



Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ***

ΧΑΡΙΤΑΚΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΑΡΑΠΙΔΑΚΗΣ ΜΑΝΩΛΗΣ

ΧΑΝΙΑ
Μαιος 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ	5
1.1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....5
1.1.2	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ.....5
1.1.3	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....6
1.1.4	ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....11
1.1.5	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....11
1.1.6	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΜΑΤΑ.....13
1.1.7	ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ.....14
1.1.8	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ.....15
1.1.9	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΔΑΠΑΝΩΝ.....17
1.1.10	ΕΔΑΦΟΣ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΥΛΙΚΩΝ.....19
1.2	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΛΕΠΤΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΠΙΑΤΟΥ ΕΤΑΙΡΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ.....23
1.2.1	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....25
1.2.2	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΜΑΤΑ.....27
1.2.3	ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ.....29
1.2.4	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ.....29
1.2.5	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΔΑΠΑΝΩΝ.....30
1.2.6	ΕΔΑΦΟΣ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΥΛΙΚΩΝ.....39
1.3	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΕΤΑΙΡΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ.....40
1.3.1	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....42
1.3.2	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΜΑΤΑ.....43
1.3.3	ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ.....45
1.3.4	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ.....45
1.3.5	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΔΑΠΑΝΩΝ.....45
1.3.6	ΕΔΑΦΟΣ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΥΛΙΚΩΝ.....49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	50
2.1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....50
2.1.2	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ.....50
2.1.3	ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΕΤΑΙΡΙΚΗΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ.....51
2.1.4	ΠΟΡΟΣ/ΧΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ.....53
2.1.5	ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟ ΠΑΡΟΝ ΕΓΓΡΑΦΟ.....57
2.2	ΣΧΕΔΙΟ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ.....58
2.2.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....58
2.2.2	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....60
2.2.3	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΜΑΤΑ.....63
2.2.4	ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ.....64
2.2.5	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ.....66
2.2.6	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΔΑΠΑΝΩΝ.....70
2.2.6.1	ΒΑΣΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ.....70
2.2.6.2	ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ (1996).....71

2.2.6.3	ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 2000-2030.....	77
2.2.6.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	83
2.2.6.5	ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΤΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ.....	85
2.2.6.6	ΔΑΠΑΝΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	87
2.2.6.7	ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ.....	89
2.2.6.8	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ.....	90
2.2.6.9	ΑΛΛΟΙ ΤΟΜΕΙΣ ΑΞΙΑΣ.....	90
2.2.7	ΕΔΑΦΟΣ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΥΛΙΚΩΝ.....	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....		92
3.1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΟΙΚΟ/ΚΟΥΣ ΑΡΙΘΜΟΥΣ ΤΗΣ ΑΞΙΑΣ.....	92
3.1.2	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ.....	93
3.1.3	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	95
3.1.4	ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΦΟΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ.....	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....		98
4.1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	98
4.1.2	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....	100
4.1.3	ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ.....	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		105

Για πολλούς αιώνες ο άνθρωπος χρησιμοποίησε σχεδόν αποκλειστικά *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας* (ΑΠΕ) για να καλύψει τις ανάγκες του σε ενέργεια. Είναι ιστορικά γνωστό ότι η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για άλεση, άντληση και άρδευση καθώς και για την κίνηση των ιστιοφόρων πλοίων. η υδραυλική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε επίσης για άλεση και άρδευση ενώ η ηλιακή και η βιομάζα για θέρμανση και ξήρανση. Η διάδοση του ηλεκτρισμού με την κεντρική παραγωγή ενέργειας, σε συνδυασμό με την διασύνδεση των ηλεκτρικών δικτύων, περιόρισε σημαντικά την χρήση των ΑΠΕ και οδήγησε στην ανάπτυξη συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην μορφή που γνωρίζουμε σήμερα.

Ως *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας* ορίζονται οι φυσικοί διαθέσιμοι πόροι, οι οποίοι υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και δεν εξαντλούνται αλλά διαρκώς ανανεώνονται, ενώ παράλληλα δύνανται να μετατρέπονται σε ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια

Λόγω της εκβιομηχάνισης της παραγωγής κάθε είδους καταναλωτικών αγαθών όπως ήταν επόμενο αύξησε την κατανάλωση ενέργειας στα ύψη, έτσι η εντατική χρήση των ορυκτών καυσίμων (*γαιάνθρακες, πετρέλαιο, φυσικό αέριο*) και της πυρηνικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια, ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για τα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, τα οποία έχουν άμεσο αντίκτυπο στις κλιματικές συνθήκες. Παράλληλα, είναι δεδομένο ότι οι ενεργειακές ανάγκες συνεχώς θα αυξάνονται, αφού ο πληθυσμός της γης αυξάνεται αλλά και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου πολλαπλασιάζει τις δραστηριότητές του, οι οποίες τελικά απαιτούν κατανάλωση ενέργειας.

Η μόνη απάντηση, η οποία προς το παρόν διαφαίνεται ότι θα περιορίσει δραστικά τα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι η χρήση των *Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας* (Α.Π.Ε.). Αν και η τεχνολογία έχει κάνει σημαντικά βήματα προς τον τομέα αυτό, η εφαρμογή των Α.Π.Ε. βρίσκεται σε αρχικό ακόμη στάδιο. Η εκμετάλλευση του ήλιου, του ανέμου, του νερού, της γεωθερμίας και της βιομάζας, που αποτελούν πηγές ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον, μπορούν και πρέπει να γίνουν οικονομικά εκμεταλλεύσιμες, ώστε να συμβάλλουν στην αειφόρο ανάπτυξη.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, όπως η **ηλιακή**, η **αιολική**, η **γεωθερμική** και η **βιομάζα** έχουν τη μικρότερη επίδραση στο περιβάλλον, δίνοντας ένα εναλλακτικό τρόπο παραγωγής πλέον του συμβατικού, με τη χρήση **άνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου** και **πυρηνικής ενέργειας**. Σήμερα οι σταθμοί παραγωγής που λειτουργούν με άνθρακα παράγουν παγκόσμια το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως αυτή η φτηνή μέθοδος προκαλεί τη μεγαλύτερη καταστροφή στο περιβάλλον με την εκπομπή τοξικών αερίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1.1 Εισαγωγή

Οι ηλιακές φωτοβολταϊκές μονάδες, αποκαλούμενες φωτοβολταϊκά ή PV, είναι στερεάς κατάστασης συσκευές ημιαγωγών, χωρίς κινούμενα μέρη που μετατρέπουν το ηλιακό φως σε συνεχές ρεύμα. Αν και βασίζεται στην επιστήμη που άρχισε με την ανακάλυψη του Alexander Edmon D. Becquerel, (περί της επιρροής του φωτός στην τάση, στα ηλεκτρολυτικά κύτταρα) πάνω από 150 χρόνια πριν, η σημαντική ανάπτυξη άρχισε πραγματικά, μετά από την εφεύρεση του ηλιακού κυττάρου πυριτίου το 1954. Η πρώτη σημαντική εφαρμογή των φωτοβολταϊκών από τον άνθρωπο, ήταν να τροφοδοτηθούν γήινοι δορυφόροι προς το τέλος της δεκαετίας του '50, μια εφαρμογή, όπου η απλότητα και η αξιοπιστία ήταν κυρίαρχες και το κόστος ήταν σχεδόν αδιάφορο. Η τεράστια πρόοδος στην απόδοση φωτοβολταϊκών και τη μείωση δαπανών, οδηγούνται αρχικά από τα (διαστημικά προγράμματα αναγκών των Ηνωμένων Πολιτειών) που έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία 40 χρόνια. Από την αρχή της δεκαετίας του '70, συνεταιριστικές προσπάθειες ιδιωτικού/δημόσιου τομέα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, Ευρώπη, και Ιαπωνία ήταν οι αρχικοί οδηγοί τεχνολογίας. Σήμερα, η ετήσια παγκόσμια παραγωγή μονάδων είναι πάνω από 100 MW, το οποίο μεταφράζεται κατά προσέγγιση σε μια επιχείρηση ως \$1δισεκατομμύριο/χρόνο. Εκτός από την τρέχουσα χρήση φωτοβολταϊκών στο διάστημα, σήμερα το κόστος και η απόδοση τον καθιστούν επίσης κατάλληλο για πολλές απομονωμένες από το ηλεκτρικό δίκτυο εφαρμογές σε αναπτυσσόμενα και αναπτυσσόμενα μέρη του κόσμου, και η τεχνολογία στέκεται στο κατώφλι σημαντικών ενεργειακών εφαρμογών παγκοσμίως.

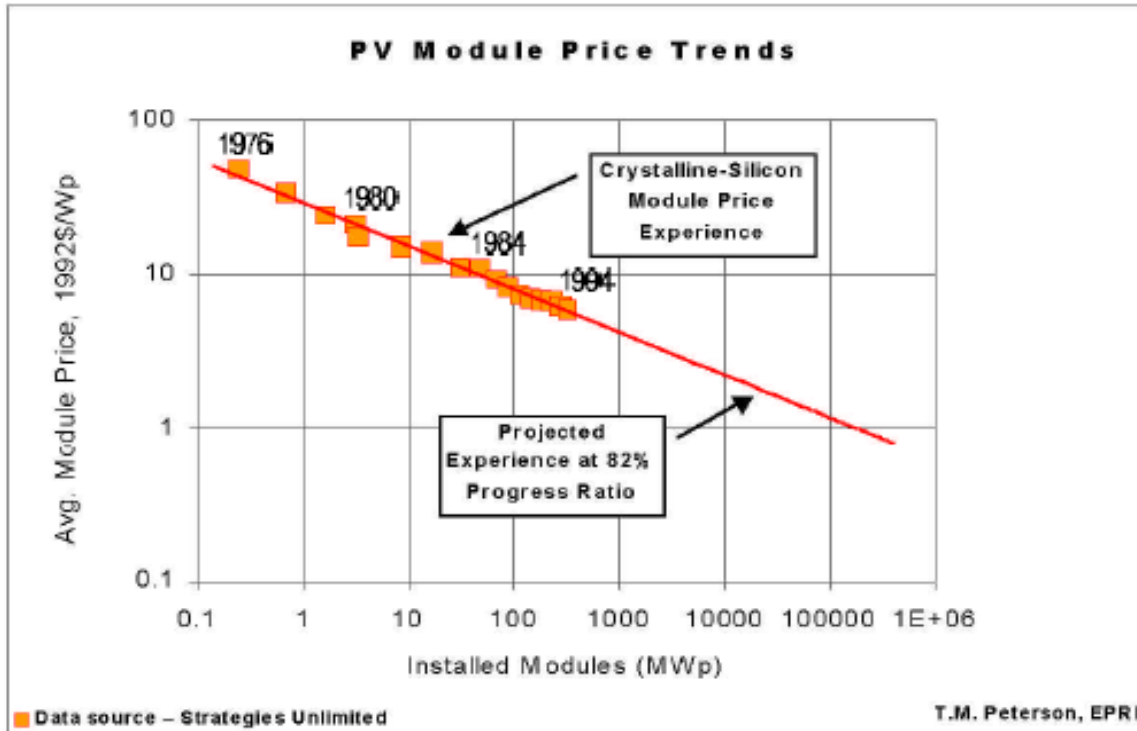
Τα φωτοβολταϊκά απολαμβάνουν τόσα πολλά πλεονεκτήματα που, το συγκριτικά υψηλό αρχικό κόστος του, μειώνεται σε ένα άλλο μέγεθος που είναι πολύ εύκολο να γίνει σχεδόν παντού παρών στα τέλη του 21ου αιώνα. Τα φωτοβολταϊκά έπειτα πιθανώς θα εφαρμοστούν σε πολλές κλιμακές σε απέραντα διαφορετικά περιβάλλον, από τα μικροσκοπικά κύτταρα που ενσωματώνονται και που τροφοδοτούν τις διαμαντένιες βάσεις στις οπτικοηλεκτρονικές συσκευές σε βαθιά φρεάτια μεγάλων χιλιομέτρων ως 100MW ή σε μεγαλύτερες κεντρικούς σταθμούς παραγωγικών εγκαταστάσεων που καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος χιλιομέτρων στην επιφάνεια της γης και στο διάστημα. Οι τεχνικές και οικονομικές κατευθυντήριες δυνάμεις που ευνοούν τη χρήση φωτοβολταϊκών ευρέως σε κάποιες εφαρμογές, θα είναι εξίσου διαφορετικές. Εντούτοις, μεταξύ τους θα είναι σε διάρκεια υψηλής αποδοτικότητας, με χαμηλότερο κόστος, και έλλειψη κινούμενων μερών, τα οποία συνδυάζουν να δώσουν μια πηγή οικονομικής ενέργειας με την ελάχιστη συντήρηση και την απaráμιλλη αξιοπιστία. Εν ολίγης, η απλότητα, η μεταβλητότητα, η αξιοπιστία, η χαμηλή περιβαλλοντική επίδραση, Και το απόλυτο χαμηλό κόστος του φωτοβολταϊκού, πρέπει να τον βοηθήσει να γίνει μια σημαντική πηγή οικονομικής ασφάλιστροποιοτικής δύναμης μέσα τα επόμενα 50 χρόνια.

Είναι εύκολο να προβλεφθεί η υπεροχή των φωτοβολταϊκών μέσα στον 21ο αιώνα, αλλά ο στόχος αυτός είναι δύσκολος καθώς απαιτεί την ακριβή πρόβλεψη της τροχιάς ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών προς εκείνο τον χρόνο. Οι τρεις εφαρμογές που περιγράφονται εδώ (οικιακά φωτοβολταϊκά εταιρικής χρήσης, επίπεδης-πλάκας λεπτής στρώσης φωτοβολταϊκά, και τα φωτοβολταϊκά συγκέντρωσης) επεξηγούν τα ιδιαίτερα εφικτά στοιχεία εκείνης της τάσης. Αυτές οι εφαρμογές πιθανόν θα ανθίσουν σε διαφορετικά ποσοστά και μπορούν όλες να μην αναπτυχθούν όπως προβλέφθηκαν. Επιπλέον, δεν είναι οι μόνες σημαντικές εφαρμογές που πιθανόν θα προκύψουν. Εντούτοις, τα τρία σενάρια που παρουσιάζονται χρησιμεύουν για να δώσουν μια αίσθηση της χρονικής κλίμακας στην οποία το φωτοβολταϊκό είναι πιθανό να εξελιχθεί από την παρόν κατάσταση του, στην κυρίαρχη χαμηλής τιμής συσκευή του τελευταίου μισού του επόμενου αιώνα. Κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος που καλύπτεται από αυτούς τους χαρακτηρισμούς, τα φωτοβολταϊκά θα εξελιχθούν από εξυπηρετώντας αγορές θέσεων τεχνολογίας, σε μια εισοδο και έπειτα παίζοντας έναν σημαντικό και αυξανόμενο ρόλο στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά. Μέχρι και 10% των Ηνωμένων Πολιτειών θα έχει την ικανότητα να έχει φωτοβολταϊκά μέχρι το 2030, και είναι σημαντικό ότι τα φωτοβολταϊκά θα χρησιμοποιηθούν παγκοσμίως ως παγκόσμια απαίτηση για ηλεκτρική ανάπτυξη.

1.1.2 Οικονομική Εξέλιξη

Η εμπειρική πρόοδος στις διαδικασίες κατασκευής συχνά επιδεικνύεται με τη βοήθεια των εννοιών 'μάθηση' ή 'εμπειρία' μιας καμπύλης. Συμβατικά, τέτοιες καμπύλες σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας τους λογαριθμικούς άξονες, για να παρουσιάσουν το κόστος ανά μονάδες εναντίον του συσσωρευτικού όγκου των αγαθών.

Το σχήμα 1 παρουσιάζει μία καμπύλη εμπειρίας πάνω από 20 έτη για τις τιμές μονάδας των φωτοβολταϊκών εναντίον των συνολικών πωλήσεων. Η τιμή και οι συνολικές πωλήσεις χρησιμοποιούνται ως πληρεξούσια για το κόστος και τον κατασκευασμένο όγκο επειδή πληροφορίες πραγματικών δαπανών και παραγωγής για ολόκληρη την βιομηχανία δεν είναι διαθέσιμες. Σημειώστε ότι, αν και τα σχεδιασμένα στοιχεία περιλαμβάνουν διάφορες τεχνολογίες, το κυρίαρχο τεχνολογικά κρυστάλλινο πυρίτιο θέτει το ρυθμό για τη σχέση τιμής-όγκου. Επομένως, αυτό το σχήμα περισσότερο αντιπροσωπεύει μια καμπύλη εμπειρίας για το φωτοβολταϊκό κρυστάλλινου πυρίτιου.



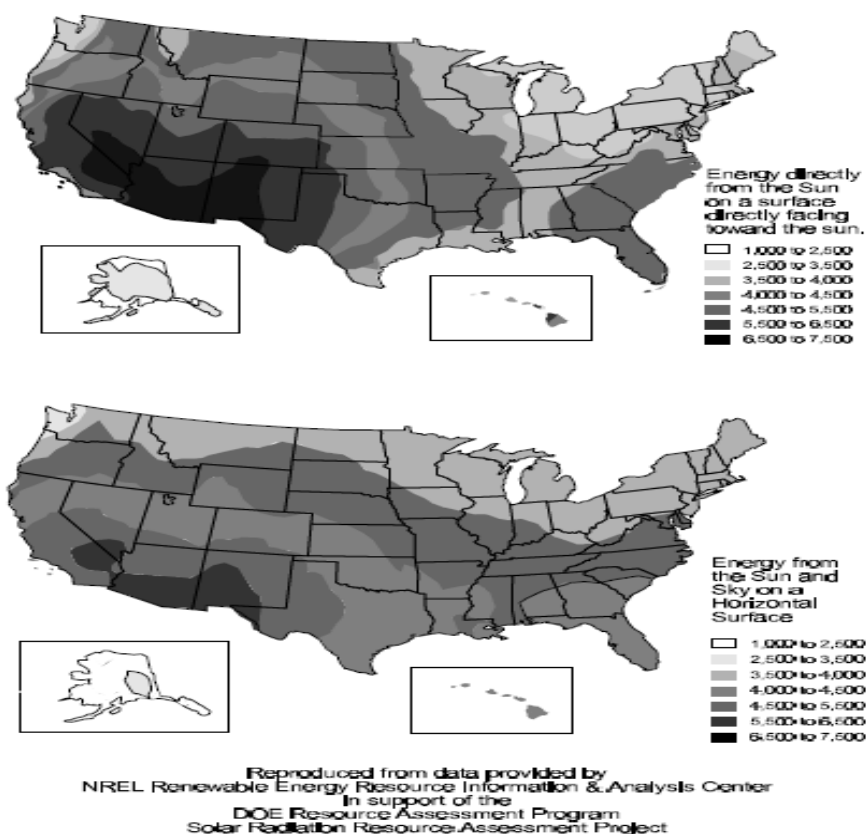
Σχήμα 1. Καμπύλη μελέτης για τα φωτοβολταϊκά κρυστάλλινου πυριτίου

Μια σημαντική αναχώρηση από την ιστορική τάση θα μπορούσε να προκληθεί από την εμφάνιση μιας πλήρους νέας τεχνολογίας όπου η διαδικασία εκμάθησης θα πρέπει να αρχίσει εκ νέου. Σε συνδυασμό τα λεπτής στρώσης και τα φωτοβολταϊκά συγκέντρωσης είναι πιθανόν υποψηφία για ακριβώς μια τέτοια θεμελιώδης μετατόπιση τεχνολογίας. Επειδή τα ιστορικά στοιχεία δεν είναι διαθέσιμα, πολλή αβεβαιότητα υπάρχει όσον αφορά τις μελλοντικές δαπάνες των λεπτής στρώσης και συστημάτων συγκέντρωσης των φωτοβολταϊκών που εξαρτώνται τόσο από τις χρηματοδοτήσεις Έρευνας και Ανάπτυξης όπου αρκετά δεδομένα της βιομηχανίας είναι απαραίτητα

1.1.3 Σύγκριση Τεχνολογίας

Ηλιακός πόρος: Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των συστημάτων συγκέντρωσης και άλλων συστημάτων φωτοβολταϊκών αναφέρεται στην χρησιμοποιημένη ηλιακή έρευνα. Συστήματα φωτοβολταϊκών συγκέντρωσης, χρησιμοποιούν το φως του ήλιου που είναι συνεπαγόμενος κάθετος στα ενεργά υλικά (άμεση κάθετη ηλιακή έκθεση). Άλλα συστήματα φωτοβολταϊκών χρησιμοποιούν και την άμεση και έμμεση (διάχυτη) ηλιακή ακτινοβολία. Στο σχήμα 2, είναι δύο χάρτες: ο πρώτος είναι ένας χάρτης της άμεσης κανονικής έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, ο δεύτερος είναι ένας χάρτης που απεικονίζει τη σφαιρική έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία για τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.

OVERVIEW OF PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGIES



Σχήμα 2. Άμεση κάθετη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία για τα φωτοβολταϊκά συγκέντρωσης (πάνω) και σφαιρική έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία για τα συστήματα κρυστάλλινου πυριτίου και λεπτής στρώσης φωτοβολταϊκών (κάτω).

Η κύρια συνέπεια αυτής της διαφοράς είναι ότι τα συστήματα συγκέντρωσης πρέπει να επεκταθούν στις περιοχές που είναι κυρίως χωρίς σύννεφα. Ενώ άλλα συστήματα φωτοβολταϊκών δεν έχουν αυτήν την απαίτηση, η συνολική ηλιακή ποιοτική έξοδος των πόρων επηρεάζει την απόδοση του συστήματος.

Επέκταση: Οι ανάγκες επέκτασης των δύο εφαρμογών εταιρικής κλίμακας που περιγράφονται σε αυτήν την έκθεση είναι παρόμοιες. Μέσης και οι μεγάλης κλίμακας επεκτάσεις έχουν τις σημαντικές απαιτήσεις εδάφους. Εντούτοις, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα συστήματα συγκέντρωσης είναι λιγότερο κατάλληλα για τις πολύ μικρής κλίμακας τοποθετήσεις (λιγότερο από μερικές δεκάδες των κιλοβάτ) που οφείλονται στις δαπάνες τους και στην πολυπλοκότητα.

Εφαρμογή: Τα οικιακά φωτοβολταϊκά είτε τροφοδοτούν με ρεύμα το δίκτυο είτε μειώνουν την ανάγκη του πελάτη για ρεύμα από το δίκτυο. Τα συστήματα μέσης και μεγαλύτερης κλίμακας προσθέτουν την ισχύ αυξητικά, μέχρι το σημείο να ταιριάζουν με τα σχέδια φορτίων, και μπορεί να μειώσει την ανάγκη για σημαντικές κύριες επενδύσεις στην κεντρική παραγωγή.

Κλιμακούμενο: Τα φωτοβολταϊκά συστήματα κλιμακώνονται εύκολα για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας μία ή περισσότερες μονάδες που παράγουν από λίγες δεκάδες kW μέχρι μεγαβάτ. Παραδείγματος χάριν, τα οικιακά φωτοβολταϊκά που χαρακτηρίζονται σε αυτή την έκθεση είναι μερικών kW στο μέγεθος, ενώ τα συγκέντρωσης και εταιρικά φωτοβολταϊκά λεπτής στρώσης είναι εφαρμογές πολλών μεγαβάτ.

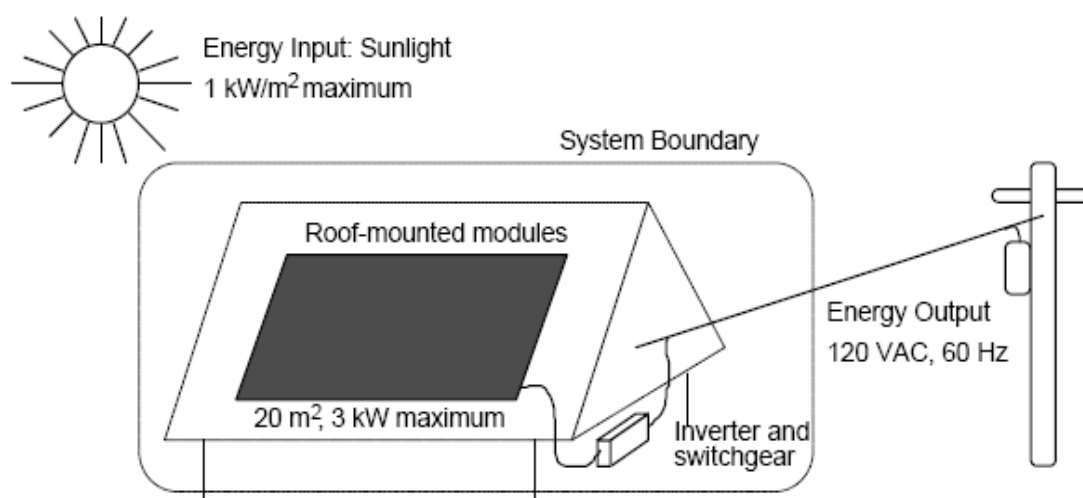
Χαμηλό Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης: Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν λίγα κινούμενα μέρη. Τα επίπεδου-κατόπτρου χωρίς ευθυγράμμιση δεν έχουν μετακίνηση μερών, και ακόμη και με ευθυγράμμιση δύο-αξόνων απαιτεί μόνο έναν σχετικά μικρό αριθμό αργόστροφων κινούμενων μερών. Αυτό τείνει να κρατήσει τις δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης σε χαμηλά επίπεδα. Πράγματι, κάποιες πρώτες ανά είδος ενεργειακά εγκαταστάσεις κόστισαν γύρω στα \$0.005/kWh.

1.1.4 Περίληψη

Οι εφαρμογές φωτοβολταϊκών που περιγράφονται εδώ είναι και ανταγωνιστικές και αμοιβαία ενθαρρυντικές συγχρόνως. Είναι ανταγωνιστικές επειδή η επιτυχής αναζήτηση μιας εφαρμογής θα εκτρέψει τον ενθουσιασμό και τους πόρους από άλλες σε κάποιο βαθμό, αλλά και ενθαρρυντικές, επειδή οι πρόοδοι της τεχνολογίας και του μάρκετινγκ που τροφοδοτούνται από οποιοδήποτε από αυτούς, θα βοηθήσει τον ανταγωνισμό ως ένα ορισμένο βαθμό για τις κοινές αγορές.

RESIDENTIAL PHOTOVOLTAICS

1.0 System Description



Σχήμα 1. Η σχηματική αναπαράσταση οικιακών συστημάτων φωτοβολταϊκής ενέργειας

Οι φωτοβολταϊκές μονάδες είναι στερεάς κατάστασης συσκευές ημιαγωγών μεγάλης έκτασης που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι μεμονωμένες μονάδες φωτοβολταϊκών παράγουν άμεση ροπή ηλεκτρικής ενέργειας (dc), και είναι διαθέσιμες σε μεγέθη από 10 W έως 300 W. Η πραγματική παραγωγή δύναμης εξαρτάται από την ένταση (W/m^2) του φωτός του ήλιου, την λειτουργική θερμοκρασία της μονάδας, και από άλλους παράγοντες. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες σχεδιάστηκαν και ταξινομήθηκαν κατά μέγεθος έχοντας ως σκοπό να παράγουν την επιθυμητή ηλεκτρική παραγωγή. Η πρόσθεση τμημάτων βελτίωσης της ηλεκτρικής δύναμης (ηλεκτρικοί διακόπτες, κυκλώματα προστασίας διόδων, μετατροπείς συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα, κ.λπ....) είναι απαραίτητη για να διασυνδεθεί η παραγωγή του φωτοβολταϊκού με το ηλεκτρικό φορτίο. Η προκύπτουσα συνένωση των συστατικών είναι γνωστή ως το φωτοβολταϊκό σύστημα.

Ένα οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα επιλέχτηκε επειδή είναι μια καθορισμένη με σαφήνεια τεχνολογική εφαρμογή, και αυτό μπορεί να έχει μια σημαντική επίδραση στην ενεργειακή χρήση μέσα στις Ηνωμένες Πολιτείες, και είναι μια αποτελεσματική εφαρμογή που χρησιμοποιεί τις ιδιότητες των φωτοβολταϊκών συστημάτων για το μέγιστο οικονομικό όφελος. Φωτοβολταϊκά συστήματα που θα είναι κοντά στους πελάτες και στο δίκτυο αναμένεται να είναι μια πρόωρη μεγάλης κλίμακας αγορά για τα ενεργειακά φωτοβολταϊκά συστήματα, επειδή αυτά τα συστήματα έχουν μεγάλα οικονομικά πλεονεκτήματα λόγω της θετικής ιδιότητας της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών. Customer Siting σημαίνει ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκονται, πολύ δίπλα, στο σημείο χρήσης, και περιλαμβάνουν εφαρμογές όπως τα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα στεγής, φωτοβολταϊκά συστήματα στεγής εμπορικών κτιρίων και ενσωματωμένα σε κτίρια φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτή η έκθεση εξετάζει τα φωτοβολταϊκά συστήματα κατοικιών, αλλά πολλά από τα σχόλια αναφέρονται σε άλλους τύπους φωτοβολταϊκών συστημάτων που προορίζονται για πελάτες

Το φωτοβολταϊκό σύστημα στέγης (του σχήματος 1) που εξετάζεται σε αυτήν την έκθεση δεν έχει καμία ενεργειακή αποθήκευση. Μερική (ή το μεγαλύτερο μέρος) της ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περιοχή, και μια συμφωνία αγοράς ενέργειας επιτρέπει την υπόλοιπη ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται να τροφοδοτηθεί το υπάρχον δίκτυο γενικής χρήσης. Αυτά τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι γενικά ανάμεσα σε 1 και 5 kW, και του ονομαστικού συστήματος που περιέχεται σε αυτή την έκθεση είναι 3 kW. (Στην πραγματικότητα, το μέγεθος του συστήματος είναι σταθερό στα 20 μ^2 και το συνεχούς ρεύματος ποσοστό αυξάνεται με τον χρόνο σε 4 kW). Οι φωτοβολταϊκές μονάδες τοποθετούνται στη στέγη ή, στο μέλλον, μπορούν να σχεδιαστούν συγκεκριμένα σαν στοιχεία κατασκευής σκεπής. Οι μονάδες που χαρακτηρίζονται εδώ χρησιμοποιούν ηλιακά κύτταρα κρυστάλλινου πυριτίου. Στο μέλλον, περίπου το 2020, προηγμένες φωτοβολταϊκές τεχνολογίες θα χρησιμοποιηθούν όπως η ταινία ή το φύλλο κρυστάλλου πυριτίου, και οι διάφορες επιστρώσεις (άμορφου πυριτίου, τελλουρίδιου καδμίου, ή ινδίου χαλκού) μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Ενώ καμία ενεργειακή αποθήκευση δεν περιλαμβάνεται στο σύστημα που παρουσιάζεται εδώ, η ενεργειακή αποθήκευση μπορεί να γίνει οικονομική στο μέλλον.

Δύο σύνολα συστημάτων περιγράφονται εδώ αυτό για έναν ενιαίο ιδιοκτήτη σπιτιού ο οποίος χρηματοδοτεί το σύστημα όπου του ανήκει και το μαζικό σύστημα γειτονιάς μέσω οργάνων ή από μια παραγωγική επιχείρηση που εγκαθιστά φωτοβολταϊκά συστήματα σε στέγες πελατών.

1.1.5 Εφαρμογή, Οφέλη, και Επιδράσεις Συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά ενεργειακά συστήματα αυτήν την περίοδο χρησιμοποιούνται σε σχετικά μικρά ηλεκτρικά φορτία (χαρακτηριστικά λιγότερο από 100 kWh/τον μήνα) δεν μπορούν να τροφοδοτηθούν βολικά από ένα υπάρχον δίκτυο ηλεκτροδότησης. Σαν αξίες της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας μέσω των βελτιώσεων τεχνολογίας και της αυξανόμενης αυτοματοποιημένης κατασκευής, τα φωτοβολταϊκά ενεργειακά συστήματα θα γίνουν μία βιώσιμη επιλογή για μια αυξανόμενη ποικιλομορφία των φορτίων που απαιτούν περισσότερη δύναμη από τα τυπικά μικρά εκτός δικτύου συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα. Τα μοναδικά πλεονεκτήματα του φωτοβολταϊκού είναι η καλή αντιστοιχία σε πολλά ημερήσια σχέδια φορτίων, χαμηλή Λειτουργία και Συντήρηση, η περιβαλλοντικά καλοκάγαθη, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που αναμένεται να είναι σημαντικοί παράγοντες στο πρόωρο αποτελεσματικό κόστος των εφαρμογών των φωτοβολταϊκών ενεργειακών συστημάτων.

Όσο αφορά τα φωτοβολταϊκά για να έχουν μια σημαντική συμβολή στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η παραγωγή τους θα πρέπει να διασυνδέθει με το ηλεκτρικό δίκτυο και να ανταγωνίζεται με τις υπάρχουσες πηγές ηλεκτρικής ενεργειακής παραγωγής. Το κόστος κάλυψης τις ωφέλιμης ζήτησης είναι μη σταθερό αλλά ποικίλλει σύμφωνα με το επίπεδο του φορτίου. Αυτό το υψηλό κόστος οφείλεται στη χρησιμοποίηση πηγών παραγωγής με υψηλές σταθερές δαπάνες και χαμηλή αποδοτικότητα (αλλά συχνά με χαμηλές ή υποτιμημένες κύριες δαπάνες), απώλειες που δημιουργούνται λόγω του αυξανόμενου φόρτου του συστήματος Μετάδοσης και Διανομής κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής, και του αυξανόμενου μεγέθους του συστήματος μετάδοσης και διανομής να διαχειρίζεται τα φορτία αιχμής. Το καθαρό αποτέλεσμα είναι ότι το πλήρες κόστος για να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια σε έναν πελάτη κατά τη διάρκεια των θερινών αιχμών μπορεί να είναι της τάξης του \$0.40/kWh. Αν και τα φωτοβολταϊκά παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μόνο όταν ο πόρος είναι διαθέσιμος, η παραγωγή τείνει να συσχετίσει εύλογα με τα καθημερινά σχέδια ενεργειακής απαίτησης, παραδίδοντας την παραγωγή του κατά τη διάρκεια των περιόδων με την υψηλότερη ανάγκη. Προκειμένου να μειωθούν τα φορτία αιχμής, μερικές εταιρίες έχουν εφαρμοσει τιμολόγηση ανάλογα την ώρα κατά τη διάρκεια της μέρας, μια στρατηγική που παρέχει τα κίνητρα στους χρήστες για να εφαρμόσουν τα μέτρα ενεργειακής συντήρησης και έχουν υιοθετήσει τις επιτόπιες πηγές παραγωγής που μειώνουν τα μέγιστα φορτία στην εταιρία. Η ενέργεια των φωτοβολταϊκών ταιριάζει καλά στο να ανταγωνιστεί με άλλες πηγές παραγωγής ενέργειας αιχμής επειδή το ενεργειακό προφίλ των φωτοβολταϊκών περιπτώσεων ταιριάζει με το προφίλ ηλεκτρικών φορτίων σε πολλές περιοχές της χώρας.

Εκτός από την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων αιχμής, τα φωτοβολταϊκά είναι κλιμακούμενα, δηλ., το μέγεθος και η θέση μπορεί να βελτιστοποιηθεί για να καλύψει τις οικιακές και τις εταιρικές ανάγκες. Μερικά από τα πιθανά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών περιλαμβάνουν:

- 1) Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να συλλάβουν οφέλη από την διανεμημένη ηλεκτρική ενεργειακή παραγωγή εκεί όπου εταιρικές δαπάνες που συνδέονται με τη Μετάδοση και την Διανομή μειώνονται με τον εντοπισμό της ηλεκτρικής πηγής παραγωγής κοντά στο σημείο της χρήσης.
- 2) Τα φωτοβολταϊκά συστήματα πελατιακής χρήσης βοηθούν να ελαχιστοποιηθούν οι δαπάνες του συστήματος επειδή υπάρχουν ελάχιστες δαπάνες που συνδέονται με την απόκτηση και την προετοιμασία περιοχών και υπάρχει γενικά μια προϋπάρχουσα εταιρική σύνδεση στην περιοχή.
- 3) Τα φωτοβολταϊκά συστήματα πελατιακής χρήσης προσαρμόζονται στο πιάο εύκαμπτο απορρυθμισμένο εταιρικό περιβάλλον όπου η παραγωγή δεν είναι πλέον απαραίτητη κύριος από την εταιρεία. Παραδείγματος χάριν, Το οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα θα μπορούσε να ανήκει στην εταιρεία, από έναν ανεξάρτητο παραγωγό ενέργειας που θα ενοικιάζει την στέγη από τον κάτοχο του σπιτιού, ή από τον κάτοικο.

Επιπλέον, τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούν μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που δεν παράγει καμία εκπομπή κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Έρευνες έδειξαν ότι πολλοί πελάτες είναι πρόθυμοι να πληρώσουν ένα επί πλέον ποσό για ένα προϊόν που έχει περιβαλλοντικά οφέλη όταν συγκρίνεται με άλλα ανταγωνιστικά προϊόντα.

Λόγω των οφελών που περιγράφονται πιο πάνω, τα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα αναμένονται να είναι μια από τις πρώτες εφαρμογές συνδεδεμένες με το δίκτυο για να φθάσει σε αποτελεσματικό κόστος με τις υπάρχουσες ηλεκτρικό-ενεργειακές πηγές. Τα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα αντιπροσωπεύουν επίσης μια ενδεχομένως μεγάλη αγορά. Υπάρχουν περίπου δέκα εκατομμύρια μονοκατοικημένα σπίτια που βρίσκονται στις περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών που έχουν άνω του μετρίου ηλιοφάνεια και την κατάλληλη κλίση στις στέγες με ασκίαστη πρόσβαση στο άμεσο φως του ήλιου. Αυτή η αγορά έχει μια δυνατότητα πάνω από 30 GW. Για τους ιδιοκτήτες σπιτιού για να αξιοποιήσουν πλήρως την ενέργεια των οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων, θα ήταν απαραίτητη για τη συμφωνία αγοράς ενέργειας μεταξύ της εταιρίας και του ιδιοκτήτη του συστήματος να συλλογιστούν μερικές από τις οικονομικές τιμές που περιγράφονται ανωτέρω.

Η ηλιακή ενέργεια των φωτοβολταϊκών παρέχει διάφορα άλλα οφέλη εκτός από την αξία της ενέργειας. Μερικά από αυτά τα οφέλη περιλαμβάνουν τα ακόλουθα: καμία κατανάλωση καυσίμων ή ύδατος, χαμηλή συντήρηση,

βελτιωμένη εθνική ενεργειακή ασφάλεια οικονομικά σημαντική τεχνολογία εξαγωγής για τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και αποφυγή παραγωγής του CO². Λόγω των πλεονεκτημάτων που αναφέρονται ανωτέρω και τις ανησυχίες που συνδέονται με τη παγκόσμια αλλαγή κλίματος, το Τμήμα Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής ανήγγειλε μια πρωτοβουλία να προωθηθεί η εγκατάσταση ενός εκατομμύριου κορυφαίων συστημάτων στεγών (ηλιακός θέρμανση και φωτοβολταϊκά), μέχρι το έτος 2010,. Η Ένα εκατομμύριο ηλιακές στέγες προκαταρκτικά είναι μια αναγνώριση της ετοιμότητας της κατοικημένων και εμπορικών ηλιακών ενεργειακών συστημάτων στέγης για να γίνει μια σημαντική πηγή ενέργειας για τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής . Η τεχνολογία και οι ρυθμιστικές βελτιώσεις που αναπτύσσονται κάτω από αυτήν την πρωτοβουλία θα βοηθήσει να διευκολύνει τη γρηγορότερη εισαγωγή των οικιακών φωτοβολταϊκών ενεργειακών συστημάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, καθώς οι δαπάνες μειώνονται. Το κόστος και άλλα τεχνολογικές αποφάσεις και ζητήματα συζητούνται παρακάτω.

1.1.6 Τεχνολογικές Υποθέσεις και Ζητήματα

Τα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα δεν έχουν ακόμα ανταγωνιστικό κόστος με την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου και τα περισσότερα από τα συστήματα που είναι εγκατεστημένα μέχρι σήμερα έχουν επιχορηγηθεί. Πολλά από αυτά εγκαταστάθηκαν στην Ιαπωνία και στην Ευρώπη, όπου υπάρχει σημαντική δημόσια υποστήριξη καθαρών πηγών ενέργειας. Ο όγκος των φωτοβολταϊκών μονάδων που πωλούνται σήμερα, και των εγκατεστημένων οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων μέχρι σήμερα, χρησιμοποιούν ηλιακές μονάδες με ηλιακά κύτταρα κρυστάλλινου πυριτίου. Επίσης, τα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται σήμερα στις εφαρμογές όπου δεν υπάρχει χαμηλού κόστους πηγή ηλεκτρικής ενέργειας δικτύου.

Η πρόοδος της τεχνολογίας που περιγράφεται εδώ υποθέτει μια τακτική επέκταση και μια ανάπτυξη της αγοράς για οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα, και συνεχής βελτίωση στο κόστος και στην απόδοση των φωτοβολταϊκών ενοτήτων. Δεδομένου ότι η αγορά για αυτά τα συστήματα αυξάνεται, οι δαπάνες εγκατάστασης και η τυποποίηση , μαζί με τις βελτιωμένες διαδικασίες κατασκευής και την αυξανόμενη αποδοτικότητα μετατροπής, αναμένονται να μειώσουν τα διάφορα έξοδα συστατικών σημαντικά. Προσδιορισμός των πρόωρων οικονομικών αποδοτικών αγορών και το μάρκετινγκ της "πρασινής" ενέργειας θα είναι κρίσιμο για την επέκταση της αγοράς τα πρώτα έτη όταν ακόμα οι δαπάνες των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα είναι πολύ υψηλότερες από την ηλεκτρική ενέργεια δικτύου. Αυτό το στάδιο μπορεί να βοηθηθεί μέσω των δημόσιων και ιδιωτικών χρηματοδοτημένων προγραμμάτων.

Περαιτέρω τεχνολογικές βελτιώσεις για να μειωθεί το κόστος και να βελτιωθεί η απόδοση των φωτοβολταϊκών μονάδων και των υπόλοιπων τμημάτων του συστήματος απαιτούνται. Οι ουσιαστικές μειώσεις των δαπανών και οι βελτιώσεις στην αποδοτικότητα έχουν πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 20 ετών. Αυτή η πρόοδος έχει βοηθηθεί πολύ από την δημόσια χρηματοδότηση Έρευνα και Ανάπτυξη. Η συνέχεια αυτής της Έρευνας και Ανάπτυξης είναι αποφασιστική για περαιτέρω πρόοδο δεδομένου ότι τα περιθώρια κέρδους στη βιομηχανία φωτοβολταϊκών ήταν ανεπαρκή για να υποστηρίξει ένα επαρκές ιδιωτικό έρευνητικό και ανάπτυξιακό πρόγραμμα. Η πρόσφατη πρόοδος στην φωτοβολταϊκή τεχνολογία κρυστάλλινου πυριτίου ήταν πολύ βοηθημένη από τα χρηματοδοτούμενα από τα δημόσια προγράμματα Έρευνας και Ανάπτυξης όπως το Πρόγραμμα Τεχνολογίας Κατασκευής Φωτοβολταϊκών του Αμερικανικού Υπουργείου Ενέργειας (PVMaT) και ένα Δημόσιο Χρηματοδότησιμο Εργαστήριο του Αμερικανικού Υπουργείου Ενέργειας και πανεπιστημιακή Έρευνα και Ανάπτυξη. Έναντι των παρουσών φωτοβολταϊκών μονάδων κρυστάλλινου-πυριτίου, η λεπτή στρώση τεχνολογία στα φωτοβολταϊκά υπόσχεται μείωση στις δαπάνες λόγω της έμφυτης χαμηλότερης περιεκτικότητας του υλικού και ενέργειας, και σε ένα σχέδιο προϊόντων που θα μπορούσε να είναι κατασκευάσιμο, επίπεδη επεξεργασία των μεγάλων σε έκταση υποστρωμάτων. Το Αμερικανικό Υπουργείο Ενέργειας και τα ιδιωτικά προγράμματα Έρευνας και Ανάπτυξης συνέβαλαν στην ανάπτυξη αυτής της απολύτως νέας τεχνολογίας, και η πρώτες μεγάλης κλίμακας, > 5 MW/έτος, λεπτή στρώση φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις άρχισαν την λειτουργία τους το 1997. Τέλος, τα υπολοιπα συστατικά είναι ένας σημαντικός παράγοντας δαπανών στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Φωτοβολταϊκές μονάδες με ενσωματωμένους αναστροφείς ή ενσωματωμένα στο κτίριο χαρακτηριστικά μπορούν να ασκήσουν σημαντική επίδραση στις δαπάνες των φωτοβολταϊκών συστημάτων δικτύου .

1.1.7 Απόδοση και Κόστος

Δύο σύνολα δεικτών απόδοσης και δαπανών για το οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα παρουσιάζονται σε αυτήν την έκθεση. Ο πίνακας 1 παρουσιάζει αριθμούς για έναν ιδιοκτήτη σπιτιού, ο οποίος χρηματοδοτεί, είναι κάτοχος και λειτουργεί ένα σύστημα στέγης.

Ο πίνακας 2 παρουσιάζει αριθμούς για μια συμπαγή ομαδοποίηση γειτονιάς των οικιακών συστημάτων, όπου μια εταιρεία ή ένας ιδιώτης είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξη είναι κάτοχος, χρηματοδοτεί, και παρέχει συντήρηση. Ο πίνακας 2 επεξηγεί την επιρροή της οικονομικής κλίμακας στα έξοδα του συστήματος.

1.1.8 Επισκόπηση Εξέλιξης

Οι προβολές αποδοτικότητας και δαπανών των φωτοβολταϊκών μονάδων απεικονίζουν την αναμενόμενη εξελικτική ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών μονάδων κρυστάλλινου πυριτίου. Η φυσική των υψηλής απόδοσης εργαστηριακών ηλιακών κυττάρων κρυστάλλινου πυριτίου τώρα κάλλιστα γίνεται κατανοητή, και η καλύτερη απόδοση εργαστηριακών κυττάρων σήμερα είναι 24%, πλησιάζει στις καλύτερες θεωρητικές προσδοκίες, περίπου 30%. Ως εκ τούτου, η καλύτερη απόδοση εργαστηριακών κυττάρων αναμένεται να αυξηθεί μεταξύ 25% και 28% μέχρι το 2030.

