισήγαγε ο χρήστης και μέσω των άλλων δυο κουμπιών θα παρουσιάζεται η διαδικασία αποφόρτισης της μπαταρίας και οι στάσεις που πρέπει να γίνουν για αλλαγή μπαταρίας και η συνολική ενέργεια που θα μπορούμε να έχουμε με βάσει την έκταση φωτοβολταϊκών και πόσες διαδρομές μπορούν να πραγματοποιηθούν κατά την διάρκεια μιας ημέρας σύμφωνα με την διαθέσιμη ενέργεια και την ενέργεια που απαιτείται από τις μπαταρίες.

Route

Battery

Energy (Kwh)

Type

Available Battery

Train

Speed (km/h)

Passengers

Weight (Kg)

Lights

A/C

PV

Type

Area (m²)

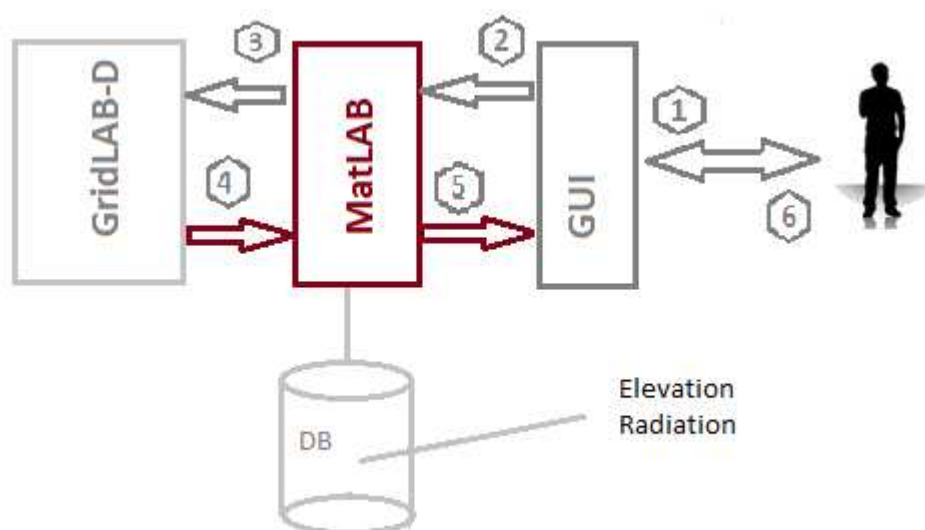
Month

Sunny,Cloudy(0,1)

Stations

Εικόνα 10 «Διεπαφή χρήσης»

Σχηματικά η διαδικασία επικοινωνίας του GridLAB-D και του Matlab φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα(Εικόνα 11) :



Εικόνα 11 Επικοινωνία Matlab-Gridlab-D

Πιο αναλυτικά:

- 1.Ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα.
- 2.Μέσω του GUI(Graphical user Interface) η Matlab επεξεργάζεται τα δεδομένα.
- 3.Το GridLAB-D χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα και εκτελεί την προσομοίωση.
- 4.Χρήση MEX code ώστε τα δεδομένα εξόδου του GridLAB-D να γίνουν προσπελάσιμα μέσω της Matlab.
5. Τα δεδομένα παρουσιάζονται με την μορφή γραφικών παραστάσεων με το κατάλληλο κουμπί που υπάρχει στο GUI.
6. Ο χρήστης βλέπει τα δεδομένα

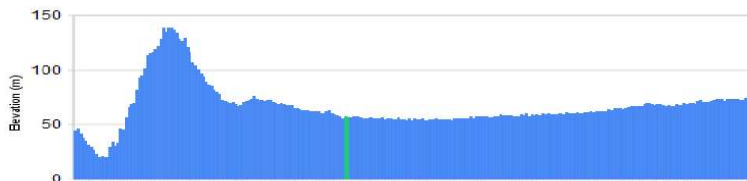
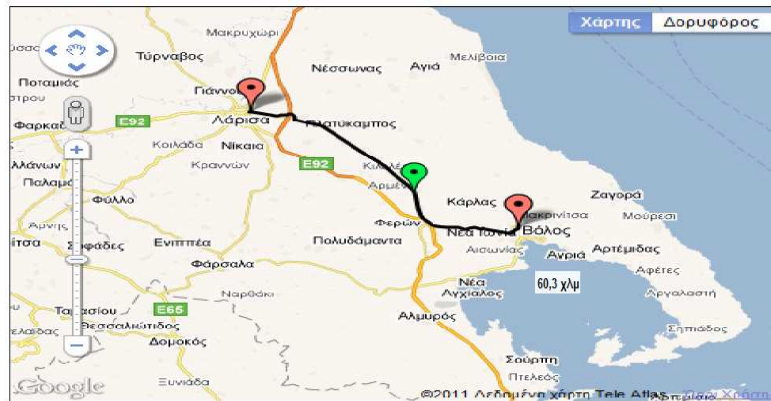
Όλα τα αρχεία για την επικοινωνία της Matlab και του GridLAB-D αποθηκεύονται στη Βάση Δεδομένων όπου υπάρχουν και τα δεδομένα για το υψόμετρο και την ηλιακή ακτινοβολία.

Σε αυτό το σημείο καλό θα ήταν να αναλυθεί περισσότερο πως γίνεται η ροή και η επεξεργασία δεδομένων μέσω της Matlab και του GridLAB-D. Αρχικά, ο χρήστης εισάγει δεδομένα, τα οποία όσα έχουν σχέση με την μπαταρία και το τρένο διαβάζονται, μέσω του αρχείου όπου αυτά αποθηκεύονται, από το glm αρχείο που είναι υπεύθυνο για την αποφόρτιση της μπαταρίας, ενώ τα δεδομένα της κατηγορίας PV διαβάζονται από το glm αρχείο που έχει ως στόχο να φορτίζει τις μπαταρίες. Να σημειωθεί εδώ πως κάθε φορά ο χρήστης θα βλέπει (γραφικά) την διαδικασία φόρτισης μιας και μόνο μπαταρίας εφόσον κάθε μπαταρία σε κάθε "στάση φωτοβολταϊκών" θα έχει το ίδιο μέγεθος (ενεργειακά) , το ίδιο είδος και ιδιότητες που οι τιμές τους θα είναι αυτές που έδωσε ο χρήστης. Να σημειωθεί εδώ πως ο ρυθμιστής φόρτισης θα είναι παντού ο ίδιος. Επιπρόσθετα, ο χρήστης θα πρέπει να δίνει σε πόσες στάσεις θα είναι καταναμημένα ομοιόμορφα τα φωτοβολταϊκά όπως επίσης θα πρέπει να ορίζει σε ποια σημεία υπάρχουν φορισμένες μπαταρίες ώστε το τρένο στην ιδανική περίπτωση να σταματήσει εκεί. Όταν τώρα δεν υπάρχουν φορτισμένες μπαταρίες στις θέσεις όπου το τρένο πρέπει να κάνει αναγκαστική στάση, τότε λόγω του ότι ο χρήστης θα γνωρίζει εκ των προτέρων τα σημεία των στάσεων για αλλαγή μπαταρίας θα "μεταφέρεται " η ενέργεια μέσω των υπαρχόντων συμβατικών καλωδίων τη ΔΕΗ με μικρό ποσοστό απώλειας περίπου στο 10%.

