



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Εκπαίδευση μηχανικών στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με χρήση σύγχρονων
εργαστηριακών και διδακτικών μεθόδων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Δημήτρη-Ηλία Γάτου

Επιβλέπων : Νικόλαος Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Εκπαίδευση μηχανικών στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με χρήση σύγχρονων
εργαστηριακών και διδακτικών μεθόδων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Δημήτρη-Ηλία Γάτου

Επιβλέπων : Νικόλαος Χατζηαργυρίου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2η Μαρτίου 2018

.....
Νικόλαος Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Σταύρος Παπαθανασίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Πάυλος Γεωργιλάκης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2018

.....
Δημήτριος-Ηλίας Γάτος

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

Copyright © Δημήτριος-Ηλίας Γάτος, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας αλλάζουν μορφή τα τελευταία χρόνια, για αυτό οι νέοι μηχανικοί πρέπει να είναι καλά εκπαιδευμένοι σε θέματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και έξυπνων δικτύων.

Στο πλαίσιο της εργασίας παρουσιάζονται προηγμένες εφαρμογές εκπαίδευσης στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέσα από ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. Καταρχάς περιγράφονται εφαρμογές απομακρυσμένων εργαστηρίων (Hardware Laboratory At Distance) στα οποία ο φοιτητής-χρήστης αποκτά πρόσβαση χωρίς φυσική παρουσία, και εργαστήρια στα οποία απαιτείται η φυσική του παρουσία. Στη συνέχεια παρουσιάζονται προσομοιώσεις που χρησιμοποιούν λογισμικό (Software in the lab) που είναι εγκατεστημένο στους υπολογιστές του εργαστηρίου και πειράματα λογισμικού στο διαδίκτυο (Software in the web) που είναι άμεσα προσβάσιμα από τους φοιτητές-χρήστες χωρίς να χρειάζεται να παρίστανται στο χώρο του εργαστηρίου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σύγχρονες διδακτικές μεθοδολογίες που εφαρμόζονται σε πανεπιστήμια και μπορούν να συμπληρώσουν την παραδοσιακή διδασκαλία.

Το Active learning εμπλέκει τους φοιτητές-μαθητές σε δραστηριότητες πέρα από το να κοιτάζουν, να ακούνε και να κρατάνε σημειώσεις. Η επαγωγική διδασκαλία (παρουσίαση και ανάλυση παραδειγμάτων, ανάδειξη των χαρακτηριστικών της έννοιας και ολοκλήρωση με τη διατύπωση του ορισμού) είναι ένας όρος «ομπρέλα» που περιλαμβάνει μια σειρά από εκπαιδευτικές μεθόδους, συμπεριλαμβανομένης της μάθησης βασισμένης σε προβλήματα (Problem-based Learning), της μάθησης βάσει project (Project-based Learning), της μάθησης βάσει περιπτώσεων (Case-based Learning), την μάθηση μέσω της ανακάλυψης και τη διδασκαλία just-in-time. Αυτές οι μέθοδοι έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά, όπως το ότι επικεντρώνονται στον φοιτητή/μαθητή, που σημαίνει ότι δίνουν μεγαλύτερη ευθύνη στους μαθητές για τη δική τους μάθηση από ό,τι η παραδοσιακή διδασκαλία.

Στην παρούσα διπλωματική παρουσιάζονται εφαρμογές του συνδυασμού των παραπάνω τρόπων εκμάθησης με τη χρήση της τεχνολογίας στην εκπαίδευση των μηχανικών σε θέματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Θα παρουσιαστούν ποικίλα και καινοτόμα πειράματα και projects που έχουν πραγματοποιηθεί σε πανεπιστήμια ανά τον κόσμο και θα κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τον τρόπο που διεξάγονται, (π.χ. software, hardware etc).

Τέλος, ως εφαρμογή των παραπάνω, υλοποιήθηκε μια διαδικτυακή εφαρμογή που επιτρέπει στον χρήστη να διεξάγει προσομοιώσεις ενός μικροδικτύου σε διασυνδεδεμένη και απομονωμένη λειτουργία. Το γραφικό περιβάλλον στέλνει τιμές διάφορων μεταβλητών σε Excel αρχείο στο οποίο γίνονται οι υπολογισμοί και στη συνέχεια λαμβάνει νέες τιμές προσομοιώνοντας διάφορα σενάρια.

Λέξεις - Κλειδιά

Hardware LAD (Laboratory At Distance), Software in the Lab, E-Learning, Software from Distance, Active Learning, Problem-Based Learning, Project-Based Learning, Case-Based Teaching, Just-in-Time Teaching, μικροδίκτυο, Ισοζύγιο Ισχύος, έλεγχος στατισμού

Abstract

Power Systems have changed in recent years, so new engineers need to be well trained in renewable energy and smart grids.

In the context of this thesis, advanced training applications for renewable energy sources are presented through a review of the literature. First, there are described applications of remote laboratories (Hardware Laboratory At Distance) in which the student user is accessed without physical presence, and laboratories in which his physical presence is required. Next, what is presented is the software in the lab that is installed in the laboratory computers and software in the web that are accessible by students without the need to attend the premises of the laboratory.

Then, we present modern teaching methodologies that apply to universities and can complement traditional teaching.

Active learning involves students in activities beyond looking, listening, and taking notes. Inductive teaching (presenting and analyzing examples, highlighting the features of the concept and completing it with the wording of the definition) is an umbrella term that includes a series of educational methods, including Problem-based Learning, Project-based Learning, Case-Based Learning, discovery-based learning, and just-in-time teaching. These methods have many common features, such as focusing on student, which means they give more responsibility to students for their own learning than traditional teaching.

The present thesis presents applications of the combination of the above learning methods with the use of technology in the training of engineers on renewable energy. Various and innovative experiments and projects from universities around the world will be presented and will be categorized according to how they are conducted (e.g. software, hardware etc).

Finally, as an application of the above, a web-based application has been implemented that allows the user to perform simulations of a micro grid in an interconnected and isolated operation. The graphical environment sends values of various variables to an Excel file where the calculations are made, and then receives new values by simulating different scenarios.

Key-words

Hardware LAD (Laboratory At Distance), Software in the Lab, E-Learning, Software from Distance, Active Learning, Problem-Based Learning, Project-Based Learning, Case-Based Teaching, Just-in-Time Teaching, microgrid, power balance, Droop control

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του Ε.Μ.Π. Νικόλαο Χατζηαργυρίου, του οποίου οι διαλέξεις στο πλαίσιο των προπτυχιακών μαθημάτων, «Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας)» και «Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Ασύμμετρες και Μεταβατικές Καταστάσεις)», με παρότρυναν να εμβαθύνω τις γνώσεις μου και να εργαστώ περαιτέρω στην ερευνητική περιοχή της Ενέργειας και των Ανανεώσιμων Πηγών καθώς και στον τρόπο διδασκαλίας τους.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Κο. Πάνο Κοτσαμπόπουλο, για τη καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές, τις υποδείξεις και τη γνώση που μου παρείχε, κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τον ευχαριστώ θερμά για την άψογη συνεργασία και το ενδιαφέρον το οποίο υπέδειξε καθώς και την υπομονή που επέδειξε απεναντί μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τον Κο. Μάριο Μανιατόπουλο για τις πολύτιμες συμβουλές και τις κατευθυντήριες οδηγίες του για την υλοποίηση του εικονικού εργαστηρίου και τον Κο. Γιώργο Τεκελή για την υλοποίηση του γραφικού περιβάλλοντος της εφαρμογής.

Τέλος, δε θα πρέπει να παραλείψω να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου Τζανή, Σταύρο και Ιορδάνη για τη συμπαράσταση που μου προσέφεραν καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές τους σε ποικίλα θέματα.

1 Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Λέξεις - Κλειδιά.....	6
Abstract	7
Key-words.....	7
Ευχαριστίες.....	9
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ.....	19
2.1 Hardware LAD (Laboratory At Distance).....	19
2.1.1 Μελέτη ανεμογεννήτριας.....	20
2.1.2 Σημείο μέγιστης ισχύος φωτοβολταϊκών	29
2.1.3 Ανάπτυξη και εφαρμογή ενός E-learning συστήματος για εργαστήριο ηλεκτρικών κυκλωμάτων.....	38
2.2 Hardware Labs.....	45
2.2.1 Εργαστηριακά πειράματα με αιολική ενέργεια.....	45
2.3 Software in the lab.....	49
2.3.1 Ένα E-Learning εργαλείο ελέγχου Ισχύος και διαχείρισης ενέργειας σε DC Μικροδίκτυα	49
2.3.2 Μέθοδος εκμάθησης μεθοδολογιών για την τιμολόγηση μεταφοράς ενέργειας	58
2.4 Software from Distance	67
2.4.1 Ηλεκτρικά οχήματα τροφοδοτούμενα με ηλιακή ενέργεια.....	67
2.4.2 Απόδοση φωτεινότητας σύγχρονων πηγών φωτός	74
2.5 Βέλτιστες πρακτικές και ειδικές παρατηρήσεις	79
3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ.....	85

3.1	Ενεργή Μάθηση (Active Learning).....	86
3.2	Διερευνητική μάθηση (Inquiry Learning)	89
3.3	Μάθηση βασισμένη στο πρόβλημα (Problem-Based Learning)	90
3.4	Μάθηση βασισμένη στο έργο (Project-Based Learning) και υβριδικές (Problem/Project-based) προσεγγίσεις.....	96
3.5	Διδασκαλία βασισμένη σε περιπτώσεις (Case-based Teaching).....	99
3.6	Just-in-time Teaching (JiTT).....	101
3.7	Κριτήρια επιλογής και εφαρμογής μιας επαγωγικής μεθόδου διδασκαλίας	103
3.8	Σύνοψη	109
4	ΕΙΚΟΝΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΝΟΣ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ	111
4.1	Connected Mode – Τήρηση ορίων ισχύος.....	114
4.2	Απομονωμένη λειτουργία – Ισοζύγιο ισχύος	116
4.3	Απομονωμένη λειτουργία – Έλεγχος στατισμού	118
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	122
	Βιβλιογραφία	124

Λίστα εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1: DATA PUMP APPLICATION INTERFACE [4].....	21
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΣΧΗΜΑ ΤΟΥ WEBSITE[4]	22
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΣΧΕΔΙΟ ΤΟΥ WEBSITE [4]	23
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΣΧΕΔΙΟ ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΤΟΥ ΛΟΦΟΥ ΣΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΕΙΝΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΗ Η ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ[4]	24
ΕΙΚΟΝΑ 5: 3D ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ[4].....	25
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΚΟΥΜΠΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ[4]	26
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΠΛΗΡΩΣ ΑΝΕΠΤΥΓΜΕΝΟ GUI[4]	27
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ[4]	28
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ[15].....	30
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ[15].....	31
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΠΑΝΕΛ I-V/P-V ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ[15].....	32
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΒΑΣΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ[15]	34
ΕΙΚΟΝΑ 13: MPPT USER INTERFACE[15]	35
ΕΙΚΟΝΑ 14: DC-DC BUCK ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ MPP TRACKER[15]	36
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ MPPT CONVERTER ΟΤΑΝ ΚΑΙ ΟΙ 2 ΛΑΜΠΕΣ ΕΙΝΑΙ ΑΝΟΙΧΤΕΣ[15].....	37
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ[6]	39
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΡΥΘΜΙΣΗΣ: Α) ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Β) ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ[6]	40
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ VIRTUAL INSTRUMENTATION[6].....	41
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΙΑ ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ RL[6].....	42
ΕΙΚΟΝΑ 20: VI ΓΙΑ ΤΟ RL ΚΥΚΛΩΜΑ[6].....	43
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΔΡΟΜΕΑ ΚΑΙ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ [16]	48
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΠΗΓΩΝ [7].....	50
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ 1ΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ [7].....	51
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΤΟΝ ΖΥΓΟ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ [7].....	52
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΤΟΝ ΖΥΓΟ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ [7].....	52
ΕΙΚΟΝΑ 26: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ [7]	53
ΕΙΚΟΝΑ 27: ΝΕΟΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ[7]	56
ΕΙΚΟΝΑ 28: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ[7]	56
ΕΙΚΟΝΑ 29: ΙΣΧΥΣ ΦΟΡΤΙΟΥ[7].....	57
ΕΙΚΟΝΑ 30: GUI ΤΟΥ TPS[5]	62
ΕΙΚΟΝΑ 31: ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΣΧΥΟΣ GARVER 6 ΖΥΓΩΝ[5]	64
ΕΙΚΟΝΑ 32: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΡΑΜΜΗΣ [5]	65
ΕΙΚΟΝΑ 33: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΖΥΓΩΝ[5].....	65
ΕΙΚΟΝΑ 34: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ [11]	70

ΕΙΚΟΝΑ 35: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ [11]	71
ΕΙΚΟΝΑ 36: ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ [11]	72
ΕΙΚΟΝΑ 37: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΤΟΥ PV ΠΑΝΕΛ [11].....	73
ΕΙΚΟΝΑ 38: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ [11]	74
ΕΙΚΟΝΑ 39: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ [11]	76
ΕΙΚΟΝΑ 40: ΤΥΠΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΠΡΟΥ LED [11].....	77
ΕΙΚΟΝΑ 41: ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ [11]	78
ΕΙΚΟΝΑ 42: ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ [12]	81
ΕΙΚΟΝΑ 43: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΒΛΟΟΜ.....	101
ΕΙΚΟΝΑ 44: ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΠΙΒΑΛΛΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΕΠΑΓΩΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ [2]	105
ΕΙΚΟΝΑ 45: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ [1]	105
ΕΙΚΟΝΑ 46: GRAPHICAL USER INTERFACE OF THE MICRO-GRID	112
ΕΙΚΟΝΑ 47: EXCEL SHEET ΤΟΥ 1 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ	114
ΕΙΚΟΝΑ 48: EXCEL SHEET ΤΟΥ 2 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ	116
ΕΙΚΟΝΑ 49: EXCEL SHEET ΤΟΥ 3 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ	118

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην σημερινή πραγματικότητα η χρήση της τεχνολογίας για την διδασκαλία και την μετάδοση γνώσεων και εμπειρίας θεωρείται επιβεβλημένη. Η άμεση επαφή των νέων μηχανικών με το αντικείμενο που διδάσκονται, όπως για παράδειγμα πραγματικός εξοπλισμός, εγκαταστάσεις και εργαστήρια, θα τους βοηθήσει να κατανοήσουν και να εξελίξουν την γνώση που αποκτούν από τον διδάσκοντα. Στην παρούσα διπλωματική θα αναλυθούν και μελετηθούν πειράματα και projects που βασίζονται σε τέσσερις (4) κατηγορίες:

- Απομακρυσμένο εργαστήριο (Hardware Laboratory At Distance)
- Εργαστήριο (Hardware lab)
- Λογισμικό στο εργαστήριο (Software in the lab)
- Λογισμικό στο διαδίκτυο (Software in the web)

Στο Hardware LAD ή απομακρυσμένο εργαστήριο (remote lab) οι φοιτητές συμμετέχουν στις ασκήσεις χρησιμοποιώντας πραγματικό εξοπλισμό (όπως ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πάνελ, μικροκυκλώματα κ.λ.π) που βρίσκεται σε εγκαταστάσεις μακριά από αυτούς. Οι φοιτητές, όντας ικανοί να διαχειρίζονται και να ελέγχουν τον διαθέσιμο εξοπλισμό από απόσταση, εκτελούν τις ασκήσεις θέτοντας τις εκάστοτε παραμέτρους στον εξοπλισμό. Έτσι οι φοιτητές είναι σε θέση να εκτελούν πειράματα που υπό άλλες προϋποθέσεις δεν θα μπορούσαν να πραγματοποιήσουν λόγω των συνθηκών πρόσβασης στις εγκαταστάσεις (μεγάλη απόσταση από το πανεπιστήμιο, υψηλό κόστος μεταφοράς των φοιτητών κ.λ.π).

Τα Hardware labs πειράματα είναι ίδια με τα προαναφερθέντα με μία βασική διαφορά. Δεν επιτρέπουν την απομακρυσμένη σύνδεση των φοιτητών με τον εξοπλισμό αλλά απαιτούν την φυσική παρουσία τους στον χώρο εγκατάστασης για την διεξαγωγή των πειραμάτων. Έτσι οι φοιτητές χάνουν το πλεονέκτημα της απομακρυσμένης διεξαγωγής πειραμάτων, όμως κερδίζουν την εμπειρία το να δουν και να επεξεργαστούν από κοντά τον απαραίτητο εξοπλισμό για την διεκπεραίωση των ασκήσεων.

Τα Software in the lab πειράματα λαμβάνουν χώρα στα εργαστήρια της εκάστοτε σχολής και για την διεξαγωγή τους χρησιμοποιείται ένα λογισμικό ή μια εφαρμογή που είναι εγκατεστημένη στους υπολογιστές του εργαστηρίου. Οι εφαρμογές αυτές αποτελούν στην ουσία μια προσομοίωση εξοπλισμού σε κατάσταση λειτουργίας (π.χ αναπαράσταση ενός μικροδικτύου, μιας

ανεμογεννήτριας, ενός φωτοβολταϊκού κ.λ.π) και επιτρέπουν στους φοιτητές να διαχειρίζονται και να επεξεργάζονται το σύστημα ελεύθερα και να παίρνουν μετρήσεις. Τα πειράματα αυτά απαιτούν την φυσική παρουσία των φοιτητών στο εργαστήριο, όπου με την βοήθεια του διδάσκοντα θα εξοικειωθούν με την εφαρμογή και θα είναι σε θέση να λύσουν ασκήσεις και προβλήματα που βασίζονται στο περιβάλλον προσομοίωσης που παρουσιάζει η εκάστοτε εφαρμογή.

Τα Software in the web πειράματα αφορούν εφαρμογές σαν τις προαναφερθέντες, που όμως βρίσκονται στο διαδίκτυο και είναι άμεσα προσβάσιμες από τους φοιτητές χωρίς να χρειάζεται να παρίστανται στο χώρο του εργαστηρίου. Οι φοιτητές μπορούν να έχουν πρόσβαση κατευθείαν από το σπίτι τους στην εφαρμογή και χρησιμοποιώντας την, να λύνουν τις ασκήσεις και τα προβλήματα που τους ανατίθενται από τον διδάσκοντα κατά την διάρκεια της διδασκαλίας. Ίσως όμως θα πρέπει να εξοικειωθούν με την εφαρμογή και να μάθουν να την χρησιμοποιούν από μόνοι τους (ακολουθώντας γραπτές οδηγίες) καθώς δεν πραγματοποιούνται συναντήσεις δια ζώσης για την διεξαγωγή των ασκήσεων.

Στα επιστημονικά μαθήματα παραδοσιακά ο διδάσκοντας πρώτα διδάσκει τους φοιτητές τη σχετική θεωρία και τα μαθηματικά μοντέλα, μετά προχωρά σε ασκήσεις και σε κάποιες περιπτώσεις σε εφαρμογές του πραγματικού κόσμου. Η πρακτική αυτή όμως έχει δεχτεί κριτική, καθώς ο φοιτητής κρατά σαν κίνητρο την υπόσχεση ότι η ύλη αυτή θα του χρειαστεί σε μετέπειτα μαθήματα και θα του φανεί χρήσιμη στην καριέρα του [2] χωρίς όμως να είναι σίγουρος γι' αυτό.

Ένας τρόπος διδασκαλίας που έχει προταθεί είναι η επαγωγική μάθηση, κατά την οποία ο διδάσκοντας ξεκινά την διδασκαλία παρουσιάζοντας μια συγκεκριμένη πρόκληση στους φοιτητές, όπως την ανάλυση πειραματικών δεδομένων, μια μελέτη περίπτωσης προς ανάλυση ή ένα σύνθετο πρόβλημα του πραγματικού κόσμου που χρειάζεται επίλυση. Με αυτόν τον τρόπο οι φοιτητές αντιμετωπίζουν αυτές τις προκλήσεις γρήγορα, αναγνωρίζοντας την ανάγκη των δεδομένων, τις δεξιότητες που απαιτούνται και την εννοιολογική κατανόηση που χρειάζεται για την επίλυση του προβλήματος που έχουν να αντιμετωπίσουν. Ο διδάσκοντας παρέχει οδηγίες ή βοηθά τους φοιτητές να μάθουν μόνοι τους το αντικείμενο της διδασκαλίας. Κατά τη διερευνητική μάθηση (Inquiry-based learning) παρουσιάζεται στους φοιτητές μια πρόκληση που αν ανταποκριθούν σε αυτή θα επιτύχουν παράλληλα την επιθυμητή εκμάθηση του αντικείμενου του μαθήματος [2]. Η διερευνητική μάθηση έχει αποδειχτεί ότι είναι πιο αποτελεσματική από την παραδοσιακή διδασκαλία της επιστήμης στη βελτίωση της ακαδημαϊκής επίδοσης στην ανάπτυξη της σκέψης,

των εργαστηριακών δεξιοτήτων και στην επίλυση προβλημάτων [2].

Κάθε διδασκαλία που αρχίζει με μια πρόκληση για την οποία η απαιτούμενη γνώση δεν παρέχεται από την αρχή μπορεί να θεωρηθεί ως inquiry-based learning. Το πεδίο εφαρμογής της έρευνας μπορεί να ποικίλει από ένα τμήμα μιας ενιαίας διάλεξης έως ένα εξαμηνιαίο project. Υπό την έννοια αυτή, όλες οι επαγωγικές μέθοδοι διδασκαλίας είναι παραλλαγές της έρευνας, που διαφέρουν ουσιαστικά στην φύση της πρόκλησης και τον τύπο και το βαθμό της υποστήριξης-καθοδήγησης που παρέχεται από τον διδάσκοντα.

Στο μάθηση βασισμένη στο πρόβλημα (problem-based learning ή PBL) , οι φοιτητές – που συνήθως εργάζονται σε ομάδες – είναι αντιμέτωποι με ένα (συντά ανεπαρκώς δομημένο) πρόβλημα πραγματικού κόσμου που χρίζει επίλυσης. Αναλαμβάνουν ηγετικό ρόλο στον καθορισμό του προβλήματος επακριβώς, υπολογίζοντας τι ξέρουν και τι πρέπει να καθορίσουν για το πώς θα προχωρήσουν. Κατασκευάζουν και αξιολογούν τις εναλλακτικές λύσεις και επιλέγουν την καλύτερη δυνατή κάνοντας υποθέσεις. Όταν αισθανθούν την ανάγκη για οδηγίες ο διδάσκοντας είτε τους τις παρέχει είτε τους καθοδηγεί να αποκτήσουν την απαιτούμενη πληροφορία από μόνοι τους. Σύμφωνα με μελέτες, όπως του Prince και Felder [2] η PBL συνεισφέρει ενεργά στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων, στην εννοιολογική κατανόηση, στην ικανότητα να εφαρμόζονται στρατηγικές συλλογισμού, στις δεξιότητες ομαδικής εργασίας, ακόμα και στην παρακολούθηση στην τάξη.

Η μάθηση βασισμένη στο πρόβλημα δίνει στους φοιτητές την ευθύνη για τον καθορισμό των γνώσεων και των δεξιοτήτων που χρειάζονται για να προχωρήσουν σε κάθε φάση του προβλήματος και έτσι οι διδάσκοντες πρέπει να είναι προετοιμασμένοι να πάνε σε κατευθύνσεις που μπορεί να μην τους είναι οικείες. Περιλαμβάνει ένα φάσμα διδακτικών πρακτικών που ενδέχεται να προκαλέσουν την «δυσαρέσκεια» των φοιτητών, όπως το να συμπεριλαμβάνονται σύνθετα προβλήματα που δεν έχουν μοναδικές λύσεις και να αισθάνονται οι φοιτητές ότι πρέπει να καθορίσουν για τον εαυτό τους τι πρέπει να ξέρουν για την επίλυσή τους. Επίσης προβλήματα μπορεί να προκύψουν λόγω των διαπροσωπικών σχέσεων που αναπόφευκτα προκύπτουν όταν οι μαθητές εργάζονται σε ομάδες. Οι διδάσκοντες που διαθέτουν μόνο εκτεταμένη εμπειρία και κατάρτιση αλλά δεν έχουν την γνώση του αντικειμένου και την απαιτούμενη αυτοπεποίθηση θα μπορούσαν εύκολα να βρεθούν μπροστά στις αρνητικές αντιδράσεις των μαθητών τους.

Το Problem-based learning είναι αναμφισβήτητα το πιο δύσκολο να εφαρμοστεί από όλες τις επαγωγικές μεθόδους διδασκαλίας. Είναι χρονοβόρο να κατασκευαστούν αυθεντικά αόριστα

προβλήματα των οποίων η λύση απαιτεί το πλήρες φάσμα των δεξιοτήτων που προσδιορίζονται από τον διδάσκοντα ως μαθησιακοί στόχοι και έτσι συνιστάται στους διδάσκοντες να χρησιμοποιούν προβλήματα που έχουν ήδη αναπτυχθεί και δοκιμαστεί, αν και εφόσον υπάρχουν.

Το Project-based learning περιλαμβάνει αναθέσεις στους μαθητές να παράγουν κάτι, όπως μια διαδικασία ή το σχεδιασμό του προϊόντος, ένα κώδικα υπολογιστή ή μια προσομοίωση, το σχεδιασμό ενός πειράματος και την ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων. Το αποτέλεσμα του έργου παρουσιάζεται συνήθως με γραπτή ή προφορική έκθεση που συνοψίζει το τί έγινε και ποιο ήταν το αποτέλεσμα. Μελέτες που συνέκριναν το Project-based learning με τη συμβατική διδασκαλία έχουν αποφέρει αποτελέσματα παρόμοια με εκείνα για το Problem-based learning συμπεριλαμβανομένων σημαντικά θετικών αποτελεσμάτων στις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων, στην εννοιολογική κατανόηση και στην καλύτερη επίδοση των φοιτητών στα τεστ γνώσης του περιεχομένου [2]. Όμως σύμφωνα με την έρευνα των Mills και Treagust [2] τονίζεται ότι οι μαθητές που διδάχθηκαν με το Project-based learning μπορεί να αποκτήσουν μια λιγότερο πλήρη γνώση σε σχέση με τους μαθητές που διδάσκονται συμβατικά. Επίσης οι μαθητές μπορεί να είναι δυσαρεστημένοι από το χρόνο και την προσπάθεια που απαιτείται για την υλοποίηση του project και από τις διαπροσωπικές συγκρούσεις που βιώνουν στην ομαδική εργασία. Επιπλέον, εάν το project διεξάγεται εξ ολοκλήρου σε ομάδες, οι μαθητές μπορεί να είναι λιγότερο εξοπλισμένοι με εμπειρίες για να εργάζονται ανεξάρτητα.

Το e-learning είναι ένα σύνολο εφαρμογών και διαδικασιών όπως μάθηση βασισμένη στο διαδίκτυο, στους υπολογιστές και σε εικονικές αίθουσες διδασκαλίας. Η on line εκμάθηση προέρχεται από τη βασισμένη σε υπολογιστή κατάρτιση και τα πολυμέσα (που χρονολογούνται από τους δίσκους λείζερ μέχρι και τα πιο πρόσφατα CDs με on-line εκμάθηση). Οι μέθοδοι περιλαμβάνουν on-line διαλέξεις, σεμινάρια, συστήματα υποστήριξης απόδοσης, προσομοιώσεις, παιχνίδια και άλλα. Το αποτελεσματικό e-learning είναι συχνά ένας συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων.

Μερικοί από τους βασικούς στόχους του επαγγέλματος του μηχανικού είναι να χειραγωγήσουν υλικά, ενέργεια και πληροφορίες, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο όφελος για την ανθρωπότητα. Για να κάνουν αυτά τα καθήκοντα με επιτυχία, οι μηχανικοί πρέπει να έχουν γνώση της ουσίας που πηγαινει πέρα από την απλή θεωρία-γνώση που παραδοσιακά έχει αποκτηθεί σε εκπαιδευτικά εργαστήρια

Οι μέθοδοι διδασκαλίας-μάθησης που αναφέρθηκαν προηγουμένως και άλλες που θα

αναφερθούν και θα αναλυθούν στην παρούσα διπλωματική μπορούν να συνδυαστούν κατάλληλα με την χρήση της τεχνολογίας ώστε να παραχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα της διπλωματικής δηλαδή η αποτελεσματική εκπαίδευση των μηχανικών στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

2.1 Hardware LAD (Laboratory At Distance)

Τα εργαστήρια από απόσταση με τη χρήση διαδικτύου έχουν αρχίσει να γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλείς εργαλείο στον τομέα της εκπαίδευσης. Η εξ αποστάσεως μάθηση έχει ευρέως προταθεί ως σημαντική εκ των προτέρων ότι μπορεί να προσφέρει μια νέα μορφή εκπαίδευσης. Με τη χρήση του Διαδικτύου, το οποίο είναι πανταχού παρών, και των τεχνικών εξελίξεων στον τομέα της τεχνολογίας των πληροφοριών, η εκπαίδευση εξ αποστάσεως μπορεί να διευκολυνθεί με έναν τρόπο που ξεπερνά τους σημαντικούς περιορισμούς που χαρακτηρίζουν τις παραδοσιακές εκπαιδευτικές μεθόδους. Ωστόσο, η εξ αποστάσεως μάθηση δημιουργεί μοναδικές προκλήσεις για ειδικότητες που αφορούν τα υψηλά επίπεδα της πρακτικής εργασίας, όπως του ηλεκτρολόγου μηχανικού, στην οποία η hands-on εμπειρία και ο πειραματισμός είναι ουσιαστικής σημασίας για την αποτελεσματική μάθηση. Τα παραδοσιακά εργαστήρια στις πανεπιστημιούπολεις θέτουν τον περιορισμό στους μαθητές της πρόσβασης στους εργαστηριακούς πόρους μόνο κατά τη διάρκεια του κανονικού ωραρίου εργασίας. Ένα εργαστήριο από απόσταση βασισμένο στο διαδίκτυο προσφέρει μια νέα προσέγγιση μάθησης δίνοντας τη δυνατότητα σε εξ αποστάσεως χρήστες να ολοκληρώσουν τις εργασίες του εργαστηρίου χωρίς περιορισμούς από το χρόνο ή την τοποθεσία τους, διευκολύνοντας την ανάπτυξη πρακτικής δεξιοτήτων. Επίσης, δεδομένου ότι η κατασκευή των εργαστηρίων είναι ακριβή και είναι αδύνατο για ένα εκπαιδευτικό ίδρυμα να καλύπτει όλο το φάσμα των πειραμάτων, τα εργαστήρια εξ αποστάσεως που βασίζονται στο Διαδίκτυο εξυπηρετούν επίσης το σκοπό του να το μοιράζονται διαφορετικά άτομα ή / και οργανισμοί.

Υπάρχουν πολυάριθμες λύσεις που μπορούν να βρεθούν για τηλεχειριζόμενα πειράματα σε διάφορους τομείς της πρακτικής εκπαίδευσης και επίσης υπάρχουν ορισμένα εν εξελίξει έργα που επικεντρώνονται για την ανάπτυξη αυτών των εργαστηρίων απόστασης.

2.1.1 Μελέτη ανεμογεννήτριας

Το παρόν πείραμα [4] λαμβάνει χώρα στο School of Mines and Technology of South Dakota και βασίζεται σε μια ανεμογεννήτρια 80 ft, 20 kW. Αυτή η ερευνητική εγκατάσταση καταγράφει δεδομένα του ανέμου σε πραγματικό χρόνο όπως την ταχύτητα του ανέμου και την κατεύθυνση του, τις πιέσεις στο έδαφος, τις δονήσεις στα θεμέλια και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, τα καταγεγραμμένα δεδομένα δεν είναι εύκολα προσβάσιμα και κατανοητά από τους μαθητές λόγω της απουσίας ενός περιβάλλοντος που θα διευκολύνει την επικοινωνία.

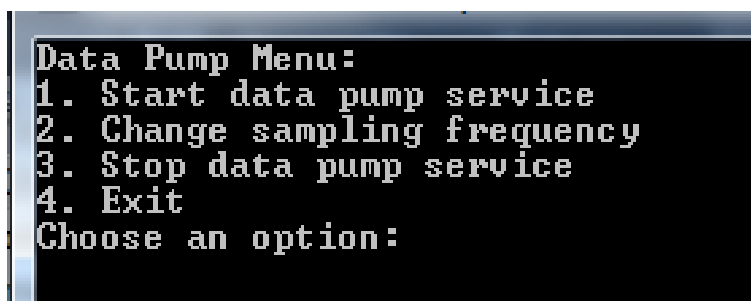
Για να αυξηθεί η εκπαιδευτική αξία της εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας σχεδιάστηκε και χρησιμοποιήθηκε ένα διαδραστικό περίπτερο υπολογιστών (computer kiosk) στο κέντρο εγκατάστασης των φοιτητών στο SDSMT. Το περίπτερο προσφέρει:

- 1) Μια εύχρηστη βάση δεδομένων για τις πληροφορίες του ανέμου σε πραγματικό χρόνο και τα στοιχεία θεμελίωσης
- 2) Ένα 3D οπτικό μοντέλο της ανεμογεννήτριας που ενισχύει την αντίληψη της στρέφοντας την κατεύθυνση της ατράκτου και αλλάζοντας την περιστροφή της λεπίδας κατά τη διάρκεια διαφορετικών συνθηκών ανέμου
- 3) Την δυνατότητα να δημιουργούνται από το χρήστη σενάρια ή ένα «sandbox» που αφορά την πιθανή συμβολή των συστημάτων αιολικής ενέργειας στις οικιακές εφαρμογές.

Για την απόκτηση των δεδομένων από την ανεμογεννήτρια χρησιμοποιείται ο καταγραφέας δεδομένων (data logger) Campbell Scientific CR3000. Ο καταγραφέας δεδομένων παρέχει 14 κανάλια μέτρησης για διαφορικές τάσεις και 2 για παλμούς που είναι σε θέση να συλλέγουν δεδομένα από διάφορους αισθητήρες. Τα δεδομένα που παρακολουθούνται και καταγράφονται περιλαμβάνουν 8 κύτταρα πίεσης του εδάφους που βρίσκονται κάτω από τη βάση, 4 κανάλια της επιτάχυνσης των θεμελίων και 2 για την ταχύτητα του ανέμου και την κατεύθυνση του. Οι ταχύτητες και οι κατευθύνσεις του ανέμου καταγράφονται στην κορυφή του στροβίλου στα 80 ft και στα 15 ft πάνω από το έδαφος. Ένα σύνολο από 16 πηγές δεδομένων που συλλέγονται και διαχειρίζονται στη βάση δεδομένων. Ο διακομιστής που φιλοξενεί αυτή τη βάση δεδομένων είναι ικανός να αποθηκεύει 1 Terabyte (1024 Gigabytes) δεδομένων. Η χωρητικότητα αυτή εκτιμάται ότι είναι ικανή να αποθηκεύει δεδομένα έως και 9 έτη από τις αναγνώσεις αισθητήρων.

Για να εγγραφούν τα δεδομένα σε μια συχνότητα που απαιτείται για την έρευνα και την προβολή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, χρειαζόταν μια διαδικασία για να τοποθετηθούν τα αρχεία

στη βάση δεδομένων. Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε σε C ++ περιβάλλον είναι μια multi-threaded διαδικασία και αναφέρεται ως "Data Pump" (Αντλία Δεδομένων). Η Αντλία Δεδομένων μόλις τρέξει, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ξεκινήσει την υπηρεσία άντλησης δεδομένων, να αλλάξει τη συχνότητα δειγματοληψίας, να σταματήσει την υπηρεσία άντλησης δεδομένων, ή να βγει από την εφαρμογή. Οι διαθέσιμες επιλογές στο περιβάλλον της Αντλίας Δεδομένων φαίνονται στην Εικόνα 1. Κατά την έναρξη της υπηρεσίας αντλήσης δεδομένων θα ζητηθεί από το χρήστη η συχνότητα δειγματοληψίας και θα ξεκινήσει η διαδικασία συλλογής και αποθήκευσης των δειγμάτων του καταγραφέα δεδομένων (data logger).

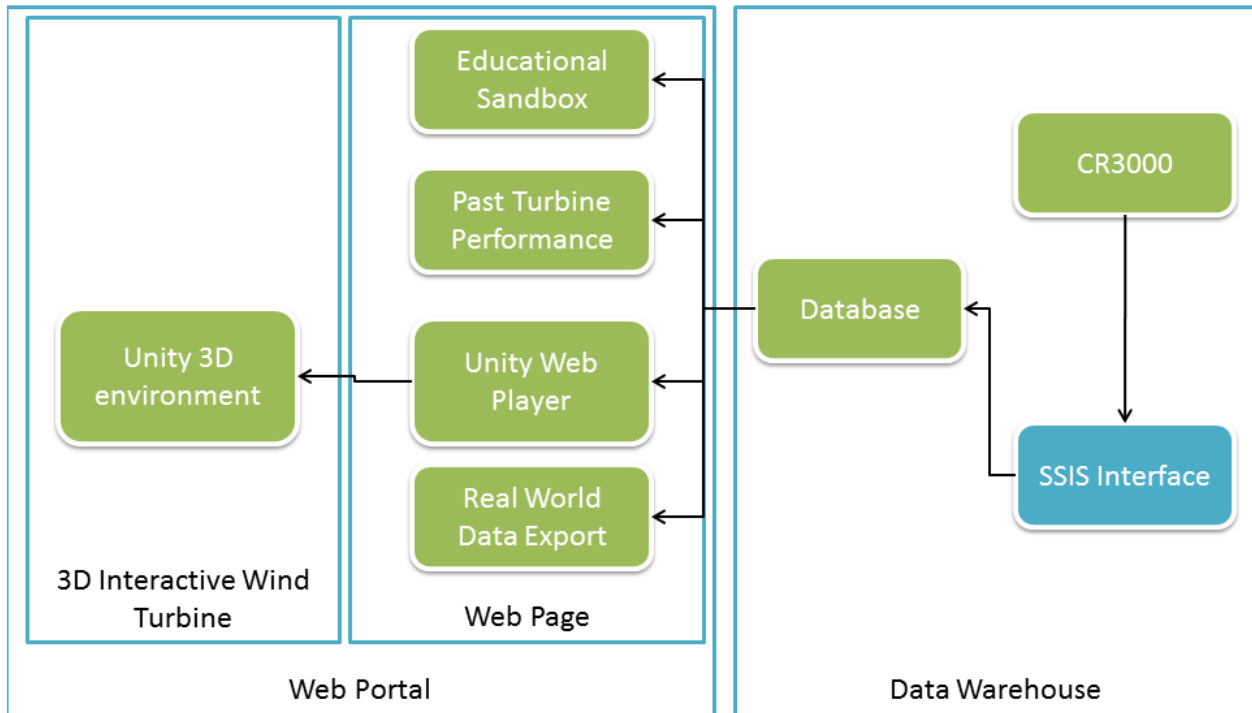


```
Data Pump Menu:
1. Start data pump service
2. Change sampling frequency
3. Stop data pump service
4. Exit
Choose an option:
```

Εικόνα 1: Data Pump Application Interface [4]

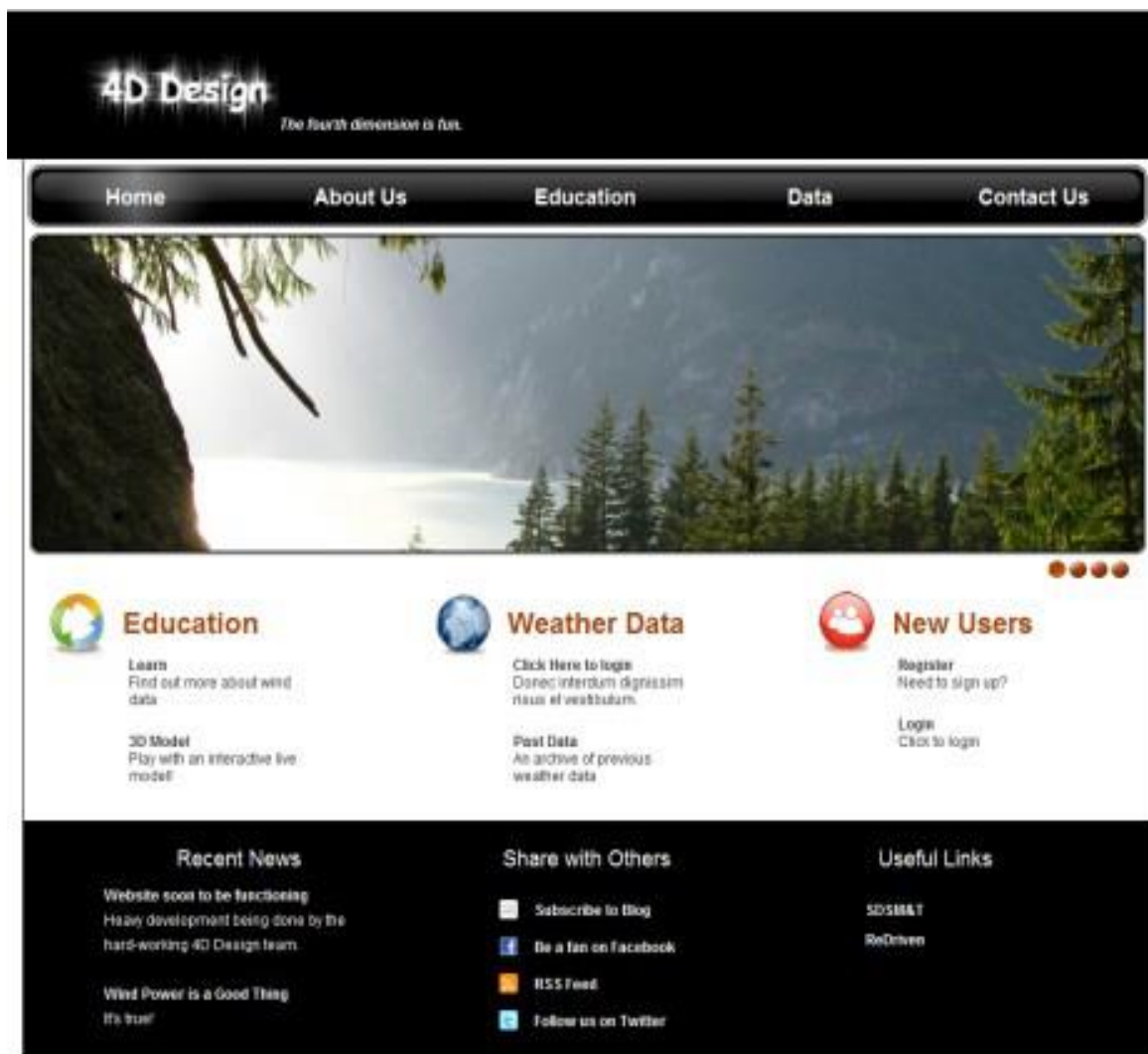
Η εφαρμογή για την άντληση δεδομένων περιλαμβάνει τη χρήση 2 threads για να χειριστεί τη ροή των δεδομένων. Και τα δύο αυτά threads χρησιμοποιούν τις βιβλιοθήκες Adaptive Communications Environment (ACE) για να δημιουργήσουν μια ροή δεδομένων παραγωγού / καταναλωτή. Ένα thread θα χρησιμεύσει ως καταναλωτής και το άλλο θα χρησιμεύσει ως παραγωγός. Όταν το queue του καταναλωτή δημιουργείται και πραγματοποιείται η σύνδεση, περιμένει ένα μήνυμα να τοποθετηθεί στην ουρά. Κάθε στοιχείο στην ουρά είναι ένα πακέτο αναγνώσεων από το καταγραφικό CR3000 που έχουν συλλεχθεί από τον παραγωγό. Κάθε ένα από αυτά τα πακέτα περιέχει αναγνώσεις αισθητήρων περίπου 1 δευτερολέπτου. Στη συνέχεια λαμβάνει αυτό το πακέτο των αναγνώσεων και το μετατρέπει σε μια δήλωση SQL, η οποία θα εισάγει τις τιμές από αυτές τις μετρήσεις στη βάση δεδομένων.