Πίνακας 1. Απόδοση και Ενδείξεις Κόστους (Οικιακά Ιδιόκτητα Φωτοβολταϊκά Συστήματα)

INDICATOR NAME	UNITS	Base Case 1997		2000		2005		2010		2020		2030	
		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %	
Unit Size	kW _{ac}	2.3		2.6		2.8		3.0		3.2		3.4	
Unit Size	kWp dc	2.8		3.2		3.4		3.6		3.8		4.0	
Unit Size (module area)	m ²	20		20		20		20		20		20	
PV Module Performance Parameters													
PV Module (dc) efficiency	%	14		16	10	17	15	18	20	19	20	20	25
Inverter Efficiency	%	90		91	10	92	15	93	20	94	20	95	25
ac System Efficiency	%	11.3		13.1	10	14.1	15	15.1	20	16.1	20	17.1	25
Annual System Performance in Average-Insolation Location (global sunlight, in plane, 1800 kWh/m ² -yr)													
ac Capacity Factor	%	20.5		20.5		20.5		20.5		20.5		20.5	
Energy/Area	kWh/m ² -yr	204		236		253		271		289		308	
Energy Produced	kWh/yr	4,082		4,717		5,067		5,424		5,787		6,156	
Annual System Performance in High-Insolation Location (global sunlight, in plane, 2300 kWh/m ² -yr)													
ac Capacity Factor	%	26.3		26.3		26.3		26.3		26.3		26.3	
Energy/Area	kWh/m ² -yr	261		301		324		347		370		393	
Energy Produced	kWh/yr	5,216		6,028		6,475		6,930		7,394		7,866	
Capital Cost (1997\$)													
dc Unit Costs													
PV Module Cost	\$/Wp	3.75		3.04	30	2.34	30	1.80	30	1.07	30	0.63	30
Power-Related BOS	\$/Wp	1.50		1.22	30	0.94	30	0.72	30	0.43	30	0.25	30
Area-Related BOS	\$/m ²	170		138	30	106	30	82	30	48	30	29	30
Area-Related BOS	\$/Wp	1.21		0.86	30	0.62	30	0.45	30	0.25	30	0.14	30
Total BOS	\$/Wp	2.71		2.08	30	1.56	30	1.17	30	0.68	30	0.40	30
System Total	\$/Wp	6.46		5.12	30	3.90	30	2.98	30	1.75	30	1.03	30
System Total	\$	18,100		16,400	30	13,300	30	10,700	30	6,600	30	4,100	30
ac Unit Costs	\$/Wp	7.86		6.30	30	4.74	30	3.58	30	2.08	30	1.21	30
System Operations and Maintenance Cost													
Maintenance (annual)	\$/m ² -yr	2.0		2.0	30	2.0	50	2.0	50	2.0	50	2.0	50
Total Annual Costs	\$/yr	40		40	30	40	50	40	50	40	50	40	50

1. Δαπάνες BOS αναλογα την εκταση που επαναδιατυπώνονται στο αντίτιμο "συσχετισμού ενέργειας"
2. Οι στήλες για +/- % αναφέρεται στην αβεβαιότητα που συνδέεται με μια δεδομένη εκτίμηση.
3. Η οικιακή εγκατάσταση συστημάτων απαιτεί αρκετές ώρες ή ημέρες.

Πίνακας 2. Απόδοση και Ενδείξεις Κόστους (Οικιακά Φωτοβολταϊκά Συστήματα – Γειτονικό Δίκτυο)

INDICATOR NAME	UNITS	Base Case 1997		2000		2005		2010		2020		2030	
		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %	
Unit Size	kW ac	2.3		2.6		2.8		3.0		3.2		3.4	
Unit Size	kWp dc	2.8		3.2		3.4		3.6		3.8		4.0	
Unit Size (module area)	m ²	20		20		20		20		20		20	
Number of Houses	–	130		385		357		333		313		294	
Plant Size	kW ac	299		1,001		1,000		999		1,002		1,000	
PV Module Performance Parameters													
PV Module (dc)	%	14		16	10	17	15	18	20	19	20	20	25
Inverter Efficiency	%	90		91	10	92	15	93	20	94	20	95	25
ac System Efficiency	%	11.3		13.1	10	14.1	15	15.1	20	16.1	20	17.1	25
Annual System Performance in Average-Insolation Location (global sunlight, in plane, 1800 kWh/m²-yr)													
ac Capacity Factor	%	20.5		20.5		20.5		20.5		20.5		20.5	
Energy/Area	kWh/m ² -yr	204		236		253		271		289		308	
Energy Produced/Unit	kWh/yr	4,082		4,717		5,067		5,424		5,787		6,156	
Annual System Performance in High-Insolation Location (global sunlight, in plane, 2300 kWh/m²-yr)													
ac Capacity Factor	%	26.3		26.3		26.3		26.3		26.3		26.3	
Energy/Area	kWh/m ² -yr	261		301		324		347		370		393	
Energy Produced/Unit	kWh/yr	5,216		6,028		6,475		6,930		7,394		7,866	
Capital Cost (1997\$)													
dc Unit Costs													
PV Module Cost	\$/Wp	3.15		2.55	30	1.97	30	1.51	30	0.90	30	0.53	30
Power-Related BOS	\$/Wp	1.30		1.05	30	0.81	30	0.62	30	0.37	30	0.22	30
Area-Related BOS	\$/m ²	150		122	30	94	30	72	30	43	30	25	30
Area-Related BOS	\$/Wp	1.07		0.76	30	0.55	30	0.40	30	0.22	30	0.13	30
Total BOS	\$/Wp	2.37		1.81	30	1.36	30	1.03	30	0.59	30	0.35	30
System Total	\$/Wp	5.52		4.37	30	3.33	30	2.54	30	1.49	30	0.88	30
System Total	\$	15,500		14,000	30	11,300	30	9,100	30	5,700	30	3,500	30
ac Unit Costs	\$/Wp	6.72		5.34	30	4.04	30	3.05	30	1.77	30	1.04	30
System Operations and Maintenance Cost													
Maintenance (annual)	\$/m ² -yr	2.0		2.0	30	2.0	50	2.0	50	2.0	50	2.0	50
Unit Annual Costs	\$/yr	40		40	30	40	50	40	50	40	50	40	50

1. Οι στήλες για +/- % αναφέρεται στην αβεβαιότητα που συνδέεται με μια δεδομένη εκτίμηση.
2. Η οικιακή εγκατάσταση συστημάτων σε όλα τα σπίτια υπολογίζεται στους 6 μήνες

Στο μέλλον, ξεκινώντας από το 2020, μπορούν επίσης να δουν την εισαγωγή των ενσωματωμένων σε κτίρια φωτοβολταϊκών στοιχείων που έχει πολλή βελτιωμένη αισθητική και μπορεί περαιτέρω να μειώσει τις καθαρές δαπάνες συστημάτων με την αντικατάσταση άλλων υλικών οροφής. Μελλοντικά επίσης θα γίνει εισαγωγή της τεχνολογίας λεπτής στρώσης στα φωτοβολταϊκά. Τα ενσωματωμένα σε κτίρια φωτοβολταϊκά και η τεχνολογία λεπτής στρώσης έχουν τη χαμηλότερη απόδοση έναντι των φωτοβολταϊκών μονάδων κρυστάλλινου πυριτίου προς το παρόν. Η αποδοτικότητα των μονάδων είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα για τα εμπορικά και οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα στεγών επειδή το διαθέσιμο διάστημα είναι αμετάβλητο. Παρά τις πιθανές βελτιώσεις στο εμβαδόν (\$/μ²) ή την ενέργεια (\$/ω) οι δαπάνες αυτές των εξελιγμένων φωτοβολταϊκών τεχνολογιών, η εισαγωγή τους στα οικιακά και εμπορικά φωτοβολταϊκά συστήματα στεγών θα απαιτήσουν πιθανώς επίπεδα απόδοσης συγκρίσιμα με αυτά των φωτοβολταϊκών κρυστάλλινου πυριτίου.

1.1.9 Συζήτηση Απόδοσης και Δαπανών

Όπως υποδεικνύεται στους πίνακες 1 και 2, το φυσικό μέγεθος ενός μεμονωμένου οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος υποτίθεται ότι παρέμεινε σταθερό στα 20 μ², ώστε να εφαρμόζει μέσα στο ανεμπόδιο διάστημα διαθέσιμο στη στραμμένη προς το νότο κλίση μιας τυπικής οικιακής στέγης. Οι μονάδες συνεχούς ρεύματος αυξάνονται από 2,8 kW το 1997 σε 3,2 kW το 2000 και σε 4,0 kW το 2030. Η εκτιμημένη αποδοτικότητα ενέργειας μιας συνεχούς ρεύματος μονάδας είναι για πρότυπες καταστάσεις αναφοράς (1 kW/m², 25°C/77°F) εκτιμημένη ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος είναι το προϊόν μίας συνεχούς ρεύματος μονάδας και τις αποδοτικότητας του μετατροπέα.

Η παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά είναι οποιαδήποτε στιγμή άμεσα ανάλογη προς τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια (έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία). Το κόστος της παραγωγή της ηλιακής ενέργειας από φωτοβολταϊκά είναι επομένως αντιστρόφως ανάλογη προς την ηλιακή έκθεση, η ηλιακή έκθεση εξαρτάται από γεωγραφικό πλάτος, τοπικό κλίμα, και μοντάρισμα φωτοβολταϊκών μονάδων. Το μοντάρισμα φωτοβολταϊκών μονάδων αναφέρεται στον προσδιορισμό θέσης της φωτοβολταϊκής μονάδας όσο αναφορά την θέση του ήλιου, μια φωτοβολταϊκή συστοιχία παρακολουθεί και συλλέγει το μέγιστο διαθέσιμο φως του ήλιου καθώς ο ήλιος αλλάζει τοποθεσία στον ουρανό. Τα οικιακά συστήματα γενικά χρησιμοποιούν σταθερές συστοιχίες. Η έκθεση στην ηλιακή έκθεση ποικίλλει μεταξύ 1,6 και 2,4 MWh/m²- ανά έτος για μια στραμμένη προς το νότο, σταθερή συστοιχία. Αυτή η έκθεση εξετάζει και μέσης ηλιακής έκθεσης τοποθεσίες (1,8 MWh/m²- έτη) και υψηλής έκθεσης τοποθεσίες (2,3 MWh/m²- έτη). Η υψηλής έκθεσης τοποθεσία είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για τις πρόωρες οικονομικές αποδοτικές εφαρμογές. Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή είναι το προϊόν της απόδοσης του συστήματος και της ηλιακής έκθεσης. Για τον πίνακα 1, οι δαπάνες της φωτοβολταϊκής μονάδας, των συστημάτων ελέγχου που είναι σχετικά με την ενέργεια, και των συστημάτων ελέγχου που είναι σχετικά με την τοποθεσία για το έτος αναφοράς βασίστηκαν στο πρώτο από τα λίγα μεγάλα έργα εταιρικών χρηματοδοτούμενων οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπου τα σπίτια ήταν ευρέως διασκορπισμένα.

Αυτή τη στιγμή, οι χαμηλής τάσης εναλλάκτες κοστίζουν λιγότερο ανά εκτιμημένη ισχύ από τους εναλλάκτες υψηλής τάσης αφού παρόμοιοι εναλλάκτες κατασκευάζονται ήδη εμπορικά σε μικρές ποσότητες για άλλες εφαρμογές (συνεχής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος). Εντούτοις, τα χαμηλής τάσης συστήματα έχουν τις υψηλότερες δαπάνες ισορροπίας συστήματος που οφείλονται στις αυξανόμενες απαιτήσεις καλωδίωσης. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες εναλλασσόμενου ρεύματος έχουν το χαμηλότερο κόστος συστήματος, αλλά οι εναλλάκτες για τις φωτοβολταϊκές μονάδες εναλλασσόμενου ρεύματος έχουν προς το παρόν ένα υψηλότερο κόστος. Ένας μεγάλος όγκος κατασκευής και μερικές τεχνολογικές βελτιώσεις (π.χ., ολοκληρωμένα κυκλώματα για τις παροχές ηλεκτρικού ρεύματος) θα απαιτηθούν για να μειώσουν το κόστος των εναλλάκτων για τις φωτοβολταϊκές μονάδες εναλλασσόμενου ρεύματος. Παρά αυτές τις διαφορές,

το καθαρό αποτέλεσμα είναι ότι οι τρεις τύποι συστημάτων είχαν το παρόμοιο σύνολο δαπάνων. Τα περισσότερα από τα συστήματα που έχουν εγκατεσταθεί μέχρι σήμερα χρησιμοποιούν ένα χαμηλής τάσης σύστημα, το οποίο εξετάστηκε σε αυτήν την έκθεση. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι δαπάνες σχετικά με την ενέργεια περιλαμβάνουν τις δαπάνες των εταιριών για τη διασύνδεση, όπως η αντικατάσταση ενός οικιακού μετρητή και η προσθήκη των αποσυνδεδετικών διακοπών για να επιτραπεί μια καθαρή μέτρηση.

Για τον πίνακα 2, υποθέτουμε μια συμπαγής γειτονιά σπιτιών με φωτοβολταϊκά συστήματα στεγών. Αρχίζοντας το 1985, Η Εταιρία NEES εγκατέστησε 60 kW φωτοβολταϊκών στις υπάρχουσες οικιακές στέγες στην πόλη Gardner, συν 40 kW σε εμπορικές εφαρμογές σε τρεις κοντινές πολιτείες. Μια μεγαλύτερη σειρά προγράμματος αναλήφθηκαν από την SMUD με το πρόγραμμα "πρωτοπόροι οικιακών φωτοβολταϊκών", τα οποία κυμάνθηκαν από 87 kW σε 25 σπίτια σε 400 kW σε 119 σπίτια. Στον πίνακα 2, για το 1997, το μέγεθος εγκαταστάσεων υπολογίζεται ότι ήταν 0,299 MW βασισμένο στην τοποθέτηση 2.3 kW συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος σε 130 σπίτια. Για το 2000 και πιά πρόσφατα, το μέγεθος εγκαταστάσεων υπολογίζεται σε 1,0 MW, υποθέτοντας τα συστήματα που είναι εγκατεστημένα σε 385 σπίτια το 2000 και σε 294 σπίτια το 2030. Η συμπαγής γειτονιά και οι μαζικές αγορές μεταφράζουν χαμηλότερες φωτοβολταϊκές μονάδες, δαπάνες και λειτουργίες συντήρησης σχετιζόμενες με τις τιμές του πίνακα 1.

Η εκτίμηση των δαπανών για τα ιδιαίτερα εξελισσόμενα προϊόντα όπως τις φωτοβολταϊκές μονάδες και τα συστήματα κατά τη διάρκεια αρκετών δεκαετιών είναι πολύ δύσκολος στόχος. Η μείωση τιμών αναμένεται για έναν διπλασιασμό του όγκου που είναι γνωστός ως παράγοντας καμπυλών εκμάθησης. Η καμπύλη εκμάθησης μπορεί να συνδυαστεί με ένα ετήσιο προβλεπόμενο ποσοστό αύξησης για να υπολογιστεί η ετήσια μείωση του κόστους προϊόντων.

Το στοιχείο για την τιμή των φωτοβολταϊκών μονάδων, ως λειτουργία του συσσωρευτικού όγκου, έχει αναλυθεί από διάφορες ομάδες, και οι αναφερόμενοι παράγοντες καμπυλών εκμάθησης είναι μεταξύ 0,68 και 0,82. Ο πιο συντηρητικός παράγοντας καμπυλών εκμάθησης 0,82 χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την μελέτη επειδή οι αναλύσεις πολλών άλλων βιομηχανιών έχουν βρεί τις παρόμοιες τιμές.. Αυτή η αξία σημαίνει ότι ένας διπλασιασμός του συσσωρευτικού όγκου των πωλήσεων των φωτοβολταϊκών μονάδων θα μειώσει το κόστος των φωτοβολταϊκών μονάδων σε 82% της προηγούμενης αξίας. Το ετήσιο ποσοστό αύξησης στις πωλήσεις των φωτοβολταϊκών μονάδων ήταν μεταξύ 15-20% τα τελευταία χρόνια. Λαμβάνοντας υπόψη την ισχυρή απαίτηση για φωτοβολταϊκές μονάδες και το ευρύ ενδιαφέρον για την επιτάχυνση της υιοθέτησης της φωτοβολταϊκής ενέργειας (π.χ., Πρωτοβουλία για ένα εκατομμύριο ηλιακές στέγες), ένα ετήσιο ποσοστό αύξησης 20% μπορεί να υποθετηθεί συντηρητικά. Ένας παράγοντας καμπυλών εκμάθησης 82% και υποθετικό ποσοστό αύξησης της παραγωγής 20% και μια κατ' εκτίμηση μείωση τιμών 5% ετησίως. Ένα ετήσιο ποσοστό αύξησης 20% και ετήσιο κόστος και μείωση 5% χρησιμοποιείται για να παραγάγει τις προβολές για τα έτη 2000-2030 (πίνακας 3). Η τιμή \$3,15 το 1997 είναι με βάση την κατ' εκτίμηση τιμή μονάδας μια από τις χαμηλότερες

πρόσφατες τιμές συστημάτων προσφοράς (\$5.76/W για τον πρωτοπόρο SMUD). Η μέση χονδρική τιμή των φωτοβολταϊκών μονάδων κρυστάλλινου πυριτίου έχει μείνει γύρω από \$4.00/W τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξανόμενης απαίτησης και της περιορισμένης ικανότητας. Ο πίνακας 3 επεξηγεί τη δυνατότητα της τεχνολογίας, λαμβάνοντας υπόψη μια ωριμότερη αγορά.

Πίνακας 3. Εκτιμώμενες πωλήσεις και τιμές για φωτοβολταϊκές μονάδες κρυστάλλινου πυριτίου

Year	Module Effic. (%)	Annual Sales (MW)	Price (\$/W _p)	Sales (\$M)	Module (\$/m ²)
1997	14	84	3.15	265	441
2000	16	174	2.55	444	408
2005	17	433	1.97	853	335
2010	18	1,078	1.51	1,628	272
2020	19	6,678	0.90	6,010	171
2030	20	41,347	0.53	21,914	105

Οι τιμές στους πίνακες 1, 2, και 3 είναι όλα σε δολάρια του 1997, αποκλείοντας τον πληθωρισμό. Επομένως, εάν το ποσοστό του μέσου πληθωρισμού είναι ίσο με τη μέση ετήσια μείωση δαπανών της τάξης του 5%, η τιμή των φωτοβολταϊκών μονάδων το 2030 θα ήταν \$3,15 σε δολάρια του τρέχοντος έτους. Επίσης σημειώστε ότι η τιμή δεν αναφέρεται στο κόστος παραγωγής και απεικονίζει υπό αυτήν τη μορφή παράγοντες όπως το μάρκετινγκ, τη διανομή, και την Έρευνα και Ανάπτυξη.

Ένας δεύτερος τύπος εξαγωγής συμπερασμάτων όσο αφορά τις δαπάνες χρησιμοποιήθηκε για να ελέγξει την αξιοπιστία του προηγούμενου πίνακα. Αυτή η εκτίμηση δαπανών χρησιμοποίησε μια ανάλυση από κάτω προς τα πάνω της βιομηχανίας για παραδειγμα., το κόστος παραγωγής υπολογίζεται σε διαφορετικούς όγκους παραγωγής για μια συγκεκριμένη προτεινόμενη διαδικασία εργοστασίων και κατασκευής. Μια λεπτομερής μελέτη πρόσφατα ολοκληρώθηκε από μια ευρωπαϊκή ερευνητική ομάδα. Η ευρωπαϊκή μελέτη υπολόγισε μια κατασκευή κόστους \$1.30/W και για τα φωτοβολταϊκά κρυστάλλινου πυριτίου και για τα φωτοβολταϊκά λεπτής στρώσης σε επίπεδο παραγωγής 500 MW ετησίως. Αυτή η σύγκριση δίνει την εμπιστοσύνη σε χρησιμοποίηση της καμπύλης εκμάθησης για να εξάγει συμπεράσματα για τις δαπάνες της φωτοβολταϊκής μονάδας.

Οι ουσιαστικές μειώσεις δαπανών είναι ακόμα πιθανές στους μικρούς εναλλακτήρες που χρησιμοποιούνται για τα οικιακά συστήματα μέσω αλλαγών σχεδίου(μείωση το υψηλού κόστους των φερομαγνητικών υλικών με τις συσκευές πυριτίου), τις τεχνολογικές βελτιώσεις (π.χ., ολοκληρωμένα κύκλωμα για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος), και την υψηλή ένταση κατασκευής. Η βελτίωση στον σχεδιασμό συστημάτων και την τυποποίηση των συστατικών θα μειώσει τις δαπάνες. (δηλ., εγκατάσταση και καλωδίωση), και ένας ουσιαστικός αντίκτυπος θα αναμένονταν με την επιτυχή ανάπτυξη φωτοβολταϊκών μονάδων εναλλασσόμενου ρεύματος. Μερικοί παρατηρητές προτείνουν ότι υπάρχει λίγη βελτίωση εκμάθησης διαθέσιμη λόγω της ωριμότητας της βιομηχανίας παραδείγματος χάριν, οι δαπάνες της εγκατάστασης και της καλωδίωσης είναι ευρέως γνωστές από πολύ μεγαλύτερη κατασκευαστική βιομηχανία. Εντούτοις, ένα πρόσφατο πρόγραμμα πέτυχε μια μείωση 50% των δαπανών συστήματος όσο αφορά τα τοθετημένα στο έδαφος φωτοβολταϊκά συστήματα. μέσω των βελτιώσεων στην ολοκλήρωση των τμημάτων του συστήματος. Όπως συνέβη για τις μονάδες, ένα παραγοντας εκμάθησης καμπύλης 0,82 και ένα ποσοστό αύξησης 20% χρησιμοποιήθηκε, και αυτά ανταποκρίθηκαν σε μια κατ' εκτίμηση μείωση δαπανών ανά το χρόνο στο 5%, για τη ενέργεια. Οι αβεβαιότητες στις δαπάνες συστήματος τα τελευταία χρόνια είναι μεγαλύτερες λόγω της δυσκολίας προβολής της απόδοσης μιας ώριμης βιομηχανίας με τις πολλαπλές επιλογές τεχνολογίας.

Όπως επισημάνθηκε και νωρίτερα, τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν πολύ χαμηλές δαπάνες Λειτουργίας και Συντήρησης. Μία πρόσφατη μελέτη εξετάσε την απόδοση ενός οικιακού φωτοβολταϊκού ενεργειακού συστήματος μετά από δέκα (10) χρόνια λειτουργίας. Αυτή η μελέτη διαπίστωσε ότι το σύστημα, με εξαίρεση μερικά από τα ενεργειακά τμήματα , ήταν ιδιαίτερα αξιόπιστα και είχαν το ελάχιστο κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης.

Η έκθεση βρήκε ένα μέσο ετήσιο κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης μόνο \$52. Το κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης αντιπροσωπεύει μια σύμβαση συντήρησης στον πίνακα 1 όταν το σύστημα ανήκει στον ιδιοκτήτη σπιτιού. Στον πίνακα 2, αντιπροσωπεύει το κόστος του συστήματος ελέγχου και συντήρησης εάν το σύστημα ανήκει στην εταιρεία ή έναν τρίτο. Τα συστατικά και το σύστημα προβλέπεται να έχουν είκοσι ετών εγγύηση, έτσι κανένα κόστος για αντικατάσταση συστατικών δεν συμπεριλήφθηκε.

1.1.10 Έδαφος, Νερό, και Κρίσιμες Απαιτήσεις Υλικών

Κανένα έδαφος ή υδάτινος πόρος δεν απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος (πίνακας 4), ο οποίος εγκαθίσταται στις υπάρχουσες δομές και χρησιμοποιεί το νερό της βροχής για καθαρισμό. Το μόνο κρίσιμο υλικό για τις φωτοβολταϊκές μονάδες κρυστάλλινου πυριτίου είναι το υψηλής καθαρότητας πυρίτιο. Το πυρίτιο είναι ένα από τα άφθονα στοιχεία στον φλοιό της γης, έτσι το ζήτημα δεν είναι διαθεσιμότητα αλλά το κόστος καθαρισμού. Το υψηλής καθαρότητας πυρίτιο παράγεται χαρακτηριστικά είτε ως σβόλους

είτε ως χοντρά κομμάτια λεπτόκοκκου πολυκρυσταλλικού πυριτίου και είναι συνήθως γνωστό ως πολυπυριτική πρώτη ύλη.

Πίνακας 4. Απαιτήσεις πόρων

Indicator Name	Units	Base Year					
		1997	2000	2005	2010	2020	2030
Land	ha/MW	0	0	0	0	0	0
	ha	0	0	0	0	0	0
High Purity Silicon	MT/MW	6.9	5	4	3	2	1
Water	m ³	0	0	0	0	0	0

Η διαθεσιμότητα της πολυπυριτικής πρώτης ύλης είναι αυτήν την περίοδο ένα ζήτημα για τη φωτοβολταϊκή βιομηχανία κρυστάλλινου πυριτίου, έτσι η διαθεσιμότητα για να συναντήσει τις μελλοντικές μεγάλες αγορές πρέπει να εξεταστεί. Η φωτοβολταϊκή βιομηχανία κρυστάλλινου πυριτίου χρησιμοποίησε περίπου 1.000 μεγατόνους πολυπυριτικής πρώτης ύλης το 1995. Λαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος αυτού του υλικού ως εκτός προδιαγραφών υλικό από την ηλεκτρονικού βαθμού βιομηχανία πρώτης ύλης πολυπυριτικού. Η ποσότητα πυριτίου που καταναλώνεται από το φωτοβολταϊκή βιομηχανία είναι περίπου 10% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρονικού βαθμού πρώτης ύλης πολυπυριτικού. Η τιμή και η διαθεσιμότητα αυτού του υλικού επηρεάζεται από τον επιχειρηματικό κύκλο της ηλεκτρονικής βιομηχανίας ημιαγωγών. Παραδείγματος χάριν, υπήρξε πλεονάζον ογκος πολυπυριτικής πρώτης ύλης στη βιομηχανία μεταξύ των ετών 1985 και 1993 έτσι ώστε η πλεονάζουσα πρώτη ύλη ήταν και άφθονη και ανέξοδη. Λόγω της φαινομενικής αύξησης του ποσοστού της βιομηχανίας ηλεκτρονικών ημιαγωγών κατά τη διάρκεια των προηγούμενων τριών ετών, η απαίτηση για το ηλεκτρονικού βαθμού πυρίτιο υπερβαίνει την τροφοδοσία, που έχει οδηγήσει στην παρούσα κατάσταση μιας σφιχτής τροφοδοσίας πρώτης ύλης πολυπυριτίων για την βιομηχανία φωτοβολταϊκών. Το μέσο ποσοστό αύξησης του ηλεκτρονικού βαθμού πολυπυριτίων μεταξύ 1975 και 1995 ήταν περίπου 10%, ενώ το μέσο ποσοστό αύξησης της φωτοβολταϊκής βιομηχανίας σχεδιάζεται να είναι περίπου 20%.

Για να συναντήσει τις μεγάλες μελλοντικές αγορές, η βιομηχανία των φωτοβολταϊκών κρυστάλλου πυριτίου θα πρέπει να αναπτύξει την δική της πηγή πρώτης ύλης πολυπυριτικού η ευρωπαϊκή μελέτη εκτιμά ότι χρησιμοποιώντας την τρέχουσα τεχνολογία, μια πρώτη ύλη πολυπυριτικού φωτοβολταϊκού βαθμού θα μπορούσε να παραχθεί για \$20/kg. Υπάρχουν προγράμματα Έρευνας και Ανάπτυξης που προσπαθούν να αναπτύξουν τεχνολογίες για να μειώσουν αυτό το κόστος περαιτέρω. Η παρούσα τεχνολογία καλώδιο-πριονιών μπορεί να τεμαχίσει τις φέτες πυριτίου σε 400 μm τα όποια αντιστοιχούν σε περίπου 7 g/W για 15% αποδοτικά κύτταρα με παραγωγή κατασκευής 90%. Στα \$20/kg, τα 7 g/W αντιστοιχούν σε \$0.14/W. Αυτός ο αριθμός δεν θα περιορίσει τη βιομηχανία μέχρι το έτος 2010. Μέχρι το έτος 2010, νέες φωτοβολταϊκές τεχνολογίες κρυσταλλικού πυριτίου που χρησιμοποιούν πολύ λιγότερο πυρίτιο ανά Watt αναμένονται για να γίνουν

ευρέως διαθέσιμα. Παραδείγματος χάριν, τεχνολογίες κρυστάλλινου πυριτίου εκτεταμένου λεπτού στρώματος, οι οποίες έχουν πραγματικό πάχος πυριτίου μεταξύ 100 και 200 μm , διατίθεται στην εμπορική αγορά. Οι λεπτού στρώματος μεμβράνης κρυσταλλικού πυριτίου κυψέλες είναι αυτήν την περίοδο υπό ανάπτυξη έχουν πάχος μεταξύ 10 και 50 μm , και μπορεί να είναι διαθέσιμες μετά από το έτος 2010.

Χρησιμοποιώντας τις προηγούμενες υποθέσεις της 15% απόδοσης μονάδας και 90% κατασκευαστική απόδοσης, η χρήση πολυπυριτίου και του κόστους για αυτές τις τεχνολογίες συνοψίζονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5. Προβλεπόμενη χρήση και κόστος διαφόρων φωτοβολταϊκών τεχνολογιών κρυστάλλου πυριτίου

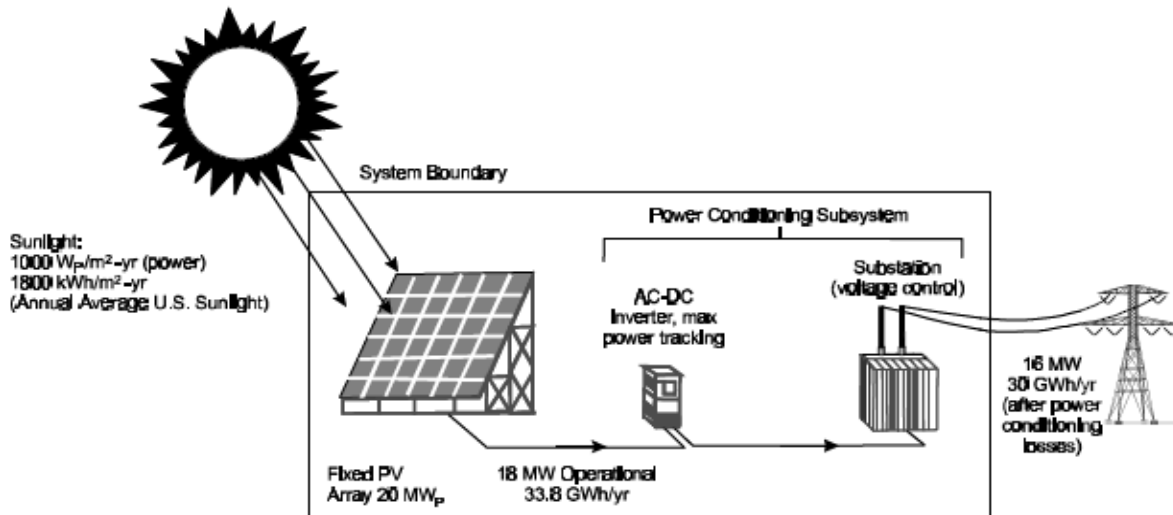
Technology	Thickness μm	Usage g/W	Cost \$/W _p	Cost \$/m ²
Wire Saw	400	6.9	0.138	20.70
Ribbon	200	3.5	0.069	10.35
Sheet	100	1.7	0.035	5.25
Thin-layer	50	0.9	0.017	2.55
Thin-layer	10	0.2	0.003	0.45

Σημείωση: Οι υπολογισμοί υποθέτουν μια αποδοτικότητα μονάδας 15%, μια κατασκευαστική απόδοση 90%, και ένα κόστος πρώτης ύλης πολυπυριτίου \$20/kg.

Αυτή η ανάλυση δείχνει ότι ο αντίκτυπος του κόστους της πρώτης ύλης πολυπυριτίου είναι σταδιακά λιγότερος για τις προηγμένες τεχνολογίες που θα είναι διαθέσιμες στο μέλλον. Με βάση την προσδοκώμενη καθιέρωση της παραγωγής πρώτης ύλης πολυπυριτίου για φωτοβολταϊκά περίπου στα \$20/kg και τις βελτιώσεις τεχνολογίας διαθέσιμες στα φωτοβολταϊκά κρυστάλλινου πυριτίου, η πρώτη ύλη πολυπυριτίου δεν θεωρείται θεμελιώδες ζήτημα που περιορίζει την συνεχή επέκταση της βιομηχανίας φωτοβολταϊκού κρυστάλλινου πυριτίου.

1.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΛΕΠΤΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΚΑΤΟΠΤΡΟΥ ΕΤΑΙΡΙΚΗΣ ΚΛΙΚΑΚΑΣ

1.0 System Description



Σχημα 1. Σχηματική αναπαράσταση φωτοβολταϊκού συστήματος δικτύου 20MW (DC)/16 MW (AC).

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα λεπτής στρώσεων μετατρέπουν το φως του ήλιου σε συνεχού ρεύματος ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας μεγάλες περιοχές, στερεάς κατάστασης ημιαγωγικών συσκευών αποκαλούμενες φωτοβολταϊκές μονάδες λεπτής στρώσης. Αυτό το τμήμα χαρακτηρίζεται σταθερό (μη ανίχνευσης), συνδεδεμένο στο δίκτυο στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, όπου παράγει ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος (σχήμα 1). Το σύστημα στο παρόν έγγραφο είναι βασισμένο στις τρεις πιο πολύ ώριμες λεπτές στρώσεις. Εκτός από τις μονάδες λεπτής στρώσης τα φωτοβολταϊκά συστήματα περιλαμβάνουν άλλα συστατικά: δομές υποστήριξης, εναλλάκτες αν επιθυμούμε εναλλασσόμενο ρεύμα ένας ηλιακός συλλέκτης εάν είναι απαραίτητο (όχι σε αυτήν την μελέτη), καλωδίωση μετάδοση, και έδαφος. Το σχήμα 1 παρουσιάζει τις απώλειες μεταξύ κάθε μέρους του φωτοβολταϊκού συστήματος ενεργειακής παράδοσης: το ποσό φωτός του ήλιου και της δύναμης και της ενέργειας που παράγεται στο επίπεδο μονάδας (αποκαλούμενο το σημείο αιχμής δυναμής του συστήματος όταν αθροίζεται η παραγωγή όλων των ενότητων) και του υποσυστήματος δύναμης (που περιλαμβάνει εναλλάκτη συνεχούς σε εναλλασσόμενου ρεύματος) με τις απώλειες στην καλωδίωση και την μετατροπή συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Το σημείο αιχμής ενέργειας είναι μόνο η αφετηρία. Όσπου να φτάσει η ηλεκτρική ενέργεια στην μπάρα τροφοδότησης, οι απώλειες είναι περίπου 20% του αρχικού, μέγιστου συνόλου του συστήματος. Αυτές οι απώλειες λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς ενέργειας και δαπανών.

Η εισαγωγή του συστημάτων είναι το φως του ήλιου. Το ποσό του επικείμενου φωτός του ήλιου εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και το τοπικό κλίμα. Ο μέσος όρος της ετήσιας εισαγωγής ηλιακής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι περίπου 1800 kWh/m² ανά έτος για μία μη ανιχνευτική συστοιχία, και ποικίλλει κατά περίπου 30% από αυτό το ποσό μέσα στις ηπειρωτικές Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Για μια συστοιχία ανίχνευσης ενιαίου-άξονα, η μέση έξοδος αυξάνει σε περίπου 2.200 kWh/m² ανά έτος και σε περίπου 2.400 kWh/m² ανά έτος για ένα σύστημα διπλού-άξονα. Παρά την υψηλότερη διαθέσιμη ενέργεια, οι ανιχνευτές δεν είναι απαραίτητα προτιμήσιμοι, δεδομένου ότι προσθέτουν κόστος, έχουν κινούμενα μέρη, και απαιτούν συντήρηση. Εδώ, περιγράφουμε μόνο τα σταθερά (μη ανιχνευτικά) συστήματα, και περιγράφουμε δύο επίπεδα φωτός του ήλιου ως εισαγωγή στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες μας: ένα υψηλό επίπεδο (2.300 kWh/m² ανά έτος) για να χαρακτηρίσει τις ηλιακές εγκαταστάσεις σε περιοχές εξαιρετικού φωτός του ήλιου, και 1, 800 kWh/m² ανά έτος ως μια μέση περίπτωση, για να δείξει ένα πιο χαρακτηριστικό επίπεδο για Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.

Η χρήση ενός μέσου όρου ηλιακής θέσης των Ηνωμένων Πολιτειών για να υπολογίσει τις προβολές δαπανών για μια μακροπρόθεσμη περίοδο μας επιτρέπει να γενικοποιούμε συμπεράσματα για τον αντίκτυπο των φωτοβολταϊκών που χαρακτηρίζονται εδώ. Τα οικονομικά ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι αντιστρόφως ανάλογα με το ποσό τοπικού φωτός του ήλιου. Μιας και η μεταβλητότητα φωτός του ήλιου στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής είναι περίπου 30% από μια μέση τιμή, που συναντά χαμηλού κόστους στόχους σε μια μέση θέση θα προετοιμάζε το φωτοβολταϊκό για εκτίμηση σχεδόν σε όλα τα κλίματα των Ηνωμένων Πολιτειών και σε περισσότερο σφαιρικές θέσεις. Παραδείγματος χάριν, εάν τα μελλοντικά φωτοβολταϊκά συστήματα ήταν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια 6\$/kWh στο Κάνσας (μέσο φως του ήλιου στις Ηνωμένες Πολιτείες), το ίδιο σύστημα θα παρήγαγε ηλεκτρική ενέργεια 8\$/kWh στην Νέα Υόρκη και 4\$/kWh στο νοτιοδυτικό σημείο των ερήμων. Αυτά τα άκρα θα μπορούσαν ακόμα να παρέχουν τις αποδεκτά δαπάνες, λαμβάνοντας υπόψη την μεταβλητότητα της δαπάνης της συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας (αν και, φυσικά, τέτοιες μεταβλητές δαπάνες είναι ανεξάρτητα από τις παραλλαγές στο φως του ήλιου). Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι πρώτες μεγάλες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών είναι πιθανό να είναι σε περιοχές με υψηλό ετήσιο φωτός του ήλιου. Πιο μακροπρόθεσμα σχέδια είναι όλα βασισμένα στα συστήματα που βρίσκονται σε περιοχές μέσου φωτός του ήλιου.

1.2.1 Εφαρμογή, Οφέλη, και Επιδράσεις Συστημάτων

Το φωτοβολταϊκό θα χρησιμοποιηθεί για πολλές, διαφορετικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας δικτύου εταιριών. Το σύστημα που καθορίζεται εδώ είναι για μελλοντικές εφαρμογές συνδεδεμένες με το δίκτυο. Δεδομένου ότι τέτοια συστήματα θα εξελιχθούν από τα σημερινά μικρότερα συστήματα, έχουν ταξινομηθεί σε 20 kW -10 MW τα πρώτα χρόνια που φθάνουν σε 20 MW (ως χαρακτηριστικό μέγεθος) το 2010, το πραγματικό μέγεθος θα εξαρτηθεί σε ατομικές εφαρμογές συνδεδεμένες στο δίκτυο. Εντούτοις, δεδομένου ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από υπομονάδες (δηλ., οι μονάδες και οι μερικές συστοιχίες μπορούν μαζικά να παραχθούν στο εργοστάσιο), οι δαπάνες συσχετίζονται κυρίως με τον όγκο παραγωγής, όχι με το μέγεθος συστημάτων.

Δύο σημαντικές αγορές αναμένονται για το είδος του πολυχρηστικού συστήματος που περιγράφεται εδώ. Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, τα κατανεμημένα συστήματα που παραδίδουν την ηλεκτρική ενέργεια στις περιόδους μέγιστης ζήτησης θα ήταν η κύρια εφαρμογή. Κάποια μεσαία ημερίσια φορτία θα ικανοποιούντουσαν επίσης. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, τα μη συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα θα μπορούσαν να παρέχουν ηλεκτρισμό σε εκατοντάδες χιλιάδες χωριά που δεν έχουν κανένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Και οι δύο αγορές θα αξιοποιούσαν σημαντικές αξίες που η ηλεκτρική ενέργεια των φωτοβολταϊκών μπορεί να παρέχει. Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η απόδοση των φωτοβολταϊκών ταιριάζει καλά με τις ανάγκες πολλών εταιριών για μέγιστη ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας για τα εμπορικά φορτία και τα φορτία κλιματισμού. Αυτό είναι η πιο δαπανηρή δημιουργία ηλεκτρισμού για τις εταιρίες που τον παράγουν. Επιπλέον, τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κατανεμημένες θέσεις (δηλ., πιο κοντά στον πελάτη) σε ένα εταιρικό δίκτυο, που μειώνει την ανάγκη να προστεθεί ισχύ στις γραμμές μετάδοσης για να εξυπηρετηθούν οι αυξανόμενες προασιακές κοινότητες. Η συναρμολογησιμότητα παρέχει τη σχετική ευκολία της τοποθέτησης και της γρήγορης εγκατάστασης. Στα αναπτυσσόμενα κράτη, υπάρχουν μερικές εναλλακτικές λύσεις για τα φωτοβολταϊκά για αγροτική χρήση: οι γεννήτριες diesel θα ήταν ο άμεσος ανταγωνισμός. Εντούτοις, οι γεννήτριες diesel απαιτούν έναν σταθερό ανεφοδιασμό των καυσίμων και ουσιαστική συντήρηση, ενώ τα φωτοβολταϊκά δεν έχουν καμία ανάγκη για επιτόπια εργασία κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, και έχει πολύ χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης.

Τα οφέλη των φωτοβολταϊκών είναι πολυάριθμα. Αυτά που περιγράφονται εδώ είναι από την άποψη της αξίας να χρησιμοποιηθούν τα φωτοβολταϊκά γενικά, καθώς θα είχε ως αποτέλεσμα να επιτευχθούν ανταγωνιστικές δαπάνες. Τα φωτοβολταϊκά δεν απαιτούν κανένα καύσιμο ή νερό, και είναι χαμηλής συντήρησης κατά τη διάρκεια της χρήσης. Είναι μια πηγή ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για "να εξημερώσει" (παρά να εισαγάγει) την ενέργεια, μειώνοντας τις δαπάνες εισαγωγών. Δεδομένου ότι το φως του ήλιου είναι τοπικό καύσιμο που είναι διαθέσιμο παγκοσμίως, η εθνική ενεργειακή ασφάλεια θα ενισχυόταν. Επιπλέον, από την στιγμή που πολλές αγορές φωτοβολταϊκών είναι διεθνής, η παραγωγή και εξαγωγή αυτής της

υψηλής τεχνολογίας προϊόντων θα ωφελοούσαν την οικονομία των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Για τις αναπτυσσόμενες χώρες, η αξία της αγροτικής ηλεκτρίσης είναι ουσιαστικές, δεδομένου ότι βοηθά να σταθεροποιήσει τις αγροτικό-αστικές μετοπίσεις πληθυσμού ενώ παράλληλα αυξάνει τις προμήθειες τροφίμων, βελτίωση της αποθήκευσης τροφίμων, και αύξηση της παραγωγικότητας και του βιοτικού επιπέδου των αγροτικών οικονομιών. Η χρήση φωτοβολταϊκών από τις αναπτυσσόμενες χώρες θα βοηθούσε να αποφευχθεί μεγαλύτερη εξάρτηση στις συμβατικές πηγές ενέργειας και στις συνακόλουθες εκπομπές τους.

Η ηλιακή βάση των πόρων της ηπειρου των Ηνωμένων Πολιτειών είναι πάνω από 10^{16} kWh/έτος. Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής είναι περίπου $2,5 \times 10^{12}$ kWh/έτος. Κατά συνέπεια, Οι Ηνωμένες Πολιτείες, ένας έντονος χρήστης της ενέργειας, έχει περίπου 4.000 φορές περισσότερη ηλιακή ενέργεια από την ετήσια χρήση ηλεκτρικής ενέργειάς τους. Αυτό ο ίδιος αριθμός είναι περίπου 10.000 παγκόσμιως. Κατά συνέπεια τα φωτοβολταϊκά θα μπορούσαν σε γενικές γραμμές να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια όλης της γής. Ειδικότερα, εάν μόνο 1% της περιοχής εδάφους χρησιμοποιήθηκαν για τα φωτοβολταϊκά, περισσότερες από δέκα φορές η σφαιρική ενέργεια θα μπορούσε να παραχθεί (χωρίς την επίδραση νερού και άλλων σημαντικών πόρων). Η δυνατότητα των φωτοβολταϊκών να μετατοπίσουν σημαντικά ποσά συμβατικής ενέργειας, εξαρτάται απόλυτα στην τεχνική βιωσιμότητα των ανταγωνιστικών σε κόστος τεχνολογίας, της αποθήκευσης, και της μετάδοσης των φωτοβολταϊκών. Μετά από την επίτευξη μείωσης των δαπανών, τα μεγαλύτερα εμπόδια στη γενικευμένη χρήση των φωτοβολταϊκών πέρα από ένα κατ' εκτίμηση ημερήσιο επίπεδο του 10% στις αναπτυσσόμενες χώρες θα είναι η ανάγκη για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας ή προηγμένα σχέδια μετάδοσης που θα επέτρεπαν μεγαλύτερη αποστολή

Το μέγεθος των μελλοντικών αγορών για τα φωτοβολταϊκά θα καθοριστεί τελικά από τα οικονομικά των μελλοντικού, χαμηλότερου κόστους φωτοβολταϊκά συστήματα. Εάν τα εμπόδια των δαπανών μπορέσουν να υπερνικηθούν, η χρήση στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (χωρίς αποθήκευση) μπορεί να είναι μέχρι και 10% της ηλεκτρικής παραγωγής (περισσότερο από 200 GWπ φωτοβολταϊκή ικανότητα βασισμένη στο προβαλλόμενο μέλλον της ηλεκτρικής ικανότητας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής). Η χρήση στις αναπτυσσόμενες χώρες θα μπορούσε να είναι το ίδιο μεγάλη ή μεγαλύτερη.

Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις των φωτοβολταϊκών λεπτής στρώσης είναι ελάχιστες και γενικά, τα φωτοβολταϊκά είναι χωρίς ακτινοβολία. Μερικές επιδράσεις μπορούν να αναμένονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής συστημάτων και τα ζητήματα υπάρχουν για τα πολυκρυσταλλικά συστήματα λεπτής στρώσης από την άποψη της απόλυτης διάθεσης/ανακύκλωσης. Αυτά τα ζητήματα είναι πολύ μικρά έναντι της βασισμένης σε καύσιμα παραγωγής ενέργειας. Υπάρχουν μερικά ζητήματα συγκεκριμένα για τους σύνθετους ημιαγωγούς όπως εκείνοι που βρίσκονται στις πολυκρυσταλλικές λεπτές στρώσεις. Παραδείγματος χάριν, οι Αμερικανικές επιχειρήσεις καδμίου

τελλούριου (CdTe) έχουν αναγγείλει ανακύκλωση και στρατηγικές "ανάκλησης" προϊόντων.

Από την άποψη της ενεργειακής χρήσης, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα θα μείωνε ριζικά τις συνολικές εκπομπές καυσίμου σε περίπου 5% από τα συμβατικά, συμπεριλαμβανομένης της πλήρους ενεργειακής αποφοράς κέρδους. Υπολογισμοί δείχνουν ότι οι λεπτές στρώσεις απαιτούν πολύ λιγότερη ενέργεια για να κατασκευαστούν από άλλες εναλλακτικές λύσεις (εκτός ίσως από το φωτοβολταϊκό συγκέντρωσης).

Το ποσό του CO₂ που παράγεται κατά τη διάρκεια της κατασκευής των φωτοβολταϊκών λεπτών στρώσεων είναι μικρό (περίπου 5%-10% του ποσού που αποφεύγεται,). Αναμένουμε ότι η ώριμη παραγωγή των λεπτών στρώσεων θα οδηγήσει σε ενεργειακή αποφορά κέρδους κάτω από τρία έτη για ολόκληρο το σύστημα. Επειδή τα φωτοβολταϊκά συστήματα αναμένονται να έχουν ζωή που υπερβαίνουν τα τριάντα έτη, αυτό υποδηλώνει ότι η μείωση του CO₂ λόγω της χρησιμοποίησης των φωτοβολταϊκών είναι περίπου 90% 95% σε σύγκριση με τις συμβατικές πηγές. Με βάση τους 0,3 εκατομμύριοστους μετρικούς τόνους (MMT) του αποφευγμένου CO₂ /GW που είναι εγκατεστημένο στα φωτοβολταϊκα ανα χρόνο (υποθέτει 2.000 GWh/GW - έτος και 150 MTT αποφευγμένο CO₂ /GWh), ένα σενάριο στο οποίο 230 GW φωτοβολταϊκών θα ήταν εγκατεστημένα μέχρι το 2030 θα απέφυγε 70 MMT του CO₂ / έτος (και θα είχαν αποφευχθεί περίπου 800 MMT CO₂ άνω του ολόκληρου χρονικού πλαισίου 1995-2030). Δεδομένου ότι αναμένουμε τα φωτοβολταϊκά να συνεχίσουν να επεκτώνονται σε χρήση πέρα από το 2030, αυτές οι αποφευγμένες εκπομπές θα ήταν μόνο η αρχή μιας πιο μακροπρόθεσμης μείωσης του CO₂.

1.2.2 Τεχνολογικές Υποθέσεις και Ζητήματα

Οι φωτοβολταϊκές συσκευές λεπτών στρώσεων είναι πολύ διαφορετικές από τις κοινές φωτοβολταϊκές συσκευές σήμερα που γίνονται από το κρυστάλλινο πυρίτιο. Η λεπτή στρώση χρησιμοποιεί το 1/20 έως το 1/100 του υλικού που απαιτείται για το φωτοβολταϊκό κρυστάλλινου πυρίτιου, και φαίνεται να υπάγεται σε μια πιο αυτοματοποιημένη, λιγότερη ακριβή παραγωγή. Υπάρχουν τριών ειδών λεπτές στρώσεις που έχουν καταδείξει ισχυρή δυνατότητα για τα μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκά: άμορφο πυρίτιο (α-Si), ασθένες χαλκός ίνδιου (CIS), και τελλούριο του καδμίου (CdTe). Άλλα είναι σε κάπως πρώιμα επίπεδα ωριμότητας (στρώσεις πυρίτιου και ευαισθητοποιημένα κύτταρα βαφής).

Το σύστημα στο παρόν έγγραφο είναι βασισμένο στις τρεις ωριμότερες λεπτές στρώσεις. Γενικά θεωρείται ότι όλες οι λεπτές στρώσεις μοιράζονται παρόμοια χαρακτηριστικά: η δυνατότητα για την πολύ χαμηλού κόστους μονάδας (κάτω από \$50/m² της περιοχής μονάδων) και λογικές αποδόσεις μονάδας (13%-15% ή περισσότερο), που υπονοούν τις πιθανές δαπάνες μονάδας κάτω από \$0.5/Wp. Κατά συνέπεια, αυτή η αξιολόγηση είναι μια προβολή "ενός καλύτερου, μελλοντικού" συνδεδεμένου στο δίκτυο φωτοβολταϊκού συστήματος λεπτής στρώσης τέτοιου όπως μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής για να παράγει την ημερίσια ηλεκτρική ενέργεια, μετά από το τέλος του 21ου αιώνα.

Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών μονάδων λεπτής στρώσης αυτήν την περίοδο τους είναι βασισμένη στο άμορφο πυρίτιο. Άλλες, βασισμένες στις πολυκρυστάλλινες λεπτές στρώσεις, είναι στην πειραματική παραγωγή. Το ουσιαστικό εμπορικό ενδιαφέρον υπάρχει στην κλιμακούμενη παραγωγή των λεπτών στρώσεων. Καθώς οι λεπτές στρώσεις παράγονται σε μεγαλύτερη ποσότητα, και δεδομένου ότι επιτυγχάνουν την αναμενόμενη απόδοση, θα γίνουν πιο οικονομικές για τις χρήσεις μεγάλης κλίμακας ηλεκτρικών εταιρειών και για τις μεγάλης κλίμακας μη-εταιρικές εκτος-δικτυο στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ακόμα κι αν μερικές μονάδες λεπτής στρώσης είναι τώρα εμπορικά διαθέσιμες, ο πραγματικός εμπορικός αντίκτυπος τους αναμένεται να είναι σημαντικός κατά τη διάρκεια των επόμενων τριών έως δέκα ετών. Πέρα από αυτόν, η γενική χρήση τους πρέπει να εμφανιστεί το χρονικό πλαίσιο 2005-2015 ανάλογα με τα επίπεδα επένδυσης για την τεχνολογική ανάπτυξη και κατασκευή. Το "Καλύτερο μελλοντικά" φωτοβολταϊκό σύστημα δικτύου που περιγράφεται εδώ απαιτεί ότι η λεπτή στρώση θα συνεχίσει να κάνει την υψηλού κινδύνου μετάβαση από την επιτυχία σε εργαστήρια κλίμακα σε εμπορική επιτυχία. Υπό αυτήν τη μορφή, οι τεχνικοί και οικονομικοί κίνδυνοι παραμένουν ουσιαστικοί. Αυτοί επηρεάζουν την αβεβαιότητα των προβλέψεων.

Αν και μερικές μονάδες λεπτής στρώσης είναι εμπορικά διαθέσιμες, οι εργασίες ανάπτυξης βρίσκονται σε εξέλιξη και παραμένουν βασικές για την επιτυχία τους. Πράγματι, για να ικανοποιήσει τους οικονομικούς στόχους που απαιτούνται για τη χρήση μεγάλης κλίμακας, *απαιτείται μεγαλύτερη τεχνική ανάπτυξη*. Τα βραχυπρόθεσμα (3 έως 10 έτη) εμπορικά προϊόντα δεν θα είναι αρκετά ανέξοδα να ανταγωνιστούν με τα συμβατικά συστήματα για τον πλήθος των εφαρμογών στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής που είναι συνδεδεμένες με τις εταιρείες. Η χρηματοδότηση από την κυβέρνηση για την τεχνολογική ανάπτυξη ήταν κρίσιμη για τις τεχνολογίες λεπτής στρώσης που περιγράφονται εδώ. Η τρέχουσα ομοσπονδιακή χρηματοδότηση Έρευνας και Ανάπτυξης φωτοβολταϊκών είναι \$40M ετησίως. Η ομοσπονδιακή χρηματοδότηση για τις λεπτές στρώσεις είναι το μισό αυτού του συνόλου (\$20M/έτος).

Η ομοσπονδιακή επένδυση των Ηνωμένων Πολιτειών στην Έρευνα και Ανάπτυξη λεπτών στρώσεων είναι περισσότερο από το μισό από το σύνολο των εταιρικών επένδυσων λεπτής στρώσης στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η συνεχής κυβερνητική χρηματοδότηση της τεχνολογικής ανάπτυξης λεπτής στρώσης είναι κρίσιμη. Αφετέρου, τα παγκόσμια κυβερνητικά έξοδα είναι επεκταμένα "στις αγορές", και ως ένα ορισμένο βαθμό υποθέτουμε ότι αυτή η τάση θα συνεχιστεί. Η μελλοντική χρηματοδότηση είναι αβέβαιη, και σημαντικές αλλαγές θα μπορούσαν να εμφανιστούν σε καθεμία κατεύθυνση: αυστηρά ενισχυμένοι ή αυστηρά μειωμένοι προϋπολογισμοί φωτοβολταϊκών για την τεχνολογική ανάπτυξη ή ανάπτυξη της αγοράς.

Σε κάποιο σημείο (οσο το κόστος των φωτοβολταϊκών μειώνεται), νέες μορφές χρηματοδότησης για τις Ηνωμένες Πολιτείες και για τις διεθνείς αγορές πρέπει να αναπτυχθούν για να γίνουν τα φωτοβολταϊκά παγκόσμια σημασίας. Βλέπουμε υποδείξεις στη παγκόσμια περιβαλλοντολογία της Παγκόσμιας Τράπεζας (να χρηματοδοτήσει μειώσεις CO₂ στα αναπτυσσόμενα κράτη). Εντούτοις, καθώς τα φωτοβολταϊκά γίνονται πιά συμμετέχων στις παγκόσμιες αγορές, η ανάπτυξη των νέων οικονομικών εργαλείων θα είναι κρίσιμη. Χωρίς κάποιο κίνητρο, οι εταιρείες στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (και εκείνες στις αναπτυσσόμενες χώρες) είναι απίθανο να πιέσουν για μεγάλης κλίμακας χρήσης φωτοβολταϊκών. Αυτό ισχύει βραχυπρόθεσμα (λόγω των υψηλών τιμών) και μπορεί ακόμη και να ισχύσει μακροπρόθεσμα, ειδικά εάν οι τιμές ενέργειας των εμπορευμάτων μένουν χαμηλές. Αυτή η αδράνεια των εταιρειών μπορεί να εμφανιστεί επειδή ακόμη και σε χαμηλότερες δαπάνες (κάτω από 6\$/kWh), τα φωτοβολταϊκά θα παραμείνουν οριακά ελκυστικά βάση ενός καθαρού ενεργειακού κόστους.

1.2.3 Απόδοση Και Κόστος

Ο πίνακας 1 συνοψίζει τους δείκτες απόδοσης και δαπανών για επίπεδης πλάκας, φωτοβολταϊκό σύστημα λεπτής στρώσης που χαρακτηρίζονται σε αυτήν την αναφορά.

1.2.4 Επισκόπηση Εξέλιξης

Στα αρχικά χρόνια (πριν από το 2005), αναμέναμε ότι η μόνη εμπορική λεπτή στρώση, άμορφου πυριτίου, θα ανταγωνιζόταν άμεσα με το κρυστάλλινο πυρίτιο (ο υπάρχων πρωτοπόρος στην αγορά φωτοβολταϊκών). Οι πτώσεις δαπανών θα οδηγηθούν από τους αυξανόμενους όγκους κατασκευής, πρόσβαση στις τυποποιημένες αγορές, και τις βελτιώσεις στην τεχνολογική διαδικασία (χρήση υλικών, ποσοστά, παραγωγές). Κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου (πριν από το 2005), τουλάχιστον μια άλλη λεπτή στρώση (πλέον πιθανό το τελούριο του καδμίου CdTe) θα εισαχθεί στην αγορά με ένα σημαντικό τρόπο, περαιτέρω προσθέτοντας ανταγωνιστικές πιέσεις για τη μείωση δαπανών. Επειδή η τεχνολογία CdTe εμφανίζεται να έχει τη βραχυπρόθεσμα μεγαλύτερη δυνατότητα για υψηλότερη αποδοτικότητα και

χαμηλότερο κόστος από το άμορφο πυρίτιο, η μείωση δαπανών πρέπει να επιταχύνθει. Κατά συνέπεια βλέπουμε το πλήρως φορτωμένο κόστος παραγωγής μονάδας από περίπου σήμερα 4\$/Wp σε περίπου 2.2\$/Wp το 2000 και 1\$/Wp το 2005. Πρέπει να σημειωθεί, εντούτοις, ότι αυτές οι μειώσεις δαπανών εξαρτώνται έντονα στο συγχρονισμό (1) της αύξησης στον όγκο παραγωγής, (2) η εισαγωγή της τεχνολογίας CdTe σε μεγάλης κλίμακας κατασκευές (πάνω από 20 MW), και (3) τρέχουσα ανάπτυξη αγοράς. Εάν αυτά δεν συμβούν, η επίτευξη 1\$/Wp θα καθυστερήσει έως πέντε έτη. Οι δαπάνες μονάδων είναι πιθανό να πέσουν από άλλους 3 παράγοντες μέχρι το 2030 όπως (1) η αποδοτικότητα των εμπορικών μονάδων αυξάνεται από 10% σε 15% και (2) κατευθύνουν την πτώση κόστους παραγωγής από 90\$/m² σε περίπου 45\$/m². Εξαρτώνται συνήθως από την τεχνολογική πρόοδο όπως οι βελτιώσεις στα σχέδια συσκευών, ποσοστά διαδικασίας, διαδικασία παραγωγής, και ποσοστά χρησιμοποίησης υλικών. Το κόστος και οι προβλέψεις απόδοσης που γίνονται εξαρτώνται από τη συνεχή σταθερή πρόοδο στην λεπτή στρώση φωτοβολταϊκών.

1.2.5 Συζήτηση Απόδοσης και Δαπανών

Το συστήματα δικτύου εναλλασσομένου ρεύματος, έχουν κλίμακα μεγέθους από 20 kW έως 20 MW. Όλα τα συστήματα είναι σταθερά, οριζόντιου κατόπτρου για την απλότητα του σχεδίου και της χρήσης. Τα πραγματικά συστήματα θα ποικίλουν, χωρίς σημαντικό αντίκτυπο στις δαπάνες. Από τότε που ο " παράγοντας ικανότητα " εξαρτάται μόνο από την ανίχνευση τον υποτίθεται σταθερό (21% για το μέσο φως του ήλιου, 26% για υψηλή ηλιοφάνεια) καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου. Μπορεί να βελτιωθεί ελαφρώς κατά τη διάρκεια της περιόδου που καλύπτεται.

Η αναμενόμενη οικονομική ζωή του συστήματος είναι 30 έτη, αν και αυτό είναι κάπως αυθαίρετο. Στερεάς κατάστασης συσκευές όπως οι φωτοβολταϊκές μονάδες μπορούν να διαρκέσουν πενήντα έτη ή περισσότερο, αν και άλλες μηχανικές και ηλεκτρικές πτυχές των συστημάτων μπορούν να μην είναι τόσο γερές. Μια τρέχουσα υπαίθρια δοκιμή μονάδας λεπτών στρώσης στο Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας, και παράλληλες επιταχυνόμενες δοκιμές, σχημάτισαν την βάση για αξιόπιστες προβλέψεις για τις λεπτές στρώσεις. Η περίοδος κατασκευής των συστημάτων υποτίθεται ότι ήταν λιγότερο από ένα έτος, βασισμένο στο γεγονός ότι πολλά τέτοια συστήματα χτίζονται ήδη σε παρόμοιους χρόνους κατασκευής

Πίνακας 1. Δείκτες απόδοσης και δαπανών.

INDICATOR NAME	UNITS	Base Case		2000		2005		2010		2020		2030	
		1997	+/-%		+/-%		+/-%		+/-%		+/-%		+/-%
Plant Size (DC Rating)	MW _p	0.02		3		10		20		20		20	
Plant Size (AC Rating)	MW	0.016		2.4		8		16		16		16	
Plant Size (module area)	m ²	333		33,500		91,000		143,000		125,000		118,500	
PV Module Performance Parameters													
Efficiency													
- Laboratory Cell (best)	%	18		19	5	20	5	21	6	22	7	23	8
- Submodule (best)	%	13		15	5	17	5	18	6	19	7	20	8
- Power Module (best)	%	10		12	6	15	10	17	10	18	10	19	10
- Commercial Module	%	6		9	10	11	15	14	25	16	25	17	25
- Commercial Module Output	W/m ²	60		90	10	110	15	140	20	160	20	170	25
- System Efficiency	%	4.8		7.2		8.8		11.2		12.8		13.6	
System Performance in Average-Insolation Location (global sunlight, in plane, 1800 kWh/m ² -yr)													
AC Capacity Factor	%	20.7		20.7	5	20.7	5	20.7	5	20.7	5	20.7	5
Energy/Area	kWh/m ² -yr	86		130	10	158	15	202	25	230	25	245	25
Energy Produced	GWh/yr	0.029		4.4	15	15	20	29	25	29	25	29	30
System Performance in High-Insolation Location (global sunlight, in plane, 2300 kWh/m ² -yr)													
AC Capacity Factor	%	26.4		26.4	5	26.4	5	26.4	5	26.4	5	26.4	5
Energy/Area	kWh/m ² -yr	110		166	10	202	15	258	20	294	20	313	25
Energy Produced	GWh/yr	0.037		5.6	15	18.6	20	37	25	37	25	37	30

Σημειώσεις:

1. Για κάθε ένα από τα έξι χρονικά πλαίσια, εκτιμήσεις της αβεβαιότητας (+/- %) παρέχονται.
2. Η ενέργεια παραγωγής (kWh/m²- έτη) μειώνεται κατά 20% για να περιλάβει τις λειτουργικές απώλειες που συγκρίνονται με τις εκτιμήσεις των συνεχούς ρεύματος μονάδων και των συστημάτων στο μέγιστο φορτίο (W). Η ενέργεια παραγωγής χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το ενεργειακό κόστος. Η εκτίμηση εναλλασσόμενου ρεύματος περιλαμβάνει ήδη αυτήν την μείωση 20%. Η μείωση 20% από τη μέγιστη ενέργεια των μονάδων είναι η ακόλουθη: 8% για την απόδοση μονάδας στις υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας (περίπου 50 °C αντί 25°C) 2% για τη συσσώρευση σκόνης 5% για τις συνδέσεις και ταίριασμα των μονάδων στη σειρά 5% για την μετρατροπή του συνεχούς ρευματος σε εναλλασόμενο και διαχείριση της ενέργειας για τις ανάγκες των μονάδων. Σημειώστε ότι η απώλεια της θερμοκρασίας λειτουργίας είναι χαμηλότερη από τις σημερινές απώλειες των παρατεταγμένων μονάδων λόγω του χάσματος του υλικού υψηλής-σύνδεσης όπως το το κάδμιο του τελλούριου και το άμορφο πυρίτιο έχουν χαμηλότερες θερμοκρασίας από το κρυστάλλινο πυρίτιο και έχει μισό ή τις λιγότερες απώλειες λόγω της λειτουργίας στις υψηλές θερμοκρασίες.
3. Οι ουσιαστικές αβεβαιότητες υπάρχουν και στο μέγεθος και στο συγχρονισμό των προβλέψεων, δεδομένου ότι η πρόοδος στα φωτοβολταϊκά εξαρτάται αυστηρά από τις συνεχείς ερευνητικές προόδους. Μακροπρόθεσμες προβλέψεις (2030) είναι βασισμένες στην επίτευξη του κόστους και της απόδοσης που φαίνονται πρακτικές, βασισμένες στις σημερινές τεχνολογίες και την κατανόηση. Είναι πιθανό ότι πραγματικά το 203.0 τα επιτεύγματα θα είναι καλύτερα από εκείνα που υποθέτονται εδώ λόγω των καινοτομιών που είναι πέρα από αυτό που μπορούμε να προβλέψουμε σήμερα.
4. Η ενεργειακή παράδοση είναι ίση με τον παράγοντα ικανότητας εναλλασσόμενου ρεύματος, μετράει το μέγεθος εγκαταστάσεων, μετράει τις 8.760 h/ετος, είναι ίσο με επίσης με την αποδοτικότητα του συστήματος, μετράει την περιοχή των συστημάτων, μετράει την διαθέσιμη ηλιοφάνεια ανα περιοχή μονάδας, επειδή, για αυτό το είδος απλού, μη ανιχνευτικού συστήματος, ο χρόνος διακοπής είναι αμελητέος.

Πίνακας 1. Δείκτες απόδοσης και δαπανών (Συνέχεια)

INDICATOR NAME	UNITS	Base Case 1997		2000		2005		2010		2020		2030	
			+/-%		+/-%		+/-%		+/-%		+/-%		+/-%
Capital Cost (1997\$)													
Direct Module Production Cost	\$/m ²	150-200	25	135-185	30	85-105	30	50-80	30	48-62	30	40-50	30
Power-Related BOS (converted from \$/W _p to \$/m ²)	\$/m ²	60	25	54	30	44	30	35	30	32	30	25	30
Area-Related BOS without Land	\$/m ²	109	25	100	30	78	30	48	30	42	30	39	30
Land Costs (total system area basis)	\$/m ²	0.4		0.6		0.8		0.8		1.2		1.2	
Indirect Cost Factor (on modules and systems)	multiple	1.3	50	1.21	50	1.16	50	1.1	50	1.1	50	1.11	50
Indirect Costs (on modules and systems)	\$/m ²	100	50	66	50	35	50	15	50	13	50	11	50
System Total	\$/m ²	445	30	380	35	252	35	163	35	142	35	120	35
DC Unit Costs													
Module Cost (w/overhead)	\$/W _p	3.8	30	2.2	35	1.0	35	0.5	35	0.38	35	0.29	35
BOS Cost (w/overhead & land at \$0.02/W _p)	\$/W _p	3.7	30	2.1	35	1.3	35	0.7	35	0.53	35	0.43	35
System Total	\$/W _p	7.5	30	4.3	35	2.3	35	1.2	35	0.91	35	0.72	35
System Total	\$/M	0.148	30	12.7	35	23	35	23	35	18	35	14	35
AC Unit Costs													
System Total Capital Cost	\$/W _p	9.3	30	5.3	35	2.9	35	1.5	35	1.11	35	0.88	35
Operations and Maintenance Cost													
Maintenance (annual)	\$/m ² -yr	2	30	1	30	0.5	50	0.4	50	0.3	50	0.3	50
O&M (AC unit costs)	¢/kWh	2.30	30	0.77	30	0.31	50	0.20	50	0.13	50	0.12	50
Total Annual Costs	\$/yr	666	30	33,000	30	46,000	50	57,000	50	38,000	50	36,000	50
Total Operating Costs	\$/yr	666	30	33,000	30	46,000	50	57,000	50	38,000	50	36,000	50

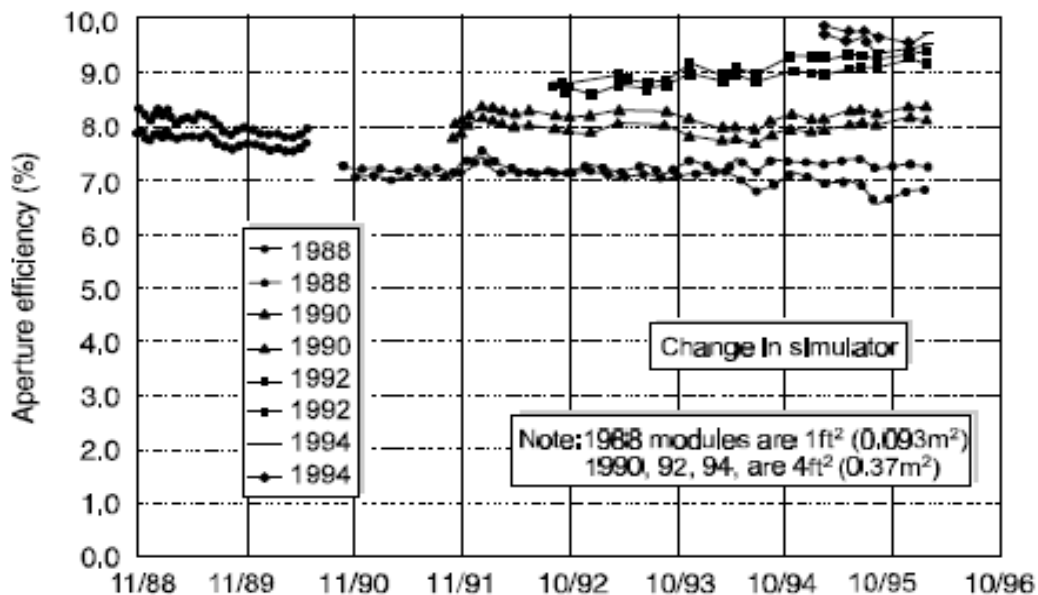
Σημειώσεις:

1. Για κάθε ένα από τα έξι χρονικά πλαίσια, εκτιμήσεις της αβεβαιότητας (+/- %) παρέχεται.
2. Η κατασκευή εγκαταστάσεων υποτίθεται ότι απαιτήσε λιγότερο από 1 έτος.
3. Η κατασκευή μονάδων και οι δαπάνες ισορροπίας του συστήματος, όταν δίνεται στις μονάδες \$/μ², δεν περιλαμβάνουν τα γενικά έξοδα. Εντούτοις, οι τελικές δαπάνες φορτώνονται πλήρως όταν δίνονται \$/W_p στις μονάδες. Η διαφορά είναι στις Γενικές δαπάνες που δίνονται ως χωριστή γραμμή. Αυτά τα γενικά έξοδα χρησιμοποιούνται για να δείξουν την πλήρως φορτωμένη ισορροπία συστήματος, της μονάδας, και τις εγκατεστημένες δαπάνες συστημάτων.
4. Οι περισσότερες άμεσες δαπάνες δίνονται ως \$/μ² επειδή οι περισσότερες δαπάνες είναι σχετικές με περιοχή (π.χ., κόστος παραγωγής ενότιης). Το δόσιμο των δαπανών από την άποψη των περιοχών είναι ένας ισχυρός δείκτης τεχνικών ζητημάτων και εξελίξεων. Παραδείγματος χάριν, οι κρίσιμες παράμετροι όπως η παραγωγή, η χρήση υλικών, και το ποσοστό είναι όλα διαδικασίες ανάλογες που παράγονται προς την περιοχή μονάδων.
5. Οι ουσιαστικές αβεβαιότητες υπάρχουν και στο μέγεθος και στο συγχρονισμό των προβλέψεων, δεδομένου ότι η πρόοδος των φωτοβολταϊκών εξαρτάται αυστηρά από τις συνεχείς ερευνητικές προόδους. Μακροπρόθεσμες προβλέψεις (2030) είναι βασισμένες στην επίτευξη του κόστους και της απόδοσης που φαίνονται πρακτικές, βασισμένες στις σημερινές τεχνολογίες και την κατανόηση

Ένας βασικός δείκτης είναι η προβλεπόμενη αποδοτικότητα των εμπορικών μονάδων. Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι σχεδόν ανάλογη στο προσπίπτον φως του ήλιου, και εκείνη η αναλογία καλείται "αποδοτικότητα" του συστήματος. Η αποδοτικότητα καθορίζεται τόσο για την ενέργεια όσο και για την δύναμη. Η δύναμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο του στιγμιαίου ποσού φωτός του ήλιου σε μια συστοιχία, ή το ποσό από την ηλεκτρική ενέργεια που η συστοιχία παράγει (μονάδες των Watt). Η ενέργεια είναι η δύναμη για μια χρονική περίοδο (μονάδες σε kWh). Για παράδειγμα, εάν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει 180 kWh/m² ανά έτος

σε μια μέση θέση στις Ηνωμένες Πολιτείες (με 1.800 kWh/m² ανά έτος ηλιοφάνεια), λέγεται ότι θα έχει μια αποδοτικότητα 10% (δεδομένου ότι το 180/1.800 είναι 10%). Ομοίως, εάν το στιγμιαίο ποσό ηλιοφάνειας είναι 1,000 W/m² (περίπου η ηλιακή ενέργεια το μεσημέρι μια καθαρή ημέρα, μέρος του καθορισμού των τυποποιημένων μέγιστων ορίων ενέργειας) και το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει 100 W/m² της ενέργειας, η αποδοτικότητά του είναι 10%, η αποδοτικότητα είναι η κρισιμότερη εικόνα αξίας για τα φωτοβολταϊκά, δεδομένου ότι και η απόδοση και το κόστος συνδέονται έντονα με την αποδοτικότητα. Το κόστος είναι αντιστρόφως ανάλογο προς την αποδοτικότητα.

Ένα σύστημα που εγκαθίσταται για \$1.000 που παράγει 100 Watt έχει μια τιμή \$10/W (\$1.000/100 W). Ένας που είναι δύο φορές όπως αποδοτικός στη μετατροπή του ηλιακού φωτός του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια παράγει την διπλάσια δύναμη (200 W) για το ίδιο χρήματα \$1.000, και έτσι έχει μισές τιμές (ανά μονάδα της δύναμης), ή \$5/W.



Σχημα 2. Αποτελέσματα από 8 χρόνια δοκιμών σε εξωτερικές μονάδες λεπτής στρώσης.

Περισσότερο από μια δεκαετία τεχνολογικής ανάπτυξης που στρέφεται στην λεπτή στρώση αρχίζει να αποπληρώνει με την μορφή τις πολύ καλής απόδοσης. Ο πίνακας 2 παρουσιάζει καλύτερες μονάδες πρωτοτύπων "μιας ανά είδος", προ-εμπορικών, λεπτής στρώσης προτότυπες μονάδες. Αυτές οι μονάδες είναι η βάση για την εμπιστοσύνη μας στις προβλέψεις δαπανών και απόδοσης.

Η κατάσταση της λεπτής στρώσης το έτος αναφοράς (1997) υποστηρίζει αυτά τα προβλέψιμα επίπεδα. Παραδείγματος χάριν, οι αποδοτικότητες σε επίπεδο κυττάρου έχουν φθάσει σε 16-18% σε δύο διαφορετικές πολυκρυσταλλικές λεπτές στρώσεις (ασθενές χαλκός ινδίου και τελλουριο του καδμίου). Οι αποδοτικότητες μονάδων και υπομονάδων συσχετίζονται πολύ με τις αποδοτικότητες κυττάρων, με ελάχιστες απώλειες (περίπου 10%) λόγω κάποιας απώλειας ενεργής περιοχής και μερικών απωλειών ηλεκτρικών αντιστάσεων. Σήμερα οι καλύτερες μονάδες σε εργαστήριο επίπεδο είναι περίπου 8-10% αποδοτικά (βλ. τον πίνακα 2). Όταν η τεχνολογία σε επίπεδο παραγωγής (που περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες ανάπτυξης που απαιτούνται για την κατασκευή) έχει υιοθετήσει όλες τις τεχνικές ικανότητες που παρατηρούνται τώρα στα εργαστηριακά πειράματα, οι καλύτερες εργαστηριακές μονάδες θα είναι περίπου 90% της αποδοτικότητας των καλύτερων κυττάρων. Οι άμεσα διαθέσιμες εμπορικές μονάδες θα είναι περίπου 90% τόσο αποδοτικές όσο οι καλύτερες πρωτότυπες μονάδες. Ο χρόνος για το πώς αυτή η Έρευνα και Ανάπτυξη θα προωθηθεί πραγματικά για να είναι διαθέσιμη στην αγορά είναι λιγότερο σίγουρο.

Πίνακας 2. Οι καλύτερες μονάδες λεπτής στρώσης (1997).

Thin Film Material	Size (cm ²)	Efficiency (%)	Power (Watts)	Company & Comments
CdTe	6,728	9.1	61.3	Solar Cells Inc.
a-Si	7,417	7.6	56.0	Solarex (Amoco Enron Solar)
CIS	3,859	10.2	39.3	Siemens Solar Industries
CdTe	3,366	9.2	31.0	Golden Photon Inc.
a-Si	3,906	7.8	30.6	Energy Conversion Devices
a-Si	3,432	7.8	26.9	United Solar Systems (USSC)
a-Si	1,200	8.9	10.7	Fuji (Japan)
CIS	938	11.1	10.4	ARCO Solar (now Siemens Solar)
CdTe	1,200	8.7	10.0	Matsushita (Japan)
a-Si	902	10.2	9.2	USSC

Σημείωση: Αποδοτικότητες που ελέγχονται ανεξάρτητα στο Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας..

Υπομονάδες που δεν παρουσιάζονται στον πίνακα 2 έχουν φθάσει σε 13-14% σε περίπου 100 cm² στην περιοχή. Οι αποδοτικότητες είναι 10% 11% στο τετραγωνικό-πόδι (0,093 m²), και 7% 10% στις μεγαλύτερες μονάδες ενέργειας που κυμαίνονται στο μέγεθος από 4 έως 8 τετραγωνικά πόδια (0,37-0,74 m²) στην περιοχή. Πριν μερικά έτη (1990), καμία μονάδα λεπτής

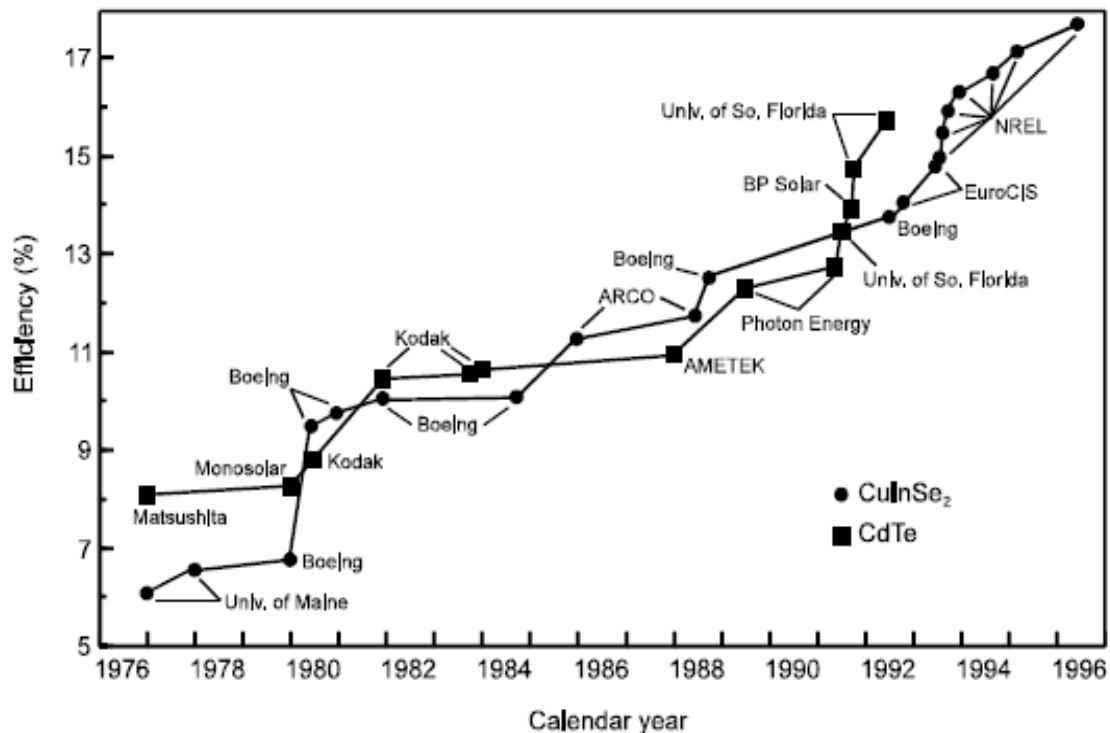
στρώσης μεγαλύτερη από τέσσερα τετραγωνικό πόδια (0,37 μ²) δεν μπορούσε να γίνει.

Η μετάβαση από τα εργαστήριακού επιπέδου πρωτότυπα κυττάρων στις προ-εμπορικές μονάδες είναι σε εξέλιξη. Αυτές οι ίδιες μονάδες τώρα αποτελούν τη βάση για το σχέδιο και την κατασκευή εγκαταστάσεων μεγαλύτερης ισχύος, οι οποίες είναι σε πρόοδο σε πολλές επιχειρήσεις λεπτής στρώσης στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Εν τω μεταξύ, η πρόσθετη τεχνική πρόοδος είναι καθ'οδόν. Το σχήμα 3 παρουσιάζει την πρόσφατη πρόοδο στα πολυκρυσταλλικά εργαστηριακά κύτταρα λεπτής στρώσης. Οι αλλαγές αναμφίβολα στα καλύτερα 16-18% αποδοτικά κύτταρα δεν έχουν ακόμα ενσωματωθεί στις μονάδες του πίνακα 2. Η πρόοδος στα κύτταρα λεπτής στρώσης παρέχουν μια ισχυρή βάση για την πεποίθησή μας ότι ο φιλόδοξος στόχος απόδοσης του 15% για τις εμπορικές μονάδες θα πραγματοποιηθεί. Το σχήμα 2 παρουσιάζει υπαίθριες δοκιμές έξι βασισμένων μονάδων λεπτής στρώσης ασθενούς χαλκού ινδίου στο Εθνικό Εργαστήριο Ανεnevώσιμης Ενέργειας. Αυτές οι μονάδες ήταν έξω για σχεδόν οκτώ (8) έτη. Δεν παρουσιάζουν καμία προφανή αλλαγή στην απόδοση. Στοιχεία σταθερότητας 2 χρόνων είναι διαθέσιμα για τις μονάδες κάδμιου του τελλουρίου.

Οι δαπάνες μονάδων και συστημάτων δίνονται συχνά σε \$/m² ως ένδειξη ότι οι περισσότερες δαπάνες φωτοβολταϊκών είναι ανάλογες προς την περιοχή μονάδας. (Μερικές δαπάνες, όπως εκείνοι για τους εναλλάκτες, είναι ανάλογες προς τη δύναμη, αλλά μπορούν να μετατραπούν σε \$/m² χρησιμοποιώντας την περιοχή και μια γνωστή παραγωγή ανά περιοχή μονάδων). Μια μονάδα μπορεί να έχει ένα πλήρως κόστος \$400/m² στην κατασκευή. Εάν παράγει 100 W/m² υπό τους "τυποποιημένους όρους", λέγεται για να έχει ένα κόστος \$4/Wp (Wp βασίζεται στα Watt που παράγονται κατά το σημείο αιχμής της ηλιοφάνειας). Οι σημερινές φωτοβολταϊκές μονάδες πωλούν περίπου \$3,5 σε \$5/Wp και τα φωτοβολταϊκά συστήματα πωλούν σε περίπου \$7 έως \$15/Wp. Η ενέργεια αιχμής για ένα σύστημα βρίσκεται όταν προστεθεί επάνω η δύναμη των μεμονωμένων μονάδων, εκτιμούμενες από την μέγιστη ενέργεια τους. Τα οικονομικά των συστημάτων έπειτα υπολογίζονται βασισμένα στην παραγωγή kWh κατά τη διάρκεια των πραγματικών ή μέσων όρων σε μια συγκεκριμένη ηλιακή θέση.

Για το έτος αναφοράς (1997) το σύστημα διαμορφώνεται μετά από δύο πρόσφατα συστήματα λεπτής στρώσης: ένα σύστημα APS α-Si 400 kW σε φωτοβολταϊκό στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (\$5/Wp) και και ένα σύστημα με ηλιακά κύτταρα 25 kW του τελλουρίου του καδμίου στη βάση Πολεμικής Αεροπορίας Edwards (\$6.3/Wp). Σήμερα, οι δαπάνες για τις φωτοβολταϊκές μονάδες είναι περίπου οι μισές από τις συνολικές δαπάνες συστημάτων για τα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα και είναι η αρχική ευκαιρία για μειώσεις δαπανών. Η τεχνολογική επιλογή που εξετάζουμε εδώ (λεπτή στρώση) ερευνήθηκε αρχικά επειδή το ενδεχόμενο κόστος ανά περιοχή μονάδων είναι σημαντικά χαμηλότερο από το υπάρχον βασισμένο στο δίσκους ολοκληρωμένου πυριτίου. Εκτός από το κόστος μονάδας, η απόδοση της καθορίζει την απόδοση των συστημάτων. Οι δομικές δαπάνες εξαρτώνται ιδιαίτερα από τις οικονομίες του όγκου παραγωγής. Αναμένονται να μειωθούν

καθώς η παραγωγή αυξάνεται. Εντούτοις, οι αποδοτικότητες των μονάδων και το κόστος παραγωγής μονάδας είναι οι περιοχές κλειδιά που επικεντρωνόμαστε καθώς καθορίζουν δαπάνες των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η εργασία για τη βελτίωση των φωτοβολταϊκών μονάδων (και από την άποψη της αποδοτικότητας και από αυτή των δαπανών) είναι πιθανόν να αποπληρωθεί με τις μειώσεις των τιμών στα φωτοβολταϊκά



Πίνακας 3. Πρόσφατη πρόοδος στις πολυκρυσταλλικές αποδοτικότητες εργαστηριακών κυττάρων λεπτής στρώσης.

Στοιχεία όσον αφορά το συγκεκριμένο άμορφο πυρίτιο και την πολυκρυσταλλική τεχνολογία λεπτής στρώσης τα παρέιχαν κατασκευαστές των Ηνωμένων Πολιτειών στο Υπουργείο Ενέργειας/Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας ως τμήμα των τελικών τους αναφορών. Αυτοί παρέχουν τις πιο ενημερωμένες πληροφορίες για τις προβλέψεις δαπανών των μονάδων. Σχεδόν όλες αυτές οι μελέτες δαπανών συμφωνούν ότι το κόστος παραγωγής για ένα μελλοντικό βέλτιστο κατασκευαστικό σενάριο μια μονάδας λεπτής στρώσεως μπορεί να είναι τόσο χαμηλό όσο \$40-\$50/m². Μιας και το ζήτημα του να επιτευχθεί πολύ χαμηλό κόστος παραγωγής μονάδας, \$50/m² ή λιγότερο, είναι ίσως το σημαντικότερο οποιασδήποτε πτυχής αυτών των προβλέψεων, που αξίζουν κάποια ειδική εστίαση. Η σε βάθος αναθεώρηση των αναφορών πιο πάνω υποστηρίζει αυτόν τον ισχυρισμό και αποκαλύπτει μερικές σημαντικές πτυχές του κόστους που συνοψίζονται στον πίνακα 3.

Πινάκας 3. Περίληψη του άμεσου κόστους παραγωγής λεπτής στρώσης: προβλέψεις για πρακτικές μακροπρόθεσμων μειώσεων .

Summary of Thin Film Direct Manufacturing Costs	Cost (\$/m ²)
Materials	
Glass (2 sheets @ \$5/m ²)	10
Binder (between glass and module)	5
Active Materials (for PV thin film)	5
Subtotal: Materials	20
Capital equipment (manufacturing plant)	10
Energy used in manufacturing	2
Facilities	1
Labor	10
TOTAL	43

Υλικά: Οι χαρακτηριστικές δαπάνες υλικών για τα διάφορα υλικά που χρησιμοποιούνται στις λεπτές στρώσεις (στην υψηλή καθαρότητα) μπορούν να ποικίλουν από \$20 σε \$200/kg, ή \$0.02-\$0.20/g. Πενήντα γραμμάρια θα κόστιζαν για \$5/m². Αυτό είναι το συνολικό κόστος των ενεργών υλικών σε μια λεπτής στρώσης μονάδα. Οι συνολικές δαπάνες υλικών είναι περίπου \$20/m² (που προσθέτει τα ενεργά υλικά, σύνδεσμους, και δύο κομμάτια από γυαλί).

Εγκαταστάσεις κατασκευής: Οι αρχικές δαπάνες τους τείνουν να περιέλθουν στο εύρος από \$10M σε \$30M για 10 MW της ετήσιας παραγωγικής ισχύος (περίπου 150.000 m² από τις μονάδες με αποδοτικότητα 6,5%). Αυτό είναι \$1-\$3/Wρ για την πρωτοετή παραγωγή μονάδας. Εάν αυτό το κόστος αποσβήνεται πάνω από 5 έτη, αυτό γίνεται \$0.3-0.8/Wρ για τις δαπάνες παραγωγής (που υποθέτουν ένα ποσοστό έκπτωσης για να λάβει υπόψη τη χρονική αξία των χρημάτων). Αυτές οι δαπάνες πρέπει να μεταφραστούν σε \$/m² για να παρέχουν μια διορατικότητα στις τάσεις. Από τη σημερινή μονάδα οι αποδοτικότητες είναι μόνο 5%-8%, και οι δαπάνες εγκατάστασης είναι περίπου \$18 σε \$52/m² (που υποθέτει 65 W/m² που πολλαπλασιάζονται με \$0.3/W ή \$0.8/W). Οι αρχικές δαπάνες μπορούν μόνο να γίνουν χαμηλότερες καθώς οι διαδικασίες βελτιστοποιούνται για τη γρηγορότερη ρυθμοαπόδοση Ένα "καλο" μελλοντικό αρχικό κόστος περίπου του μισού από το σημερινό χαμηλότερου κόστους, \$10/m², φαίνεται αρκετά συντηρητικό. (Παραδείγματος χάριν, ο τριπλασιασμός του ποσοστού ρυθμοαπόδοσης θα έκοβε το κόστος μονάδας αποδίδοντας στο κεφάλαιο εγκαταστάσεων (\$10/m²) από έναν παράγοντα τριών. Αυτό το είδος βελτίωσης είναι ήδη υπό έρευνα σε εργαστηριακό επίπεδο.)