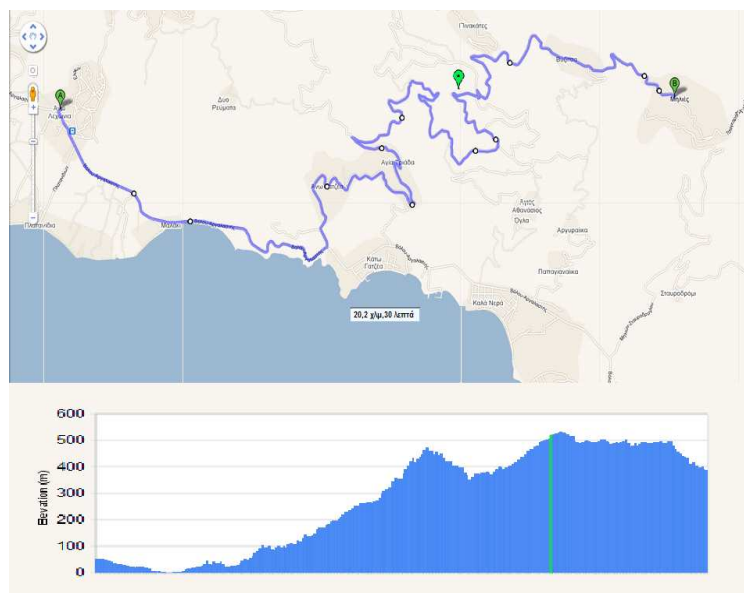
Πίνακας 3Χαρακτηριστικά Τρένων[Error! Reference source not found.]

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΕΝΟΥ	Βόλος-Λαρισα	Άνω Λεχώνια – Μηλιές
Βάρος	44679 Kg	20000 Kg
Αριθμός Επιβατών	100	25
Μέγιστη	106 km\h	25 km\h
Ελάχιστη	90 km\h	20 km\h
Ισχύς Μηχανής	130 Kw x4	130 Kw x4

Όπως ήδη αναφέραμε οι υπό εξέταση διαδρομές είναι οι οποίες και θα μας επιτρέψουν να αξιολογήσουμε την μηχανή προσημείωσης μας είναι οι Βόλος-Λάρισα και Λεχώνια- Μηλιές. Για την προσομοίωση χρειάζεται να γνωρίζουμε το υψόμετρο των δυο διαδρομών σε κάθε σημείο καθώς και την ηλιακή ακτινοβολία και κατ' επέκταση την ηλιακή ενέργεια, κατά μήκος της διαδρομής. Παρακάτω φαίνεται το υψόμετρο και η διαδρομή που ακολουθούν τα προς εξέταση τρένα.



Εικόνα 12 Υψόμετρο της Διαδρομής Βόλος -Λάρισα



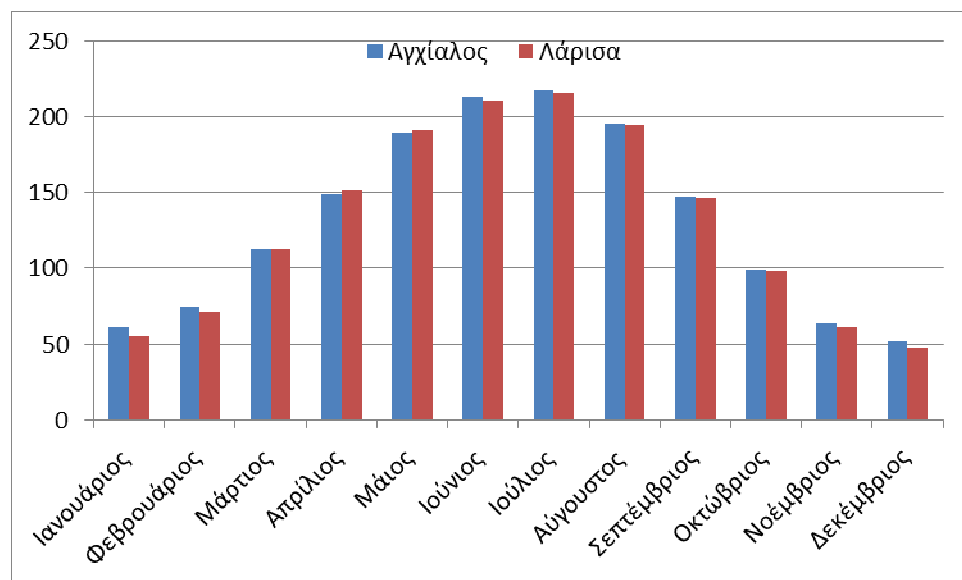
Εικόνα 13 Υψόμετρο για την Διαδρομή Άνω Λεχώνια - Μηλιές

Το παραδοσιακό τρένο του Πηλίου ακολουθεί την διαδρομή που φαίνεται στην Εικόνα 13 με 25km την ώρα για την διαδρομή των 16 km με μια στάση των 15 λεπτών στην Άνω Γατζέα, ενώ το τρένο Βόλου-Λάρισας ακολουθεί την διαδρομή που φαίνεται στην Εικόνα 12 με 100km την ώρα περίπου κάνοντας στάσεις στα Μελισσιάτικα, Βελεστίνο, Στεφανοβίκειο, Αρμένιο και Κυψέλη Λάρισας, όπου σε αυτά τα σημεία θα υπάρχουν οι φορτισμένες μπαταρίες.