Η ιστοσελίδα αυτού το πειράματος σχεδιάστηκε για να εξυπηρετήσει διάφορους σκοπούς. Η ιστοσελίδα είναι ένα interface όπου οι χρήστες θα μπορούν να εγγραφούν, συνδεθούν και να έχουν πρόσβαση στους διαθέσιμους πόρους. Επιπλέον, ο δικτυακός τόπος θα χρησιμεύσει ως εκπαιδευτικό εργαλείο, παρέχοντας πληροφορίες αιολικής ενέργειας για τους και την κοινότητα. Το layout της ιστοσελίδας σχεδιάστηκε για να παρέχει μια λειτουργική διάταξη των εργαλείων και πόρων που είναι διαθέσιμοι και φαίνεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2: Σχήμα του Website[4]

Οι άνθρωποι που ενδιαφέρονται για τη λήψη δεδομένων ανέμου θα πρέπει να έχουν λογαριασμούς στην ιστοσελίδα. Οι χρήστες θα επικυρώνονται με ένα όνομα χρήστη και κωδικό πρόσβασης. Μετά την εισαγωγή των παραμέτρων για τα δεδομένα που τους ενδιαφέρει, η ιστοσελίδα χτίζει το αρχείο δεδομένων στη διάθεση του χρήστη μέσω μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας λήψης. Αυτές οι εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί σε C # χρησιμοποιώντας το ASP.NET framework. Επιπλέον χαρακτηριστικό της ιστοσελίδας είναι η σύνδεση με τη βάση δεδομένων για την απεικόνιση των δεδομένων του ανέμου σε πραγματικό χρόνο. Ο τελικός σχεδιασμός της ιστοσελίδας απεικονίζεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Σχέδιο του Website [4]

Για επιπλέον βοήθεια στην εκπαίδευση του κοινού στην αιολική ενέργεια, δημιουργήθηκε ένα διαδραστικό μοντέλο. Αυτό το μοντέλο θα επιτρέπει σε ένα χρήστη να κινείται γύρω από την ανεμογεννήτρια σε ένα 3D χώρο και να ρυθμίζει την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου. Αυτό το διαδραστικό περιβάλλον δημιουργήθηκε ως ένα ολοκληρωμένο τμήμα του δικτυακού τόπου έτσι ώστε ο χρήστης θα έχει μια απρόσκοπτη εμπειρία στη μετάβαση από το μοντέλο στην ιστοσελίδα και πάλι πίσω. Το διαδραστικό 3D μοντέλο θα είναι ένας τρόπος για τον χρήστη να βιώσει τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας από μια απομακρυσμένη τοποθεσία.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου, διαφορετικά εργαλεία 3D modeling και γλώσσες θεωρήθηκαν συμπεριλαμβανομένων VRML, Java 3D, Flash 3D και Unity. Με βάση την ευκολία χρήσης και τη λειτουργικότητα, αποφασίστηκε ότι το Unity είναι η βέλτιστη επιλογή. Το Unity

είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία 3D video games και άλλων διαδραστικών εφαρμογών. Επιτρέπει τον προγραμματισμό σε διάφορες γλώσσες υπολογιστών και υποστηρίζει πολλές διαφορετικές μορφές 3D αρχείων για χρήση. Ο κύριος λόγος που επιλέχθηκε το Unity ήταν λόγω της φορητότητας σε άλλη εφαρμογή. Τα έργα που δημιουργήθηκαν στο Unity μπορούν να δημοσιευθούν για πολλές διαφορετικές πλατφόρμες, οι οποίες περιλαμβάνουν τα Windows, Mac, iPhone, iPad, Android τηλέφωνα κ.λ.π. Αυτό το ευρύ φάσμα πλατφορμών, παρέχει εμπιστοσύνη στους χρήστες ότι θα έχουν πρόσβαση στο διαδραστικό 3D μοντέλο.

Για να δημιουργηθεί ένα μοντέλο που θα ήταν όσο το δυνατόν ρεαλιστικό, η ανάπτυξη του εδάφους ξεκίνησε με ένα χάρτη περιγράμματος στη θέση του στροβίλου και δείχνεται στην Εικόνα 4. Μετά τη μετατροπή του χάρτη περιγράμματος σε ένα 3D εδάφους στο Unity, ένα 3D μοντέλο μιας ανεμογεννήτριας (Εικόνα 5) λήφθηκε και εισάχθηκε πάνω από το έδαφος.



Εικόνα 4: Σχέδιο περιγράμματος του του λόφου στον οποίο είναι τοποθετημένη η ανεμογεννήτρια[4]



Εικόνα 5: 3D μοντέλο της ανεμογεννήτριας[4]

Για να βοηθηθεί ο χρήστης στο να εξερευνήσει τον πλήρως ανεπτυγμένο 3D κόσμος, μια γραφική διεπαφή χρήστη (GUI) έχει σχεδιαστεί και μια από τις επιλογές για την ανάπτυξη της ιστοσελίδας είναι το περίπτερο υπολογιστή που είναι εγκατεστημένο στο κέντρο του SDSMT. Επειδή το περίπτερο δεν έχει πληκτρολόγιο, ήταν σημαντικό να διατηρηθεί το GUI όσο το δυνατόν απλούστερο. Το GUI αποτελείται από έναν αριθμό από κουμπιά που επιτρέπουν στο χρήστη την ελεύθερη κυκλοφορία και την περιστροφή κατά μήκος των x-, y- και z- αξόνων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6. Η pitch, yaw και roll εντολές επιτρέπουν στο χρήστη να περιστρέψει την κάμερα γύρω από τον οριζόντιο άξονα, γύρω από τον κατακόρυφο άξονα και γύρω από τον διαμήκη άξονα, αντιστοίχως.



Εικόνα 6: Κουμπιά για την κίνηση και την περιστροφή[4]

Εκτός από τις δυνατότητες της σωματικής κίνησης για την προβολή της εγκατάστασης της έρευνας, προσφέρεται επίσης η ικανότητα στον χρήστη να ελέγχει την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου που χρησιμοποιούνται στο 3D περιβάλλον. Επιλέγοντας μια ταχύτητα του ανέμου και την κατεύθυνση, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα παρατηρήσουν τις επιδράσεις στο μοντέλο 3D. Υπήρξε επίσης μια επιθυμία να προσομοιώνεται η τουρμπίνα σε συνθήκες που έχουν ως βάση τον τρέχοντα καιρό. Για αυτό απαιτείται ενοποίηση με τη βάση δεδομένων που καταγράφονται και αποθηκεύονται οι πληροφορίες του αισθητήρα. Έτσι, τα πτερύγια περιστρέφονται με ταχύτητα που ταιριάζουν με τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο ή με την επιλεγμένη ταχύτητα του ανέμου.

Με την ενσωμάτωση αυτών των πληροφοριών, το μοντέλο 3D μετατρέπεται σε ένα χρήσιμο εργαλείο για την οπτικοποίηση σε πραγματικές συνθήκες ανέμου που επηρεάζουν την ανεμογεννήτρια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7: Πλήρως ανεπτυγμένο GUI[4]

Το εκπαιδευτικό περιβάλλον της ιστοσελίδας περιλαμβάνει εργαλεία και εφαρμογές για να συγκρίνει ο χρήστης την αιολική ενέργεια που παράγεται από την ανεμογεννήτρια με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στις διαφορετικές οικιακές συσκευές. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του εκπαιδευτικού στοιχείου είναι η παρουσίαση σε πραγματικό χρόνο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην απλούστερη μορφή, ο χρήστης του δικτυακού τόπου θα είναι σε θέση να συνδέσει το μέγεθος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτρια. Για να δημιουργηθεί ενδιαφέρον στις δυνατότητες της αιολικής ενέργειας, ο χρήστης θα μπορεί να παρακάμψει το πραγματικό χρόνο δεδομένων και να εισάγει μια υψηλότερη ή χαμηλότερη ταχύτητα του ανέμου για να δει τις αλλαγές στην παραγωγή ενέργειας. Για να τονιστεί η αξία της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την ανεμογεννήτρια, παρέχονται πίνακες μέσης χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για διαφορετικές συσκευές κατοικίας. Τυπικές συσκευές που χρησιμοποιούνται στην κουζίνα, βοηθητικό δωμάτιο, γκαράζ, υπνοδωμάτια και χώρους διαβίωσης είναι διαθέσιμες (όπως φαίνεται στην Εικόνα 8). Χρησιμοποιώντας τρέχουσες τιμές για την ηλεκτρική ενέργεια, εμφανίζεται επίσης η προσέγγιση κόστους ανά ώρα.

Kitchen		
Appliance	Electricity used (watts)	Cost/hr
Coffee Maker	941	\$0.088
Toaster	1250	\$0.114
Popcorn Popper	250	\$0.023
Blender	343	\$0.032
Microwave	1275	\$0.116
Frying Pan	1200	\$0.109
Dishwasher	1288	\$0.117
Garbage Disposal	423	\$0.039
Refrigerator/Freezer	458	\$0.043
Telephone	95	\$0.009

Εικόνα 8: Πληροφορίες για την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας[4]

Πρόσθετα εργαλεία που παρέχονται στην ιστοσελίδα περιλαμβάνουν scroll bars που επιτρέπουν στον χρήστη να αλλάξει την ηλεκτρική ενέργεια (Watt) και ταχύτητα του ανέμου (mph) για να δει τη σχέση μεταξύ του αριθμού των σπιτιών που θα μπορούσαν να τροφοδοτούνται και της ποσότητας του ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται. Συνέχιση των εργασιών στην ιστοσελίδα περιλαμβάνει την προσθήκη σενάριων χρήσης της ενέργειας, καταναμεμένα σε 3 επίπεδα επιλογής: 1) τη χρήση της ενέργειας, 2) το κόστος της ενέργειας, 3) εναλλακτικές λύσεις της αιολικής ενέργειας.

Η χρήση της ενέργειας θα περιλαμβάνει την επιλογή συσκευών που θα είναι ενεργοποιημένες σε ένα δεδομένο σενάριο. Με βάση τις επιλεγμένες συσκευές, η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι η έξοδος. Το κόστος της ενέργειας θα επιτρέψει στον χρήστη να επιλέξει ένα ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας και να παρατηρεί το συνολικό κόστος λειτουργίας των επιλεγμένων συσκευών. Οι εναλλακτικές λύσεις της αιολικής ενέργειας θα είναι διαθέσιμες για να παρατηρήσει το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται στο SDSMT ή να επιλέξει άλλα μεγέθη

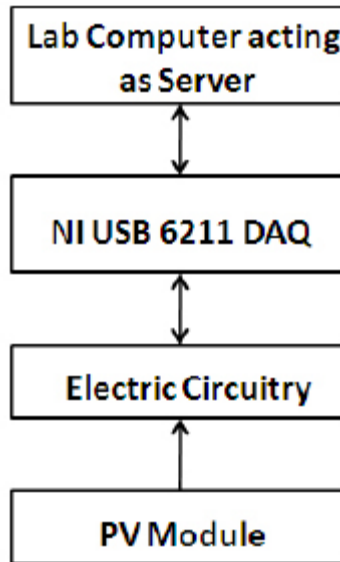
στροβίλου, ποσοτήτων και ταχυτήτων του ανέμου για να καθορίσει πόσος "άνεμος" είναι απαραίτητος για να επιτευχθεί το καθορισμένο σενάριο.

Η ικανότητα των εκπαιδευτικών χαρακτηριστικών του δικτυακού τόπου θα παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να μάθουν και να βιώσουν τα οφέλη και την αξία της ενέργειας που δημιουργείται από ανανεώσιμες πηγές.

2.1.2 Σημείο μέγιστης ισχύος φωτοβολταϊκών

Το παρακάτω πείραμα [15] διεξάγεται μέσω του διαδικτύου και βασίζεται σε ένα τηλεχειριζόμενο εργαστήριο για την μέτρηση ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και την ανίχνευση του σημείου μέγιστης ισχύος (MPP) ενός Φωτοβολταϊκού (PV). Το λογισμικό LabVIEW χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και την απόκτηση των δεδομένων από την πειραματική διάταξη.

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τέσσερα βασικά τμήματα που φαίνονται στην Εικόνα 9. Η φωτοβολταϊκή μονάδα που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση αποτελείται άμορφα κύτταρα πυριτίου ονομαστικής ισχύος 5 Watt peak. Το μπλοκ του ηλεκτρικού κυκλώματος αποτελείται από έναν αντιστάτη μεταβλητού φορτίου (ένα μοντέλο MOSFET IRF3205) που χρησιμοποιούνται σε μετρήσεις ηλεκτρικών χαρακτηριστικών, από ένα MPP μετατροπέα παρακολούθησης και ρελέ. Τα ρελέ χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του ON και OFF δύο διαφορετικών λαμπτήρων που καθιστούν δυνατή τη μέτρηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της φωτοβολταϊκής μονάδας σε τρεις διαφορετικές εντάσεις φωτός. Το NI USB 6211 μπλοκ DAQ αποτελείται από ένα NI USB 6211 που είναι συσκευή απόκτησης δεδομένων που επικοινωνεί και μεταφέρει τα αποκτηθέντα δεδομένα στον υπολογιστή του εργαστηρίου. Η συσκευή συλλογής δεδομένων έχει αναλογικές εισόδους που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των τάσεων και ρευμάτων. Η συσκευή συλλογής δεδομένων έχει επίσης αναλογικές και ψηφιακές εξόδους οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της μεταβλητής αντίστασης, την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των λαμπτήρων και παραγωγή σήματος ελέγχου για τον ανιχνευτή MPP. Ο υπολογιστής του εργαστηρίου χρησιμοποιεί τα προγράμματα οδήγησης (Drivers) NI DAQmx για να επικοινωνεί με τη συσκευή συλλογής δεδομένων. Με την ενεργοποίηση της Remote Panels Server επιλογής, μπορεί κανείς να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες του Run Time Engine plug-in, προκειμένου να εκτελέσει εξ αποστάσεως τα προτεινόμενα πειράματα.



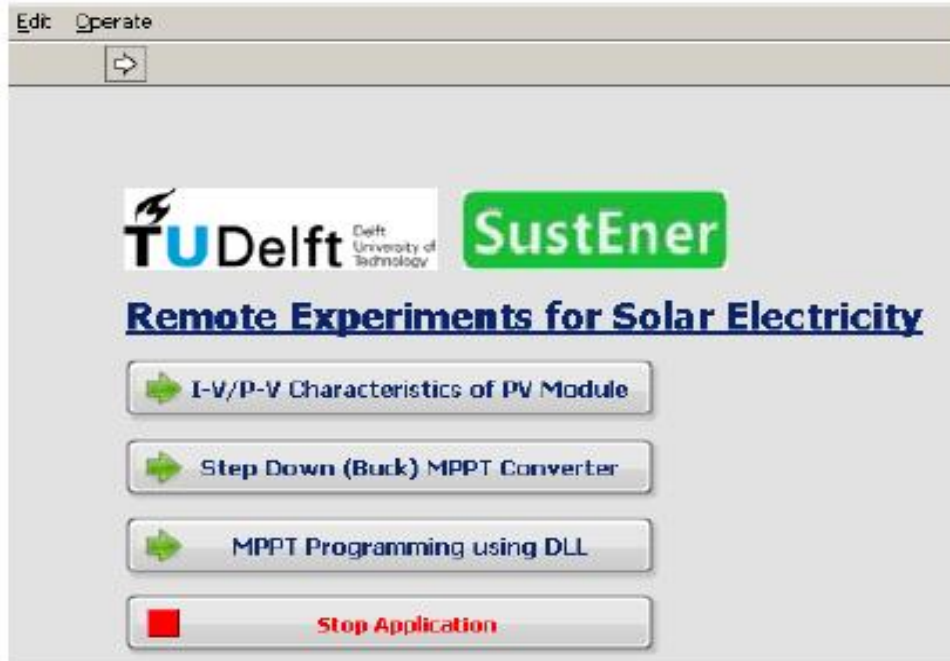
Εικόνα 9: Πειραματική διάταξη[15]

Ο υπολογιστής του εργαστηρίου ενεργεί ως διακομιστής (server) για την επικοινωνία με το www.sustener.eu. Ένα σύστημα κρατήσεων (booking system) έχει αναπτυχθεί για να δώσει τον έλεγχο του πειράματος σε έναν μόνο χρήστη κάθε δεδομένη στιγμή. Ο χρήστης μπορεί να είναι ένας φοιτητής ή μια ομάδα φοιτητών εφόσον χρησιμοποιούν τον ίδιο client computer. Ένας απομακρυσμένος χρήστης ο οποίος προτίθεται να εκτελέσει το πείραμα, συνδέεται στο κεντρικό server για κρατήσεις στο www.sustener.eu, από όπου ο χρήστης κατευθύνεται στο συγκεκριμένο διακομιστή και του χορηγείται ο έλεγχος του πειράματος.

Οι κύριοι μαθησιακοί στόχοι αυτού του εργαστηρίου για τους φοιτητές είναι:

- Να μάθουν για τη μέτρηση της απόδοσης μιας φωτοβολταϊκής μονάδας.
- Να καθορίσουν τις επιδράσεις των φυσικών μεταβλητών του περιβάλλοντος, όπως η ακτινοβολία στην απόδοση μιας φωτοβολταϊκής μονάδας.
- Να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με την παρακολούθηση MPP .
- Να μετρήσουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός ανιχνευτή MPP .
- Να ανέπτυξουν και εγκαταστήσουν τον κώδικα του αλγορίθμου MPP παρακολούθησης.

Η Εικόνα 10 παρουσιάζει το κύριο μενού από το οποίο ο απομακρυσμένος χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα πείραμα. Για να για να ξεκινήσει την εφαρμογή, ο χρήστης θα πατήσει το κουμπί Run που βρίσκεται στην πάνω αριστερή γωνία του παραθύρου.



Εικόνα 10: Κεντρικό μενού με τις πειραματικές εφαρμογές[15]

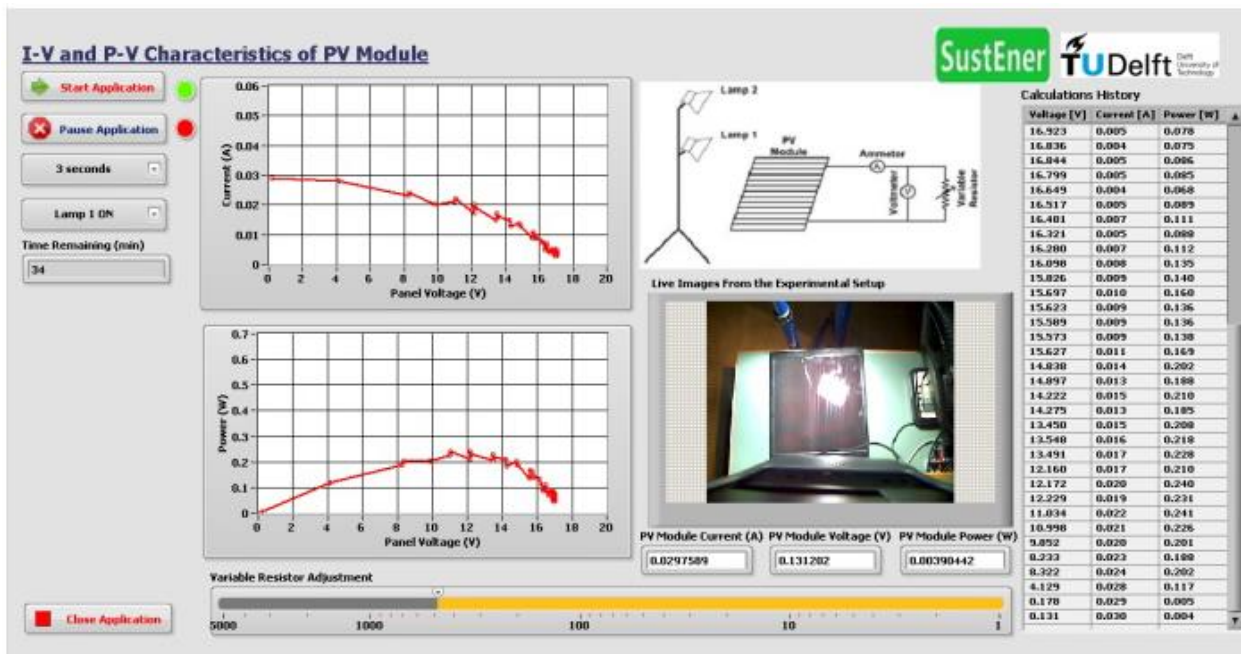
Μόνο ένα πείραμα μπορεί να επιλεγεί σε μια δεδομένη στιγμή. Αυτή η λειτουργία είναι απαραίτητη δεδομένου ότι όλες οι εφαρμογές χρησιμοποιούν το ίδιο στοιχείο υλικού. Επίσης, ο χρόνος ελέγχου του πειράματος έχει οριστεί σε 1 ώρα από το Remote Panel του διακομιστή. Αυτός είναι ο χρόνος που διατίθεται για κάθε χρήστη από το σύστημα κράτησης. Κατά την περίοδο αυτή, ο έλεγχος της εφαρμογής μεταφέρεται στον απομακρυσμένο client.

Η βασική διαδικασία λειτουργίας των απομακρυσμένων εφαρμογών περιλαμβάνει ορισμένες κοινές εντολές. Χρησιμοποιώντας ένα “Start Application” κουμπί ο χρήστης θα ξεκινήσει την πειραματική διαδικασία όταν το remote panel φορτώσει στο πρόγραμμα περιήγησης στο Web. Ένας επιλογέας ελέγχου των λαμπτήρων επιτρέπει την εναλλαγή μεταξύ των τεσσάρων επιπέδων ακτινοβολίας: Λαμπτήρες OFF, Πρώτος λαμπτήρας ON, Δεύτερος λαμπτήρας ON, και οι δύο λαμπτήρες ON. Ένα κουμπί Παύσης της εφαρμογής έχει εισαχθεί για την περίπτωση κατά την οποία ο χρήστης χρειάζεται να εξετάσει τα μετρημένα δεδομένα πριν συνεχίσει το πείραμα. Κάθε πείραμα μπορεί να είναι κλείσει με το κουμπί “Close Application”. Η χρήση αυτών των κουμπιών ελέγχου συνιστάται διότι με τον τρόπο αυτό, ο απομακρυσμένος χρήστης μπορεί να επωφεληθεί από τις πλήρεις δυνατότητες του Run Time Engine plug-in. Ζωντανή μετάδοση από την πειραματική διάταξη έχει προβλεφθεί. Ο χρήστης μπορεί να δει τους λαμπτήρες να ενεργοποιούνται και να απενεργοποιούνται για να αποκτήσει μια καλύτερη αίσθηση του

πειράματος. Το υπόλοιπο χρόνο του πειράματος παρουσιάζεται στο χρήστη σε λεπτά. Όταν ξεπεραστεί το όριο, ο client computer θα αποσυνδεθεί από το διακομιστή.

A) I- V / P - V Χαρακτηριστικές της φωτοβολταϊκής μονάδας

Σε αυτό το πείραμα, ένας απομακρυσμένος χρήστης μετρά τις χαρακτηριστικές ρεύματος-τάσης (I-V) και Ισχύος-τάσης (P-V) μιας φωτοβολταϊκής μονάδας χρησιμοποιώντας το εργαστήριο εξ αποστάσεως. Η Εικόνα 11 παρουσιάζει το UI (User Interface) για αυτό το πείραμα.



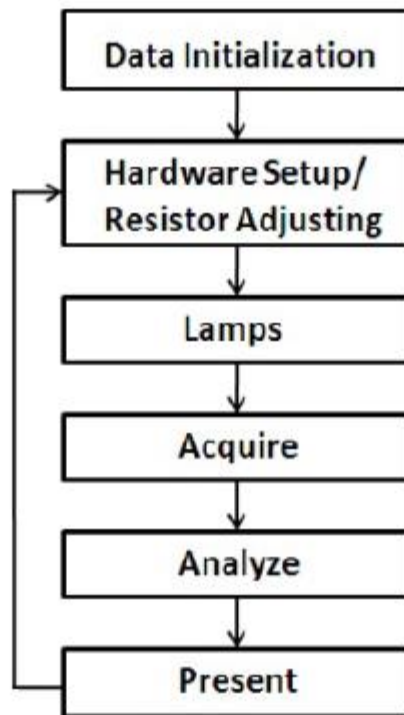
Εικόνα 11: Πάνελ I-V/P-V χαρακτηριστικών[15]

Στην αριστερή πλευρά του πάνελ, μπορεί κανείς να δει τα κουμπιά ελέγχου και τα ο δείκτης σφαλμάτων. Η αποθήκευση των δεδομένων των μετρήσεων μπορεί να επιτευχθεί με δεξί κλικ στην γραφήματα και επιλέγοντας εξαγωγή των δεδομένων στην επιθυμητή μορφή αρχείου (Excel για παράδειγμα). Εάν ο χρήστης θεωρεί ότι οι τιμές μέτρησης ρεύματος δεν μπορούν να μελετηθούν κατάλληλα, ο χρόνος απόκτησης μπορεί να ρυθμιστεί, μεταξύ 2 δευτερολέπτων και 5 δευτερολέπτων από τον επιλογή Ρύθμιση ώρας μέτρησης (Set Measurement Time). Πατώντας στην επιλογή “Variable Resistor Adjustment” επιτρέπεται στον χρήστη ο καθορισμός διαφορετικών τιμών για την αντίσταση φορτίου. Οι πειραματικές μετρήσεις παρουσιάζονται ως βήμα προς βήμα τιμές χρησιμοποιώντας αριθμητικούς δείκτες. Επίσης, το ιστορικό των

καταγεγραμμένων δεδομένων παρουσιάζονται χρησιμοποιώντας έναν πίνακα με τρεις στήλες (Τάσεις, Ρεύματα και Ισχύεις). Δύο γραφήματα που βρίσκονται στη δεξιά πλευρά παρουσιάζουν τις ρεύματος-τάσης (I-V) και ισχύος-τάσης (P-V) χαρακτηριστικές της φωτοβολταϊκής μονάδας σύμφωνα με το κάθε επίπεδο ακτινοβολίας. Στην πραγματικότητα, αυτές οι γραφικές παραστάσεις θα εμφανίζουν μόνο τις καμπύλες για τις περιπτώσεις όπου ένας ή και οι δύο λαμπτήρες είναι αναμμένοι.

Για να εκτελέσει ο χρήστης τις μετρήσεις των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της φωτοβολταϊκής μονάδας χρησιμοποιώντας το εργαστήριο εξ αποστάσεως, το πρώτο βήμα είναι να φωτίζει την φωτοβολταϊκή μονάδα από την ενεργοποίηση των λαμπτήρων. Αυτό καθιστά δυνατή τη λήψη ηλεκτρικών χαρακτηριστικών σε τρεις διαφορετικές εντάσεις φωτός. Για να αποκτήσει τις I-V και P-V χαρακτηριστικές, πρέπει να μεταβάλλει την αντίσταση φορτίου.

Οι βασικές καταστάσεις εκτέλεσης του προγράμματος παρουσιάζονται στο Εικόνα 12. Είναι συνεχείς και καλούνται μέσα σε ένα βρόχο while. Property κόμβοι που να απενεργοποιούν και να ενεργοποιούν τα κουμπιά του front panel χρησιμοποιούνται όσο η εκτέλεση κώδικα ρέει μέσα από τα στάδια, προκειμένου να διασφαλιστεί η ορθή λειτουργία του πειράματος. Για παράδειγμα, ένας χρήστης δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει την επιλογή “Close Application” πριν από την παύση της εφαρμογής.



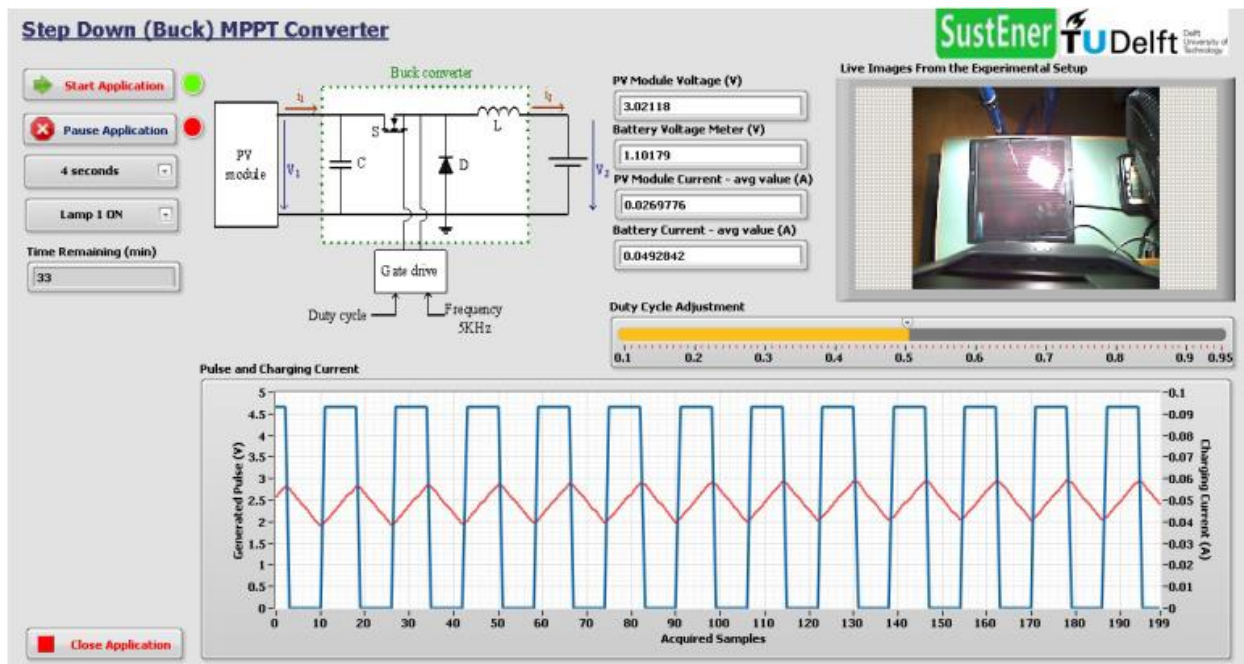
Εικόνα 12: Βασικό διάγραμμα εκτέλεσης του προγράμματος Χαρακτηριστικές φωτοβολταϊκής μονάδας[15]

Μόλις οι μεταβλητές αρχικοποιούνται, το πρόγραμμα εκτελεί μια εγκατάσταση του υλικού (μόνο μία φορά) ή πηγαίνει απευθείας στην προσαρμογή της αντίστασης. Στα επόμενα βήματα, οι λαμπτήρες ανάβουν και τα δεδομένα που αποκτήθηκαν (φωτοβολταϊκή τάση και τιμές ρεύματος) αναλύονται και παρουσιάζονται. Ο κύκλος επαναλαμβάνεται μέχρις ότου ο χρήστης πατήσει το Pause κουμπί Εφαρμογή. Αν η εφαρμογή είναι κλειστή, όλες οι μεταβλητές και οι υπάρχουσες εργασίες του υλικού καθαρίζονται. Επίσης, οι λαμπτήρες απενεργοποιούνται και ο απομακρυσμένος χρήστης επιστρέφει στο γενικό μενού που παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.

B) Εύρεση Σημείου Μέγιστης Ισχύος (MPPT)

Μπορεί να παρατηρηθεί από τις χαρακτηριστικές P-V ότι υπάρχει ένα βέλτιστο σημείο λειτουργίας (δηλαδή, MPP) στις οποίες η φωτοβολταϊκή μονάδα αποδίδει τη μέγιστη δυνατή ισχύ στο φορτίο. Το βέλτιστο σημείο λειτουργίας αλλάζει με την ακτινοβολία ή / και την θερμοκρασία. Ως εκ τούτου, η παρακολούθηση του σημείου μέγιστης ισχύος μιας φωτοβολταϊκής μονάδας είναι ένα ουσιαστικό μέρος του κάθε επιτυχημένου PV συστήματος. Προκειμένου να επιτευχθεί η

μέγιστη αποτελεσματικότητα, η τάση που παράγεται από την φωτοβολταϊκή μονάδα πρέπει να εφαρμοστεί σε ένα μετατροπέα που παρέχει τις συνθήκες που απαιτούνται ανάλογα με τον τύπο του φορτίου. Για να υπάρχει μέγιστη δυνατή απόδοση, είναι επιτακτική ανάγκη να εγγυάται ο μετατροπέας την λειτουργία της φωτοβολταϊκής μονάδας κοντά στο MPP ανεξάρτητα από την ακτινοβολία ή / και τη θερμοκρασία. Η Εικόνα 13 παρουσιάζει το UI του πειράματος αυτού.

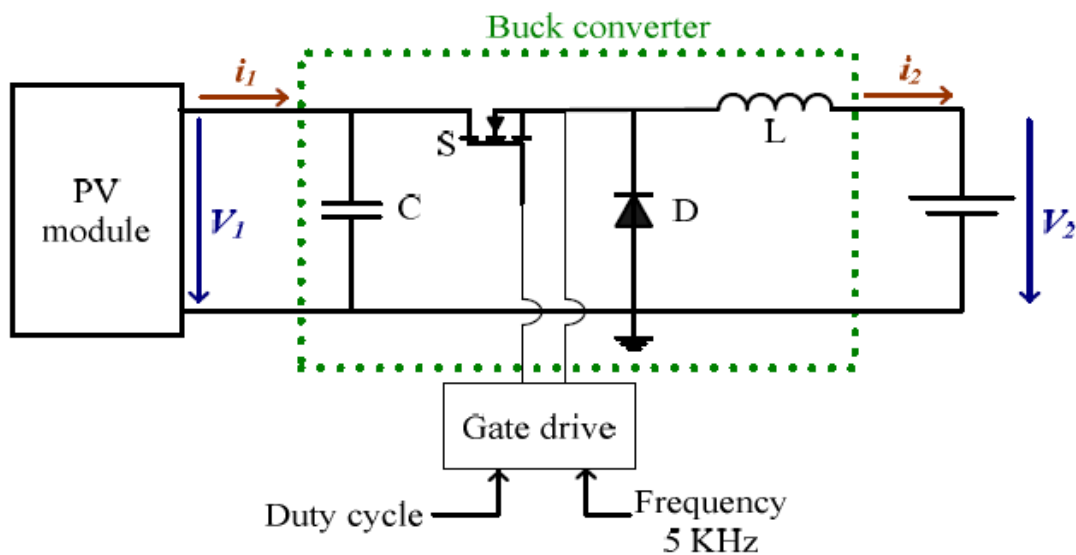


Εικόνα 13: MPPT User Interface[15]

Σε αυτό το πείραμα, ένας απομακρυσμένος χρήστης εκτελεί μετρήσεις στο μετατροπέα παρακολούθησης MPP. Το πείραμα εστιάζει στην μελέτη της σχέσης μεταξύ του κύκλου λειτουργίας της πύλης σήματος (με το διακόπτη) και των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του MPP tracker. Σε κάθε μέτρηση, το γράφημα δείχνει δύο ιστορικά σημάτων (το παραγόμενο σήμα σφυγμού και το αντίστοιχο ρεύμα φόρτισης της μπαταρίας) που αποτελείται από 200 τιμές, με δειγματοληψία σε 80 kHz.

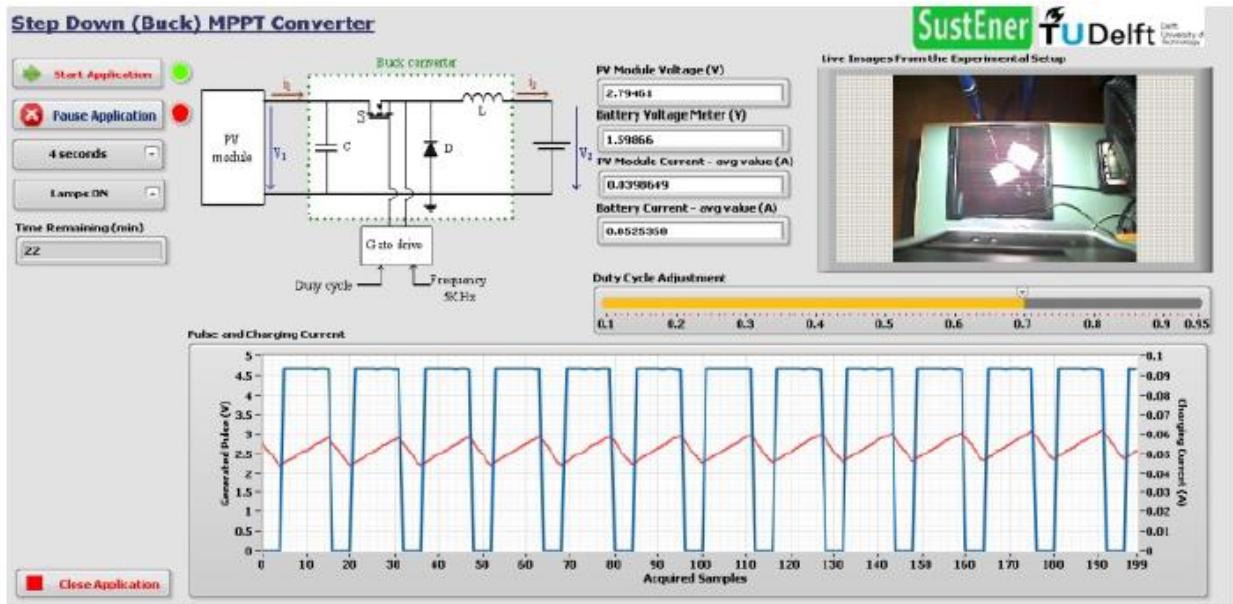
Η πειραματική διάταξη χρησιμοποιεί μετατροπέα DC-DC Buck για να επιτευχθεί η εύρεση του MPP όπως φαίνεται στην Εικόνα 14. Το συνδεδεμένο φορτίο είναι μια φορτιζόμενη μπαταρία (τυπικό φορτίο για τα φωτοβολταϊκά, που χρησιμοποιείται για την διατήρηση της τάσης εξόδου σταθερή) το οποίο έχει μία τάση εξόδου 2,8 V. Δεδομένου ότι αυτή η τάση είναι μικρότερη από

αυτή του ανοικτού κυκλώματος της φωτοβολταϊκής μονάδας, ένας Step down (Buck) DC-DC μετατροπέας χρησιμοποιείται έτσι ώστε το σημείο λειτουργίας της φωτοβολταϊκής μονάδας μπορεί να ελεγχθεί με την αλλαγή του κύκλου λειτουργίας (Duty Cycle) του σήματος πύλης στο MOSFET. Η συχνότητα του σήματος πύλης είναι σταθερή σε 5 kHz. Για παράδειγμα, η Εικόνα 13 παρουσιάζει την κατάσταση στην οποία μια λυχνία είναι αναμμένη και το Duty Cycle έχει οριστεί σε 50%. Για ορισμένες πειραματικές ρυθμίσεις, ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει διαφορές λίγων mV και mA στις τιμές των μεταβλητών. Αυτό οφείλεται στο χρόνο καθίζησης της φωτοβολταϊκής μονάδας.



Εικόνα 14: DC-DC Buck τοπολογία του μετατροπέα MPP tracker[15]

Ο κύκλος λειτουργίας του σήματος πύλης του MPP Tracker μπορεί να ελεγχθεί σύροντας τον πείρο ελέγχου στη γραμμή κύλισης. Αλλάζοντας τον κύκλο λειτουργίας επιτυγχάνεται αντίστοιχη αλλαγή στο σημείο λειτουργίας του φωτοβολταϊκού. Οι μετρούμενες τάσεις και τα ρεύματα μπορούν να παρατηρούνται στους δείκτες. Αυτές τάσεις και τα ρεύματα είναι ενδεικτικά του σημείου λειτουργίας της φωτοβολταϊκής μονάδας για τον αντίστοιχο κύκλο λειτουργίας. Η Εικόνα 15 παρουσιάζει πειραματικές μετρήσεις για την κατάσταση όταν και οι δύο λάμπες τεθούν σε λειτουργία και ο κύκλος εργασίας ρυθμιστεί στο 70%.



Εικόνα 15: Μετρήσεις του MPPT converter όταν και οι 2 λάμπες είναι ανοιχτές[15]

Γ) Προφυλάξεις

Κάθε πείραμα παρουσιάζει ένα χρονόμετρο το οποίο ο χρήστης μπορεί να συμβουλευτεί προκειμένου να δει πόσο χρόνο θα πάρει για να φτάσει στο τέλος του το time slot. Μόλις αυτό το όριο φτάσει, ο διακομιστής θα αποσυνδέσει αυτόματα το χρήστη και θα πάρει τον έλεγχο της εφαρμογής. Μετά την αποσύνδεση, ο χρήστης μπορεί να κάνει κράτηση σε νέα χρονοθυρίδα και να συνεχίσει τα πειράματα.

Εάν ο απομακρυσμένος χρήστης χάσει τη σύνδεση στο Διαδίκτυο, ο διακομιστής ανακτά αυτόματα τον έλεγχο της εφαρμογής. Αυτό οφείλεται στην εφαρμογή μιας κατάστασης στην οποία ο διακομιστής περιοδικά ελέγχει αν υπάρχουν απομακρυσμένες συνδέσεις με την εφαρμογή. Η ίδια λύση χρησιμοποιείται για την περίπτωση που ο χρήστης σκόπιμα διακόπτει το Run Time Engine plug-in.

Σε αυτό το πείραμα, παρουσιάζονται ο σχεδιασμός και η εφαρμογή ενός συστήματος για την εκτέλεση απομακρυσμένων πειραμάτων ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα περιλαμβάνει μια συλλογή τριών διαφορετικών εφαρμογών που χρησιμοποιούν PV Module, ειδικών συνθηκών κύκλωμα, την συσκευή απόκτησης δεδομένων NI USB 6211 και το περιβάλλον ανάπτυξης LabVIEW 2011. Η επικοινωνία με το απομακρυσμένο χρήστη εξασφαλίζεται μέσω του Run Time Engine plug-in. Πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το προτεινόμενο σύστημα

ανταποκρίνεται στην αλληλεπίδραση του απομακρυσμένου χρήστη και παρέχει ένα πολύτιμο εκπαιδευτικό εργαλείο.

2.1.3 Ανάπτυξη και εφαρμογή ενός E-learning συστήματος για εργαστήριο ηλεκτρικών κυκλωμάτων

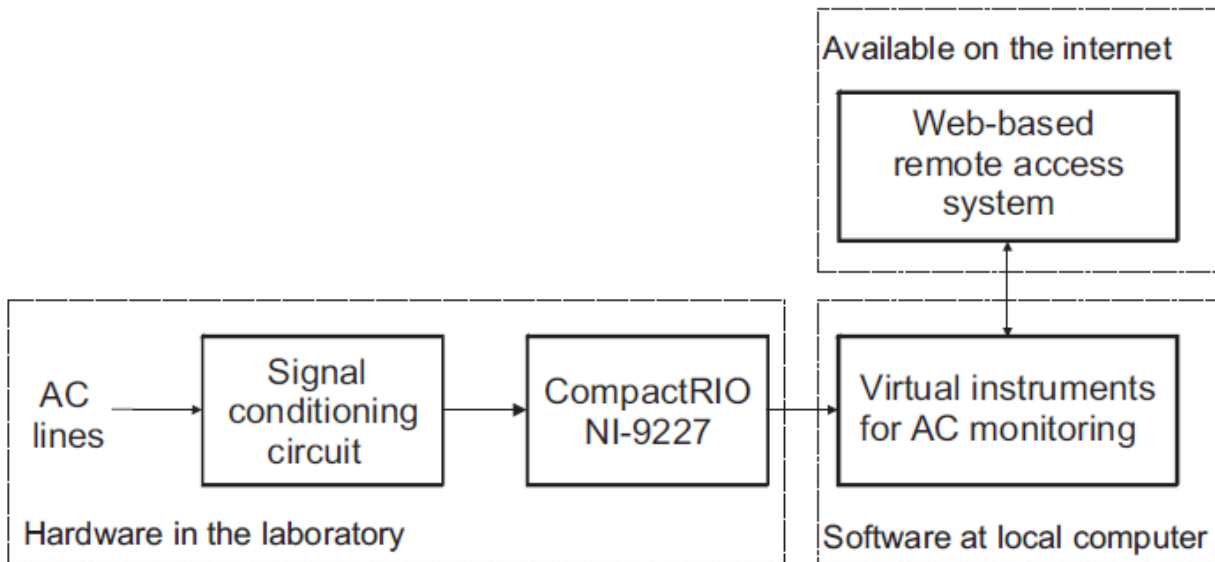
Σε αυτό το πείραμα [6] σχεδιάζεται ένα εικονικό περιβάλλον που επιτρέπει την εκτέλεση πειραματικών ασκήσεων για προπτυχιακά μαθήματα των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και εισαγωγή στη ψηφιακή επεξεργασία σήματος. Το e-learning σύστημα που αναπτύχθηκε επιτρέπει απομακρυσμένη πρόσβαση και την απόκτηση σήματος (τάσης και ρεύματος), που επιτρέπει στους μαθητές να εκτελούν πειράματα στο δικό τους χώρο, χωρίς να είναι φυσικά στο ίδιο το εργαστήριο. Το web-based εικονικό περιβάλλον εξουσιοδοτεί τους μαθητές, παρέχοντάς τους πρόσβαση σε εργαστήρια κατά τη διάρκεια του ελεύθερου χρόνου τους. Για την σύνδεση με το απομακρυσμένης πρόσβασης εργαστήριο ηλεκτρικών κυκλωμάτων (RAECL= Remote Access Electric Circuits Laboratory), αναπτύχθηκε μια instrumental πλατφόρμα που την διαχειρίζεται το LabVIEW.

Επίσης, ένα κύκλωμα αναλογικού σήματος για να μετρά την τάση και ρεύμα έχει σχεδιαστεί. Η πλατφόρμα εξασφαλίζει τη μέτρηση της ενεργού, άεργου και φαινόμενης ισχύος, καθώς και του συντελεστή ισχύος (PF). Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τον αριθμό των δειγμάτων που λαμβάνονται από την αναλογική στην ψηφιακή μετατροπή και να χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους των ψηφιακών φίλτρων.