Ενέργεια, Εργασία και Εγκαταστάσεις: Τα υπόλοιπα άμεσα τμήματα κόστους παραγωγής είναι ενέργεια, εργασία, και εγκαταστάσεις.. Οι διάφορες αναλύσεις των δαπανών ενεργειακής εισαγωγής μονάδας προτείνουν ότι οι μονάδες θα ξεπληρώσουν την ενεργειακή παραγωγή τους μέσα σε ένα έτος από την υπαίθριας λειτουργίας

Προσθέτοντας όλες τις δαπάνες μέχρι τώρα, η παραγωγή φτάνει τα \$32/m². Οι δαπάνες εγκαταστάσεων είναι για \$200,000/έτος για εγκαταστάσεις 10 MW, ή \$0.02/Wρ, το οποίο είναι \$1.3/m² (σχεδόν αμελητέο). Οι δαπάνες εργασίας είναι το τελευταίο στοιχείο μεγάλης σημασίας. Υπολογίζουμε ότι μια λειτουργική εγκατάσταση με μια λογική αυτοματοποίηση θα απαιτούσαι περίπου 10 χειριστές/βάρδια, 30 πλήρους απασχόλησης προσωπικό. Αυτές είναι θέσεις τεχνικών και χειριστών. (η διαχείριση και το μάρκετινγκ, καθώς επίσης και άλλες έμμεσες δαπάνες, συμπεριλαμβάνονται στα γενικά έξοδα.) Με άμεσες δαπάνες \$50,000/έτος, θα κόστιζαν \$1,500,000/έτος, ή \$0.15/W, ή \$10/m². Προσθέτοντας αυτές τις εκτιμώμενες παραγωγές (\$20/m² για τα υλικά \$10/m² για τον κύριο εξοπλισμό \$2/m² για την ενέργεια \$1/m² για τις εγκαταστάσεις και \$10/m² για την εργασία) φτάνει τα \$43/m². Αυτός ο αριθμός είναι και κοντά στις εκτιμήσεις του "καλύτερου μελλοντικού" κόστους παραγωγής (περίπου \$40/m²).

Οι δαπάνες Ισορροπίας Συστήματος, είναι δαπάνες σχετικές με όλα εκτός από τις μονάδες και τα γενικά έξοδα. π.χ, έδαφος, δομές υποστήριξης, καλωδίωση μονάδας, βελτίωση ενέργειας και εναλλάκτης συνεχούς σε εναλλασόμενο ρεύμα, εγκατάσταση, και μεταφορά. Το συνολικό κόστος συστημάτων είναι το κόστος μονάδας, το κόστος Ισορροπίας Συστήματος, συν τα γενικά έξοδα. Τα γενικά έξοδα και οι δαπάνες Ισορροπίας Συστήματος αναμένεται να μειωθούν επειδή το κόστος των σημερινών συστημάτων είναι το σύνολο των πολύ χαμηλών δαπανών των υλικών, αρκετά υψηλών δαπανών εναλλακτών συνεχούς σε εναλλασόμενο ρεύμα, εφαρμοσμένη μηχανική, και δαπάνες εγκατάστασης. Οι βελτιώσεις στους εναλλάκτες έχουν παρατηρηθεί ήδη σε άλλες ανανεώσιμες ενέργειες (π.χ. αέρας) όταν τα μεγέθη εναλλακτών είναι μεγάλα. Οι άλλες πτυχές των δαπανών συστημάτων (σχέδιο, εφαρμοσμένη μηχανική, εγκατάσταση, γενικά έξοδα) είναι όλα πιθανόν να πέσουν σημαντικά αφού οι όγκοι και οι επαναλήψεις αυξάνονται. Πολλοί αντιπρόσωποι βιομηχανίας φωτοβολταϊκών θεωρούν ότι οι δαπάνες υλικών στην Ισορροπία Συστήματος των φωτοβολταϊκών θα είναι συμβατές με τις πολύ χαμηλές τελευταίες δαπάνες όπως εκείνους που αναφέρονται εδώ.

1.2.6 Έδαφος, Νερό, και Κρίσιμες Απαιτήσεις Υλικών

Πίνακας 4. Απαιτήσεις πόρων.

Indicator Name	Units	Base Year					
		1997	2000	2005	2010	2020	2030
Land	ha/MW	5	4	3	2.5	2.5	2.5
	ha	0.08	9.6	24	40	40	40
Critical elements (e.g., In, Se, Ga, Te)	MT/GW _p	NA	50	30	20	10	3
Water	m ³	nil	nil	nil	nil	nil	nil

Οι εδαφικές ανάγκες περιοχής είναι βασισμένες στον υπολογισμό της περιοχής των συστοιχιών που απαιτείται για να παραχθεί η επιθυμητή παραγωγή, ποσό ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο της συστοιχίας και έπειτα πολλαπλασιασμός αυτής της περιοχής με έναν παράγοντα περίπου 2,5 για να αποτελέσει το σύνολο των συστοιχιών. Στα συστήματα με αποδοτικότητα 10%, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει περίπου 100 W/m² ανά συστοιχία. Ένα MW θα απαιτούσε έτσι 25.000 m² εδάφους, ή περίπου 0,025 Km². Τα πρώτα χρόνια, εμείς αναμένουμε την αποδοτικότητα των συστημάτων να είναι κάτω από 10% αλλά μέχρι το 2010, η αποδοτικότητα συστημάτων υποθέτεται πάνω από 10% (απολογισμός για τους χαμηλότερους αριθμούς χρήσης του εδάφους). Σε μερικές περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά θα χρησιμοποιηθούν στις στέγες ή σε άλλες διπλής χρήσης εφαρμογές, μειώνοντας κατά συνέπεια τη χρήση εδάφους κάτω από αυτές τις εκτιμήσεις.

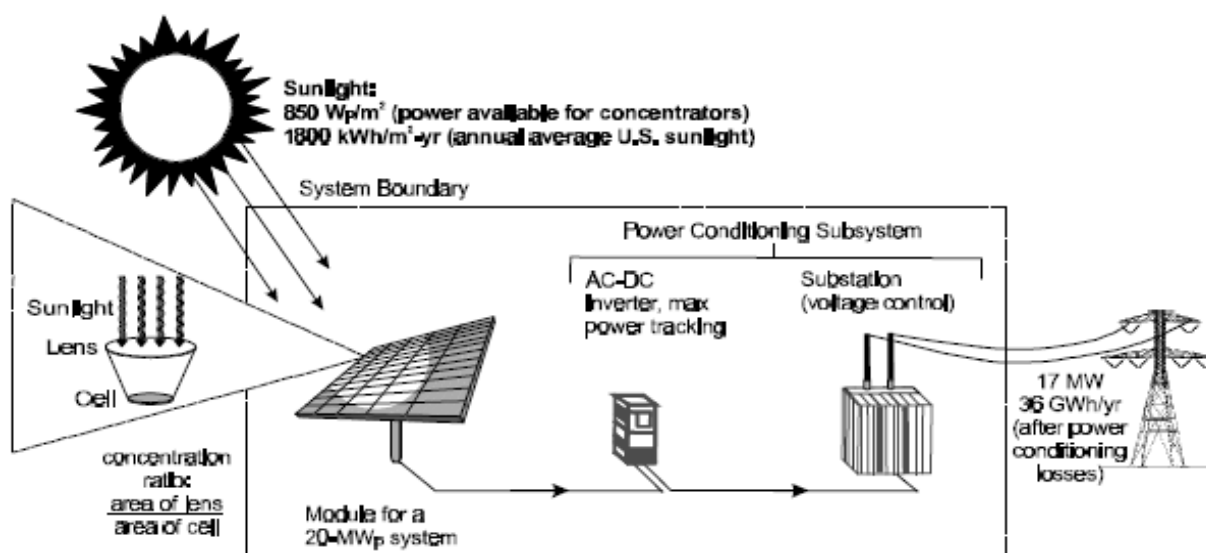
Ορισμένες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών απαιτούν σημαντικά στοιχεία όπως το τελλούριο, το ίνδιο, το σελήνιο, και το γάλλιο. Η διαθεσιμότητα αυτών των υλικών, σε γενικές γραμμές, περιορίζονται από τα οικονομικά και τους γεωλογικούς παράγοντες. Εντούτοις, τα φωτοβολταϊκά λεπτής στρώσης χρησιμοποιούν πολύ μικρές ποσότητες. Οι χαρακτηριστικές στοιχειώδεις συγκεντρώσεις στο φωτοβολταϊκό είναι περίπου 3 g/m² πάχους για κάθε στρώμα. Τα πάχη στρώματος ποικίλλουν από περίπου 1-3 μm. Στα πρώτα χρόνια, λίγη προσπάθεια θα τεθεί στη μείωση του πάχους, επειδή ακόμα και σε αυτά τα υλικά παχών οι δαπάνες δεν είναι οδηγός. Αλλά καθώς η απόδοση αυξάνεται και άλλες δαπάνες ξεπερνιούνται οι δαπάνες υλικών θα γίνουν σημαντικές, και τα στρώματα θα είναι λεπτότερα. Το θεωρητικό όριο στον τρόπο με τον οποίο τα λεπτά στρώματα μπορούν να είναι είναι περίπου 0.1-0.3 μm, ανάλογα με τις λεπτότητες των συσκευών όπως η ελαφριά παγίδευση για να προκαλέσει πολλαπλές αντανάκλασεις. Αυτή η εξέλιξη των υλικών αναγκών ειπάρχει στον πίνακα 4 (ανωτέρω) βασισμένο στο μειωμένο πάχος στρώματος (που έρχεται κάτω από περίπου 2 μm σε περίπου 0,2 μm) και αποδοτικότητα (παραγωγή ανά g πρώτης ύλης) που ανέρχονται από 8% σε 15%. Σε καμία περίπτωση η πολύ μεγάλης κλίμακας χρήση των

φωτοβολταϊκών δεν θα ασκούσε πίεση στη διαθεσιμότητα αυτών των στοιχείων. Πράγματι, αυτό σημαίνει επίσης ότι άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται στους σύνθετους ημιαγωγούς (π.χ., κάδμιο σε τελλούριο του καδμίου) δεν θα χρησιμοποιούνταν υπερβολικά, για πρόληψη των περισσότερων παγκόσμιων περιβαλλοντικών επιδράσεων αυτών των υλικών. Παραδείγματος χάριν, το κάδμιο χρησιμοποιείται σήμερα σε περίπου 20,000 MT/έτος για τις τωρινές χρήσεις (επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για ψυχαγωγία). Χρησιμοποίηση 100 MT/έτος για το φωτοβολταϊκό (για να προσθέσει παραπάνω 30 Η GWh /έτος ισχύ στα φωτοβολταϊκά) θα άλλαζε αυτήν την χρήση κατά λιγότερο από 0,5%,

Έν τέλη, καθώς το φωτοβολταϊκό φτάνει σε μια σταθερή κατάσταση, ανακύκλωση των ξεπερασμένων μονάδων λεπτής στρώσης θα επέτρεπε μια ακόμα μείωση κατά το ήμισυ στις ποσότητες νέου υλικού που απαιτούνται για να παράγουν ένα GWh φωτοβολταϊκού ετησίως. Στην πραγματικότητα, η χρήση των υλικών είναι τόσο ελεγχόμενη στα φωτοβολταϊκά συστήματα (οι ημιαγωγοί στεγανοποιούνται από το περιβάλλον για 30 έτη ή περισσότερο και μπορούν έπειτα να ανακυκλωθούν), εκείνο το φωτοβολταϊκό μπορεί τελικά να διαδραματίσει έναν ρόλο ως μια ασφαλή και παραγωγική “δεξαμενή” για τα πολυάριθμα υλικά που ειπάρχουν σήμερα χωρίς οποιοδήποτε μακροπρόθεσμη στρατηγική απομόνωσης. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν χρησιμοποιούν το νερό κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

1.3 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΕΤΑΙΡΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

1.0 System Description



Σχημα 1. Σχηματική αναπαράσταση φωτοβολταϊκού συλλέκτη συστήματος συνδεδεμένο σε δίκτυο.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα συλλεκτών χρησιμοποιούν τους οπτικούς συλλέκτες για να στρέψουν άμεσα το φως του ήλιου επάνω στα ηλιακά κύτταρα για τη μετατροπή του σε ηλεκτρική ενέργεια. Το σχήμα 1 παρουσιάζει σύστημα φωτοβολταϊκών συλλεκτών που συνδέεται με το δίκτυο που προσφέρει ενέργεια στους πελάτες. Το πλήρες σύστημα περιλαμβάνει τις μονάδες συλλεκτών, κατασκευές υποστήριξης και ανίχνευσης, ένα κέντρο επεξεργασίας ενέργειας και το έδαφος. Τα τμήματα μονάδων των φωτοβολταϊκών συλλεκτών περιλαμβάνουν τα ηλιακά κύτταρα, ένα ηλεκτρικό απομόνωμένο και θερμικά αγωγίμο προστατευτικό κάλυμμα για την στήριξη και τη διασύνδεση των κυττάρων, και τους οπτικούς συλλέκτες. Τα ηλιακά κύτταρα στους σημερινούς συλλέκτες είναι κυρίως από πυρίτιο, αν και τα ηλιακά κύτταρα αρσενίδιων γαλλίου (GaAs) μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον λόγω της υψηλής αποδοτικότητας υψηλής. Το προστατευτικό κάλυμμα τοποθετεί τα ηλιακά κύτταρα στην εστίαση των στοιχείων του οπτικού συλλέκτη και παρέχουν τα μέσα για την αποβολή της υπερβολικής θερμότητας που παράγεται στα ηλιακά κύτταρα. Οι οπτικοί συλλέκτες είναι φακοί Fresnel αλλά μπορούν επίσης να είναι ανακλαστές. Εκτός από τις χαμηλές συγκεντρώσεις, κάτω από περίπου 10 suns, όπου οι οπτικοί συμπυκνωτές μπορούν να χρησιμοποιήσουν μόνο την άμεση κανονική, μη-διάχυτη, μερίδα της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι μονάδες είναι τοποθετημένες σε μια δομή υποστήριξης και, κατά τη διάρκεια των ωρών ηλιοφάνειας είναι προσανατολισμένες να έχουν πρόσωπο (η τροχιά) προς τον ήλιο χρησιμοποιώντας κινητήρες, γρανάζια και ένα ελεγκτή. Η ανίχνευση του ήλιου είναι απαραίτητη για την υψηλή συγκέντρωση (επάνω από 10 ήλιους περίπου ή 10x) και αυξάνει το ποσό ενέργειας που συλλαμβάνεται καθημερινά, περισσότερο από το να αντισταθμίζει τις απώλειες λόγω της ανικανότητας να μετατραπεί η διάχυτη ακτινοβολία. Η παραγωγή των συλλεκτών ρέει σε ένα κέντρο επεξεργασίας ενέργειας που περιλαμβάνει υλικό για να μετατρέψει τη ενέργεια από συνεχές ρεύμα (DC) σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), συσκευές ασφάλειας, και ελεγκτές για να διασυνδεθεί κατάλληλα με το εταιρικό δίκτυο ή άλλο φορτίο.

Με τη χρησιμοποίηση των οπτικών συλλεκτών για να στρέψει το άμεσο φως του ήλιου επάνω στα ηλιακά κύτταρα, την περιοχή κυττάρων, και συνεπώς το κόστος κυττάρων, μπορεί να μειωθεί από έναν παράγοντα μέχρι χίλια (έναν παράγοντα συγκέντρωσης 1,000x). Το κόστος του ηλιακού κυττάρου αποτελεί μεταξύ 5% και 10% του συνολικού κόστους των συστημάτων συλλεκτών. Ακριβότερα κύτταρα, που κοστίζουν ακόμη και εκατοντάδες ή χιλιάδες δολάρια περισσότερα ανά περιοχή μονάδων από το κύτταρο ενός ήλιου που χρησιμοποιούνται στα επίπεδα συστήματα πιάτων, μπορούν ακόμα να είναι οικονομικά αποδοτικά στους συλλέκτες. Επιπλέον, επειδή τα κατάλληλα σχεδιασμένα κύτταρα συλλεκτών είναι ήδη σημαντικά αποδοτικότερα από τα κύτταρα ενός ήλιου, οι συλλέκτες ήταν πάντα μια ελπιδοφόρος υψηλής απόδοσης φωτοβολταϊκή επιλογή.

1.3.1 Εφαρμογή, Οφέλη, και Επιδράσεις Συστημάτων

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας συλλεκτών είναι η δυνατότητα για γρήγορη μεγέθυνση κλίμακας. Εκτός από τα ηλιακά κύτταρα, τα παραμένοντα τμήματα συλλεκτών είναι εύκολα διαθέσιμα από το μέταλλο, το πλαστικό, το γυαλί, και τους ηλεκτρικούς κατασκευαστές και τους προμηθευτές. Οι συλλέκτες προσφέρουν επίσης το όφελος του ότι δεν παράγουν κανένα απόβλητο ή εκπομπή κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Τα απόβλητα ως αποτέλεσμα της κατασκευής του κυττάρου είναι χαμηλότερα, από τον παράγοντα συγκέντρωσης, από εκείνα του οριζοντίου κατόπτρου των ηλιακών κυττάρων. Περαιτέρω, για την διαθεσιμότητα των πρώτων υλών πολυπυρίτιου γίνεται ένα ζήτημα για τη φωτοβολταϊκή βιομηχανία κρυστάλλινου πυριτίου, το γεγονός ότι οι συλλέκτες χρησιμοποιούν από εκατό έως χίλιες φορές λιγότερο πυρίτιο από τα συστήματα οριζοντίου κατόπτρου μπορεί να είναι σημαντικό.

Οι πωλήσεις των συστημάτων συλλεκτών είναι λιγότερες από 1 τοις εκατό όλων των πωλήσεων των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Οι συλλέκτες δεν είναι καλά ταιριασμένοι στις μικρές εφαρμογές όπου οι περισσότερες από αυτές τις πωλήσεις φωτοβολταϊκών έχουν πραγματοποιηθεί, και η πολύ μεγάλη εφαρμογή των συλλεκτών όπως οι εγκαταστάσεις εταιριών παραγωγής ενέργειας απαιτούν χαμηλό κόστος από την αρχή. Οι συλλέκτες έχουν πρόσθετα φορτία έναντι των συστημάτων οριζοντίου κατόπτρου. Οι ανησυχίες σχετικά με την αξιοπιστία του συστήματος ανίχνευσης προστίθενται στις ανησυχίες σχετικά με την αδιάκριτη εμφάνισή τους και στις περισσότερο περιοριστικές επιλογές τοποθέτησης. Είναι δύσκολο να ενσωματωθούν στις οικιακές στέγες, παραδείγματος χάριν.

Ξέροντας ότι οι συλλέκτες δεν μπορούν να ανταγωνιστούν σε ορισμένες αγορές υπαγόμενες στα μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα οριζοντίου κατόπτρου δεν σημαίνει ότι δεν μπορούν να ανταγωνιστούν σε άλλες αγορές. Οι υψηλής απόδοσης συλλέκτες θα είναι δύσκαμπτος ανταγωνισμός για άλλες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στις μεσαίας κλίμακας εφαρμογές στις περιοχές με καλούς ηλιακούς πόρους. Εντούτοις, ακόμα κι αν μερικές εφαρμογές ευνοούν τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες σε σχέση με τα συστήματα οριζοντίου κατόπτρου, ή αντίστροφα, ο σημαντικότερος ανταγωνισμός στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής για το καθένα είναι το φυσικό αέριο.

1.3.2 Τεχνολογικές Υποθέσεις και Ζητήματα

Αυτή η μελέτη είναι βασισμένη στην τρέχουσα κατάσταση της παγκόσμιας ανάπτυξης συλλεκτών. Υπάρχουν τουλάχιστον 10 επιχειρήσεις που αναπτύσσουν ή που κατασκευάζουν τα συστήματα συλλεκτών. Τρεις από τις επιχειρήσεις συλλεκτών των Ηνωμένων Πολιτειών εμπορεύονται ενεργά τα συστήματά τους. Η ποικιλία των τεχνολογιών είναι εκτενής, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.

Λαμβάνοντας υπόψη την ποικιλία των τεχνολογιών που παρουσιάζονται στον πίνακα 1, η επιλογή ενός συλλέκτη ως βάση για αυτή τη μελέτη είναι κάπως αυθαίρετος. Μια πρόσφατη αξιολόγηση περιέλαβε τις βραχυπρόθεσμες εκτιμήσεις για ποικίλες τεχνολογίες συλλεκτών. Αυτοί περιλαμβάνουν:

- Ένας άξονας ακολουθώντας παραβολική τροχία στα 50x μια πολιτική τροχιά αντανάκλαστική περνάει με συγκέντρωση 50x σε έναν φωτοβολταϊκό δέκτη πυριτίου.
- Ο στατικός (μη-ανιχνευτικός) συλλέκτης ένας στατικός συλλέκτης με υποθετική συγκέντρωση 4x. Είναι τοποθετημένος και στραμμένος προς το νότο με την κλίση του γεωγραφικού πλάτους. Αυτή η έννοια, αν και όχι μέρος αυτής της μελέτης, βρέθηκε να είναι μια χαμηλού κόστους επιλογή συγκρίσιμη είτε με αυτή του οριζοντίου κατόπτρου είτε την λεπτή στρώση είτε φωτοβολταϊκές μονάδες υψηλής συγκέντρωσης. Το ιαπωνικό πρόγραμμα φωτοβολταϊκών άρχισε πρόσφατα μια νέα ερευνητική προσπάθεια σε στατικούς συλλέκτες.
- Σημείο εστίασης ή συλλέκτης πιάτου 400x χρησιμοποιώντας πυρίτιο ένα αντανάκλαστικό πιάτο ή ένας φακός Fresnel που χρησιμοποιεί τα υψηλής αποδοτικότητας κύτταρα συλλεκτών πυριτίου που λειτουργούν σε μια συγκέντρωση 400x. Η ανάλυση δεν είναι αρκετά ακριβές ώστε να διακρίνετε μεταξύ αυτών των δύο οπτικών συλλεκτών.
- Ένα σημείο εστίασης ή συλλέκτης πιάτου σε 1,000x που χρησιμοποιεί αρσενίδιο του γαλλίου αυτό είναι ένα σύστημα παρόμοιο με τα ανωτέρω, αλλά το κύτταρο πυριτίου αντικαθίσταται με ένα πολλαπλό πολύ υψηλής απόδοσης κύτταρο που εδρεύει σε υλικά σχετικά με το αρσενίδιο του γαλλίου.

Πίνακας 1. Τρέχουσες προσπάθειες ανάπτυξης τεχνολογίας συλλεκτών.

Concentrator Type	Concentration Factor	Cell Type	Comments
Linear Fresnel lens	20x	Silicon	Mature 4th generation design
Linear Fresnel lens	15x	1-sun Si	Collects some diffuse light and uses simple tracker
Point-focus Fresnel lens	250x	High efficiency Si	Uses reflective secondaries, projects less than \$2/W in high volume
Point-focus Fresnel lens	250x	High efficiency Si	Glass lens and advertises \$3/W for field larger than 500 kW
Point-focus Fresnel lens	300x	Si	Developed small 230 W module competitive with flat plate modules
Dish	2400x	Si or GaAs	Cogeneration approach produces thermal energy and electricity, 1 kW system completed
Dish	500x	Si	Cogeneration, demonstrated proof of concept
Reflecting Parabolic Trough	25x and 32x	Si	Two different manufacturers
Innovative Optics	10x	Si or Other	Spectrally selects light, non-tracking
Linear Focus	2-10x	CuInSe ₂	Innovative solar cell filaments, tracking and nontracking

Από αυτές τις προσεγγίσεις, ο ένας άξονας ακολουθώντας παραβολική τροχιά στα 50x υποτίθεται για τη βασική γραμμή επειδή είναι το πιο παρόμοιο με τους συλλέκτες που είναι διαθέσιμοι στην αγορά σήμερα. Το σημερινό κόστος για αυτό το γενικό σύστημα βάσης, υπολογίζεται σε \$7,55 ανα Watt συνεχούς ρεύματος (βλ. τον πίνακα 2), είναι σαφώς δικαιολογήσιμο δεδομένου ότι μερικές επιχειρήσεις αναμένουν τα συστήματά τους ότι θα πωλούσαν για αρκετά λιγότερο υπό ορισμένους όρους (βλ. τον πίνακα 1). Ο οπτικός συλλέκτης εστίασης σημείου επιλέχτηκε για το μελλοντικό προϋπολογισμό δαπανών επειδή παρουσιάζει κάποιο πλεονέκτημα δαπανών πέρα από άλλες τεχνολογίες συλλεκτών και είναι υπό ανάπτυξη από διάφορους κατασκευαστές σήμερα (βλ. τον πίνακα 1). Προβλέψεις για τις τεχνολογίες συλλεκτών πέρα από το 2010 είναι ιδιαίτερα αβέβαιες, επειδή κατά ένα μέρος και το Υπουργείο Ενέργειας και το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας ολοκλήρωσαν την ανάπτυξη συλλεκτών στις αρχές της δεκαετίας του '90. Κάποιες κυβερνητικές χρηματοδοτικές ευκαιρίες είναι ακόμα διαθέσιμες στο πλαίσιο τέτοιων προγραμμάτων όπως τη Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία Κατασκευής (PVMaT) και την Τεχνολογική Εμπειρία για να επιταχύνει τις αγορές στα Εταιρικά φωτοβολταϊκά. Εντούτοις, ένα σύνολο βιομηχανιών (η Συμμαχία Φωτοβολταϊκών Συλλεκτών) επιδιώκει την εμπορευματοποίηση των συστατικών των συλλεκτών και των συστημάτων, και υποδηλώνει ότι ένας ρόλος για την κυβέρνηση στην ανάπτυξη της βιομηχανίας τους είναι

απαραίτητος. Η Συμμαχία θεωρεί ότι η κυβέρνηση πρέπει να παρέχει τεχνική υποστήριξη για τη βελτίωση της απόδοσης συστημάτων, της αξιοπιστίας συστημάτων, και των προτύπων. Επιπλέον, η Συμμαχία θεωρεί ότι η κυβέρνηση πρέπει να παρέχει μακροπρόθεσμη υποστήριξη για την Έρευνα και Ανάπτυξη στα κύτταρα υψηλής αποδοτικότητας, καλύτερη οπτική τεχνολογία, περισσότερο αξιόπιστες μονάδες, αξιόπιστες συστοιχίες ανίχνευσης του ήλιου, νέες εφαρμογές συλλεκτών, και νέες ιδέες για τους συλλέκτες επόμενης γενιάς. Η Συμμαχία επίσης υποστηρίζει και ενθαρρύνει διάφορα κυβερνητικά προγράμματα που προωθούν την ανανεώσιμη ενέργεια μέσω των φορολογικών κινήτρων, την ανάπτυξη αγοράς, των πιστώσεων ρύπανσης, και του πράσινου μάρκετινγκ.

Εν περιλήψη, αυτό είναι μια "καλύτερη μελλοντική" αποτίμηση των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών των συλλεκτών, ειδικά για τα χρόνια που ακολουθούν μετά το 2010. Η απόδοση (και δαπάνες) για αυτά τα τελευταία έτη υπόκεινται στην ιδιαίτερη αβεβαιότητα, ειδικά λαμβάνοντας υπόψη την σχεδόν ανεπαρκή κυβερνητική χρηματοδότηση.

1.3.3 Απόδοση και Κόστος

Ο πίνακας 2 συνοψίζει την απόδοση και τους δείκτες δαπανών για το φωτοβολταϊκό σύστημα συλλεκτών που χαρακτηρίζεται σε αυτήν την έκθεση.

1.3.4 Επισκόπηση Εξέλιξης

Τα συστήματα συλλεκτών που χαρακτηρίζονται εδώ εξελίσσονται από ένα άξονα χρησιμοποιώντας κύτταρα πυριτίου και 50x συγκέντρωση, για ένα σύστημα δύο αξόνων εστίασης σημείου χρησιμοποιούνται κύτταρα πυριτίου 400x, και τέλος στη χρησιμοποίηση υψηλής-αποδοτικότητας ηλιακών κυττάρων αρσενιδίου του γαλλίου σε ένα σημείο στρέφουν τον οπτικό συλλέκτη σε 1,000x. Το σύστημα βάσης είναι παρόμοιο με τα προϊόντα στην αγορά, αν και δεν αντιπροσωπεύει το σχέδιο ενός ιδιαίτερου κατασκευαστή.

1.3.5 Συζήτηση Απόδοσης και Δαπανών

Τα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος συνδεδεμένα με το δίκτυο χαρακτηρίζονται εδώ με εύρος μεγέθους από 20 kW σε 80 MW. Τα συστήματα και τα κύτταρα ποικίλλουν, ακριβώς όπως ποικίλλουν προς το παρόν από επιχείρηση σε επιχείρηση. Η ετήσια ηλιακή ενέργεια που χρησιμοποιείται αρχικά έχει ληφθεί από το ηλιακό εγχειρίδιο στοιχείων ακτινοβολίας του Εθνικού Εργαστηρίου Ανανεώσιμης Ενέργειας για οριζοντίου κατόπτρου συστήματα και συγκεντρωτικούς συλλέκτες. Αυτό το εγχειρίδιο παρέχει την ετήσια ηλιακή ενέργεια διαθέσιμη για τις διάφορες μονάδες παρακολούθησης και μη-παρακολούθησης σε διαφορετικές θέσεις στις

Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Το σενάριο υψηλής ηλιοφάνειας χρησιμοποιεί τα στοιχεία έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία της Αλμπικέρκης και του Νέου Μεξικό όπου η συνολική οριζόντια τιμή (κλίση 0) είναι 2.044 kWh/m²- έτος. Η μέση περίπτωση ηλιοφάνειας αντιστοιχεί σε μια κεντρική θέση των Ηνωμένων Πολιτειών (π.χ. Γουιστά, Κάνσας) όπου η συνολική οριζόντια αξία είναι 1.680 kWh/m²- ο πίνακας 2 παρουσιάζει μικρή διαφορά στην ετήσια ηλιακή ενέργεια διαθέσιμη για συστήματα 1-άξονα-παρακολούθησης και συστήματα με 2-άξονες-παρακολούθησης. Η καθιερωμένη κανονική επίπτωση είναι 850 W/m² για τους συλλέκτες και είναι ο βασικός παράγοντας στον καθορισμό της περιοχής μονάδας στο μέγεθος εγκαταστάσεων. Οι παράγοντες ισχύς εναλλασσόμενου ρεύματος είναι επομένως ένα άμεσο αποτέλεσμα της αποδοτικότητας του συστήματος και της ετήσιας ηλιακής ενέργειας για την ιδιαίτερη τεχνολογία των συλλεκτών. Αυτοί οι παράγοντες ισχύς είναι σύμφωνοι με εκείνους που χρησιμοποιούνται στις πρόσφατες αξιολογήσεις τεχνολογίας του Ινστιτούτου Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας και του Υπουργείου Ενέργειας. Σημειώστε ότι οι παράγοντες ισχύς εξαρτώνται από την περιοχή. Η αναφορά 2 χρησιμοποιεί υψηλή ηλιοφάνεια (Αλμπικέρκη) και χαμηλή ηλιοφάνεια (Βοστώνη ~ 1.300 kWh/m²- έτος), η περίπτωση χαμηλής ηλιοφάνειας έχει συνέπεια στους παράγοντες ισχύς εναλλασσόμενου ρεύματος ένα αποτέλεσμα 17% με 18%, επίσης ότι ο παράγοντας αποκλιμάκωσης θερμοκρασίας είναι σημαντικός για τους συλλέκτες επειδή τα κύτταρα να μην μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες υψηλές όπως 65°C (149°F), αλλά οι αποδοτικότητες του κυττάρου αποδίδονται σε 25°C (77°F). Οι παράγοντες αποκλιμάκωσης της θερμοκρασίας είναι από την αναφορά 2.

Πίνακας 2. Βάση δεικτών απόδοσης και δαπανών.

INDICATOR NAME	UNITS	Base Case 1997		2000		2005		2010		2020		2030	
			+/- %		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %
PV Concentrator		Si 1-axis Trough		Si Point Focus		Si Point Focus		GaAs Point Focus		GaAs Point Focus		GaAs Point Focus	
Concentration	x suns	50		400		400		1,000		1,000		1,000	
Plant Size (DC Rating)	MW _p	0.02		3		10		20		40		80	
Plant Size (AC Rating)	MW	0.017		2.55		8.5		17		34		68	
Plant Size (Module Area)	1000 m ²	0.145		20		58.5		92.2		164.6		304.2	
Performance													
Cell Efficiency	%	20		23		26		33		37	5	40	5
BOS Efficiency	%	85		85		85		85		85		85	
Optical Efficiency	%	90		85		85		85		85		85	
Temperature Derating	%	90		91		91		91		91		91	
System Efficiency	%	13.8		15.1		17.1		21.7		24.3	5	26.3	5
Average Solar Energy Site (direct normal insolation)													
Annual Solar Energy	kWh/m ² -yr	1,674		1,800		1,800		1,800		1,800		1,800	
AC Capacity Factor	%	22.5		24.2		24.2		24.2		24.2		24.2	
System Annual Energy/Area	kWh/m ² -yr	231		272		308		391		437		473	
Total Annual Energy Delivery	GWh/yr	0.033		5.4		18		36		72		144	
High Solar Energy Site (direct normal insolation)													
Annual Solar Energy	kWh/m ² -yr	2,219		2,397		2,397		2,397		2,397		2,397	
AC Capacity Factor	%	29.5		32.2		32.2		32.2		32.2		32.2	
System Annual Energy/Area	kWh/m ² -yr	306		360		410		520		582		630	
Total Annual Energy Delivery	GWh/yr	0.044		7.2		24		47.9		95.8		191.6	

Πίνακας 2. Δείκτες απόδοσης και δαπανών (συν.)

INDICATOR NAME	UNITS	Base Case 1997		2000		2005		2010		2020		2030	
			+/- %		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %
PV Concentrator		Si 1-axis Trough		Si Point Focus		Si Point Focus		GaAs Point Focus		GaAs Point Focus		GaAs Point Focus	
Capital Cost													
PV Module Cost	\$/m ²	160		160		90		90		80		80	
Tracking Cost	\$/m ²	40		67		35		35		25		25	
Power-Related BOS	\$/W _p	.7		.6		.3		.3		.2		.15	
Area-Related BOS w/o Land Costs	\$/m ²	200		140		70		70		50		50	
Cell Cost per Cell Area	(\$1000)/m ²	15		20		15		30		20		15	
Indirect Cost on modules and systems (% added to above costs, not including land)	%	30		20		20		15		15		10	
Land Cost	\$/m ²	0.5		0.5		0.5		0.5		0.5		0.5	
Total Capital Cost	\$M	.151	10	12.2	10	20.1	20	31	30	44	40	71	50
Total Capital Cost per Peak Rated DC Power	\$/W _p	7.55	10	4.01	10	2.01	20	1.55	30	1.1	40	.89	50
Total Capital Cost per Peak Rated AC Power	\$/W _p	8.88		4.78		2.36		1.82		1.3		1.04	
Operation and Maintenance Cost													
Annual O&M	\$/kWh	.047		.02		.01		.008		.006		.004	
Annual O&M	\$/m ² -yr	14		7		4		4		3.5		2.5	
Annual O&M	(\$1000)/yr	2.03		140		234		369		576		761	
Unit Annual O&M (AC ratings)	\$/kW-yr (AC)	119		56		28		23		17		11	

Σημειώσεις:

1. Οι στήλες "+/-%" αναφέρονται στην αβεβαιότητα που σχετίζεται με μια δινόμενη εκτίμηση.
2. Η κατασκευή της εγκατάστασης υπολογίζεται να σε λιγότερο από 1 χρόνο.

Ένας παράγοντας που υποστηρίζει την πιθανή γρήγορη εξέλιξη των συλλεκτών είναι η ύπαρξη των υψηλής απόδοσης ηλιακών κυττάρων πυριτίου, πρόσφατα αναπτυσσόμενα πολύ υψηλής αποδοτικότητας ηλιακά κύτταρα αρσενίδιου γαλλίου, και με προοπτική για συνεχή αύξηση στην αποδοτικότητα ηλιακών κυττάρων. Οι αποδοτικότητες κυττάρων πυριτίου περισσότερο από 26% έχουν ήδη παρουσιαστεί από έναν κατασκευαστή συλλεκτών στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τα προγράμματα για συλλέκτες του Υπουργείου Ενέργειας και του Ινστιτούτου Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας έχουν καταδείξει τη σταθερές, υπαίθριες, αποδοτικότητες μονάδας 18% από τις εμπορικές γραμμές παραγωγής για τα κύτταρα πυριτίου υψηλής συγκέντρωσης. Το ερευνητικό σχέδιο πέντε ετών του Υπουργείου Ενέργειας ήταν ορόσημο το 1999 για μια 32% αποδοτικότητας μονολιθική συσκευή, και ένα τεσσάρων διαδοχικών τερματικών κύτταρο έχει μετρηθεί κατά 34% κάτω από 100x. Επειδή τα θεωρητικά ανώτερα όρια είναι πολύ υψηλότερα, και υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για την επίτευξη αποδοτικότητων τόσο υψηλών 40% μέχρι το 2030 ή νωρίτερα, υπάρχει ιδιαίτερη προσδοκία ότι οι υψηλότερες αποδοτικότητες θα επιτευχθούν. Το πρωταρχικό τρέχων εμπόδιο για τους συλλέκτες είναι η αργά αναπτυσσόμενη αγορά που εμποδίζει την πρόοδο προς τα χαμηλότερου κόστους συστήματα. Εντούτοις, όλες οι αβεβαιότητες στον πίνακα 2 είναι απλά εκτιμήσεις δεδομένου ότι αυτές οι τεχνολογίες δεν είναι αρκετά ώριμες για περισσότερους τυποποιημένους υπολογισμούς δαπανών εφαρμοσμένης μηχανικής.

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να έχει επιπτώσεις στη μελλοντική εξέλιξη των κυττάρων και των συστημάτων συλλεκτών είναι το έντονο ενδιαφέρον και η επένδυση της διαστημικής κοινότητας φωτοβολταϊκών. Οι διαστημικές επιχειρήσεις κυττάρων έχουν εγκαταστήσει πρόσφατα μεγάλες κατασκευαστικές επιχειρήσεις για παραγωγή κυττάρων Αρσενίδιο του Φωσφορικού Ινδίου/Αρσενίδιο του Γαλλίου που χρησιμοποιούνται στα παγκόσμια δορυφορικά προγράμματα τηλεπικοινωνιών. Η διαστημική κοινότητα φωτοβολταϊκών κοιτάζει στη χρησιμοποίηση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών, οι οποίοι παρουσιάζουν αυξανόμενη αντίσταση στην υψηλής ενέργειας ζημία της ακτινοβολίας επειδή τα κύτταρά τους είναι προφυλαγμένοι μέσα σε άλλα συστατικά.

Οι επιχειρήσεις φωτοβολταϊκών συλλεκτών των Ηνωμένων Πολιτειών ακολουθούν μια ευρεία ποικιλία τεχνολογικών προσεγγίσεων. Η οπτική για τους συλλέκτες διαφέρει από τους στατικούς συλλέκτες, στα χαμηλής συλλογής συστήματα με την ακολουθία ενός άξονα ή δύο αξόνων, και η αντανάκλαστική και διαθλαστική οπτική χρησιμοποιείται, και νέες προσεγγίσεις όπως η ολογραφική και οπτική βαθμολογία δεικτών είναι υπό ανάπτυξη. Η δυνατότητα των στατικών συλλεκτών έχει προσδιοριστεί πρόσφατα, προτείνοντας ότι η εξερεύνηση είναι εξασφαλισμένη για να βρεθεί ένα αποδοτικό ως προς το κόστος πρακτικό σχέδιο. Τα υλικά των κυττάρων κυμαίνονται από τα συνηθισμένα υλικά πυριτίου βιομηχανίας όπως το αρσενίδιο γαλλίου ή ο ασθενές χαλκός ινδίου. Αυτά τα γεγονότα δείχνουν ότι η τεχνολογία εξελίσσεται ακόμα.

Μια άλλη πτυχή της μελλοντικής εξέλιξης των συλλεκτών είναι ότι λιγότερο κεφάλαιο απαιτείται για την εμπορική κλιμακοποίηση επειδή το μεγαλύτερο μέρος του συστήματος αποτελείται από διαθέσιμα δομικά υλικά όπως το μέταλλο, το γυαλί, και το πλαστικό. Η τεχνολογία του φωτοβολταϊκού συλλέκτη θα μπορούσε να αποκριθεί γρήγορα σε μια δραστική αύξηση σε ζήτηση για φωτοβολταϊκές μονάδες ενέργειας παρόμοιες με την δραματική αύξηση στην βιομηχανία της αιολικής ενέργειας στη δεκαετία του '80. Τα κύτταρα είναι διαθέσιμα σήμερα με αποδεκτό κόστος, και πολλές προσεγγίσεις του συστήματος είναι υπό ανάπτυξη ή στην αγορά, όπως παράγοντας και θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια όπως επίσης ένα μικρό σύστημα συλλεκτών (230 W) θα αρχίσει να ανταγωνίζεται σε αγορές όπου ορισμένα οριζοντίου κατόπτρου φωτοβολταϊκά προηγούμενος ήταν η πιθανή επιλογή. Αυτές οι εξελίξεις συστημάτων μπορούν να διευκολύνουν τη γρήγορη εμπορευματοποίηση σε ενδιάμεσα ταξινομημένες εφαρμογές, όπως η άντληση ύδατος, η ενέργεια νησιών, η υποστήριξη εταιρικού δικτύου, και η μακρινή κατοικία.

Η αναφορά 2 αξιολόγησε τις διάφορες τεχνολογίες συλλεκτών κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος που κυμαίνεται από μερικά χρόνια ως λίγο παραπάνω από 10 χρόνια. Το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας διεξάγει οικονομικές αναλύσεις για την περίοδο 2000-2005 που είναι σύμφωνα με τους προϋπολογισμούς δαπανών στον πίνακα 2. Λόγω της τεράστιας αβεβαιότητας στις προβλέψεις αγοράς για τους συλλέκτες, κανένας παράγοντας καμπυλών εκμάθησης δεν χρησιμοποιείται για τις εκτιμήσεις του 2020 και του 2030. Οι μειώσεις που παρουσιάζονται είναι εύλογα μικρές

μειώσεις στην μονάδα την Ισορροπία Συστήματος, και τις δαπάνες κυττάρων σύμφωνα με τα όρια δαπανών για τα υλικά.

Οι δαπάνες Λειτουργίας και Συντήρησης αρχίζουν με τις πρόσφατες δαπάνες για τα πρόωρα εκκινούμενα συστήματα και την πρόοδο σε εκείνα που αναμενόνται για τις μελλοντικές ώριμες τεχνολογίες. Το πρόσφατο κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης ρυθμίζεται ελαφρώς από τον διαφορετικό παράγοντα ισχύος μεταξύ της περιοχής δοκιμής και της περιοχής υψηλής ηλιακής ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την μελέτη

1.3.6 Έδαφος, Νερό, και Κρίσιμες Απαιτήσεις Υλικών

Πίνακας 3. Απαιτήσεις των πόρων

Indicator Name	Units	Base Year	2000	2005	2010	2020	2030
		1997					
Land	ha/MW	4.3	3.9	3.4	2.7	2.4	2.2
	ha	0.07	10	29.3	46.1	82.3	152.1
Silicon	kg/MW	245	28	25	-	-	-
GaAs	kg/MW	-	-	-	18	16	15
Water	m ³	0	0	0	0	0	0

Η περιοχή μονάδας υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την εκτίμηση εναλλασσόμενου ρεύματος κάτω από το μέγεθος εγκατάστασης, αποδοτικότητα συστήματος, και τα άμεσος-κανονικά πρότυπα έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία 850 W/m². Οι απαιτήσεις πυριτίου είναι βασισμένες σε πληροφορίες που οδηγούν σε 1,44 kg/m² πρώτης ύλης πυριτίου που απαιτείται ανά περιοχή φετών πυριτίου ή 3,29 kg/m² αρσενιδίου του γαλλίου που απαιτείται ανά περιοχή φέτας πυριτίου. Η διαφορά μεταξύ της περιοχής μονάδας και της περιοχής κυττάρων-φέτας πυριτίου είναι, φυσικά, η συγκέντρωση που μειώνει σημαντικά τα ποσά ακριβού υλικού ημιαγωγών που απαιτούνται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

2.1.1 Εισαγωγή

Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να συνοψιστούν οι πιθανές βελτιώσεις δαπανών και απόδοσης στην αιολική τεχνολογία που χρησιμοποιείται για μια μεγάλη οικιακή εφαρμογή αιολικού πάρκου. Σημαντικές βελτιώσεις στο κόστος και την απόδοση των ανεμοστροβίλων είναι πιθανές στο μέλλον. Ιδιαίτερη λειτουργική εμπειρία έχει αποκτηθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων 15 ετών από τα οικιακά αιολικά πάρκα, αρχικά στην Καλιφόρνια αλλά επίσης στην Μινεσότα, Χαβάη, Τέξας, και Βερμόντ. Οι πρόοδοι γίνονται για να ειπάρχει η δυνατότητα να σχεδιάσκει, να βρεθεί θέση, να εγκατασταθεί, να λειτουργήσει, και να διατηρεί τους στροβίλους, σε ένα επίπεδο μιας μονάδας σαν κομμάτι από ένα ολόκληρο αιολικό πάρκο. Αυτές οι βελτιώσεις είναι το αποτέλεσμα της εργασίας στην κατασκευή των εγκαταστάσεων, αιολικών πάρκων, εργαστηρίων έρευνας και οφείλονται στις βελτιωμένες μεθόδους κατασκευής, τη εμπειρία λειτουργίας, και την Έρευνα και Ανάπτυξη της κυβέρνησης και της βιομηχανίας.

2.1.2 Τεχνολογικές Υποθέσεις

Οι στροβίλοι που χαρακτηρίζονται στο παρούσα μελέτη είναι ένα σύνθετο αρκετών διαφορετικών σχεδίων, κάθε ένα από τα οποία αντιπροσωπεύει μια τεχνολογία που μπορεί να αγοραστεί από τους χρήστες αυτή την περίοδο ή στο μέλλον. Παραδείγματος χάριν, η τεχνολογική περιγραφή του 1997 ιδιαίτερα επηρεάστηκε από την 3-λεπίδων, άκαμπτου κόμβου, σχετικά βαριάς σχεδίασης ευρωπαϊκής προέλευσης τα οποία ήταν χαρακτηριστικά στη δεκαετία του '90. Αυτοί περιλαμβάνουν την σειρά Zond 550, και διάφορους εμπορικούς ευρωπαϊκούς στροβίλους. Η περιγραφή του 1997 ενσωματώνει επίσης ελαφρύ, πίο εύκαμπτα αμερικανικά σχέδια, που ήταν υπο ανάπτυξη από τους κατασκευαστές, μερικοί από κοινού με το Βραχυπρόθεσμο Πρόγραμμα Βελτίωσης Προϊόντων του Υπουργείου Ενέργειας. Τέτοιες τεχνολογίες καλύτερα αντιπροσωπεύονται από τρεις μηχανές: την AWT-26/27, την North Wind 250, και την Cannon Wind Eagle 300. Η περιγραφή του έτους 2000 είναι ένα σύνθετο σχέδιο από το τρέχον Καινοτόμο Πρόγραμμα Υποσυστημάτων του Υπουργείου Ενέργειας, και από μελέτες του εννοιολογικού σχεδίου και προκαταρκτικά σχέδια πρωτοτύπων αναπτύχθηκαν κάτω από το αναπτυξιακό πρόγραμμα Αναπτυξη Στροβίλων Επόμενης Γενιάς του Υπουργείου Ενέργειας. Υποθέτει μια μεταβλητή γεννήτρια ταχύτητας, έναν μεγαλύτερο στροφέα και προηγμένες αεροτομές, υψηλότερο σημείο κέντρου κύκλου και προηγμένα συστήματα ελέγχου. Η τεχνολογία του 2005 είναι μια πρόβλεψη των τάσεων όπως προβλέπεται από τις έρευνες της Έρευνας και Ανάπτυξης των προηγμένων τμημάτων και από τις αναλύσεις που διευθύνονται στο πλαίσιο του ενεργειακού αιολικού προγράμματος του Υπουργείου Ενέργειας.