Στο παρακάτω πίνακα(Πίνακας 5) που ακολουθεί απεικονίζεται η ηλιακή ακτινοβολία κατά μέσο όρο για κάθε μήνα στους μετεωρολογικούς σταθμούς της Νέας Αγχιάλου και της Λάρισας που λόγω ίδιου γεωγραφικού πλάτους και μήκους των περιοχών δεν υπάρχει

αισθητή διαφορά και έτσι στις προσομοιώσεις μας για την διαδρομή Άνω Λεχώνια- Μηλιές χρησιμοποιήσαμε την ηλιακή ακτινοβολία της Νέας Αγχιάλου για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας.

Πίνακας 4 Μέση ηλιακή ακτινοβολία ανά μήνα (στατιστικά στοιχεία του 2010 από την ΕΜΥ)

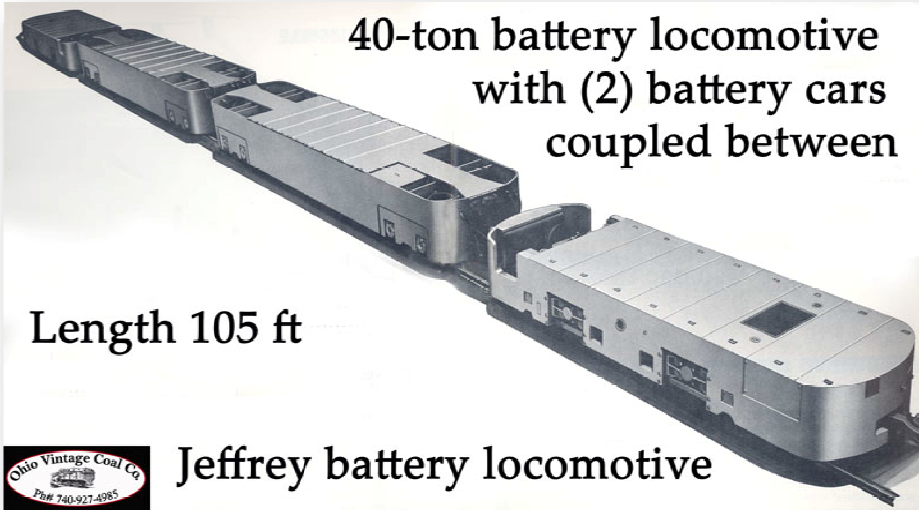


Η επαναφόρτιση των μπαταριών θα γίνεται σε σταθμούς όπου θα υπάρχουν εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά και κατάλληλες εγκαταστάσεις για την γρήγορη φόρτιση των μπαταριών. Ο αριθμός των περιοχών καθώς και τα m^2 όπου θα υπάρχουν εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων θα καθορίζονται κάθε φορά από τον χρήστη μέσω του GUI. Ένας τρόπος τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών συστημάτων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και είναι μια πολύ καλή ιδέα ώστε να γίνει εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας από κάθε γωνιά.



Εικόνα 14 Τρόπος Εγκατάστασης φωτοβολταϊκών[47]

Τέλος παραθέτουμε μια εικόνα ενός βαγονιού με μπαταρίες η γρήγορη αλλαγή του οποίου με κάποιο άλλο θα υλοποιεί σε λίγα λεπτά την αστραπιαία επαναφόρτιση όποτε αυτή κριθεί αναγκαία.



40-ton battery locomotive
with (2) battery cars
coupled between

Length 105 ft



Jeffrey battery locomotive

4 Μελέτες Εφαρμογής και Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφαλαίο θα ασχοληθούμε με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου μας με την χρήση του εργαλείου προσομοίωσης GridLAB-D. Για να αποφανθούμε αν η δημιουργία ενός ηλεκτροδοτούμενου τρένου με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι δυνατή σε κάθε προσομοίωση του μοντέλου μας θα μεταβάλλουμε μια παράμετρο από αυτές που φαίνονται στη διεπαφή χρήσης.

Αρχικά θα δούμε πόση ενέργεια χρειαζόμαστε για να φθάσουμε στον προορισμό μας και στην συνέχεια θα μελετήσουμε αν μπορούμε να έχουμε την ζητούμενη ενέργεια.

Για την Διαδρομή Βόλος –Λάρισα

Στον παρακάτω πίνακα(Πίνακας 5) μεταβάλλεται η ενέργεια της μπαταρίας. Η ταχύτητα είναι σταθερή στα 100 Km/h το βάρος είναι 44769 Kg, οι επιβάτες είναι 100 και τα φώτα και το A/C είναι απενεργοποιημένα και σε παρένθεση όταν είναι τα φώτα ενεργοποιημένα..

Πίνακας 5

<u>Είδος Μπαταρίας</u>	<u>Χωρητικότητα(Kwh)</u>	<u>Στάσεις (σε γιλιόμετρα)</u>
Lead-acid	400	14,45
Li-ion		15,47
NiMH		13,43,58
Lead-acid	300	11,26,51
Li-ion		11,28,51
NiMH		10,20,47,57
Lead-acid	200	7,15,30,47,56
Li-ion		7,15,31,47,56
NiMH		6,13,20,43,51,58
Lead-acid	100	3,7,11,15,19,33,43,47,52,56
Li-ion		3,7,11,15,19,33,43,47,52,56
NiMH		3,7,11,15,19,30,42,46,51,55