RAECL

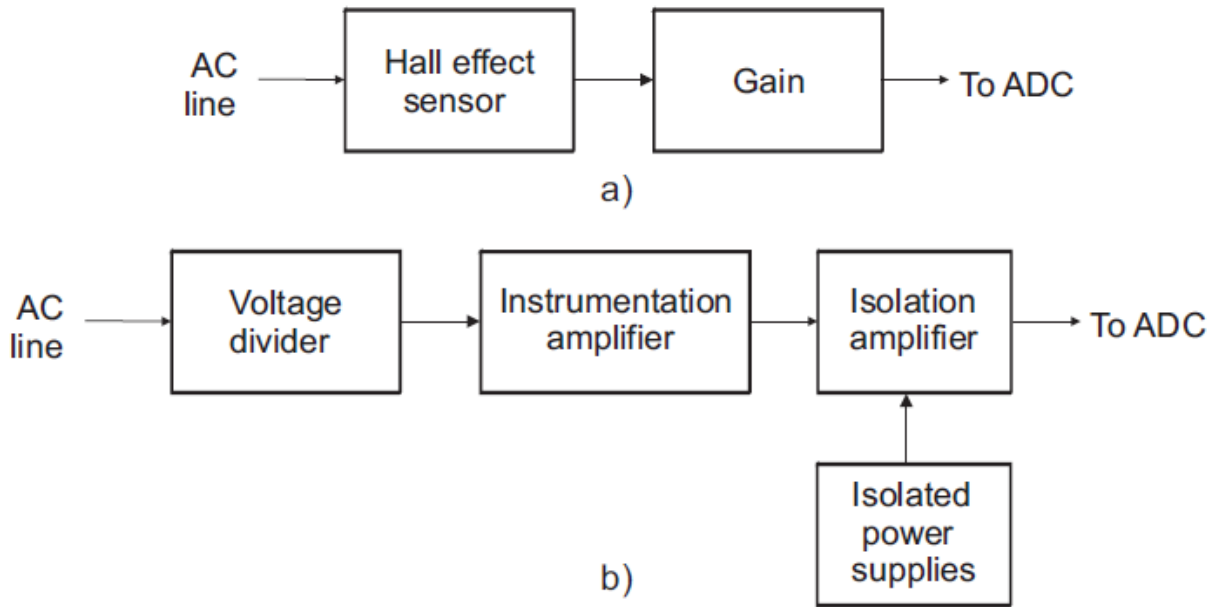
Το RAECL αποτελείται από hardware και software. Ένα σχηματικό διάγραμμα του ανεπτυγμένου συστήματος φαίνεται στην Εικόνα 16. Προκειμένου να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα και η ασφάλεια των πειραμάτων, ένα κύκλωμα ρύθμισης σήματος έχει κατασκευαστεί για να μετρήσει και να προσαρμόσει τα επίπεδα του ρεύματος και τάσης από το ηλεκτρικό δίκτυο AC στην είσοδο του αναλογικού προς ψηφιακού μετατροπέα (ADC= Analog to Digital Converter) της Ni- 9227 μονάδας. Το CompactRIO είναι το interface μεταξύ του

αναλογικού και ψηφιακού σήματος. Το virtual instrument (VI) αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό LabVIEW. Το web-based σύστημα απομακρυσμένης πρόσβασης ελέγχει την απομακρυσμένη πρόσβαση στα πειράματα, τρέχει επίσης σε ένα web server LabVIEW και καθιστά προσιτό κάθε χαρακτηριστικό από το εικονικό όργανο που περιλαμβάνεται στην τοπική έκδοση του λογισμικού.



Εικόνα 16: Διάγραμμα του προτεινόμενου συστήματος[6]

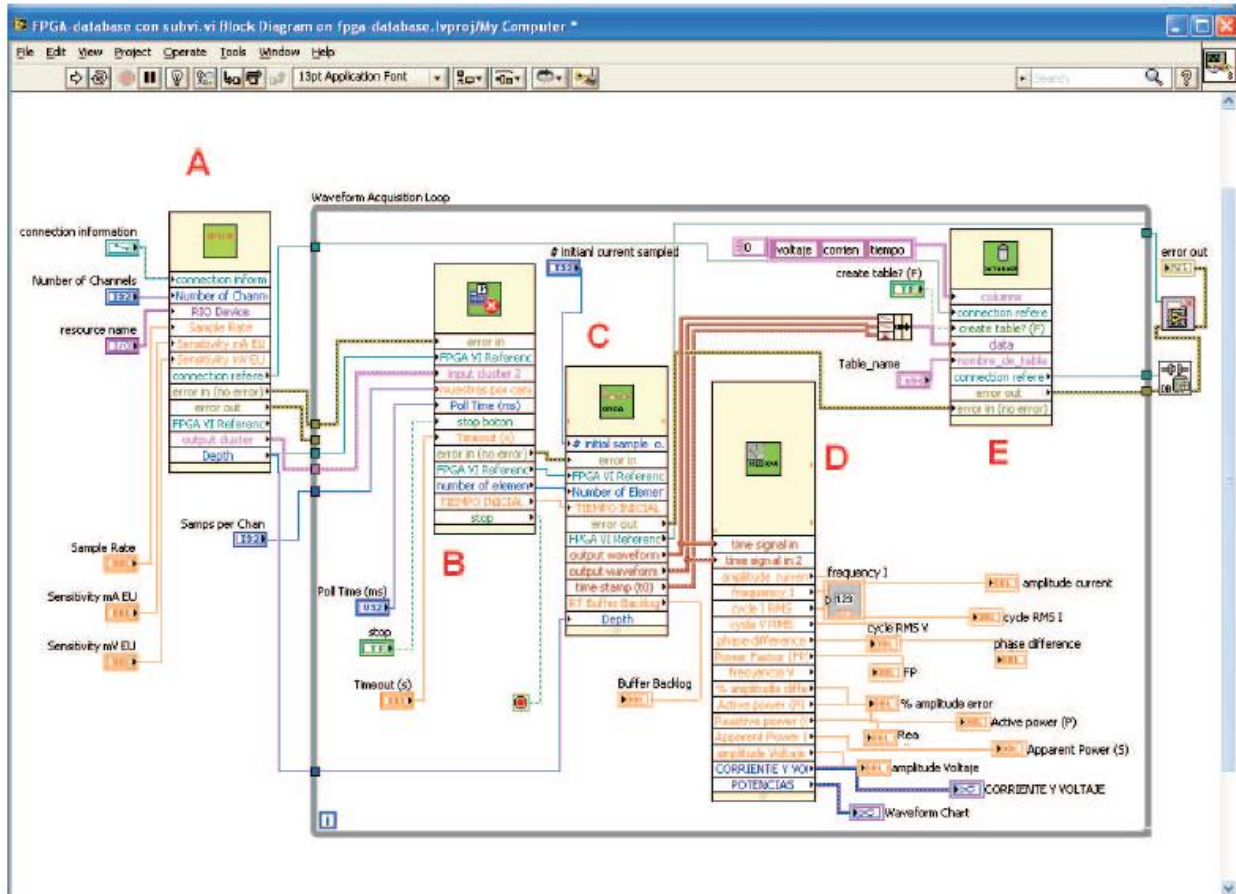
Το hardware του εργαστηρίου αποτελείται από δύο κυκλώματα, το ένα για την ρύθμιση της τάσης και ένα άλλο για την ρύθμιση του ρεύματος. Η Εικόνα 17 δείχνει ένα μπλοκ διάγραμμα του κάθε ενός από αυτά τα κυκλώματα. Το κύριο ρεύμα ανιχνεύεται από έναν αισθητήρα φαινομένου Hall LEM-50 και ενισχύεται. Η κύρια τάση εξασθενείται στα 10V (τάση εισόδου του ADC) και έπειτα μετράται από έναν ενισχυτή οργάνων και εφαρμόζεται στο ADC της NI-9227. Ένας ενισχυτής απομόνωσης χρησιμοποιείται για την απομόνωση της τάσης δικτύου από την είσοδο του ADC, αποφεύγοντας οποιαδήποτε βρόχο εδάφους ή την ζημιά του ADC σε περίπτωση βραχυκυκλώματος.



Εικόνα 17: Διάγραμμα των κυκλωμάτων ρύθμισης: a) ρεύματος και b) της τάσης[6]

Το περιβάλλον LabVIEW δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν ευέλικτες και κλιμακούμενες εφαρμογές μέτρησης. Επίσης, εξ αποστάσεως μετρήσεις (χρησιμοποιώντας πρόσβαση στο Internet) μπορούν να εκτελεστούν μέσα σε αυτό. Το LabVIEW υποστηρίζει πρόσβαση στο διαδίκτυο για πειράματα, και ως εκ τούτου, δεν απαιτείται προγραμματισμός web server. Όταν το πείραμα αναπτυχθεί σε LabVIEW στον τοπικό υπολογιστή, είναι άμεσα διαθέσιμο με μια απλή εγκατάσταση του LabVIEW.

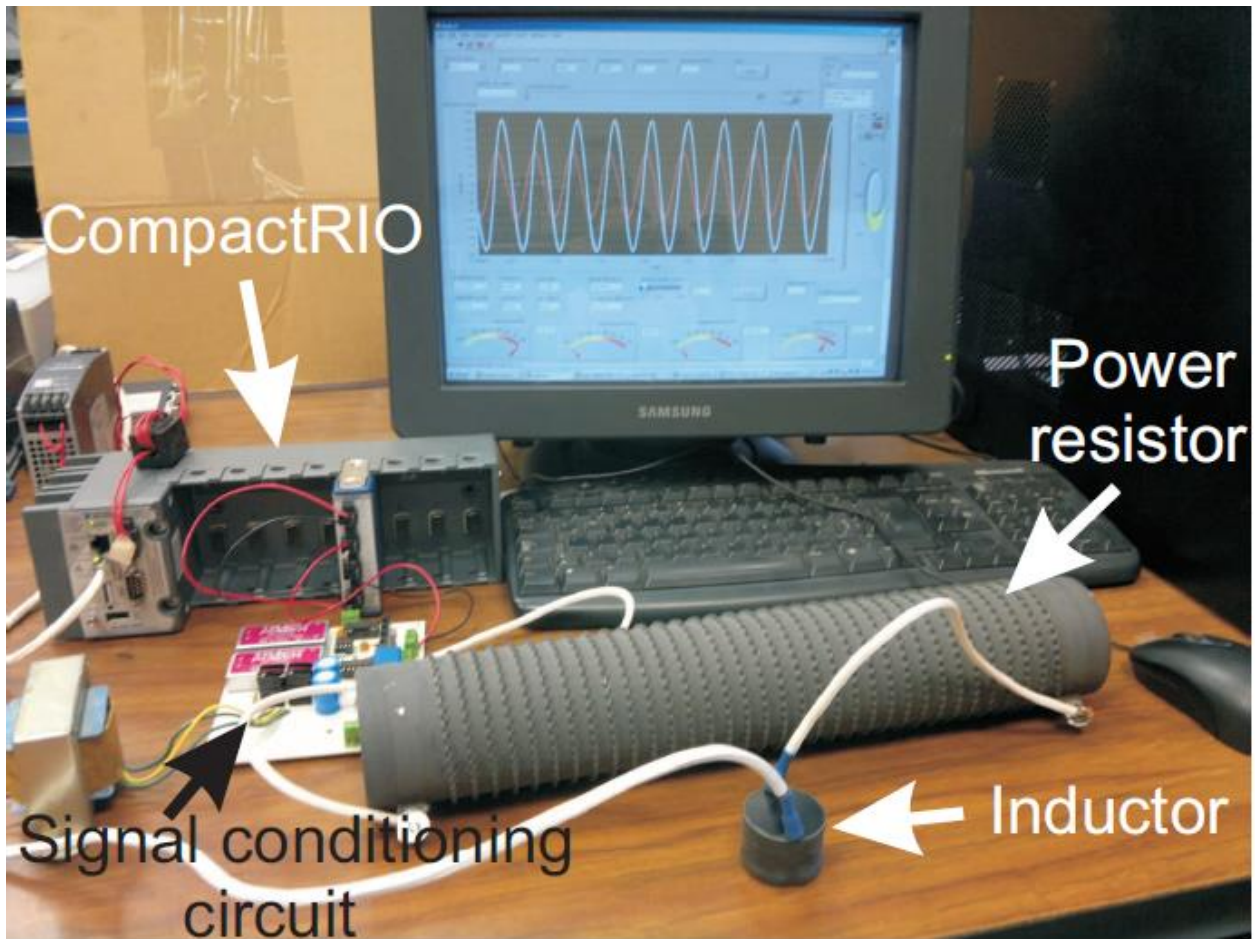
Ένα VI αναπτύχθηκε για την εφαρμογή του RAECL. Το VI προγραμματίστηκε χρησιμοποιώντας το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού LabVIEW. Το VI, το σύστημα απόκτησης δεδομένων και τα κυκλώματα επεξεργασίας σήματος έχουν εγκατασταθεί στο εργαστήριο. Το συνοπτικό διάγραμμα της εγκατάστασης του VI παρουσιάζεται στην Εικόνα 18. Όλες οι οδηγίες προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία του front panel και η διαδικασία απόκτησης δεδομένων δίνονται σε αυτό το μπλοκ διάγραμμα. Ο πίνακας ελέγχου (Control Panel) είναι το εικονικό interface για τον χρήστη. Στο CP, οι κυματομορφές ρεύματος και τάσης μπορούν να απεικονίζονται. Η συχνότητα, οι τιμές κορυφής και οι RMS τάσεις φαίνονται. Επίσης, η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο σημάτων μετράται και απεικονίζεται. Επιπλέον υπολογίζονται και εμφανίζονται η ενεργός, άεργος και φαινόμενη ισχύ και ο PF.



Εικόνα 18: Διάγραμμα του Virtual Instrumentation[6]

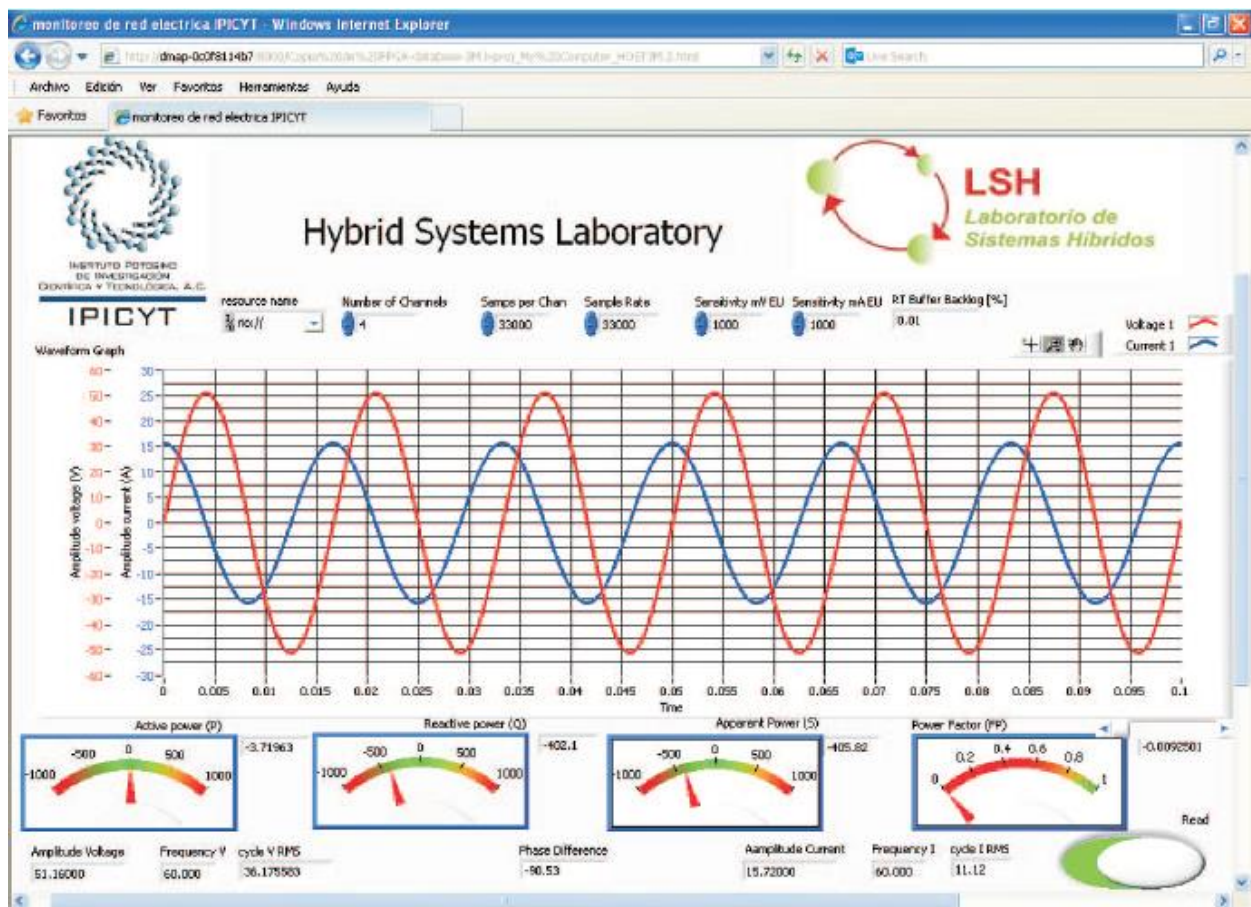
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, επιτυγχάνεται απομακρυσμένη πρόσβαση μέσω web διαμορφώνοντας το LabVIEW ως διακομιστή. Είναι δυνατή η πρόσβαση στο Control Panel σε πραγματικό χρόνο ταυτόχρονα από διαφορετικές sites, αλλά μόνο ένας χρήστης κάθε φορά μπορεί να έχει τον έλεγχο του πίνακα και του πειράματος. Αυτό είναι ένα ισχυρό χαρακτηριστικό του συστήματος για τη διδασκαλία και την κατάρτιση, δεδομένου ότι, επιτρέπει σε πραγματικό χρόνο επιδείξεις και την ανταλλαγή εμπειριών μεταξύ των χρηστών. Δεδομένου ότι το RAECL βασίζεται στο LabVIEW, οι φοιτητές δεν χρειάζονται εγκατάσταση του LabVIEW στο δικό του υπολογιστή. Ωστόσο, απαιτείται να εγκαταστήσουν τη σωστή έκδοση της εφαρμογής LabVIEW Run Time Engine.

Στο RAECL, ο μαθητής παρατηρεί (εξ αποστάσεως) τις κυματομορφές ρεύματος και τάσης που υπάρχουν στο φυσικό κύκλωμα. Η πειραματική διάταξη παρουσιάζεται στην Εικόνα 19.



Εικόνα 19: Ρύθμιση του συστήματος στο εργαστήριο για το κύκλωμα RL[6]

Η τάση και το ρεύμα σε ένα κύκλωμα RL φαίνονται στην Εικόνα 20. Ο στόχος είναι να δουν οι φοιτητές ότι το ρεύμα και η τάση σε ένα πηνίο ή σε έναν πυκνωτή δεν είναι σε φάση, δεδομένου ότι βρίσκονται σε ένα καθαρά ωμικό κύκλωμα.



Εικόνα 20: VI για το RL κύκλωμα[6]

Οι μαθητές καλούνται να συγκρίνουν τις θεωρητικές τιμές με τις μετρούμενες τιμές. Η ίδια διαδικασία γίνεται για ένα κύκλωμα RC. Επίσης, οι μαθητές μπορούν να δουν τις τιμές της ενεργού, άεργου και φαινόμενης ισχύος και να συγκρίνουν τα θεωρητικά με τα πειραματικά αποτελέσματα. Με τη γωνία φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος, ο μαθητής καλείται να υπολογίσει το συντελεστής ισχύος. Άλλα πιθανά σενάρια μπορούν να αξιολογηθούν για να φανούν οι γνώσεις των φοιτητών ή η πρόοδος τους στο θέμα. Παραδείγματος χάριν, εάν αλλάξει η τιμή αυτεπαγωγής (χωρίς να το γνωρίζει ο μαθητής), σύμφωνα με την τάση και ρεύμα εισόδου στο κυκλώμα, ο διδάσκοντας μπορεί να ζητήσει από τον μαθητή, πώς θα μπορούσε να καθορίσει την τιμή της αυτεπαγωγής σύμφωνα τις τιμές που υπάρχουν στο κύκλωμα.

Το RAECL έχει δοκιμαστεί με δύο ομάδες (A και B) 20 μαθητών η κάθε μια. Στους μαθητές της ομάδας A, κατά την διάρκεια της τάξης ο διδάσκοντας εξηγεί μόνο το θέμα και διεξάγονται προεργαστηριακές αναθέσεις πριν γίνει το εργαστήριο (οι φοιτητές κάνουν το πείραμα μόνοι τους) αλλά δεν έχουν πρόσβαση στο RAECL. Απο την άλλη, οι μαθητές της ομάδας B συμμετείχαν στις

θεωρητικές τους συνεδρίες και διεξήγαγαν προεργαστηριακές αναθέσεις πριν το εργαστήριο, αλλά μετά την συνεδρία στο εργαστήριο, είχαν πρόσβαση για μία εβδομάδα στο RAECL. Στο τέλος του μαθήματος οι φοιτητές της ομάδας Β είχαν καλύτερη τελική βαθμολογία σε σχέση με την άλλη ομάδα (Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι και οι δύο ομάδες ήταν ίσες στην αρχή). Το 73% των μαθητών της ομάδας Β πέρασε το μάθημα ενώ αντίστοιχα πέρασε μόνο το 33% των μαθητών της Α ομάδας. Επίσης, οι μαθητές συμπλήρωσαν μια δημοσκόπηση για να επαληθευτεί η ικανοποίησή τους. Οι μαθητές κλήθηκαν να 1) εκφράσουν το επίπεδο εμπιστοσύνης τους με τη χρήση του νέου συστήματος, 2) να αξιολογήσουν την ποιότητα των υλικών, και 3) εκφράσουν την συνολική ικανοποίησή τους. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι πάνω από το 75% των φοιτητών ικανοποιήθηκαν με την άσκηση. Οι μαθητές πρότειναν ότι το ζωντανό πείραμα θα πρέπει να είναι διαθέσιμο για παρατεταμένο χρονικό διάστημα για να αποκτήσουν πλήρες όφελος από το πείραμα. Άλλοι φοιτητές σχολίασαν ότι έλαβαν μια εξήγηση από συμμαθητή τους, ενώ χρησιμοποιούσαν το RAECL, που τους καθιστά σε θέση να κατανοήσουν το θέμα μετά την εργαστηριακή συνεδρία. 10% των μαθητών σχολίασαν ότι για να εκτελέσουν το πείραμα συνεπάγεται περισσότερος χρόνος και μερικές φορές δεν καταλάβαιναν τι τους ζητήθηκε να κάνουν.

2.2 Hardware Labs

2.2.1 Εργαστηριακά πειράματα με αιολική ενέργεια

Το ενδιαφέρον των μαθητών στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των ενεργειακών συστημάτων έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, αλλά τα μαθήματα αργούν να συμβαδίσουν σε αυτό το ρυθμό. Ωστόσο, μερικά πανεπιστήμια προσφέρουν τακτικά μαθήματα για τις ανανεώσιμες πηγές και ειδικά για την αιολική ενέργεια σε προπτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο.

Στο UT-Austin, έχει αναπτυχθεί ένα πρόγραμμα σπουδών που βασίζεται σε hands-on και simulation πειράματα ειδικά για την τεχνολογία παραγωγής αιολικής ενέργειας [16]. Αυτά τα πειράματα περιλαμβάνουν βασικά hands-on εργαστήρια και προηγμένα πειράματα προσομοίωσης σε υπολογιστή. Καλύπτουν τεχνολογίες ανεμογεννητριών (συμπεριλαμβανομένων της σχετικής αεροδυναμικής και της θεωρίας της μηχανικής πίσω από τις ανεμογεννήτριες) και θέματα διασύνδεσης της αιολικής ενέργειας. Τα βασικά πειράματα ενσωματώνονται σε σχετικά προπτυχιακά μαθήματα, ενώ προηγμένα πειράματα εντάσσονται σε ένα αυτόνομο μάθημα αφιερωμένο στην περάτωση των συστημάτων ενέργειας και ισχύος.

Για τους προπτυχιακούς μαθητές, θεμελιώδεις έννοιες πρέπει να παρουσιάζονται με ένα προσιτό, απλό και κατανοητό τρόπο. Για αυτό το κοινό, τα hands-on πειράματα είναι μια ιδανική μορφή. Τα πειράματα είναι ευέλικτων ενοτήτων και ρυθμισμένα να διεξάγονται σε ομάδες, επιτρέποντας ένα συνεργατικό περιβάλλον στο οποίο οι μαθητές θα είναι ελεύθεροι να κάνουν ερωτήσεις και να μάθουν από τους συμμαθητές τους. Κατάλληλα θέματα επιλέγονται έτσι ώστε τα πειράματα να μπορούν να ενσωματωθούν ως μέρος ενός προπτυχιακού μαθήματος. Τα πειράματα που πραγματοποιούνται στο εργαστήριο είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να αξιοποιηθεί η θεωρία που παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια της διάλεξης.

Η εργαστηριακή διαδικασία του πειράματος έχει σχεδιαστεί για να παρέχει μια συζήτηση για τους στόχους, τη θεωρία και τις θεμελιώδεις ιδέες για κάθε θέμα. Οι μαθητές καλούνται να διαβάσουν καλά και να κατανοήσουν αυτήν την ενότητα πριν προχωρήσουν με το πείραμα. Δύο βοηθοί διδασκαλίας επιβλέπουν κάθε ενότητα του εργαστηρίου για να εξασφαλιστεί ότι τα πειράματα διεξάγονται με ασφάλεια και είναι διαθέσιμοι να απαντήσουν στις ερωτήσεις των μαθητών ή να τους καθοδηγήσουν μέσα από πιο δύσκολα σημεία του πειράματος. Η πειραματική διαδικασία παρέχει βήμα-προς-βήμα οδηγίες για το πώς να συνδεθεί κάθε κύκλωμα και ποιές

μετρήσεις πρέπει να λαμβάνονται. Ενώ εργάζονται για τα πειράματα, οι μαθητές ενθαρρύνονται να παρατηρούν τα αποτελέσματα, να συζητούν μεταξύ τους και με τους βοηθούς διδασκαλίας, και τελικά να καταλάβουν το νόημα των αποτελεσμάτων. Το τελευταίο μέρος της κάθε πειραματικής διαδικασίας περιέχει επανεξετάσεις των θεμάτων που αφορούν τα πειραματικά αποτελέσματα και τη θεωρία. Οι μαθητές υποχρεούνται να παρέχουν μια γραπτή εξήγηση των αποτελεσμάτων για να ελέγχθει η κατανόηση τους.

Τα εργαστηριακά πειράματα πραγματοποιούνται σε διάρκεια τριών ωρών μία φορά την εβδομάδα. Τα πειράματα διαρκούν περίπου δύο ώρες για να ολοκληρωθούν. Κατά τις πρώτες δύο ώρες, οι μαθητές ακολουθούν τη διαδικασία για την εκτέλεση του πειράματος και λαμβάνουν μετρήσεις. Στις υπόλοιπες ώρες, αναλύουν τα δεδομένα, ενώ προετοιμάζουν την αναφορά στην οποία οι μαθητές πρέπει να απαντήσουν σε μια σειρά ερωτήσεων για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και την κατανόησή τους.

Δομή και πραγματοποίηση των πειραμάτων

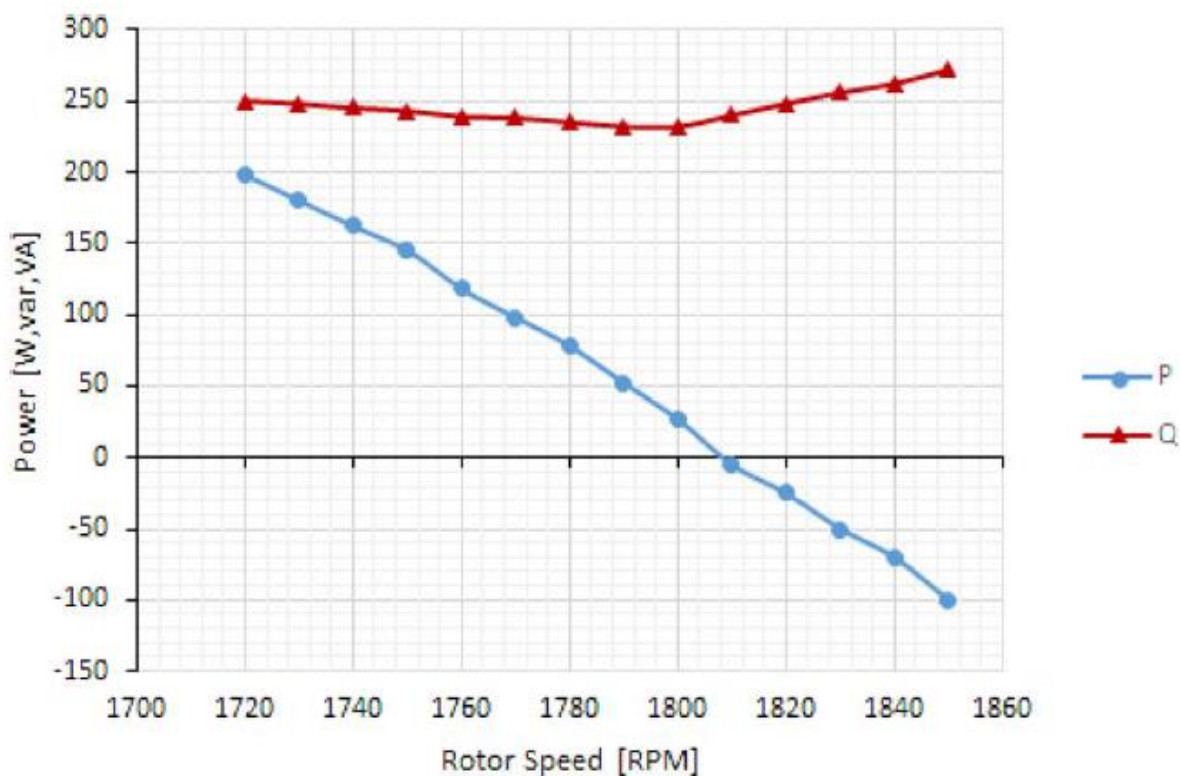
Η σειρά των hands-on πειραμάτων είναι δομημένη έτσι ώστε οι βασικές έννοιες που εισάγονται πρώτα να οικοδομήσουν μια θεμελιώδη κατανόηση της τεχνολογίας της αιολικής ενέργειας. Κάθε ακόλουθο πείραμα εισάγει μια νέα έννοια που βασίζεται στην προηγούμενη. Τα θέματα παρουσιάζονται με τη σειρά που αναφέρονται παρακάτω σε διάστημα πέντε πειραμάτων:

- Λειτουργία σε σταθερή κατάσταση των επαγωγικών μηχανών κλωβού και τυλίγματος δρομέα όπως κινητήρες και γεννήτριες
- Απευθείας σύνδεση ανεμογεννητριών σταθερής ταχύτητας
- Απαιτήσεις άεργου ισχύος και διόρθωση συντελεστή ισχύος
- Αυτο-διεγείρομενες και απομονωμένες ανεμογεννήτριες
- Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας του ανέμου με δυναμικό έλεγχο της αντίστασης του δρομέα

Το Πείραμα 1 καλύπτει τα βασικά των μηχανών επαγωγής. Ο στόχος αυτού του πειράματος είναι να επιτρέψει στους μαθητές να εξετάσουν τις αρχές κατασκευής και λειτουργίας και των δύο τύπων μηχανών επαγωγής. Οι μαθητές θα αποκτήσουν μια κατανόηση του ρεύματος μαγνητίσεως του στάτη, της σύγχρονης ταχύτητας, των χαρακτηριστικών ροπής-ταχύτητας και τη σημασία της ολίσθησης. Οι μαθητές παρατηρούν επίσης την επίδραση του περιστρεφόμενου μαγνητικού

πεδίου και της ταχύτητας δρομέα ταχύτητας μαγνητικό από την επαγόμενη τάση στο δρομέα. Στο πλαίσιο του πειράματος, οι μαθητές χαρακτηρίζουν τη χαρακτηριστική καμπύλη ροπής-ταχύτητας της μηχανής για να αναπτύξουν την κατανόηση των περιοχών λειτουργίας. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ως κινητήρας, οι μαθητές μετρούν μηχανικές και ηλεκτρικές ισχύεις για να προσδιορίσουν την αποτελεσματικότητα της μηχανής. Όταν λειτουργεί ως γεννήτρια, η ταχύτητα του ρότορα ελέγχεται από έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος για την προσομοίωση των επιπτώσεων των διάφορων ταχυτήτων ανέμου στη γεννήτρια επαγωγής.

Το Πείραμα 2 [16] εισάγει την τύπου 1 ή την απευθείας σύνδεσης σταθερής ταχύτητας, ανεμογεννήτρια. Οι μαθητές συναρμολογούν πρώτα την τύπου 1 τουρμπίνα χρησιμοποιώντας μια μηχανή επαγωγής κλωβού από το προηγούμενο πείραμα. Οι μετρήσεις της ενεργού και αέργου ισχύος λαμβάνονται κάτω, πάνω από την σύγχρονη ταχύτητα και στην σύγχρονη ταχύτητα (και πάλι ο DC κινητήρας χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ταχύτητας του δρομέα της μηχανής επαγωγής) για να παρατηρούν οι φοιτητές τη συμπεριφορά της μηχανής επαγωγής, ως κινητήρα και μετά ως γεννήτρια. Επειδή η μηχανική ταχύτητα του δρομέα μπορεί να ποικίλει, η έννοια της ολίσθησης γίνεται άμεσα εμφανής. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται στους μαθητές για πρώτη φορά η έννοια της ολίσθησης, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της ταχύτητας της μηχανής και της σύγχρονης ταχύτητας στην εισαγωγή του πειράματος. Κατά τη διάρκεια του πειράματος οι φοιτητές μπορούν να μεταβάλλουν την ταχύτητα της μηχανής και να λαμβάνουν μετρήσεις χρησιμοποιώντας ένα στροφόμετρο. Σχεδιάζοντας αυτά τα δεδομένα σε ένα γράφημα όπως στην Εικόνα 21, μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να απεικονίσουν τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας του δρομέα και της ισχύος. Καθώς η ταχύτητα του δρομέα αυξάνεται πάνω από τη σύγχρονη ταχύτητα, οι μαθητές είναι σε θέση να παρατηρήσουν μια μετατόπιση από θετική σε αρνητική δύναμη (και ροπή) καθώς η μηχανή επαγωγής ξεκινά τη παραγωγή.



Εικόνα 21: Γράφημα της ταχύτητας του δρομέα και της ισχύος [16]

Στο Πείραμα 3 [16], οι φοιτητές προσθέτουν ένα πυκνωτή ισχύος για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος της μηχανής κατά τη λειτουργία τόσο ως κινητήρα και ως γεννήτρια. Το πείραμα απαιτεί πρώτα από τους μαθητές να υπολογίσουν το απαραίτητο μέγεθος της συστοιχίας πυκνωτών για την αντιστάθμιση του συντελεστή ισχύος. Ο υπολογισμός στη συνέχεια επαληθεύεται με την επανάληψη του πειράματος 2, αλλά με την συστοιχία πυκνωτών να συνδέεται παράλληλα. Οι τιμές των ρευμάτων γραμμής, της ενεργού και αέργου ισχύος, του συντελεστή ισχύος και της ολίσθησης συγκρίνονται στη συνέχεια με τις μετρήσεις στο Πείραμα 2 στις οποίες δεν εφαρμόστηκε αντιστάθμιση του συντελεστή ισχύος.

Το Πείραμα 4 [16] εισάγει την αυτο-διεγερόμενη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας τύπου 1. Ο στόχος είναι για τους φοιτητές να κατανοήσουν πώς μια ανεμογεννήτρια μπορεί να λειτουργήσει χωρίς να είναι συνδεδεμένη με ένα σύστημα τροφοδοσίας. Οι μαθητές πρώτα προσδιορίζουν την απαιτούμενη κρίσιμη χωρητικότητα που απαιτείται για να διεγερθεί η μηχανή επαγωγής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του πειράματος, προσθέτοντας παράλληλα χωρητικότητα έως ότου η μηχανή επαγωγής ξεκινά την παραγωγή ισχύος. Στη συνέχεια, οι μαθητές αυξάνουν σταδιακά ένα καθαρά

ωμικό φορτίο που συνδέεται στην ανεμογεννήτρια και παίρνουν μετρήσεις της συχνότητας, της τάσης εξόδου, του ρεύματος γραμμής και της ενεργού και αέργου ισχύος. Μαθαίνουν ότι καθώς αυξάνεται το φορτίο πάνω από ένα ορισμένο σημείο, η ονομαστική τάση εξόδου δεν μπορεί να διατηρηθεί. Το σημείο αυτό αντιστοιχεί στο όριο του ελέγχου του βήματος της ανεμογεννήτριας. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται με μεγαλύτερη χωρητικότητα εν παραλλήλω. Οι μαθητές μαθαίνουν ότι η ικανότητα φόρτωσης μπορεί να αυξηθεί με την αύξηση της αέργου ισχύος που παρέχεται. Τέλος, ένα επαγωγικό φορτίο προστίθεται στο ωμικό φορτίο και αυξάνεται σταδιακά. Οι φοιτητές παρατηρούν ότι η παράλληλη χωρητικότητα προμηθεύει πλέον άεργο ισχύ τόσο στη μαγνήτιση της μηχανής επαγωγής όσο και στην απαίτηση ισχύος του φορτίου.

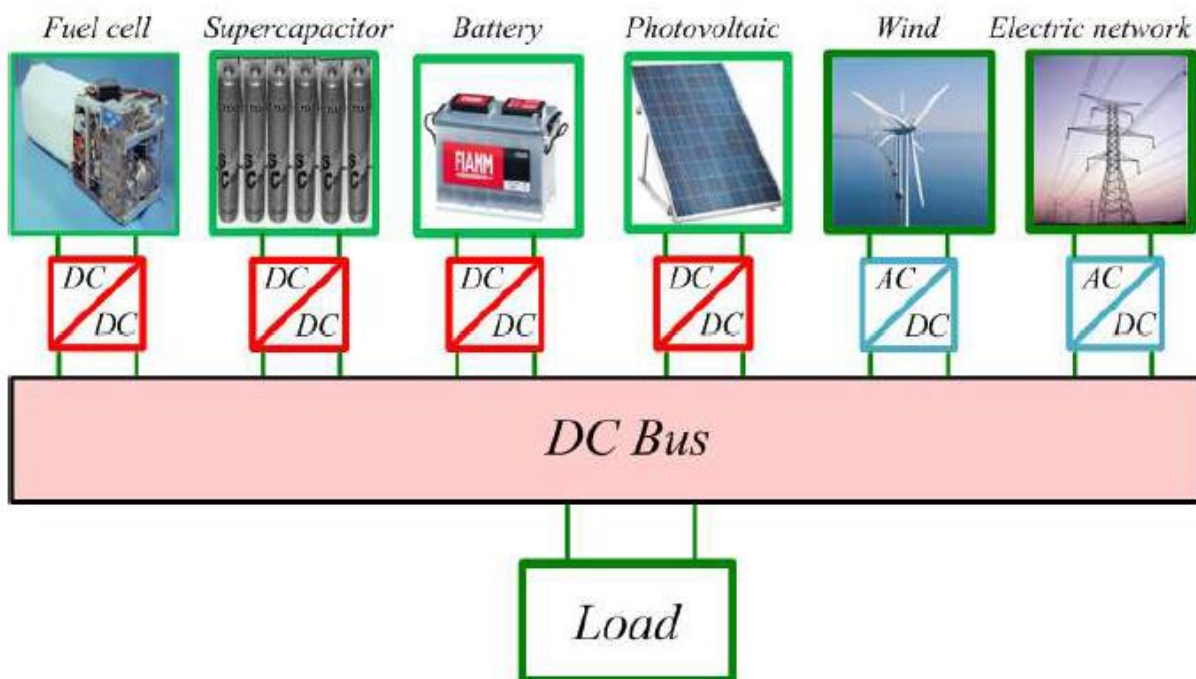
2.3 Software in the lab

2.3.1 Ένα E-Learning εργαλείο ελέγχου Ισχύος και διαχείρισης ενέργειας σε DC Μικροδίκτυα

Μια μεθοδολογία e-learning έχει αναπτυχθεί και εφαρμόζεται σε ένα DC μικροδίκτυο που αποτελείται από ένα κύτταρο καυσίμου ως κύρια πηγή ενέργειας και δύο στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας ως επικουρικές πηγές: μια τράπεζα υπερπυκνωτών και μια τράπεζα μπαταριών [7]. Η στρατηγική ελέγχου βασίζεται σε ένα συνδυασμό της επιπεδότητας και της ασαφούς λογικής. Χρησιμοποιώντας ένα πλήρως λειτουργικό stand-alone λογισμικό, διαδραστικές προσομοιώσεις επιτρέπουν στους χρήστες να αξιολογήσουν την επίδραση της διαχείρισης ενέργειας και του ελέγχου ισχύος στην αποτελεσματικότητα του DC μικροδικτύου.

Σήμερα, τα DC μικροδίκτυα προσελκύουν όλο και περισσότερο την προσοχή λόγω του πλεονεκτήματός τους στην εξάλειψη της μεταφοράς της ενέργειας σε μεγάλη απόσταση και την εγγενή ικανότητα τους να ενσωματώνουν εύκολα την αποθήκευση ενέργειας. Επιπλέον, τα περισσότερα φορτία απαιτούν συνεχές ρεύμα. Η μαζική χρήση των μελλοντικών Plug-in Υβριδικών Ηλεκτρικών Οχημάτων (Plug-in Hybrid Electric Vehicles-PHEVs) και τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) θα απαιτούν μια πιο εντατική χρήση των DC μικροδικτύων στο όχημα αφενός και στα σημεία φόρτισης αφετέρου. Αυτό παρουσιάζει ενδιαφέρον για την ανάπτυξη συστημάτων

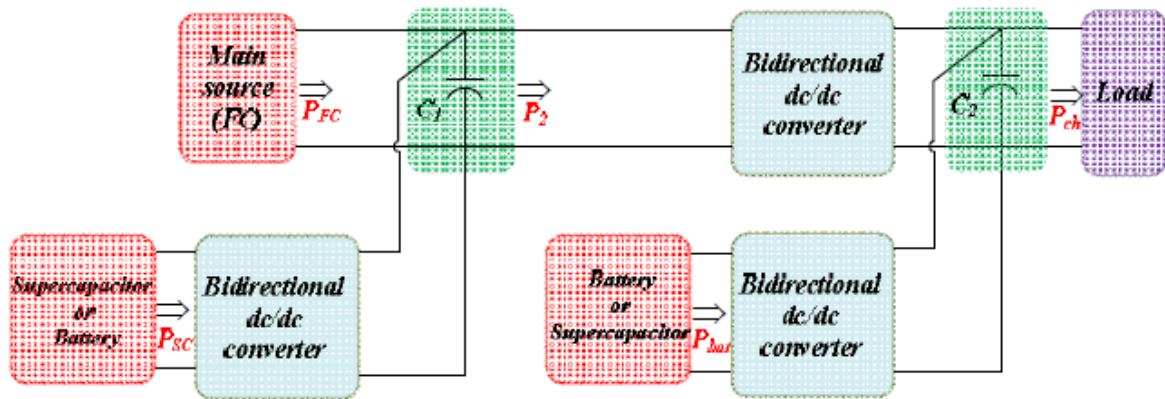
μεταφοράς με καθαρές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως αντικατάσταση για οχήματα ορυκτών καυσίμων. Επιπλέον, τα DC μικροδίκτυα έχουν το πλεονέκτημα της υψηλής ενεργειακής απόδοσης και πρέπει να παρέχουν σταθερή συμπεριφορά, ιδίως στα EV, όπου η ηλεκτρική κίνηση πρέπει να λειτουργεί σε ένα πολύ ευρύ φάσμα ταχυτήτων. Τέτοια μικροδίκτυα είναι εγγενώς πολλαπλών πηγών. Μπορούν να αποτελούνται από πολλά συστατικά, όπως οι κυψέλες καυσίμου, οι τράπεζες της υπερπυκνωτών, μπαταρίες, φωτοβολταϊκές πηγές, ανεμογεννήτριες και ηλεκτρικές γεννήτριες. Αυτές οι πηγές συνδέονται με ένα DC ζυγό τάσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 22.



