

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό αποτελεί μια εισαγωγή σε ένα ευρύ φάσμα συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία βασίζεται σε αξιόπιστα ποσοτικά και πρακτικά στοιχεία. Για κάθε θέμα γίνεται μια εισαγωγή στο θεωρητικό υπόβαθρο, παρέχονται πρακτικά ζητήματα γνώσης μηχανικής που σχετίζονται με τον σχεδιασμό των συστημάτων και την πρόβλεψη των αποδόσεών τους, και παρουσιάζονται οι μέθοδοι για την οικονομική αξιολόγηση των συστημάτων αυτών. Αν και περισσότερη προσοχή δίνεται στις ταχύτερα αναπτυσσόμενες και πιο ελπιδοφόρες αιολική και ηλιακή ενέργεια, το βιβλίο εξετάζει επίσης την παλιρροϊκή και την κυματική ενέργεια, τη γεωθερμία, τη βιομάζα, την υδροηλεκτρική ενέργεια και τις τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Τόσο οι τεχνολογίες από την πλευρά της προσφοράς ενέργειας όσο και οι τεχνολογίες από την πλευρά της ζήτησης συνδυάζονται στο τελευταίο κεφάλαιο, το οποίο εξετάζει το επερχόμενο έξυπνο δίκτυο (smart grid).

Το βιβλίο αυτό απευθύνεται σε ένα μεικτό ακροατήριο αποτελούμενο από μηχανικούς και από άλλα άτομα που εστιάζουν στην τεχνολογία των ΑΠΕ. Το μάθημα που διδάσκω στο Πανεπιστήμιο Stanford, για παράδειγμα, δεν έχει προαπαιτούμενα. Περίπου οι μισοί φοιτητές είναι προπτυχιακοί και οι άλλοι μισοί είναι μεταπτυχιακοί. Σχεδόν όλοι είναι από τμήματα μηχανικών και από τμήματα φυσικών επιστημών, με τον αριθμό των φοιτητών από οικονομικές επιστήμες να αυξάνεται συνεχώς. Το βιβλίο έχει σχεδιαστεί με τρόπο που ενθαρρύνει την αυτοεκμάθηση παρέχοντας πολυάριθμα, ολοκληρωμένα, βήμα προς βήμα παραδείγματα. Σχεδόν κάθε ζήτημα που προσφέρεται για ποσοτική ανάλυση παρουσιάζεται με τέτοια παραδείγματα. Κάθε κεφάλαιο τελειώνει με μια σειρά από προβλήματα για πρόσθετη εξάσκηση του φοιτητή, τα οποία διευκολύνουν επίσης τον διδάσκοντα στην ανάθεση ανάλογων εργασιών/ασκήσεων για το σπίτι.

Αυτή η νέα έκδοση έχει ξαναγραφτεί, ενημερωθεί και αναδιοργανωθεί πλήρως. Παρουσιάζεται αρκετό νέο υλικό, τόσο με τη μορφή νέων θεμάτων όσο και με την εμβάθυνση σε ορισμένους τομείς. Νέα θέματα περιλαμβάνουν την κυματική και παλιρροϊκή ενέργεια, τα αντλιοστάσια, το έξυπνο δίκτυο και τη γεωθερμική ενέργεια. Η ενότητα για τις βασικές αρχές της ηλεκτρικής ενέργειας έχει ενισχυθεί, ώστε να διευκολύνει τη μετάβαση στα προχωρημένα αντίστοιχα μαθήματα στα τμήματα ηλεκτρολόγων μηχανικών. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει μια εισαγωγή στη διανυσματική μαθηματική σημειογραφία, δίνει μεγαλύτερη έμφαση στην άεργο ισχύ καθώς και στην πραγματική ισχύ, προσφέρει περισσότερο υλικό για τους μετατροπείς ρεύματος και για τα ηλεκτρονικά του μετατροπέα, και δίνει περισσότερο υλικό σχετικά με τις τεχνολογίες γεννητριών. Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν γίνει κυρίαρχες τεχνολογίες και είναι τώρα κυριολεκτικά μια τεράστια επιχειρηματική δραστηριότητα. Στη δεύτερη αυτή έκδοση το βιβλίο εμβαθύνει περισσότερο στην οικονομική ανάλυση έργων συμβατικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας και στην οικονομική ανάλυση έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το βιβλίο αποτελείται από τρία βασικά τμήματα:

- I. Υπόβαθρο στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας (Κεφάλαια 1, 2, 3).
- II. Εστίαση στα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) και στα συστήματα αιολικής ενέργειας (Κεφάλαια 4, 5, 6, 7).
- III. Άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενεργειακή απόδοση και έξυπνο δίκτυο (Κεφάλαια 8 και 9).



**I. Υπόβαθρο (Κεφάλαια 1, 2, 3):** Το γενικό πλαίσιο για τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παρέχεται στην εισαγωγή στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας (Κεφάλαιο 1), όπου περιλαμβάνονται οι τεχνολογίες των συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι ρυθμιστικές και λειτουργικές όψεις του ίδιου του δικτύου μαζί με οικονομικά στοιχεία, όπως το σταθμισμένο κόστος παραγωγής. Για τους αναγνώστες που είναι νέοι στα βασικά ηλεκτρικά στοιχεία και κυκλώματα ή που χρειάζονται μια γρήγορη ανασκόπηση, το Κεφάλαιο 2 επιτρέπει σε οποιονδήποτε φοιτητή τεχνολογίας να καλύψει επαρκώς και σχετικά γρήγορα αυτές τις βασικές αρχές.

Ενώ πολλοί φοιτητές έχουν ήδη κάποιο υπόβαθρο στην ηλεκτρική ενέργεια και μπορούν να παραλείψουν το Κεφάλαιο 2, οι περισσότεροι δεν έχουν παρακολουθήσει μάθημα που να αποτελεί αντικείμενο του Κεφαλαίου 3. Στην πραγματικότητα, η εντύπωσή μου είναι ότι πολλές σχολές μηχανικών που δεν έδιναν και πολλή σημασία στην ηλεκτρική ενέργεια στο παρελθόν δείχνουν να εντείνουν το ενδιαφέρον τους στον τομέα αυτό. Το Κεφάλαιο 3 παρέχει στους φοιτητές που δεν είναι ηλεκτρολόγοι μηχανικοί το απαραίτητο υπόβαθρο για την εμβάθυνση σε πιο προχωρημένα μαθήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

**II. Φωτοβολταϊκά και Αιολική Ενέργεια (Κεφάλαια 4, 5, 6, 7):** Αυτά τα κεφάλαια είναι η ουσία του βιβλίου.

Το Κεφάλαιο 4 καλύπτει τις πηγές ηλιακής ενέργειας, όπου περιλαμβάνονται θέματα που αφορούν τις ηλιακές γωνίες, προβλήματα σκίασης, την ένταση ηλιακής ακτινοβολίας καθαρού ουρανού, τα άμεσα και τα έμμεσα τμήματα της ηλιακής ακτινοβολίας (διαχωρισμοί σημαντικοί για τα συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας), και τον τρόπο εργασίας με τα πραγματικά τυπικά ετήσια μετεωρολογικά ηλιακά δεδομένα για μια δεδομένη τοποθεσία.

Το Κεφάλαιο 5 παρουσιάζει τα υλικά των φωτοβολταϊκών (Φ/Β) και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των στοιχείων, των μονάδων και των συστοιχιών. Με αυτό το υπόβαθρο οι φοιτητές μπορούν να εκτιμήσουν τις δραματικές επιπτώσεις της σκίασης στην απόδοση των Φ/Β, καθώς και πώς τα σύγχρονα ηλεκτρονικά μπορούν να βοηθήσουν ώστε να περιοριστούν οι επιπτώσεις αυτές.