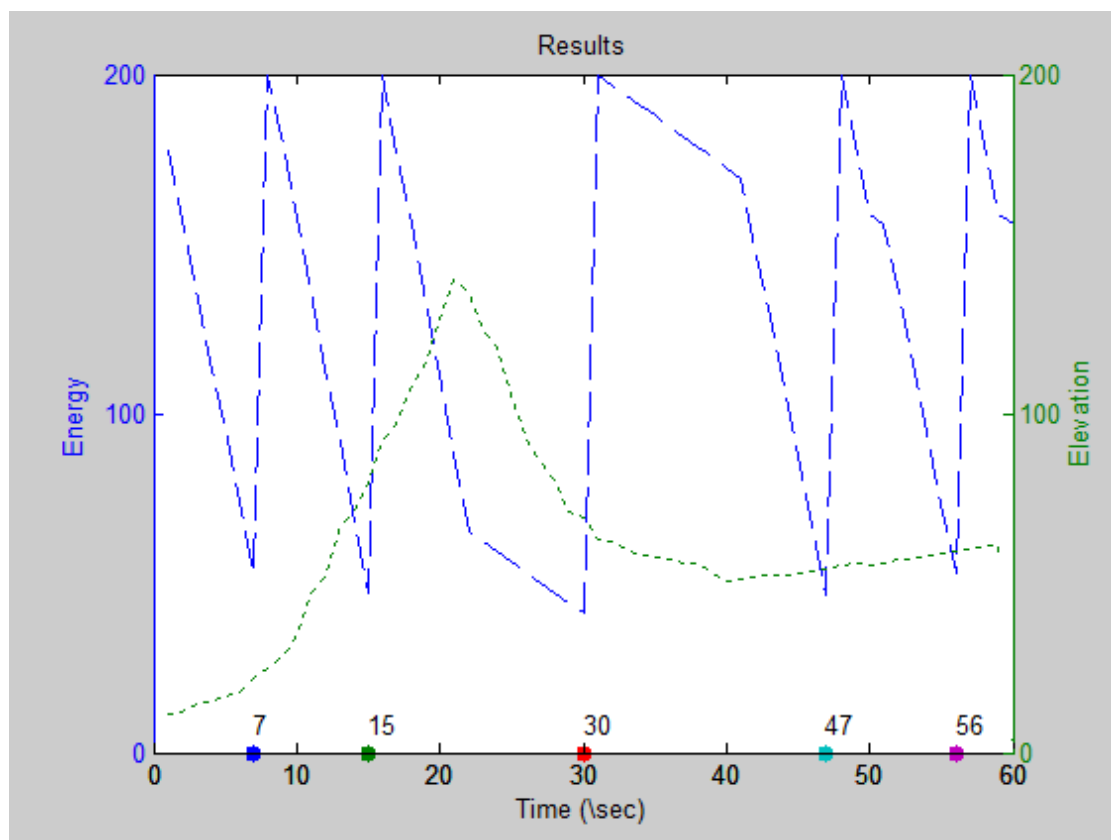
Στον παρακάτω πίνακα(Πίνακας 6) βλέπουμε τα αποτελέσματα όταν είναι ενεργοποιημένο το A/C αλλά όχι τα φώτα.

Πίνακας 6

<u>Μπαταρία</u>		
<u>Είδος Μπαταρίας</u>	<u>Χωρητικότητα(Kwh)</u>	<u>Στάσεις</u>
Lead-acid	400	12,33,52
Li-ion		12,34,53
NiMH		11,24,48
Lead-acid	300	9,19,43,54
Li-ion		9,19,43,54
NiMH		8,17,37,48,58

Lead-acid	200	6,13,20,41,48,56
Li-ion		6,13,20,41,48,56
NiMH		5,11,17,27,43,49,56
Lead-acid	100	3,7,11,15,19,26,38,43,47,52,56
Li-ion		3,7,11,15,19,26,38,43,47,52,56
NiMH		2,5,8,11,14,17,20,28,39,43,46,49,53,56

Στην παρακάτω Εικόνα(Εικόνα 15 Διακύμανση της Ενέργειας βλέπουμε την διακύμανση της ενέργειας καθώς και τις αναγκαστικές στάσεις του τρένου όταν το βάρος είναι 45000 Kg, η ταχύτητα 100km/h, ο αριθμός των επιβατών 100,η χωρητικότητα της μπαταρίας 200 Kwh και η μπαταρία είναι Lead-acid.



Εικόνα 15 Διακύμανση της Ενέργειας

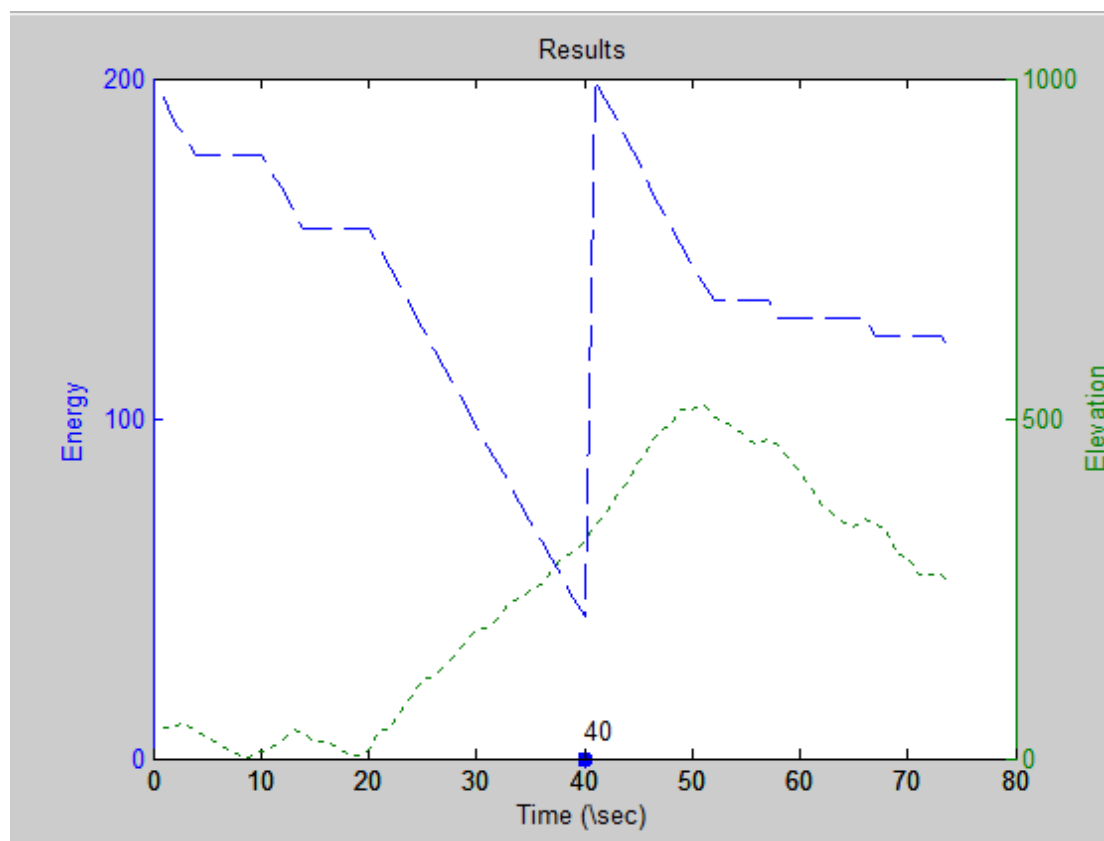
Για Άνω Λεχώνια –Μηλιές

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7)μεταβάλλεται η ενέργεια της μπαταρίας. Η ταχύτητα είναι σταθερή στα 25Km/h το βάρος είναι 10000Kg, οι επιβάτες είναι 50 και τα φώτα και το A\C είναι απενεργοποιημένα.(Φώτα και A\C δεν είναι εγκατεστημένα στο τρένακι)