Εικόνα 22: Σύστημα πολλαπλών πηγών [7]

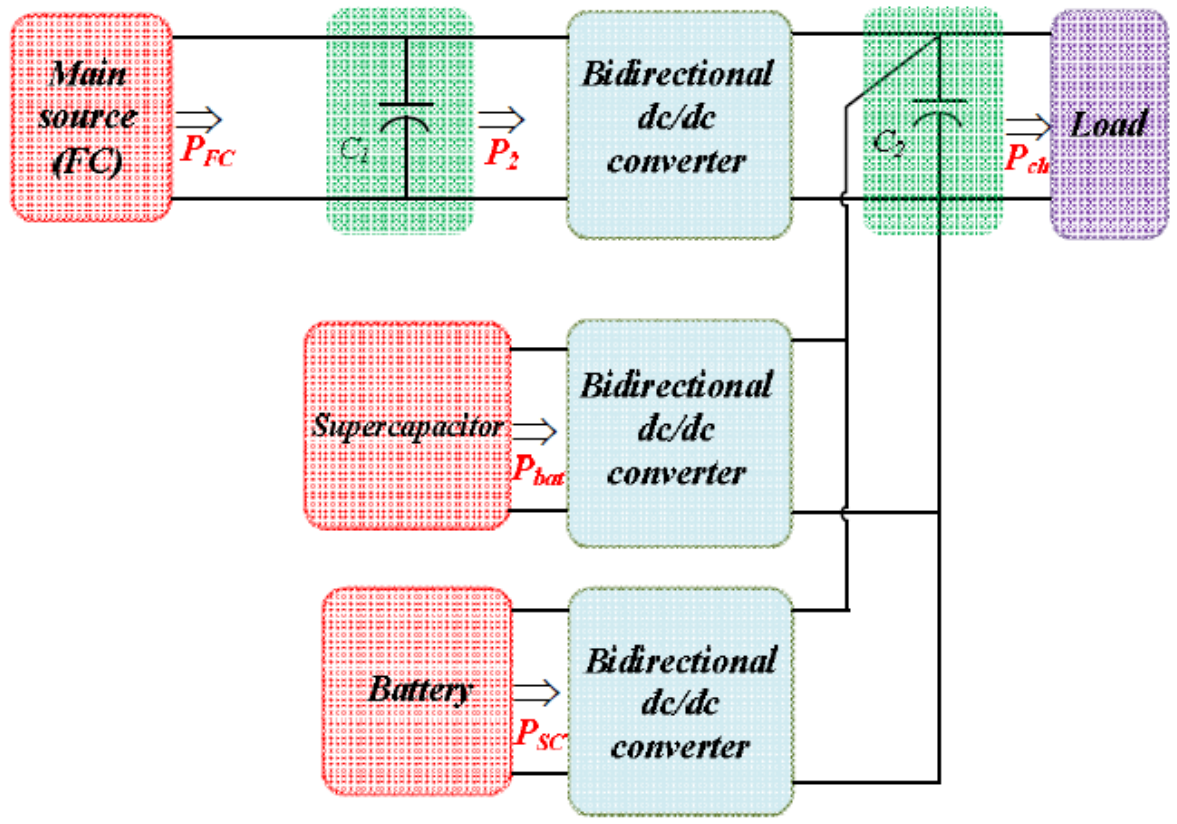
Διαφορετικές δομές σχετίζονται με τα υβριδικά multi-source συστήματα. Τα συστήματα όπου έχουν μια ηλεκτροχημική κύρια πηγή, προκειμένου να μειωθεί η κυμάτωση ρεύματος στη πλευρά της πηγής, προστίθεται συχνά ένα φίλτρο εισόδου. Επιπλέον, επειδή η τάση εξόδου της ηλεκτροχημικής πηγής είναι συχνά χαμηλή, το σύστημα περιλαμβάνει δύο ζυγούς DC (βλέπε Εικόνα 23). Ένας ζυγός χαμηλής τάσης σχηματίζεται γύρω από τον πυκνωτή C_1 και ο λεωφορείο εξόδου σε υψηλότερη τάση παράγεται γύρω από τον πυκνωτή C_2 . Η κύρια πηγή ενέργειας είναι συνδεδεμένη με τον C_1 και το φορτίο είναι συνδεδεμένο με C_2 . Μπορούν να οριστούν άλλες δομές όπως στην Εικόνα 23, 24 και 25 όπου αντιπροσωπεύουν τη σύνδεση ενός συστήματος κυψελών

καυσίμου και δύο ηλεκτρικών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Στην Εικόνα 23, τα στοιχεία αποθήκευσης συνδέονται σε δύο διαφορετικά σημεία στο σύστημα, ενώ στην Εικόνα 24 και 25, τα αποθηκευτικά όργανα συνδέονται στο ίδιο σημείο, τον ζυγό υψηλής τάσης (Εικόνα 24) ή τον ζυγό χαμηλής τάσης (Εικόνα 25).

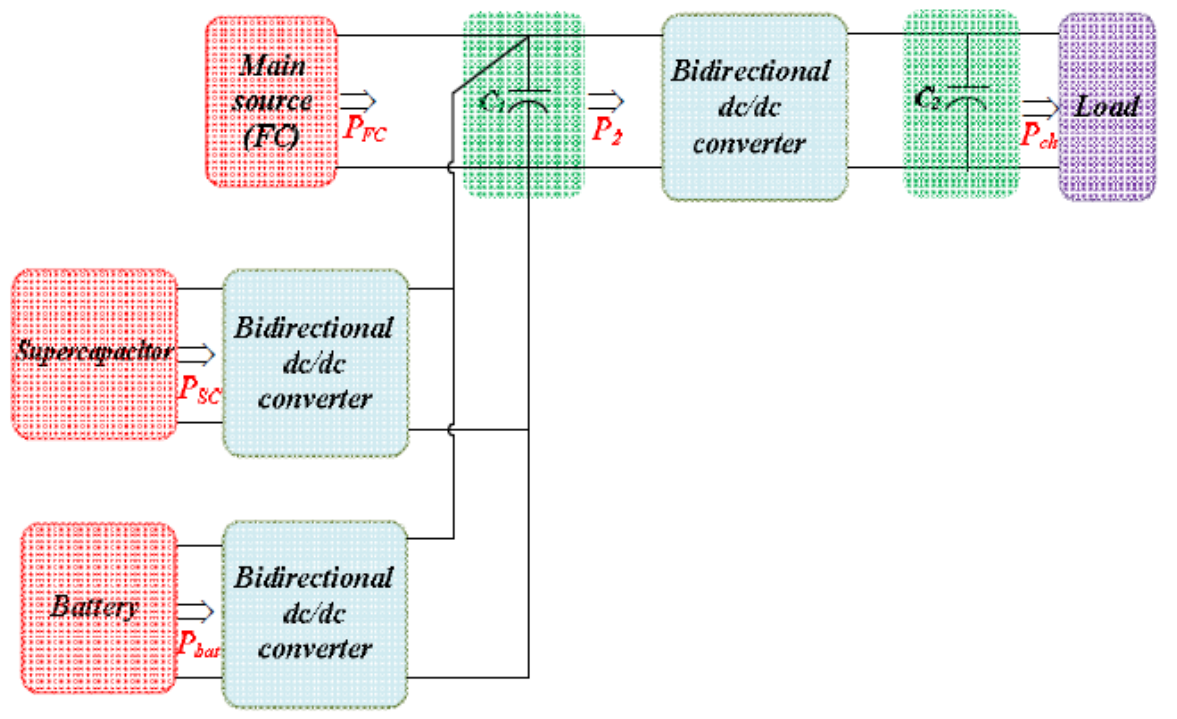


Εικόνα 23: Διάγραμμα της 1ης δομής του υβριδικού συστήματος [7]

Η παρεχόμενη ισχύς από το κύτταρο καυσίμου ελέγχεται από την τάση στα άκρα του C_1 . Η τάση του C_2 είναι η τάση έξοδου του μικροδικτύου και πρέπει να είναι σταθερή. Ως εκ τούτου, παρέχεται ένας αμφίδρομος μετατροπέας μεταξύ αυτών των δύο πυκνωτών. Τα στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας συνδέονται με το μικροδίκτυο με αμφίδρομους μετατροπείς. Αυτό επιτρέπει τη φόρτιση και αποφόρτιση των στοιχείων αποθήκευσης και να λειτουργούν για την αναγέννηση ισχύος στο φορτίο.



Εικόνα 24: Τα αποθηκευτικά όργανα συνδεδεμένα στον ζυγό υψηλής τάσης [7]



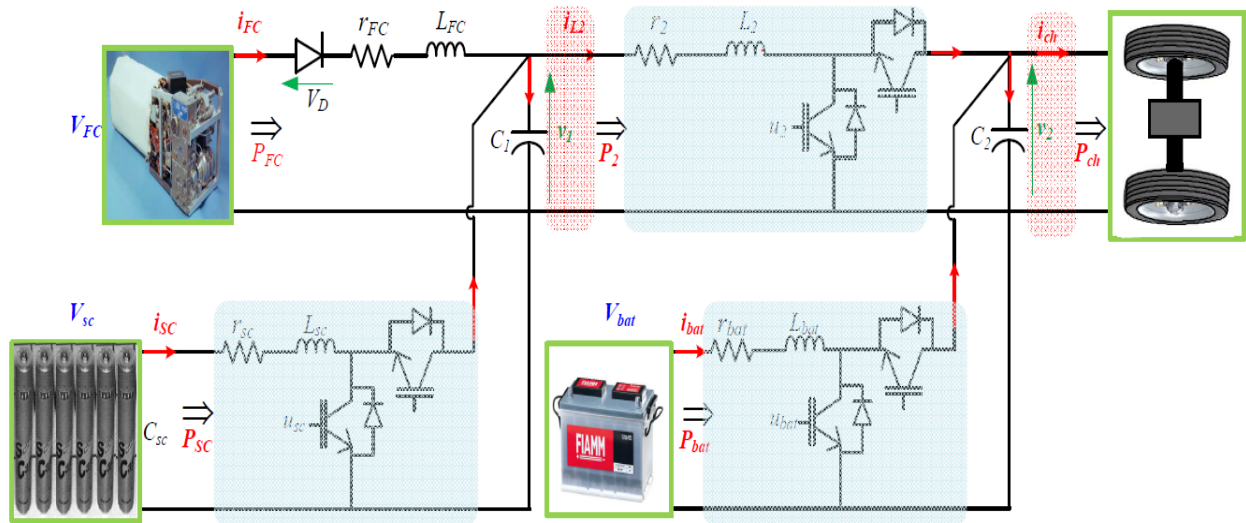
Εικόνα 25: Τα αποθηκευτικά όργανα συνδεδεμένα στον ζυγό χαμηλής τάσης [7]

Η προσομείωση που παρουσιάζεται βασίζεται στην πρώτη δομή της εφαρμογής υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων που χρησιμοποιώντας εργαλεία ανάπτυξης MATLAB. Οι μηχανικοί και φοιτητές που ενδιαφέρονται για το σχεδιασμό των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελούν το κυρίως κοινό και θα πρέπει να είναι οικείοι με:

- Γενικές γνώσεις στον τομέα της ηλεκτρολογίας.
- Βασικές γνώσεις στα ηλεκτρονικά και ηλεκτρονικών ισχύος.
- Βασικές γνώσεις της θεωρίας ελέγχου.

Το γενικό σχήμα του μελετούμενου συστήματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 26. Το DC μικροδίκτυο αποτελείται από:

- Μια κυψέλη καυσίμου ως την κύρια πηγή.
- Ένα υπερπυκνωτή ως πρώτη βοηθητική πηγή.
- Μια μπαταρία ως δεύτερη βοηθητική.
- Δύο ζυγούς DC με τους πυκνωτές C_1 (Χαμηλής τάσης ζυγός DC) και C_2 (Υψηλής τάσης ζυγός DC).
- Τρεις αναστρέψιμους μετατροπείς DC-DC.
- Ένα φορτίο μεταβλητής ισχύος.



Εικόνα 26: Διάγραμμα του μελετούμενου υβριδικού συστήματος [7]

Ο πρώτος αναστρέψιμος DC-DC μετατροπέας χρησιμοποιείται για να ενισχύσει την χαμηλής τάσης κύρια πηγή στην επιθυμητή τιμή της σταθερής τάσης εξόδου για την τροφοδότηση του φορτίου. Η πρώτη βοηθητική πηγή (υπερπυκνωτής) συνδέεται με τον μεταβλητό DC ζυγό (C_1) μέσω του δεύτερου αναστρέψιμου DC-DC μετατροπέα για τον έλεγχο της τάσης V_1 . Η δεύτερη βοηθητική πηγή (μπαταρία) είναι συνδεδεμένη με το σταθερό ζυγό (C_2), μέσω του αναστρέψιμου DC-DC για τον έλεγχο της τάσης φορτίου V_2 .

Για τη διαχείριση της ανταλλαγής ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα, παρουσιάζονται τρεις τρόποι λειτουργίας ως εξής:

1. Κανονική λειτουργία: σε αυτή τη λειτουργία, η ισχύς του φορτίου είναι θετική και μικρότερη από τη μέγιστη ισχύ της κύριας πηγής. Η κύρια πηγή (κυψέλη καυσίμου) τροφοδοτεί το φορτίο. Ο έλεγχος των DC-DC μετατροπέων οδηγεί στην φόρτιση και ξεφόρτιση των βοηθητικών πηγών στις τάσεις αναφοράς τους.
2. Λειτουργία υπερφόρτωσης: η ισχύς του φορτίου είναι θετική και μεγαλύτερη από την μέγιστη ισχύ της κύριας πηγής. Ο έλεγχος των DC-DC μετατροπέων επιτρέπει τη διέλευση των στοιχείων αποθήκευσης ενέργειας στο φορτίο.
3. Λειτουργία ανάκτησης: η ισχύς του φορτίου είναι αρνητική. Ο έλεγχος των μετατροπέων DC-DC εξασφαλίζει τη ρύθμιση της τάσης εξόδου μέσω της φόρτισης των βοηθητικών πηγών.

Η συμπεριφορά του συστήματος περιγράφεται από τις ακόλουθες διαφορικές εξισώσεις γραμμένες σύμφωνα με αναφορές στο σχήμα της Εικόνας 26:

$$(1) \quad \begin{aligned} \frac{di_{FC}}{dt} &= \frac{1}{L_{FC}} (V_{FC} - r_{FC} \times i_{FC} - v_1) \\ \frac{dv_1}{dt} &= \frac{1}{C_1} (i_{FC} + (1 - u_{SC}) \times i_{SC} - i_{L2}) \end{aligned}$$

$$(2) \quad \begin{aligned} \frac{di_{SC}}{dt} &= \frac{1}{L_{SC}} (V_{SC} - r_{SC} \times i_{SC} - (1 - u_{SC}) \times v_1) \\ \frac{dV_{SC}}{dt} &= \frac{-i_{SC}}{C_{SC}} \end{aligned}$$

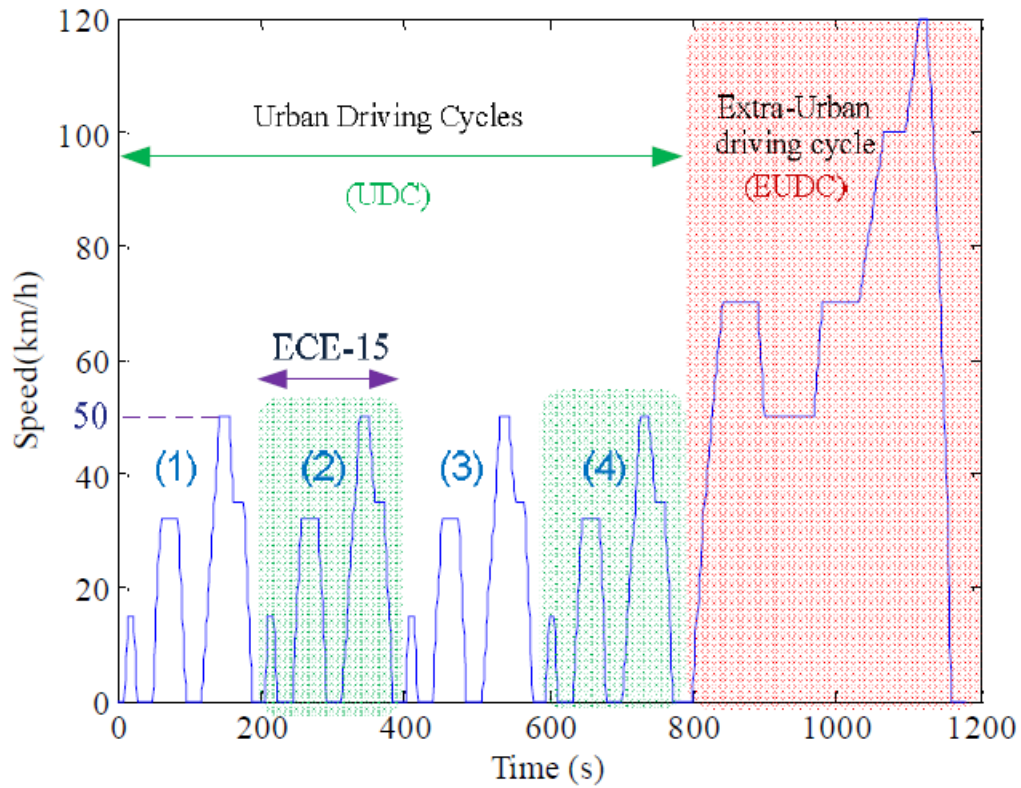
$$(3) \quad \begin{aligned} \frac{di_{L2}}{dt} &= \frac{1}{L_{L2}} (v_1 - r_2 \times i_{L2} - (1 - u_2)v_2) \\ \frac{dv_2}{dt} &= \frac{1}{C_2} (-i_{ch} + (1 - u_2) \times i_{L2} + (1 - u_{bat})i_{bat}) \end{aligned}$$

$$(4) \quad \frac{di_{bat}}{dt} = \frac{1}{L_{bat}} (V_{bat} - r_{bat} \times i_{bat} - (1 - u_{bat})v_2)$$

όπου που r_{sc} , r_2 και r_{bat} αντιπροσωπεύουν τις απώλειες και u_{sc} , u_2 και u_{bat} αντιπροσωπεύουν την εντολή αλλαγής στους τρεις DC-DC μετατροπείς.

Οι κυριότεροι γνωστοί κύκλοι οδήγησης είναι ο Ευρωπαϊκός, Ιαπωνικός και Αμερικάνικος. Ο Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης (NEDC), που αναφέρεται επίσης ως κύκλος MVEG (Motor Vehicle Emission Group), είναι ένας κύκλος οδήγησης για να αντιπροσωπεύεται η τυπική χρήση ενός αυτοκινήτου στην Ευρώπη. Η ταχύτητα του οχήματος σε σχέση με το χρόνο χαράσσεται στην Εικόνα 27. Αυτός ο κύκλος οδήγησης αποτελείται από τέσσερις επαναλαμβανόμενους ECE-15 αστικούς κύκλους οδήγησης (UDC) που εκπροσωπούν συνθήκες οδήγησης στην πόλη (max. 50 χλμ/ώρα) και έναν υπεραστικό κύκλο οδήγησης (EUUDC) μετά τον τέταρτο κύκλο ECE για την υψηλής ταχύτητας οδήγηση με μέγιστη ταχύτητα στα 120 χλμ/ώρα σε μια προαστιακή διαδρομή. Οι δύο πρώτοι κύκλοι χρησιμοποιούνται σε επίπεδη διαδρομή με τέτοιο τρόπο ώστε ο κινητήρας να λειτουργεί σε κανονικές συνθήκες. Ο τρίτος και τέταρτος αστικός κύκλος χρησιμοποιούνται σε ανηφορικούς και κατηφορικούς δρόμους για αντίστοιχη λειτουργία υπερφόρτωσης και φόρτισης. Ο υπεραστικός κύκλος προσομοιώνεται σε επίπεδο δρόμο. Η ισχύς του κινητήρα στον DC ζυγό μπορεί να οριστεί ως:

$$P = V \left[M \left(C_f g \cos(\theta) + g \sin(\theta) + \frac{dV}{dt} \right) + \frac{1}{2} \rho A C_a V^2 \right]$$

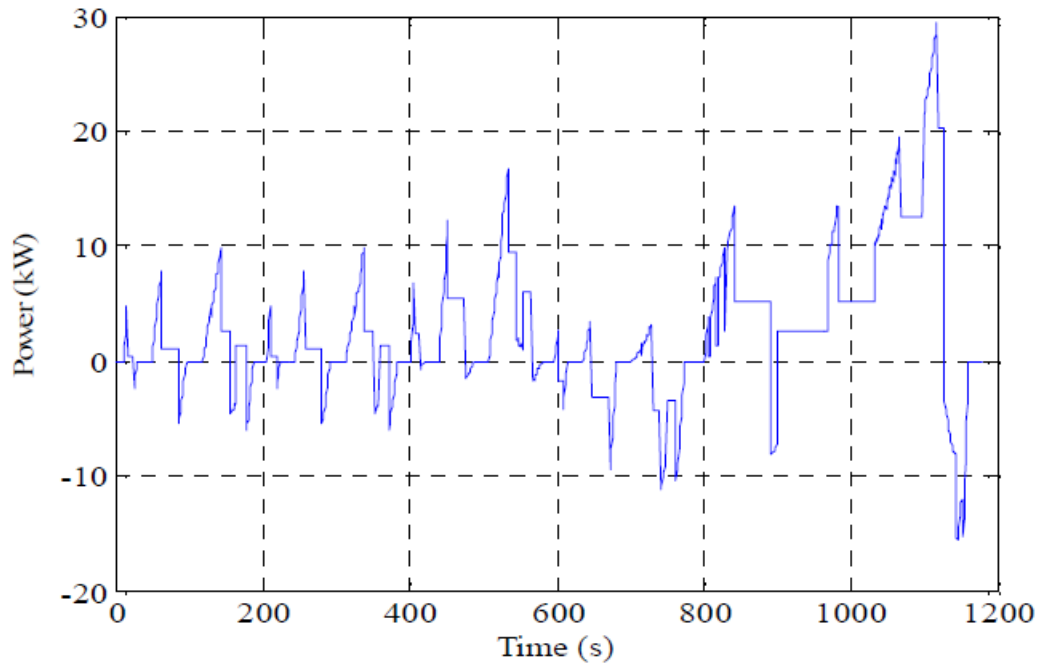


Εικόνα 27: Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης[7]

Οι παράμετροι ενός τυπικού οχήματος παρουσιάζονται στην Εικόνα 28. Η αντίστοιχη γραφική παράσταση της μεταβολής της ισχύος του φορτίου με το χρόνο παρουσιάζεται στο Εικόνα 29.

<i>Symbol</i>	<i>Description</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
V	Vehicle speed	Fig. 8	m/s
M	Vehicle mass	1000	kg
A	Vehicle front area	2.57	m^2
ρ	Air mass density	1.2	kg/m^3
θ	Road angle	0,0,0.05,0.05,0	rad
C_f	Friction coefficients	0.01	—
C_a	Aerodynamic coefficients	0.3	—

Εικόνα 28: Παράμετροι του οχήματος[7]



Εικόνα 29: Ισχύς φορτίου[7]

Με το πείραμα αυτό οι φοιτητές μαθαίνουν:

- Μοντελοποίηση των αρχιτεκτονικών συστήματος κίνησης με κύρια πηγή, στοιχεία αποθήκευσης και αυστηρά ελεγχόμενα φορτία.
- Σχεδιασμό ελεγκτών του ρεύματος και της τάσης ενός κινητήρα που χρησιμοποιώντας γραμμικά μοντέλα.
- Σχεδιασμό ελεγκτών της ισχύος και της ενέργειας ενός κινητήρα με τη χρήση μη γραμμικών μοντέλων.
- Σύγκριση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας για ένα δεδομένο κύκλο οδήγησης με διαφορετικά συστήματα μετάδοσης κίνησης.

2.3.2 Μέθοδος εκμάθησης μεθοδολογιών για την τιμολόγηση μεταφοράς ενέργειας

Το παρών κεφάλαιο παρουσιάζει μια μέθοδο που με τη βοήθεια υπολογιστή βοηθάει στην διδασκαλία και κατανόηση των φοιτητών για τις τεχνικές τιμολόγησης μεταφοράς ενέργειας [5]. Η εκπαιδευτική μέθοδος διευκολύνεται από ένα ειδικά σχεδιασμένο και φιλικό προς το χρήστη λογισμικό τιμολόγησης μετάδοσης (Transmission Pricing Software). Η προτεινόμενη προσέγγιση βοηθά τους φοιτητές να κατανοήσουν πλήρως την τιμολόγηση μετάδοσης μέσω της εκπλήρωσης των ακόλουθων εκπαιδευτικών στόχων:

1. Χρήση του TPS για να λύσουν το πρόβλημα τιμολόγησης μετάδοσης ενός μικρού συστήματος ισχύος, καθώς και ενός συστήματος του πραγματικού κόσμου
2. Πλήρης κατανόηση των μαθηματικών που εμπλέκονται και την ανάπτυξη κώδικα λογισμικού για την αναπαραγωγή μέρος των αποτελεσμάτων του TPS
3. Ανάλυση των αποτελεσμάτων, ο προσδιορισμός και η αιτιολόγηση των διαφορών μεταξύ των τριών τεχνικών εντοπισμού της μετάδοσης και των οκτώ μεθόδων κατανομής του κόστους
4. Επέκταση των μεθοδολογιών TPS.

Το TPS είναι η βάση για την διδασκαλία της τιμολόγησης μετάδοσης στο πλαίσιο του μαθήματος Ηλεκτρική Οικονομία του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π). Τα κίνητρα για την ανάπτυξη του TPS είναι η ενίσχυση του μαθήματος αυτού, φέρνοντας το νέο κόσμο των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας πιο κοντά στους μαθητές και να παρέχει ένα ευέλικτο περιβάλλον προσομοίωσης για την εν εξελίξει έρευνα στο Ε.Μ.Π.

Το κόστος των βασικών υπηρεσιών μετάδοσης αντιστοιχεί κατά κύριο λόγο με το σταθερό κόστος μεταφοράς, που αναφέρεται επίσης ως το ενσωματωμένο κόστος της εγκατάστασης μεταφοράς. Το κόστος του δικτύου μεταφοράς μπορεί να ερμηνευθεί ως το κόστος λειτουργίας, συντήρησης και απόσβεσης του συστήματος μεταφοράς. Αρκετές μεθοδολογίες έχουν προταθεί για την κατανομή του συνόλου ή μέρους του κόστους του δικτύου για τους χρήστες του δικτύου μεταφοράς. Στο σχεδιασμένο TPS, θεωρείται μια συγκεντρωτική αγορά και εξετάζονται η μέθοδος τοπικής οριακή τιμολόγησης και διάφορες μέθοδοι κατανομής ενσωματωμένου κόστους με βάση τη χρήση του δικτύου. Λόγω της μη γραμμικής φύσεως των εξισώσεων ροής φορτίου,

είναι αδύνατο να αποσυντεθούν φυσικά οι ροές του δικτύου σε συνιστώσες που αποδίδονται σε συγκεκριμένους χρήστες. Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία την χρήση των κατά προσέγγιση μοντέλων, δεικτών ευαισθησίας ή των αλγορίθμων εντοπισμού για να καθοριστούν οι συνεισφορές στις ροές του δικτύου από μεμονωμένους χρήστες ή συναλλαγές.

A) Μεθοδολογίες εντοπισμού του TPS

Στο πλαίσιο του μαθήματος Ηλεκτρική Οικονομία του ΕΜΠ, οι τρεις αλγόριθμοι εντοπισμού που διδάσκονται είναι: 1) Παράγοντες Γενικευμένης κατανομής ή μέθοδος Rudnick, 2) Η μέθοδος Bialek, και 3) Μέθοδος ελάχιστης απόστασης ισχύος.

Ο αλγόριθμος «παράγοντες γενικευμένης κατανομής» βασίζεται στις DC ροές φορτίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την αξιολόγηση της ικανότητας μεταφοράς σύμφωνα με διάφορες δομές ανοικτής πρόσβασης. Οι παράγοντες γενικευμένης κατανομής παραγωγής/φορτίου (GGDFs / GLDFs) εξαρτώνται από τις παραμέτρους της γραμμής, τις συνθήκες του συστήματος και όχι από τη τοποθεσία του ζυγού αναφοράς. Η παραδοχή για αυτή τη μεθοδολογία εντοπισμού είναι ότι κάθε φορτίο έχει εκχωρηθεί με μια αναλογία προς τις δεσμευμένες γεννήτριες.

Στον αλγόριθμο εντοπισμού Bialek, χρησιμοποιείται η τοπολογική προσέγγιση και οι τοπολογικοί παράγοντες διανομής υπολογίζονται για να προσδιοριστεί η συμβολή των μεμονωμένων γεννητριών ή φορτία σε κάθε γραμμή ροής. Η μέθοδος επιτρέπει τον εντοπισμό της εξόδου της κάθε γεννήτρια ή της εισόδου κάθε φορτίου, με την προϋπόθεση ότι οι εισροές σε ένα κόμβο μοιράζονται αναλογικά μεταξύ των εκροών. Η μέθοδος χρησιμοποιεί είτε τον αλγόριθμο upstream-looking ή downstream-looking εάν οι επιβαρύνσεις της χρήσης μετάδοσης κατανέμονται στις γεννήτριες ή στα φορτία, αντίστοιχα. Καθώς οι κατανομές είναι πάντα μεγαλύτερες από το μηδέν, δεν προκύπτουν προβλήματα αντίθετης ροής και όλες οι χρεώσεις στους χρήστες του δικτύου είναι θετικές. Η απλότητα είναι το κύριο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου.

Στην μέθοδο ελάχιστης απόστασης ισχύος, υποτίθεται ότι ηλεκτρική ενέργεια ρέει μέσα από τα μονοπάτια που ελαχιστοποιούν το συνολικό MW-km του δικτύου ισχύος. Με βάση την γραμμικότητα του DC μοντέλου του δικτύου και την εισαγωγή του όρου απόσταση ισχύος, ένα γραμμικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης παρέχει μια κατανομή της παραγωγής σε φορτία. Αυτή η

ανάθεση επιτρέπει την αποσύνθεση κάθε πραγματικής ροής του δικτύου σε “μερικές” ροές, κατ’αντιστοιχία με το καθένα ζεύγος της γεννήτριας και φορτίου σαν να ήταν μια προκαθορισμένη διμερής συναλλαγή.

B) Μέθοδοι της κατανομής του κόστους μετάδοσης του TPS

Κατά τη διάρκεια του μαθήματος αυτού παρουσιάζονται οκτώ μέθοδοι της κατανομής του κόστους μετάδοσης:

1) *Postage stamp*:

Στην μέθοδο αυτή, μια οντότητα πληρώνει ένα ποσοστό ίσο με μια σταθερή χρέωση ανά μονάδα ενέργειας που μεταδίδεται. Οι χρεώσεις υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος της ισχύος που καταναλώνει ο χρήστης σε ένα ορισμένο στιγμιότυπο του συστήματος (π.χ. αιχμή φορτίου) και δεν αντανακλούν την πραγματική χρήση του συστήματος.

2) *MW-Mile*:

Η μέθοδος MW-Mile κατανέμει το σταθερό κόστος της μετάδοσης με βάση την επέκταση της χρήσης του δικτύου από κάθε χρήστη. Η μέθοδος εξασφαλίζει πλήρη ανάκτηση του κόστους του δικτύου και αντανακλά τη σχετική χρήση του συνολικού συστήματος μεταφοράς MW-Miles.

Αντί για τη χρέωση των χρηστών του δικτύου για τη σχετική χρήση των εγκαταστάσεων του συνολικού δικτύου, οι συνολικές χρεώσεις για κάθε εγκατάσταση του δικτύου μπορούν να βασίζονται είτε στην αχρησιμοποίητη ικανότητα μεταφοράς ή στην χρησιμοποιούμενη δυναμικότητα των εγκαταστάσεων. Όταν βασίζονται στην μη χρησιμοποιηθείσα ικανότητα μετάδοσης, η πλήρης ανάκτηση του σταθερού κόστους της μετάδοσης είναι εγγυημένη, ενώ για την χρησιμοποιηθείσα ικανότητα μετάδοσης πραγματοποιούνται συνήθως πρόσθετες χρεώσεις. Οι χρεώσεις για αυτό το κόστος περιθωρίου αξιοπιστίας της εγκατάστασης μπορεί να υπολογίζονται μέσω άλλων ενσωματωμένων μεθόδων (π.χ., postage stamp, MWM)

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις σε σχέση με τον τρόπο που χρεώνονται οι χρήστες που προκαλούν αντίθετη ροή στο δίκτυο:

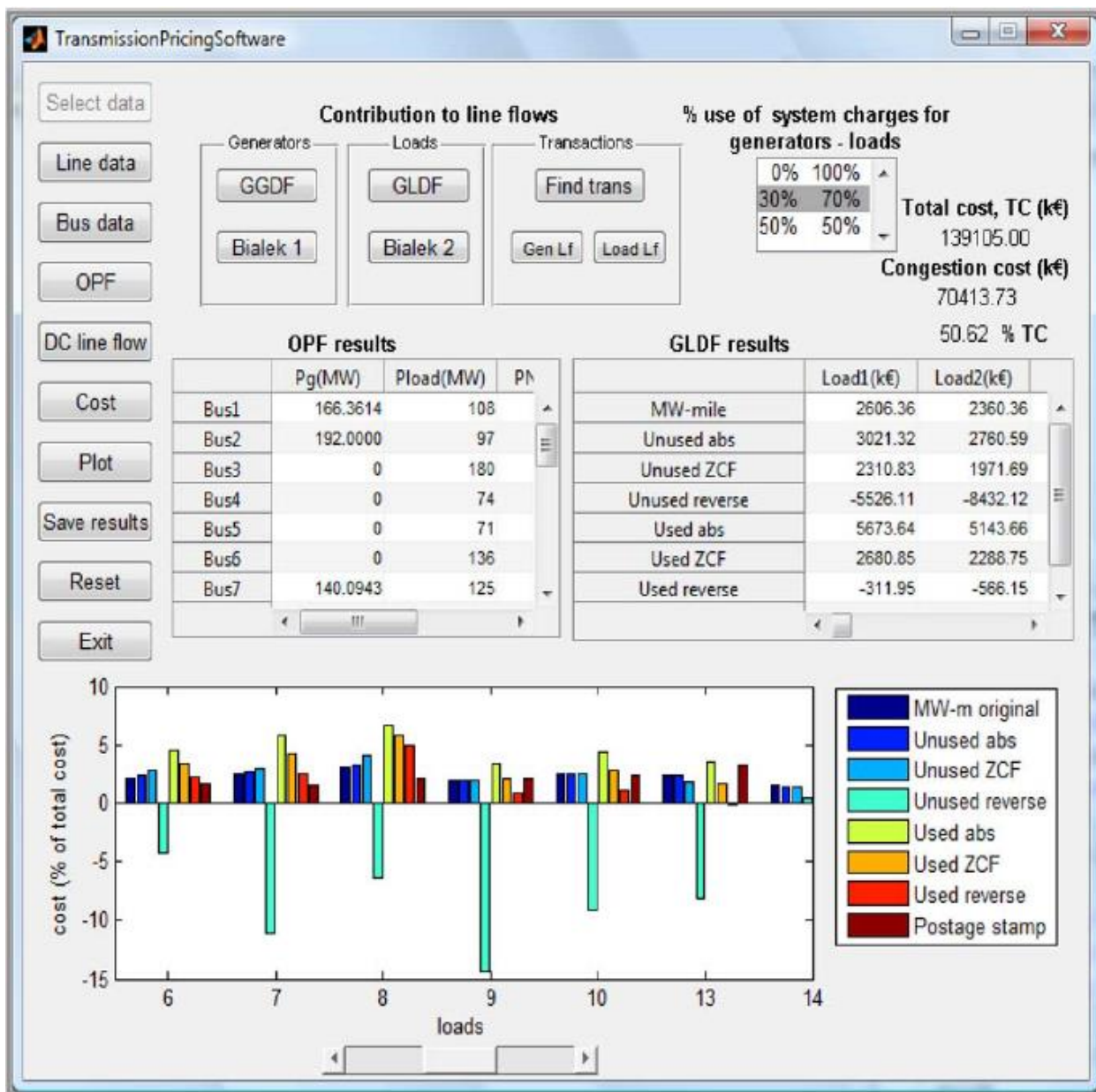
- 3) Απόλυτη
- 4) Αντίστροφη
- 5) Μηδενικής αντίθετης ροής

Στην απόλυτη μέθοδο, οι χρεώσεις υπολογίζονται με βάση το μέγεθος της συμβολής των χρηστών, αγνοώντας την κατεύθυνση των ροών ηλεκτρικής ενέργειας στο κύκλωμα (οι αντίθετες ροές χρεώνονται). Η αντίστροφη προσέγγιση λαμβάνει υπόψη τις συνεισφορές ισχύος που είναι προς την αντίθετη κατεύθυνση των ροών δικτύου και οι χρεώσεις για κάθε γραμμή βασίζονται στις καθαρές ροές (οι αντίθετες ροές πιστώνονται). Στη μέθοδο μηδενικής αντίθετης ροής, οι συνεισφορές που είναι αντίθετες με τις ροές του δικτύου δεν υπολογίζονται. Οι χρήστες που είναι υπεύθυνοι για αυτές τις αντίθετες ροές δεν πληρώνουν κανένα τέλος (όπως συμβαίνει στην απόλυτη μέθοδο) και δεν λαμβάνουν καμία πίστωση (όπως συμβαίνει με την αντίστροφη μέθοδο).

Κατά την ανάπτυξη του εκπαιδευτικού εργαλείου TPS, δόθηκε προσοχή στα ακόλουθα θέματα:

- 1) Δομή: οι απαραίτητες λειτουργίες είναι πλήρως παραμετρικές και μέσα από τις παραμέτρους εισόδου και εξόδου τους, μπορούν απλά να καλούνται να εκτελέσουν μια πολλαπλής ευαισθησίας ανάλυση
- 2) Συντήρηση και Επέκταση: Ο "Developers Guide" διευκολύνει την συντήρηση και επέκταση του TPS με έναν εύκολο τρόπο. Τα αρχεία εισόδου και εξόδου έχουν κοινή μορφή ανεξάρτητα της μεθόδου ανίχνευσης και τιμολόγησης
- 3) Απλότητα στην χρήση: Το GUI (Graphical User Interface) καθιστά τη χρήση του TPS εύκολη για τους μαθητές
- 4) Διαφάνεια: Οι ανεπτυγμένες λειτουργίες ταιριάζουν με τα θεωρητικά μοντέλα τιμολόγησης μετάδοσης. Προγραμματιστικά κόλπα έχουν σχεδόν αποφευχθεί, ακόμα και με κόστος της υπολογιστικής απόδοσης.

Για την υλοποίηση του GUI του TPS χρησιμοποιήθηκε η εργαλειοθήκη GUIDE του Matlab. Το GUI βοηθά τους μαθητές να φτάσουν στην τελική λύση με την απεικόνιση κάθε βήματος της διαδικασίας. Χρησιμοποιώντας το TPS, οι μαθητές μπορούν να δουν αποτελέσματα όπως π.χ., η συμβολή των χρηστών του δικτύου στη ροή των γραμμών μεταφοράς, πριν φθάσουν στην τελική λύση, δηλαδή, την κατανομή του κόστους μεταξύ των χρηστών του δικτύου.



Εικόνα 30: GUI του TPS[5]

Στο TPS, ο φοιτητής μπορεί να εισάγει όλα τα απαραίτητα στοιχεία σε μορφή Microsoft Excel ή ενός αρχείου κειμένου. Στη συνέχεια, οι μαθητές μπορούν να επιλέξουν το ποσοστό του συνολικού σταθερού κόστους μεταφοράς που χρεώνεται στις γεννήτριες και στα φορτία από τη λίστα στην δεξιά κορυφή του GUI μεταξύ των τριών διαθέσιμων επιλογών (Εικόνα 30):

(α) 0% -100%, (β) 30% -70%, και (γ) 50% -50%.

Για το υπολογισμό των ροών μεταφοράς ισχύος, οι μαθητές έχουν δύο εναλλακτικές λύσεις. Οι ροές ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να προέρχονται είτε από τα αποτελέσματα ενός υπολογισμού

βέλτιστης ροής ισχύος (OPF) ή από έναν υπολογισμό DC ροής ισχύος χρησιμοποιώντας τα δεδομένα εισόδου σταθερής παραγωγής. Στην πρώτη περίπτωση, η τελική αποστολή των γεννητριών δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων και εξαρτάται από το κόστος των γεννητριών. Από τα αποτελέσματα του OPF, οι τοπικές οριακές τιμές (LMP) υπολογίζονται για κάθε ζυγό του δικτύου. Η συνολική συμφόρηση των εσόδων από αυτή την οριακή τιμολόγηση της μετάδοσης υπολογίζεται για όλες τις γραμμές και εμφανίζεται επίσης ως ποσοστό του συνολικού κόστους (TC), όπως δείχνει η Εικόνα 30.

Για τον υπολογισμό της συνεισφοράς των γεννητριών στις γραμμές ροών, οι μαθητές μπορούν να επιλέξουν: 1) τη μέθοδο GGDF, 2) τη Bialek upstream μέθοδο και 3) τη μέθοδο ελάχιστης απόστασης της ισχύος.

Για τον προσεγγιστικό υπολογισμό της συμβολής των φορτίων στις γραμμές ροών, οι μαθητές μπορούν να επιλέξουν: 1) τη μέθοδο GLDF, 2) Bialek downstream μέθοδο και 3) τη μέθοδο ελάχιστης απόστασης της ισχύος.

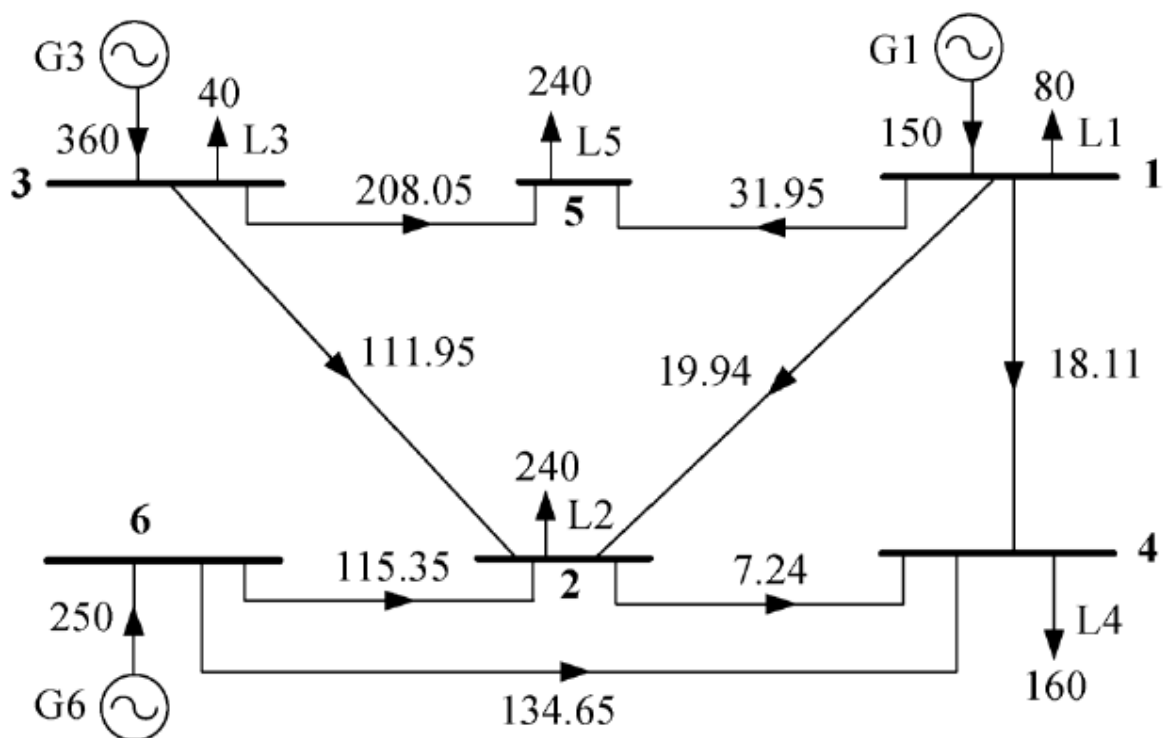
Στη συνέχεια, οι χρεώσεις μετάδοσης του συστήματος για τα φορτία και τις γεννήτριες υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τις οκτώ διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης μετάδοσης που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

Τα τελικά αποτελέσματα μπορούν να απεικονίζονται στο γραφικό περιβάλλον και τα αναλυτικά αποτελέσματα μπορούν να αποθηκευτούν σε ένα Microsoft Excel αρχείο. Αυτή η δυνατότητα είναι πολύ χρήσιμη, διότι η ανάλυση των αποτελεσμάτων βοηθά τους φοιτητές να κατανοήσουν καλύτερα τις διάφορες μεθοδολογίες εντοπισμού και τιμολόγησης μετάδοσης.