Η αγορά καθορίζει τις προτιμημένες τεχνολογίες και τα σχέδια όπως επίσης και τις στρατηγικές τιμολόγησης. Οι ευρωπαϊκοί σχεδιαστές γνωρίζουν στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής τις ανταλλαγές και τις ευκαιρίες για την βελτίωση των δαπανών και της απόδοσης. Σημαντικά χρηματοδοτούμενα από την κυβέρνηση προηγμένα προγράμματα ανάπτυξης στροβίλων είναι εν εξελίξει στην Ευρώπη. Συχνά, τα ευρωπαϊκά σχέδια είναι μεγαλύτερα (στη σειρά MW) από τα αντίστοιχα σχέδια των Ηνωμένων Πολιτειών. Αυτό οφείλεται στην επιλογή του σχεδιαστή και την έλλειψη των ευρωπαϊκών περιοχών για καλούς αιολικούς πόρους. Αναπτυγμένοι στρόβιλοι ιδιωτικού τομέα στην Ευρώπη είναι συχνά εύρους από 500 KW έως 750 KW που περιγράφεται για το 1997 και το 2000 μέσα σε αυτήν την μελέτη. Αυτή η μελέτη δεν προβάλλει ότι όλοι οι νέοι ανεμοστρόβιλοι το 2005 θα είναι ξαφνικά μεγέθους ενός μεγαβάτ. Μερικοί θα είναι μεγαλύτεροι μερικοί μικρότεροι. Μάλλον, η μελέτη προβλέπει μια τάση προς τους μεγαλύτερους ρότορες, και υψηλότερο κόμβο και εκτιμημένη ισχύ. Η επιλογή αυτών των παραμέτρων είναι στον σχεδιαστή και την αγορά. Η οικονομική κλίμακα, ο όγκος και η συντήρηση κατασκευής όλα αλληλεπιδρούν.

Τέλος, αυτή η μελέτη θα περιγράψει το κόστος και την απόδοση για τα σχετικά μεγάλα αιολικά πάρκα 25 έως 50 MW. Μια εναλλακτική είναι οι συστοιχίες, που ταξινομούνται χαρακτηριστικά σε λιγότερο από 10 MW. Διάφορες τέτοιες εγκαταστάσεις έχουν χτιστεί πρόσφατα ή αναπτύσσονται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής στο πλαίσιο του Προγράμματος Επαλήθευσης Στροβίλων του Υπουργείου Ενέργειας στην Αιόβα, Νεμπράσκα, Νέα Υόρκη, Οκλαχόμα, Τέξας, και Βερμόντ. Οι εγκαταστάσεις συστοιχιών μπορούν να έχουν κάπως υψηλότερες δαπάνες εγκατάστασης και δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης από αυτές που παρουσιασμένες εδώ.

Μια άλλη επιλογή είναι μικροί (10 έως 150 kW) στρόβιλοι, που μπορούν να εγκατασταθούν είτε χωριστά είτε να ομαδοποιηθούν, για αγροτικές ενεργειακές εφαρμογές. Τέτοιες εγκαταστάσεις παρουσιάζουν επίσης διαφορετική δαπάνη κατασκευής και λειτουργίας και Συντήρησης από την περιγραμμένη εδώ.

2.1.3 Ζητήματα Εταιρικής Ενσωμάτωσης

Στο κοντινό μέλλον είναι πιθανό ότι η αρχική ενεργειακή αιολική αγορά θα είναι σε θέση να αναγνωρίζει τις τιμές σε σχέση με το κόστος. Εν τούτοις, το αρχικό οικονομικό προϊόν από την αιολική ενέργεια είναι ηλεκτρική ενέργεια, και υπό αυτήν τη μορφή, μια αρχική αγορά είναι η ηλεκτρική βιομηχανία ηλεκτρικής παραγωγής. Λόγω της διαλείπουσας φύσης του, οποιαδήποτε πρόσθετη αξία του ηλεκτρισμού που παραγεται από τον ανεμο πέρα από τα καύσιμα, η αποταμίευση και τα μεταβλητά έξοδα λειτουργίας θα ποικίλουν ανάλογα με (1) συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του ανέμου σε πόρους ανα περιοχή και (2) εταιρικό φορτίο και άλλα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού συστήματος διανομής. Παραδείγματος χάριν, η δυνατότητα να τοποθετηθεί η αιολική ενέργεια πιο κοντά στον τελικό χρήστη (μια "διανεμημένη" εφαρμογή) μπορεί να αυξήσει την αξία του στη εταιρεία.

Στατιστικά, ένα αιολικό πάρκο μπορεί να μετατοπίσει ένα μέρος του κύριου κόστους κάποιων νέων συμβατικών εγκαταστάσεων. Η κρίσιμη ερώτηση, που εξαρτάται από το συσχετισμό του πόρου αέρα με την απαίτηση της εταιρείας, είναι: "Πόση ισχύ έχει ένα αιολικό πάρκο και πόσο πολύ αξίζει;" Αυτό το αναλυτικό ζήτημα συχνά ονοματίζει το ζήτημα πιστωτικής ισχύς, Αν και η πίστωση ισχύς για την ενέργεια αέρα συχνά δεν γίνεται αποδεκτή από τις ηλεκτρικές εταιρείες, έρευνα από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας, Grubb και Halberg στην Ευρώπη, και Henry Kelley από το γραφείο αξιολόγησης της τεχνολογίας προτείνει ότι ουσιαστικά οποιαδήποτε αιολική εγκατάσταση αξίζει μια πίστωση ισχύς. Σαν μια εναλλακτική, υβριδικά συστήματα αέρα/αερίου ή αέρα/συστήματος αποθήκευσης θα μπορούσαν να κερδίσουν την πλήρη πίστωση ισχύς.

Η ετήσια ενέργεια που παράγεται από τον αέρα μπορεί να υπολογιστεί με κάποια βεβαιότητα, σε μακροπρόθεσμη βάση. Επιπλέον, μερικές τοποθεσίες μπορούν να έχουν έναν βαθμό πρόβλεψης σε καθημερινή ή ωριαία βάση. Αυτοί περιλαμβάνουν τα νησιά με τουριστική κίνηση ή περιοχές όπως τα περάσματα της Καλιφόρνια, όπου οι άνεμοι προκαλούνται από την προβλέψιμη εισροή του πιο δροσερού παράκτιου αέρα καθώς ο αέρας των βουνών θερμαίνεται και ανηψώνεται

Κατά συνέπεια, είναι δυνατό για τα αιολικά πάρκα να αποκτηθεί κάποια πίστωση ισχύος σε αυτές τις θέσεις. Με βάση αυτά τα παραδείγματα, η λειτουργία εταιρείας και η αξιολόγηση ανέμου επηρεάζονται από τη δυνατότητα πρόβλεψης ανέμου. Οι ερευνητές στην πρόβλεψη ανέμου αρχίζουν τώρα να ερευνούν τις τεχνικές που θα επέτρεπαν στον απεσταλμένο της εταιρείας να μετρήσει τη διαθεσιμότητα της εγκατάστασης παραγωγής αιολικής ενέργειας του κατά τη διάρκεια των επόμενων 6 έως 36 ωρών. Στο μέλλον, η δυνατότητα να προβλεφθεί ο άνεμος σε πιο μακροχρόνια χρονικά διαστήματα θα βελτιωθεί, επιτρέποντας ενδεχομένως τα αιολικά πάρκα να χρησιμοποιηθούν με τη μεγαλύτερη βεβαιότητα, και έτσι θα αυξήσουν την αξία τους.

Οι αναλυτές αναφέρουν συχνά όρια διείσδυσης για την αιολική ενέργεια 5 έως 20 τοις εκατό της εγκατεστημένης συμβατικής ενέργειας. Μια πρόσφατη μελέτη από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας δείχνει ότι ο εξοπλισμός και η πρόοδος του σχεδιασμού συστημάτων μπορούν να διευθετήσουν τις περισσότερες από τις τεχνικές ανησυχίες ως αποτέλεσμα της διασύνδεσης της διαλείπουσας τεχνολογίας ανανεώσιμης παραγωγής με το ηλεκτρικό σύστημα. Μελέτες στην Αμερική έχουν δείξει ότι ένα επίπεδο διείσδυσης 5 τοις εκατό δεν έχει ουσιαστικά καμία επίδραση στις λειτουργίες του συστήματος, ενώ οι εκτιμήσεις του αντίκτυπου των μεγαλύτερων αριθμών εμφανίζονται να είναι κατά ένα μεγάλο μέρος θεωρητικές. Μία άλλη εργασία από τους Grubb και Halberg στην Ευρώπη επιβεβαίωσε ότι κανένα απόλυτο φυσικό όριο δεν υπάρχει στην ελάχιστη διείσδυση του αέρα σε ένα μεγάλο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα με την αυξανόμενη διείσδυση, τα καύσιμα και η αποταμίευτική τους ικανότητα έχει αρχίσει να μειώνεται, έτσι ώστε τα όρια συστημάτων είναι οικονομικά παρά φυσικά. Άσχετα από αυτό, όπως η Grubb επισημαίνει, η διείσδυση της αιολικής ενέργειας στις Ηνωμένες

Πολιτείες Αμερικής πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη προτού να αρχίσει η αξία της να υποβιβάζεται στο ηλεκτρικό σύστημα.

2.1.4 Πόρος/Χρήση Εδάφους

Ο πόρος της αιολικής ενέργειας είναι διαδεδομένος στην ηπειρωτική Αμερική, Χαβάη, και Αλάσκα. Ο αιολικός πόρος είναι πολύ μεγάλος με τον προσιτό πόρο να έχει μια βάση σχεδόν 88 πεντάκης εκατομμυρίου BTU, από περιοχές με μέσο αέρα επιτάχυνσης πάνω από 5,6 μετρα/δευτερόλεπτο (12,5 mph) σε 10 μέτρα ύψος. Ο πίνακας 1 επιδεικνύει πώς η ενεργειακή παραγωγή ποικίλλει από την κατηγορία αέρα, και επεξηγεί την κρίσιμη σχέση της ταχύτητας αέρα στην ηλεκτρική παραγωγή (η δύναμη στον αέρα αυξάνεται τόσο όσο το τετράγωνο της ταχύτητα του αέρα). Λόγω των λειτουργικών περιορισμών, η ηλεκτρική παραγωγή αυξάνεται περίπου ως τετράγωνο του μέσου όρου της ταχύτητα αέρα). Όπως το σχήμα 1 παρουσιάζει, οι καλοί αιολικοί πόροι είναι διαθέσιμοι στις περισσότερες περιοχές της χώρας, με μόνο τις Κεντρικές περιοχές νοτιοανατολικού σημείου και ανατολής να μην έχουν σημαντικούς πόρους. Μια ευρεία περιοχή της Αμερικής, συμπεριλαμβανομένου της περιοχής γνωστής ως "Μεγάλες πεδιάδες" περιέχει ένα μεγάλο ποσό αέρα στις μικρομεσαίες κλάσεις κατηγορίας δύναμης. (οι κατηγορίες 4 και 5, αντίστοιχούν σε 5.6-6.4 μετρα/δευτερόλεπτο μέσο ετήσιο αέρα επιτάχυνσης στα 10 μέτρα ύψος). Αυτή η περιοχή φθάνει από την Ανατολική Μοντάνα έως την δυτική Μινεσότα και νότια προς το Τέξας. Σε οποιαδήποτε περιοχή, εντούτοις, οι συγκεκριμένες θέσεις μπορούν να ωφεληθούν από την τοπική έκταση, χαρακτηριστικά γνωρίσματα που ενισχύουν τη ροή αέρα διοχετεύοντας τον μέσω μικρότερων περιοχών, που έχει σαν συνέπεια την αύξηση της γωνιακής του ταχύτητάς του και της επιτυχίας ενεργειακής πυκνότητας.

Πινάκας 1. Συγκριση των κατηγοριών των πόρων αέρα.

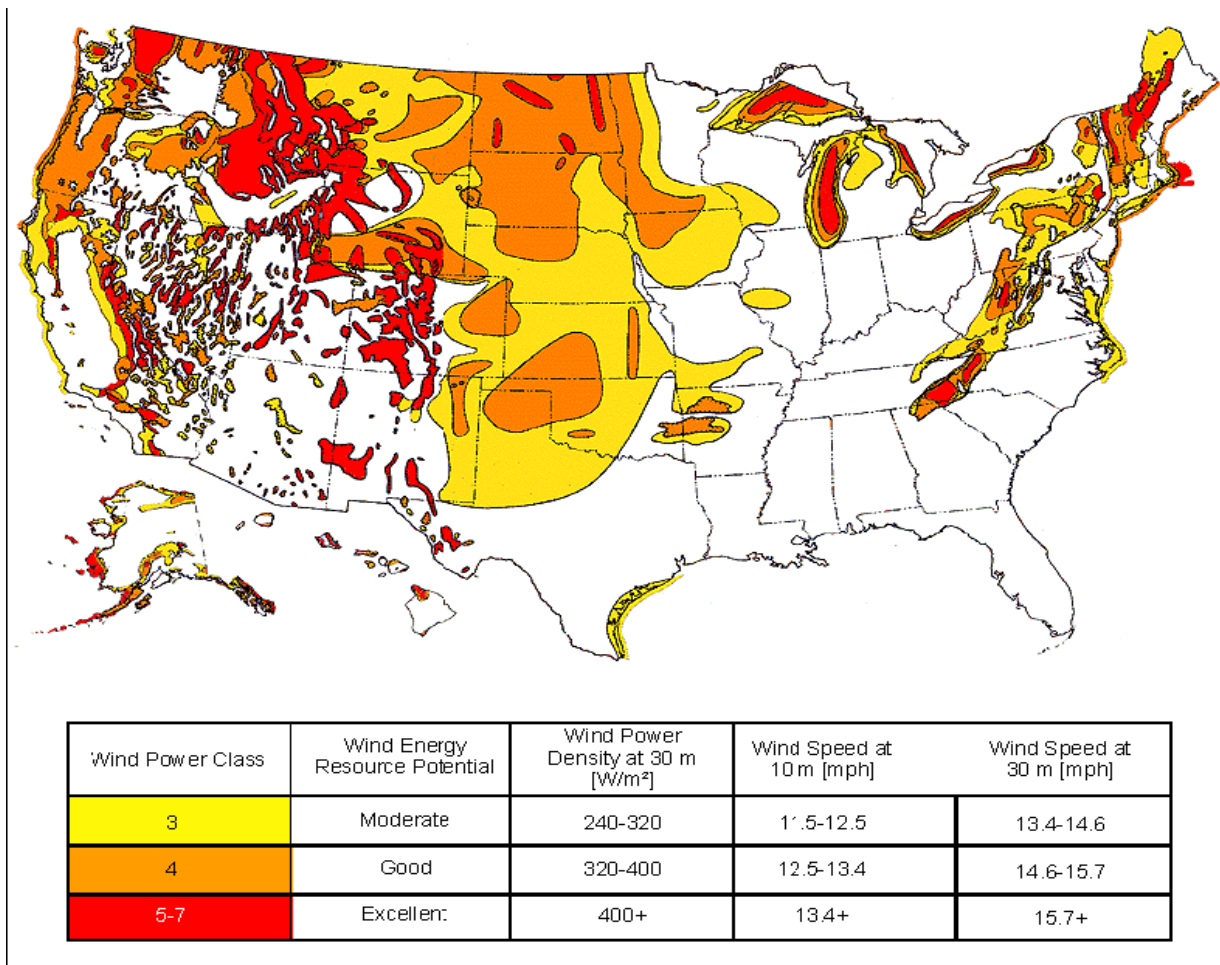
	Μέση Ταχύτητα Ανέμου	Εύρος Πυκνότητα Αιολικής Ενέργειας	Μέση Ταχύτητα Ανέμου	Εύρος Πυκνότητας Αιολικής Ενέργειας	Παραγωγή Ηλεκτρισμού
	(m/s στα 10 μ)	(W/m² 10 μ)	(m/s στα 30 μ)	(W/m² 30 μ)	(Gwh/Ετος)*
Κατηγορία 4	5,6 - 6,0	200 - 250	6,5 - 7,0	320 - 400	1,14
Κατηγορία 5	6,0 - 6,4	250 - 300	7,0 - 7,4	400 - 480	1,37
Κατηγορία 6	6,4 - 7,0	300 - 400	7,4 - 8,2	480 - 640	1,56

* Βασισμένος στην τεχνολογία του 1997, διαθεσιμότητα 98%, απώλειες 17,5% για την κατηγορία 4, απώλειες 12,5% για την κατηγορία 5 και 6, και υπολογισμένος με τη διάμεσο ταχύτητα αέρα. Η παράγραφος 4 συζητά τις υποθέσεις απώλειας λεπτομερώς.

Ο αιολικός πόρος γίνεται γενικά ισχυρότερος καθώς κινείται ψηλότερα πάνω από το έδαφος. Κατά συνέπεια, η ίδια κατηγορία πόρων έχει μια υψηλότερη δυνατότητα για την παραγωγή της ενέργειας στα 30 μέτρα επάνω από το έδαφος (χαρακτηριστικό των σημερινών στροβίλων) απ'ό,τι στα 10 μέτρα. Αυτή η επίδραση καλείται κάθετη διάτμηση. Η επιρροή της διάτμησης του αέρα διευκρινίζεται στον πίνακα 1 με τη σύγκριση της πυκνότητας της αιολικής ενέργειας στα 10 μ και 30 μ. Ενώ οι υψηλότερης δύναμης κατηγορίες παράγουν ενδεχομένως περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια, ένας στρόβιλος πρέπει να είναι σχεδιασμένος ώστε να αντιστέκεται την υψηλότερη αναταραχή και τις δυνατές ριπές ανέμου. Οι σχεδιαστές στροβίλων προσαρμόζουν τους στροβίλους για καταστάσεις όπως μια συγκεκριμένη κατηγορία των αιολικών πόρων, ύψος κόμβου, επίπεδο αναταραχής, και μέγιστο επίπεδο δυνατών ριπών ανέμου. Ένας επιτυχής σχεδιασμός στροβίλων για μια κατηγορία δύναμης υψηλού ανέμου πρέπει επίσης να είναι αρκετά τραχιό για να αντισταθούν στο περιβάλλον. Παραδείγματος χάριν, στην Καλιφόρνια, στο Πέρασμα Altamont το καθεστώς αέρα είναι σχετικά καλοκάγαθο, ενώ περιοχές όπως το Πέρασμα Tehachari είναι γνωστό ότι βιώνουν ανέμους της τάξης 45 μ/δευτερολεπτο κατά τη διάρκεια των θυελλών που μπορούν να βλάψουν ακόμη και έναν σταθμευμένο στρόβιλο εάν δεν σχεδιάζεται για αυτές τις ακραίες συνθήκες αέρα. Προφανώς, οι απαιτήσεις σχεδίου και οι συνδιασμοί έχουν επιπτώσεις και στη διάρκεια ζωής ενός στροβίλου και στις δαπάνες του.

Ένας βασικός συνδιασμός για τον υπεύθυνο για την ανάπτυξη ή τον χειριστή αιολικού πάρκου είναι η πρόσβαση μετάδοσης, το κόστος και η διαθεσιμότητα. Οι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη στο Πέρασμα Altamont και το Πέρασμα San Geronimo είναι τυχεροί διότι μεγάλοι υποσταθμοί βρίσκονται εκεί κοντά. Έχουν έτοιμη πρόσβαση στο σύστημα μετάδοσης υψηλής τάσης που έχει την ικανότητα για την εξαγωγή ενέργειας. Αφ' ετέρου, τα έξοδα από την εγκατάσταση των αφιερωμένων γραμμών σε ένα ενιαίο αιολικό πάρκο μπορεί να είναι πολύ υψηλό και μπορεί αισθητά να αυξήσει το αποτελεσματικό εγκατεστημένο κόστος των εγκαταστάσεων κατά 50%,

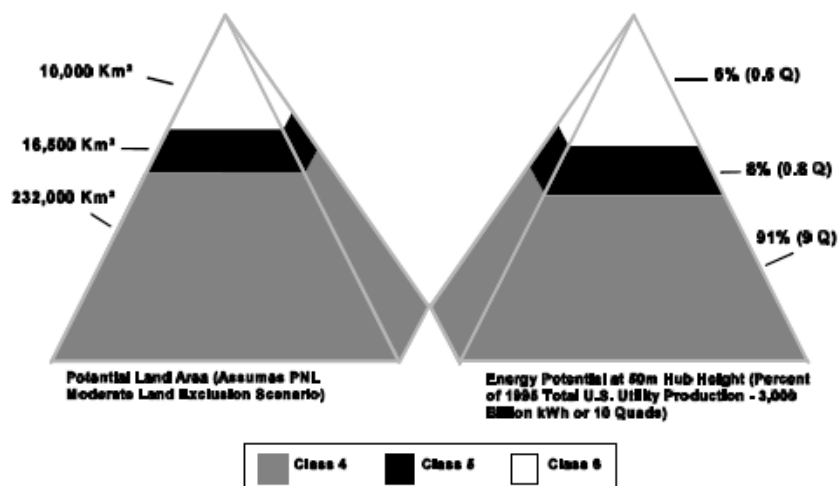
Σχήμα 1 Αιολικοί ενεργειακοί πόροι στην Αμερική



Το κόστος της πρόσβασης μετάδοσης δεν συμπεριλαμβάνει συχνά στο κόστος των ενεργειακών εκτιμήσεων από τον αέρα και από άλλες ανανεώσιμες πηγές. Αυτός ο παράγοντας αποκλείεται συχνά από τις αναλύσεις επειδή τέτοιες δαπάνες είναι συγκεκριμένες ανά περιοχή και δύσκολες προς εκτίμηση. Ενώ οι αιολικοί πόροι παράγουν περισσότερη ενέργεια, μπορεί να είναι πιο μακρινοί και να έχουν υψηλότερα κόστη ανάπτυξης περιοχών και μετάδοσης. Επομένως, οι αιολικοί πόροι σε οποιαδήποτε περιοχή είναι απίθανο να αναπτυχθούν επικερδώς αποκλειστικά από τις καλύτερες περιοχές στις οριακές περιοχές. Επίσης, καλοί πόροι με καλή πρόσβαση μετάδοσης και/ή άλλοι ευνοϊκοί παράγοντες αγοράς μπορούν να αναπτυχθούν πριν από τις καλύτερες περιοχές πόρων με μεγαλύτερη ακριβή πρόσβαση ή λιγότεροι ευνοϊκοί παράγοντες αγοράς.

Η ανάλυση από την PNL έχει δείξει ότι το ποσό εδάφους που εκθέτεται στην κατηγορία δύναμης 4 ή υψηλότερης (έδαφος χωρίς περιορισμό στην ενεργειακή ανάπτυξη αέρα όπως οι αστικές περιοχές, το έδαφος πάρκων, και οι οργανισμοί του νερού) είναι περισσότερο από 9 τοις εκατό της γειτονικής Αμερικής, ή περίπου 700.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Αυτή η περιοχή μειώνεται σε περισσότερα από 450.000 χλμ² κάτω από ένα "συντηρητικό" σενάριο των αποκλεισμών εδάφους καθορισμένο από την PNL. Το μέτριο σενάριο των πόρων αποκλείει περιβαλλοντικά προστατευμένα εδάφη, αστικές περιοχές, υγρά τοπία, 50% των δασικών εδαφών, 30% των γεωργικών εδαφών, και 10% του εύρους των άγονων εδαφών. Το συνολικό ποσό διαθέσιμου εδάφους με την κατηγορία δύναμης 5 ή υψηλότερης είναι μόλις πάνω από 1% της συνολικής περιοχής εδάφους, ή περίπου 90.000 χλμ². Χρησιμοποιώντας τις υποθέσεις από τη μελέτη και το συντηρητικό σενάριο των αποκλεισμών εδάφους, οι προκύπτουσες περιοχές εδάφους εξισώνουν σε περίπου 3.500 GW της εγκατεστημένης (εκτιμημένης) ισχύς ανέμου. Αυτό είναι πολύ περισσότερο από οποιαδήποτε εκτιμήση διείσδυσης στην αγορά. Επομένως, η διείσδυση στην αγορά δεν πρέπει να περιοριστεί εθνικά από την διαθεσιμότητα του πόρου.

Δεδομένου ότι το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τους ανεμοστροβίλους αυξάνεται γρήγορα καθώς ο πόρος βελτιώνεται, είναι λογικό, για τις περιπτώσεις όπου όλες οι άλλες δαπάνες είναι ίσες, τα προγράμματα των αιολικών πάρκων θα τείνουν να χρησιμοποιήσουν τις καλύτερες τοποθεσίες πόρων σε οποιαδήποτε περιοχή πρώτα. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία από μια πρόσφατη μελέτη του Εθνικού Εργαστηρίου Ανανεώσιμης Ενέργειας στην εγγύτητα των αιολικών πόρων στην υπάρχουσα ικανότητα μετάδοσης, στο σχήμα 2 παρουσιάζονται το ποσό διαθέσιμου εδάφους, υποθέτοντας το "συντηρητικό" σενάριο της PNL, με τις κατηγορίες 4,5, και 6 των αιολικών πόρων μέσα σε 10 μίλια (16,1 χλμ) των διαθέσιμων γραμμών μετάδοσης. Αυτή η ανάλυση δείχνει ότι περίπου 14% της τρέχων ηλεκτρικής παραγωγής στην Αμερική θα μπορούσε να καλυφτεί από εγκατεστημένη αιολική ενέργεια κατηγορίας 5 ή επάνω από πόρους εντός 10 μιλίων από τις διαθέσιμες γραμμές μεταφοράς. Οι προσθήκες εγκατεστημένης ισχύς πέρα από εκείνο το επίπεδο θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουν πόρους κατηγορίας 4. Η πλειοψηφία του χρησιμοποιήσιμου αιολικού πόρου της χώρας είναι στην κατηγορία 4. Υπάρχει περισσότερες από 25 φορές ο πόρος διαθέσιμος στην κατηγορία 4 απ'ό,τι στην κατηγορία 6. Για τον αέρα για να μεγιστοποιήσει τη γεωγραφική δυνατότητα εφαρμογής της, οι περιοχές κατηγορίας 4 θα πρέπει τελικά να γίνουν αποτελεσματικές ως προς το κόστος. Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι κατηγορίες των πόρων αντιπροσωπεύουν τις συνεχείς κατηγορίες της ποιότητας του πόρου. Κατά συνέπεια, καθώς οι καλύτερες αναπτύξιμες περιοχές μειώνονται, ακόμη και μέσα σε μια δεδομένη κατηγορία, θα είναι σημαντικό στο να συνεχιστεί η βελτίωση της τεχνολογίας έτσι ώστε οι χαμηλότερες περιοχές ταχύτητας αέρα να συνεχίσουν να γίνονται ανταγωνιστικές.



Σχήμα 2. Ενδεχόμενη ενέργεια αέρα μέσα σε δέκα μίλια από τις εγκαταστάσεις μετάδοσης.

2.1.5 Εργαλεία για τις Αναλύσεις που Χρησιμοποιούν τα Στοιχεία στο Παρόν Έγγραφο

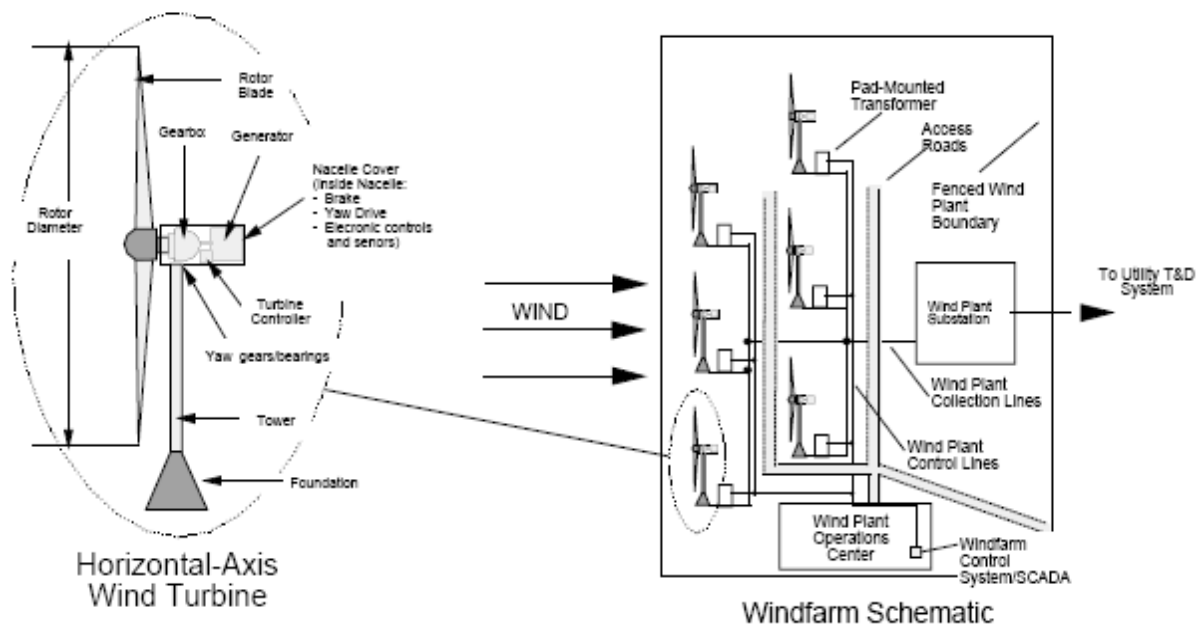
Τα πρότυπα είναι διαθέσιμα για να υπολογίσουν το κόστος της ενέργειας ή το ποσοστό επιστροφής για τις διάφορες ιδιοκτησιακές και οικονομικές υποθέσεις του προγράμματος. Το πρότυπο FATE-2P, που αναπτύσσεται από την Princeton Economic Research, Inc. χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του κόστους ενέργεια σε ένα χωριστό κεφάλαιο αυτής της μελέτης. Εμπορικά εργαλεία για να βοηθήσει τις εταιρείες στο να προσαρμόζουν αναλύσεις προγραμμάτων αιολικών πάρκων για όρους συγκεκριμένης περιοχής και επακριβής χαρακτηριστικά σχεδιασμού στρόβιλων δεν υπάρχουν αυτήν την περίοδο. Ένα πρόσφατα αναπτυγμένο αιολικό ενεργειακό πρόγραμμα σπουδών που ονομάζεται "συγκομιδή του αέρα" είναι διαθέσιμο από το Συμβούλιο Βιώσιμων Πόρων, στην Μινεάπολη, Μινεσότα. Επιπλέον, το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας δημοσίευσε πρόσφατα ένα ανάγνωσμα για τις εταιρίες στον προγραμματισμό των προγραμμάτων αιολικών πάρκων.

2.2 ΣΧΕΔΙΟ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ ΣΕ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ 10/97

2.2.1 Περιγραφή συστημάτων

Το σύστημα που περιγράφεται εδώ είναι ένα αιολικό πάρκο 50 στροβίλων αποτελούμενο από τους οριζόντιου άξονα ανεμοστροβίλους για την παροχή της μαζικής ενέργειας στο δίκτυο. Το μέγεθος στροβίλων αλλάζει κατά τη διάρκεια του χρόνου, αναγκάζοντας το αιολικό πάρκο να αυξηθεί από 25 MW στο έτος 2000 σε 50 MW στο έτος 2005. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά σχέδια συστημάτων για τους τρέχοντα εμπορικούς ανεμοστροβίλους. Το σχήμα 1 παρουσιάζει ένα γενικό σύστημα ανεμοστροβίλων οριζοντίου άξονα. Αν και δεν υπάρχει κανένα τυποποιημένο σύστημα για την ταξινόμηση των υποσυστημάτων των ανεμοστροβίλων, το παρόν έγγραφο κατηγοριοποιεί τα συστατικά που παρουσιάζονται στο σχήμα σε 4 βασικά υποσυστήματα:

- 1) Ένας ρότορας, συνήθως αποτελούμενος από δύο ή τρεις λεπίδες, έναν κόμβο μέσω του οποίου οι λεπίδες συνδέονται με τον αργόστροφο άξονα κίνησης, και μερικές φορές υδραυλικά ή μηχανικά-οδηγούμενα συστήματα συνδέσμων για να δίνει βήμα στο σύνολο ή σε μέρος των λεπίδων.
- 2) Ένα σύστημα κίνησης, γενικά συμπεριλαμβανομένου ενός κιβωτίου ταχυτήτων και μιας γεννήτριας, των άξονων και των συζεύξεων, μια κάλυψη ατρακτιδίων κινητήρος για ολόκληρο το σύστημα κίνησης, και συχνά ένα μηχανικό φρένο δίσκων ή/και σύστημα παρεκκλίσεων που περιλαμβάνει μια μηχανή και τις ταχύτητες.
- 3) Ένας πύργος και τα θεμέλια που υποστηρίζουν τον ρότορα και σύστημα κίνησης.
- 4) Ηλεκτρικοί ελεγκτές και καλωδίωση, και όργανα για την παρακολούθηση και τον έλεγχο.



Σχήμα 1. Ανεμοστρόβιλος οριζοντίου άξονα και σχηματική αναπαράσταση συστημάτων αιολικού πάρκο

Οι στρόβιλοι που χαρακτηρίζονται σε αυτή την μελέτη είναι σύνθετα που αντιπροσωπεύουν τις πολλαπλάσιες, εξελισσόμενες σχεδιαστικές διαμορφώσεις για κάθε χρονικό διάστημα 5 ετών. Ο γενικός στρόβιλος που απεικονίζεται στο σχήμα 1 μπορεί να περιλάβει οποιοδήποτε από αυτά τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού. Παραδείγματος χάριν, ένας από τους διάφορους μηχανισμούς μπορεί να διατεθεί για να κρατήσει το ρότορα προσανατολισμένο κατάλληλα στο ρεύμα αέρα. Μερικές μηχανές υιοθετούν μια μη-μηχανοποιημένη, ή "παθητική" προσέγγιση για να ελέγξουν τις στροφές, ή την παρέκκλιση από την πορεία, ενώ άλλοι έχουν ενεργητικά μηχανό-κινούμενα συστήματα που ελέγχονται από μικροεπεξεργαστές. Στις περισσότερες από τις πρόσφατα εγκατεστημένες μηχανές οριζοντίου άξονα, οι λεπίδες βρίσκονται στην αντίθετη από τον άνεμο πλευρά του πύργου ενώ ένας μικρότερος αριθμός είναι προσήνεμος. Μερικές μηχανές, αποκαλούμενες σταθερού βήματος στρόβιλοι, έχουν λεπίδες που καθορίζονται στον κόμβο σε μια ενιαία, στάσιμη θέση, με αυτόν τον τρόπο μειώνοντας την πολυπλοκότητα σχεδίου. Ένα άλλο σχέδιο, αποκαλούμενο το μεταβλητό βήμα, χρησιμοποιεί τις λεπίδες που μπορούν να περιστραφούν γύρω από τον άξονά τους προκειμένου να βοηθήσουν στην έναρξη, παύση, και ρυθμίζοντας την παραγωγή δύναμης με την αλλαγή της γωνίας στην οποία οι λεπίδες περνούν από τον αέρα. Συγκεκριμένες υποθέσεις γίνονται για κάθε χρονικό διάστημα 5 ετών σχετικά με τις βασικές τάσεις σχεδιασμού που αναμένονται να οδηγήσουν σε βελτιώσεις του κόστους και της απόδοσης.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1, ένα αιολικό πάρκο αποτελείται από πολλαπλούς στροβίλους και διάφορα συστατικά ενισχυτικής ισορροπίας του σταθμού αποκλειστικά για τους στροβίλους. Αυτά περιλαμβάνουν τυπικά τους δρόμους, φράκτες, εξοπλισμός επίγειας υποστήριξης για τη συντήρηση, κτήρια λειτουργίας και συντήρησης, προμήθειες και εξοπλισμός, εξοπλισμός για τον έλεγχο της ροής δύναμης και ποιότητας (π.χ. διακόπτες, φίλτρα, και πυκνωτές). Στην Ισορροπία Συστήματος περιλαμβάνονται επίσης τα ηλεκτρονικά για να ελέγξει και να επιτηρήσει τους στροβίλους στο αιολικό πάρκο (ένα βασισμένο σε μικροεπεξεργαστή "εποπτικό σύστημα ελέγχου και αποκτήσεων στοιχείων," ή αλλιώς SCADA), ηλεκτρική καλωδίωση για τη συλλογή της δύναμης, και εξοπλισμός διασύνδεσης της εταιρείας όπως οι μετασχηματιστές.

2.2.2 Εφαρμογή, Οφέλη, και Επιδράσεις Συστημάτων

Σημαντική εφαρμογή: Η σημαντικότερη εφαρμογή για την αιολική ενέργεια, από την άποψη της δυνατότητας της εγκατεστημένης ισχύς, είναι η μαζική αγορά ενέργειας. Εντούτοις, λόγω των εν εξελίξη αλλαγών λόγω της αναδόμησης των εταιρειών, της συνέχισης της χαμηλής τιμής του φυσικού αερίου, και την βελτίωση της τεχνολογίας παραγωγής αερίου, η εγχώρια αγορά για την αιολική ενέργεια είναι αβέβαιη, ειδικά βραχυπρόθεσμα. Η εποχή ενός ενιαίου τύπου εταιρικού προγράμματος ενέργειας όπου οι εγκαταστάσεις θα ανήκουν και θα διαχειρίζονται από την εταιρία έχει τελειώσει. Παραδοσιακά, ο αρχικός αγοραστής για τα αιολικά πάρκα ήταν πιθανόν οι συμβατικές εταιρίες και τα ιδιόκτητα και ανεξάρτητα ενεργοπαραγωγικά προγράμματα. Αυτές οι αγορές μπορούν να συνεχίσουν να παρέχουν ευκαιρίες. Στο μέλλον, εντούτοις, καθώς η αναδόμηση των εταιριών θα επιταχύνει, πρόσθετοι τύποι ευκαιρίας αγοράς μπορούν να προκύψουν, παρέχοντας περισσότερους βραχυπρόθεσμους στόχους για την αιολική ενέργεια.

Οι Δημοτικές ή οι Δημόσιες εταιρείες μπορεί να είναι μια τέτοια αγορά. Άλλες πιθανές ευκαιρίες περιλαμβάνουν την ιδιοκτησία από συνεταιρισμούς, εμπόρους ενέργειας, ή συγκεντρώσεις, που συσκευάζουν την παραγωγή από διάφορες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των ανανεώσιμων ενεργειών και (ενδεχομένως) του φυσικού αερίου ή τα υδροηλεκτρικά, για να προσθέσουν αξία εγκατεστημένης ισχύς και απευθείας πρόσβαση στους καταναλωτές. Μικρότερες συστοιχίες στροβίλων κύριος από ιδιώτες ιδιοκτήτες εδάφους μπορεί να είναι μια άλλη βραχυπρόθεσμη θέση. Υψηλοί αιολικοί πόροι και ευνοϊκοί χρηματοδοτούμενοι μηχανισμοί θα είναι χαρακτηριστικοί για τα βραχυπρόθεσμα προγράμματα. Επιπλέον, η αιολική ενέργεια θα είναι η πιο ανταγωνιστική στις εφαρμογές όπου η αξία θα αναγνώριζεται πέρα από το βραχυπρόθεσμο κόστος. Τέτοιες εφαρμογές θα μπορούσαν να περιλάβουν τη διανεμημένη παραγωγή, ή την αγορά "πράσινης" ενέργειας, με το οποίο η ενέργεια εκτιμάται για τα περιβαλλοντικά οφέλη της, ή την μείωση άλλων επιδράσεων από ορυκτή ή πυρηνική δύναμη.

Οφέλη συστήματος: καθώς η αγορά εταιριών απομακρύνεται από την πρόσφατη δομή τους, θα είναι όλο και περισσότερο σημαντικό για τους πωλητές αιολικής ενέργειας να διαχωρίζουν το προϊόν τους από άλλες πηγές παραγωγής με την υπογράμμιση της αξίας ώστε οι πελάτες να την αναγνωρίσουν στην αγορά. Συγκεκριμένες πηγές προστιθέμενης αξίας από την ενέργεια αέρα περιλαμβάνουν:

Οικονομική: Οι ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στις γεωργικές περιοχές μπορούν να ενισχύσουν τις τιμές του εδάφους με την ώθηση των μισθωμάτων και των τιμών, ενώ φεύγοντας η πλειοψηφία του εδάφους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συνεχή γεωργική χρήση. Τα αιολικά πάρκα, λόγω της διαμόρφωσή τους, έχουν την δυνατότητα για διανεμημένη ή/και στρατηγική τοποθέτηση, που μπορεί να βοηθήσει να τροφοδοτήσει τους προμηθευτές βελτιστοποιώντας τη χρήση της υπάρχουσας μετάδοσης και διανομής στις εγκαταστάσεις ή αναβάλλουν την ανάγκη για βελτιώσεις εξοπλισμού ή τις επεκτάσεις γραμμών. Τέτοιες αξίες εξαρτώνται ιδιαίτερα από συγκεκριμένα εταιρικά συστήματα και περιοχές αέρα.

Διαχείριση κινδύνου: Η αιολική ενέργεια μοιράζεται πολλές από τις θετικές διοικητικές ιδιότητες κινδύνου ως άλλη ανανεώσιμη ενέργεια. Η αιολική ενέργεια μπορεί να τοποθετηθεί μεμονωμένα για να προσθέσει αξία σε μερικές περιπτώσεις.

Περιβαλλοντική: Μόλις εγκατασταθεί, η αιολική ενέργεια απολαμβάνει τα πλεονεκτήματα μηδενικών εκπομπών αέρα, νερού και στερεών αποβλήτων. Σε αντίθεση οι εκπομπές πλήρως κύκλου καυσίμου, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών που βιώνονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής, η εξαγωγή εκπομπών (μηδέν για τον αέρα) και οι κύκλοι λειτουργίας, είναι πολύ χαμηλοί έναντι όλων των ορυκτών καυσίμων και πολλών άλλων τύπων παραγωγικών τεχνολογιών. Αυτά τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα μπορούν να βοηθήσουν τις ενεργειακές επιχειρήσεις να είναι συμβατές με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και να ικανοποιήσουν την επιθυμία των πελατών τους για καθαρές πηγές ενέργειας.

Επιδράσεις συστημάτων: Διάφορες πιθανές τοπικές επιδράσεις ότι οι σχεδιαστές και οι υπεύθυνοι των αιολικών πάρκων για την ανάπτυξη δίνουν τη μεγάλη προσοχή στο να περιλάβουν τις αλληλεπιδράσεις αναφερόμενες στα πτηνά, τις οπτικές ή αισθητικές επιδράσεις, την διάβρωση του εδάφους γύρω από τα πέλματα των στροβίλων ή τους δρόμους, και τις ακουστικές επιδράσεις. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής αιολικής ενέργειας μπορούν να έχουν επιπτώσεις στον τοπικό βιότοπο και την άγρια φύση καθώς επίσης και τους ανθρώπους. Ο βαθμός επιδράσεων από αυτά τα ζητήματα μπορεί να ποικίλει από ανύπαρκτο σε κρίσιμο, εξαρτάται από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά περιοχής κάθε προγράμματος, π.χ., της εγγύτητας στον άνθρωπο και αναφερόμενος στον πλυσισμό των πτηνών, ο τύπος και η χρήση του περιβάλλοντος εδάφους, και τοπικές προτιμήσεις για χρήση εδάφους. Οι υπεύθυνοι πρέπει προσεκτικά να εξετάσουν αυτά τα χαρακτηριστικά κατά την τοποθέτηση αιολικών πάρκων προκειμένου να μετριαστούν οι πιθανές επιδράσεις στα αποδεκτά επίπεδα.

Από τον περίπου θάνατο 5 δισεκατομμυρίων πτηνών ετησίως που αναφέρεται στις Ηνωμένες Πολιτείες, τα 200 εκατομμύρια είναι ένα αποτέλεσμα των συγκρούσεων με προκαλούμενα από τον άνθρωπο αντικείμενα . Η εμπειρία από την προηγούμενη δεκαετία έχει δείξει ότι το επίπεδο θνησιμότητας πουλιών από την αλληλεπίδραση με τα αιολικά πάρκα μπορεί να ποικίλει από κανέναν σε μερικές περιοχές στα επίπεδα ανησυχίας σε άλλες, όπου τα αιολικά πάρκα είναι μεταναστευτικές διαβάσεις ή στα πυκνά κέντρα πληθυσμών πτηνών, όπως το Πέρασμα Altamont, στην Καλιφόρνια. Συγκρούσεις πουλιών με αιολικές ενεργειακές εγκαταστάσεις είναι η κύρια αναφερόμενη αιτία της θνησιμότητας.

Οι ηλεκτροπληξίες είναι η δεύτερη κύρια αιτία, αλλά λύσεις έχουν αναπτυχθεί για να μετριαστεί αυτό το πρόβλημα. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη δυνατότητα για τις συγκρούσεις των πτηνών με τις εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας περιλαμβάνουν τη χρήση εδάφους, σχεδιασμό στροβίλων, θέση στροβίλων, προσανατολισμός στροβίλων, μέθοδοι λειτουργίας, είδη πουλιών, χρήση βιότοπων, σκαρφάλωμα πτηνών και συμπεριφορά πεταγματος. Εντούτοις, ανεξάρτητα από το σχετικό μέγεθος ο αντίκτυπος από τα αιολικά προγράμματα , που ελαχιστοποιούν τις συσσωρευτικές επιδράσεις στους πληθυσμούς των πτηνών είναι ακόμα μια κρίσιμη απαίτηση για την αιολική ενεργειακή αύξηση εσωτερικά και στο εξωτερικό.