Πίνακας 7

<i>Είδος Μπαταρίας</i>	<i>Χωρητικότητα(Kwh)</i>	<i>Στάσεις</i>
Lead-acid	200	40
Li-ion		43
NiMH		38
Lead-acid	100	24,43
Li-ion		28,44
NiMH		25,39,59

Στην παρακάτω Εικόνα(Εικόνα 16) βλέπουμε την διακύμανση της ενέργειας καθώς και τις αναγκαστικές στάσεις του τρένου όταν το βάρος είναι 10000 Kg, η ταχύτητα 25km/h, ο αριθμός των επιβατών 50,η χωρητικότητα της μπαταρίας 200 Kwh και η μπαταρία είναι Lead-acid.



Εικόνα 16 Διακύμανση της Ενέργειας

Σε αυτό το σημείο θα ασχοληθούμε με τα φωτοβολταϊκά συστήματα και κυρίως με την ενέργεια που παράγουν, την φόρτιση των μπαταριών μέσω αυτών καθώς και τις διαδρομές που μπορεί να κάνει το τρένο ημερησίως. Κάθε φορά ο χρήστης θα μπορεί να βάζει ο ίδιος την έκταση, σε τετραγωνικά μέτρα, των φωτοβολταϊκών συστημάτων, το είδος, τον μήνα που επιθυμεί να γίνει η προσομοίωση καθώς και τον αριθμό των σταθμών που θα είναι εγκατεστημένα τα φωτοβολταϊκά.

Οι πίνακες παρακάτω(Πίνακας 8,Πίνακας 9) απεικονίζουν αποτελέσματα της προσομοίωσης για την διαδρομή Βόλος-Λάρισα.Το είδος της μπαταρίας είναι Li-ion, οι επιβάτες 100 και η ταχύτητα 100Km/h και απενεργοποιημένα φώτα και A\C.

Πίνακας 8

<u>Τρένο</u>	<u>Μπαταρία</u>	
<u>Βάρος(Kg)</u>	<u>Χωρητικότητα(Kwh)</u>	<u>Στάσεις</u>
40000	300	13,46
	200	9,18,47,58
	100	4,9,14,19,43,48,54
30000	300	14,48
	200	9,19,48
	100	4,9,14,19,43,49,56
20000	300	15,51
	200	10,20,50
	100	5,11,17,42,48,55
10000	300	16,53
	200	11,42,55
	100	5,11,17,42,48,55

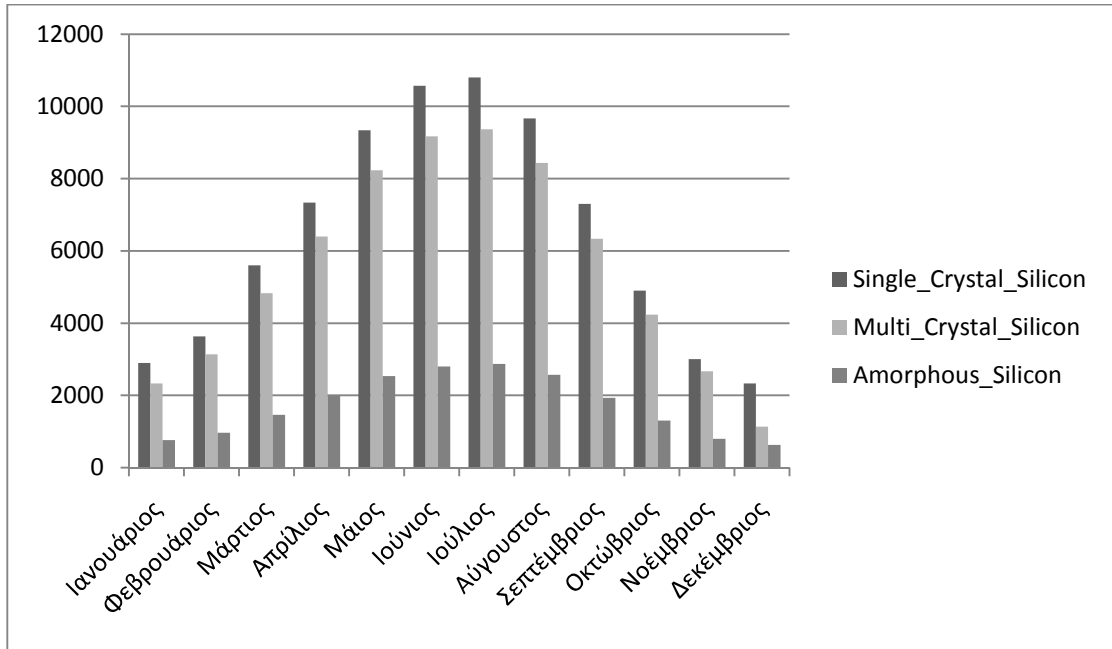
Τώρα θα μεταβάλλουμε την ταχύτητα ενώ το βάρος θα είναι στα 40000Kg, ο αριθμός των επιβατών στους 100 και η μπαταρία είναι η Li-ion.