Γ) Μέθοδος διδασκαλίας

Στην αρχή του εξαμήνου, διανέμεται στους μαθητές ένα οδηγός χρήσης του TPS μαζί με τις τιμές μετάδοσης των εκπαιδευτικών παραδειγμάτων με αναλυτική παρουσίαση των συμπεριλαμβανομένων υπολογισμών. Η διδασκαλία υλοποιείται ως εξής. Ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει στην τάξη τη θεωρία τιμολόγησης μετάδοσης μαζί με μερικά αριθμητικά παραδείγματα. Στη συνέχεια, η χρήση της TPS παρουσιάζεται, χρησιμοποιώντας ελκυστικές παρουσιάσεις και κινούμενα γραφικά. Σχηματίζονται ομάδες 48 φοιτητών και κάθε σπουδαστής χρησιμοποιεί έναν από τους υπολογιστές του εργαστηρίου για την επίλυση του προβλήματος της τιμολόγησης της μετάδοσης για σύστημα ισχύος Garver έξι ζυγών (Εικόνα , χρησιμοποιώντας

TPS. Ο διδάσκοντας, με τη βοήθεια τεσσάρων μεταπτυχιακών φοιτητών, διευκολύνει τους μαθητές να λύσουν αυτό το πρόβλημα. Εν συντομία, η υποβοηθούμενη από υπολογιστή διαδραστική διδασκαλία έχει ως εξής: 1) μελέτη του προβλήματος 2) μελέτη μιας λύσης 3) λύση με το χέρι 4) επαλήθευση από τον υπολογιστή χρησιμοποιώντας το TPS και 5) επανάληψη για διαφορετικές παραμέτρους εισόδου. Στο τέλος του μαθήματος, γίνεται μια μικρή παρουσίαση του ελληνικού διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς, μαζί με τα αποτελέσματα του TPS για ορισμένα στιγμιότυπα του ελληνικού συστήματος ισχύος.



Εικόνα 31: Σύστημα ισχύος Garver 6 ζυγών[5]

Χάρη στο διαδραστικό περιβάλλον μάθησης του TPS, καθώς οι μαθητές επίλυναν το πρόβλημα τιμολόγησης μετάδοσης, μπορούν να δουν τη λύση του προβλήματος, σε μια βάση βήμα-προς-βήμα: 1) παραμετρική εισαγωγή δεδομένων 2) υπολογισμός της γραμμής μεταφοράς ροών 3) υπολογισμός της συμβολής των χρηστών του δικτύου στις γραμμές ροών 4) υπολογισμός των χρεώσεων για τους χρήστες του δικτύου και 5) ανάλυση των αποτελεσμάτων και κατανόηση των χαρακτηριστικών της κάθε μεθόδου τιμολόγησης μετάδοσης. Αυτό το διαδραστικό περιβάλλον μάθησης έχει αποδειχθεί πολύ αποτελεσματικό στην τάξη, δεδομένου ότι οι περισσότεροι φοιτητές μηχανικής είναι ενεργοί σπουδαστές.

Στους μαθητές δίνονται τα στοιχεία γραμμής και τα δεδομένα των ζυγών του σύστημα δοκιμής Garver 6 ζυγών, που φαίνονται στις Εικόνες 32 και 33, αντίστοιχα. Ο ζυγός 1 είναι ο ζυγός αναφοράς. Οι ανά μονάδα (pu) τιμές στην Εικόνα 32 εκφράζονται σε βάση ισχύος 100 MVA. Ως πρώτο βήμα, οι φοιτητές καλούνται να υπολογίσουν τις ροές ηλεκτρικής ενέργειας με OPF υπολογισμό χρησιμοποιώντας TPS καθώς και το δικό τους κώδικα λογισμικού OPF χρησιμοποιώντας την εντολή LinProg του Matlab. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τις ροές ισχύος του πρώτου σταδίου, υπολογίζουν τις LMPs, το συνωστισμό ενοικίου και κόστους του συγκεκριμένου στιγμιότυπου, και τότε κατανέμουν την ενσωματωμένη υπηρεσία ετήσιου κόστους μετάδοσης χρεώνοντας εξίσου τους παραγωγούς και τους καταναλωτές λαμβάνοντας υπ'όψη μόνο το παρεχόμενο στιγμιότυπο του συστήματος. Τέλος, οι μαθητές πρέπει να αναλύσουν τα αποτελέσματα και να αντλήσουν συμπεράσματα.

FROM BUS	TO BUS	REACTANCE (PU)	LENGTH (KM)	CAPACITY (MW)	INVESTMENT (Κ€)
1	2	0.40	40	100	40
1	4	0.60	60	80	60
1	5	0.20	20	100	20
2	3	0.20	20	100	20
2	4	0.40	40	100	40
3	5	0.10	20	200	40
2	6	0.15	30	200	60
4	6	0.15	30	200	60
TOTAL ANNUITIZED COST OF INVESTMENT (Κ€)					340

Εικόνα 32: Στοιχεία γραμμής [5]

BUS	GENERATOR OFFER (€/MWH)	MIN GENERATION (MW)	MAX GENERATION (MW)	LOAD (MW)
1	10	0	150	80
2	–	–	–	240
3	20	0	360	40
4	–	–	–	160
5	–	–	–	240
6	30	0	600	–

Εικόνα 33: Δεδομένα ζυγών[5]

Μετά την ολοκλήρωση της άσκησης του εργαστηρίου, ανατίθεται στους φοιτητές ένα μικρό έργο, προκειμένου να διερευνηθούν οι οκτώ μεθοδολογίες τιμολόγησης της μετάδοσης και οι τρεις μεθοδολογίες εντοπισμού στο τεστ σύστημα 24 ζυγών της IEEE και να παραδώσουν μια έκθεση με τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της προσομοίωσης τους. Σχηματίζονται ομάδες 3 φοιτητών και σε κάθε ομάδα δίνεται: 1) διαφορετικό σενάριο παραγωγής και φορτίου και 2) διαφορετικές διμερείς συναλλαγές μεταξύ των διαφορετικών γεννητριών και φορτίων του συστήματος δοκιμής.

Ο εκπαιδευτικός στόχος του να καταστούν οι μαθητές να είναι σε θέση να λειτουργήσουν στα υψηλότερα επίπεδα Bloom (θα αναλυθεί σε παρακάτω κεφάλαιο) επιτυγχάνεται μέσω της εκπλήρωσης των εξής επιμερών εκπαιδευτικών στόχων:

- Χρήση του TPS για να λύσουν το πρόβλημα τιμολόγησης μετάδοσης ενός μικρού συστήματος ισχύος (Garver 6-ζυγών) καθώς και ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πραγματικού κόσμου
- Πλήρη κατανόηση των μαθηματικών που εμπλέκονται και ανάπτυξη του κώδικα λογισμικού να αναπαράγει μέρος των αποτελεσμάτων της TPS
- Ανάλυση των αποτελεσμάτων και κατανόηση των εννοιών της LMPs, του συνωστισμού ενοικίας και κόστους
- Ανάλυση των αποτελεσμάτων, ταυτοποίηση και αιτιολόγηση των διαφορών μεταξύ των τριών τεχνικών εντοπισμού μετάδοσης και των οκτώ μεθόδων κατανομής του κόστους μετάδοσης
- την επέκταση των μεθοδολογιών TPS. Ο στόχος αυτός είναι αφιερωμένος στους φοιτητές που ενδιαφέρονται να κάνουν τη διπλωματική τους εργασία στην τιμολόγηση μετάδοσης.

2.4 Software from Distance

2.4.1 Ηλεκτρικά οχήματα τροφοδοτούμενα με ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια, η ακτινοβολία και η θερμότητα από τον ήλιο, έχει αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο από την αρχαιότητα, χρησιμοποιώντας μια σειρά από αναπτυσσόμενες τεχνολογίες. Τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου της ηλιακής θέρμανσης, ηλιακών φωτοβολταϊκών, ηλιακής θερμικής ηλεκτρικής ενέργειας και η ηλιακή αρχιτεκτονική προσφέρουν ελπιδοφόρες λύσεις για την επίλυση ορισμένων από τα σημερινά προβλήματα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που αντιμετωπίζει ο κόσμος σήμερα. Η πρόσφατη εξέλιξη στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας έχει οδηγήσει σε υβριδικά και πλήρως ηλεκτρικά οχήματα. Αυτά απαιτούν μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πείραμα αυτό, εισάγονται ορισμένα προβλήματα και οι λύσεις τους για ηλεκτρικά οχήματα τροφοδοτούμενα με ηλιακή ενέργεια (EV).

Μία από τις θεωρητικές δυνατότητες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας θα μπορούσε να είναι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ επί του οχήματος μαζί με μπαταρίες για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Η εφαρμογή φωτοβολταϊκών πάνελ για συγκομιδή της ηλιακής ενέργειας προσφέρει κάποια οφέλη, όπως το ότι η παραγωγή της ηλιακής ενέργειας είναι αθόρυβη, τα panels έχουν χαμηλό βάρος και δεν χρειάζονται συντήρηση. Μειονέκτημα της λύσης αυτής είναι ότι η ηλιακή ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη συνεχώς επομένως συσκευές αποθήκευσης ενέργειας είναι απαραίτητες και καθώς τα φωτοβολταϊκά πάνελ και οι μπαταρίες είναι ακριβές, το κόστος του EV ηλιακής ενέργειας είναι υψηλό. Ένα πλήρως ηλιακό όχημα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρακτικό, καθημερινό μέσο μεταφοράς. Προς το παρόν αυτά χρησιμοποιούνται μόνο για οχήματα επίδειξης ή για ασκήσεις μηχανικής ή για αγώνες.

Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για την παροχή βοηθητικού εξοπλισμού σε πολλά εμπορικά διαθέσιμα οχήματα. Η συνολική ζήτηση ισχύος του βοηθητικού εξοπλισμού δεν είναι σημαντική, αλλά είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μπορούν να φορτίσουν τη συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, ακόμη και αν το όχημα είναι ακινητοποιημένο. Ένα πιθανό παράδειγμα για να τονιστεί η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στο EV που χρησιμοποιείται από τους κατόχους τους, είναι όταν το αυτοκίνητο καλύπτει σχετικά μικρές αποστάσεις καθημερινά και διαμονή 8-9 ώρες σε ανοικτό χώρο στάθμευσης. Μια πολύ πιο πρακτική προσέγγιση για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στο EV είναι όταν η ενέργεια παράγεται εκτός του οχήματος

από τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αυτή η ενέργεια συλλέγεται από τα οχήματα μέσω δικτύων ή μικρο-δικτύων και αποθηκεύεται στο όχημα.

Στο εγγύς μέλλον τα υβριδικά ή ηλεκτρικά οχήματα που θα διαθέτουν αποκλειστικά πάνω τους ηλιακά κύτταρα δεν θα είναι σε μαζική παραγωγή. Φυσικά, η ενέργεια που παρέχεται για ορισμένα βοηθητικά εξαρτήματα (αέρα conditioner κλπ) μπορεί να αντληθεί από τα επί του οχήματος ηλιακά κύτταρα και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αυξηθεί η αυτονομία του αυτοκινήτου. Από την άλλη πλευρά, σημαντική ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται από υβριδικά ή ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα μπορούσε να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να συλλέγεται από τα οχήματα από δίκτυα ή μικρο-δίκτυα. Αυτή η δεύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας δίνει την πρακτική σημασία του πειράματος με τίτλο "Ηλεκτρικά οχήματα τροφοδοτούμενα με ηλιακή ενέργεια".

Το πείραμα έχει τέσσερα κύρια κεφάλαια [11]. Στα πρώτα τρία κεφάλαια περιγράφεται εν συντομία το θεωρητικό υπόβαθρο, ενώ στο τελευταίο μέρος υπάρχουν διαδραστικοί προσομοιωτές (βλέπε παρακάτω) που βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση του θεωρητικού μέρους. Στο Εισαγωγικό κεφάλαιο είναι δεδομένο το απαιτούμενο υπόβαθρο για να κατανοούνται τα άλλα μέρη του πειράματος. Περιλαμβάνει μια επισκόπηση με επίκαιρα στατιστικά στοιχεία σχετικά με τις πιθανές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εστιάζοντας κυρίως στην ηλιακή ενέργεια. Μετά θα μελετηθούν εν συντομία οι διαφορές μεταξύ οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE), υβριδικά και EV. Αυτό το πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζει επίσης την ιστορία των οχημάτων ηλιακής ενέργειας από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα έως σήμερα. Πολλά γεγονότα, στοιχεία και οι τρέχουσες τάσεις σχετικά με EV θα δοθούν επίσης. Τέλος, μια λεπτομερή ανάλυση SWOT του ηλιακού οχήματος παρουσιάζεται για να δείξει γιατί η χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας στην αυτοκινητοβιομηχανία μπορεί να είναι μια οικονομικώς αποδοτική λύση.

Το δεύτερο κεφάλαιο πραγματεύεται την έννοια και το τεχνικό υπόβαθρο για την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πάνελ στο σώμα ενός EV. Στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου συνοψίζονται οι βασικές αρχές του EV με ηλιακή ενέργεια, δηλαδή η ηλιακή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η λύση της αποθήκευσης ενέργειας και το σύστημα κίνησης. Στο δεύτερο μέρος δίνονται οι τεχνικές σχετικά με τις τρέχουσες τάσεις στη χρήση της ηλιακής ενέργειας και ενσωμάτωση της σε εμπορικά διαθέσιμα αυτοκίνητα.

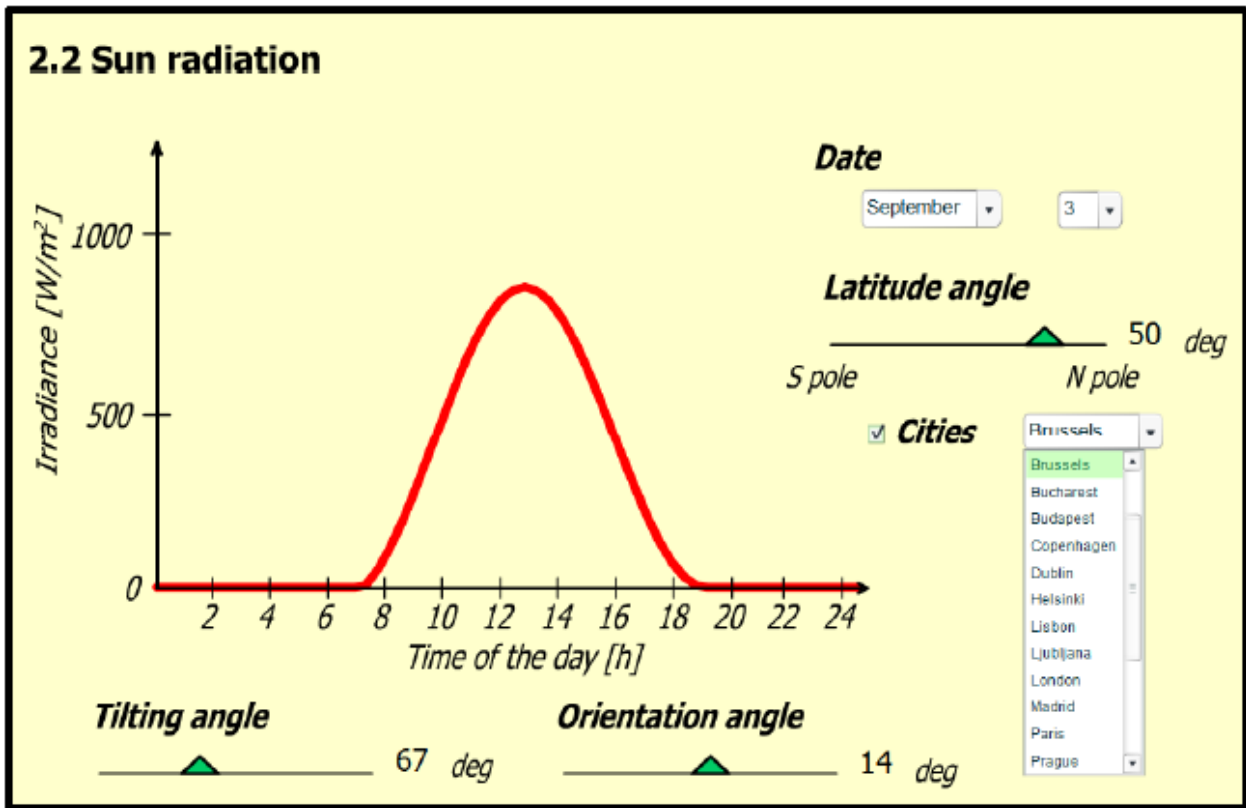
Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι σταθμοί φόρτισης για τα EV χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εξηγεί την έννοια των τοπικών μικροδικτύων και την

αρχιτεκτονική ενός ηλιακού σταθμού φόρτισης με πρακτικά παραδείγματα. Αυτό το κεφάλαιο ασχολείται επίσης με οχήματα με κυψέλες καυσίμου. Εδώ η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υδρογόνου που χρησιμοποιείται ως καύσιμο στα οχήματα κυψελών καυσίμου. Καθώς οι άνεμοι προκαλούνται από την άνιση θέρμανση της ατμόσφαιρας από τον ήλιο, η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ηλιακής ενέργειας. Υπό αυτήν την έννοια, το τελευταίο μέρος του κεφαλαίου ασχολείται με την χρήση και την ενσωμάτωση των αιολικής ενέργειας σε σταθμούς φόρτισης.

Το τέταρτο μέρος του πειράματος περιλαμβάνει σύνθετους αλληλεπιδραστικούς προσομοιωτές για καλύτερη κατανόηση. Αργότερα δίνεται μια πιο λεπτομερής εξήγηση της λειτουργίας ενός εκ των προσομοιωτών.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει την ανώτερη ατμόσφαιρα είναι προσεγγιστικά 174 petawatts μέσης ισχύος σε ετήσια βάση. Το ποσό και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της Γης εξαρτάται από τη γεωμετρική σχέση της Γης με τον Ήλιο. Έτσι η τοποθεσία διαδραματίζει καίριο ρόλο στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η διαδραστική διαφάνεια που παρουσιάζεται στην Εικόνα 30 υπολογίζει τη θεωρητική ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού (PV) πάνελ. Οι εισοδοί είναι η ημέρα του έτους και η γωνία του γεωγραφικού πλάτους. Για λόγους απλότητας η γωνία του γεωγραφικού πλάτους λίγων πόλεων είναι προκαθορισμένη και μπορεί να επιλεγεί από μία drop-down λίστα. Η μέγιστη συλλογή ηλιακής ενέργειας επιτυγχάνεται όταν οι ακτίνες του ήλιου είναι κάθετες προς την περιοχή συλλογής. Ο χρήστης μπορεί επίσης να ρυθμίσει τη γωνία κλίσης και τον προσανατολισμό του φωτοβολταϊκού (PV) πάνελ για να μελετήσει τα αποτελέσματά τους.

Στη φωτοβολταϊκή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τα φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι τα βασικά συστατικά. Συνήθως συνδέονται και σε σειρά και παράλληλα έτσι ώστε οι καταναλωτές να πάρουν λογικά επίπεδα ισχύος. Σε γενικές γραμμές, τα περισσότερα από αυτά είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλα υλικά. Η βασική αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών κυττάρων είναι αρκετά παρόμοια με τις διόδους, αλλά εδώ, τα ζευγάρια οπών-ηλεκτρονίων παράγονται στο εξωτερικό. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μπορούν να να χαρακτηριστούν από την χαρακτηριστική καμπύλη τάσης-ρεύματος (V-I) και μπορεί να αντιπροσωπεύεται από ένα μοντέλο ηλεκτρικής διόδου.

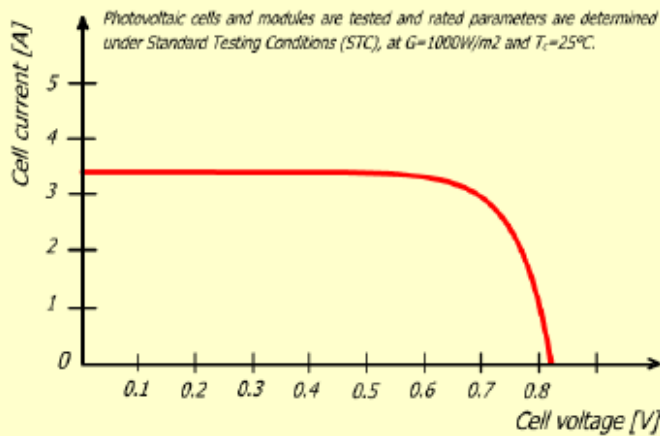


Εικόνα 34: Υπολογισμός ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας [11]

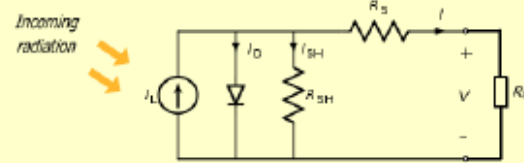
Η διαδραστική διαφάνεια που παρουσιάζονται στην Εικόνα 31 σχεδιάζει τις χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος-τάσης ή ισχύος-τάσης. Ο χρήστης μπορεί να αλλάξει πολλές παραμέτρους, όπως η ακτινοβολία ή η θερμοκρασία των κυττάρων, οι οποίες επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά.

2.3 Characteristic curves of PV cell

I-V P-V



Equivalent circuit of PV cell



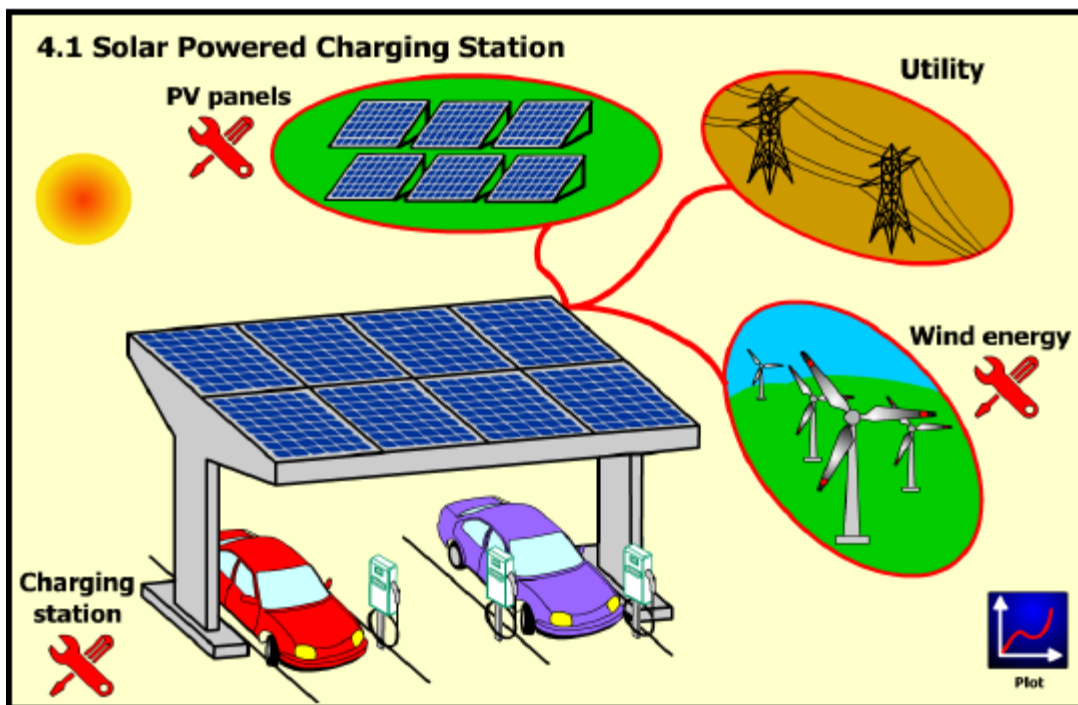
$$I = I_S \left(\exp \frac{q \cdot (V - IR_S)}{k \cdot T_C} - 1 \right) - I_L$$

I_L = light-generated current
 I_0 = diode or junction current
 R_{SH} = parallel resistance
 I = output (cell) current
 V = output (cell) voltage
 k = Boltzmann constant
 q = charge of an electron
 T_c = Cell temperature
 R_s = series resistance [Ohm]
 R_L = load [Ohm]

Saturation Current (I_s)	0.06 μA	Irradiation(G)	680 W/m^2
Cell Temperature (T_c)	298 K	Series Resistance(R_s)	20 Ohm

Εικόνα 35: Υπολογισμός χαρακτηριστικών καμπυλών του φωτοβολταϊκού [11]

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αναπτύχθηκαν προσομοιωτές που επιλύουν πολύπλοκες εξίσωσεις για να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του ηλιακού EV. Για παράδειγμα, ένας διαδραστικός προσομοιωτής έχει αναπτυχθεί για να αναλύσει τη συμπεριφορά ενός DC σταθμού φόρτισης από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέσω της διερεύνησης των μεγεθών της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας της δεδομένης μονάδας συναρτήσεως του χρόνου (Εικόνα 32). Ο σταθμός φόρτισης τροφοδοτείται από αιολικό πάρκο και PV κύτταρα και είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο. Δύο είδη των μεθόδων φόρτισης μπορούν να προσομοιωθούν, η κανονική και η γρήγορη φόρτιση. Η κανονική φόρτιση διαρκεί περίπου 6-8 ώρες για να φορτίσουν οι μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ η γρήγορη φόρτιση διαρκεί μόνο 10 λεπτά.

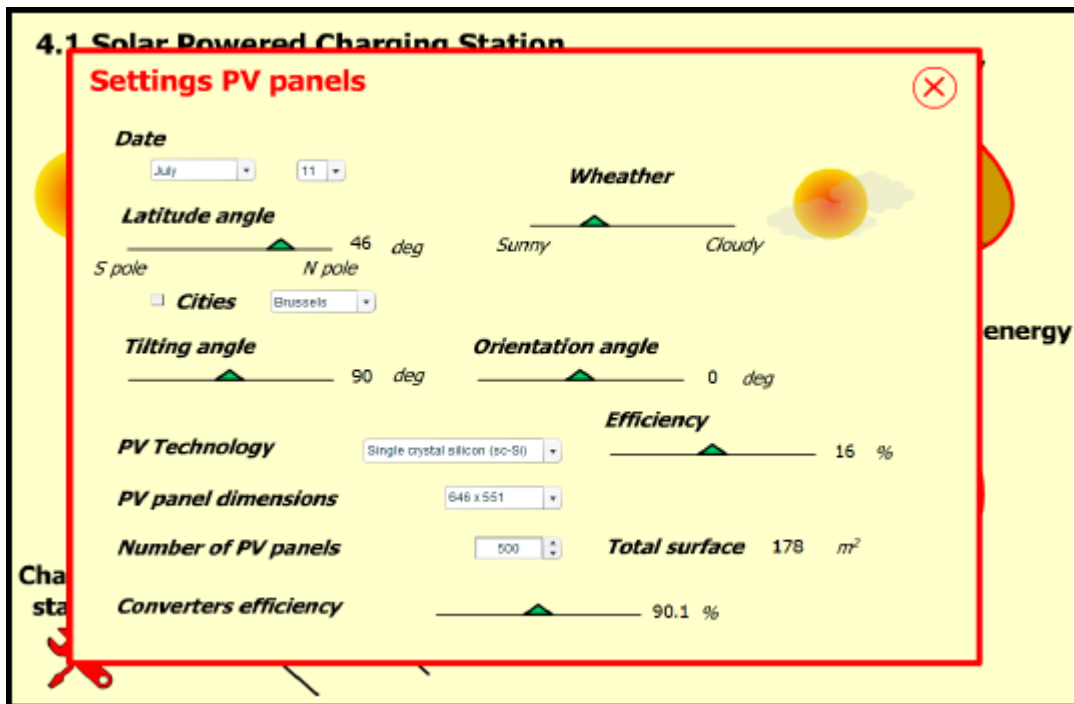


Εικόνα 36: Κεντρική εικόνα [11]

Πολλοί παράμετροι του σταθμού φόρτισης μπορούν να αλλάξουν από το χρήστη μέσω του κουμπιού “Settings”. Στην περίπτωση του αιολικού πάρκου ο χρήστης μπορεί να εισάγει τις βασικές παραμέτρους της ανεμογεννήτριας (όπως τη διάμετρο της έλικας, της ταχύτητας του ανέμου κλπ) και τον αριθμό ανεμογεννητριών. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει διαφορετικά καθημερινά προφίλ του ανέμου. Η απόδοση του ηλεκτρονικού μετατροπέα μπορεί επίσης να ρυθμιστεί. Στην περίπτωση του φωτοβολταϊκού κυττάρου, η ημερήσια καμπύλη ηλιακής ακτινοβολίας υπολογίζεται από τη θέση και την ημερομηνία. Οι καιρικές συνθήκες μπορούν να ρυθμιστούν επίσης. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον τύπο των φωτοβολταϊκών κυττάρων (από πρώτης γενιάς μονοκρυστάλλο πυρίτιο μέχρι τρίτης γενιάς τύπου πολλαπλών διακλαδώσεων) και τον αριθμός και τις διαστάσεις των φωτοβολταϊκών κυττάρων (Εικόνα 33). Στα Settings της ωφελιμότητας ο χρήστης μπορεί ρυθμίσει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η τιμή θα χρησιμοποιηθεί για να αναλύσει την επίδραση των πρόσθετων ανανεώσιμων πηγών σχετικά με τα έξοδα.

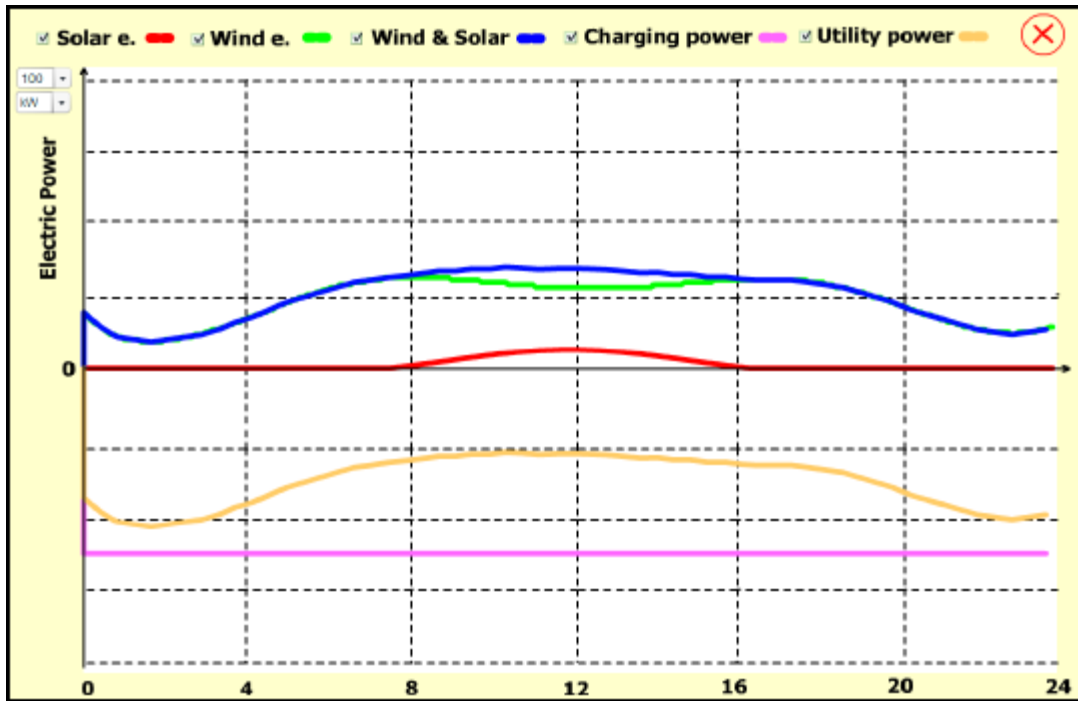
Όπως αναφέρθηκε, το σύστημα φόρτισης μπορεί να παρέχει τόσο γρήγορη όσο και κανονική φόρτιση. Για λόγους απλότητας 5 αυτοκίνητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση καθημερινά της γρήγορης φόρτισης και 10 αυτοκίνητα για της κανονικής φόρτισης. Κάνοντας κλικ στο κουμπί "Settings", ο χρήστης ρυθμίζει την ώρα έναρξης της φόρτισης για κάθε

αυτοκίνητο, την αρχική κατάσταση φόρτισης (State Of Charge) των μπαταριών και της ονομαστικής ηλεκτρικής ενέργειας των οχημάτων.



Εικόνα 37: Ρυθμίσεις του PV πάνελ [11]

Κάνοντας κλικ στο κουμπί "Plot" στην κάτω δεξιά πλευρά της διαφάνειας ξεκινά η προσομοίωση και σχεδιάζεται η κατανομή ισχύος μεταξύ των πηγών και του φορτίου συναρτήσει του χρόνου (Εικόνα 34). Στην Εικόνα 34 η ισχύς φόρτισης είναι σταθερή.



Εικόνα 38: Κατανομή ισχύος [11]

2.4.2 Απόδοση φωτεινότητας σύγχρονων πηγών φωτός

Στην καθημερινή ζωή, ο φωτισμός είναι μια από τις πιο έντονες ενεργειακά ανθρώπινες δραστηριότητες. Χρησιμοποιούμε διαφορετικές πηγές φωτός για να φωτίζονται οι πόλεις, τα κτίρια και τα σπίτια μας και έτσι χρησιμοποιούμε πολλή ενέργεια για τον σκοπό αυτό. Όταν δεν υπάρχει πηγή φυσικού φωτός διαθέσιμη, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα οπτικά άνετο περιβάλλον. Οι αποδοτικές ενεργειακά, σύγχρονες τεχνολογικά εφαρμογές φωτισμού γίνονται όλο και πιο σημαντικές. Στην περίπτωση μιας πηγής φωτός, υπάρχουν δύο κυρίαρχα οικονομικά χαρακτηριστικά: η διάρκεια ζωής και η αποδοτικότητα. Η αποδοτικότητα δείχνει πώς μπορούν να παραχθούν πολλά lumens (ορατό φως ή φωτεινή ροή) με 1 W ηλεκτρικής ισχύος. Έτσι μπορεί να χαρακτηρίσει άμεσα το ποσοστό της εξοικονόμησης ενέργειας.

Όταν θέλουμε να δημιουργήσουμε ένα σύστημα φωτισμού υψηλής ενεργειακής απόδοσης, η λογική επιλογή είναι η χρήση των LEDs ως πηγή φωτός. Αν εξετάσουμε τον παράγοντα της εξοικονόμησης ενέργειας, η τεχνολογία LED ξεπερνά τις κλασικές λύσεις φωτισμού σε διάφορες πτυχές. Ωστόσο, από τεχνική άποψη, αυτές οι ιδιότητες είναι οι πιο δύσκολες για να τις αντιληφθεί κάποιος, γιατί δεν μπορούμε να συγκρίνουμε το παραγόμενο φως και την χρησιμοποιούμενη

ενέργεια εύκολα. Για να το κάνουμε, πρέπει να ανιχνεύσουμε και να μετρήσουμε τη συνολική φωτεινή ροή της πηγής και τη συνολική ισχύ εισόδου για τον υπολογισμό της αποδοτικότητας του φωτός. Δεδομένου ότι οι φωτεινές πηγές ενσωματώνονται στο ηλεκτρικό δίκτυο απευθείας, η παρακολούθηση της ισχύος εισόδου δεν αποτελεί πρόβλημα.

Ο στόχος αυτού του πειράματος είναι να αποκτήσει ο χρήστης γνώσεις που απαιτούνται για να προσδιοριστεί η φωτεινή απόδοση και να κάνει online μετρήσεις χρησιμοποιώντας μια λάμπα πυρακτώσεως και μια πηγή φωτός LED [11]. Μπορεί να εισάγει την ενεργειακή απόδοση των πηγών LED, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές πηγές και να εφαρμόσει μια συγκριτική μέτρηση ανάμεσα σε ένα σύγχρονο LED και μια κλασική λάμπα πυρακτώσεως. Κατά τη διάρκεια αυτής της μέτρησης η φωτεινή ροή και η ισχύς εισόδου και των δύο πηγών θα μπορούσε να μετρηθεί ταυτόχρονα διαδραστικά έτσι ώστε τα πλεονεκτήματα εξοικονόμησης ενέργειας των LED να αποδεικνύονται εύκολα.

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως παράγουν φως με ένα σύρμα πυρακτώσεως που θερμαίνεται με ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από αυτό. Αυτή η λειτουργική μέθοδος χρησιμοποιεί το φαινόμενο της πυράκτωσης, το οποίο είναι εκπομπή φωτός από ένα θερμό σώμα (σχεδόν μαύρο ή γκρι σώμα) ως αποτέλεσμα της θερμοκρασίας του. Φυσικά θεμέλια της μεθόδου λειτουργίας αυτής της πηγής είναι η θερμική ακτινοβολία και τα θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος. Αφού το σύρμα είναι το λεπτότερο τμήμα του ηλεκτρικού κυκλώματος στο οποίο περιέχεται η πηγή, έχει την υψηλότερη αντίσταση. Η υψηλή αντίσταση οδηγεί σε σημαντική απώλεια ισχύος, η οποία εμφανίζεται ως θερμική ακτινοβολία και ορισμένο μέρος αυτής της ακτινοβολίας προκύπτει ως ορατό φως.

Η φασματική κατανομή ισχύος αυτών των πηγών έχει διαδοχική χαρακτηριστική. Αυτό σημαίνει ότι το φως που παράγεται από πηγές πυρακτώσεως είναι πολύ παρόμοιο από την χαρακτηριστική ακτινοβολία του Ήλιου. Αυτό οδηγεί σε εξαιρετική απόδοση χρωμάτων και στην παραγωγή άνετου φωτός. Παρ'όλα τα πολλά μειονεκτήματα, οι πηγές πυράκτωσης χρησιμοποιούνται ευρέως στις μέρες μας. Στην Εικόνα 35 περιέχονται οι πιο σημαντικές ιδιότητες των πηγών πυρακτώσεως στην τεχνολογία φωτισμού.

BASIC PROPERTIES OF INCANDESCENT SOURCES

Luminous Flux (Φ)	25 - 6000 lm
Efficacy	10 - 25 lm/W
Lifetime	1000 - 5000 h
Color Rendering Index (Ra)	\sim 100 %
Correlated Color Temperature (CCT)	2000 - 3000 K
Run-up Time, Restarting time	1 - 10 ms
Beam Angle ^a	10° - 180°

Εικόνα 39: Ιδιότητες των πηγών πυρακτώσεως [11]

Συνοπτικά μπορούμε να πούμε ότι οι λαμπτήρες πυρακτώσεως χρησιμοποιούνταν ευρέως σε γενικό φωτισμό λόγω της άριστης χρωματικής απόδοσης και των άνετων θερμοκρασιών χρώματος. Ωστόσο, η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 1-2000 ώρες, και μόνο το 10% της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε ορατή ακτινοβολία ενώ το 90% είναι θερμικές και άλλου είδους απώλειες. Η παραγωγή των λαμπτήρων αυτών σύντομα θα σταματήσει πλήρως για τους λόγους αυτούς. Επομένως μια εναλλακτική και πολύ πιο αποτελεσματική λύση πρέπει να βρεθεί.

Οι LED (Light Emitting Diode) πηγές φωτός είναι πηγές ηλεκτροφωταύγειας. Η ηλεκτροφωταύγεια είναι ένα οπτικό και ηλεκτρικό φαινόμενο, κατά το οποίο ένα υλικό εκπέμπει φωτόνια με τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος.

Τα LEDs παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις πηγές πυρακτώσεως, συμπεριλαμβανομένων χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας (σημαντικά καλύτερη αποτελεσματικότητα), μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μικρότερο μέγεθος και ταχύτερη εναλλαγή. Όπως και σε άλλες διόδους, το ρεύμα ρέει εύκολα από την p-πλευρά, ή ανόδος, προς τη n-πλευρά, ή κάθοδο, αλλά όχι στην αντίστροφη κατεύθυνση. Οι φορείς φορτίου (ηλεκτρόνια και οπές) ρέουν από τα ηλεκτρόδια με διαφορετικές τάσεις. Όταν ένα ηλεκτρόνιο συναντά μια οπή, πέφτει σε ένα χαμηλότερο επίπεδο ενέργειας. Με μια υπολογίσιμη πιθανότητα, η αποδέσμευση της ενέργειας κατά τη διάρκεια της πτώσης αυτής συμβαίνει με τη μορφή ενός φωτονίου.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά του φωτισμού LED μπορεί να ποικίλουν, λόγω των μοναδικών αρχών λειτουργίας. Τα τυπικά χαρακτηριστικά ενός λευκού LED φαίνονται στην Εικόνα 36.

TYPICAL CHARACTERISTICS OF A WHITE LED

Luminous Flux (Φ)	50 - 1600 lm
Efficacy	65 - 130 lm/W
Lifetime ^a	25 000 - 50 000 h
Color Rendering Index (Ra) ^b	65 - 90 %
Correlated Color Temperature (CCT) ^c	2700 - 6600 K
Run-up Time, Restarting time	1 - 20 ms
Beam Angle ^d	10° - 150°

^aLEDs exploded into the public consciousness with lifetime up to 100.000 hours. In practice, the lifetime may be limited by the operating time of the control electronics, the operating temperature of the LED chip, and power supply characteristics (stable voltage and current)

^b85-90 (excellent) at modern, quality LEDs

^cDepends on the applied phosphor

^dDepends on the applied optical lens

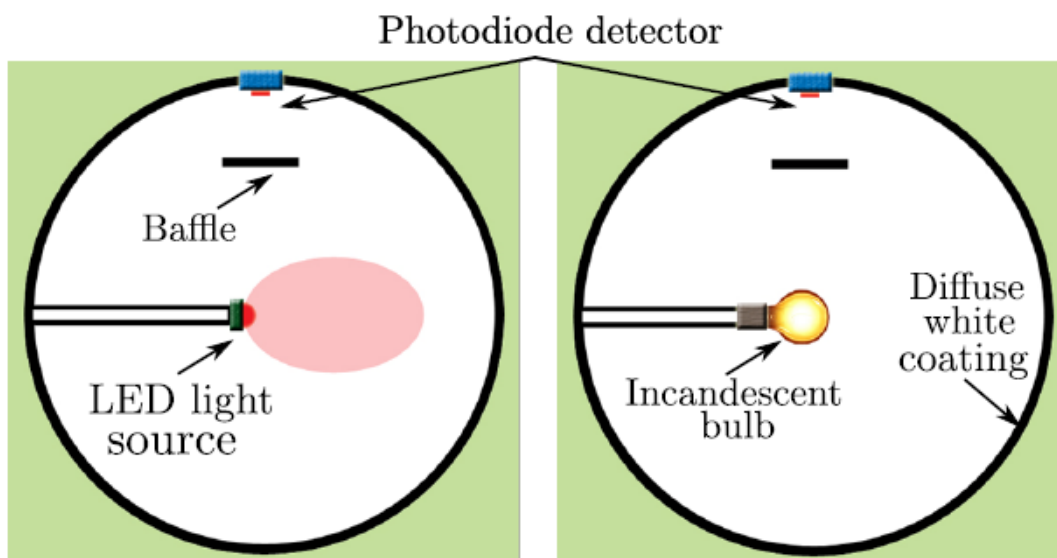
Εικόνα 40: Τυπικά χαρακτηριστικά άσπρου LED [11]

Τα περιγραφόμενα χαρακτηριστικά εξηγούν την ευρεία χρήση των LED. Επιπλέον, άλλες μοναδικές ευεργετικές ιδιότητες μπορούν να αναφερθούν, όπως το εξαιρετικά μικρό μέγεθος (ακόμη και μικρότερο από 2 mm²) και ο αυθαίρετα γρήγορος χρόνος επανεκκίνησης σε σύγκριση με οποιοδήποτε άλλο τύπο φωτεινής πηγής. Η αντίσταση κατά του φυσικού σοκ και των δονήσεων είναι αρκετά υψηλή. Έχοντας στερεάς κατάστασης συστατικά, είναι δύσκολο να πάθουν βλάβη από εξωτερικό σοκ, σε αντίθεση με τους λαμπτήρες φθορισμού και πυρακτώσεως. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να επεκτείνουν σημαντικά τα όρια των εφαρμογών.

Στις μετρήσεις που διεξάγονται έχει εφαρμοστεί μια άμεση μέθοδος για να συγκρίνει ο χρήστης την φωτεινή απόδοση μιας πηγής πυρακτώσεως έναντι ενός σύγχρονου LED που παράγει λευκό φως με την ίδια θερμοκρασία χρώματος. Για να γίνει αυτό, έχουν επιλεγθεί προσεκτικά δύο

συγκρίσιμες πηγές από τις προαναφερθείσες μορφές και τοποθετούνται σε δύο σφαίρες με κατάλληλο μέγεθος.

Ο σχηματισμός των σφαιρών ακολουθεί την πιο κοινή μέθοδο μέτρησης. Οι πηγές τοποθετούνται στο κέντρο των σφαιρών και υπάρχει επίσης ένας ανιχνευτής ανά σφαίρα για τη μέτρηση της τιμής φωτισμού σε ένα γενικό σημείο του τείχους της σφαίρας. Οι ανιχνευτές είναι βαθμονομημένες φωτοдиодοι που καλύπτονται με ένα διάφραγμα ενάντια στον άμεσο φωτισμό από τις πηγές. Οι τοίχοι της κάθε σφαίρας είναι βαμμένοι με διάχυτη λευκή επικάλυψη για να παράγουν ομοιόμορφο φωτισμό στον τοίχο, ανεξάρτητα από τη κατανομή φωτισμού των LED και του λαμπτήρα πυρακτώσεως (Εικόνα 37). Με αυτή τη διάταξη μέτρησης ο υπολογισμός και η σύγκριση της φωτεινής απόδοσης από τις μετρηθείσες τιμές φωτισμού γίνεται εφικτή.