Οι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη και οι χειριστές των αιολικών πάρκων έχουν τη δυνατότητα να μετριάσουν μια μεγάλη μερίδα των επιδράσεων των πτηνών από το κατάλληλο σχέδιο, τοποθέτηση, και λειτουργία των ανεμοστροβίλων και των αιολικών πάρκων. Η δυνατότητα να μετριάσουν οι αναφερόμενες επιδράσεις στα πτηνά είναι συγκεκριμένη ανα περιοχή προσθήκη στην υιοθέτηση των τεχνικών σχεδίου όπως η χρησιμοποίηση σωληνοειδών πύργων για να μειωθεί το σκαρφάλωμα ή το θάψιμο των καλωδίων ή την κάλυψη των συνδέσεων για να μειώθουν οι ηλεκτροπληξίες, οι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη μπορούν επίσης να αποφύγουν τη χρησιμοποίηση όλων ή μέρη ορισμένων περιοχών υψηλού κινδύνου. Η έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη για να αναπτύξει τις μεθόδους για να ελαχιστοποιήσει τις επιδράσεις από τις τρέχουσες εγκαταστάσεις και να αναπτύξει περαιτέρω τη δυνατότητα να μετριάσει τις επιδράσεις από τις εξελίξεις που είναι να εγκατασταθούν.

Ο οπτικός αντίκτυπος των ανεμοστροβίλων μπορεί να είναι αρκετά αξιοπρόσεχτος. Οι ανεμοστρόβιλοι είναι ψηλές κατασκευές, που βρίσκονται συχνά σε κορυφογραμμές και λόφους, και μπορεί να είναι ορατοί από σχετικά μεγάλες αποστάσεις. Η εμπειρία δείχνει ότι το σχεδιάγραμμα του εργοστασίου παραγωγής αιολικής ενέργειας, ο τύπος πύργου, και το χρώμα του στροβίλου και του πύργου έχουν επιπτώσεις στην αισθητική ευαισθησία μερικών ανθρώπων. Τέλος, ο θόρυβος που προκαλείται από την κίνηση του αέρα από τις λεπίδες των στροβίλων (αεροδυναμικός θόρυβος) και από τα μηχανικά τμήματα του στροβίλου. Οι μηχανικοί έχουν μειώσει τον αεροδυναμικό θόρυβο από την αλλαγή σχεδιασμού όπως η μείωση του πάχους της σύροντας άκρης των λεπίδων και με το να προσανατολίσουν τις λεπίδες αντίθετα στον άνεμο του πύργου. Δεδομένου ότι οι στροβίλοι εκπέμπουν ακόμα κάποιο θόρυβο, είναι συνετό για τους υπεύθυνους για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων να

εξετάσουν την εγγύτητα στις κατοικημένες περιοχές κατά την επιλογή των περιοχών ανάπτυξης.

2.2.3 Τεχνολογικές Υποθέσεις και Ζητήματα

Η αιολική τεχνολογία είναι αυτήν την περίοδο εμπορικά διαθέσιμη, αλλά ο περιορισμένος του όγκου παραγωγής τείνει να ωθήσει τις τρέχουσες τιμές υψηλότερα. Οι δείκτες Απόδοσης και Δαπανών σε αυτή την μελέτη είναι σύνθετοι αριθμοί που αντιπροσωπεύουν αυτή την εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία. Μια σύνθεση αντιπροσωπεύει έναν συνδυασμό διαφορετικών σχεδιαστικών χαρακτηριστικών, δηλαδή απεικονίζει τα διαφορετικά σχέδια και τις σχεδιαστικές πορείες που μπορούν να επιτύχουν τα παρόμοια αποτελέσματα από την άποψη του κόστους της ενέργειας ή άλλων μέτρων που συνδυάζουν το κόστος, απόδοση, και την αξιοπιστία. Επειδή αυτή η μελέτη παρουσιάζει σύνθετα στοιχεία, το συγκεκριμένο κόστος και τα χαρακτηριστικά απόδοσης οποιοδήποτε εμπορικού συστήματος θα είναι διαφορετικό από αυτά που παρουσιάζονται εδώ.

Ο φάκελος της τεχνολογίας που αντιπροσωπεύεται στην παρούσα μελέτη περιλαμβάνει την παγκόσμια τεχνολογία. Οι εκτιμήσεις για την τρέχουσα και μελλοντική τεχνολογία είναι βασισμένες σε εφαρμογές στην Αμερική και στους όρους αγοράς. Η προβλέψιμη πορεία της τεχνολογίας υποθέτει ότι η γερή χρηματοδότηση της Έρευνας και Ανάπτυξης από τις δημόσιες και ιδιωτικές πηγές θα συνεχιστεί.

Ο αιολικός πόρος που υποτίθεται σε αυτήν την μελέτη είναι χαρακτηριστικός των ευρειών περιοχών του εδάφους που είναι διαθέσιμο στην Αμερική. Καθώς η αιολική ενεργειακή τεχνολογία βελτιώνεται, οι άφθονες χαμηλότερες περιοχές των αιολικών πόρων θα γίνουν οικονομικά αποδοτικές. Αξιολογημένη εδώ είναι η κατηγορία ανέμων 4, με μέσες ετήσιες ταχύτητες 5,8 μ/δευτερόλεπτο (13 mph) στα 10 μέτρα επάνω από το έδαφος, και την κατηγορία ανέμοι 6, με μέσο όρο ετήσιες ταχύτητες 6,7 μ/δευτερολεπτο (15 mph) στα 10 μέτρα επάνω από το έδαφος. Επίσης, ένα εγχειρίδιο για τη διεύθυνση του αέρα και την αξιολόγηση των πόρων, που ολοκληρώθηκε πρόσφατα για το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας, είναι μια καλή αναφορά για την τοποθέτηση αιολικών πάρκων και στροβίλων.

Ανάγκες Έρευνας Και Ανάπτυξης: Οι κατασκευαστές αναπτύσσουν την επόμενη γενιά των ανεμοστροβίλων στην Αμερική και στην Ευρώπη. Η κυβερνητική υποστήριξη των αγορών στην Ευρώπη, στην Ινδία, και σε άλλες αναπτυσσόμενες χώρες, είναι κατά ένα μεγάλο μέρος αρμόδιες για τις εμφανιζόμενες πωλήσεις, παρέχοντας στους κατασκευαστές ροή χρημάτων για να διευθύνουν ιδιωτικές προσπάθειες εξέλιξης. Οι ευρωπαϊκοί κατασκευαστές παρέχουν αυτήν την περίοδο μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς για τους ανεμοστροβίλους σε κλίματα εταιριών και επομένως παρέχει την πλειοψηφία της ιδιωτικής επένδυσης στην Έρευνα και Ανάπτυξη. Η χρηματοδοτούμενη από την κυβέρνηση Έρευνα και Ανάπτυξη, μέσω των εθνικών εργαστηρίων, διαδραματίζει επίσης έναν ουσιαστικό ρόλο

στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών αιολικής ενέργειας. Η αιολική βιομηχανία, συνολικά, είναι ακόμα αρκετά μικρή, από την άποψη των οικονομικών πόρων, για να απαιτήσει κοινή έρευνα και δοκιμή σε ορισμένες περιοχές. Η συνεχώς εφαρμοσμένη έρευνα στην ανάπτυξη μιας βάσης τεχνικών γνώσεων για την σχεδίαση πιο οικονομικά αποδοτικών και αξιόπιστων στροβίλων είναι κρίσιμη για οποιαδήποτε επιχείρηση που ελπίζει να ανταγωνιστεί επιτυχώς στη αγορά πέντε ή περισσότερα χρόνια από τώρα: ο ανταγωνισμός όχι μόνο θα είναι μέσα στην αιολική βιομηχανία, αλλά βελτιωμένος έναντι στις τεχνολογίες παραγωγής ορυκτών πόρων. Η έρευνα και η δοκιμή των τρεχόντων προηγμένων συστατικών και των υποσυστημάτων είναι επίσης κρίσιμες για τους κατασκευαστές για να ανταγωνιστούν στις βραχυπρόθεσμες αγορές.

Αυτή η μελέτη δεν δίνει με λεπτομέρεια τις συγκεκριμένες και σημαντικές προόδους της Έρευνας και Ανάπτυξης. Εντούτοις, αυτή η Έρευνα και Ανάπτυξη θα είναι ουσιαστική για να αναπτύξει απλούστερα, αποδοτικότερα, ελαφρύτερα συστήματα με μεγαλύτερους ρότορες και πιο ψηλούς πύργους, διατηρώντας την υψηλή αξιοπιστία και διάρκεια ζωής εξοπλισμού. Αν και μπορεί να εμφανίζεται απλό στην έννοια, το να επιτευχθεί ουσιαστικά βελτιωμένη αποτελεσματικότητα δαπανών μέσω του μεγαλύτερου μεγέθους ρότορα και ύψους πύργων είναι τεχνικά προκλητικό. Έρευνα θα απαιτηθεί για να επιτρέψει στη βιομηχανία να καταλάβει αρχικά τα καταστρεπτικά φορτία που αυξάνονται με τα μεγαλύτερα συστήματα, και έπειτα να υιοθετήσουν τις μεθόδους για να μειώσουν ή να ελέγξουν τον αντίκτυπο εκείνων των φορτίων στα πλαίσια των βελτιωμένων γενικών οικονομικά συστημάτων.

Η έρευνα σε άλλες περιοχές είναι ουσιαστική για να επιτύχει τις προβλεπόμενες βελτιώσεις. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη μια καλύτερης κατανόησης (1) των χαρακτηριστικών του αέρα "που φαίνεται" από το στρόβιλο (2) πώς οι στρόβιλοι αλληλεπιδρούν με τον άνεμο ("αεροδυναμική") (3) πώς οι δομές και τα υλικά στροβίλων αποκρίνονται σε τέτοιες αλληλεπιδράσεις και πώς οι κατασκευαστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτή η γνώση για να σχεδιάσουν ισχυρότερα, λιγότερο ακριβά μέρη (4) μεμονωμένες πρόοδοι των μερών και πώς μπορούν να είναι συνδυασμένα με άλλα συστατικά στα οικονομικώς πιο αποδοτικά συστήματα και (5) άλλοι τρόποι να αυξήσουν την αξία της αιολικής ενέργειας, όπως η βελτίωση της δυνατότητας να προβλεφθούν τα επίπεδα των αιολικών πόρων σε πιο μακροχρόνια διαστήματα στο μέλλον. Το Αιολικό Ενεργειακό Πρόγραμμα του Υπουργείου Ενέργειας της Αμερικής δημοσιεύει λεπτομερείς περιγραφές των τρέχουσων και προγραμματισμένων δραστηριοτήτων Έρευνας και Ανάπτυξης που στοχεύουν σε αυτές και σε άλλες ευκαιρίες Έρευνας και Ανάπτυξης.

2.2.4 Απόδοση και Κόστος

Ο πίνακας 1 συνοψίζει τους δείκτες Απόδοσης και Δαπανών για τους προηγμένους οριζοντίου άξονα στροβίλους στα αιολικά πάρκα που χαρακτηρίζονται σε αυτήν την μελέτη.

Table 1. Performance and cost indicators.

INDICATOR NAME	UNITS	Base Case		2000		2005		2010		2020		2030	
		1996	+/- %		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %
Plant (windfarm) Size	MW	25		37.5		50		50		50		50	
Turbine Size	kW	500		750		1,000		1,000		1,000		1,000	
Hub Height	m	40		60		70		80		90		100	
Rotor Diameter	m	38		46		55		55		55		55	
Swept Area	m ²	1,134		1,662		2,376		2,376		2,376		2,376	
Performance													
Annual Energy delivery			+5/-15		+10/-20		+10/-25		+10/-25		+10/-25		+10/-25
Class 4 (plains site)	GWh/yr	57		99		154		159		164		168	
Class 6 (ridge site)	GWh/yr	78		133		199		203		210		213	
Net Annual Energy/Rotor Area			+5/-15		+10/-20		+10/-25		+10/-25		+10/-25		+10/-25
Class 4 (5.8 m/s @ 10 m)	kWh/m ²	1,011		1,192		1,294		1,334		1,385		1,412	
Class 6 (6.7 m/s @ 10 m)	kWh/m ²	1,372		1,596		1,671		1,711		1,765		1,797	
Capacity Factor			+5/-15		+10/-20		+10/-25		+10/-25		+10/-25		+10/-25
Class 4	%	26.2		30.2		35.1		36.2		37.6		38.3	
Class 6	%	35.5		40.4		45.3		46.4		47.9		48.7	
Annual Efficiency	% of theoretical maximum												
Class 4		65.0		71.8		75.3		75.4		76.4		76.2	
Class 6		70.4		78.9		80.2		80.3		81.3		81.4	
Annual Losses	% of gross energy												
Class 4		17.5		12.5		11.0		11.0		10.0		10.0	
Class 6		12.5		7.5		6.5		6.5		5.5		5.5	
Availability[1]	%	98	+1/-2	98	+1/-2	98	+1/-2	98	+1/-1	98	+1/-1	98	+1/-1

Table 1. Performance and cost indicators.

INDICATOR NAME	UNITS	Base Case		2000		2005		2010		2020		2030	
		1996	+/- %		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %		+/- %
Capital Cost													
Rotor Assembly (including hub)	\$/kW	185		180		190		160		150		140	
Tower	\$/kW	145		145		185		195		215		235	
Generator	\$/kW	50		45		55		50		45		40	
Electrical/Power Electronics, Controls, Instrumentation	\$/kW	155		140		100		90		75		65	
Transmission/Drive Train, Shaft Brakes, Nacelle	\$/kW	215		50		40		35		35		30	
Turbine FOB	\$/kW	750		560		570		530		520		510	
Balance of Station (BOS)	\$/kW	250	+5/-20	190		150		145		135		125	
Total Installed Cost	\$/kW	1,000	+10/-20	750		720		675		655		635	
Total Installed Cost	\$million	25.0	+10/-20	28.1	+20/-20	36.0	+20/-20	33.8	+20/-20	32.7	+20/-20	31.7	+20/-20
Cost per swept area	\$/m ²	441	+10/-20	338	+20/-20	303	+20/-20	284	+20/-20	276	+20/-20	267	+20/-20
Operations and Maintenance Cost													
Annual O&M Cost*	\$/turbine	10,000	+20/-30	10,400	+20/-30	11,700	+20/-30	11,300	+20/-30	11,100	+20/-30	11,000	+20/-30
	\$/kW-yr	20.00	+20/-30	13.87	+20/-30	11.70	+20/-30	11.30	+20/-30	11.10	+20/-30	11.00	+20/-30
Levelized Overhaul and Replacement Cost	\$/kW-yr	4.8	+20/-50	4.3	+20/-50	3.6	+15/-50	3.1	+15/-50	2.2	+15/-50	2.1	+15/-50
Annual Land Lease [1,15,16]	% of revenue	3.0	+30/-30	3.0	+30/-30	2.5	+40/-30	2.5	+40/-30	2.5	+40/-40	2.5	+60/-40

Σημειώσεις:

1. +/- Όρια σειράς ένας φάκελος τεχνολογίας που περιλαμβάνει τα αναδυόμενα/κύρια χαρακτηριστικά τεχνολογίας + πλευρά για την απόδοση και - πλευρά για το κόστος. Η σειρά επίσης περιλαμβάνει την αβεβαιότητα της επίτευξης της τεχνικών επιτυχίας και του όγκου πωλήσεων, και τη φυσική παραλλαγή στα προγράμματα από την κανονική ζήτηση στην αγορά.

2. Η περίοδος κατασκευής εγκαταστάσεων (windfarm) υποτίθεται ότι απαιτήσε 1 έτος.

* Ετήσιο ο&μ εκφράζεται ως \$/turbine και \$/kW-yr. Αυτές είναι δύο εκφράσεις του ενός κοστίζουν και δεν είναι επομένως πρόσθετες.

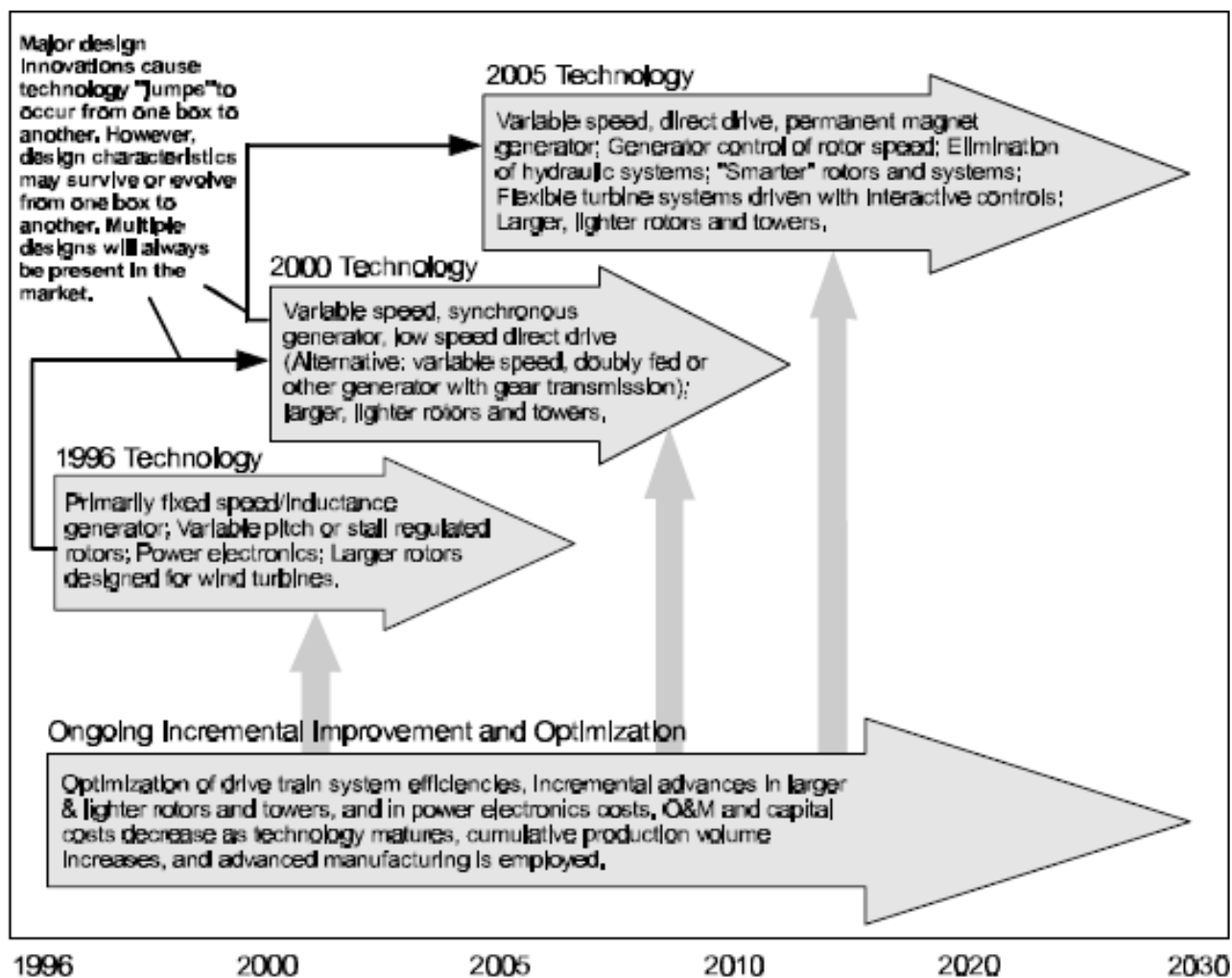
2.2.5 Επισκόπηση Εξέλιξης

Ο πίνακας 2 συνοψίζει την προβαλλόμενη σύνθετη τεχνολογική πορεία. Το σχήμα 2 παρουσιάζει την σχετική σημαντική τεχνική τάση που αναμένεται στην ανάπτυξη των ανεμοστροβίλων. Μια από τις έννοιες που επεξηγεί το σχήμα είναι ότι ενώ μπορεί να υπάρξει μεγάλη καινοτόμος πρόοδος στην τεχνολογία που οδηγούν το κόστος ενέργειας προς τα κάτω, ταυτόχρονα θα υπάρξει μια τρέχουσα διαδικασία επταυξητικής βελτιστοποίησης. Σημαντική καινοτομία απεικονίζεται από "τα άλματα" στο μέγεθος και στον τύπο των υποσυστημάτων από το 1995 ως το 2000, και πάλι από το 2000 ως το 2005. Η διαδικασία βελτιστοποίησης παρουσιάζεται ως κατώτατο βέλος "τροφοδοτώντας" τις σημαντικότερες βελτιώσεις ανωτέρω. Τα "άλματα" στην τεχνολογία που παρουσιάζεται στο σχήμα δείχνουν μια ευρεία τάση ανάπτυξης τεχνολογίας, αλλά δεν δείχνουν ότι μια ενιαία πορεία σχεδιασμού προβλέπεται.

Πίνακας 2. Προβλέπιμη σύνθετη τεχνολογική πορεία.

Year	Turbine Rated Capacity (kW)	Turbine Diameter (m)	Hub Height (m)	Basis For Composite Technology Description
1996	500	38	40	Based on several commercial turbines.
2000	750	46	60	Based on several preliminary DOE Next Generation turbine designs, current prototypes, analysis from R&D activities, and manufacturer reports of next generation technology plans.
2005	1000	55	70	Advances are driven by an additional cycle of turbine research activities. Projections are based on internal laboratory analysis.
2010	1000	55	80	Post 2005 incorporates incremental technology advances. Modest cost reductions are primarily from manufacturing improvements and increased volume.
2020	1000	55	90	
2030	1000	55	100	

Μια χρήσιμη και ενδιαφέρουσα επεξεργασία της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνεται σε μια πρόσφατη μελέτη από την Ένωση Ενδιαφερόμενων Επιστημόνων της χρήσης των ανανεώσιμων ενεργειών κεντροδυτικά. Η μελέτη χρησιμοποίησε ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών για να καθарίσει τις εκτιμήσεις των αιολικών πόρων που αναπτύσσονται αρχικά από το Βορειοδυτικό Εργαστήριο του Ειρηνικού. Η μελέτη προσδιορίζει τη διαθεσιμότητα των γραμμών μετάδοσης και το εκτιμώμενο κόστος των γραμμών μετάδοσης στους αιολικούς πόρους στις περισσότερες κεντροδυτικές πολιτείες. Περιοχές έχουν προσδιοριστεί που θα μπορούσε να αναπτυχθεί επικερδώς, τώρα ή στα επόμενα χρόνια, με τη βελτίωση της τεχνολογίας και ένα ευρύ πρόγραμμα απεικόνισης.



Σχημα 2. Εξελιξη τεχνολογίας αιολικής ενέργειας

Πολλαπλά σχέδια θα είναι πάντα παρόντα στην αγορά, με διαφορετικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά που επιζούν ή που εξελίσσονται από ένα χρονικό διάστημα σε άλλο. Ανάλογα με τις εφαρμογές της αγοράς και τις ανάγκες των πελατών, στρόβιλοι με διαφορετικό μεμονωμένο κόστος και χαρακτηριστικά απόδοσης έχουν τη δυνατότητα να ανταγωνιστούν στην αγορά. Αναγνωρίζεται ότι τα σχέδια δεν κινούνται απλώς από οικονομικούς και τεχνικούς παράγοντες, η φιλοσοφία των κατασκευαστών και η φύση της αγοράς υπαγορεύουν επίσης το μήκος του χρόνου που τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού παραμένουν στην αγορά. Επιπλέον, τα σχέδια οδηγούνται εν μέρει από την ανάγκη να προσαρμοστούν σε ορισμένο πρότυπα σχεδιασμού προκειμένου να παραληφθούν οι πιστοποιήσεις που επιτρέπουν τις πωλήσεις σε μερικές περιοχές στο εξωτερικό.

Τα περισσότερα από αυτά τα αιολικά συστήματα περιλαμβάνουν σταθερής ταχύτητας συστήματα παραγωγής συνήθως συνδεδεμένα με μια χαμηλού κόστους γεννήτρια επαγωγής. Πολλά συστήματα χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά ενέργειας για τη μετατροπή δύναμης και/η δυναμικό φρενάρισμα, και προηγμένα σχέδια αεροτομών. Μερικά τρέχοντα σχέδια χρησιμοποιούν μεταβλητής ταχύτητας συστήματα παραγωγής. Η μελέτη περιλαμβάνει τους στροβίλους που εξελίσσονται κατά μήκος διάφορων σχεδιαστικών πορειών. Το πρώτο μπορεί να κληθεί σαν προηγμένο μικρού βάρους σχέδιο. Αυτό περιλαμβάνει τους στροβίλους όπως Flowind AWT- 27 και Northwest Power Systems North Wind 250, και άλλοι κατασκευαστές όπως η Cannon/Wind Eagle Corporation. Το προχωρημένο μικρού βάρους σχεδιαστικό μονοπάτι συνεχίζεται και για το χρονικό πλαίσιο του 2000 περιλαμβάνοντας κατασκευαστές που συμμετέχουν στο Πρόγραμμα Ανάπτυξης Στροβίλων Νέας Γενιάς του Υπουργείου Ενέργειας. Κάποια τεχνολογία το 2000 θα ενσωματώσει επίσης τα προηγμένα συστατικά που αναπτύσσονται από τη βιομηχανία, ιδιαιτέρως, και από κοινού με τις δραστηριότητες των Καινοτόμων Υποσυστημάτων του Υπουργείου Ενέργειας. Τα ελαφρύτερα σχέδια αναπτύσσονται επίσης ή ερευνώνται από διάφορους κατασκευαστές στην Ευρώπη.

Μια δεύτερη σχεδιαστική πορεία προέρχεται από τον τριών λεπίδων, άκαμπτου κόμβου, σταθερού βήματος σχεδιασμού, μερικές φορές καλούμενο τον στρόβιλο δανέζικο ύφους. Αυτή η σχεδιαστική προσέγγιση συνεχίζει να προωθείται από την Αμερική και τους ευρωπαϊούς κατασκευαστές. Ένα πρόσφατα εμπορευματοποιημένο σχέδιο από την Zond Energy Systems, Inc., από κοινού με την δραστηριότητα Κατασκευής Στροβίλων Αξίας Υπουργείου Ενέργειας έχει επιτύχει βελτιωμένη αποτελεσματικότητα κόστους, όπως μετριέται από το κόστος της ενέργειας. Οι ευρωπαίοι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει επίσης προηγμένες χαρακτηριστικές λειτουργίες υποσυστημάτων για αυτό το βασικό σχέδιο, συμπεριλαμβανομένης της πλήρους ή μερικής μεταβλητής λειτουργίας ταχύτητας, και της ηλεκτρονικής δύναμης για τον έλεγχο στροφών και τον έλεγχο της γεννήτριας.

Μια τρίτη πορεία, που μπορεί τώρα να συγκλίνει με τις δύο πρώτες, μπορεί να περιγραφεί από την τεχνολογία που αναπτύσσεται αρχικά από την Kenetech στην Αμερική και από την Enercon στην Γερμανία. Αυτό περιλαμβάνει τους στροβίλους που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά ενέργειας για να επιτευχθεί μεταβλητή παραγωγή ταχύτητας. Το 1993, η Kenetech Windpower ανέπτυξε έναν 33 μέτρων, τριών λεπίδων, μεταβλητής ταχύτητας στρόβιλο με αρκετούς βιομηχανικούς συνεργάτες. Μέχρι το 1996, η Kenetech είχε σχεδιάσει επίσης και είχε εξετάσει και δοκιμάσει έναν στρόβιλο 45 μέτρων. Αν και η Kenetech Windpower πρόσφατα σταμάτησε τις διαδικασίες, αρκετά από τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού που προβλέφθηκαν για την επόμενη γενιά τεχνολογίας της ήταν παρόμοιες με εκείνα που ερευνώνται ή που ενσωματώνονται τώρα από άλλους στις δύο πρώτες πορείες. Πρώτιστος μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται η μεταβλητή ταχύτητα, μεταβλητό βήμα, και άμεση λειτουργία κίνησης. Η Enercon παράγει εμπορικής μεταβλητής ταχύτητας, μηχανές άμεσης κίνησης, αλλά η περαιτέρω Έρευνα και Ανάπτυξη απαιτείται για να ρίξει το κόστος των ηλεκτρονικών μερών της και να βελτιστοποιήσει την αποδοτικότητα της μετατροπής δύναμής έτσι ώστε η

αποτελεσματικότητα δαπανών της να είναι στην ανταγωνιστική σειρά των προβλέψεων για το 2000.

Ο σύνθετος στρόβιλος του 2000 αναμένεται για να χρησιμοποιήσει έναν συνδυασμό δοκιμασμένων και αναπτυσσιακών υποσυστημάτων. Η κατεύθυνση της τεχνολογίας του 2000, είναι γενικώς προς τις μεγαλύτερες γεννήτριες και τους στροφείς, πολλαπλάσια ταχύτητα ή προηγμένες μεταβλητής ταχύτητας γεννήτριες, συμπεριλαμβανομένου της αύξησης της χρήσης των ηλεκτρικών ενέργειας. Πιο πολύπλοκα ηλεκτρονικά ενέργειας, προηγμένοι αεροδυναμικοί έλεγχοι προσαρμοσμένες αεροτομές για συγκεκριμένα καθεστώτα αέρα. Ψηλότεροι πύργοι και πρόωρη εισαγωγή αργόστροφων, άμεσης κίνησης γεννητριών. Θα είναι πιθανό να σχεδιαστούν στρόβιλοι για μεγαλύτερη αξιοπιστία βασισμένη σε μια καλύτερη γνώση των χαρακτηριστικών εισροής του ανέμου και πώς προσκρούουν στο δομικό σχέδιο. Αναμένεται ότι θα υπάρξουν βελτιώσεις στις λεπίδες του στρόβιλου, ιδιαίτερα όσον αφορά την καλύτερη ολοκλήρωση του δομικού και αεροδυναμικού σχεδίου λεπίδων με τις κατάλληλες διαδικασίες κατασκευής. Επιπλέον, οι υπεύθυνοι ανάπτυξης θα βελτιώσουν τη δυνατότητά να τοποθετούν τους στρόβιλους σε μια ευταξία προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία του αιολικού πάρκου και η ενεργειακή παραγωγή. Το σχήμα 2 απεικονίζει δύο εναλλακτικές πορείες τεχνολογίας για το 2000:

- 1) μια μεταβλητής ταχύτητας, σύγχρονη γεννήτρια με πλήρως εκτιμημένο μετατροπέα (ηλεκτρονικά που επιτρέπουν τον αποκλεισμό του κιβωτίου ταχυτήτων).
- 2) μια διπλά τροφοδοτούμενη γεννήτρια, η οποία θεωρείται ως προσωρινή, χαμηλού κόστους, μεταβλητής ταχύτητας, επιλογή παραγωγής με μια συνδεδεμένη μετάδοση. Αυτές οι δύο εναλλακτικές λύσεις αρχίζουν μετά βίας να καλύπτουν τις πιθανές διαμορφώσεις που θα μπορούσαν να προκύψουν στην αγορά, αλλά παρέχουν παραδείγματα από τις ενδεχομένως κοινές τεχνολογίες για το χρονικό διάστημα 2000+.

Η πρόοδος το 2005 αναμένονται να οδηγηθή εν μέρει από έναν πρόσθετο κύκλο χρηματοδοτημένο από ερευνητικά προγράμματα στρόβιλων της κυβέρνησης και της βιομηχανίας στρόβιλων. Η μελέτη υποθέτει ότι η κίνηση προς τα συστήματα άμεσης κίνησης θα συνεχιστεί, μαζί με τα ηλεκτρονικά ενέργειας χαμηλού κόστους και την αυξανόμενη εκτέλεση στον έλεγχο των ηλεκτρονικών, και πιο απαιτητικός έλεγχος της ενέργειας του ρότορα και σχετική μείωση φορτίων που χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες όπως πτερύγια ρότορα ή ενεργοποίηση βήματος. Αυτές οι πρόοδοι συνδυάζονται στη σύνθετη τεχνολογική πορεία με το τελευταίο σημαντικό η αύξηση του μεγέθους στη διάμετρο στροφών και την εκτίμηση των γεννητριών. Αν και οι απόψεις διαφέρουν στο πιο θα είναι το βέλτιστο μέγεθος ανεμοστροβίλων στο μέλλον, διάφορες βιομηχανικές μελέτες έχουν δείξει ότι τα μεγέθη κοντά σε 1 MW εμφανίζονται να παράγουν τον κατά προσέγγιση βέλτιστο συνδυασμό μεταξύ του κόστους, της απόδοσης, και της αξιοπιστίας για τις μεγάλες εφαρμογές αιολικών πάρκων. Οι μόνιμες μαγνητικές γεννήτριες αρχίζουν να γίνονται οικονομικά αποδοτικές για τους στρόβιλους μεγέθους αιολικού

πάρκου το 2005. Τέλος, μια τάση προς επαυξητικά υψηλότερους πύργους αναμένεται.

Η αξία των γεννητριών των στροβίλων δεν αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά μετά από το 2005, επειδή αντίστροφες κλιμακοτές οικονομίες μπορεί να εμποδίσουν την ανάπτυξη μηχανών μεγαλύτερων από ένα μεγαβάτ. Τα ύψη των πύργων αυξάνονται σε όλη την περίοδο των προβλέψεων. Αυτό απεικονίζει την πεποίθηση ότι τα συστήματα στο μέλλον θα τείνουν προς τους υψηλότερους πύργους, με το βέλτιστο ύψος να καθορίζεται σε ένα πρόγραμμα συγκεκριμένης βάσης ανά περιοχή. Οι στρόβιλοι που πωλούνται στην αγορά δεν θα έχουν όλοι πύργους τόσο ψηλούς, ή τόσο κοντούς. Βελτιώσεις στο λογισμικό σχεδίου και τις γενικές μειώσεις στο βάρος στροβίλων ανά μονάδα παραγωγής θα επιτρέψει αυτήν την τάση στο βέλτιστο σημείο σχεδίου για τους πύργους στροβίλων. Οι τεχνικές πρόοδοι μετά από το 2005 είναι επίσης αναμενόμενοι στις περιοχές ελαφρού βάρους υλικών, ειδικά υλικά λεπίδων, και προηγμένες τεχνικές και συστατικά για να ενισχύσει την αποθύκευση των φορτίων των στροβίλων.

2.2.6 Συζήτηση Απόδοσης και Δαπανών

2.2.6.1 Βασικές Υποθέσεις

Αναμενόμενη οικονομική ζωή (έτη): Η αναμενόμενη οικονομική ζωή για το πρόγραμμα αιολικού πάρκου είναι 30 χρόνια, βασισμένο στην εμπειρία των κατασκευαστών σχεδόν 15 ετών και των δηλωμένων στόχων σχεδιασμού. Περιοδική αντικατάσταση ή αποκατάσταση μεγάλων υποσυστημάτων όπως λεπίδες του ρότορα ή σπλισμός γεννητριών υποτίθεται ότι είναι απαραίτητα κατά τη διάρκεια της περιόδου 30 ετών, αν και δεν υποστηρίζουν όλοι οι κατασκευαστές ότι απαιτείται αντικατάσταση λεπίδων σε εκείνη την περίοδο. Μερικοί ερευνητές αισθάνονται ότι ειπάρχουν ικανοποιητικά στοιχεία όσο αφορά τους κύκλους φορτίου των στοιχείων, σύνθετα υλικά ανά πρόβλεψη επίδοσης, και εκτεταμένη λειτουργία μιας περιόδου 30 ετών δεν υπάρχει αυτήν την περίοδο για να κάνετε τις ακριβείς προβλέψεις της διάρκειας ζωής 30 ετών

Κατασκευαστικές Χρηματοδοτικές Δαπάνες: Αυτοί δεν συμπεριλαμβάνονται στους κύριους προϋπολογισμούς δαπανών \$/kW στον πίνακα 1. Εντούτοις, πρέπει να ενσωματωθεί σε οποιοδήποτε υπολογισμό κόστους ενέργειας και να συμπεριλαμβάνονται με το κόστος ενέργειας σε χωριστό κεφάλαιο χρηματοδότησης. Το κόστος κεφάλαιου που υπολογίζεται στον πίνακα 1 μπορεί επομένως να ονομαστεί σαν "νυχτερινή" δαπάνη.

Κέρδος: Το κόστος του στροβίλου στην αποβάθρα φόρτωσης των κατασκευαστών περιλαμβάνει κέρδος.

Μέγεθος Αιολικού Πάρκου: Ο καθορισμός του αριθμού στροβίλων σε 50 μονάδες επιτρέπει στις τάσεις δαπανών να εξεταστούν ευκολότερα σε επίπεδο υποσυστημάτων από την άποψη των απόλυτων δολαρίων καθώς επίσης και των δολαρίων ανά εκτιμώμενη κιλοβάτώρα.

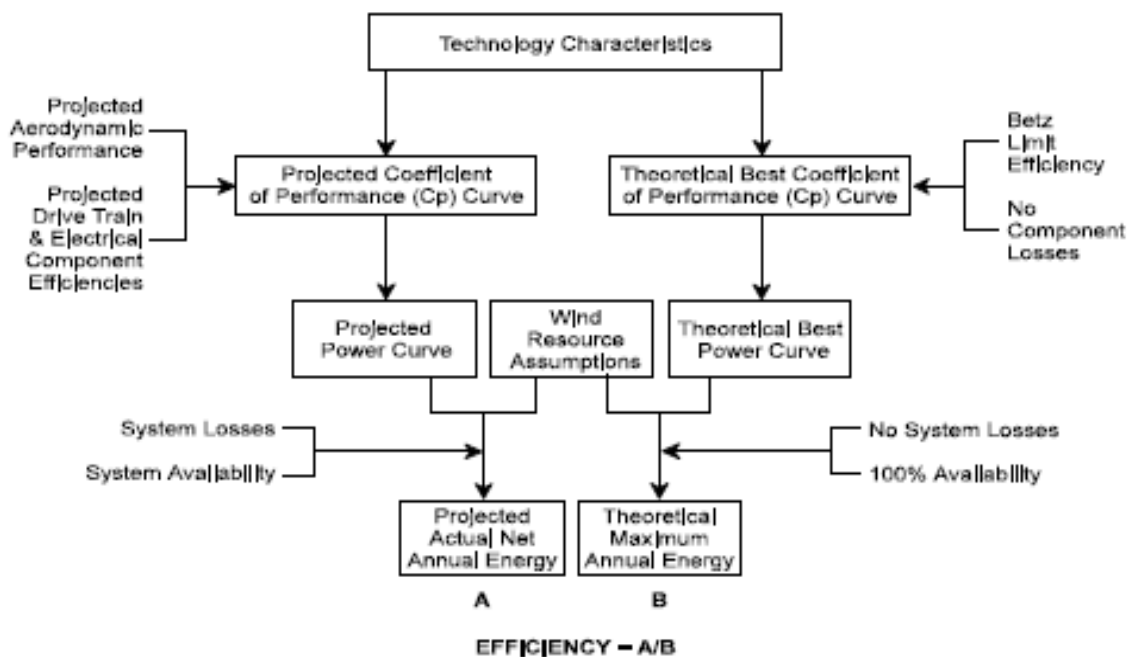
Παράγοντας Ισχύς: Ο παράγοντας ισχύς, ορίζεται ως το καθαρό ποσό ισχύς που παράγεται ετησίως από τον στρόβιλο που διαιρείται με το ποσό ενέργειας που θα παραγόταν εάν ο στρόβιλος λειτούργησε στην πλήρη εκτιμημένη ισχύ για ένα ολόκληρο έτος. Υπό αυτήν τη μορφή, είναι μια λειτουργία και του αιολικού πόρου (πόσο συχνά η ταχύτητα αέρα είναι αρκετά υψηλή για το στρόβιλο να παρέμβει) και αξιοπιστία στροβίλων (πόσο συχνά ο στρόβιλος είναι διαθέσιμος για λειτουργία όταν φυσά άνεμος εναντίον και πόσο συχνά είναι μη διαθέσιμος λόγω της σχεδιασμένης και απρογραμμάτιστης συντήρησης).

2.2.6.2 Τρέχουσα Τεχνολογία (1996)

Τρέχουσα απόδοση: Το λειτουργικό στοιχείο για την τρέχουσα τεχνολογία είναι ευρέως διαθέσιμο από τα αιολικά πάρκα της Καλιφόρνια και άλλες τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο. Οι δείκτες απόδοσης για το έτος αναφοράς είναι μια σύνθεση της εμπορικής τεχνολογίας που είναι διαθέσιμη το 1996, συμπεριλαμβανομένων των στροβίλων από το βραχυπρόθεσμο αναπτυξιακό έργο προϊόντων του Υπουργείου Ενέργειας και από διάφορους άλλους κατασκευαστές. Αυτοί οι στρόβιλοι περιλαμβάνουν τα σταθερά και μεταβλητά σχέδια ταχύτητας, τα περισσότερα από τα οποία χρησιμοποιούν μία ή περισσότερες χαμηλού κόστους, γεννήτριες επαγωγής. Η σύνθεση τεχνολογίας του 1996 διακρίνεται από την προηγούμενη τεχνολογία, την πρόσφατη δεκαετία του '80 αρχές δεκαετίας του '90, από την ουσιαστική χρήση των ηλεκτρονικών ενέργειας για τη μετατροπή δύναμης και/ή το δυναμικό φρενάρισμα, με την χρήση των προοδευτικών σχεδίων αεροτομών. Τα προγράμματα που χρησιμοποιούν αυτό τον τύπο της τεχνολογίας υπάρχουν αυτήν την περίοδο. Επιπλέον, οι κατασκευαστές έχουν επιτύχει υψηλή διαθεσιμότητα στροβίλων με τα πρόσφατα προγράμματα να χρησιμοποιούν αυτούς τους στροβίλους ή τους άμεσους προκατόχους τους.

Συγκεκριμένα, μια καμπύλη που σχεδιάζει την αποδοτικότητα της μετατροπής δύναμης από τον αέρα μέσω του ρότορα (που είναι γνωστός ως "συντελεστής της δύναμης" ή C_p) αναπτύχθηκε για να είναι σύμφωνη με τα σύνθετα χαρακτηριστικά σχεδίου των στροβίλων και περιλαμβάνουν το επίπεδο αεροδυναμικής αναμενόμενης απόδοσης από βελτιωμένους ρότορες ανεμοστροβίλων για κάθε χρονική περίοδο. Παραδείγματος χάριν, ο σύνθετος στρόβιλος του 1996 διαμορφώθηκε σαν σταθερής ταχύτητας, σταθερού βήματος μηχανή. Οι αποδοτικότητες των ηλεκτρονικών ενέργειας και μετάδοσης, του ρότορα, και των γεννητριών, ενσωματώθηκαν άμεσα στις καμπύλες του συντελεστή δύναμης. Για κάθε μια χρονική περίοδο, μια καμπύλη της καθαρής παραγωγής ηλεκτρικής δύναμης, μια "καμπύλη δύναμης," προερχόταν από την καμπύλη συντελεστή δύναμης. Τέλος, η ετήσια συλλογή ενέργειας για κάθε έτος υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας αυτές τις

καμπύλες δύναμης για τις κατηγορίες ταχύτητας αέρα 4 και 6 (5,8 m/s, και 6,7 m/s, μέση ταχύτητα ανέμου αντίστοιχα, μετρημένος 10 μέτρα επάνω από το έδαφος). Η αξία της στάθμης της θάλασσας για την πυκνότητα αέρα 1.225 kg/του κυβικού μετρου χρησιμοποιείται για όλους τους υπολογισμούς ενέργειας. Μια διατομή αέρα της τάξης του 1/7 υποτίθεται επίσης. Ένα εργαλείο διαμόρφωσης που αναπτύχθηκε για το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας χρησιμοποιήθηκε για να εκτελέσει αυτούς τους υπολογισμούς.



Σχήμα 3. Μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής.

Η πλευρά του σχήματος 3 επεξηγεί αυτήν την διαδικασία. Για να εκτελέσουν αυτόν τον υπολογισμό, οι συντελεστές δύναμης που αντιστοιχούν σε κάθε καμπύλη ενέργειας τίθεται ως στόχος το θεωρητικό μέγιστό τους (0,593, γνωστός ως όριο Betz) από μια παρέμβαση 2 m/s, μέχρι την εκτιμημένη δύναμή τους σε 11 m/s. Από 11 m/s, μέχρι και 30 m/s, η παραγωγή δύναμης κρατιέται σταθερή στην εκτιμώμενη δύναμη, ενώ οι συντελεστές δύναμης είναι ρυθμισμένα προς τα κάτω, δηλ., ο ρότορας δεν μετατρέπει όλη την δύναμη που μπορεί θεωρητικά από τον άνεμο πάνω από 11 m/s επειδή η γεννήτρια πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το να είναι οικονομικά βέλτιστη. Η αποδοτικότητα στροβίλων, ορίζεται έτσι ως προβλεπόμενη καθαρή ενέργεια που παρήχθη από το σύστημα στροβίλων της μελέτης, συμπεριλαμβανομένων όλων των απωλειών, που διαιρέθηκαν με την ενέργεια που παράχθηκε από το θεωρητικό καλύτερο σύστημα, που δεν υποθέτει καμία απώλεια συστημάτων.

Ο πίνακας 3 συγκρίνει τον ενεργειακό δείκτη kWh ανέμου της τεχνολογικής μελέτης του 1996 ανά τετραγωνικό μέτρο της περιοχής στροφών (kWh/m²) ενάντια στην υπολογισμένη απόδοση 17 πρόσφατων στροβίλων από 11 κατασκευαστές, συμπεριλαμβανομένου της Bonus 600/41, Eagle 300, Enercon E- 40, Flowind AWT- 27, Kenetech 33M-VS, Micon M1500 750/175, και M1500-600/150, Nedwind NW41, και NW44, Tacke TW- 600, Vestas V39/500, V39-600, V42/600 και V44/600, Wind World W3700/50 αέρα, και Zond Z- 40 και Z- 46

Δημόσια οι διαθέσιμες καμπύλες δύναμης για αυτούς τους στροβίλους χρησιμοποιούνται για να τρέξουν το ίδιο ενεργειακό πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για να υπολογίσει την σύνθετη αιολική ενεργειακή παραγωγή της τεχνολογικής μελέτης για να παραχθούν συγκρίσιμες εκτιμήσεις ενεργειακής παραγωγής για την κατηγορία 4 και την κατηγορία 6 περιοχών ανέμου. Για σύγκριση, όλοι οι στροβίλοι είναι ομαλοποιημένοι σε ύψος κόμβου 10 μέτρων για να εξαλείψει την επίδραση διαφορετικών ύψων πύργων που συνδέονται με τους διαφορετικούς εμπορικούς στροβίλους.