Πίνακας 9

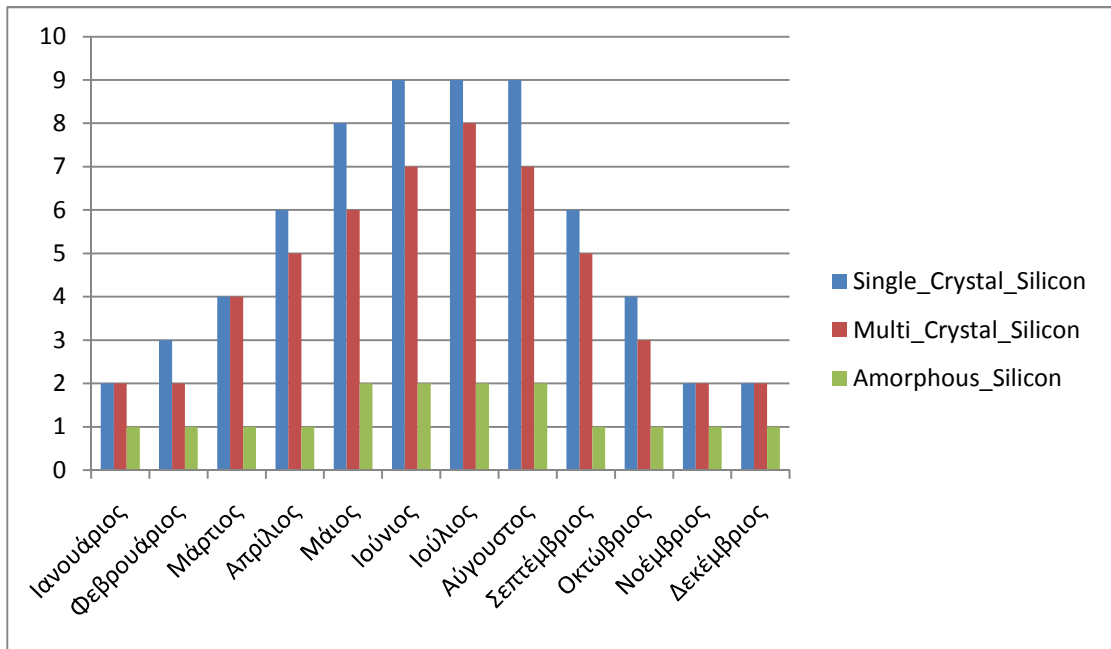
<u>Τρένο</u>	<u>Μπαταρία</u>	
<u>Ταχύτητα (Km/h)</u>	<u>Χωρητικότητα(Kwh)</u>	<u>Στάσεις</u>
70	300	17,55
	200	11,42,56
	100	6,12,18,43,51
80	300	15,52
	200	10,41,55
	100	5,11,17,42,58
90	300	14,48
	200	10,20,51
	100	5,11,16,46,53

Ο υπολογισμός των διαδρομών γίνεται για έκταση φωτοβολταϊκών 10000m², μπαταρία χωρητικότητας 200 Kwh, ταχύτητα 100 Km/h,100 επιβάτες ,το βάρος του τρένου 44769 Kg και ενεργοποιημένα τα φώτα. Στο πρώτο γράφημα (Εικόνα 17 Η ενέργεια σε Kwh για μία μέρα του μήνα και για τα τρία είδη Φ\Β) βλέπουμε την ενέργεια σε Kwh για τους τρεις τύπους φωτοβολταϊκών για μια μέρα του μήνα για όλους τους μήνες. Και στα δυο επόμενα(Εικόνα 18,Εικόνα 19) βλέπουμε τις διαδρομές που μπορεί να κάνει το τρένο με μπαταρία Lead-acid και NiMH αντίστοιχα. Για την μπαταρία Li-ion δεν υπολογίζουμε τις

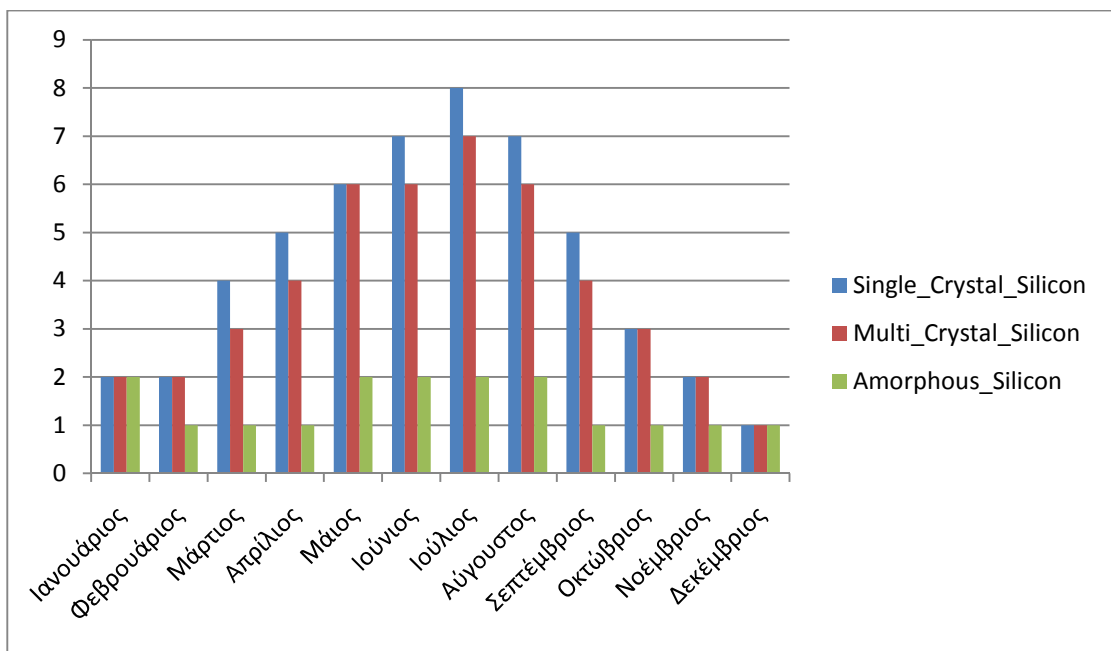
διαδρομές γιατί ο αριθμός των στάσεων είναι ο ίδιος με αυτόν των Lead-acid μπαταριών γιατί όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω για τον υπολογισμό των διαδρομών πολλαπλασιάζω τον αριθμό των σταθμών με την χωρητικότητα της μπαταρίας. Να σημειωθεί εδώ πως βλέπουμε την ενέργεια που παράγεται σε ένα σταθμό φωτοβολταϊκών και έτσι ο συνολικός αριθμός των διαδρομών υπολογίζεται αν πολλαπλασιάσουμε τον αριθμό των σταθμών (το δίνει ο χρήστης) με τον αριθμό των διαδρομών που φαίνονται στην