Εικόνα 41: Διάταξη του πειράματος [11]

Αυτό το πείραμα παρέχει την απαιτούμενη γνώση για να καθοριστεί ένα από τα πιο σημαντικά οικονομικά χαρακτηριστικά των φωτινών πηγών, η φωτεινή απόδοση. Για την εισαγωγή της ενεργειακής απόδοσης των LED σε σύγκριση με φωτεινές πηγές πυράκτωσης, εφαρμόζεται απευθείας συγκριτική μέτρηση της φωτεινής ροής και ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των πηγών φωτός. Κατά τη διάρκεια αυτής μέτρησης, χρησιμοποιώντας ένα γραφικό περιβάλλον (GUI), και οι δύο πηγές μετρούνται συγχρόνως διαδραστικά και τα πλεονεκτήματα εξοικονόμησης ενέργειας των LEDs αποδεικνύονται εύκολα. Οι γνώσεις και οι δεξιότητες που παρέχονται από το πείραμα είναι:

- Βασικές γνώσεις των πηγών φωτός
- Βασικές γνώσεις υπό το φως των μετρήσεων
- Βασικές γνώσεις στις μετρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας

2.5 Βέλτιστες πρακτικές και ειδικές παρατηρήσεις

Το εργαστήριο ενός μαθήματος θεωρείται ως ένα θεμελιώδες μέρος της εκπαίδευσης και της κατάρτισης για μηχανικούς και επιστήμονες. Τα απομακρυσμένα εργαστήρια (LADs) αυξάνονται συνεχώς στους διάφορους επιστημονικούς κλάδους. Η ανάπτυξη και λειτουργία των απομακρυσμένων εργαστηρίων είναι συγκεκριμένη διαδικασία για διάφορες διαστάσεις (τεχνολογικές, παιδαγωγικές, οργανωτικές, κλπ). Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται μερικά τυπικά χαρακτηριστικά αυτής της διαδικασίας που αφορούν τις ιδιαιτερότητες που σχετίζονται με την επικοινωνία μεταξύ του απομακρυσμένου χρήστη και του εξοπλισμού του εργαστηρίου. Θα εξεταστούν επίσης τα προβλήματα που σχετίζονται με τον σχεδιασμό και τον έλεγχο πρόσβασης στη εργαστήριο καθώς και τα θέματα ασφάλειας [12].

A) Επικοινωνία

Το ευαίσθητο θέμα που πάντα εμφανίζεται σε απομακρυσμένα εργαστήρια είναι η επικοινωνία μεταξύ του server του εργαστηρίου και των χρηστών. Οι επικοινωνίες σε αυτό το επίπεδο πρέπει να εξεταστούν από δύο γωνίες, τις διαθέσιμες τεχνικές λύσεις και το είδος της εργαστηριακής εργασίας που πρέπει να αναπτυχθεί.

Μελετάται η επικοινωνία μέσω διαφόρων λογισμικών όπως Labview, LogMeIn, TeamViewer, Radmin, κλπ. Ο τρόπος επικοινωνίας πρέπει επίσης να είναι κατάλληλος για τη φύση της εργασίας που ζητήθηκε και το σενάριο που πρέπει να υλοποιηθεί. Σε ορισμένα έργα ζητείται από τους μαθητές να ρυθμίσουν και να ελέγξουν το λογισμικό για να δουν το αποτέλεσμα της επιλογής που έχουν κάνει. Σε αυτή την περίπτωση, οι μαθητές δεν χρειάζεται να προγραμματίσουν το λογισμικό αλλά απλά να τρέξουν μια ήδη προετοιμασμένη λύση και να επιλέξουν τις παραμέτρους για τη λύση αυτή. Ως εκ τούτου, η χρήση του Labview είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα επιλογή. Το Labview χρησιμοποιείται ευρέως στα εκπαιδευτικά LADs, χάρη στα "Remote Panels", όπου ο developer του έργου δημοσιεύει την εφαρμογή αυτόματα σε ένα web browser.

Σε άλλες περιπτώσεις, η κύρια εργασία είναι να οδηγήσει τους μαθητές να αναπτύξουν τα δικά τους προγράμματα ή τις δικές τους λύσεις. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να επιταπει στους μαθητές να πάρουν τον έλεγχο του λογισμικού που βρίσκεται στον server εργαστηρίου. Σε αυτή την περίπτωση η προτεινόμενη λύση για την επικοινωνία θα ήταν η χρήση του LogMeIn ή TeamViewer ή Radmin που επιτρέπουν στους μαθητές να αναλάβουν τον άμεσο έλεγχο του server για να χρησιμοποιήσουν το λογισμικό προγραμματισμού που απαιτείται.

Για την επιλογή της λύσης για την επικοινωνία πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη το αναμενόμενο σενάριο για τη διαδικασία της εργαστηριακής εργασίας. Αν, για παράδειγμα, σχεδιάζεται να τεθούν οι μαθητές σε μια συνεργατική λειτουργία, η λύση θα πρέπει επίσης να επιτρέπει την άμεση απομακρυσμένη ανταλλαγή μεταξύ των μαθητών εικόνας κειμένου και ήχου. Όλες οι λύσεις που θεωρούνται ήδη επιτρέπουν την κοινή χρήση οθόνης μεταξύ των χρηστών, αλλά δεν επιτρέπουν όλες την άμεση επικοινωνία μεταξύ τους.

Το TeamViewer φαίνεται να είναι η καλύτερη λύση γιατί πληρεί αυτές τις απαιτήσεις με καλή απόδοση.

Θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη η μετάδοση του βίντεο που δεν μπορεί να δώσει υψηλής ανάλυσης εικόνα για την πολύ γρήγορη κίνηση. Είναι επιθυμητό σε τέτοιες συνθήκες να επιλέγονται πειράματα όπου τα κινούμενα μέρη και εναλλασσόμενες μεταβλητές δεν μεταβάλλονται γρήγορα. Συνοψίζοντας στην Εικόνα 42 φαίνονται τα χαρακτηριστικά της απόδοσης των διάφορων λογισμικών.

		Labview	LogMeIn	Radmin	TeamViewer	Bridgit
Characteristics of the required work	Processing or software development	+	+	+	+	+
	Setup of an existing software (without the risk of alteration server software)	+	+	+	+	+
	Rapid evolution process variables	+	+	+	+	+
Proposed scenario	Individual work	+	+	+	+	+
	Collaborative work with synchronous exchanges	+	+	+	+	+

Εικόνα 42: Πίνακας χαρακτηριστικών των λογισμικών [12]

B) Σχεδιασμός και έλεγχος πρόσβασης

Το δεύτερο σημείο αφορά την κινητοποίηση των εργαστηριακών εξοπλισμών για κάθε φοιτητή. Σε ένα συμβατικό τρόπο λειτουργίας, όλοι οι μαθητές εργάζονται ταυτόχρονα σε πανομοιότυπους πάγκους και κάθε μαθητής έχει το δικό του πάγκο με τον εξοπλισμό. Στην περίπτωση του εργαστηρίου σε απόσταση (LAD), όλοι οι μαθητές πρέπει να περνούν με τη σειρά σε έναν διαθέσιμο πάγκο. Ο χρόνος κινητοποίησης του εξοπλισμού από έναν μαθητή είναι πολύ κρίσιμος. Το LAD απαιτεί προγραμματισμό από πριν έτσι ώστε να χορηγείται στον χρήστη αποκλειστική πρόσβαση στο πείραμα.

Έτσι διακρίνονται τρία στάδια στην εργαστηριακή εργασία. Εκτός από το στάδιο LAD στο οποίο κινητοποιείται ο εξοπλισμός από ένα συγκεκριμένο μαθητή, διακρίνεται ένα στάδιο

προετοιμασίας που ονομάζεται pre-LAD και ένα βήμα ανάλυσης των αποτελεσμάτων τα οποία προέρχονται από το LAD και ονομάζεται post-LAD. Αυτά τα δύο στάδια (πριν και μετά το LAD) δεν έχουν χρονικούς περιορισμούς και ο μαθητής μπορεί να τα επιτύχει ελεύθερα σε οποιαδήποτε κατάλληλη χρονική περίοδο. Παρ' όλα αυτά, είναι απαραίτητο να τονιστεί η σημασία του pre-LAD για την επιτυχή εκτέλεση της δουλειάς που απαιτείται για το LAD. Αυτό επιβεβαιώνεται επίσης από τις μελέτες στις οποίες γίνεται σύγκριση μεταξύ των επιδόσεων μιας ομάδας σπουδαστών που έχει καλή υποστήριξη στο στάδιο της προετοιμασίας με μια ομάδα σπουδαστών που τους δόθηκε πλήρης ελευθερία για να κάνουν αυτή τη προετοιμασία.

Ο έλεγχος της πρόσβασης σε εργαστηριακό εξοπλισμό, αποτελεί προτεραιότητα για την υλοποίηση του LAD. Ο έλεγχος αυτός πρέπει να περιλαμβάνει τρία βασικά στοιχεία: έλεγχο ταυτότητας, ο χρόνος έναρξης της σύνδεσης και πόσο χρόνο παραμένει συνδεδεμένος ο σπουδαστής με τον εξοπλισμό. Πολλαπλές πλατφόρμες και λογισμικό δίνουν τη δυνατότητα να εξασφαλίζεται ο έλεγχος ταυτότητας αποτελεσματικά. Ο έλεγχος της ώρας σύνδεσης και της διάρκειας της είναι πρόσθετες απαραίτητες προϋποθέσεις.

Οι απαιτήσεις αυτές οδήγησαν στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη λογισμικού για να καλύψουν τις συγκεκριμένες ανάγκες. Διακρίνουμε σε αυτό το λογισμικό τρεις τύπους χρηστών: διαχειριστής, δάσκαλος και μαθητής. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού του λογισμικού είναι:

- Ο κύριος διαχειριστής (primary administrator) εκχωρεί χρονικές περιόδους στους διδάσκοντες, ώστε να μπορούν στη συνέχεια να τις αναθέσουν στους φοιτητές τους. Για κάθε εργαστήριο, ο διδάσκοντας μπορεί να αποφασίσει πόσο καιρό χρειάζεται για να ολοκληρωθεί το εργαστήριο. Ο διαχειριστής μπορεί επίσης να αναθέτει χρονικές περιόδους στις ομάδες ως δάσκαλος και να κάνει κράτηση για κάθε μαθητή.
- Κάθε δάσκαλος μπορεί να εκχωρήσει χρονικά διαστήματα για τις ομάδες για κάθε εργαστήριο. Ο δάσκαλος μπορεί επίσης να διαχωρίσει τις ομάδες σε υποομάδες και να τους ανάθεσει κλίμακες χρόνου ανεξάρτητα. Μπορεί επίσης να κάνει κρατήσεις για κάθε μαθητή ξεχωριστά.
- Κάθε μαθητής μπορεί να κάνει κράτηση μόνο για το εργαστήριο όπου ένα χρονικό διάστημα έχει ανατεθεί σε αυτόν.
- Μόλις γίνει κράτηση για το χρονικό διάστημα, ο φοιτητής εισέρχεται στην ιστοσελίδα και αποκτά πρόσβαση στο εργαστήριο με το όνομα χρήστη του και το password του. Η

ιστοσελίδα κρατήσεων θα ελέγξει την ταυτότητα του χρήστη και το πρόγραμμα για να δεί αν ο φοιτητής έχει κράτηση.

- Μόλις ολοκληρωθεί η επαλήθευση των στοιχείων, η ιστοσελίδα θα παρέχει πρόσβαση στη σελίδα του εργαστηρίου.

Αυτό το λογισμικό είναι πολύ χρήσιμο για τον προγραμματισμό της πρόσβασης και πληροί όλες τις απαιτήσεις, όταν η σύνδεση είναι μέσω Labview . Ωστόσο, στην περίπτωση των άλλων λογισμικών σύνδεσης (LogMeIn , Radmin , κλπ), περιορίζοντας το χρόνο σύνδεσης δεν είναι υπό τον έλεγχο του διαχειριστή, ώστε να επιτρέπει την απελευθέρωση της σύνδεσης μετά την κατανάλωση της προγραμματισμένης ώρας. Το λογισμικό έχει αναπτυχθεί σε ένα πρότυπο και είναι προσαρμόσιμο για κάθε ίδρυμα.

Γ) Ασφάλεια

Η ασφάλεια είναι μια συνεχής ανησυχία στην περίπτωση του LAD. Μεταξύ των μεγάλων ανησυχιών του Website είναι η ακόλουθη ερώτηση: Πως να αποφεύγεται η ανεπιθύμητη πρόσβαση; Αυτό το σημείο μπορεί να αντιμετωπίζεται εν μέρει από το λογισμικό ασφάλειας στο Διαδίκτυο για την πρόληψη της διείσδυσης των ιών, αλλά πρέπει επίσης να εμποδίζεται η πρόσβαση στους χρήστες που δεν είναι εγγεγραμμένοι στο σύστημα. Η πρόσβαση δεν θα πρέπει να επιτρέπεται ακόμη και για εκείνους που είναι μεν εγγεγραμμένοι αλλά το χρονικό διάστημα στο οποίο συνδέονται δεν είναι προγραμματισμένο. Ως ασφάλεια θεωρείται επίσης η κατάσταση δυσλειτουργίας του λογισμικού. Θα πρέπει να είναι πάντοτε δυνατή η ανίχνευση αυτών των δυσλειτουργιών και η επανεκκίνηση όλου του λογισμικού από την αρχή. Το πιο δύσκολο επίπεδο ασφάλειας αφορά τη λειτουργία του ίδιου εργαστηριακού εξοπλισμού. Η κατάσταση όλων των στοιχείων του εξοπλισμού (μοτέρ, ανεμιστήρες, αντιστάσεις κλπ ...) θα πρέπει να είναι αναλύεται λεπτομερώς και τότε να προβλέπονται όλες οι πιθανές βλάβες του εξοπλισμού για να παρέχεται υλικό και λογισμικό προστασίας. Αυτό θα εξασφαλίσει την απαραίτητη ασφάλεια του εξοπλισμού και την πρόληψη των ατυχημάτων και των ζημιών.

Δ) Επανεκκίνηση του LAD

Η πρόοδος του LAD γίνεται συνήθως χωρίς την παρουσία των διαχειριστών. Πρέπει άρα να εξετάσει η διαδικασία επανεκκίνησης του συστήματος στην αρχική του κατάσταση, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον επόμενο μαθητή. Αυτά τα σημεία που συμπεριλαμβάνονται στην λειτουργία επαναφοράς είναι:

- Η αρχική τοποθέτηση ορισμένων στοιχείων του εργαστηριακού πάγκου.
- Προμήθεια ορισμένων στοιχείων του εργαστηριακού πάγκου (αναλώσιμα κλπ).
- Ψύξη ορισμένων μονάδων του εργαστηριακού πάγκου μετά από έντονη θέρμανσή τους όταν χρησιμοποιούνται .
- Καθαρισμός των μερών στον εργαστηριακό πάγκο .

Ορισμένες λειτουργίες επαναφοράς μπορούν να προγραμματιστούν και να ελέγχονται μέσω του λογισμικού που αναπτύχθηκε, ενώ άλλες απαιτούν την προσθήκη συγκεκριμένης λύσης ή πρόσθετων συσκευών για την υποστήριξη της λειτουργίας επαναφοράς όπως συμβαίνει για παράδειγμα όταν όλα τα μέρη βρίσκονται στο τέλος μιας αλυσίδας συναρμολόγησης και πρέπει να μεταφερθούν στην αρχή της.

Η χρήση του LAD συνοδεύεται με τον περιορισμό της άμεσης χειραγώγησης του πραγματικού εξοπλισμού αλλά έχει μερικά ανοίγματα διαφορετικών διαστάσεων μέσω των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών. Η χρήση αυτού του εξοπλισμού δεν περιορίζεται πλέον στο χώρο του εργαστηρίου όπου βρίσκεται. Οι μαθητές μπορούν να το χρησιμοποιούν από το σπίτι. Η χρήση του LAD μπορεί ακόμη και να προσφέρονται στους μαθητές από μια άλλη πόλη ή ακόμα και μια άλλη επαρχία σε εθνικό ή σε διεθνές επίπεδο. Οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών καταρρίπτουν τα γεωγραφικά όρια και πλέον μπορεί ακόμη και να εξεταστεί η χρήση του LAD μεταξύ μακρινών χωρών.

3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

Η μηχανική και η επιστήμη παραδοσιακά διδάσκονται αφαιρετικά. Ο διδάσκοντας εισάγει ένα θέμα διδάσκοντας βασιζόμενος σε γενικές αρχές, στη συνέχεια χρησιμοποιεί τις αρχές για να παράξει μαθηματικά μοντέλα, δείχνει επεξηγηματικές εφαρμογές των μοντέλων, παρέχει στους φοιτητές παρόμοιες παραλλαγές και εφαρμογές στην εργασία για εξάσκηση και τελικά δοκιμάζει την ικανότητά τους να κάνουν τα παρόμοια πράγματα στις εξετάσεις [1]. Μερικές φορές το ποια φαινόμενα του πραγματικού κόσμου μπορούν να εξηγήσουν τα μοντέλα όπως και το ποια πρακτικά προβλήματα μπορούν να τα επιλύσουν δεν εξηγούνται επαρκώς

Μια καλά εδραιωμένη αρχή της εκπαιδευτικής ψυχολογίας είναι ότι οι άνθρωποι έχουν έντονα κίνητρα να μάθουν πράγματα για τα οποία αντιλαμβάνονται σαφώς την ανάγκη να γνωρίζουν [1]. Απλά λέγοντας στους μαθητές ότι θα χρειαστούν ορισμένες γνώσεις και δεξιότητες κάποια μέρα δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό κίνητρο. Μια προτιμητέα εναλλακτική είναι η επαγωγική διδασκαλία και μάθηση. Αντί να ξεκινήσουν με γενικές αρχές και τελικά να φτάσουν σε εφαρμογές, η διδασκαλία ξεκινά με συγκεκριμένες τεχνικές - ένα σύνολο από παρατηρήσεις ή πειραματικά δεδομένα για ερμηνεία, μελέτη περίπτωσης για ανάλυση ή ένα περίπλοκο πρόβλημα πραγματικού κόσμου για επίλυση. Καθώς οι μαθητές επιχειρούν να αναλύσουν τα δεδομένα ή το σενάριο ή να λύσουν το πρόβλημα, δημιουργούν την ανάγκη για γεγονότα, κανόνες, διαδικασίες και κατευθυντήριες αρχές, σε ποιο σημείο τους παρουσιάστηκαν οι απαραίτητες πληροφορίες ή βοηθήθηκαν για να τις ανακαλύψουν μόνοι τους.

Η επαγωγική διδασκαλία και μάθηση είναι ένας όρος «ομπρέλα» που περιλαμβάνει μια σειρά από εκπαιδευτικές μεθόδους, συμπεριλαμβανομένης της εκμάθησης βασισμένης σε προβλήματα (Problem-based Learning), της μάθησης βάσει project (Project-based Learning), της διδασκαλίας βάσει περιπτώσεων (Case-based Learning), την εκμάθηση μέσω της ανακάλυψης και τη διδασκαλία just-in-time. Αυτές οι μέθοδοι έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά, εκτός από το γεγονός ότι όλες χαρακτηρίζονται ως επαγωγικές. Είναι όλες επικεντρωμένες στον μαθητή, που σημαίνει ότι επιβάλλουν μεγαλύτερη ευθύνη στους μαθητές για τη δική τους μάθηση από ό,τι η παραδοσιακή διδασκαλία. Είναι όλες υποστηριζόμενες από τα ευρήματα της έρευνας που μαθαίνουν οι μαθητές με την τοποθέτηση νέων πληροφοριών σε υπάρχοντες γνωστικές δομές. Μπορούν όλες να χαρακτηριστούν ως κατασκευαστικές-κονστрукτιβιστικές μέθοδοι, με βάση

την ευρέως αποδεκτή αρχή ότι οι μαθητές κατασκευάζουν τις δικές τους εκδοχές της πραγματικότητας αντί απλώς να απορροφούν εκδόσεις που παρουσιάζονται από τους δασκάλους τους. Οι μέθοδοι σχεδόν πάντα ωθούν τους μαθητές να κάνουν-συζητούν ερωτήσεις και να επιλύουν προβλήματα στην τάξη (Active Learning), με την περισσότερη δουλειά μέσα και έξω από την τάξη να γίνεται από τους μαθητές σε ομάδες (συνεργατική μάθηση).

3.1 Ενεργή Μάθηση (Active Learning)

Το Active learning εμπλέκει τους φοιτητές-μαθητές σε δραστηριότητες πέρα από το να κοιτάζουν, να ακούνε και να κρατάνε σημειώσεις. [3]. Ο διδάσκοντας πραγματοποιεί Active learning όταν θέτει ένα ερώτημα στην τάξη, αναφέρει κάποιο πρόβλημα έτσι ώστε να προκαλέσει το ενδιαφέρον των μαθητών. Προτείνει στους μαθητές να εργαστούν ατομικά ή σε μικρές ομάδες και περιμένει την απάντηση των μαθητών του αφού τους δώσει κάποιο χρόνο . Μπορεί να τους σταματήσει και να καλέσει ένα ή περισσότερα άτομα ή ομάδες να μοιραστούν τις απαντήσεις τους.

Το Active learning δεν προτείνει να σταματήσει ο διδάσκοντας τις διαλέξεις. Ο διδάσκοντας ξέρει περισσότερα από ότι οι περισσότεροι από τους μαθητές του πάνω στο αντικείμενο και θα πρέπει να περάσει μέρος του χρόνου διδασκαλίας διδάσκοντάς τους ότι γνωρίζει - εξηγώντας, διευκρινίζοντας, αποδεικνύοντας, μοντελοποιώντας κ.λ.π. Αυτό που προτείνει είναι να αποφεύγεται η διάλεξη να είναι το μόνο πράγμα που κάνει ο διδάσκοντας. Αν μια διάλεξη περιλαμβάνει ακόμη και λίγα λεπτά σχετικής δραστηριότητας-ένα λεπτό εδώ, 30 δευτερόλεπτα εκεί, οι μαθητές θα είναι σε εγρήγορση και θα παρακολουθούν τον διδάσκοντα και οι περισσότεροι πιθανώς να διατηρήσουν περισσότερο αυτά που συμβαίνουν σε αυτά τα λίγα λεπτά από το τι θα πει και θα κάνει ο διδάσκοντας στο υπόλοιπο της συνεδρίας. Αν το κάνει αυτό σε κάθε συνεδρία, στο τέλος του εξαμήνου θα δει αποδείξεις μάθησης υψηλού επιπέδου, σε αντίθεση με οτιδήποτε έχει δει πριν.

Το τι μπορεί να ζητήσει ο διδάσκοντας από τους μαθητές του περιορίζεται μόνο από τη φαντασία του. Μπορεί να τους ζητήσει να απαντήσουν σε μια ερώτηση, να εξηγήσει μια σύνθετη έννοια ή ένα φυσικό ή κοινωνικό φαινόμενο που ένας μαθητής θα μπορούσε να καταλάβει, να σχεδιάσει ένα διάγραμμα ροής ή ένα χρονοδιάγραμμα, να λύσει ένα σύντομο πρόβλημα ή περιγράψει τη λύση ενός προβλήματος. Μπορεί να προβλέψει ή να ερμηνεύσει το αποτέλεσμα ενός σεναρίου ή

ενός πειράματος και να διατυπώσει μια ερώτηση σχετικά με το υλικό που απλά δίδαξε τα τελευταία 20 λεπτά.

Όταν αποφασίσει τι να ζητήσει από τους μαθητές να κάνουν, να αποφεύγει τετριμμένες ερωτήσεις όπου όλοι οι μαθητές θα είναι σε θέση να απαντήσουν αμέσως. Αντ' αυτού, πρέπει να επικεντρώνεται στα δύσκολα πράγματα, αυτά που οι μαθητές έχουν πάντα πρόβλημα στις εργασίες και στις εξετάσεις. Αν ο διδάσκοντας κάνει διάλεξη σχετικά με αυτά τα πράγματα και είναι καλός ομιλητής, οι μαθητές μπορεί να φύγουν από την τάξη με τη σκέψη ότι έχουν κατανοήσει τα πάντα, αλλά όταν παίρνουν τις εργασίες δυσκολεύονται αρκετά. Εάν χρησιμοποιεί Active learning, τα σύντομα διαλείμματα της εξάσκησης στην τάξη θα κάνει τις εργασίες και τις εξετάσεις πάρα πολύ ομαλότερες για τους περισσότερους από τους μαθητές.

Η βασική δομή του Active Learning που μπορείτε να ακολουθήσετε σαν διδάσκοντας είναι η παρακάτω:

1. Πείτε στους μαθητές να οργανωθούν σε ομάδες 2-4 ατόμων και να διορίσουν τυχαία ένα για να καταγράψει σε κάθε ομάδα εάν απαιτείται η γραφή. Εναλλακτικά, πείτε στις ομάδες να διορίσουν τους δικούς τους καταγραφείς, κατά προτίμηση κάποιον που δεν έχει ακόμη καταγράψει εκείνη την ημέρα.

2. Προβάλλετε μια δύσκολη ερώτηση ή πρόβλημα και αφήστε αρκετό χρόνο για τις περισσότερες ομάδες να τελειώσουν ή να έχουν κάνει επαρκή πρόοδο μέχρι το τέλος. Ο χρόνος που τους δίνετε πρέπει κανονικά να είναι μεταξύ 15 δευτερολέπτων και τριών λεπτών. Αν χρειάζονται πολύ περισσότερο χρόνο από αυτό, να σπάσετε το πρόβλημα σε μικρότερα βήματα και αντιμετωπίστε κάθε βήμα ως ξεχωριστή δραστηριότητα.

3. Καλέστε διάφορα άτομα ή ομάδες για να μοιραστείτε τις απαντήσεις τους και ζητήστε εθελοντές για να αποφασίσουν εάν η πλήρης απάντηση που ψάχνετε έχει δοθεί. Στη συνέχεια συζητήστε τις απαντήσεις ή απλά προχωρήστε με την προγραμματισμένη διάλεξή σας.

Η βιβλιογραφία του Active Learning προσφέρει πολλές παραλλαγές αυτής της προσέγγισης. Τρεις ιδιαίτερα αποτελεσματικές παραλλαγές είναι [3]:

- Think-pair-share. Θέστε το πρόβλημα και βάλτε τους μαθητές να εργαστούν ατομικά για λίγο χρόνο. Έπειτα πείτε τους να δημιουργήσουν ζεύγη έτσι ώστε να συζητήσουν και να βελτιώσουν τις λύσεις τους και τέλος καλέστε τους ατομικά ή σε ζεύγη για να

μοιραστούν τις απαντήσεις τους. Αυτή η δομή διαρκεί λίγο περισσότερο χρόνο σε σχέση με μια απλή δραστηριότητα ομάδας, αλλά περιλαμβάνει ατομική σκέψη και έτσι οδηγεί σε μεγαλύτερη μάθηση.

- **Concept tests.** Ζητήστε μια ερώτηση πολλαπλών επιλογών σχετικά με μια έννοια που σχετίζεται με το μάθημα και να περιέχει εσφαλμένες πιθανές απαντήσεις που αντανακλούν τις κοινές παρανοήσεις των φοιτητών (distractors). Οι μαθητές μπορούν να απαντήσουν χρησιμοποιώντας συστήματα προσωπικής ανταπόκρισης ("clickers") και μπορεί να εμφανιστεί και ιστόγραμμα απαντήσεων. Αν τα clickers δεν είναι διαθέσιμα και η τάξη δεν είναι τεράστια, οι φοιτητές μπορούν να κρατούν κάρτες με τις απαντήσεις τους με μεγάλα γράμματα έτσι ώστε να σαρώσετε το δωμάτιο για να υπολογίσετε την κατανομή των απαντήσεων. Στη συνέχεια, οι μαθητές να χωριστούν σε ζεύγη και να προσπαθήσουν να συμβιβάσουν τις απαντήσεις τους και να ψηφίσουν ξανά. Τέλος, καλέστε μερικούς από αυτούς να εξηγήσουν γιατί απάντησαν έτσι και στη συνέχεια συζητήστε γιατί η σωστή απάντηση είναι σωστή και οι distractors δεν είναι.
- **Thinking-aloud pair problem solving (TAPPS).** Αυτή είναι μια ισχυρή τεχνική που βοηθά τους σπουδαστές να εργάζονται και κατανοούν μια λύση προβλήματος, ανάλυση περιπτώσεων ή ερμηνεία κειμένου ή μετάφραση. Ζητήστε από τους μαθητές να μπουκν σε ζεύγη και να ορίσουν ένα μέλος ζευγαριού ως εξηγητή και τον άλλο ως ερωτώντα. Δώστε στους εξηγητές ένα λεπτό ή δύο για να εξηγήσουν το πρόβλημα γραμμή-γραμμή στους συνεργάτες τους και ενημερώστε τους ερωτώντες να υποβάλουν ερωτήσεις όταν οι εξηγήσεις είναι ασαφείς ή ελλιπείς και να δίνουν συμβουλές όταν χρειάζεται. Σταματήστε τους φοιτητές μετά το χρόνο που τους έχει δοθεί και καλέστε αρκετά άτομα για να τα εξηγήσουν σε σας. Μόλις έχετε μια ικανοποιητική εξήγηση, τα ζεύγη θα έχουν αντίστροφα ρόλους και να συνεχίσετε με το επόμενο μέρος της λύσης προβλήματος ή την ανάλυση της υπόθεσης ή την ερμηνεία κειμένου ή μετάφραση. Συνεχίστε με αυτόν τον τρόπο μέχρι να ολοκληρωθεί η άσκηση. Στο τέλος, οι μαθητές σας θα κατανοήσουν το υλικό της άσκησης σε τέτοιο βαθμό που δεν υπάρχει άλλη εκπαιδευτική τεχνική που να φτάνει αυτό το επίπεδο.

3.2 Διερευνητική μάθηση (Inquiry Learning)

Η μάθηση μέσω έρευνας (Inquiry Learning) ξεκινά όταν οι μαθητές παρουσιάζονται με ερωτήσεις που πρέπει να απαντηθούν, προβλήματα για να επιλυθούν ή να εξηγηθεί ένα σύνολο παρατηρήσεων [1]. Εάν η μέθοδος υλοποιηθεί αποτελεσματικά, οι μαθητές πρέπει να μάθουν να διατυπώνουν καλές ερωτήσεις, να εντοπίζουν και να συλλέγουν τα κατάλληλα αποδεικτικά στοιχεία, να παρουσιάζουν συστηματικά αποτελέσματα, να αναλύουν και να ερμηνεύουν τα αποτελέσματα, να διατυπώνουν συμπεράσματα και να αξιολογούν την αξία και τη σημασία αυτών των συμπερασμάτων. Οι ίδιες δηλώσεις θα μπορούσαν επίσης να γίνουν για την εκμάθηση βασισμένη σε προβλήματα, την εκμάθηση βασισμένη στο έργο, την εκμάθηση της ανακάλυψης, ορισμένες μορφές βάσης δεδομένων της διδασκαλίας και της έρευνας των σπουδαστών, έτσι ώστε η μάθηση της έρευνας να μπορεί να θεωρηθεί ως κατηγορία ομπρέλας που περιλαμβάνει πολλές άλλες επαγωγικές μεθόδους διδασκαλίας. Ο Lee [1] το κάνει αυτό παρατηρώντας ότι η έρευνα είναι επίσης συνεπής με τη διαδραστική διάλεξη, συζήτηση, προσομοίωση, τη μάθηση των υπηρεσιών και την ανεξάρτητη μελέτη και στην πραγματικότητα πιθανώς η μόνη στρατηγική που δεν είναι σύμφωνα με την εκμάθηση με γνώμονα την έρευνα είναι η αποκλειστική χρήση της παραδοσιακής διδασκαλίας. Σε αυτή την εργασία θα χρησιμοποιήσουμε τον όρο μάθηση μέσω έρευνας για να αναφερθούμε σε οδηγίες που χρησιμοποιούν ερωτήσεις και προβλήματα για την παροχή πλαισίων μάθησης και δεν εμπίπτει σε άλλη πιο περιοριστική επαγωγική κατηγορία μάθησης.

Εκτός από την αλληλοεπικάλυψη με άλλες επαγωγικές μεθόδους, η μάθηση διερεύνησης συμπεριλαμβάνει μια ποικιλία τεχνικών που διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Οι Staver και Bay [1] διαφοροποιούν το inquiry learning σε δομημένη έρευνα (οι μαθητές έχουν ένα πρόβλημα και ένα περίγραμμα για το πώς να το επιλύσουν), καθοδηγούμενη έρευνα (οι μαθητές πρέπει επίσης να καταλάβουν τη μέθοδο λύσης) και την ανοιχτή έρευνα (οι μαθητές πρέπει να διατυπώσουν το πρόβλημα για τον εαυτό τους). Ο Smith [1] κάνει μια παρόμοια διάκριση μεταξύ της έρευνας των εκπαιδευτικών, στην οποία ο δάσκαλος θέτει ερωτήσεις, και της έρευνας των μαθητών, στην οποία οι ερωτήσεις τίθενται από τους μαθητές. Στην προσανατολισμένη στην διαδικασία καθοδηγούμενη ερευνητική μάθηση (process-oriented-guided-inquiry-learning ή POGIL) (<http://www.pogil.org>), οι φοιτητές εργάζονται σε μικρές ομάδες σε μια τάξη ή εργαστήριο με οδηγικές ενότητες που τους παρουσιάζουν πληροφορίες ή δεδομένα, ακολουθούμενες από τις

κύριες ερωτήσεις που έχουν σχεδιαστεί να τους καθοδηγήσουν προς τη διατύπωση των δικών τους συμπερασμάτων. Ο διδάσκοντας χρησιμεύει ως διευκολυντής, δουλεύοντας με φοιτητικές ομάδες εάν χρειάζονται βοήθεια και θέτουν προβλήματα που σχετίζονται με την τάξη όταν το κρίνει απαραίτητο. Ορισμένοι υποστηρικτές της έρευνας προτείνουν τη χρήση μιας σχετικά δομημένης μορφής έρευνας στο πρώτο έτος, μετατοπίζοντας σταδιακά προς μια πιο αυτό-κατευθυνόμενη μάθηση (συμπεριλαμβανομένης της διατύπωσης προβλημάτων) καθώς το πρόγραμμα σπουδών προχωρά, ενώ άλλοι υποστηρίζουν ότι το καλύτερο είναι να μεταβαίνουν κατευθείαν στην αυτό-κατευθυνόμενη μάθηση.

Οι μέθοδοι με βάση τις έρευνες έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς στις επιστήμες και σε μικρότερη έκταση στην μηχανική. Οι Lee et al. [1] αναφέρουν σχετικά με μια σειρά μαθημάτων που βασίζονται στην έρευνα σε διάφορους κλάδους στο North Carolina State ότι είχαν τέσσερα κοινά επιθυμητά αποτελέσματα: α) βελτιώθηκαν οι δεξιότητες κριτικής σκέψης, β) μεγαλύτερη ικανότητα ανεξάρτητης έρευνας, γ) λήψη περισσότερων ευθυνών από τον μαθητή για τη δική του μάθηση, δ) την πνευματική ανάπτυξη (π.χ. στην κλίμακα Perry της πνευματικής ανάπτυξης).

3.3 Μάθηση βασισμένη στο πρόβλημα (Problem-Based Learning)

Στο Problem-Based Learning (PBL), οι μαθητές δουλεύουν με τους συμμαθητές τους για την επίλυση σύνθετων και αυθεντικών προβλημάτων που βοηθούν να αναπτύξουν γνώση περιεχομένου καθώς και δεξιότητες όπως η επίλυση προβλημάτων, η συλλογιστική, η επικοινωνία και η αυτοαξιολόγηση. Τα προβλήματα αυτά συμβάλλουν επίσης στη διατήρηση του ενδιαφέροντος των μαθητών διότι οι μαθητές συνειδητοποιούν ότι μαθαίνουν τις δεξιότητες που απαιτούνται για να είναι επιτυχείς στον τομέα τους. Σχεδόν κάθε μάθημα μπορεί να ενσωματώσει το PBL και οι περισσότεροι διδάσκοντες και σπουδαστές θεωρούν ότι τα οφέλη είναι σημαντικά.

Ενώ το περιεχόμενο και η δομή των μαθημάτων PBL μπορεί να διαφέρουν, οι γενικοί στόχοι και οι μαθησιακοί σκοποί τείνουν να είναι παρόμοιοι. Το PBL ξεκινά με την υπόθεση ότι η μάθηση είναι μια ενεργή, ολοκληρωμένη και εποικοδομητική διαδικασία που επηρεάζεται από κοινωνικούς και συναφείς παράγοντες (Barrows, 1996; Gijsselaers, 1996 [17]). Στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, οι Wilkerson και Gijsselaers [17] ισχυρίζονται ότι το PBL χαρακτηρίζεται από μια προσέγγιση που επικεντρώνεται στους μαθητές, οι εκπαιδευτικοί είναι περισσότερο

"διαμεσολαβητές" παρά "διαδότες" και τα ανοιχτά προβλήματα (στο PBL, αυτά ονομάζονται "ill-structured") χρησιμεύουν ως το αρχικό κίνητρο και πλαίσιο για την μάθηση. Οι διδάσκοντες ελπίζουν επίσης να αναπτυχθεί το εγγενές ενδιαφέρον των μαθητών για το θέμα, να δίνεται έμφαση στην μάθηση και όχι στην ανάκληση, να γίνεται προώθηση της ομαδικής εργασίας και να βοηθήσουν τους μαθητές να γίνονται αυτοδίδακτοι.

Η μάθηση είναι «επικεντρωμένη στο φοιτητή» επειδή οι μαθητές είναι ελεύθεροι να μελετήσουν τα θέματα που τους ενδιαφέρουν και να καθορίσουν τον τρόπο με τον οποίο επιθυμούν να τα μελετήσουν. Οι μαθητές πρέπει να προσδιορίσουν τις μαθησιακές ανάγκες τους, να βοηθήσουν στον σχεδιασμό των μαθημάτων, να καθοδηγούν τις συζητήσεις στην τάξη και να αξιολογούν το δικό τους έργο και το έργο των συμμαθητών τους (Gallagher, 1997, Reynolds, 1997 [17]). Οι μαθητές αναπτύσσουν μια βαθύτερη συνειδητοποίηση και ιδιοκτησία σημαντικών εννοιών στο μάθημα με την εργασία σχετικά με τις δραστηριότητες, μια βασική αρχή της εποικοδομητικής προσέγγισης της μάθησης (Seltzer, et al. [17]).

Εκτός από την έμφαση στο «μαθαίνοντας μέσω κάνοντας», το PBL απαιτεί από τους μαθητές να είναι μεταγνωστικά ενήμεροι (Gijsselaers, [17]). Δηλαδή, οι μαθητές πρέπει να μάθουν να συνειδητοποιούν τις πληροφορίες που ήδη γνωρίζουν για το πρόβλημα, τι πληροφορίες πρέπει να γνωρίζουν για την επίλυση του προβλήματος και τις στρατηγικές που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση του προβλήματος. Το να είναι ικανοί οι μαθητές να εκφράζουν τις σκέψεις αυτές τους βοηθάει να γίνουν περισσότερο αποτελεσματικοί λύτες προβλημάτων και αυτοδίδακτοι μαθητές. Για το λόγο αυτό, ο διδάσκοντας πρέπει να γίνει δάσκαλος ή "γνωστικός προπονητής" που διαμορφώνει τις στρατηγικές έρευνας, καθοδηγεί την εξερεύνηση και βοηθά τους μαθητές να διευκρινίσουν και να συνεχίσουν τις ερευνητικές τους ερωτήσεις (Arámbula-Greenfield, [17]). Ο διδάσκοντας διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο βοηθώντας τους μαθητές να γίνουν αυτοδίδακτοι μαθητές και πρέπει δημιουργούν ένα περιβάλλον στην τάξη στο οποίο οι μαθητές λαμβάνουν συστηματική διδασκαλία σε εννοιολογικές, στρατηγικές, και αντανακλαστικές συλλογιστικές στο πλαίσιο μιας πειθαρχίας που τελικά θα τους καταστήσει πιο επιτυχημένους αργότερα (Gallagher, 1997, [17]). Ο Gallagher υποδηλώνει επίσης ότι οι δάσκαλοι δίνουν τη φωνή τους σε μεταγνωστικές ερωτήσεις και τις εισάγουν στην τάξη έτσι ώστε οι μαθητές να μάθουν να παρευρίσκονται σε αυτές, να εκτιμήσουν τη χρησιμότητά τους και στη συνέχεια να υιοθετήσουν τη χρήση τους όσο γίνονται όλο και πιο ανεξάρτητες και αυτοκατευθυνόμενες.

Η ομαδική εργασία είναι επίσης μια βασική πτυχή του PBL για διάφορους λόγους. Πρώτον, η ομαδική εργασία βοηθά στην ανάπτυξη μαθησιακών κοινοτήτων στις οποίες οι μαθητές αισθάνονται άνετα να αναπτύξουν νέες ιδέες και να θέτουν ερωτήματα σχετικά με το υλικό (Allen, Duch & Groh, [17]). Επιπλέον, η ομαδική εργασία ενισχύει τις δεξιότητες επικοινωνίας και την ικανότητα των μαθητών να διαχειρίζονται την δυναμική μιας ομάδας. Τέλος, η ομαδική εργασία είναι ενδιαφέρουσα και παρέχει κίνητρα στους μαθητές επειδή συμμετέχουν ενεργά στο έργο και είναι υπόλογοι για τις ενέργειές τους στα μέλη της ομάδας (Cohen, [17]). Για αυτούς τους λόγους, η ομαδική εργασία μπορεί να ενισχύσει τα επιτεύγματα των μαθητών. Ωστόσο, οι ομάδες δεν λειτουργούν πάντα αποτελεσματικά χωρίς καθοδήγηση. Συνήθως ο διδάσκοντας διευκολύνει και παρακολουθεί τις αλληλεπιδράσεις της ομάδας επειδή πολλοί μαθητές δεν έχουν διδαχθεί πώς να εργάζονται αποτελεσματικά σε ομάδες (Bridges & Hallinger, 1996, Wilkerson, 1996) [17]. Καλοσχεδιασμένα, ανοικτά προβλήματα που απαιτούν την εισαγωγή και τις δεξιότητες όλων των μελών της ομάδας είναι επίσης απαραίτητες θετικές εμπειρίες ομαδικής εργασίας (Cohen, 1994).

Όπως σημειώνεται στη βιβλιογραφία του Problem Based Learning, ο όρος "ill-structured" χρησιμοποιείται για να περιγράψει ανοικτά προβλήματα που έχουν πολλαπλές λύσεις και απαιτούν από τους μαθητές να εξετάζουν πολλές μεθόδους πριν αποφασίσουν για μια συγκεκριμένη λύση (Shelton & Smith, [17]). Εκπαιδευτικά υγιή, τα "ill-structured" προβλήματα βοηθούν τους μαθητές να μάθουν ένα σύνολο σημαντικών εννοιών, ιδεών και τεχνικών (Gallagher, [17]) γιατί προκαλούν ομαδική συζήτηση και δίνουν στους μαθητές εμπειρία στην επίλυση προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι ειδικοί. Οι μαθητές αναγνωρίζουν αυτά τα προβλήματα ως σχετικά με το επάγγελμά τους. Ως εκ τούτου, οι μαθητές έχουν περισσότερα κίνητρα να εργαστούν πάνω τους (σε αντίθεση με τα διακριτά σύνολα προβλημάτων ή ασκήσεις βιβλίων), όχι μόνο επειδή συνειδητοποιούν ότι οι γνώσεις που κερδίζουν σκεπτόμενοι αυτά τα προβλήματα θα είναι χρήσιμες στο μέλλον, αλλά επίσης επειδή δίνονται στους σπουδαστές σημαντικές ευκαιρίες για δημιουργικότητα και ευελιξία στην επίλυση των PBL προβλημάτων.