Πινάκας 3. Σύγκριση της τρέχουσας απόδοσης στροβίλων με το σύνθετο στρόβιλο του 1996

	Turbine Rating (kW)	Rotor Diameter (m)	Annual energy (kWh/m ² normalized to 10 m hub height, no losses, 100% availability) *	
			Class 4	Class 6
Minimum Value	275	26.8	519	790
Maximum Value	750	46.0	833	1,127
Mean Value	531	39.4	706	992
Std. Deviation	131	5.6	69	83
TC Value	500	38.0	777	1088

*10 μέτρα είναι το ύψος στο οποίο οι ταχύτητες ανέμου μετριοούνται. Η κανονικοποίηση εξαλείφει την επίδραση του ύψους πύργων.

Ο πίνακας 3 δείχνει ότι η διάμετρος του ρότορα του στροβίλου της τεχνολογικής μελέτης του 1996 είναι παρόμοια με τις μέσες τιμές των 17 στροβίλων. Οι ετήσιες ενεργειακές εκτιμήσεις του 1996 για το στρόβιλο είναι μια σταθερή απόκλιση επάνω από τις μέσες τιμές για τους 17 στροβίλους για τους υπολογισμούς των κατηγοριών 4 και 6. Οι ανεξάρτητοι στροβίλοι δεν παρουσιάζονται στον πίνακα επειδή στους κατασκευαστές δεν δόθηκε η πιθανότητα να βελτιστοποιήσουν τους στροβίλους τους για τις υποθέσεις των αιολικών πόρων της μελέτης. Εντούτοις, υποθέεται ότι ο μεγάλος αριθμός στροβίλων που συμπεριλαμβάνεται παρέχει ένα λογικό εύρος ενάντια στη σύγκριση της σύνθετης εκτίμησης της μελέτης για την τρέχουσα τεχνολογία. Το εύρος αβεβαιότητας για τους ενεργειακούς δείκτες του 1996 στον πίνακα 1

είναι μέσα στα όρια που δημιουργούνται από τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές που απαριθμούνται στον πίνακα.

Απώλειες Αιολικού - μια διακοπή των υποτιθέμενων απωλειών παρουσιάζεται στον πίνακα 4.

- *Απώλειες Διατάξης* - οι μεγάλες προσήνεμες διαστάσεις διαστήματος (2,5 διάμετροι λοξά X 20 διάμετροι προσήνεμοι) έχουν υποθετηθεί για την κατηγορία περιοχών 4 επειδή το έδαφος συχνότερα βρίσκεται στις επίπεδες περιοχές πεδιάδων και είναι άφθονο για αυτή την κατηγορία των πόρων. Με βάση την κρίση των εργαστηριακών ερευνητών του Υπουργείου Ενέργειας, αυτό το σχετικά μεγάλο διάστημα είναι ο αρχικός λόγος για τη μείωση των απωλειών διάταξης από τα επίπεδα που αναφέρονται αυτήν την περίοδο σε κάποιο μεγάλο, πυκνό-εγκατεστημένο αιολικό πάρκο στην Καλιφόρνια. Οι απώλειες ακτίνων υποτίθεται ότι είναι μηδέν για τις υψηλότερες περιοχές κατηγορίας 5 και 6 επειδή αυτοί οι πόροι συχνά βρήσκονται στην κορυφογραμμή ή την ορεινή έκταση και οι στρόβιλοι είναι χαρακτηριστικά τοποθετημένοι σε μεγάλες αποστάσεις προσήνεμα ή μια στην άλλη ή σε μακρίες, ενιαίες σειρές.
- *Εδαφικές Απώλειες* - οι τιμές του 1996 είναι υπολογισμένες με βάση (1) τις δοκιμές των σχεδίων αεροτομών που αναπτύσσονται από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας και διαθέσιμο εμπορικά, το οποίο εκθέτει τη χαμηλή ευαισθησία στην ακαθαρσία ("τραχύτητα") και (2) η υπόθεση ότι εκείνη η πλύση λεπίδας διευθύνεται σε οικονομικά βέλτιστα επίπεδα και το σχετικό κόστος συμπεριλαμβάνεται σε μια ετήσια Λειτουργία και Συντήρηση. Η εισαγωγή των ρότορων μεταβλητού βήματος στην τεχνολογική μελέτη του 2000 σχεδιάζει περαιτέρω μείωση των απωλειών από ακαθαρσίες, ο έλεγχος βήματος υποτίθεται ότι αντιστάθμισε την υποβάθμιση της αεροδυναμικής απόδοσης από την ακαθαρσία. Οι απώλειες από τις ακαθαρσίες μειώνονται ελαφρώς μετά από το 2010, δείχνοντας ότι το σχέδιο αεροτομών και τα υλικά ακόμα δεν έχουν βελτιστοποιηθεί πλήρως για την υπερευαίσθητη τραχύτητα μέχρι τότε.

Πίνακας 4. Υποθέσεις Απωλειών Αιολικού Πάρκου (% υπολογισμένης ακάθαρτης ενέργειας).

	1996	2000	2005	2010	2010-2030
Array	5 / 0*	5 / 0	4.5 / 0	4.5 / 0	4 / 0
Rotor Soiling	7.5	2.5	2.5	2.5	2 / 0
Collection System†	2	2	2	2	2
Control & Misc.	3	3	2	2	2
Total	17.5 / 12.5	12.5 / 7.5	11 / 6.5	11 / 6.5	10 / 5.5

* Τα ζευγάρια δείχνουν τις απώλειες για τον άνεμο (κατηγορία περιοχής 4/κατηγορία περιοχής 5 & 6)

† Περιλαμβάνει τις απώλειες καλωδίων και μετασχηματιστών

Τρέχον κόστος: Χρησιμοποιώντας τα δημόσια αποσπάσματα τιμών και τις μηχανολογικές μελέτες δαπανών ως αρχική βάση για το στρόβιλο της τεχνολογικής μελέτης του 1996 η τιμή του κόστους στρόβιλου στην αποβάθρα του κατασκευαστή προκαλεί διάφορα ζητήματα. Πρώτιστος μεταξύ αυτών περιλάβετε:

- Διαφορές μπορούν να υπάρξουν μεταξύ των διαφημισμένων τιμών καταλόγων, οι οποίες αναφέρονται από τους κατασκευαστές για τους σκοπούς του μάρκετινγκ, και πραγματικές τιμές αγοράς, οι οποίες είναι συγκεκριμένες με πρόγραμμα, ανάλογα με αυτό που η αγορά θα αντέξει.
- Οι εκτιμήσεις τιμών που προέρχονται από μελέτες της μηχανικής είναι βασισμένες στο κόστος παραγωγής, το οποίο μπορεί να μην ταιριάζει με τις τρέχουσες συνθήκες στην αγορά. Μια σημαντική πηγή αβεβαιότητας στους κύριους προϋπολογισμούς δαπανών των στρόβιλων προέρχεται από την προσπάθεια να προκύψει το κόστος του στρόβιλου και του αιολικού πάρκου από τις αναφερόμενες τιμές. Δηλαδή ανταγωνιστικές τιμολογιακές στρατηγικές μπορούν να καταστήσουν δύσκολο να καθορίσουν τις αληθινές δαπάνες.
- Διαφορές μέσα, ή έλλειψη καθορισμού, του όγκου της παραγωγής που συνδέονται με τους προϋπολογισμούς δαπανών και τιμολογιακά αποσπάσματα. Αυτό ισχύει και στο συσσωρευτικό όγκο, ο οποίος καθορίζει πόση μείωση δαπανών αποκτήθηκε μέσω της "μάθησης," του κατασκευαστή και στον όγκο της μεμονωμένης ή ετήσιας παραγωγής που είναι συνδεδεμένος με το κόστος, το οποίο έχει επιπτώσεις στο κόστος των αγορασμένων μικρών εξαρτημάτων, υλικά κατασκευής, και διανομή των σταθερών γενικών εξόδων. Η ομαλοποίηση των εκτιμήσεων για αυτούς τους παράγοντες πρέπει συχνά να αποπειραθεί με ατελείς πληροφορίες. Οι δαπάνες στρόβιλων στον τεχνολογική μελέτη του 1996 υποθέτουν ότι ο κατασκευαστής έχει επιτύχει ένα συσσωρευτικό όγκο παραγωγής περίπου 150 μονάδων πριν από το 1996 και ότι το μέγεθος της παραγωγής που φεύγει συνδέεται με τους προϋπολογισμούς δαπανών που είναι περίπου 150 μονάδες.
- Οι διαφορές μεταξύ της Αμερικάνικης αγοράς και άλλων αγορών σε όλο τον κόσμο, π.χ. διαφορές στις επιχορηγήσεις, μέγεθος και τύπος εφαρμογής, ιδιοκτησία/χρηματοδότηση, και διακυμάνσεις συναλλαγματικής ισοτιμίας και τα πιο πρόσφατα προγράμματα έχουν εγκατασταθεί σε χώρες εκτός από την Αμερική, έχουν αυξήσει τη δυσκολία στην χρησιμοποίηση πρόσφατων τιμών αγοράς και αναφέρει ότι κατευθύνονται πρώτιστα σε εκείνες τις αγορές.
- Η δυσκολία στον καθορισμό ποιές δαπάνες συμπεριλαμβάνονται στα τιμολογιακά αποσπάσματα, π.χ., τις δαπάνες υποσταθμών ή διοικητικές αμοιβές προγραμμάτων

Υπάρχει ένα μεγάλο σύνολο στοιχείων τρεχουσών τιμών ως αποτέλεσμα της ουσιαστικής παγκόσμιας βιομηχανικής βάσης ανεμοστροβίλων. Το 1996 το κόστος της τεχνολογικής μελέτης συνέθεσε τα στοιχεία από έναν συνδυασμό δημόσιων πληροφοριών από τους κατασκευαστές και το δημοσιευμένο απόσπασμα τιμών. Μια στατιστική περίληψη αυτού του στοιχείου από τις αναφορές 25 και 30 παρουσιάζεται στον πίνακα 5. Ένδεκα στρόβιλοι από οκτώ κατασκευαστές συμπεριλαμβάνονται σε αυτήν την ανάλυση. Υποθέσεις σχετικά με τον συσσωρευτικό και ετήσιο όγκο παραγωγής δεν είναι διαθέσιμος από τις πηγές στοιχείων. Οι ευρωπαϊκές τιμές καταλόγων των στροβίλων μειώθηκαν 15 τοις εκατό λόγω των παρακάτω λόγων:

- Οι πραγματικές τιμές αγοράς θα ποικίλουν εξαρτημένες από πολλά πρόγραμμα συγκεκριμένου παράγοντα.
- Υποθέτουμε ότι οι κατασκευαστές ανέφεραν τις αξίες της αρχικής τους τρέχουσας αγοράς, η Ευρώπη, η οποία υποστηρίζεται από διάφορα προγράμματα επιχορήγησης αγοράς, ιδιαίτερα στην Γερμανία. Περαιτέρω υποθέτουμε ότι οι επιχορηγήσεις τείνουν να υποστηρίξουν υψηλότερες τιμές.

Οι συνολικές εγκατεστημένες δαπάνες υπολογίζονται στον πίνακα 5 από το αυξανόμενο κόστος στροβίλου στην αποβάθρα του κατασκευαστή από την αξία αέρα της τεχνολογικής μελέτης του 1996, \$250/kW για τις δαπάνες Ισορροπίας Συστήματος. Δεδομένου ότι το κόστος στροβίλου στην αποβάθρα του κατασκευαστή δεν ήταν διαθέσιμο για το στρόβιλο Zond, ο εγκατεστημένος προϋπολογισμός δαπανών του προγράμματος λήφθηκε από μια δημόσια ενημέρωση του 1994 από τον κατασκευαστή και υποθέτεται ότι ήταν μια εκτίμηση για γενικούς αναλυτικούς λόγους μόνο. ο πίνακας δείχνει ότι ο προϋπολογισμός δαπανών ανεμου του 1996 είναι κοντά στη μέση αξία αυτού του συνόλου στοιχείων, μετά από την 15% διόρθωση των τιμών των στροβίλων.

Πινάκας 5. Σύγκριση των τρεχουσών δαπανών στροβίλων με το στρόβιλο της τεχνολογικής μελέτης του 1996.

	Turbine List Price (\$/kW, Jan. 1997 \$)	Total Installed Cost (\$/kW, Jan. 1997 \$)
Minimum Value	723	973
Maximum Value	841	1091
Mean Value	758	1007
Standard Deviation	35	36
Median Value	744	994
1996 TC Value	750	1000
Number of Estimates	10	11
Mean Hub Height (m)	43.6	43.4

Αυτός η μελέτη υποθέτει, σαν γραμμή βάσης για τον υπολογισμό των μελλοντικών μειώσεων δαπανών, ότι ο ονομαστικός αθροιστικός και ετήσιος όγκος παραγωγής για την τεχνολογία του 1996 είναι περίπου 150 μονάδες. Εντούτοις, δεν είναι δυνατό να ομαλοποιηθούν τα στοιχεία στον Πίνακα 5 για τους διαφορετικούς αθροιστικούς ή ετήσιους όγκους παραγωγής επειδή δεν είναι γνωστό ποιο υποθέσεις μέγεθους παραγωγής είναι πίσω από τις τιμές.

2.2.6.3 Προβλέψεις Τεχνολογίας 2000 - 2030

Μελλοντική απόδοση: Οι κατασκευαστές ακολουθούν πολλαπλές πορείες σχεδίου για την τεχνολογία του έτους 2000 με στόχο της επίτευξης της αποτελεσματικότητας των δαπανών. Οι δείκτες απόδοσης της τεχνολογίας για το έτος 2000 είναι βασισμένοι εν μέρει στις πληροφορίες από το Πρόγραμμα Ανάπτυξης Επόμενης Γενεάς Στροβίλων του Υπουργείου Ενέργειας. Στοιχεία από εκείνο το πρόγραμμα είναι βασισμένα στα σχέδια που είναι σε πρώτοτυπο στάδιο.

Οι ακόλουθοι δύο στρόβιλοι ερευνώνται αυτήν την περίοδο στο πλαίσιο του Προγράμματος Ανάπτυξης Επόμενης Γενεάς Στροβίλων. Οι περιγραφές στροβίλων είναι για τις τρέχουσες, αντιλήψεις αλλά δεν αντιπροσωπεύουν τώρα τους πραγματικούς στρόβιλους.

- Ο Wind Turbine Company WTC 1000 είναι ένας προσήνεμος 2 ταχυτήτων, μεταβλητού βήματος στρόβιλος που εκτιμάται σε 1000 kW. Ο ρότορας ενσωματώνει μεταβλητό κώνο ρότορα για να μειώσει τα φορτία και τη διαδρομή κίνησης. Ο στρόβιλος χρησιμοποιεί ένα σύστημα παθητικής-παρέκκλισης για να μειώσει τη μηχανική πολυπλοκότητα.
- Ο Zond Z-56 είναι ένας αντίθετος στον άνεμο, μεταβλητής ταχύτητας, μεταβλητού βήματος στρόβιλος που εκτιμάται σε περίπου 1,1 MW. Χρησιμοποιεί 3 λεπίδες σε μία αντίθετη στον άνεμο διάταξη, ένα ενεργό σύστημα παρεκκλίσεων, μιας μεταβλητής ταχύτητας, διπλά τροφοδοτούμενης γεννήτριας, και προηγμένους έλικες του Εθνικού Εργαστηρίου Ανανεώσιμης Ενέργειας.

Ο πίνακας 6 απαριθμεί τα προβλεπόμενα κέρδη απόδοσης για το 2000 και κάθε επόμενο πενταετές διάστημα μέχρι το 2030. Η λίστα του πίνακα κερδίζει ένα ποσοστό των γραμμών βάσης του στρόβιλου του 1996 και ως ποσοστό της αξίας της προηγούμενης περιόδου. Ο πίνακας παρουσιάζει επίσης το ποσοστό αύξησης που αυξάνεται από την προηγούμενη χρονική περίοδο για κάθε διάστημα 5 ετών λόγω κάθε οδηγού. Όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 6, οι τρεις μεγαλύτεροι οδηγοί της αναπτυσσόμενης ενέργειας το 2000 είναι πιο ψηλοί πύργοι, μεγαλύτεροι ρότορες, και μείωση των απώλειες των συστημάτων από την ακαθαρσία. Η ενεργειακή εκτίμηση για το στρόβιλο του 2000 υποθέτει ένα σύστημα γεννητριών μεταβλητής ταχύτητας και ρότορα μεταβλητού βήματος. Εντούτοις, επειδή αναμένεται ότι τα συστήματα μεταβλητής ταχύτητας θα υποβάλλονται ακόμα σε ουσιαστική ανάπτυξη για

τις εφαρμογές ανεμοστροβίλων, υποθέεται ότι τα σχετικά ηλεκτρονικά συστήματα μετατροπής δύναμης δεν είναι πλήρως βελτιστοποιημένα. Αυτό λόγω των περιορισμών στις μεμονωμένες αποδοτικότητες των εξαρτημάτων, ειδικά οι ικανότητες μετατροπής των ηλεκτρονικών ενέργειας, υποθέεται ότι η εισαγωγή λειτουργίας μεταβλητής ταχύτητας θα οδηγήσει σε μέτρια καθαρά κέρδη απόδοσης. Μια πρόσφατη έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι κατανοώντας τα οφέλη της αυξανόμενης ενεργειακής παραγωγής από την λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας απαιτεί προηγμένες αρχιτεκτονικές άμεσης κίνησης και τις πιό προηγμένες ικανότητες μετατροπής από τα ηλεκτρονικά ενέργειας . Ο πίνακας απεικονίζει αυτά τα συμπεράσματα με την παρουσίαση μηδενικών έως μέτριων κερδών από τη μεταβλητή ταχύτητα το 2000. Αυτό μπορεί να είναι μια συντηρητική υπόθεση, δεδομένου ότι η βιομηχανία ακολουθεί αυτήν την περίοδο αρκετές προσεγγίσεις στις διακυμάνσεις μεταβλητής ταχύτητας και τις προκαταρκτικές προβλέψεις τους καθαρής απόδοσης/κόστους συνδιασμούς για αυτές τις διακυμάνσεις.

Μια σειρά τιμών δίνεται στον πίνακα 6 για δύο αρχικούς λόγους. Ο πρώτος είναι η αβεβαιότητα σχετική με την τεχνολογική ανάπτυξη. Ο δεύτερος, και μεγαλύτερος, είναι ότι τα συστήματα χρησιμοποιούν έναν βελτιστοποιημένο συνδυασμό διάφορων υποσυστημάτων που αναμυγνίζουν συνδιασμούς μεταξύ του κόστους και της απόδοσης κάθε υποσυστήματος. Δηλαδή τα υποσυστήματα συνδυάζονται για να μεγιστοποιήσουν την αποτελεσματικότητα του κόστους του συστήματος συνολικά. Δεδομένου ότι οι συνδιασμοί πρέπει να εξεταστούν κατά τη χρησιμοποίηση των διάφορων υποσυστημάτων και τις σχεδιαστικές προσεγγίσεις, κανένα μονό σύστημα δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει κάθε συστατικό ή τη λειτουργική προσέγγιση με πολύ υψηλότερα μεμονομένα χαρακτηριστικά απόδοσης.

Το ευρος αβεβαιότητας, που συνδέεται με τις εκτιμήσεις απόδοσης του έτους 2000, που απαριθμούνται στον πίνακα 1, απεικονίζει την αύξηση της αβεβαιότητας σχετικά με την τεχνολογία συγκρινόμενη με το εύρος του 1996.

Πίνακας 6. Οδηγοί βελτίωσης απόδοσης

	Increase in Net kWh/m ² (percent)		Percent of Incremental Increase from Previous Time Period (percent) [†]			
	From 1996 Baseline	From Previous Period	Taller Towers	Larger Rotors or Improved Aerodynamics	Lower Assumed Losses from Soiling	Variable Speed + Drive Train & Power Conversion Efficiency Optimization [†]
2000	16-18	16-18	50-70	5-10	27-31	0-40
2005	22-28	6-10	30-50	5-10	11-20	30-60
2010	25-32	3-4	50-80	*	*	20-50
2020	29-37	4-5	70-90	*	*	10-30
2030	31-40	2-3	70-90	*	*	10-30

Σημειώσεις:

* Το εύρος για τις αυξήσεις στις ενεργειακές εκτιμήσεις είναι για περιοχές κατηγορίας 4 μέχρι κατηγορίας 6

!Το εύρος για τις συνεισφορές αντιπροσωπεύει την αβεβαιότητα και την ανακρίβεια από τη χρησιμοποίηση του σύνθετων τεχνολογικών υποθέσεων

!Οι Γνώμες διαφέρουν ως προς την δυνατότητα για μεταβλητή ταχύτητα για να αυξήσει την συλλογή ενέργειας. Το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας και άλλοι αυτήν την περίοδο ερευνούν αυτό το θέμα

Τα σκιασμένα κιβώτια δείχνουν ότι οι μικρές αυξητικές βελτιώσεις είναι δυνατές

Γενικά, η πρόοδος στην απόδοση του ρότορα, από το 1996 στο μέλλον, χαρακτηρίζεται λιγότερο από την αύξηση της αεροδυναμικής αποδοτικότητας (μέγιστη δύναμη, ή συντελεστής δύναμης) και περισσότερο από τη συντήρηση μιας σχετικά υψηλής αποδοτικότητας πέρα από ένα μεγαλύτερο εύρος ταχύτητας ανέμου αέρα. Επιπλέον, μια χαμηλότερη ταχύτητα του στροβίλου, που πραγματοποιείται από ρότορες μεγαλύτερων, μεταβλητού βήματος, θεωρείται ως πρόοδος από το 2000 και μετά (ο αντίκτυπος αυτής της τελευταίας υπόθεσης δεν αξιολογήθηκε χωριστά). Η γεννήτρια, η μετάδοση και η απόδοση ηλεκτρονικών ενέργειας, δεν διαμορφώνονται ρητά. Αυτήν την περίοδο, αυτές οι αποδοτικότητες ενσωματώνονται στις καμπύλες που χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν την ενεργειακή παραγωγή.

Το αυξανόμενο ύψος κόμβου/ ύψος πύργου αποδεικνύεται στον πίνακα 6 να είναι ο αρχικός οδηγός των κερδών απόδοσης το 2005, Άλλοι πρώτης τάξης οδηγοί το 2005 περιλαμβάνουν την αποδοτικότερη λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας μεγαλύτερων ρότορων, συμπεριλαμβανομένου του αεροδυναμικού ελέγχου του ρότορα για το ψαλίδισμα των δυνατών ανέμων, το οποίο επιτρέπει στους μεγαλύτερους ρότορες να χρησιμοποιηθούν οικονομικά με μια δεδομένη εκτίμηση γεννητριών για να συλλάβουν τις χαμηλότερες ταχύτητες αέρα και περαιτέρω μείωση των απωλειών συστήματος.

Τα κέρδη απόδοσης αναμένονται μετά από το 2005, με τις περαιτέρω βελτιώσεις που υποτίθεται ότι ήταν αυξητικές. Αύξηση του ύψους πύργων είναι ο αρχικός οδηγός αύξησης της απόδοσης κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Πιο ακριβές πρότυπα αναμένονται να αναπτυχθούν, τα οποία θα συμβάλουν στην μείωση των απωλειών διάταξης των αιολικών πάρκων. Βελτιώσεις που διαμορφώνονται στους υπολογισμούς ενεργειακής εκτίμησης για όλα τα έτη περιλαμβάνουν συνδιασμούς δαπανών/απόδοσης συμπεριλαμβανομένων του αυξανόμενου ύψους πύργου (δαπάνες) για βελτιωμένη απόδοση.

Μελλοντικό κόστος: Όπως φαίνεται στον πίνακα 7, οι σημαντικότερες αλλαγές δαπανών το 2000 οδηγούνται από τις μεγάλες αυξήσεις στη διάμετρο του ρότορα και το ύψος πύργου, αποκοπή της μετάδοσης, και εισαγωγή ρότορα μεταβλητού βήματος και νέων, προηγμένων ηλεκτρονικών ενέργειας για την λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας και έλεγχου δύναμης. Άλλα σχέδια χαμηλότερου κόστους θα είναι παρόντα στην αγορά το 2000, μια διπλά τροφοδοτούμενη γεννήτρια με μια συνδεμένη μετάδοση θεωρείται ένα ισχυρό παράδειγμα. Ελαφρύτερα, πιο εύκαμπτα συστήματα αναμένονται να εμφανιστούν, μαζί με σχέδια που στοχεύουν σε χαμηλότερου κόστους κατασκευαστικές τεχνικές. Αλλαγές στα συγκεκριμένα υποσυστήματα περιλαμβάνουν:

- Μετάδοση* - Ενώ πολλοί από τους αριθμούς δαπανών των υποσυστημάτων είναι σύνθετης αξίας που περιγράφουν τις τάσεις, η αποβολή της συνδεδεμένης μετάδοσης είναι ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό σχεδιασμού που υποθέεται ρητά επειδή αντιπροσωπεύει μια μεγάλη πηγή βάρους, και επομένως προσφέρει μια ουσιαστική μείωση δαπανών. Αυτό είναι το μόνο υποσύστημα που γίνεται ένα μικρότερο μέρος του συνολικού κόστους για το σύστημα του 2000. Η μείωση από 22% σε 7% του συνολικού κόστους συστημάτων από το 1996 ως το 2000 είναι βασισμένο σε μια πρόσφατη μελέτη σχεδίου που υπολόγισε τη μετάδοση για να αποτελέσει το 75% του κόστους στην κατηγορία "κιβώτιο ταχυτήτων/σύστημα μετάδοσης, φρένα άξονα ,ατρακτιδίο κινητήρα".
- Πύργοι* - Αν και η αποταμίευση στις δαπάνες πύργων είναι δυνατή από τα μειωμένα φορτία, νέα σχέδια πύργων, και προηγμένα υλικά, οι συνολικές δαπάνες πύργων αυξάνονται ακόμα σημαντικά μέσα το 2000 και ανά kW και σε δολάρια. Αυτό απεικονίζει την αύξηση στο ύψος καθώς επίσης και τα αυξανόμενα φορτία ώθησης από τον μεγαλύτερο ρότορα. Το κόστος πύργων υποθέεται στην κλίμακα γραμμικά με το ύψος πύργων και αναλογικά με το τετράγωνο της διαμέτρου του ρότορα. Εντούτοις, ο υπολογισμός των ακριβών ποσοστών της αύξησης δαπανών από κάθε επίδραση , δηλ., προσδιορισμός των συντελεστών στην εξίσωση των διαβαθμίσεων, είναι πέρα από το πεδίο αυτής της τεχνολογικής μελέτης. Εν τούτοις, οι δαπάνες στον πίνακα 7 θεωρούνται ότι απεικονίζουν τις αρχές διαβάθμισης της εφαρμοσμένης μηχανικής. Οξύνση των φορτίων ώθησης από τυφώνα ή το μέγιστο προσδοκώμενο άνεμο τείνουν να οδηγήσουν τις δαπάνες των πύργων. Δεδομένου ότι υποθέτουμε ότι αυτά τα φορτία δεν θα μειωθούν από τον σχεδιασμό των ρότορων το έτος 2000, καμία μείωση δαπανών δεν συμπεριλαμβάνεται για να αντιπροσωπεύσει τη δυνατότητα για μείωση φορτίων που μπορεί να βιωθεί κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας των νέων μεταβλητής-ταχύτητας, μεταβλητής γεωμετρίας συστήματα ρότορων που προκύπτει το έτος 2000.
- Ρότορες* - Ο πίνακας 7 παρουσιάζει την απόλυτη αύξηση δαπανών για το υποσύστημα ρότορα από \$93.000 έως \$135.000 ανά ρότορα, που απεικονίζει την αύξηση διαμέτρων από 38 σε 46 μέτρα, και επίσης μια τάση προς πιά σύνθετο, μεταβλητού βήματος μηχανισμούς. Ένα ποσοστό του κόστους του ρότορα αυξάνεται με τον κύβο της διαμέτρου του. Όπως είναι η περίπτωση για τις κατ' εκτίμηση αυξήσεις δαπανών πύργων, συντελεστές διαβαθμίσεων δεν αναπτύσσεται για αυτήν την ανάλυση. Η τάση προς τους ελαφρύτερους ρότορες έχει επίσης μια προς τα κάτω επιρροή στις δαπάνες. Το κόστος του ρότορα, ως ποσοστό του συνόλου του κόστους συστημάτων, είναι στο υψηλό τέλος των προκαταρκτικών εκτιμήσεων από το Πρόγραμμα Ανάπτυξης Επόμενης Γενεάς Στροβίλων του Υπουργείου Ενέργειας.

- *Ηλεκτρονικά και Έλεγχος* - Τα ηλεκτρονικά ενέργειας και ελέγχου και άλλες ηλεκτρικές δαπάνες παρουσιάζουν σημαντική αύξηση στο έτος 2000, ακριβότερα ή πιό σύνθετα ηλεκτρονικά απαιτούνται για να εφαρμόστούν σε μεταβλητής ταχύτητας, άμεσης κίνησης παραγωγή.
- *Γεννήτριες* - Οι δαπάνες των γεννητριών υποτίθεται ότι αυξήθηκαν ως αποτέλεσμα της αντικατάστασης με υψηλότερης απόδοσης τεχνολογίες των παραπεταμένων μονάδων επαγωγής. Οι τεχνολογίες μπορεί να είναι σύγχρονες ή διπλά τροφοδοτούμενες γεννήτριες το 2000
- *Αξιοπιστία* - Υποθέτουμε ότι θα είναι δυνατό να σχεδιαστούν στρόβιλοι για την αυξητικά μεγαλύτερη αξιοπιστία που βασίζεται σε μια καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών εισροής του ανέμου και πώς αυτά τα χαρακτηριστικά προσκρούουν στο δομικό σχέδιο, και κατάλληλα βελτιωμένα εργαλεία διαμόρφωσης. Αναμένεται ότι θα υπάρξουν βελτιώσεις στις λεπίδες στροβίλων, ιδιαίτερα όσον αφορά την καλύτερη ολοκλήρωση του δομικού και αεροδυναμικού σχεδίου λεπίδων με τις κατάλληλες διαδικασίες κατασκευής. Οι προκύπτουσες βελτιώσεις στην αξιοπιστία απεικονίζονται στην μειωμένη Λειτουργία και Συντήρηση και δαπάνες επιθεώρησης/αντικατάστασης.

Πίνακας 7. Κόστος διακοπής για 50 στρόβιλους αιολικού πάρκου (Ιανουάριος 1996).

Major Subsystems	1996	2000	2005	2010	2020	2030
	\$/kW					
Rotor Assembly (including hub)	185	180	190	160	150	140
Tower	145	145	185	195	215	235
Generator	50	45	55	50	45	40
Electrical/Power Electronics, Controls, Instrumentation	155	140	100	90	75	65
Transmission/Drive Train, Shaft Brakes, Nacelle, Yaw System	215	50	40	35	35	30
Turbine FOB (including profit)	50	560	570	530	520	510
Balance of Station (BOS)	250	190	150	145	135	125
Total Installed Cost (\$/kW)	1,000	750	720	675	655	635
	\$/Turbine (\$thousands)					
Rotor Assembly (including hub)	93	135	190	160	150	140
Tower	73	109	185	195	215	235
Generator	25	34	55	50	45	40
Electrical/Power Electronics, Controls, Instrumentation	78	105	100	90	75	65
Transmission/Drive Train, Shaft Brakes, Nacelle, Yaw System	108	38	40	35	35	30
Turbine FOB (including profit)	375	420	570	530	520	510
Balance of Station (BOS)	125	143	150	145	135	125
Total Installed Cost (\$Thousands/Turbine)	500	563	720	675	655	635
	Percent of Total Initial Project Capital Cost					
Rotor Assembly (including hub)	19	24	26	23	22	22
Tower	15	19	26	28	32	36
Generator	5	6	8	7	7	6
Electrical/Power Electronics, Controls, Instrumentation	16	19	14	14	13	12
Transmission/Drive Train, Shaft Brakes, Nacelle, Yaw System	22	7	6	5	5	5
Turbine FOB (including profit)	75	75	79	78	79	80
Balance of Station (BOS)	25	25	21	22	21	20
Total	100	100	100	100	100	100

Σημείωση: "Οι ελεγκτές" περιλαμβάνουν τις οδηγούς και μηχανισμούς παρεκκλίσεων. Οι αριθμοί μπορεί να μην προσθεθούν στο 100% λόγω της στρογγυλοποίησης του λάθους.

Τα όρια αβεβαιότητας του κόστους στον πίνακα 1 διπλασιάζονται για το 2000 και μετά, απεικονίζοντας τη σχετική δυσκολία της πρόβλεψης τιμών των στροβίλων και του προγράμματος. Το μέγιστο ανώτερο όριο για το 2000 υποθέτεται ότι είναι ίσο με το χαμηλότερο που δεσμεύθηκε το 1996. Αυτή η πρόβλεψη είναι συντηρητικά (υψηλότερη) έναντι των προκαταρκτικών εκτιμήσεων από το Πρόγραμμα Ανάπτυξης Επόμενης Γενεάς Στροβίλων του Υπουργείου Ενέργειας. Το χαμηλότερο όριο είναι επίσης συντηρητικά (υψηλότερο) έναντι του χαμηλότερου ορίου των εκτιμήσεων του Προγράμματος Ανάπτυξης Επόμενης Γενεάς Στροβίλων.

Το κλειδί για τις αλλαγές στο κόστος το 2005 οδηγείται από τα συνδυασμένα αποτελέσματα της αύξησης στη διάμετρο ρότορα και το ύψος πύργου. Αλλαγές στα συγκεκριμένα υποσυστήματα περιλαμβάνουν:

- *Ρότορες* – Η αύξηση του κόστους από τις σημαντικά μεγαλύτερες διαμέτρους το 2005, αρχίζει να αντισταθμίζεται από βελτιωμένες τεχνικές κατασκευής που προκύπτουν κατά ένα μεγάλο μέρος από το συγχρηματοδοτούμενο Πρόγραμμα Κατασκευής Λεπίδων του Υπουργείου Ενέργειας και σε μικρότερη έκταση από την αυξανόμενη παραγωγή. Το γεγονός ότι το συνολικό κόστος του ρότορα δεν αυξάνεται με το κύβο της διαμέτρου απεικονίζει επίσης την αυξανόμενη χρήση των χαμηλότερου κόστους πορείων όπως τα σχέδια 2 λεπίδων, ελαφρύτερα, περισσότερο εύκαμπτες δομές, ή πολυινικές λεπίδες.
- *Ηλεκτρονικά* – Το κόστος μειώνεται ως αποτέλεσμα της Έρευνας και Ανάπτυξης στα ηλεκτρονικά ενέργειας για τα μεταβλητής ταχύτητας συστήματα παραγωγής.
- *Γεννήτριες* – Όπως και το έτος 2000, το κόστος των γεννητριών αυξήθηκε, ανά kW, ως αποτέλεσμα μιας τάσης προς υψηλότερο αποδοτικές τεχνολογίες όπως οι μόνιμες μαγνητικές γεννήτριες, οι οποίες μπορούν να γίνουν οικονομικώς αποδοτικές το 2005,

Οι βασικοί οδηγοί δαπανών πέρα από το 2005 περιλαμβάνουν:

- *Ρότορες* - καθώς ο όγκος παραγωγής αυξάνεται, υποτίθεται ότι η βιομηχανία θα είναι σε θέση να υποστηρίξει μεγάλης κλίμακας προηγμένες βελτιώσεις κατασκευής για τις λεπίδες των ρότορων. Επίσης, η Έρευνα και Ανάπτυξη υπολογίζεται ότι βελτίωσε τη δυνατότητα κατανόησης της σύνδεσης μεταξύ των αεροδυναμικών εισαγωγών και των φορτίων κούρασης των στοιχείων, που οδηγούν στη χρήση ελαφρύτερων, πιά αξιόπιστων συστατικών, και βελτιστοποιημένα συστήματα ελέγχου για τις προσεγγίσεις χαμηλού-κόστους. Αυτοί οι παράγοντες, συνδυαζόμενοι με τις μειώσεις δαπανών από τον αυξανόμενο όγκο, είναι απολογισμός για τη μείωση στις δαπάνες των ρότορων από το 2010 και μετά. Επειδή οι λεπίδες αυτήν την περίοδο είναι ένα ειδικής κατασκευής υποσύστημα, έχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουν μεγαλύτερα κέρδη από ώριμες τεχνολογίες όπως οι πύργοι χάλυβα. Επομένως, μια περφόρμηση μείωση

κόστους του 10% στο κόστος των συστατικών των λεπίδων αναμένεται για κάθε διπλασιασμό του συσσωρευτικού όγκου παραγωγής.

- *Ηλεκτρονικά Ενέργειας και Ελέγχου* - Οι δαπάνες των ηλεκτρονικών ενέργειας και ελέγχου προβλέπεται να μειωθούν σημαντικά ως αποτέλεσμα των τεχνικών προόδων στα συστατικά μέσω της έρευνας και ανάπτυξης, του σχεδιασμού ανεμοστροβίλων και αύξηση του όγκου.
- *Γεννήτριες* - Οι αυξητικές βελτιώσεις κόστους από την κατασκευή, το σχέδιο, και τα αποτελέσματα όγκου υποτίθεται θα εμφανιστούν στις μόνιμες μαγνητικές γεννήτριες μετά από 2010,
- *Πύργοι* - Το κόστος ανά kW των πύργων αυξάνεται σε ένα ποσοστό χαμηλότερο από τις αυξήσεις ύψους πύργων λόγω υποτιθέμενης πρόοδου στη δυνατότητα να ριχτούν τα αεροδυναμικά φορτία και να σχεδιαστούν ελαφρύτεροι πύργοι.

Το κόστος που παρουσιάζεται στον πίνακα 1 συνεχίζει να μειώνεται μετά από το 2000 λόγω τριών οδηγών: μεγαλύτερη ποσότητα, πρόοδος κατασκευής σαν αποτέλεσμα της Έρευνας και Ανάπτυξης, και πρόοδος τεχνολογίας από την Έρευνα και Ανάπτυξη. Επομένως, το ποσοστό αβεβαιότητας κρατιέται σταθερό κατά + 20% έτσι ώστε το απόλυτο ανώτερο όριο, δηλ., το πραγματικό πιθανό υψηλότερο κόστος, είναι χαμηλότερος για κάθε διαδοχική πενταετή περίοδο.

2.2.6.4 Αποτελέσματα του Όγκου στο Κόστος

Οι αυξανόμενες πωλήσεις μπορούν να επιτρέψουν στη βιομηχανία να υιοθετήσει νέες τεχνολογίες κατασκευής με χαμηλότερες δαπάνες παραγωγής. Δεύτερον, υπάρχει μια καθιερωμένη επίδραση εκμάθησης σε παρόμοια προϊόντα που δείχνει τις δαπάνες προϊόντων που μειώνονται καθώς οι αθροιστικές πωλήσεις αυξάνονται. Τρίτον, καθώς ο ετήσιος όγκος παραγωγής αυξάνεται, μπορεί να υπάρξει μια ευκαιρία για τις εκπτώσεις μεγαλύτερες όγκου για παραπεταμένα τμήματα στροβίλων.

Ο πίνακας 8 συνοψίζει τους βασικούς ποιοτικούς οδηγούς δαπανών υποσυστημάτων που περιγράφονται ανωτέρω.

Πίνακας 8 Κύριες δαπάνες οδηγών υποσυστημάτων.

	1996-2000	2000-2005	2005-2030
Rotor	Increase from larger size Decrease from trend toward lighter designs	Increase from size. Decrease from advanced manufacturing and lighter designs	Incremental reductions from volume, and R&D and manufacturing advances: lighter & smarter rotors
Tower	Largest increase from largest height and rotor size increase	2 nd largest increase from height and rotor size increase. Decrease from lighter weight through R&D/design	Incremental increases with height, less than linear due to lighter weight from R&D
Generator	Synchronous or other intermediate, advanced approaches - higher cost than induction generators	First generation low speed permanent magnet - highest cost	Incremental reductions in permanent magnet generator costs from R&D and volume
Electrical	1st generation variable speed is expensive	Major cost drop as technology matures	Incremental improvements from R&D and volume.
Drive Train	Direct drive - no transmission.	Incremental refinements in design approaches	
BOS	Increases from larger turbines and higher power requirements		Incremental from volume

Κανένα συμπέρασμα δεν βγήκε από αυτήν την αιολική τεχνολογική μελέτη σε σχέση με την προβλέψιμη διείσδυση στην αγορά της αιολικής ενέργειας. Αντ' αυτού, αυτό το τμήμα ερευνά το επίπεδο αυξανόμενης αθροιστικής και ετήσιας παραγωγής όγκου που θα ήταν απαραίτητη στην επίτευξη των προβλεπόμενων μειώσεων δαπανών, μετά από τον απολογισμό των μειώσεων δαπανών από την Έρευνα και Ανάπτυξη. Η ακόλουθη συζήτηση ολοκληρώνει ότι η απαραίτητη αύξηση παραγωγής είναι σύμφωνα με τις συντηρητικές υποθέσεις για επίπεδα ποσοστών αύξησης βιομηχανίας και διείσδυσης στην αγορά.

Το συνολικό εγκατεστημένο κόστος ανά μονάδα σάρωσης περιοχής στον πίνακα 1 μειώνεται κατά 39% από το 1996 ως το 2030. Όπως εκτίθεται λεπτομερώς στον πίνακα 8, η Έρευνα και Ανάπτυξη αναμένεται να μειώσει τις δαπάνες σε όλα τα σημαντικά υποσυστήματα μεταξύ 1996 και 2030. Παραδείγματος χάριν, ο δηλωμένος στόχος του Υπουργείου Ενέργειας Το Πρόγραμμα Κατασκευής Προηγμένων Λεπίδων πρόκειται να μειώσει το κόστος των τρεχουσών λεπίδων κατά 25%, το οποίο ισοδυναμεί σε μια μείωση του 5-6 τοις εκατό του συνολικού κόστους. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις προσδοκίες, μια λογική εκτίμηση για το συνολικό ποσοστό του κόστους η μείωση που αναμένεται να επιτευχθεί μέσω της Έρευνας και Ανάπτυξης μέχρι το 2030 είναι 25%-50%. Επομένως, το υπόλοιπο της μείωσης κόστους, 50-75%, υποτίθεται ότι έγινε με τα αποτελέσματα όγκου. Χρησιμοποιώντας αυτούς τους αριθμούς, μια λογική εκτίμηση, είναι για την Έρευνα και Ανάπτυξη να αποτελέσει μια μείωση δαπανών 10-20% μέχρι το 2030 και για τον όγκο να αποτελέσει μια μείωση 20-30%.

Τα ποσοστά μείωσης κόστους θα τείνουν να είναι υψηλότερα για τους στροβίλους με τα υψηλότερα ποσοστά ειδικής κατασκευής εναντίον των παραπεταμένων στοιχείων. Υποθέτοντας τα μελλοντικά σχέδια στροβίλων περιέχουν περισσότερα ειδικής κατασκευής στοιχεία από την τρέχουσα τεχνολογία, αυτή η μελέτη δείχνει ότι ένα λογικό ποσοστό μείωσης δαπανών στροβίλων από τον όγκο επηρεάζει περίπου το 5% για κάθε διπλασιασμό της σε βιομηχανικό επίπεδο αθροιστικής παραγωγής. Τέλος, η πλειοψηφία της μείωσης κόστους της ισορροπίας συστήματος μετά το 2005 υποθέτεται ότι οφείλεται στις επιπτώσεις του όγκου. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα αποτελέσματα μείωσης δαπανών από τον όγκο, θα χρειαστεί περίπου 4-5 διπλασιασμοί του σε βιομηχανικό επίπεδο αθροιστικού όγκου για να επιτύχει την προβλέψιμη μείωση δαπανών μεταξύ του 1996 και 2030.

Το αθροιστικό και ετήσιο επίπεδο παραγωγής που συνδέεται με τις τρέχουσες τιμές στροβίλων ποικίλλει ευρέως για τους τρέχοντες κατασκευαστές. Μερικοί κατασκευαστές έχουν παραγει χιλιάδες αθροιστικές μονάδες και έχουν ετήσια επίπεδα παραγωγής περίπου 500 στροβίλων, ενώ άλλοι κατασκευαστές με τη νέα τεχνολογία έχουν παραγάγει σχετικά λίγους στροβίλους μέχρι σήμερα. Λαμβάνοντας υπόψη αυτή τη σειρά ως αφετηρία για τη μείωση δαπανών, 4-5 διπλασιασμοί του αθροιστικού όγκου από τα αποτελέσματα του 2030 θα υπάρξει ένα απαραίτητο σύνολο από αρκετές χιλιάδες σε διάφορες δεκάδες χιλιάδες στροβίλων έως τότε. Καθένα από αυτά τα αθροιστικά επίπεδα είναι μέσα σε ιδιαίτερα συντηρητικές υποθέσεις για το εύρος του ποσοστού ανάπτυξης και εισχώρησης στην αγορά.

2.2.6.5 Ισορροπία των Δαπανών

Η Ισορροπία Συστήματος περιλαμβάνει τα θεμέλια, υλικό ελέγχου/ηλεκτρικό, προετοιμασία περιοχών, ηλεκτρικό σύστημα συλλογής και γραμμές μετάδοσης, υποσταθμοί, εξοπλισμός έλεγχου και παρακολούθησης του αιολικού πάρκου, εγκαταστάσεις Λειτουργίας και Συντήρησης και εξοπλισμός, αρχικά ανταλλακτικά, μεταφορά, αξιολόγηση των πόρων, έρευνα, νομική συμβουλή, διαχείριση του προγράμματος και διοίκηση, άδειες, ασφάλεια κατασκευής, και μηχανικές υπηρεσίες. Από το έδαφος το κόστος παρατίθεται στον πίνακα 1 ως επί τοις εκατό του εισοδήματος και όχι το κόστος αρχικού κεφαλαίου, αυτό συζητείται στο τμήμα Λειτουργίας και Συντήρησης.

Ένα εύρος περίπου 25%-33% των συνολικών δαπανών προγράμματος υπολογίστηκε για τις δαπάνες Ισορροπίας Συστήματος σε μια πρόσφατη μελέτη σχεδίου βασισμένη σε ένα 50 MW αιολικό πάρκο που χρησιμοποιεί ανεμοστροβίλους 275 kW. Άλλες πρόσφατες εκτιμήσεις είναι ότι οι δαπάνες της ισορροπίας συστήματος είναι περίπου 20 τοις εκατό του κόστους της ενέργειας από τα αιολικά πάρκα. Αυτό δείχνει ότι οι δαπάνες της ισορροπίας συστήματος είναι περίπου 25% του συνολικού κόστους προγράμματος. Επομένως, η χρησιμοποίηση του κόστους στροβίλου στην αποβάθρα του κατασκευαστή της τεχνολογικής μελέτης των \$750/kW παράγει την αξία ισορροπίας συστήματος \$250/kW (250 είναι το 25% του 750+250). Το Εύρος

+ 5/-20 που παρουσιάζεται στον πίνακα 1 απεικονίζει τη δυνατότητα ότι οι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη μπορούν να είναι σε θέση να μειώσουν τις δαπάνες της ισορροπίας συστήματος για τα τρέχοντα προγράμματα αρκετά κάτω από το επίπεδο του \$250/kW.