Το Κεφάλαιο 6 αναφέρεται στα φωτοβολταϊκά συστήματα και ειδικότερα στο μέγεθος και την πρόβλεψη απόδοσης για τα διασυνδεδεμένα συστήματα, τα συστήματα ενεργειακού συμψηφισμού (net metering) σε στέγες, καθώς και για τα μη διασυνδεδεμένα αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση ενέργειας. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα κυριαρχούν σήμερα στην αγορά, ενώ τα μη διασυνδεδεμένα συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων μικροδικτύου, αρχίζουν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις αναδυόμενες οικονομίες όπου η ηλεκτρική ενέργεια είναι σπάνιο αγαθό. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στα οικονομικά όλων των Φ/Β συστημάτων.

Το Κεφάλαιο 7 παρέχει μια εκτενή ανάλυση των συστημάτων αιολικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζει τα στατιστικά χαρακτηριστικά του αιολικού δυναμικού, τις αναδυόμενες τεχνολογίες αιολικής ενέργειας και τον συνδυασμό αυτών για την πρόβλεψη της παραγόμενης ενέργειας της ανεμογεννήτριας. Η αιολική ενέργεια κυριαρχεί σήμερα στην αγορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με επενδύσεις δισεκατομμυρίων δολαρίων σε αυτό τον τομέα, οπότε στο εν λόγω κεφάλαιο δίνεται μεγάλη προσοχή στην οικονομική ανάλυση αυτών των επενδύσεων.

**III. Άλλες Ανανεώσιμες Πηγές και το Έξυπνο Δίκτυο (Κεφάλαια 8 και 9):** Το Κεφάλαιο 8 μάς εισάγει στα συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ισχύος και στη δυνατότητά τους για αποθήκευση θερμότητας ώστε να προσφέρουν πραγματική ηλεκτρική ενέργεια στην κατανάλωση. Περιγράφονται δύο αναδυόμενες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ωκεανούς: η παλιρροϊκή ενέργεια και η κυματική ενέργεια. Οι τεχνολογίες αυτές υπόσχονται πολλά για το μέλλον εν μέρει επειδή οι μεταβλητές αποδόσεις ισχύος τους είναι κάπως πιο προβλέψιμες από εκείνες των αιολικών και των ηλιακών συστημάτων. Περιγράφεται η υδροηλεκτρική ενέργεια και πιο συγκεκριμένα τα μικρο-υδροηλεκτρικά συστήματα (πάλι για τις αναδυόμενες οικονομίες) και τα συστήματα αντλησιοταμίευσης, τα οποία παρέχουν εφεδρική ενέργεια σε άλλα συστήματα. Τέλος, γίνεται μια εισαγωγή στη βιομάζα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στα γεωθερμικά συστήματα.



Το Κεφάλαιο 9 περιγράφει το εύρος των ζητημάτων που προκύπτουν όταν οι μεταβαλλόμενης έντασης ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλληλεπιδρούν με τα φορτία της ζήτησης-ανταπόκρισης. Ξεκινά με το έξυπνο δίκτυο, συμπεριλαμβάνοντας τις προηγμένες υποδομές μέτρησης, τεχνολογίες που θα παρέχουν καλύτερο έλεγχο του δικτύου, και τις αλληλεπιδράσεις με τα φορτία που μπορούν να ελεγχθούν για να φιλοξενήσουν παραλλαγές πηγών στην πλευρά τροφοδοσίας. Εισάγεται ο ρόλος της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, στην οποία περιλαμβάνεται και η αποθήκευση ενέργειας σε συσσωρευτές στα ηλεκτρικά οχήματα. Η διαχείριση της ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης, η πιο αποδοτική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, οι κυψέλες καυσίμου και τα άλλα συστήματα που συνδυάζουν θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια είναι όλα τα κρίσιμα συστατικά για την εξισορρόπηση της μελλοντικής εξίσωσης προσφοράς και ζήτησης.

Τέλος, το Κεφάλαιο 10 του βιβλίου συνιστά μια σύντομη παρουσίαση της ενεργειακής οικονομίας και παρέχει διάφορα χρήσιμα δεδομένα για την ανάλυση των συστημάτων.