Η καθημερινή δομή ενός μαθήματος PBL είναι αρκετά διαφορετική από τη δομή των παραδοσιακών μαθημάτων διδασκαλίας. Ο Rangachari [17] προτείνει ότι οι πρώτες συναντήσεις της τάξης σε ένα μάθημα PBL περιλαμβάνουν συνεδρίες προβληματισμού στην οποία εντοπίζονται τα κεντρικά σημεία του μαθήματος. Εναλλακτικά, ο διδάσκοντας μπορεί να δημιουργήσει μια εκτεταμένη λίστα των θεμάτων και να ζητήσει από τους μαθητές να επικεντρωθούν σε αυτά τα θέματα που φαίνονται πιο ενδιαφέροντα. Με βάση τις απαντήσεις των

σπουδαστών για τα θέματα του μαθήματος, ο διδάσκοντας αναπτύσσει “ill-structured” προβλήματα. Οι σπουδαστές στη συνέχεια ασχολούνται με τα προβλήματα σε ομάδες από τρεις έως οκτώ μαθητές, ανάλογα με τον αριθμό των μαθητών και τον αριθμό των διαθέσιμων διδασκόντων. Ανεξάρτητα από το πώς επιλέχθηκαν τα θέματα, ο διδάσκοντας παρουσιάζει τα προβλήματα στις ομάδες σπουδαστών πριν την παροχή οποιασδήποτε επίσημης οδηγίας σχετικά με το θέμα. Κατά τη διάρκεια της τάξης και έξω από την τάξη οι μαθητές δουλεύουν με τις ομάδες τους για να λύσουν προβλήματα. Ο διδάσκοντας πρέπει να εξασφαλίσει ότι όλοι οι σπουδαστές συμμετέχουν στη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων και πρέπει οι φοιτητές να εξοικειωθούν με τους απαιτούμενους πόρους που χρειάζονται (π.χ., βιβλιογραφικές αναφορές, βάσεις δεδομένων) για την επίλυση των προβλημάτων, όπως καθώς και τον εντοπισμό κοινών δυσκολιών ή παρερμηνειών (Arámbula-Greenfield, 1996, Seltzer et al., [17]). Έχοντας ομάδες που εξετάζουν διαφορετικά προβλήματα ή ακόμα και εξετάζοντας παρόμοια προβλήματα, το καθήκον της «προπόνησης» των ομάδων μπορεί να είναι πάρα πολύ για έναν διδάσκοντα. Έτσι, ο διδάσκοντας μπορεί να θελήσει να εξετάσει τη χρήση βοηθών ή καθηγητών οι οποίοι είναι εξοικειωμένοι με τις μεθόδους και τις τεχνικές PBL για να βοηθούν τις ομάδες. Τέλος, το PBL δίνει έμφαση στο βάθος παρά στο πλάτος της κάλυψης του περιεχομένου, με τους φοιτητές να έχουν από δύο έως έξι εβδομάδες για να εργαστούν σε ένα πρόβλημα ανάλογα με την πολυπλοκότητα του. Μετά την ολοκλήρωση της φάσης της έρευνας για την επίλυση προβλημάτων, ενδέχεται να απαιτείται από τις ομάδες να συντάξουν μια έκθεση και να το παρουσιάσουν στην υπόλοιπη τάξη.

Τα “ill-structured” προβλήματα:

- Απαιτούν περισσότερες πληροφορίες για την κατανόηση του προβλήματος από ό, τι είναι αρχικά διαθέσιμες.
- Περιέχουν πολλαπλές διαδρομές λύσεων.
- Αλλάζουν με τη λήψη νέων πληροφοριών.
- Αποτρέπουν τους μαθητές από το να γνωρίζουν ότι έχουν πάρει τη σωστή απόφαση.
- Δημιουργούν ενδιαφέρον και αντιπαράθεση και προκαλούν στον μαθητή να θέτει ερωτήσεις.
- Είναι ανοικτά και αρκετά σύνθετα ώστε να απαιτούν συνεργασία και σκέψη πέρα από την ανάκληση.

Οι σπουδαστές μαθαίνουν καλύτερα δημιουργώντας λύσεις για ανοιχτές, πολύπλοκες και προβληματικές δραστηριότητες με συμμαθητές, αντί να ακούνε παθητικά τις διαλέξεις. Αυτοί τα

τύποι δραστηριοτήτων προωθούν τη συζήτηση μεταξύ των μελών των ομάδων και διατηρούν το κίνητρο στους μαθητές να μάθουν περισσότερα σχετικά με το θέμα. Η δημιουργία των “ill-structured” προβλημάτων μπορεί να χρειάζονται χρόνο και δημιουργικότητα, αλλά ανταμείβουν εξαιρετικά τους μαθητές όταν επιτυγχάνουν τους μαθησιακούς τους στόχους.

Αφού δημιουργηθούν προβλήματα και μάλιστα αφού υλοποιηθούν στο πρόγραμμα σπουδών, θα πρέπει να αναθεωρηθούν και βελτιωθούν, όπως απαιτείται. Ο καθηγητής Renate Fruchter, ο καθηγητής διευθυντής του εργαστηρίου Project Based Learning του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών στο Στάνφορντ και εκπαιδευτής της ολοκληρωμένης αρχιτεκτονικής υπολογιστών με δομή PBL, Μηχανικών και Κατασκευών, προσδιορίζει τέσσερα βήματα ή φάσεις που εμπλέκονται στην τυποποίηση των προσπαθειών ανάπτυξης προβλήματος. Το πρώτο βήμα είναι η "εξερεύνηση / πειραματισμός" στο οποίο δοκιμάζεται το πρόβλημα από φοιτητές για πρώτη φορά. Κατά την επόμενη φάση που λέγεται "βιωσιμότητα", το πρόβλημα διορθώνεται αρκετές περισσότερες φορές και αναθεωρείται και προσαρμόζεται κάθε φορά με βάση τα σχόλια σπουδαστών. Για παράδειγμα οι απαντήσεις των φοιτητών σε ερωτήσεις, όπως "Πώς λειτουργεί αυτή η δραστηριότητα για σας;" και "Αν μπορούσατε να αλλάξετε κάτι για αυτό το έργο, τι θα άλλαζες;" βοηθούν στην βελτίωση του προβλήματος. Το τρίτο βήμα, "θεσμοθέτηση", περιλαμβάνει τον καθορισμό της έκτασης που το πρόβλημα είναι πολύτιμο για τη βιομηχανία ή την περιοχή του εκάστοτε τομέα. Το τελευταίο βήμα είναι "επανεφεύρεση", ανανέωση του προβλήματος ώστε να αντικατοπτρίζει τα πιο πρόσφατα και σχετικά θέματα του τομέα.

Δυστυχώς, η αξιολόγηση του PBL δεν αντιμετωπίζεται επαρκώς από την ερευνητική βιβλιογραφία. Οι περισσότερες μελέτες συγκρίνουν τους μαθητές οι οποίοι έχουν υποβληθεί σε προγράμματα σπουδών PBL με αυτούς που δεν έχουν με τη χρήση παραδοσιακών μέτρων, τα οποία τείνουν να είναι σχεδόν αποκλειστικά προσανατολισμένα στο περιεχόμενο. Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών ποικίλλουν, αλλά οι περισσότερες ενδείξεις είναι ότι το PBL δεν είναι επιβλαβές όσον αφορά τα παραδοσιακά, προσανατολισμένα στο περιεχόμενο αποτελέσματα (Albanese & Mitchell, 1993, Vernon & Blake, 1993) [17]. Ωστόσο, εάν ο κύριος στόχος του PBL είναι να έχει φοιτητές που καλλιεργούν τις συνήθειες του νου που υποδεικνύονται από τους επαγγελματίες σε έναν τομέα, η σχολή πρέπει να εξετάσει στόχους που βασίζονται σε διαδικασίες και τα μέσα αξιολόγησης τους.

Οι στόχοι με βάση τη διαδικασία μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθούν, αν και αποτελούν το "κρυφό πρόγραμμα σπουδών" στα περισσότερα μαθήματα. Θέλουμε οι μαθητές να καταλάβουν

τις έννοιες, τους τύπους και τις δεξιότητες που αποτελούν την γνώση ενός τομέα ή ενός επαγγέλματος. Αλλά θέλουμε επίσης να αναγνωρίσουν τα είδη των προβλημάτων που υπάρχουν σε συγκεκριμένους κλάδους και επαγγέλματα και τα μέσα με τα οποία οι επαγγελματίες προσπαθούν να τα λύσουν. Οι στόχοι με γνώμονα τη διαδικασία είναι αυτοί που σχετίζονται με τον τρόπο που οι επαγγελματίες ενός κλάδου ή ενός επαγγέλματος σκέφτονται και επιλύουν προβλήματα εντός ενός συγκεκριμένου πεδίου (Toulmin, [17]). Επειδή συνήθως δίνεται έμφαση στους στόχους με βάση το περιεχόμενο, όσοι επιδιώκουν να εφαρμόσουν το PBL μπορεί να δυσκολευτούν, αρχικά, με τον καθορισμό και την αξιολόγηση των στόχων που είναι προσανατολισμένοι στη διαδικασία. Στην πραγματικότητα, εκείνοι που έχουν διερευνήσει τα αποτελέσματα με γνώμονα τη διαδικασία των PBL έχουν βρει δραματικά αποτελέσματα (Hmelo, et al., [17]).

Οι αξιολογήσεις του PBL πρέπει να είναι αυθεντικές, δηλαδή πρέπει να είναι δομημένες έτσι ώστε οι μαθητές να μπορούν να επιδείξουν την κατανόησή τους για τα προβλήματα και τις λύσεις τους με όρους συμφραζόμενους (Gallagher, [17]). Σαφώς, οι αξιολογήσεις πολλαπλών επιλογών και ακόμη ερωτήσεις σύντομης απάντησης ή δοκίμιου που απαιτούν επανάληψη της γραμμής των γεγονότων δεν θα έχουν καμιά αξία στην εκτίμηση της έκτασης στην οποία οι μαθητές έχουν ενσωματώσει ολιστικές προσεγγίσεις σε πολύπλοκα προβλήματα.

Ένα κρίσιμο μέρος της αξιολόγησης στο PBL είναι τα σχόλια που λαμβάνουν οι φοιτητές από τους συνομηλίκους τους. Οι Allen, Duch και Groh [17] ζήτησαν από τους μαθητές να αξιολογήσουν τα μέλη των ομάδων τους χρησιμοποιώντας αριθμητική κλίμακα βασισμένη στην "παρακολούθηση, βαθμό προετοιμασίας στην τάξη, δεξιότητες ακρόασης και επικοινωνίας, την ικανότητα να φέρνουν νέες και σχετικές πληροφορίες στην ομάδα και την ικανότητα υποστήριξης και βελτίωσης της λειτουργίας της ομάδας στο σύνολό της". Αυτή η αξιολόγηση από ομότιμους αποτελούσε το 10% των τελικών βαθμών των φοιτητών. Ωστόσο, οι αξιολογήσεις από ομότιμους δεν είναι επαρκείς. Ο διδάσκοντας πρέπει να παρέχει επίσης λεπτομερή σχόλια για τα δυνατά σημεία και αδυναμίες του κάθε φοιτητή. Έχοντας τους μαθητές να αξιολογούν τη δική τους απόδοση μπορεί να είναι πολύτιμη εργασία (Bridges, 1996) [17].

Συνολικά, το PBL είναι μια αποτελεσματική μέθοδος βελτίωσης ικανοτήτων των φοιτητών για επίλυση προβλημάτων. Οι μαθητές θα κάνουν ισχυρές συνδέσεις μεταξύ εννοιών όταν μαθαίνουν τα γεγονότα και τις δεξιότητες όταν εργάζονται ενεργά με πληροφορίες αντί να λαμβάνουν παθητικά πληροφορίες (Gallagher, 1997, Resnick & Klopfer, 1989). Αν και η ενεργός μάθηση

απαιτεί πρόσθετη εργασία από την πλευρά των φοιτητών και διδασκόντων, ο Kingsland (1996) παρατήρησε ότι οι μαθητές βρίσκουν τα PBL μαθήματα ικανοποιητικά. Οι διδάσκοντες διαπίστωσαν ότι οι φοιτητές έρχονται σε επαφή μαζί τους από τη στιγμή που εργάζονται στον τομέα τους για να τους πουν πόσο πολύτιμη ήταν η μαθησιακή τους εμπειρία. Το PBL προάγει την εμπιστοσύνη των μαθητών στις δεξιότητες τους για αντιμετώπιση των προβλημάτων και προσπαθεί να τους κάνει αυτό-κατευθυνόμενους μαθητές. Αυτές οι δεξιότητες μπορούν να παρέχουν στους μαθητές του PBL ένα πλεονέκτημα στα μελλοντικά μαθήματα και στη σταδιοδρομία τους. Ενώ αυτή η εμπιστοσύνη δεν έρχεται αμέσως, μπορεί να προωθηθεί από καλές οδηγίες του διδάσκοντα. Οι εκπαιδευτικοί που παρέχουν μια καλή μαθησιακή κοινότητα στην τάξη, με θετικές σχέσεις μεταξύ φοιτητή-διδάσκοντα και φοιτητή-φοιτητή, δίνουν στους μαθητές ένα αίσθημα κατοχής της μάθησής τους, αναπτύσσουν σχετικά και σημαντικά προβλήματα και μεθόδους μάθησης και παρέχουν στους μαθητές πολύτιμες δεξιότητες που θα ενισχύσει τα κίνητρα τους να μάθουν και να έχουν την ικανότητα να πετύχουν (MacKinnon, 1999) [17].

3.4 Μάθηση βασισμένη στο έργο (Project-Based Learning) και υβριδικές (Problem/Project-based) προσεγγίσεις

Η εκμάθηση με βάση το έργο (Project-Based Learning) ξεκινά με μια ανάθεση για την εκτέλεση μιας ή περισσότερων εργασιών που οδηγούν στην παραγωγή ενός τελικού προϊόντος – ένα σχέδιο, ένα μοντέλο, μια συσκευή ή μια προσομοίωση σε υπολογιστή. Το αποκορύφωμα του έργου είναι συνήθως μια γραπτή και / ή προφορική έκθεση που συνοψίζει τη διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του προϊόντος και την παρουσίαση του αποτελέσματος [1].

Υπάρχει μια συρρίκνωση μεταξύ των διδασκόντων που είναι αρκετά καθοδηγητικοί στην επιλογή των έργων, κάτι που βοηθά να διατηρηθεί η εστίαση στους στόχους των μαθημάτων και των προγραμμάτων σπουδών και να δοθεί στους φοιτητές η αυτονομία να επιλέξουν τις δικές τους μορφές και στρατηγικές του έργου, γεγονός που αυξάνει το κίνητρό τους. Οι de Graaf & Kolmos [1] ορίζουν τρία είδη έργων που διαφέρουν ως προς τον βαθμό φοιτητικής αυτονομίας:

- **Task Project:** Οι ομάδες των σπουδαστών εργάζονται σε έργα που έχουν καθοριστεί από τον διδάσκοντα, χρησιμοποιώντας σε μεγάλο βαθμό μεθόδους που καθορίζονται από τους διδάσκοντες. Αυτός ο τύπος έργου παρέχει ελάχιστο κίνητρο στον φοιτητή και

ανάπτυξη δεξιοτήτων και αποτελεί μέρος της παραδοσιακής διδασκαλίας στα περισσότερα προγράμματα σπουδών για μηχανικούς.

- **Discipline Project:** Ο διδάσκοντας ορίζει το αντικείμενο των έργων και καθορίζει σε γενικές γραμμές τις προσεγγίσεις που πρέπει να χρησιμοποιηθούν (οι οποίες συνήθως περιλαμβάνουν μεθόδους κοινές στην πειθαρχία του τομέα), αλλά οι μαθητές προσδιορίζουν το συγκεκριμένο έργο και σχεδιάζουν το συγκεκριμένη προσέγγιση που θα ακολουθήσουν για να την ολοκληρώσουν.
- **Problem Project:** Οι μαθητές έχουν σχεδόν πλήρη αυτονομία για να επιλέξουν το έργο τους και την προσέγγισή τους.

Οι de Graaf και Kolmos σημειώνουν ότι μια κοινή δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές σε ένα Project-based περιβάλλον είναι να μεταφέρουν τις μεθόδους και δεξιότητες που αποκτήθηκαν από ένα άλλο έργο σε έργο με διαφορετικό θέμα ή πειθαρχία. Οι διδάσκοντες θα πρέπει να συμπεριλάβουν αυτή την μεταβίβαση στους στόχους του μαθήματος τους και θα πρέπει να καθοδηγήσουν τους μαθητές να δουν τις συνδέσεις μεταξύ του τρέχοντος έργου τους και του τι έχουν μάθει προηγουμένως, αποσύροντας σταδιακά αυτή την υποστήριξη καθώς οι μαθητές γίνονται περισσότερο έμπειροι για να δουν οι ίδιοι τις συνδέσεις. Οι διδάσκοντες θα πρέπει επίσης να προετοιμάσουν τους μαθητές για να συμπληρώσουν κενά στη γνώση του περιεχομένου όταν υπάρχει ανάγκη, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τέτοια κενά μπορεί να είναι πιο πιθανό να προκύψουν στην Project-based εκμάθηση από ότι σε συμβατική διδασκαλία.

Η μάθηση βασισμένη στο έργο, σε επίπεδο μεμονωμένων κύκλων σπουδών, είναι γνωστή στην εκπαίδευση των μηχανικών, που έχει χρησιμοποιηθεί σχεδόν παγκοσμίως σε εργαστηριακά μαθήματα και με αυξανόμενη συχνότητα σε μαθήματα μηχανικού πρώτου έτους που εμπλέκουν τους σπουδαστές σε συμβουλευτικά έργα.

Η Project-based μάθηση είναι παρόμοια με τη Problem-based μάθηση από πολλές απόψεις. Και οι δυο συνήθως περιλαμβάνουν ομάδες μαθητών σε εργασίες ανοικτού τύπου που μοιάζουν, προκλήσεις που οι μαθητές είναι πιθανό να συναντήσουν ως επαγγελματίες, και οι δύο καλούν τους μαθητές να διατυπώσουν στρατηγικές επίλυσης και να επανεξετάζουν συνεχώς την προσέγγισή τους ως απάντηση στα αποτελέσματά των προσπαθειών τους. Υπάρχουν ωστόσο διαφορές στις δύο προσεγγίσεις, όπως έχουν παραδοσιακά εφαρμοστεί. Ένα έργο έχει συνήθως ευρύτερο πεδίο εφαρμογής και μπορεί να περιλαμβάνει αρκετά προβλήματα. Επιπλέον, στην εκμάθηση με βάση το έργο (Project-based) το τελικό προϊόν είναι το επίκεντρο της αποστολής και

η ολοκλήρωση του έργου απαιτεί κυρίως εφαρμογή των γνώσεων που αποκτήθηκαν προηγουμένως, ενώ η επίλυση ενός προβλήματος απαιτεί την απόκτηση νέων γνώσεων και η λύση μπορεί να είναι λιγότερο σημαντική από τις γνώσεις που αποκτήθηκαν για την ανεύρεσή της. Με άλλα λόγια, η έμφαση στην Project-based μάθηση είναι σχετική με την εφαρμογή ή την ενσωμάτωση της γνώσης, ενώ στην Problem-based μάθηση δίνεται έμφαση στην απόκτηση της γνώσης [1].

Στην πράξη, ωστόσο, η διάκριση μεταξύ των δύο μεθόδων δεν είναι απαραίτητως τόσο απλή και τα προγράμματα υιοθέτησαν πρόσφατα προσεγγίσεις που περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά και των δύο. Το πανεπιστήμιο του Aalborg [1] έχει το παλαιότερο και πιο γνωστό πρόγραμμα σπουδών βασισμένο σε projects που ξεκίνησε με το σχηματισμό του πανεπιστημίου το 1974. Οι εργασίες του έργου αντιπροσωπεύουν περίπου το 50% του προγράμματος σπουδών, με ασκήσεις εργασίας και προβλήματα που κυριαρχούν στο πρώτο έτος του προγράμματος σπουδών διδασκαλίας, ασκήσεις και έργα πειθαρχίας που κυριαρχούν στο δεύτερο και τρίτο έτος, και problem projects που κυριαρχούν στο τέταρτο και πέμπτο έτος. Η τρέχουσα προσέγγιση στο Aalborg είναι ένα υβρίδιο της μάθησης βάσει προβλημάτων και της μάθησης βάσει έργων, με τα έργα να αφορούν περισσότερο την απόκτηση γνώσης από την εφαρμογή της. Ο κύριος στόχος κατά το πρώτο έτος είναι να δοθεί στους φοιτητές μια γενική επάρκεια στην εργασία σε project-based περιβάλλον και ευαισθητοποίηση σχετικά με τις γενικές μεθόδους επίλυσης προβλημάτων, ενώ στο υπόλοιπο της διδακτέας ύλης μετατοπίζει την εστίαση σε πιο συγκεκριμένους τεχνικούς και επιστημονικούς μαθησιακούς στόχους, με το έργο να αποτελεί κυρίως μηχανισμό για την επίτευξη των στόχων αυτών.

Μελέτες που συγκρίνουν το Project-based Learning με την συμβατική διδασκαλία έχουν δώσει παρόμοια αποτελέσματα με εκείνα που αποκτήθηκαν για την εκμάθηση βασισμένη σε προβλήματα (PBL), συμπεριλαμβανομένων σημαντικών θετικών επιπτώσεων για τις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων, την εννοιολογική κατανόηση και τη στάση απέναντι στη μάθηση, και συγκρίσιμη ή ακόμα και καλύτερη απόδοση του σπουδαστή στην γνώση περιεχομένου [1]. Οι Mills and Treagust [1] σημειώνουν, ωστόσο, ότι οι μαθητές που διδάσκονται με Project-based Learning μπορεί να αποκτήσουν μια λιγότερο πλήρη γνώση των βασικών στοιχείων από ό, τι οι μαθητές που διδάσκονται συμβατικά και μερικοί από αυτούς τους μαθητές μπορεί να είναι δυσαρεστημένοι με τον απαιτούμενο χρόνο και προσπάθεια που καταβάλλουν για τα projects και για τις διαπροσωπικές συγκρούσεις που βιώνουν στην ομαδική εργασία. Επιπλέον, εάν γίνει η

εργασία του project εντελώς σε ομάδες, οι μαθητές μπορεί να είναι λιγότεροι εξοπλισμένοι για να εργάζονται ανεξάρτητα.

Η μάθηση βάσει έργου (Project-based Learning) κινείται μεταξύ έρευνας και προβλημάτων μάθησης όσον αφορά τις προκλήσεις που θέτει στους διδάσκοντες. Οι γνώσεις και οι δεξιότητες που απαιτούνται για να ολοκληρωθούν τα projects ορίζονται και είναι γνωστές από τα προηγούμενα τμήματα του προγράμματος σπουδών, κάτι που μειώνει την πιθανότητα αντίστασης των μαθητών και μπορεί να οριστούν με έναν τρόπο που περιορίζει τους σπουδαστές στην οικεία επικράτεια του διδάσκοντα, το οποίο διευκολύνει την υλοποίηση των projects. Τα έργα συνήθως πραγματοποιούνται από φοιτητικές ομάδες αλλά μπορούν επίσης να ανατίθενται και σε ένα άτομο, κάτι το οποίο βοηθά στην αποφυγή πολλών υλικοτεχνικών και διαπροσωπικών προβλημάτων, αλλά έχει επίσης και περικοπές στις ικανότητες που μπορούν να αναπτυχθούν μέσω του έργου. Η πρόκληση του Project-based Learning είναι να καθορίσει έργα με πεδίο εφαρμογής και επίπεδο δυσκολίας κατάλληλα για την τάξη και αν το τελικό προϊόν είναι μια κατασκευασμένη συσκευή ή εάν το έργο περιλαμβάνει πειραματισμούς, πρέπει να υπάρχει διαθέσιμος και ο κατάλληλος εξοπλισμός και εργαστήρια. Οι υβριδικές προσεγγίσεις (Problem-based και Project-based Learning) περιλαμβάνουν όλες τις δυσκολίες που συνδέονται και με τις δύο μεθόδους και έτσι η εφαρμογή τους μπορεί να αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση.

3.5 Διδασκαλία βασισμένη σε περιπτώσεις (Case-based Teaching)

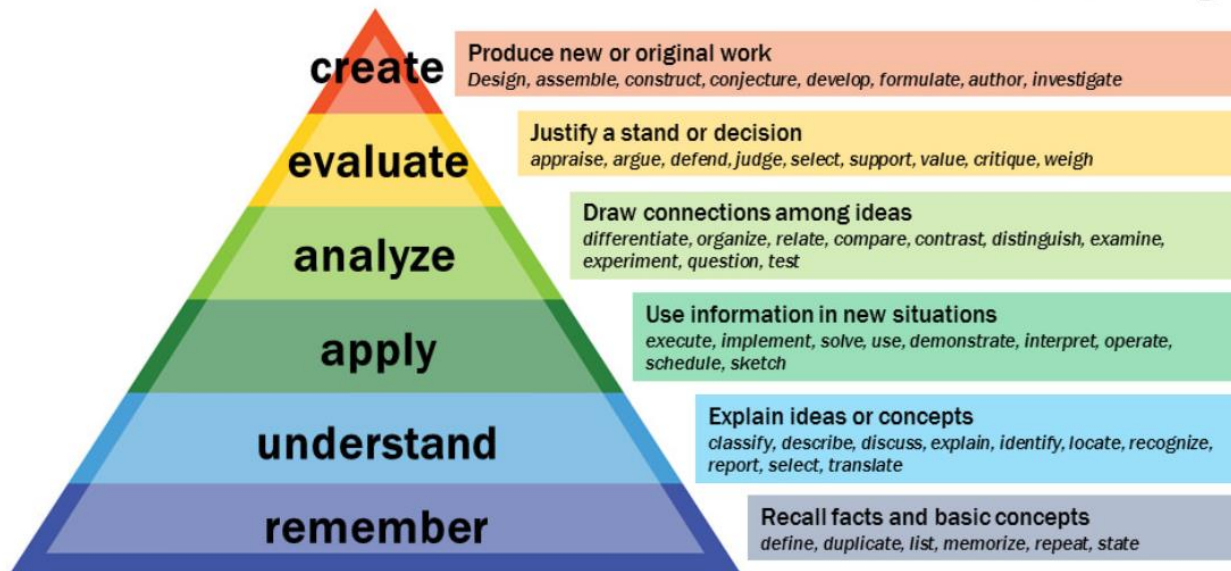
Στη διδασκαλία που βασίζεται στην περίπτωση (Case-based Teaching), οι μαθητές μελετούν ιστορικές ή υποθετικές περιπτώσεις με πιθανά σενάρια στην επαγγελματική πρακτική. Οι μαθητές καλούνται να εξερευνήσουν τις υπάρχουσες αντιλήψεις τους και να τις τροποποιήσουν έτσι ώστε να συμπεριλάβουν τις πραγματικότητες των περιπτώσεων [2]. Σε σύγκριση με τα τυπικά προβλήματα που χρησιμοποιούνται στην εκμάθηση που είναι βασισμένη σε προβλήματα (PBL), οι υποθέσεις τείνουν να είναι σχετικά καλά δομημένες και πλούσιες σε λεπτομέρειες συμφραζομένων και οι σπουδαστές εφαρμόζουν υλικό και γνώσεις που είναι ήδη κάπως οικείες [2].

Οι περιπτώσεις χρησιμοποιούνται πιο συχνά στο πλαίσιο των νομικών και management σπουδών, αλλά έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί εκτενώς και στην επιστήμη [2]. Το Εθνικό Κέντρο Διδασκαλίας Μελέτης Περιπτώσεων Στην Επιστήμη (<http://ublib.buffalo.edu/libraries/projects/cases/case.html>) στο Πανεπιστήμιο του Μπάφαλο αρχειοθετεί μελέτες περιπτώσεων στη φυσική, στις χημικές και βιολογικές επιστήμες, τα μαθηματικά και την επιστήμη των υπολογιστών, ιατρική, μηχανική, ψυχολογία και δεοντολογία. Ένας άλλος ιστότοπος (<http://edr1.educ.msu.edu/references/viewarticle.asp>), που αναπτύχθηκε από κοινού στην Πανεπιστήμιο του Buffalo και το Κρατικό πανεπιστήμιο του Michigan, συνοψίζει τα άρθρα που αξιολογούν τις διδασκαλίες με Case-based και Problem-based learning σε πολλά διαφορετικά πεδία.

Το κλειδί στην διδασκαλία που βασίζεται στην περίπτωση είναι να έχουμε περιπτώσεις που είναι σαφείς και ρεαλιστικές και να περιλαμβάνουν όλα τα σημεία διδασκαλίας που επιθυμεί ο διδάσκοντας να μεταφέρει. Η κατασκευή τέτοιων περιπτώσεων μπορεί να είναι εξαιρετικά χρονοβόρα. Χρησιμοποιώντας την case-based διδασκαλία, μπορεί να θεωρηθεί μέτρια σε δυσκολία (περίπου συγκρίσιμη με την εκμάθηση με βάση το έργο) εάν υπάρχουν διαθέσιμες κατάλληλες περιπτώσεις και δεύτερη σε δυσκολία μεταξύ των επαγωγικών μεθόδων διδασκαλίας πίσω μόνο από το Problem-based learning εάν οι διδάσκοντες πρέπει να δημιουργήσουν και να αναλύσουν οι ίδιοι τις περιπτώσεις.

Μελέτες έχουν δείξει ότι σε σχέση με την συμβατική διδασκαλία, η Case-based διδασκαλία βελτιώνει σημαντικά την διατήρηση των μαθητών, την συλλογιστική σκέψη και τις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων, τις ανώτερης κλίμακας δεξιότητες στην ταξινόμηση του Bloom (βλ. Εικόνα 43), την ικανότητα να κάνει αντικειμενικές κρίσεις, την ικανότητα εντοπισμού σχετικών ζητημάτων και αναγνώριση πολλαπλών προοπτικών και ευαισθητοποίηση των δεοντολογικών ζητημάτων [2]. Οι Lundeborg και Yadav [2] διεξήγαγαν μια μετα-ανάλυση και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι περιπτώσεις (cases) έχουν θετικό αντίκτυπο στη σχολή και στη στάση των μαθητών, στη συμμετοχή στην τάξη και τις αντιλήψεις της σχολής για τα μαθησιακά αποτελέσματα. Σημειώνουν επίσης ότι οι αναφερόμενες συγκρίσεις της αποτελεσματικότητας της μελέτης περιπτώσεων έναντι των παραδοσιακών οδηγιών εξαρτώνται έντονα από τα καθήκοντα αξιολόγησης και ότι "όσο πιο υψηλό είναι το επίπεδο γνώσης και σκέψης που απαιτείται για την αξιολόγηση των καθηκόντων, τόσο πιο πιθανό είναι ότι η διδασκαλία που βασίζεται στην περίπτωση θα αποφέρει μεγαλύτερα κέρδη στην κατανόηση των σπουδαστών".

Bloom's Taxonomy



Εικόνα 43: Ταξινόμηση του Bloom

3.6 Just-in-time Teaching (JiTT)

Στη διδασκαλία just-in-time (JiTT), οι φοιτητές ανταποκρίνονται ηλεκτρονικά σε εννοιολογικές ερωτήσεις πριν από κάθε τάξη και ο διδάσκοντας προσαρμόζει το μάθημα να ανάλογα με τις αποκαλυφθείς παρερμηνείες από τις απαντήσεις των μαθητών. Δεδομένου ότι οι εννοιολογικές ερωτήσεις αφορούν υλικό που δεν έχει καλυφθεί ακόμα στην τάξη, η μέθοδος χαρακτηρίζεται ως επαγωγική. Το JiTT αναπτύχθηκε από κοινού από τη σχολή φυσικής στο University of Indiana-Πανεπιστήμιο Purdue της Ινδιανάπολης, από την Αμερικανική Ακαδημία Αεροπορίας και από το Davidson College και μπορεί να συνδυαστεί με σχεδόν οποιαδήποτε κατηγορία ενεργητικής προσέγγισης μάθησης [2]. Η ιστοσελίδα της διδασκαλία Just-in-Time (<http://webphysics.iupui.edu/jitt/jitt.html>) παρέχει πληροφορίες και πόρους για το JiTT.

Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του JiTT στην φυσική διδασκαλία έδειξε κανονικοποιημένα κέρδη των «δυνάμεων» του μαθητή κατά 35-40%, και το JiTT μείωσε την φοιτητική φθορά κατά 40% σε σύγκριση με παραδοσιακούς τρόπους διδασκαλίας σε μαθήματα

φυσικής. Οι Marrs και Novak [2] βρήκαν ότι η χρήση του JiTT σε ένα μεγάλο εισαγωγικό μάθημα (π.χ. βιολογίας) σε φοιτητές, οδήγησε σε βελτιωμένα αποτελέσματα πριν και μετά από τεστ, στη διατήρηση των μαθημάτων, στην προετοιμασία στην τάξη, στην αλληλεπίδραση στην τάξη και στις μαθητικές συνήθειες των μαθητών και οι Slunt και Giancarlo [2] διαπίστωσαν ότι η JiTT οδήγησε για τη βελτίωση των επιδόσεων και της αφοσίωσης των σπουδαστών στη γενική χημεία και μαθήματα οργανικής χημείας.

Η διδασκαλία just-in-time είναι ελαφρώς απαιτητική στην υλοποίηση, για διάφορους λόγους. Απαιτεί προετοιμασία των προκαταρκτικών εννοιολογικών ζητημάτων πριν από κάθε διάλεξη και ένα web-based σύστημα διαχείρισης μαθημάτων που μπορεί να καταγράφει τις απαντήσεις των μαθητών για να ελεγχθούν από τον διδάσκοντα. Απαιτεί επίσης ευελιξία εκ μέρους των διδασκόντων, οι οποίοι πρέπει να προσαρμόσουν τα σχέδια μαθημάτων τους σε κάθε διάλεξη που ανταποκρίνονται στις απαντήσεις των μαθητών και να μπορούν να καταλήξουν σε διαφορετικά χρονοδιαγράμματα για διαφορετικές τάξεις. Η συνολική δυσκολία της εφαρμογής του JiTT εξαρτάται σχετικά με την ευκολία χρήσης και αξιοπιστία του λογισμικού της διαχείρισης του μαθήματος και σχετικά με το εάν οι ερωτήσεις ήδη υπάρχουν ή πρέπει να συντάσσονται από τον διδάσκοντα.

3.7 Κριτήρια επιλογής και εφαρμογής μιας επαγωγικής μεθόδου διδασκαλίας

Ενώ οι μελέτες που υποστηρίζουν τις διαφορετικές μεθόδους επαγωγικής διδασκαλίας διαφέρουν και στην ποσότητα και στην πειστικότητα, τα συλλογικά αποδεικτικά στοιχεία που ευνοούν την επαγωγική διδασκαλία σε σχέση με την παραδοσιακή διδασκαλία είναι αδιαμφισβήτητα. Η επαγωγική διδασκαλία υποστηρίζεται από ευρέως αποδεκτές εκπαιδευτικές θεωρίες, από την γνωστική επιστήμη και την εμπειρική έρευνα.

Οι επαγωγικές μέθοδοι ωστόσο δεν είναι τριτοκλίμακες για να εφαρμοστούν. Σχετικά με την παραδοσιακή αφηρημένη διδασκαλία, αυτές επιβάλλουν περισσότερα προβλήματα υλικοτεχνικής υποστήριξης, απαιτούν περισσότερο σχεδιασμό και ενδεχομένως περισσότερους πόρους και είναι πιθανότερο να διεγείρουν την αντίσταση των μαθητών και τις διαπροσωπικές συγκρούσεις [2]. Όσο λιγότερο ρητή είναι η οδηγία και καθοδήγηση που δίνεται στους φοιτητές πριν και κατά την διάρκεια που απευθύνονται σε μια πρόκληση, τόσο πιο πιθανή είναι η αντίσταση που πιθανώς θα προβάλλουν. Επιπλέον, οι εκπαιδευτικές μέθοδοι που απαιτούν τη συνεργατική μάθηση (βασισμένες σε ομάδες) εγείρουν επιπλέον προβλήματα, όπως οι ανάγκες αξιολόγησης των επιδόσεων των μαθητών ξεχωριστά σε ομαδικό περιβάλλον και η παρότρυνση των φοιτητών να ασχοληθούν με τα προβλήματα επικοινωνίας που αναπόφευκτα προκύπτουν στην ομαδική εργασία.

Η Εικόνα 44 συγκρίνει τις σχετικές απαιτήσεις των μεθόδων που συζητήθηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Οι πόροι που αναφέρονται είναι μόνο αυτοί που είναι δύσκολο να προετοιμαστούν ή είναι δαπανηροί για να επιτευχθούν. Τα προτεινόμενα επίπεδα δυσκολίας αναφέρονται στη δυσκολία για τον διδάσκοντα, όχι για τους μαθητές. Προτείνεται στους διδάσκοντες που σκέπτονται την υιοθέτηση μιας επαγωγικής μεθόδου διδασκαλίας να εξετάσουν τις ακόλουθες ερωτήσεις, και να βασίσουν την επιλεγμένη μέθοδο στις απαντήσεις [2]:

- α) Ποιοι είναι οι εκπαιδευτικοί στόχοι σας για το μάθημα ή το συγκεκριμένο θέμα; Είναι τουλάχιστον μερικοί από αυτούς σε ψηλά γνωστικά επίπεδα;**

Εάν οι εκπαιδευτικοί στόχοι είναι σε ένα χαμηλό γνωστικό επίπεδο που απαιτούν σχεδόν αποκλειστικά απομνημόνευση γεγονότων ή μηχανική εκμάθηση τύπων, δεν υπάρχει κανένας λόγος να χρησιμοποιηθεί μια επαγωγική μέθοδος. Υλικό χαμηλού επιπέδου είναι πιο αποτελεσματικό και αποδοτικό όταν διδάσκεται δίνοντας στους σπουδαστές έναν οδηγό μελέτης που καθορίζει τι θα πρέπει να απομνημονεύουν και τους τύπους υπολογισμών που μπορεί να απαιτηθούν σε διαγωνίσματα και παρέχοντας παραδείγματα και πρακτική εφαρμογή των υπολογισμών (μέσα και έξω από το τάξη).

β) Πόσο έμπειρος είστε με την ενεργή ή επαγωγική διδασκαλία και τη χρήση μαθητικών ομάδων;

Άπειροι διδάσκοντες που ακόμα προσπαθούν να καταλάβουν πώς να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα ρουτίνας που σχετίζονται με διδασκαλία οποιουδήποτε τύπου μπορεί εύκολα να συγκλονιστούν από τις πρόσθετες προκλήσεις που επιβάλλονται με τις επαγωγικές μεθόδους. Διδάσκοντες με ελάχιστη ή καθόλου εμπειρία στη χρήση επαγωγικών μεθόδων καλό είναι να αποφεύγουν τις πιο δύσκολες μεθόδους (βλ. Εικόνα 44). Οι μέθοδοι που απαιτούν εκτεταμένη ομαδική εργασία θα πρέπει αυτομάτως να λογίζονται ως δύσκολες. Αυτός ο κανόνας είναι ιδιαίτερα αληθής για έναν απρόσεκτο βοηθό διδάσκοντα που δεν μπορεί να αντέξει την υπερβολική απαίτηση χρόνου και την αρνητική απόδοση των σπουδαστών που προκύπτει συχνά από την εφαρμογή δύσκολων μεθόδων.

γ) Υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι για το θέμα που διδάσκετε (π.χ. προβλήματα PBL, περιπτώσιολογικές μελέτες ή ασκήσεις για διδασκαλία just-in-time και εγκαταστάσεις ηλεκτρονικών υπολογιστών για την επεξεργασία τους);

Όσο πιο έντονη είναι η χρήση πόρων μιας μεθόδου, τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη για υπάρχοντες πόρους ή εξωτερική υποστήριξη για την εφαρμογή της. Οι διδάσκοντες πρέπει να έχουν επίγνωση των χρονικών απαιτήσεων της καθημιάς και πως μπορούν να επωφεληθούν από τους υπάρχοντες πόρους, από έμπειρους συναδέλφους και σύμβουλους του διδακτικού κέντρου που μπορούν να προσφέρουν συμβουλές σχετικά με την εφαρμογή της μεθόδου και την αντιμετώπιση προβλημάτων που προκύπτουν από τη χρήση της.

Method	Required resources	Planning time and instructor involvement	Student resistance
Inquiry	None	Small	Minimal
Cases (individual)	Cases	Small (existing cases); considerable (original cases)	Minimal
Project-based (individual)	Facilities for experimental projects	Small (same project, no facilities maintenance); moderate (different projects, facilities maintenance ^a)	Minimal
Just-in-time teaching	Web-based course management system	Moderate (continual need to adjust lesson plans to reflect student answers to pre-class questions)	Moderate
Cases (teams)	Cases	Considerable (team management ^b)	Considerable ^b
Project-based (teams)	Facilities for experimental projects	Considerable (team management, facilities maintenance ^a)	Considerable ^{a,b}
Problem-based	Problems	Considerable (existing problems), extensive (original problems) ^b	Major ^c
Hybrid (problem/project-based)	Problems, facilities for experimental projects	Considerable (existing problems), extensive (original problems) ^{a,b}	Major ^c

^a Assuming that experimental facilities are required for student projects and that the instructor (as opposed to a technician) is involved in maintaining them.

^b Assuming that cooperative learning principles are followed for team projects. If, for example, students can self-select teams and the instructor makes no effort to assess individual knowledge and performance or to intervene in team conflicts, the demands on the instructor are the same as for individual assignments using the same method.

^c Resistance follows both from the burden of responsibility for their own learning placed on students and the additional demands imposed by cooperative learning. Hybrid methods may also involve problems of facilities maintenance.

Εικόνα 44: Εκπαιδευτικές απαιτήσεις που επιβάλλονται από επαγωγικές μεθόδους διδασκαλίας [2]

Τα καθοριστικά χαρακτηριστικά των μεθόδων και τα στοιχεία που οι περισσότερες από αυτές μοιράζονται συνοψίζονται στην Εικόνα 45.

Method → Feature ↓	Inquiry	Problem-based	Project-based	Case-based	Discovery	JITT
Questions or problems provide context for learning	1	2	2	2	2	2
Complex, ill-structured, open-ended real-world problems provide context for learning	4	1	3	2	4	4
Major projects provide context for learning	4	4	1	3	4	4
Case studies provide context for learning	4	4	4	1	4	4
Students discover course content for themselves	2	2	2	3	1	2
Students complete & submit conceptual exercises electronically; instructor adjusts lessons according to their responses	4	4	4	4	4	1
Primarily self-directed learning	4	3	3	3	2	4
Active learning	2	2	2	2	2	2
Collaborative/cooperative (team-based) learning	4	3	3	4	4	4

1 – by definition, 2 – always, 3 – usually, 4 – possibly

Εικόνα 45: Χαρακτηριστικά των μεθόδων διδασκαλίας [1]

Μόλις καθοριστούν οι στόχοι μάθησης, μια κατάλληλη επαγωγική διδακτική μέθοδος μπορεί να προσδιοριστεί. Προτείνονται οι παρακάτω οδηγίες για την επιλογή [1]:

- **Μάθηση μέσω έρευνας (Inquiry Learning):**

Η έρευνα είναι η απλούστερη των επαγωγικών προσεγγίσεων και μπορεί να είναι η καλύτερη για έναν άπειρο ή παραδοσιακό διδάσκοντα για να ξεκινήσει. Απαιτεί σχεδιασμό ώστε να γίνεται όσο το δυνατόν περισσότερο η εκμάθηση στο πλαίσιο της ερώτησης-απάντησης και την επίλυση προβλημάτων. Καθώς οι σπουδαστές αποκτούν μεγαλύτερη εμπειρία με αυτήν την προσέγγιση, ο διδάσκοντας μπορεί να αυξήσει το πεδίο και τη δυσκολία των ερωτήσεων εστίασης, να χρησιμοποιεί πιο ανοιχτό τέλος και πιο κακοδιαρθρωμένα προβλήματα και ταυτόχρονα να μειώνει το ποσό της ρητής καθοδήγησης στους μαθητές.

- **Μάθηση βασισμένη στην επίλυση προβλημάτων (Project-based Learning):**

Η μάθηση βασισμένη σε προβλήματα είναι η πιο περίπλοκη και δύσκολη στην εφαρμογή από τις μεθόδους που εξετάζονται στην παρούσα εργασία. Απαιτεί ένα σύνθετο, ανοικτό, αυθεντικό πρόβλημα του οποίου η λύση απαιτεί γνώσεις και δεξιότητες που καθορίζονται στους μαθησιακούς στόχους. Αυτά τα προβλήματα χρειάζονται χρόνο για να δημιουργηθούν. Το PBL απαιτεί επίσης σημαντική διδακτική ικανότητα από τους διδάσκοντες για να ασχοληθούν με άγνωστα τεχνικά ερωτήματα και προβλήματα, με την αντοχή των μαθητών και ενδεχομένως μια εχθρότητα προς το PBL και τη συστοιχία διαπροσωπικών προβλημάτων που συχνά προκύπτουν όταν οι μαθητές εργάζονται σε ομάδες. Επομένως, το πλήρες PBL αναλαμβάνεται καλύτερα από έμπειρους διδάσκοντες με σταθερή εμπειρία στο αντικείμενο του μαθήματος και δύο ή περισσότερα εξάμηνα εμπειρίας σε συνεργατική μάθηση σε ένα πιο συμβατικό εκπαιδευτικό περιβάλλον. Οι Smith et al. προσφέρουν προτάσεις για την εφαρμογή της συνεργατικής μάθησης και οι Felder και Brent και Oakley et al. [1] προτείνουν στρατηγικές για την υπέρβαση της αντίστασης του μαθητή στις επαγωγικές διδακτικές μεθόδους και βοηθώντας τις ομάδες μαθητών να γίνουν αποτελεσματικές ομάδες. Παρά τις προκλήσεις, το PBL είναι ένα φυσικό περιβάλλον το οποίο επιτρέπει να αναπτυχθούν οι επαγγελματικές δεξιότητες των φοιτητών, όπως η επίλυση προβλημάτων, η ομαδική εργασία και η αυτοκατευθυνμένη ή η δια βίου μάθηση και παρέχει μια εξαιρετική μορφή για την

ενσωμάτωση υλικού από το πρόγραμμα σπουδών. Οι διδάσκοντες που επιθυμούν να επικεντρωθούν ειδικά σε αυτά τα μαθησιακά αποτελέσματα πρέπει να εξετάσουν το ενδεχόμενο υιοθέτησης PBL.