Εικόνα 17 Η ενέργεια σε Kwh για μία μέρα του μήνα και για τα τρία είδη Φ\Β



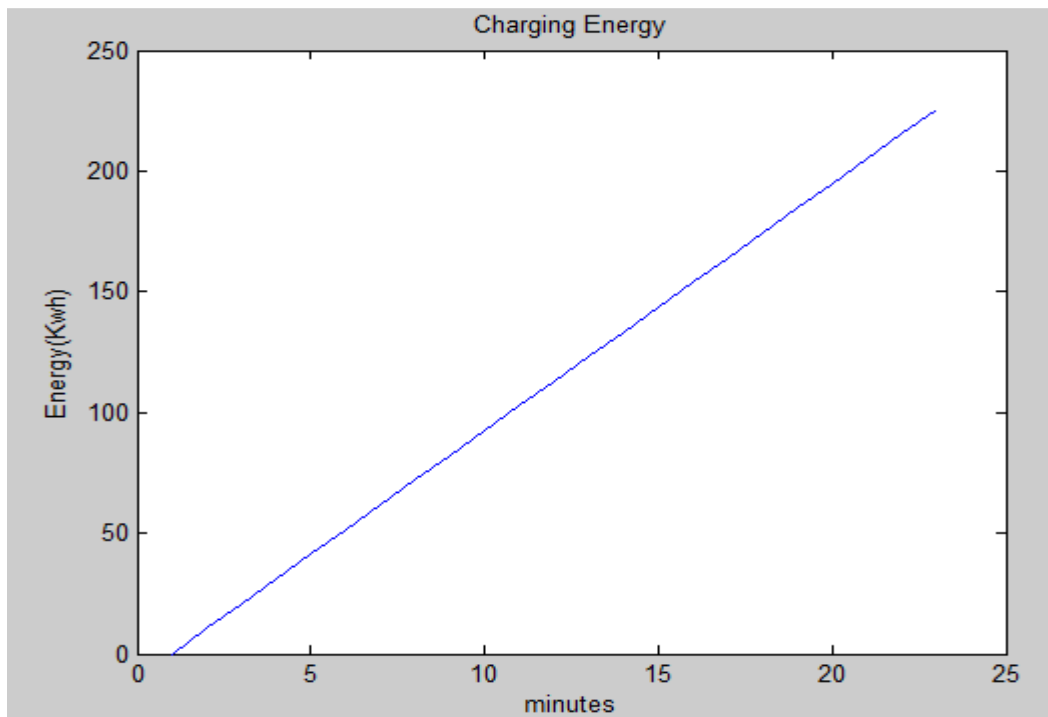
Εικόνα 18 Αριθμός Διαδρομών για μια μέρα με βάση την διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια για Lead-acid μπαταρία



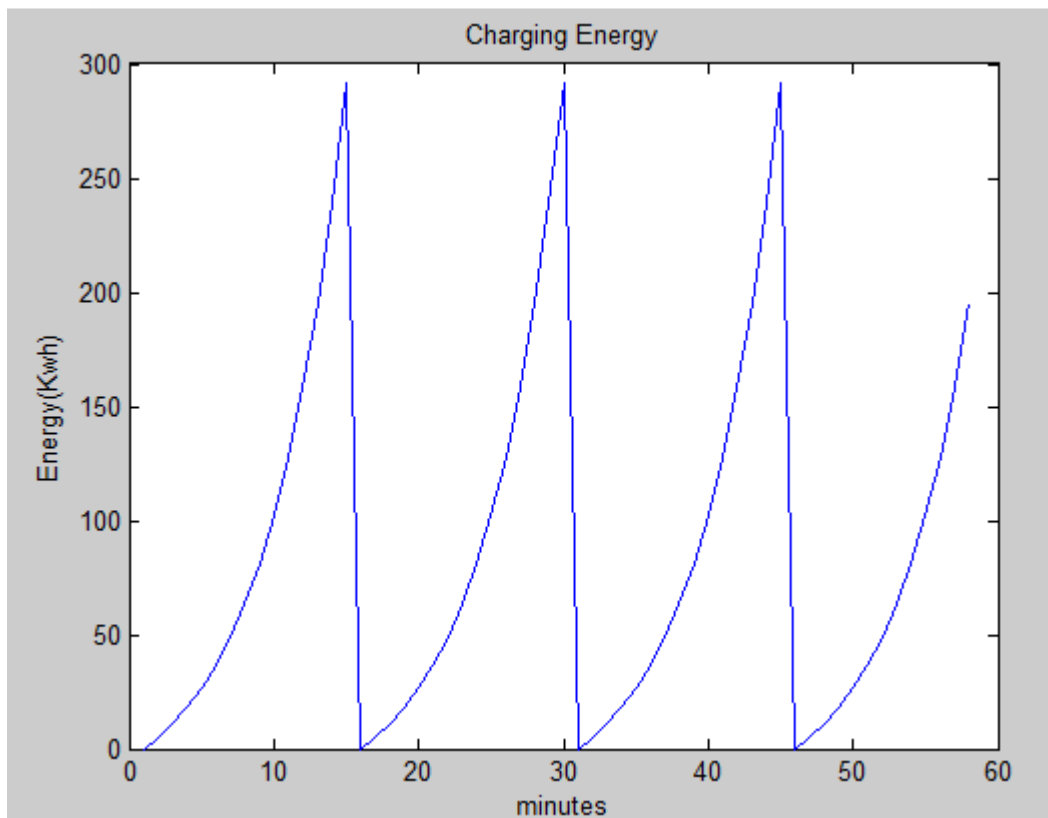
Εικόνα 19 Αριθμός Διαδρομών για μια μέρα με βάση την διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια για NiMH μπαταρία

Για την περιοχή Μηλιές και Άνω Λεχώνια η ηλιακή ακτινοβολία έχει την ίδια τιμή με αυτή στην περιοχή του Βόλου και το παραδοσιακό τρενάκι του Βόλου εκτελεί μόνο μια διαδρομή καθημερινά και βασιζόμενοι στα παραπάνω συμπεραίνουμε πως είναι εφικτό να κάνει μια αμφίδρομη διαδρομή καθώς και η αντικατάσταση της μπαταρίας με ήδη φορτισμένες. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η μπαταρία θα φορτίζεται είτε από τα φωτοβολταϊκά συστήματα είτε από το κύκλωμα της ΔΕΗ. Στην παρακάτω εικόνα(Εικόνα 20) φαίνεται η φόρτιση της

μπαταρίας από τα φωτοβολταϊκά ενώ στην παρακάτω εικόνα(Εικόνα 21) από το κύκλωμα της ΔΕΗ και παρατηρείται πως αν η μπορώ να φορτίσω περισσότερες μπαταρίες.