Το βιβλίο είναι προϊόν εργασίας που ξεπερνά τις τέσσερις δεκαετίες. Αφετηρία στάθηκε η επίδραση που ο Denis Hayes και το Earth Day 1970 είχαν στη μετατόπιση της καριέρας μου από τους ημιαγωγούς και τη λογική των υπολογιστών στην περιβαλλοντική μηχανική. Μετά ήταν η πρωτοποριακή εργασία «The Soft Energy Path: The Road Not Taken?» (Foreign Affairs, 1976) του Amory Lovins, η οποία έστρεψε την προσοχή μου στη σχέση μεταξύ ενέργειας και περιβάλλοντος και στον σημαντικό ρόλο που οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η απόδοση πρέπει να έχουν στην αντιμετώπιση των επερχόμενων προκλήσεων. Οι διεισδυτικές αναλύσεις του Art Rosenfeld στο Πανεπιστήμιο California at Berkeley και οι έξυπνες πολιτικές προοπτικές του Ralph Cavanag στο Συμβούλιο Άμυνας Φυσικών Πόρων (Natural Resources Defense Council) υπήρξαν σταθερές πηγές καθοδήγησης και έμπνευσης. Αυτοί και άλλοι πρωτοπόροι είχαν δείξει τον δρόμο, αλλά ήταν οι απαιτητικοί, αφοσιωμένοι, ενθουσιώδεις φοιτητές στα μαθήματά μου στο Stanford που με κράτησαν δραστήριο, γεμάτο ενθουσιασμό και ενέργεια κατά τη διάρκεια των ετών, στους οποίους και είμαι βαθιά ευγνώμων για το έναυσμα που μου έδιναν και για τη φιλία τους. Τέλος, οφείλω ξεχωριστή μνεία και ευγνωμοσύνη στην επί μακρόν φίλη και συνάδελφο, Jane Woodward, για τη γενναιοδωρία και τη στήριξή της, που μου επιτρέπουν να συνεχίσω σε αυτό το πεδίο που αγαπώ.

Θέλω να ευχαριστήσω συγκεκριμένα έναν αριθμό ατόμων που παρείχαν βοήθεια σε συγκεκριμένα τμήματα της νέας αυτής έκδοσης. Ο καθηγητής Nick Jerkins του Πανεπιστημίου του Cardiff ενίσχυσε την κατανόησή μου για τα συστήματα ενέργειας με τα μαθήματα που δίδαξε στο Stanford. Οι υποψήφιοι διδάκτορες (έχουν πια αποφοιτήσει) Eric Stoundurg, Elaine Hart και Mike Dvorak προσέφεραν χρήσιμες γνώσεις σχετικά με την αιολική, την παλιρροϊκή και την κυματική ενέργεια. Οι κατευθυντήριες οδηγίες σχεδιασμού, που παρήχθησαν από τον Eric Yourgren από το Solar Nexus International, βοήθησαν να προσγειωθώ στην πραγματικότητα των μη διασυνδεδεμένων (αυτόνομων) φωτοβολταϊκών συστημάτων. Δύο μαθητές, οι Robert Conroy και Adam Raudonis, ανέπτυξαν τον δικτυακό τόπο για τα διαγράμματα σκίασης που χρησιμοποίησα στο Κεφάλαιο 10. Ο παλιός μου φίλος Bob Redlinger, τώρα στη Sunpower, υπήρξε ο καθοδηγητής μου στις οικονομικές και επιχειρηματικές πτυχές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η οξεία μάτια του Fred Zeise, ο οποίος με είχε σώσει από πολλές ντροπές με τον προσεκτικό έλεγχο του χειρόγραφου, έχει όλη την αναγνώρισή μου. Τέλος υψώνω το ποτήρι μου, όπως έχουμε κάνει σχεδόν κάθε βράδυ επί τέσσερις δεκαετίες, στη γυναίκα μου, τη Mary, η οποία βοηθά να ανατέλλει ο ήλιος κάθε μέρα στη ζωή μου.

Gilbert M. Masters  
Πανεπιστήμιο Stanford,  
Απρίλιος 2013