- **Μάθηση με βάση το έργο και υβριδικές προσεγγίσεις με PBL (Project-based Learning):**

Η βασισμένη στο έργο μάθηση είναι κατάλληλη για το μάθημα σχεδιασμού στον τομέα της μηχανικής και των εργαστηριακών μαθημάτων και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε άλλα μαθήματα που ασχολούνται με τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη προϊόντων ή διαδικασιών. Όπως τα προβλήματα σκέψης στην εκμάθηση βασισμένη στο πρόβλημα, τα έργα (projects) πρέπει να είναι αυθεντικά και να απευθύνονται στους μαθησιακούς στόχους που έχει θέσει ο διδάσκοντας. Επιπλέον, εάν οι μαθητές δουλέψουν σε ομάδες, ο διδάσκοντας θα πρέπει να τηρεί τις αρχές της συνεργατικής μάθησης συμπεριλαμβανομένης και της ανάθεσης της ευθύνης σε κάθε μέλος της ομάδας για το σύνολο του περιεχομένου του έργου και διευκολύνοντας την απόκτηση δεξιοτήτων ομαδικής εργασίας. Καθώς οι διδάσκοντες και οι σπουδαστές κερδίζουν πείρα με την εκμάθηση βασισμένη σε έργα, τα projects μπορούν να γίνουν πιο ανοιχτά και να παρέχονται λιγότερες οδηγίες σχετικά με τον τρόπο ολοκλήρωσης τους. Με άλλα λόγια, μπορεί να είναι όλο και περισσότερο δομημένα ως μαθησιακές ασκήσεις που είναι βασισμένες σε προβλήματα.

- **Η διδασκαλία με βάση την περίπτωση (Case-based Teaching):**

Οι περιπτώσεις (cases) χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά όταν οι μαθησιακοί στόχοι περιλαμβάνουν τη λήψη αποφάσεων σε περίπλοκες αυθεντικές καταστάσεις. Με την κατάλληλη επιλογή, η διδασκαλία βάσει περιπτώσεων μπορεί να παρέχει ένα εξαιρετικό περιβάλλον για την ανάπτυξη ικανοτήτων πάνω στην μηχανική και την τεχνολογία όπως η απόκτηση κατανόησης της επαγγελματικής και δεοντολογικής ευθύνης, της γνώσης των σύγχρονων θεμάτων ή της ικανότητας κατανόησης των λύσεων μηχανικής σε ένα παγκόσμιο και κοινωνικό πλαίσιο. Τα κατάλληλα σενάρια για περιπτώσεις μπορεί να περιλαμβάνουν τη διάγνωση τεχνικών προβλημάτων και τη διαμόρφωση στρατηγικών λύσης, τη λήψη αποφάσεων διαχείρισης της επιχείρησης λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνικές, οικονομικές και ενδεχομένως κοινωνικές και ψυχολογικές πτυχές και αντιμετωπίζοντας τα ηθικά διλήμματα. Η διατύπωση καλών περιπτώσεων μπορεί να

είναι δύσκολη και χρονοβόρο ως έργο. Πριν προσπαθήσουν να το κάνουν, οι διδάσκοντες πρέπει πρώτα να ελέγξουν τις βιβλιοθήκες των υποθέσεων στην επιστήμη και μηχανική για να διαπιστώσουν εάν μια υπάρχουσα περίπτωση μπορεί να καλύψει τους μαθησιακούς τους στόχους.

- **Διδασκαλία Just-in-Time (JiTT):**

Η JiTT είναι μια λογική μέθοδος για χρήση όταν α) είναι σημαντικό για τον διδάσκοντα οι μαθητές να παρακολουθούν τις αναγνώσεις και τις εργασίες καθημερινά και β) όταν είναι διαθέσιμο ένα λογισμικό διαχείρισης μαθημάτων και βολικό στη χρήση για τη διαχείριση on-line αναθέσεων και αξιολόγησης των απαντήσεων των μαθητών. Διδάσκοντες που σκοπεύουν να χρησιμοποιήσουν τη μέθοδο θα πρέπει να έχουν σταθερή εμπειρία στο περιεχόμενο του μαθήματος και την ευελιξία που απαιτείται για την τροποποίηση των διαλέξεων του αμέσως μετά την εξέταση των απαντήσεων των μαθητών στις προκαταρκτικές ασκήσεις. Επίσης, είναι βέβαιο ότι θα απαιτηθεί μια σημαντική δαπάνη χρόνου και προσπάθειας εάν οι Web-based προκαταρκτικές ασκήσεις και οι Java μικροεφαρμογές πρέπει να αναπτυχθούν από την αρχή. Πριν οι διδάσκοντες αναλάβουν αυτήν την μέθοδο θα πρέπει να δουν εάν τα απαιτούμενα υλικά μπορούν να βρεθούν από συναδέλφους τους στο ίδρυμά τους ή από κάπου αλλού που έχουν χρησιμοποιήσει το JiTT για το ίδιο μάθημα.

Μόλις γίνει η απόφαση για την υιοθέτηση μιας μεθόδου, ο διδάσκοντας θα πρέπει να ανατρέξει στα κείμενα, τα άρθρα και τους πόρους που βρίσκονται στο ίντερνετ για την επιλεγμένη μέθοδο και να επωφεληθεί πλήρως από έμπειρους συναδέλφους και συμβούλους διδακτικών κέντρων οι οποίοι μπορούν να προσφέρουν συμβουλές για την εφαρμογή τους και την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από τη χρήση τους.

3.8 Σύνοψη

Η παραδοσιακή προσέγγιση της διδασκαλίας της επιστήμης και της μηχανικής είναι αφαιρετική, ξεκινώντας από την παρουσίαση των βασικών αρχών στις διαλέξεις και την επανάληψη και εφαρμογή των διαλέξεων από τους μαθητές. Από την άλλη, οι μέθοδοι διδασκαλίας που συζητήθηκαν σε αυτή την εργασία, η βασισμένη σε προβλήματα μάθηση, η μάθηση βασισμένη σε έργα, η διδασκαλία βάσει περιπτώσεων και η just-in-time διδασκαλία προχωρούν επαγωγικά, ξεκινώντας από τις παρατηρήσεις που χρίζουν ερμηνείας, τις ερωτήσεις που πρέπει να απαντηθούν, τα προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν ή τις περιπτώσιολογικές μελέτες που πρέπει να αναλυθούν. Η γνώση του περιεχομένου, οι μέθοδοι και οι δεξιότητες που το μάθημα έχει σχεδιαστεί για να διδάξει, αποκτάται από τους φοιτητές με ποικίλους βαθμούς καθοδήγησης από τους διδάσκοντες στο πλαίσιο αυτών των διδασκαλιών. Οι διδάσκοντες μεταδίδουν πληροφορίες μόνο όταν χρειαστούν οι πληροφορίες αυτές για την ολοκλήρωση των ασκήσεων.

Ενώ η ποιότητα των ερευνητικών δεδομένων που υποστηρίζουν τις διάφορες επαγωγικές μεθόδους ποικίλει, τα συλλογικά αποδεικτικά στοιχεία που ευνοούν την επαγωγική προσέγγιση έναντι της παραδοσιακής παιδαγωγικής είναι πειστικά. Η επαγωγή υποστηρίζεται από ευρέως αποδεκτές εκπαιδευτικές θεωρίες, όπως ο γνωστικός και κοινωνικός κονστρουκτιβισμός, η έρευνα του εγκεφάλου και οι εμπειρικές μελέτες διδασκαλίας και μάθησης. Οι επαγωγικές μέθοδοι προάγουν την υιοθέτηση από τους μαθητές μιας βαθιάς προσέγγισης μάθησης, σε αντίθεση με την επιφανειακή (απομνημονευτική) προσέγγιση. Προωθούν επίσης την πνευματική ανάπτυξη, αμφισβητώντας τον δυικό τρόπο σκέψης που χαρακτηρίζει πολλούς εισερχόμενους φοιτητές (που θεωρούν ότι όλη η γνώση είναι σίγουρη, οι διδάσκοντες την έχουν και το καθήκον των μαθητών είναι να απορροφήσουν και να επαναλάβουν) και βοηθούν τους μαθητές να αποκτήσουν την κριτική σκέψη και τις αυτό-κατευθυνόμενες δεξιότητες εκμάθησης που χαρακτηρίζουν τους ειδικούς επιστήμονες και μηχανικούς.

Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι η απλή υιοθέτηση μιας επαγωγικής μεθόδου θα οδηγήσει αυτόματα σε καλύτερη μάθηση και πιο ικανοποιημένους μαθητές. Όπως και με οποιαδήποτε μορφή διδασκαλίας, η επαγωγική διδασκαλία μπορεί να γίνει αποτελεσματικά ή όχι και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτήν είναι τόσο καλά όσο και η ικανότητα και η φροντίδα με την οποία εφαρμόζεται. Πολλοί φοιτητές είναι ανθεκτικοί σε οποιοδήποτε είδος διδασκαλίας που τους καθιστά πιο υπεύθυνους για τη δική τους εκμάθηση και αν δεν παρέχεται η κατάλληλη καθοδήγηση και υποστήριξη όταν χρησιμοποιούνται επαγωγικές μέθοδοι, η αντίσταση μπορεί να

κλιμακωθεί σε εχθρότητα, σε κατώτερα μαθησιακά αποτελέσματα, σε κακές αξιολογήσεις και στην απόφαση του διδάσκοντα να μην δοκιμάσει ξανά κάτι τέτοιο.

Οι διδάσκοντες που θέλουν να εφαρμόσουν μια επαγωγική μέθοδο θα πρέπει πρώτα απ' όλα να εξοικειωθούν με τις βέλτιστες πρακτικές, όπως η παροχή εκτεταμένης υποστήριξης και καθοδήγησης όταν οι φοιτητές εισάγονται για πρώτη φορά στη μέθοδο και βαθμιαία απόσυρση της υποστήριξης καθώς οι μαθητές κερδίζουν περισσότερη εμπειρία και εμπιστοσύνη στη χρήση της μεθόδου. Οι διδάσκοντες πρέπει επίσης να προβλέπουν κάποια αντίσταση των μαθητών στην επαγωγική μάθηση και πρέπει να γνωρίζουν αποτελεσματικές στρατηγικές για την εκτροπή της. Εάν ληφθούν αυτές οι προφυλάξεις, τόσο οι μαθητές όσο και ο διδάσκοντας θα πρέπει σύντομα να ξεκινήσουν βλέποντας τα θετικά αποτελέσματα που υποσχέθηκαν από την έρευνα.

4 ΕΙΚΟΝΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΝΟΣ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

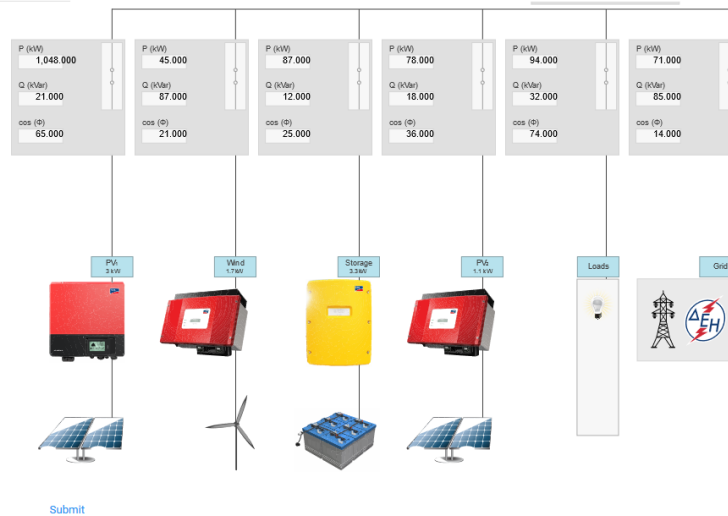
Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε την κατασκευή ενός Excel αρχείου που θα χρησιμοποιηθεί από ένα Graphical User Interface (GUI) και θα οπτικοποιεί ένα μικροδίκτυο προσομοιώνοντας σενάρια ισοζυγίου ισχύος κ.α.. Η εφαρμογή αυτή θα μπορεί χρησιμοποιηθεί από τους φοιτητές για να εξοικειωθούν με ένα μικροδίκτυο, να αντιληφθούν την έννοια του ισοζυγίου ισχύος και μέσω πειραματισμών και μετρήσεων να βγάλουν συμπεράσματα για την λειτουργία του.

Η μορφή του μικροδικτύου που θα εμφανίζεται στο GUI φαίνεται στην Εικόνα 46. Το μικροδίκτυο αποτελείται από τα εξής στοιχεία που θα τα αποκαλούμε Widgets [8]:

- Widget 1: PV panel (φωτοβολταϊκό πάνελ) - 3 kW
- Widget 2: Ανεμογεννήτρια – 1.7 kW
- Widget 3: Μπαταρία αποθήκευσης ενέργειας – 3.3 kW
- Widget 4: PV panel (φωτοβολταϊκό πάνελ) – 1.1 kW
- Widget 5: Ελεγχόμενα φορτία
- Widget 6: Διασύνδεση με το τοπικό δίκτυο χαμηλής τάσης (ελεγχόμενη η απαίτηση η απαίτησής του διαχειριστή του δικτύου διανομής)

Monitor

Sheet 1 Sheet 2 Sheet 3



© 2018 - Virtual Lab Life

Εικόνα 46: Graphical User Interface of the micro-grid

Η αρχή λειτουργίας της εφαρμογής αυτής είναι η εξής: Ο χρήστης-φοιτητής αφού αποκτήσει πρόσβαση στο GUI, καλείται να εισάγει τις επιτρεπόμενες τιμές (εισόδους) που επιθυμεί (θα δούμε παρακάτω ποιες είναι αυτές) μέσα από το GUI. Στη συνέχεια οι τιμές αυτές περνάνε αυτόματα σε ένα αρχείο Excel όπου λαμβάνουν χώρα οι υπολογισμοί των τιμών που θεωρούνται έξοδοι και αυτές επιστρέφουν μαζί με τις εισόδους στο οπτικό περιβάλλον της εφαρμογής. Ο χρήστης θα μπορεί να επαναλαμβάνει την διαδικασία αυτή όσες φορές θέλει έτσι ώστε να λάβει τις απαιτούμενες μετρήσεις με βάση τις ανάγκες του.

Στη μέχρι τώρα υλοποίηση της εφαρμογής, έχουν κατασκευαστεί τρία διαφορετικά σενάρια, όμως δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός ως προς τον αριθμό τους, οπότε στο μέλλον τα διαφορετικά σενάρια μπορούν να αυξηθούν. Ο σχεδιασμός του GUI έχει γίνει έτσι ώστε το κάθε σενάριο να υλοποιείται σε ένα Excel Sheet (του Excel αρχείου) στο οποίο θα υλοποιούνται οι υπολογισμοί του εκάστοτε σεναρίου. Τα σενάρια είναι:

- Διασυνδεδεμένη λειτουργία – Τήρηση ορίων ισχύος
- Απομονωμένη λειτουργία – Ισοζύγιο ισχύος
- Απομονωμένη λειτουργία– Έλεγχος στατισμού (droop)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα ανωτέρω σενάρια ξεχωριστά και οι είσοδοι/έξοδοι του καθενός από αυτά. Συνολικά οι διαθέσιμες τιμές που χρησιμοποιούνται σαν είσοδοι και έξοδοι στην εφαρμογή για κάθε Widget είναι:

- A) Η ενεργός ισχύς του σε kW (P)
- B) Η άεργος ισχύς του σε kVar (Q)
- Γ) Ο συντελεστής ισχύος $\cos\phi$

Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι για την υλοποίηση των υπολογισμών στο Excel έχει ληφθεί σαν σύμβαση ότι αρνητικό πρόσημο στην ισχύ σημαίνει έγχυση ισχύος ενώ θετικό πρόσημο σημαίνει κατανάλωση ισχύος.

4.1 Connected Mode – Τήρηση ορίων ισχύος

Ας υποθέσουμε ότι το μικροδίκτυο έχει δεσμευτεί να παρέχει/καταναλώνει μία συγκεκριμένη τιμή ενεργού ισχύος (π.χ. λαμβάνοντας εντολή από τον διαχειριστή του δικτύου). Με δεδομένη την εγκατεστημένη ισχύ των τοπικών πηγών, δημιουργούνται διάφορα σενάρια στα οποία μεταβάλλονται:

1. Η τοπική παραγωγή από ανανεώσιμες
2. Η δέσμευση για προσφορά ή απορρόφηση από το δίκτυο και το set point ισχύος
3. Τα φορτία
4. Εάν οι μπαταρίες απορροφούν ή παρέχουν ισχύ στο δίκτυο

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να καθορίσουμε ποια πεδία (τιμές) του Excel θα επιτρέπονται σαν είσοδοι και ποια θα υπολογίζονται ως έξοδοι. Στο GUI της εφαρμογής θα εμφανίζονται όλες οι τιμές οι οποίες διαβάζονται από καθορισμένα «κελιά» του Excel Sheet. Στην Εικόνα 47 φαίνεται το Excel Sheet που αντιστοιχεί στο περιγραφόμενο σενάριο.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Widget 1			Widget 2			Widget 3			Widget 4			Widget 5			Widget 6	
2	P (kW)	-1.000		P (kW)	-1.000		P (kW)	-3.300		P (kW)	-1.000		P (kW)	3.000		P (kW)	3.300
3	Q (kVar)	0.000		Q (kVar)	0.203		Q (kVar)	-3.300		Q (kVar)	0.000		Q (kVar)	1.000		Q (kVar)	2.097
4	cos (Φ)	1.000		cos (Φ)	0.980		cos (Φ)	0.707		cos (Φ)	1.000		cos (Φ)	0.949		cos (Φ)	0.844
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10	Σενάριο 1: Σταθερή έγχυση ισχύος από το δίκτυο με μεταβλητή παραγωγή ανανεωσιμων																
11	Ισοζύγιο ενέργειας από μπαταρία (αρνητική ισχύς = έγχυση ισχύος)																
12																	
13																	
14	W1			W2			W3			W4			W5			W6	
15	-1			-1			-3.3			-1			3			4	3.3
16																	
17																	
18	0			0.2030587			-3.3			0			1			2.5	2.096941
19																	
20																	
21	1			0.98			0.707107			1			0.948683			0.8479983	0.844016
22																	

Εικόνα 47: Excel Sheet του 1^{ου} σεναρίου

Στο πάνω μέρος του Excel φαίνονται όλες οι τιμές των Widgets που θα διαβαστούν από το GUI και θα εμφανίζονται στην οθόνη του χρήστη. Οι τιμές αυτές αντλούνται από το κάτω μέρος του Excel, στο οποίο λαμβάνουν χώρα όλοι οι υπολογισμοί του σεναρίου αυτού. Για κάθε Widget θα έχουμε τα εξής σαν είσοδο και έξοδο:

- Widget 1 (φωτοβολταϊκό):
 - Είσοδοι: Η ενεργός (P) και άεργος (Q) ισχύς ($Q = 0$, στο παράδειγμα μας)
 - Έξοδοι: ο συντελεστής ισχύος $\cos(\varphi)$
- Widget 2 (ανεμογεννήτρια):
 - Είσοδοι: Η ενεργός ισχύς (P) και ο συντελεστής ισχύος $\cos(\varphi)$ ($\cos(\varphi) = 0,98$ στο παράδειγμά μας)
 - Έξοδοι: Η άεργος ισχύς (Q)
- Widget 3 (μπαταρίες):
 - Είσοδοι: -
 - Έξοδοι: Η ενεργός (P) και άεργος (Q) ισχύς και ο συντελεστής ισχύος $\cos(\varphi)$
- Widget 4 (φωτοβολταϊκό):
 - Είσοδοι: Η ενεργός (P) και άεργος (Q) ισχύς ($Q = 0$, στο παράδειγμα μας)
 - Έξοδοι: ο συντελεστής ισχύος $\cos(\varphi)$
- Widget 5 (φορτία):
 - Είσοδοι: Η ενεργός (P) και άεργος (Q) ισχύς
 - Έξοδοι: ο συντελεστής ισχύος $\cos(\varphi)$
- Widget 6 (δίκτυο):
 - Είσοδοι: Η ενεργός (P) και άεργος (Q) ισχύς (θα μπορεί ο χρήστης να καθορίζει την απαίτηση του διαχειριστή του δικτύου στην ποσότητα ισχύος που θα ανταλλάσσεται με το μικροδίκτυο)
 - Έξοδοι: ο συντελεστής ισχύος $\cos(\varphi)$

4.2 Απομονωμένη λειτουργία – Ισοζύγιο ισχύος

Σε αυτό το σενάριο το μικροδίκτυο αποκόπτεται από το δίκτυο, άρα το Widget 6 (δίκτυο) δεν χρησιμοποιείται. Αλλάζοντας την τιμή του φορτίου που είναι συνδεδεμένο στο μικροδίκτυο, παρατηρούμε πως τηρείται το ισοζύγιο ισχύος. Πιο συγκεκριμένα:

- Σε περίπτωση που έχουμε περίσσια ισχύ από τις τοπικές παραγωγές, τότε ο ελεγκτής (inverter) της μπαταρίας (Widget 3) παίρνει κάποια ισχύ για να φορτίσει τις μπαταρίες
- Σε περίπτωση που έχουμε έλλειψη ισχύος από τις τοπικές παραγωγές τότε ο inverter της μπαταρίας δίνει ισχύ. Αν αυτό δεν μπορεί να γίνει (υποθετικά επειδή δεν είναι φορτισμένες οι μπαταρίες) τότε αποκόπτονται φορτία.

Με βάση τα παραπάνω ο χρήστης αυξομειώνοντας το φορτίο (Widget 5) θα μπορεί να παρατηρεί την αλλαγή στην ισχύ της μπαταρίας και στην αποκοπή των φορτίων εάν είναι απαραίτητο. Στην Εικόνα 48 φαίνεται το Excel Sheet που αντιστοιχεί στο περιγραφόμενο σενάριο.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1	Widget 1			Widget 2			Widget 3			Widget 4			Widget 5						
2	P (kW)	-1.000		P (kW)	-1.000		P (kW)	-3.300		P (kW)	-1.000		P (kW)	6.300					
3	Q (kVar)	0.000		Q (kVar)	0.203		Q (kVar)	-3.300		Q (kVar)	0.000		Q (kVar)	3.097					
4	cos (φ)	1.000		cos (φ)	0.980		cos (φ)	0.707		cos (φ)	1.000		cos (φ)	0.897					
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10				Σενάριο 2: Islanded mode															
11				Ισοζύγιο ενέργειας από μπαταρία (αρνητική ισχύς = εγχυσή ισχύος)															
12																			
13																			
14	W1			W2			W3			W4			W5						
15	-1			-1			-3.3			-1			8	1.7	6.3				
16																			
17	0			0.2030587			-3.3			0			4	0.903059	3.09694				
18																			
19																			
20																			
21	1			0.98			0.707107			1			0.894427		0.89743				
22																			
23																			

Εικόνα 48: Excel Sheet του 2^{ου} σεναρίου

Στο πάνω μέρος του Excel φαίνονται όλες οι τιμές των Widgets που θα διαβαστούν από το GUI και θα εμφανίζονται στην οθόνη του χρήστη. Οι τιμές αυτές αντλούνται από το κάτω μέρος του

Excel, στο οποίο λαμβάνουν χώρα όλοι οι υπολογισμοί του σεναρίου αυτού. Για κάθε Widget θα έχουμε τα εξής σαν είσοδο και έξοδο:

- Widget 1 (φωτοβολταϊκό):
 - Είσοδοι: Η ενεργός (P) και άεργος (Q) ισχύς ($Q = 0$, στο παράδειγμα μας)
 - Έξοδοι: ο συντελεστής ισχύος $\cos(\varphi)$
- Widget 2 (ανεμογεννήτρια):
 - Είσοδοι: Η ενεργός ισχύς (P) και ο συντελεστής ισχύος $\cos(\varphi)$ ($\cos(\varphi) = 0,98$ στο παράδειγμά μας)
 - Έξοδοι: Η άεργος ισχύς (Q)
- Widget 3 (μπαταρίες):
 - Είσοδοι: -
 - Έξοδοι: Η ενεργός (P) και άεργος (Q) ισχύς και ο συντελεστής ισχύος $\cos(\varphi)$
- Widget 4 (φωτοβολταϊκό):
 - Είσοδοι: Η ενεργός (P) και άεργος (Q) ισχύς ($Q = 0$, στο παράδειγμα μας)
 - Έξοδοι: ο συντελεστής ισχύος $\cos(\varphi)$
- Widget 5 (φορτία):
 - Είσοδοι: Η αρχική ζήτηση (P, Q) του φορτίου
 - Έξοδοι: Η ισχύς που πρέπει να κοπεί από το φορτίο, το τελικό φορτίο (P, Q) μετά την διακοψιμότητα και ο συντελεστής ισχύος $\cos(\varphi)$

Στο σενάριο αυτό ο ελεγκτής της μπαταρίας φροντίζει να κρατά το ισοζύγιο στο 0 φορτίζοντας/εκφορτίζοντας μπαταρίες και αυξομειώνοντας το φορτίο. Σαν όριο στον ελεγκτή της μπαταρίας έχουμε βάλει τα 3,3 kW. Άρα όταν η μπαταρία φτάσει στο όριο της, ξεκινάει η διακοψιμότητα στα φορτία, οπότε στο GUI θα πρέπει να εμφανίζονται 2 επιπλέον τιμές σε σχέση με το 1 σενάριο στο Widget 5 (φορτία): Η τελική ισχύς του φορτίου και πόση αποκόπηκε σε σχέση με την αρχική ζήτηση.

4.3 Απομονωμένη λειτουργία – Έλεγχος στατισμού

Σε αυτό το σενάριο το μικροδίκτυο αποκόπτεται από το δίκτυο όπως και πριν, άρα το Widget 6 (δίκτυο) δεν χρησιμοποιείται. Υποθέτουμε έλεγχο droop με βάση κάποιες εξισώσεις για την καμπύλη P-f και Q-V και μεταβάλλοντας τα φορτία που είναι συνδεδεμένα στο μικρόδίκτυο, παρατηρούμε τις αλλαγές σε συχνότητα και τάση στην μπαταρία (Widget 3).

Με βάση τα παραπάνω ο χρήστης αυξομειώνοντας το φορτίο (Widget 5) θα μπορεί να παρατηρεί την αλλαγή στην ισχύ της μπαταρίας και στην αποκοπή των φορτίων εάν είναι απαραίτητο όπως και στο Σενάριο 2, αλλά επιπλέον τώρα θα φαίνεται στο GUI και η συχνότητα (f) και η τάση (V) της μπαταρίας. Στην Εικόνα 49 φαίνεται το Excel Sheet που αντιστοιχεί στο περιγραφόμενο σενάριο.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Widget 1		Widget 2		Widget 3		Widget 4		Widget 5									
2	P (kW)	-1.000		P (kW)	-1.000		P (kW)	-3.300		P (kW)	-1.000		P (kW)	6.300				
3	Q (kVar)	0.000		Q (kVar)	0.203		Q (kVar)	-3.300		Q (kVar)	0.000		Q (kVar)	3.097				
4	cos (Φ)	1.000		cos (Φ)	0.980		cos (Φ)	0.707		cos (Φ)	1.000		cos (Φ)	0.897				
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10	Σενάριο 3: Islated mode with droop control																	
11	Ισοζύγιο ενέργειας από μπαταρία (αρνητική ισχύς = εγχυση ισχύος)																	
12																		
13																		
14	W1			W2			W3			W4			W5					
15	-1			-1			-3.3	Frequency		-1			8	1.7	6.3			
16								49.5										
17																		
18	0			0.2030587			-3.3	Voltage		0			4	0.903059	3.09694			
19								253.00001										
20																		
21	1			0.98			0.707107			1			0.894427		0.89743			
22																		

Εικόνα 49: Excel Sheet του 3^{ου} σεναρίου

Στο πάνω μέρος του Excel φαίνονται όλες οι τιμές των Widgets που θα διαβαστούν από το GUI και θα εμφανίζονται στην οθόνη του χρήστη. Οι τιμές αυτές αντλούνται από το κάτω μέρος του Excel, στο οποίο λαμβάνουν χώρα όλοι οι υπολογισμοί του σεναρίου αυτού. Για κάθε Widget θα έχουμε τα εξής σαν είσοδο και έξοδο:

- Widget 1 (φωτοβολταϊκό):

- Είσοδοι: Η ενεργός (P) και άεργος (Q) ισχύς (Q = 0, στο παράδειγμα μας)
- Έξοδοι: ο συντελεστής ισχύος cos(φ)
- Widget 2 (ανεμογεννήτρια):
 - Είσοδοι: Η ενεργός ισχύς (P) και ο συντελεστής ισχύος cos(φ) (cos(φ) = 0,98 στο παράδειγμά μας)
 - Έξοδοι: Η άεργος ισχύς (Q)
- Widget 3 (μπαταρίες):
 - Είσοδοι: -
 - Έξοδοι: Η ενεργός (P) και άεργος (Q) ισχύς και ο συντελεστής ισχύος cos(φ), η συχνότητα (f) και η τάση (V)
- Widget 4 (φωτοβολταϊκό):
 - Είσοδοι: Η ενεργός (P) και άεργος (Q) ισχύς (Q = 0, στο παράδειγμα μας)
 - Έξοδοι: ο συντελεστής ισχύος cos(φ)
- Widget 5 (φορτία):
 - Είσοδοι: Η αρχική ζήτηση (P, Q) του φορτίου
 - Έξοδοι: Η ισχύς που πρέπει να κοπεί από το φορτίο, το τελικό φορτίο (P, Q) μετά την διακοψιμότητα και ο συντελεστής ισχύος cos(φ)

Στο σενάριο αυτό ο ελεγκτής της μπαταρίας φροντίζει να κρατά το ισοζύγιο στο 0 φορτίζοντας/εκφορτίζοντας μπαταρίες και αυξομειώνοντας το φορτίο. Σαν όριο στον ελεγκτή της μπαταρίας έχουμε βάλει τα 3,3 kW. Άρα όταν η μπαταρία φτάσει στο όριο της, ξεκινάει η διακοψιμότητα στα φορτία ενώ παράλληλα υπολογίζεται και εμφανίζεται η συχνότητα (f) και η τάση (V) της μπαταρίας σύμφωνα με τις καμπύλες P-f και Q-V. Οι καμπύλες αυτές υπολογίζονται και φαίνονται γραφικά στο κάτω μέρος του Excel Sheet, ενώ ο στόχος είναι να εμφανίζονται και στο GUI που χρησιμοποιεί ο χρήστης.

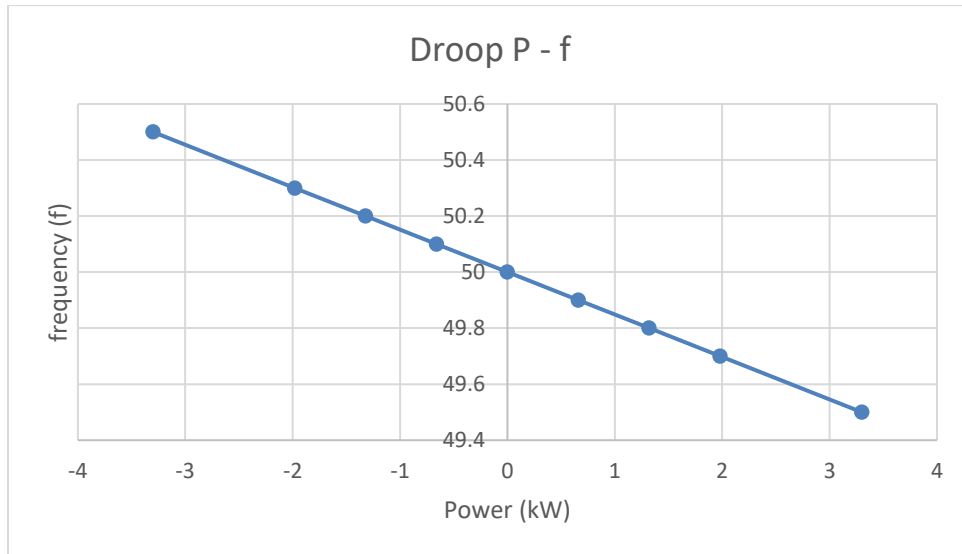
Για την καμπύλη P-f, χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$f = f_0 - k_p(P - P_0)$$

και θέτοντας σαν όρια 3,3 και -3,3 kW για αντίστοιχες συχνότητες 49,5 και 50,5 Hz προκύπτει η εξίσωση:

$$f = 50 - 0,1515(P - 0)$$

Όπου Droop $f = -0,1515$ και η γραφική παράσταση είναι:



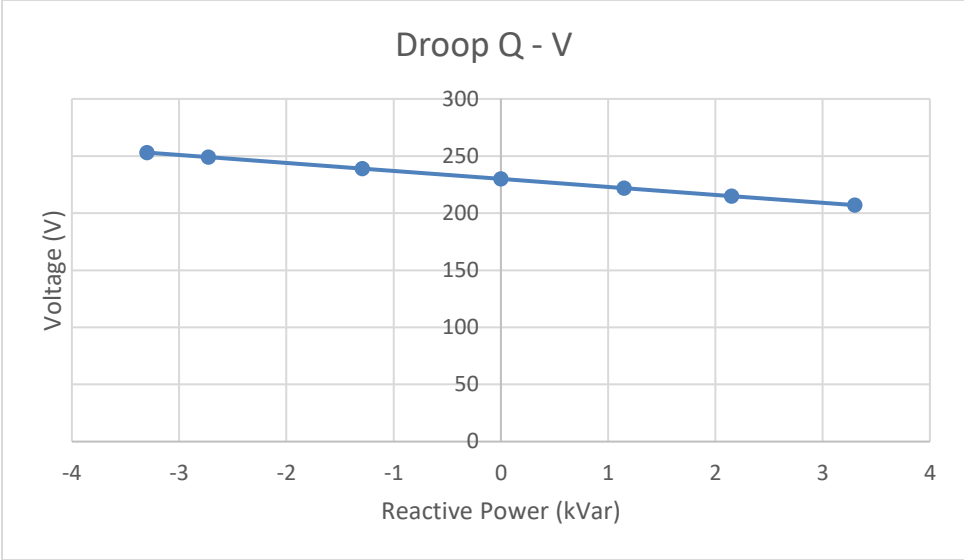
Για την καμπύλη Q-V, χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$V = V_0 - k_q(Q - Q_0)$$

και θέτοντας σαν όρια 3,3 και -3,3 kVar για αντίστοιχες τάσεις 207 και 253 Volts προκύπτει η εξίσωση:

$$V = 253 - 6,9697(Q + 3,3)$$

Όπου Droop $V = -6,9697$ και η γραφική παράσταση είναι:



5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ραγδαία αναπτύξη της τεχνολογίας παρέχει περισσότερες δυνατότητες στα πανεπιστήμια και στους διδασκοντές να παρέχουν στους μαθητές τα κατάλληλα εργαλεία για την αποτελεσματική εκπαίδευσή τους. Πλέον, η ανάπτυξη της τεχνολογίας μπορεί να παρέχει στους φοιτητές/μαθητές ένα μαθησιακό περιβάλλον που να παρουσιάζει και να αναδεικνύει πραγματικά σενάρια που θα εμφανίζονται στην μελλοντική εργασία των μαθητών. Ο έλεγχος-παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο μιας ανεμογεννήτριας ή ενός φωτοβολταϊκού κεντρίζει το ενδιαφέρον των φοιτητών/μαθητών για μάθηση καθώς μπορεί το επάγγελμα που θα ασκήσουν στην μετέπειτα πορεία τους να περιλαμβάνει παρόμοια σενάρια με αυτά που υλοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των σπουδών τους. Βλέποντας ένα τέτοιο «αληθινό» σενάριο οι μαθητές αρχίζουν από μόνοι τους να αναρωτιούνται ποιες μπορεί να είναι οι αρχές που διέπουν τα εκτελεσμένα σενάρια και ενδιαφέρονται περισσότερο να μάθουν την θεωρία και τις αρχές που χρειάζονται για να εξηγήσουν και να ερμηνεύσουν τα αποτελέσματα των ασκήσεων.

Είναι αντιληπτό ότι η απόκτηση του απαιτούμενου εξοπλισμού για την υλοποίηση των hardware εφαρμογών που παρουσιάστηκαν δεν είναι εφικτή για όλα τα πανεπιστήμια-εκπαιδευτικά κέντρα στον κόσμο. Για αυτό το λόγο, μεταξύ άλλων, υπάρχουν οι εφαρμογές λογισμικού (Software Labs) που έχουν την δυνατότητα να προσομοιάζουν τα πραγματικά σενάρια στην οθόνη ενός υπολογιστή. Έτσι ο φοιτητής έχει μια οπτική αναπαράσταση των σεναρίων αυτών στον υπολογιστή του, κάτι που διευκολύνει την υλοποίηση των απαιτούμενων ασκήσεων από τους διδάσκοντες. Προσομοιώσεις όπως η ροή ισχύος σε ένα δίκτυο ή η μελέτη ενός ηλεκτρικού οχήματος επιτρέπει στους μαθητές να «τρέχουν» σενάρια σε εξοπλισμό που δεν διαθέτουν αλλά προσομοιώνουν πλήρως την πραγματική λειτουργία τους.

Τα εργαστήρια και τα λογισμικά αυτά, όταν συνδυάζονται με τις αναφερθείσες επαγωγικές μεθόδους διδασκαλίας βελτιώνουν την μαθησιακή εμπειρία και μπορούν να «εκτοξεύσουν» τα αποτελέσματα των φοιτητών-μαθητών. Οι μέθοδοι διδασκαλίας όπως η διερευνητική μάθηση ή η μάθηση με βάση το πρόβλημα και το έργο μπορούν να συμπληρώσουν κατάλληλα την παραδοσιακή διδασκαλία για καλύτερα αποτελέσματα. Δεν μπορεί να παραληφθεί το γεγονός ότι για αυτές τις μεθόδους συχνά χρειάζεται περισσότερη ενασχόληση και προσπάθεια από τον διδάσκοντα και τους φοιτητές-μαθητές για να υλοποιηθούν όμως προκύπτουν ευεργετικές συνέπειες στην ανάπτυξη των μαθησιακών δυνατοτήτων τους.

Η καταλληλότερη μέθοδος για την εκπαίδευση και διδασκαλία νέων μηχανικών είναι η υβριδική μέθοδος της μάθησης βασισμένης σε έργο και αυτής βασισμένης σε πρόβλημα. Οι φοιτητές θα έχουν την δυνατότητα να ερμηνεύσουν και να κατανοήσουν την ύλη που έχει διδαχθεί από τον διδάσκοντα μέσω πρακτικών προβλημάτων και εργαστηριακών project ούτως ώστε στο τέλος κάθε μαθήματος να έχουν απομοιώσει τη ληφθήσα γνώση συνδέοντας την με πραγματικές καταστάσεις. Όμως είναι και η πιο απαιτητική για υλοποίηση εκ μέρους του διδάσκοντα όσον αφορά τον χρόνο ενασχόλησής του, καθώς και η πιθανότερη να συναντήσει την μεγαλύτερη αντίσταση από τους φοιτητές. Απαιτεί την εύρεση νέων προβλημάτων (αν δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα ήδη) από τον διδάσκοντα, την ύπαρξη εγκαταστάσεων και εξοπλισμού για την πραγματοποίηση πειραματικών διαδικασιών καθώς και τη θέληση των μαθητών να ρίξουν τις αντιστάσεις τους και να συμμετέχουν ενεργά κατά την διάρκεια του μαθήματος.

Τέλος κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής, αναπτύχθηκε μια εκπαιδευτική εφαρμογή που οπτικοποιεί ένα μικροδίκτυο και υπολογίζει την ισχύ που προσφέρει/καταναλώνει κάθε στοιχείο από τα οποία αποτελείται με βάση τις τιμές που καθορίζει ο χρήστης. Η εφαρμογή αυτή είναι ευμετάβλητη και μπορεί να επεκτάθει στο μέλλον από τον κάθε χρήστη έτσι ώστε να υλοποιεί καινούρια σενάρια βασισμένα στις ανάγκες του. Έτσι οι φοιτητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν την εφαρμογή αυτή για να εξοικειωθούν με ένα μικροδίκτυο, να αντιληφθούν την έννοια του ισοζυγίου ισχύος, του στατισμού κ.α. και μέσω πειραματισμών και μετρήσεων να βγάλουν συμπεράσματα για την λειτουργία του.

Βιβλιογραφία

- [1] «Inductive teaching and learning methods: definitions, comparisons, and research bases», Michael J. Prince, Richard M. Felder, April 2006, JEE
- [2] «The Many Faces of Inductive Teaching and Learning », Michael J. Prince, Richard M. Felder, Journal of college science teaching 36(5) · November 2006
- [3] « Active learning: an introduction*», Richard M. Felder, Rebecca Brent, January 2009
- [4] «An Interactive Approach to Renewable Energy Research and Education», Jonathan Bush, Matthew Kane, Kai Segrud, Damon Fick, Ziliang Zong, Frontiers in Education Conference (FIE), 2011
- [5] «Computer-Assisted Interactive Learning for Teaching Transmission Pricing Methodologies», Pavlos S. Georgilakis, George A. Orfanos, and Nikos D. Hatziargyriou, IEEE Transactions on Power Systems (Volume: 29, Issue: 4, July 2014)
- [6] «Development and implementation of an E-learning system for electric circuits laboratory», Irwin A. Diaz-Diaz and Ilse Cervantes, e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE), 2013 7th IEEE International Conference on
- [7] «An E-Learning Tool for Power Control and Energy Management in DC Microgrids», Roghayeh Gavagsaz-Ghoachani, Jean-Philippe Martin, Babak Nahid-Mobarakeh, Bernard Davat, e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE), 2013 7th IEEE International Conference on

- [8] «Laboratory Education of Modern Power Systems using PHIL Simulation», P. Kotsampopoulos, V. Kleftakis, N. Hatziargyriou, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 32, Issue: 5, September 2017
- [9] «Validating Intelligent Power and Energy Systems – A Discussion of Educational Needs” in “Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems”», Springer, 2017, P. Kotsampopoulos, N. Hatziargyriou, T. I. Strasser, C. Moyo, S. Rohjans, C. Steinbrink, S. Lehnho, P. Palensky, A. A. van der Meer, D. E. Morales Bondy, K. Heussen, M. Calin, A. Khavari, M. Sosnina, J. E. Rodriguez, G. M. Burt.
- [10] «Education in sustainable energy for professionals from industry and teachers», Andreja Rojko, Marijan Španer, e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE), 2013 7th IEEE International Conference on
- [11] «Integrated e-learning Modules for Teaching Energy for Sustainable World», Adam Veres, Richard Zsamboki, Zoltan Nemeth, Peter Korondi, Peter Stumpf, Zoltan Varga, Rafael K. Jardany, Istvan Nagyy, e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE), 2013 7th IEEE International Conference on
- [12] «Implementation of Laboratory At Distance (LAD): Specific considerations and recommendations», Radhi MHIRI, Mongi BESBES, Maarouf SAAD, Vahé NERGUIZIAN and Houda BEN ATTIA, e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE), 2013 7th IEEE International Conference on
- [13] «Can cooperative learning promote emotional intelligence in our students?», M.C. Romero-Ternero, Electronic Technology, e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE), 2013 7th IEEE International Conference on
- [14] «Combining Moodle and Redmine as e-learning tools in Project Based Learning of Industrial Electronics», Jerónimo Quesada, Isidro Calvo, Javier Sancho, Jose Antonio Sainz,

Jesús Sánchez, Jose Miguel Gil-García, e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE), 2013 7th IEEE International Conference on

[15] «Distance Laboratory for Programming Maximum Power Point Tracking of a Photovoltaic Module», P. Bauer*, R. Ionel**, e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE), 2013 7th IEEE International Conference on

[16] «Designing and Integrating Wind Power Laboratory Experiments in Power and Energy Systems Courses», Surya Santoso, Senior Member, IEEE, Min Lwin, Student Member, IEEE, JaimeRamos, Senior Member, IEEE, Mohit Singh, Member, IEEE, Eduard Muljadi, Fellow, IEEE, and Jason Jonkman, IEEE Transactions on Power Systems (Volume: 29, Issue: 4, July 2014)

[17] Speaking of teaching, Stanford university newsletter on teaching, WINTER 2001 Vol.11, No. 1

[18] www.sustener.eu

[19] <http://www.pogil.org>