Εικόνα 20



Εικόνα 21

5 Ανασκόπηση και Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκε κατά πόσο είναι εφικτή η δημιουργία ενός τρένου το οποίο βασίζεται αποκλειστικά στην χρήση ηλιακής ενέργειας για την κίνηση καθώς και όλες τις λειτουργίες που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια. Μελετήθηκαν τα υπάρχοντα εργαλεία προσομοίωσης συστημάτων ενέργειας και αναλύθηκαν διεξοδικά οι λόγοι επιλογής του GridLAB-D ως το καταλληλότερο, για την εξυπηρέτηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εργαλείο. Μοντελοποιήθηκαν και προσομοιώθηκαν οι διαδρομές Βόλου – Λάρισας και Λεχώνια – Μηλιές και παρατέθηκαν τα αποτελέσματα των πειραμάτων για ένα ευρύ φάσμα τιμών που αφορούσαν την χωρητικότητα της μπαταρίας, το βάρος του τρένου, το είδος της μπαταρίας, την ταχύτητα του τρένου, το είδος των φωτοβολταϊκών, την έκταση των φωτοβολταϊκών και τον μήνα του χρόνου.

Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα που παρατίθενται παραπάνω συμπεράναμε ότι είναι εφικτή η υλοποίηση ενός τέτοιου εγχειρήματος, καθώς είναι δυνατή η υποστήριξη ενός τρένου αποκλειστικά τροφοδοτούμενου από ηλιακή ενέργεια που θα πληρεί τις απαιτήσεις ταχύτητας, χρόνου ταξιδιού και δυνατότητας μεταφοράς επιβατών που έχουν τα συμβατικά τρένα. Επίσης καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι οι καταλληλότερες μπαταρίες είναι οι Lead-acid και οι Li-ion καθώς μειώνονται οι απαιτούμενες για επαναφόρτιση στάσεις.

Η αυτονομία του τρένου θα μπορούσε μελλοντικά να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο με την χρήση ultracapacitors οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να φορτίζονται ταχύτερα από τις συμβατικές μπαταρίες αλλά και να αποφορτίζονται γρηγορότερα. Συνεπώς, θα μπορούσε να επαυξηθεί η αρχιτεκτονική μας έτσι ώστε, είτε μέσω των ultracapacitors να τροφοδοτούμε την μπαταρία σε κρίσιμο σημείο αποφόρτισης, είτε να δίνουμε τα επιπλέον ποσά ενέργειας (ώθηση) που μπορεί να απαιτηθούν σε διάφορες καταστάσεις πχ κίνηση του τρένο σε ανηφορικό επίπεδο.

Άλλο ένα πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε είναι η χαμηλή απόδοση των φωτοβολταϊκών γεγονός που μας αναγκάζει, είτε να χρησιμοποιήσουμε πολλές συστοιχίες μπαταριών, είτε να επεκτείνουμε το χρόνο παραμονής στις διάφορες στάσεις. Μελλοντικά όμως με την βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών όλα αυτά τα προβλήματα μπορούν να επιλυθούν. Επίσης, υπάρχουν τεχνικές για χρήση φωτοβολταϊκών είτε στα παράθυρα είτε στις κουρτίνες των οχημάτων. Με αυτόν λοιπόν τον τρόπο θα μπορούσαν να καλυφθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις που αφορούν τον φωτισμό και κλιματισμό των βαγονιών επεκτείνοντας ακόμη περισσότερο την ενεργειακή αυτονομία του τρένου.

Να σημειώσουμε τέλος ότι το οικονομικό κόστος που απαιτείται για την εκπλήρωση του στόχου μας εξαρτάται από τον τύπο, την χωρητικότητα της μπαταρίας και τον τύπο των φωτοβολταϊκών, μεγέθη που απαιτούν κατάλληλη επιλογή για να πετύχουμε αποδεκτά επίπεδα αυτονομίας.

Ενδεικτικά:

Πίνακας 10

Μπαταρία		
Χωρητικότητα(Kwh)	Είδος	Κόστος(€)
100	Lead-acid	12.500
	Li-ion	34.500
	NiMH	72.800
200	Lead-acid	25.000
	Li-ion	69.000
	NiMH	145.600

Πίνακας 11

Φωτοβολταϊκά	
Είδος	Κόστος(€/w)
polycrystalline	1.56
monctystalline	1.44

6 Βιβλιογραφία

1. Inductively Coupled Power Transfer for Continuously Powered Electric Vehicles
Zeljko Pantic, Sanzhong Bai and Srdjan M. Lukic
2. [Power_system_simulation](#)
3. [Simpow](#)
4. [InterPSS](#)
5. [Neplan](#)
6. [PowerWorld Simulator](#)
7. [Simpower](#)
8. [AEPS](#)
9. [PSAF](#)
10. [Mictotran](#)
11. [Agora](#)
12. [V&R Energy](#)
13. [Fendi](#)
14. [sourceforge.net](#)
15. [Gridlabd](#)
16. [Beginner's_Guide_to_GridLAB-D](#)
17. [Modules_and_Classes](#)
18. [sourceforge.net](#)
19. http://www.dtu.dk/upload/centre/cet/det_skер/09/powerevent_200910091500.pdf
20. Air Pollution from Motor Vehicles Standards and Technologies for Controlling Emissions
21. Electric Vehicles batteries
22. [Φωτοβολταϊκά Συστήματα](#)
23. [Τύποι Φωτοβολταϊκών](#)
24. [Ρυθμιστής Φόρτισης](#)
25. [earthpower](#)
26. [Batteries](#)
27. [CapacityofBatteries](#)
28. Lead-Acid Batteries by Richard Perez
29. [all about batteries](#)

30. [State of Battery Charge](#)
31. [Charging cycle](#)
32. http://www.batteryeducation.com/2006/04/battery_degrada.html
33. http://www.windsun.com/Batteries/Battery_FAQ.htm#Using a deep cycle battery as a starting battery
34. [EV battery](#)
35. [Charging Lead acid](#)
36. [Charging NiMH](#)
37. [Charging Li-ion](#)
38. [Τύποι Φόρτισης μπαταριών](#)
39. [Soltrain, Specifications](#)
40. [Robla Solar](#)
41. [The application of innovative photovoltaic technology to the railwayTrains.](#)
42. [solar-trains-belgium](#)
43. [Swiss Road Train](#)
44. http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_storage
45. [Ρυθμιστές φόρτισης σειράς PCM](#)
46. [Characteristics of Trains](#)
47. [Energy Storage System with UltraCaps on Board of Railway Vehicles Dr. Michael Steiner, Markus Klohr](#)
48. <http://www.informacioncursos.com/energia-solar/tecnologa-verde-tren-solar/>