Η πλειοψηφία των δαπανών ισορροπίας συστήματος για τα προγράμματα αιολικών πάρκων εταιρικής κλίμακας εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό εγκατεστημένων στρόβιλων. Δεδομένου ότι ο αριθμός στρόβιλων καθορίζεται για όλα τα χρόνια σε αυτόν τον χαρακτηρισμό, οι αρχικοί οδηγοί των αλλαγών δαπανών Ισορροπίας Συστήματος είναι αυξήσεις στο μέγεθος στρόβιλων στα έτη 2000 και 2005 (το κόστος Ισορροπίας Συστήματος αυξάνει 20% από το 1996 ως το 2005), και από τα αποτελέσματα εκμάθησης ως αποτέλεσμα του αυξανόμενου αθροιστικού όγκου μετά από το έτος 2005 (μείωση κόστους Ισορροπίας Συστήματος κατά 13% μεταξύ 2005 και 2030). Τα αποτελέσματα εκμάθησης ισχύουν για το σχέδιο, την κατασκευή και την διαχείριση των προγραμμάτων. Η μικρή αύξηση στο κόστος Ισορροπίας Συστήματος ανά στρόβιλο στα έτη 2000 και 2005 απεικονίζει σχετικά έναν μικρό ποσό πρόσθετης ικανότητας και δαπάνες σχετικές με το μέγεθος, π.χ., ενέργεια μεγαλύτερου κόστους και ρυθμιστικός εξοπλισμός, βαρύτερα θεμέλια, τα οποία υφίστανται για κάθε στρόβιλο. Δηλαδή για ένα αιολικό πάρκο 50 στρόβιλων, οι απόλυτες αυξήσεις δαπανών ανά στρόβιλο είναι μικρές σχετικά με την αύξηση της εκτιμημένης ισχύς. Όπως αναμένεται, οι πίνακες δείχνουν ότι οι δαπάνες μειώνονται σημαντικά με μια βάση kW και στις δύο περιόδους.

Αντίκτυπος μεγέθους προγράμματος στο κόστος – Οι εκτιμήσεις κόστους της Ισορροπίας Συστήματος στον πίνακα 1 απολογίζονται για τις δαπάνες σχετικές με το αυξανόμενο μέγεθος στρόβιλων, παρ' όλα αυτά σχετικές αυξήσεις στις ανά kW σχετικές δαπάνες, για έναν σταθερό αριθμό στρόβιλων. Εντούτοις, παράγοντες για να ρυθμίσουν το συνολικό κόστος προγράμματος του αιολικού πάρκου για τους αυξανόμενους αριθμούς στρόβιλων ίδιου μεγέθους δεν συμπεριλαμβάνονται στον πίνακα 1. Οι ανεμογεννήτριες είναι μια πρότυπη τεχνολογία. Ένα ευρύ φάσμα ισχύς μπορεί να εγκατασταθεί εντός μιας μικρής χρονικής περιόδου κατασκευής απλώς διαφοροποιώντας τον αριθμό των στρόβιλων που προστίθενται σε μια εγκατάσταση. Υπάρχουν δύο αρχικές πηγές πιθανής μείωσης δαπανών ως αποτέλεσμα της αύξησης του αριθμού στρόβιλων σε ένα αιολικό πάρκο. Κατ' αρχάς, ο κατασκευαστής μπορεί να είναι πρόθυμος να θέσει μια χαμηλότερη αξία για ένα μεγάλο αριθμό στρόβιλων. Δεύτερον, μερικές δαπάνες αιολικών πάρκων καθορίζονται ή εκθέτουν μειωμένες δαπάνες ανά στρόβιλο για κάθε πρόσθετο στρόβιλο. Τα παραδείγματα αυτά περιλαμβάνουν τις σχετικές με υποδομή δαπάνες για τους δρόμους, και φράκτες, Λειτουργία και Συντήρηση εγκαταστάσεις και εξοπλισμός, διοίκηση και άδειες προγράμματος, έρευνα, και νομικές αμοιβές. Σαν προκαταρκτικό οδηγό, ο πίνακας 9 αποκτήθηκε από τον Τεχνικό Οδηγό Αξιολόγησης του Ινστιτούτου Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας του 1993, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις δαπάνες προγράμματος κλίμακας για τα διάφορα μεγέθη προγράμματος.

Πίνακας 9 Αντίκτυπος μεγέθους προγράμματος στο κόστος.

Plant Size (MW)	Percent of 50 MW Cost
10	120
25	110
50	100
100	95
200	90

2.2.6.6 Δαπάνες Λειτουργίας και Συντήρησης

Ετήσιες δαπάνες Λειτουργίας και Συντήρησης: Οι πρόσφατες εκτιμήσεις βιομηχανίας του κόστους Έρευνας και Συντήρησης, συμπεριλαμβανομένων των εξετάσεων και των αντικαταστάσεων, κυμαίνονται από \$7.000 σε \$10,000/έτος ανά στρόβιλο. Αυτό το επίπεδο δαπανών αντιστοιχεί σε \$0.005-\$0.01/kWh για τα μεγέθη στροβίλων παρόμοια με του στρόβιλου της τεχνολογικής μελέτης του 1999 και αιολικά πάρκα στο εύρος των 100 MW. Μια πρόσφατη εκτίμηση \$6.534 (για το 1992) ανά στρόβιλο ετησίως για στρόβιλος 275 kW σε ένα αιολικό πάρκο 50 MW έγιναν κάτω από το Αναπτυξιακό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Σύντομης Περιόδου του Υπουργείου Ενέργειας. Η ετήσια Λειτουργία και Συντήρηση αναφέρεται συχνά σε μονάδες του \$/kwh. Εντούτοις, είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί μια ενιαία εκτίμηση \$/kwh επειδή μια μεγάλη μερίδα από την ετήσια Λειτουργία και Συντήρηση καθορίζεται για κάθε στρόβιλο, και το κόστος ανά kWh αλλάζει ανάλογα με το επίπεδο των αιολικών πόρων και την παραγωγή κάθε συγκεκριμένου στρόβιλου.

Ο ετήσιος προϋπολογισμός δαπανών Λειτουργίας και Συντήρησης της αιολικής τεχνολογικής μελέτης του 1996 σε δολάρια ανά στρόβιλο ετησίως παρουσιάζεται στον πίνακα 1 με μια μεγαλύτερη αβεβαιότητα στη χαμηλή πλευρά, που απεικονίζει το γεγονός ότι η εκτίμηση είναι στο υψηλότερο σημείο των πρόσφατων εκτιμήσεων βιομηχανίας.

Οι δαπάνες του ετήσιου προϋπολογισμού Λειτουργίας και Συντήρησης του 2000 και του 2005 αυξάνονται για να απεικονίσουν τις σχετικές με το μέγεθος δαπάνες του στρόβιλου για τα μέρη, τις προμήθειες και τον εξοπλισμό. Υπολογίζετε ότι τα μέρη και οι προμήθειες περιλαμβάνουν περίπου το 70 τοις εκατό τις συνολικής Λειτουργίας και Συντήρησης. Μερικές από αυτές τις δαπάνες είναι ανεξάρτητες από το κόστος στροβίλων, και μερικές είναι άμεσα εξαρτώμενες. Για αυτήν την μελέτη, υποτίθεται ότι 50 τοις εκατό εξαρτώνται από το κόστος στροβίλων.

Ενώ είναι υψηλότερο το κόστος ανά στρόβιλο, το προκύπτον κόστος σε \$/kwh για το έτος 2000, είναι περίπου 0,5 \$/kWh, είναι χαμηλότερα από τον αριθμό του 1996 και αποτελείται με προκαταρκτικά στοιχεία που αναπτύσσονται στο πλαίσιο του Προγράμματος Ανάπτυξης Επόμενης Γενιάς Στροβίλων του Υπουργείου Ενέργειας. Το χαμηλότερο ετήσιο κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης ανά kWh είναι σημαντικός οδηγός της τάσης προς τους μεγαλύτερους στρόβιλους. Οι πραγματικές δαπάνες Λειτουργίας και Συντήρησης, όπως φαίνονται στην αγορά, μπορούν να μην ακολουθήσουν μια ομαλή προς τα κάτω τάση. Δεδομένου ότι νέοι στρόβιλοι εισάγονται, οι ετήσιες δαπάνες Λειτουργίας και Συντήρησης μπορεί να είναι υψηλότερες από τα προηγούμενα σχέδια μέχρι να αναπτυχθεί ικανοποιητική εμπειρία στον τομέα. Κατά συνέπεια, αν και μια τάση προς τα κάτω αναμένεται, το πραγματικό κόστος μπορεί να είναι περικυκλωμένο καθώς η νέα τεχνολογία επεκτείνεται. Αυτό μπορεί να ισχύσει ιδιαίτερα με μια τεχνολογία στις αρχικές φάσεις της εμπορικής ανάπτυξης, όπως οι ανεμοστρόβιλοι, όταν πραγματοποιούνται οι σημαντικές βελτιώσεις με κάθε μια νέα γενιά της τεχνολογίας.

Πέρα από το 2005, η ετήσια μείωση κόστους της Λειτουργίας και Συντήρησης αναμένεται να πραγματοποιηθεί μέσω της απλοποίησης του σχεδίου, όπως την αποβολή των υδραυλικών συστημάτων για τα φρένα και/ η τους μηχανισμούς λεπίδων, μέσω της βελτιστοποίησης των πρακτικών Λειτουργίας και Συντήρησης.

Εξετάσεις και δαπάνες αντικατάστασης: Αυτές οι δαπάνες περιλαμβάνουν περιοδικές σημαντικές αντικαταστάσεις και εξετάσεις τμημάτων. Για το 1996, οι επισκευές περιλαμβάνουν την εξέταση κιβωτίων ταχυτήτων και τη φέρουσα αντικατάσταση γεννητριών στα 10 και 20 χρόνια με κόστος 5% του συνολικού εγκατεστημένου κόστους, και αντικατάσταση των λεπίδων στο 20^ο έτος με κόστος 10% του συνολικού εγκατεστημένου κόστους. Σημαντικές δαπάνες αντικατάστασης/εξέτασης υπολογίζονται για να είναι στο ίδιο πρόγραμμα στο έτος 2000 επειδή η αβεβαιότητα με τον σχεδιασμό αυξανόμενης κλίμακας υποτίθεται ότι ήταν από την αρχή από την αυξανόμενη αντίσταση στην καταπόνηση από τα σύνθετα υλικά ρότορα ή/και τη βελτιωμένη δυνατότητα σχεδίου. Καθώς περισσότερη εμπειρία αποκτιέται με αυτά τα μεγαλύτερα σχέδια και τα νεώτερα υλικά, οι δαπάνες αντικατάστασης πέφτουν σε 5% και 10% του συνολικού κόστους στα 10 και 20 χρόνια, αντίστοιχα, για το στρόβιλο του 2010 (το 2005 υποθέτει μια γραμμική παρεμβολή μεταξύ 2000 και 2010). Το κόστος πέφτει σε 5% και 5% στα 10 και 20 χρόνια, αντίστοιχα, για τον στρόβιλο του 2020 και του 2030. Ο αντίκτυπος αυτών των δαπανών σε κόστος ενέργειας ποικίλλει για διαφορετικές υποθέσεις ιδιοκτησίας/χρηματοδότησης και τα επίπεδα των αιολικών πόρων. Για τις υποθέσεις αυτοχρηματοδοτούμενων εταιριών, οι σειρές επίδρασης είναι από 0,3 έως 0,5 \$/kWh το 1996, και από 0,1 έως 0,2 \$/kWh το 2030,

Αυτές οι εκτιμήσεις είναι βασισμένες στην κρίση της εφαρμοσμένης μηχανικής σχετικά με τον προβαλλόμενο αντίκτυπο των βελτιωμένων κωδίκων σχεδίου που συνδέονται με μια βελτιωμένη κατανόηση των τρόπων καταπόνησης-αποτυχίας. Οι δαπάνες εξέτασης και αντικατάστασης έχουν μια μεγάλη αβεβαιότητα, η απεικόνιση ενός ευρέος φάσματος των εκτιμήσεων, συμπεριλαμβανομένου μέλετες λεπτομερούς κόστους εφαρμοσμένης μηχανικής και ο κατασκευαστής υποστηρίζει ότι οι στρόβιλοι σχεδιάζονται για να αποφύγουν σημαντικές περιοδικές επισκευές. Έναντι του μέσου όρου αυτών των εκτιμήσεων, η εκτίμηση στον πίνακα 1 θεωρείται συντηρητική και επομένως έχει μια μεγαλύτερη αβεβαιότητα. Αυτή η μεγάλη αβεβαιότητα μεταφέρεται μέσω των χρονικών διαστημάτων, που απεικονίζει τη δυνατότητα για το χαμηλότερο κόστος (υψηλότερη διάρκεια) από εκείνη που απεικονίζεται στον πίνακα. Στην πραγματική αγορά, μια διακύμανση υπάρχει μεταξύ του αρχικού κόστους και της διάρκειας ζωής των τμημάτων του στρόβιλου.

Δαπάνες εδάφους: Ενώ οι δαπάνες για τη μίσθωση ή την αγορά εδάφους θα ποικίλουν για τα μεμονωμένα προγράμματα, η εκτίμηση στον πίνακα 1 υποθέτει ότι το έδαφος μισθώνεται χρησιμοποιώντας τις πληρωμές δικαιώματος και είναι στο υψηλό τέλος του εύρους που αναφέρεται για τα τρέχοντα προγράμματα. Τοπικές παραλλαγές στη διαθεσιμότητα εδάφους μπορούν να αλλάξουν το εδαφικό κόστος. Υποθέσεις του κόστους του περιφερειακού εδάφους δεν έχουν γίνει για αυτή την ανάλυση. Οι κυρίαρχες επιρροές είναι ο στόχος και περισσότερο αναπτυγμένοι στρόβιλοι θα παραγάγουν περισσότερα εισοδήματα ανά μονάδα του εδάφους. Επομένως, οι ιδιοκτήτες εδάφους θα τείνουν να αποκτήσουν πολύ μεγαλύτερα εισοδήματα από το έδαφος που μισθώνουν, ίσως δίνοντας στους υπεύθυνους για την ανάπτυξη τη δυνατότητα να διαπραγματευτούν το ποσοστό. Οι μεγάλες αβεβαιότητες που συνδέονται με τις δαπάνες μισθώσεων εδάφους στον πίνακα 1 απεικονίζουν το γεγονός ότι είναι ασαφής πώς οι δαπάνες θα αλλάξουν κατά τη διάρκεια του χρόνου, και ότι υπάρχει πάντα ένα εύρος των δαπανών που συνδέονται με διαφορετικά οικόπεδα του εδάφους.

2.2.6.7 Αβεβαιότητα

Η αβεβαιότητα που απεικονίζεται σε +/- εύρος στον πίνακα 1 προέρχεται από δύο πηγές. Ο πρώτος είναι η αβεβαιότητα που συνδέεται με την ακρίβεια της αξίας, π.χ., αβεβαιότητα της έκβασης της Έρευνας και Ανάπτυξης. Ο δεύτερος είναι από την κανονική διακύμανση στις τιμές στοιχείων για προγράμματα, όπως το κόστος του εδάφους για τα διαφορετικά προγράμματα.

2.2.6.8 Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία και η διάρκεια απεικονίζονται ποσοτικά με διάφορους τρόπους σε αυτήν την μελέτη. Κατ' αρχάς, η διαθεσιμότητα είναι ήδη σε υψηλά επίπεδα για το δεδομένο του αρχικού κόστους στροβίλων, το κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης, και η διάρκεια ζωής συστήματος. Δεύτερον, η πτώση των ετήσιων δαπανών Λειτουργίας και Συντήρησης μετά από το 2005 απεικονίζουν την αυξανόμενη αξιοπιστία. Η πτώση Λειτουργίας και Συντήρησης ανά- kWh στις δαπάνες μεταξύ 1996 και 2005 υποτίθεται να οφείλεται περισσότερο στην αυξανόμενη ενεργειακή παραγωγή ανά στρόβιλο από τα αυξανόμενα επίπεδα αξιοπιστίας. Αυτό είναι μια συντηρητική υπόθεση, δεδομένου ότι η Έρευνα και Ανάπτυξη αναμένεται να οδηγήσει σε πιο αξιόπιστα συστήματα σε αυτό το χρονικό πλαίσιο. Τρίτον, σημαντικές εξετάσεις και δαπάνες αντικατάστασης μειώνονται κατά τη διάρκεια του χρόνου, που απεικονίζει μια αύξηση στα διαστήματα διάρκειας και συντήρησης για κάθε περίοδο δηλωμένου επιπέδου δαπανών αρχικού κεφαλαίου. Τέλος, οι μειώσεις του κόστους αρχικού κεφαλαίου για του ίδιου μεγέθους στροβίλων και για την ίδια υποτιθέμενη διάρκεια ζωής των στροβίλων μετά από το 2005 απεικονίζει την αναμενόμενη τάση προς την αυξανόμενη διάρκεια ζωής/αναλογία κόστους που πραγματοποιείται από την Έρευνα και Ανάπτυξη

2.2.6.9 Άλλοι Τομείς Αξίας

Μακροπρόθεσμα, πρόοδος επίσης αναμένεται σε περιοχές έξω από το κόστος και την απόδοση του μεμονωμένου στροβίλου και του αιολικού πάρκου συνολικά. Παραδείγματος χάριν, η καλύτερη τοπική καιρική πρόβλεψη, μαζί με την κατάλληλη κατάρτιση χειριστών συστημάτων, αναμένεται να αυξήσει την αξία της αιολικής ενέργειας.

2.2.7 Έδαφος, Νερό, και Κρίσιμες Απαιτήσεις Υλικών

Όπως καταδεικνύεται στον πίνακα 10, το ποσό εδάφους που απαιτείται για τα αιολικά πάρκα εξαρτάται από το μέγεθος στροβίλων και τον αριθμό, το διάστημα των στροβίλων (απόσταση δίπλα-δίπλα και μεταξύ των σειρών), και ο αριθμός σειρών. Το εύρος της χρήσης εδάφους ανά εγκατεστημένα MW στον πίνακα 10 καλύπτει δύο σενάρια για το στρόβιλο που χωρίζεται κατά διαστήματα: 2.5 διάμετροι ρότορα (δίπλα-δίπλα) από 20 διαμέτρους μεταξύ των σειρών, και 5 διάμετροι (δίπλα-δίπλα) από 10 διαμέτρους μεταξύ των σειρών. Αυτές οι σειρές παρουσιάζονται για τρεις διατάξεις διαμορφωμένες κατά 5 σειρές 10 στροβίλων (πιο κοινών στις επίπεδες περιοχές), 2 σειρές 25 στροβίλων, και μιας ενιαίας σειράς 5.0 στρόβιλοι (πιο κοινοί στις ακροβολισμένες περιοχές). Μια οπισθοδρόμηση 5 διαμέτρων ρότορα υποτίθεται γύρω από την περίμετρο του αιολικού πάρκου. Ενώ αυτά τα σενάρια αντιπροσωπεύουν μια σειρά πιθανών διαμορφώσεων για έναν

αιολικό πάρκο 50 στροβίλων, οι πραγματικές διαμορφώσεις προγράμματος θα είναι συγκεκριμένες ανα περιοχή, ανάλογα με την έκταση, τα τοπικά χαρακτηριστικά αέρα χαρακτηριστικά στροβίλων, περιβαλλοντικές και εκτιμήσεις καλαισθησίας, και κόστος και διαθεσιμότητα του εδάφους. Η τάση προς τη χαμηλότερη χρήση εδάφους ανά μονάδα ισχύς στα τελευταία χρόνια οφείλεται στην αυξανόμενη εκτίμηση των σύνθετων στροβίλων που περιγράφονται σε αυτόν την μελέτη.

Έδαφος: Το έδαφος δεν είναι απαραίτητο να αγοραστεί/να μισθωθεί και να αφιερωθεί αποκλειστικά για την ενεργειακή παραγωγή αέρα. Περίπου το 5-10% του εδάφους των αιολικών πάρκων είναι πραγματικά χρησιμοποιήσιμο από τους ανεμοστροβίλους, αφήνοντας την πλειοψηφία ελεύθερη για άλλες συμβατές χρήσεις. Οι μισθώσεις είναι αρκετά κοινές όπου συνεργασίες όπως η βόσκηση μειώνουν το κόστος στον ιδιοκτήτη του αιολικού πάρκου ενώ αυξάνει παράλληλα την αξία εδάφους στον ιδιοκτήτη εδάφους. Μια άλλη δυνατότητα είναι να χρησιμοποιηθούν προηγούμενα γεωργικά εδάφη που υποδεικνύονται από το πρόγραμμα συντήρησης χώματος για να ενισχυθούν τα σταθερά εισοδήματα ανά στρέμμα που επιτρέπονται από την κυβέρνηση.

Νερό: Όπως φαίνεται στον πίνακα 10, τα αιολικά πάρκα δεν έχουν καμία απαίτηση νερού για τη λειτουργία. Αυτό είναι συμφέρον στις περιοχές όπου ο ανταγωνισμός για το νερό είναι σημαντικός.

Πίνακας 10. Απαιτήσεις πόρων.

Indicator Name	Units	Base Year					
		1996	2000	2005	2010	2020	2030
WindFarm Size	MW	25	37.5	50	50	50	50
Land (50 turbines)							
5 turbines x 10 rows	ha/MW	33-20	26-16	24-15	24-15	24-15	24-15
	ha	825-500	975-600	1200-750	1200-750	1200-750	1200-750
25 turbines x 2 rows	ha/MW	19-26	15-21	14-19	14-19	14-19	14-19
	ha	475-650	563-788	700-950	700-950	700-950	700-950
50 turbines x 1 row	ha/MW	29-46	23-37	21-33	21-33	21-33	21-33
	ha	725-1150	863-1388	1050-1650	1050-1650	1050-1650	1050-1650
Water	m ³	0	0	0	0	0	0

Σημείωση: Το εύρος είναι για 2.5 διαμέτρους ρότορα (πλάγια), επί 20 διαμέτρους (βάθος), και 5 διαμέτρους (πλάγια) επί 10 diameters (βάθος)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
--

3.1.1 Εισαγωγή στους Οικονομικούς Αριθμούς της Αξίας

Ένας επενδυτής, ένας αναλυτής ενεργειακής πολιτικής, ή ένας υπεύθυνος για την ανάπτυξη μπορούν να χρησιμοποιήσουν ποικίλους αριθμούς της αξίας για να αξιολογήσουν την οικονομική ελκυστικότητα ενός ενεργειακού προγράμματος. Η επιλογή εξαρτάται συχνά από το σκοπό της ανάλυσης. Εντούτοις, οι περισσότεροι αρχίζουν με εκτιμήσεις του κύριου κόστους του προγράμματος, της μελλοντικής παραγωγής ενέργειας, των ετήσιων εισοδημάτων, των δαπανών, και των παρακρατήσεων. Μια προκαταρκτική δήλωση αποδοχών, ένα πρόγραμμα εξαγοράς χρέους, και η δήλωση των φορολογούμενων ροών μετρητών τυπικά επίσης προετοιμάζονται. Οι ετήσιες μετά τη φορολόγηση ροές μετρητών συγκρίνονται έπειτα με την αρχική ορθή επένδυση για να καθορίσουν το διαθέσιμο κέρδος. Για μια άλλη προοπτική, οι αφορολόγητες ροές μετρητών κανενός χρέους μπορούν επίσης να υπολογιστούν και να συγκριθούν με το συνολικό κόστος του προγράμματος. Τα τέσσερα αρχικά μεγέθη της αξίας είναι:

Καθαρή Παρούσα Αξία: Η καθαρή παρούσα αξία είναι το συνολικό ποσό όλων των μειωμένων φορολογούμενων ροών μετρητών. Η μέθοδος καθαρής παρούσας αξίας είναι ένας πολύτιμος δείκτης επειδή αναγνωρίζει τη χρονική αξία των χρημάτων. Προγράμματα των οποίων οι επιστροφές παρουσιάζουν θετική καθαρή παρούσα αξία είναι ελκυστικά.

Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: Σαν εσωτερικός βαθμός απόδοσης ορίζεται ως το ποσοστό έκπτωσης στο οποίο η φορολογίσιμη καθαρή παρούσα αξία είναι μηδέν. Το υπολογισμένο εσωτερικό ποσοστό κέρδους εξετάζεται για να καθορίσει εάν υπερβαίνει ένα ελάχιστο αποδεκτό κέρδος, αποκαλούμενη συχνά ως ποσοστό εμποδίων. Το πλεονέκτημα του εσωτερικού ποσοστού κέρδους είναι ότι, αντίθετα από την καθαρή παρούσα αξία, τα αποτελέσματα του ποσοστού του επιτρέπουν τα προγράμματα των απέραντα διαφορετικών μεγεθών να συγκριθούν εύκολα.

Κόστος Ενέργειας: Για να υπολογίσει το κόστος της ενέργειας, η ροή εισοδήματος ενός ενεργειακού προγράμματος προεξοφλείτε χρησιμοποιώντας ένα τυποποιημένο ποσοστό (ή ενδεχομένως το εσωτερικό ποσοστό κέρδους του προγράμματος) για να παραγάγει μία καθαρή παρούσα αξία. Αυτή η καθαρή παρούσα αξία διαβαθμίζεται σε ετήσια πληρωμή και έπειτα διαιρεμένη απο την ετήσια ενεργειακή παραγωγή του προγράμματος για να παράγει μια αξία σε σεντ ανά kWh. Το κόστος ενέργειας χρησιμοποιείται συχνά από τους αναλυτές ενεργειακής πολιτικής και τους εκτιμητές προγράμματος για να αναπτύξουν της πρώτης προτεραιότητας αξιολογήσεις ελκυστικότητας ενός προγράμματος. Το κόστος ενέργειας καθορίζει την ροή των εισοδημάτων που καλύπτει ελάχιστα τις απαιτήσεις για τη επιστροφή μετοχών και ελάχιστη αναλογία κάλυψης χρέους. Οι παραδοσιακές αναλύσεις

απαίτησης εισοδήματος των εταιριών είναι βασισμένες στο κόστος, δηλ., επιτρεπόμενες δαπάνες, έξοδα, και οι επιστροφές προστίθενται για να βρουν μια ροή των εισοδημάτων που ικανοποιούν τα κριτήρια κέρδους.

Ο βασισμένος στην ανάλυση αγοράς Ανεξάρτητος Παραγωγός Δύναμης (IPP) και η Επιχείρηση Παραγωγής (GenCo) προϋποθέτουν μια δοκιμή δοκιμασίας και λάθους για να βρουν τα εισοδήματα που ανταποκρίνονται στα πρότυπα κάλυψης και μετοχές χρέους, αλλά το κόστος της ενέργειας τους επιπλέον παρέχει χρήσιμες πληροφορίες.

Περίοδος Απολαβών: Ένας υπολογισμός απολαβών συγκρίνει τα εισοδήματα με τις δαπάνες και καθορίζει το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να αποζημιώσει την αρχική επένδυση. Μια απλή περίοδος απολαβών υπολογίζεται συχνά αδιαφορώντας για τη χρονική αξία των χρημάτων. Αυτός ο αριθμός της αξίας χρησιμοποιείται συχνά για να αναλύσει τις ευκαιρίες που προσφέρουν τα επταετή οφέλη και οι εφαρμογές τελικών χρηστών.

3.1.2 Οικονομικές Δομές

Τέσσερις ευδιάκριτες προοπτικές ιδιοκτησίας προσδιορίστηκαν για αυτήν την ανάλυση. Κάθε μια απεικονίζει μια διαφορετική οικονομική δομή, δαπάνες χρηματοδότησης, φόροι, και επιθυμητά ποσοστά κέρδους. Εν συντομία, τα τέσσερα σενάρια ιδιοκτησίας είναι:

Επιχείρηση Παραγωγής (GenCo): Η GenCo υιοθετεί μια βασισμένη στην αγορά μέθοδο ποσοστού κέρδους στην κατασκευή, ιδιοκτησία, και διαχείριση μιας εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας. Η επιχείρηση χρησιμοποιεί τον ισολογισμό ή την εταιρική χρηματοδότηση, όπου χρέος και επενδυτής μετοχικού κεφαλαίου κρατούν τις απαιτήσεις σε μια διαφοροποιημένη ομάδα των εταιρικών προτερημάτων. Για αυτόν τον λόγο, το χρέος της GenCo και η ορθότητα είναι λιγότερο επικίνδυνα από τον Ανεξάρτητο Παραγωγό Ενέργειας και επομένως η GenCos πληρώνει χαμηλότερες αποδόσεις. Μια χαρακτηριστική κύρια δομή της GenCo αποτελείται από 35% χρέος σε μια ετήσια επιστροφή 7,5% (χωρίς την επιφύλαξη υπηρεσιών χρέους ή της πίστωσης που απαιτείται) και μετοχές 65% κατά 13% επιστροφή. Αν και η συλλογική χρηματοδότηση μπορεί να υποθέσει ότι το χρέος στην αναλογία μετοχής παραμένει σταθερό άνω της διάρκειας ζωής του προγράμματος. και το κεφάλαιο δεν ξεπληρώνεται ποτέ, είναι συχνά πληροφοριακό να παρουσιάσει την επίδραση του προγράμματος για μια μοναδική οικονομική βάση. Επομένως, για να είναι συντηρητικός, ο όρος χρέους υπολογίζεται ως 28 έτη για ένα πρόγραμμα 30 ετών, και όλο το χρέος ξεπληρώνεται υποθέτοντας πληρωμές επιπέδων υποθήκης. Η ροή μέσω της λογιστικής χρησιμοποιείται έτσι ώστε η εταιρική GenCo να λαμβάνει το μέγιστο όφελος από τις επιταχυνόμενες υποτίμησης και πιστώσεις φόρου.

Ανεξάρτητος Παραγωγός Ισχύος (IPP): Ένα χρεος του Ανεξάρτητου Παραγωγού Δύναμης και η μετοχική επένδυση εξασφαλίζεται από μόνο το ένα πρόγραμμα, όχι από μια ομάδα προγραμμάτων ή άλλων εταιρικών προτερημάτων όπως συμβαίνει για την Επιχείρηση Παραγωγής. Σε αυτήν την προσέγγιση χρηματοδότησης του προγράμματος, μια τυπική κύρια δομή είναι 70% χρέος με ετήσια επιστροφή 8,0% και 30% μετοχής με μια ελάχιστη επιστροφή 17% . Μια έξι μηνών επιφύλαξη υπηρεσιών χρέους διατηρείται για να περιορίσει τους κινδύνους επιστροφής. Ο όρος χρέους για ένα πρόγραμμα Ανεξάρτητου Παραγωγού Δύναμης είναι γενικά 15 έτη, με ένα πρόγραμμα επιστροφής χρέους επιπέδου υποθήκης. (Για ηλιακά και γεωθερμικά προγράμματα που έχουν δικαίωμα να πάρουν τις φορολογικές πιστώσεις επένδυσης, μια κύρια δομή χρέους 60% και 40% ορθότητας πρέπει να εξεταστεί.). Η ροή μέσω της λογιστικής χρησιμοποιείται για να επιτρέψει στους επενδυτές μετοχικού κεφαλαίου να πραγματοποιήσουν το μεγαλύτερο όφελος από τις επιταχυνόμενες υποτίμησης και πιστώσεις φόρου. Τα προγράμματα Ανεξάρτητου Παραγωγού Δύναμης απαιτούνται για να συναντήσουν δύο αναλογίες κάλυψης ελάχιστου χρέους. Η πρώτη απαίτηση είναι να υπάρξει ένα λειτουργικό εισόδημα τουλάχιστον 1,5 φορές του ετήσιου χρέους για το χειρότερο έτος. Ο δεύτερος πρόκειται να έχει ένα λειτουργικό εισόδημα περίπου 1,8 φορές ή καλύτερο για ένα μέσου όρου έτους. Επειδή η κάλυψη χρέους είναι συχνά ο σφιχτότερος περιορισμός, ο πραγματικός Ανεξάρτητος Παραγωγός Δύναμης μπορεί να είναι πάνω από 17%, ίσως 20% ή περισσότερο. Επιπλέον, με καλή κάλυψη χρέους, οι αρνητικές μετά τη φορολόγηση ροές μετρητών στα τελευταία έτη πληρωμής του χρέους (φανταστικό εισόδημα) είναι χαμηλός.

Ελεγχόμενης Επένδυσης Ιδιοκτησίας Εταιρία (IOU): Η Ελεγχόμενης Επένδυσης - Ιδιοκτησίας Εταιρία αναλύει ένα πρόγραμμα με μια βάση κόστους προσέγγιση απαιτήσεων εισοδήματος. Όπως περιγράφεται από τον Τεχνικό Οδηγό Αξιολόγησης του Ινστιτούτου Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας (TAGTM), επιστροφές στην επένδυση δεν θέτονται από την αγορά, αλλά από το ρυθμιστικό σύστημα. Σε αυτόν τον υπολογισμό, τα έξοδα λειτουργίας, η ιδιοκτησία, οι φόροι, η ασφάλεια, η υποτίμηση, και οι επιστροφές αθροίζονται για να καθορίσουν την ροή εισοδήματος που είναι απαραίτητο να παρέχει εγκεκριμένη επιστροφή στο χρέος και τους επενδυτές μετοχικού κεφαλαίου. Η χρήση ενός σταθερού ποσοστού χρέωσης είναι ένας τρόπος να προσεγγιστεί το Κόστος Ενέργειας από αυτήν την προοπτική. Η κύρια δομή της Ελεγχόμενης Επένδυσης - Ιδιοκτησίας Εταιρία υπολογίζεται με χρέος 47% με μια ετήσια επιστροφή 7,5% 6% προτιμώμενο απόθεμα κατά 7,2% και το 47% κοινού αποθέματος στο 12.0%. Ο όρος χρέους και η ζωή προγράμματος είναι και τα δύο 30 χρόνια. Η επιταχυνόμενη υποτίμηση είναι ομαλοποιημένη χρησιμοποιώντας έναν αναβεβλημένο φορολογικό απολογισμό για να διαδώσει το αποτέλεσμα πέρα από τη διάρκεια ζωής του προγράμματος. Η Ελεγχόμενης Επένδυσης - Ιδιοκτησίας Εταιρία δεν επιτρέπεται να πάρουν μια φορολογική πίστωση επένδυσης είτε για τα ηλιακά είτε γεωθερμικά προγράμματα.

Δημοτική Εταιρία (ή άλλη απαλλαγμένη από το φόρο εταιρία): Η δημοτική εταιρία χρησιμοποιεί μια προσέγγιση ανάλυσης παρόμοια με εκείνο της Ελεγχόμενης Επένδυσης - Ιδιοκτησίας Εταιρίας. Η κύρια δομή, εντούτοις, υποτίθεται ότι είναι 100% χρέος με ετήσια επιστροφή 5,5%, και η δημοτική εταιρία δεν πληρώνει ούτε φόρος εισοδήματος ούτε φόρος ιδιοκτησίας.

3.1.3 Τεχνικές για τον Υπολογισμό Διαβαθμισμένου Κόστους Ενέργειας

Η τεχνική που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του Κόστους Ενέργειας ποικίλλει με την προοπτική ιδιοκτησίας. Δύο από τις τέσσερης προοπτικές ιδιοκτησίας (Ελεγχόμενης Επένδυσης - Ιδιοκτησίας Εταιρία και Δημοτική Εταιρία) υιοθετούν μια βασισμένη στο κόστος προσέγγιση απαιτήσεων εισοδήματος, ενώ τα άλλα δύο χρησιμοποιούν μία βασισμένη στην αγορά προσέγγιση ποσοστού επιστροφής. Η προσέγγιση απαιτήσεων εισοδήματος υποθέτει ότι μια εταιρία έχει προνομιακές υπηρεσίες στο έδαφος και, το ποσοστό επιστροφής του τίθεται από την κρατική ρυθμιστική αντιπροσωπεία. Οι ετήσιες δαπάνες και τα μετρητά των εγκαταστάσεων προσθέντοντε στο ποσοστό επιστροφής της κύριας επένδυσης για να καθοριστούν τα εισοδήματα.

Σε αντίθεση, η βασισμένη στην αγορά προσέγγιση (Επιχείρηση Παραγωγής και Ανεξάρτητος Παραγωγός Ενέργειας) καθεμία εκτιμά μια ροή εισοδημάτων προγράμματος από τις προβλέψεις για τις τιμές πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας ή προτείνουν μία ροή ως τμήμα μιας ανταγωνιστικής προσφοράς. Οι ετήσιες δαπάνες προγράμματος, συμπεριλαμβάνουν τις δαπάνες χρηματοδότησης, υπολογίζονται και αφαιρούνται από τα εισοδήματα και ένα Εσωτερικό Ποσοστό Κέρδους υπολογίζεται έπειτα. Η διαδικασία υπολογισμού του πραγματοποιημένου Εσωτερικού Ποσοστού Κέρδους διαφέρει από την προσέγγιση απαιτήσεων εισοδήματος όπου το ποσοστό επιστροφής προκαθορίζεται.

Το Κόστος Ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί και για τις απαιτήσεις εισοδήματος και για τις προσεγγίσεις ποσοστού επιστροφής. Όταν τα προμελετημένα μετρητά ρέουν αυτά προβάλλονται και για τις δύο προσεγγίσεις, τα αποτελέσματα του γενικού πληθωρισμού συλλαμβάνονται στην επιστροφή χρέους, στους φόρους εισοδήματος, και σε άλλο παράγοντες. Έπειτα, τα εισοδήματα είναι καθαρό παρόν που εκτιμείται σε τρέχοντα δολάρια. Η καθαρή παρούσα αξία έπειτα κυμαίνεται σε τρέχοντα δολάρια ή/και σταθερά δολάρια που χρησιμοποιούν τα κατάλληλα ποσοστά έκπτωσης για κάθε ένα. Αυτά έπειτα κυμαίνονται και ομαλοποιούνται σε μια μονάδα ενεργειακής παραγωγής (kWh) για να υπολογιστεί το τρέχον και σταθερό δολάριο του Κόστους Ενέργειας. Το παρόν έγγραφο αναφέρει το σταθερό δολάριο του Κόστους Ενέργειας σε δολάρια του 1997.

Ο πίνακας 1 παρέχει ένα παράδειγμα των αποτελεσμάτων που μπορούν να επιτευχθούν για τις τεχνολογίες που χαρακτηρίζονται στο παρόν έγγραφο. Ο πίνακας παρουσιάζει ότι το Κόστος Ενέργειας για τις διάφορες ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες υποθέτοντας την ιδιοκτησία μίας Επιχείρησης Παραγωγής και την ισορροπία των φύλλων χρηματοδότησης.

Πινάκας 1. Κυμαινόμενο Κόστος Ενέργειας για την ιδιοκτησία Επιχείρησης Παραγωγής

		Levelized COE (constant 1997 cents/kWh)				
Technology	Configuration	1997	2000	2010	2020	2030
Dispatchable Technologies						
Biomass	Direct-Fired	8.7	7.5	7.0	5.8	5.8
	Gasification-Based	7.3	6.7	6.1	5.4	5.0
Geothermal	Hydrothermal Flash	3.3	3.0	2.4	2.1	2.0
	Hydrothermal Binary	3.9	3.6	2.9	2.7	2.5
	Hot Dry Rock	10.9	10.1	8.3	6.5	5.3
Solar Thermal	Power Tower	--	13.6*	5.2	4.2	4.2
	Parabolic Trough	17.3	11.8	7.6	7.2	6.8
	Dish Engine -- Hybrid	--	17.9	6.1	5.5	5.2
Intermittent Technologies						
Photovoltaics	Utility-Scale Flat-Plate Thin Film	51.7	29.0	8.1	6.2	5.0
	Concentrators	49.1	24.4	9.4	6.5	5.3
	Utility-Owned Residential (Neighborhood)	37.0	29.7	17.0	10.2	6.2
Solar Thermal	Dish Engine (solar-only configuration)	134.3	26.8	7.2	6.4	5.9
Wind	Advanced Horizontal Axis Turbines					
	- Class 4 wind regime - Class 6 wind regime	6.4 5.0	4.3 3.4	3.1 2.5	2.9 2.4	2.8 2.3

* Το Κόστος Ενέργειας είναι μόνο για την ηλιακή μερίδα της διαμόρφωσης υβριδικής εγκατάστασης το έτος 2000

3.1.4 Χρηματοοικονομικό Πρότυπο και Κατάσταση

Το οικονομικό πρότυπο ανάλυσης FATE2-P (Οικονομικό Εργαλείο Ανάλυσης για τα Ηλεκτρικά Ενεργειακά Προγράμματα) χρησιμοποιήθηκε για να αναλύσει τα στοιχεία που παρέχονται στις τεχνολογικές μελέτες. Αυτό το πρότυπο υπολογισμών λογιστικού φύλλου αναπτύχθηκε από την Princeton Economic Research, Inc. και το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας για Τμήμα Ενέργειας της Αμερικής. Το FATE2-P μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για τις απαιτήσεις εισοδήματος είτε για την προσέγγιση του προεξοφλήμενου ποσοστού επιστροφής. Χρησιμοποιείται πρόγραμμα ανανεώσιμης ενεργειακής Έρευνας και Ανάπτυξης του Υπουργείου Ενέργειας για τις δραστηριότητες προγραμματισμού του. Το πρότυπο είναι δημόσια διαθέσιμο, και έχει χρησιμοποιηθεί από έναν αριθμό αναλυτών εκτός του Υπουργείου Ενέργειας για τις πρόσφατες μελέτες τους. Άλλα πρότυπα θα παράγουν τα ίδια αποτελέσματα δεδομένων των ίδιων εισροών-εκροών.

Τα Κόστη Ενέργειας στον πίνακα 1 ήταν έτοιμα χρησιμοποιώντας το πρότυπο FATE2-P , υποθέτοντας ιδιοκτησία Επιχείρησης Παραγωγής. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν μία κύρια δομή χρέους 35% με μια επιστροφή 7,5% και το 65% της ορθότητας σε 13%. Ένα φορολογικό ποσοστό 40% υποτίθεται. Ο πληθωρισμός υπολογίστηκε κατά 3%, αλλά τα εισοδήματα πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας υποθέτουμε ότι θα αύξηθούν λιγότερο από 1,5%, ή 2,5%, που αντιστοιχεί σε ένα πραγματικό ποσοστό -0,5%. Σε παρόμοιο τρόπο, οι προβλέψεις της Ετήσιας Ενεργειακής Προοπτικής του 1997 του Τμήματος Ενέργειας ότι οι λιανικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας θα μειωθούν κατά ένα πραγματικό 0,6% με υποθετικό προϋπολογισμό 3.1%. Αμφισβητούμενες πληροφορίες από Ανεξάρτητο Παραγωγό Ενέργειας υπονοούν ότι προς το παρόν κλιμακώνουν το χονδρικό εμπόριο με τιμές ενέργειας μικρότερες από τον πληθωρισμό.

Μερικές κοινές υποθέσεις κρύβονται κάτω από όλους τους τύπους ιδιοκτησίας/χρηματοδότησης. Κατ' αρχάς, τα αποτελέσματα του Κόστους Ενέργειας εκφράζονται μέσα από σταθερά δολάρια του 1997, σύμφωνα με τα στοιχεία δαπανών σε κάθε τεχνολογική μελέτη, τα οποία δηλώνονται επίσης σε δολάρια του 1997. Δεύτερον, ο γενικός πληθωρισμός εκτιμάται στο 3% ετησίως, τόσο οι ετήσιες δαπάνες όπως την Λειτουργία και τη Συντήρηση και η κλιμακούμενη ασφάλεια σε 3% ετησίως παρά το γεγονός στο οποίο τα εισοδήματα των Ανεξάρτητων Παραγωγών Ενέργειας και Επιχειρήσεων Παραγωγής τα εισοδήματα αυξάνονται μόνο 2,5%. Ο προϋπολογισμός έχει επιπτώσεις επίσης στην αξία των επιλεγμένων επιτοκίων και την ορθή επιστροφή. Οι υπολογισμοί φόρου απεικονίζουν ένα υποτιθέμενο 40% συνδυασμένο συλλογικό ποσοστό (δηλ. 35% ομοσπονδιακό και 7.7% κρατικό, με το κρατικό να είναι αφαιρετέο από το ομοσπονδιακό). Προσθέτοντας, περιόδοι υποτιμήσεων και ποσοστά θέτονται από τον τρέχοντα νόμο. Οι φορολογικές πιστώσεις χρησιμοποιούνται αν τεθούν από το νόμο ως μόνιμες όπως τον Νοεμβρίο του 1997. Κατά συνέπεια, Φορολογική Πίστωση Επένδυσης του 10% για ηλιακά κα γεωθερμικά συμπεριλαμβάνεται, αλλά όχι οι φορολογικές πιστώσεις παραγωγής για τον άνεμο ή την κλειστού βρόγχου βιομάζα που δεν είναι διαθέσιμο μετά από τα μέσα του 1999.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ
--

4.1.1 Εισαγωγή

Η βιομηχανία εταιριών ηλεκτρισμού στην Αμερική είναι στο στάδιο της επαναστατικής αλλαγής, από επικείμενη αναδιάρθρωση και ανταγωνισμό, στους περιορισμούς στην εγκατάσταση του νέου συμβατικού εξοπλισμού παραγωγής και μετάδοσης και διανομής. Η τρέχουσα κατάσταση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να προσφέρει μοναδικές ευκαιρίες για τις τεχνολογίες ενεργειακής αποθήκευσης, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, στην οποία μερικά δευτερόλεπτα έως μερικές ώρες της ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να κρατηθούν για τη χρήση σε έναν μεταγενέστερο χρόνο. Αυτά τα συστήματα μπορούν να βρεθούν κοντά στη γεννήτρια, γραμμή μετάδοσης, υποσταθμό διανομής, ή στον καταναλωτή, ανάλογα με την εφαρμογή που εξετάζουμε.

Η αποθήκευση μπορεί να διαδραματίσει έναν εύκαμπτο, πολλών χρήσεων ρόλο στο δίκτυο ανεφοδιασμού ηλεκτρικής ενέργειας για να διαχειριστεί τους πόρους αποτελεσματικά. Σαν ένας πόρος παραγωγής, η ενεργειακή αποθήκευση μπορεί να παρέχει αποταμίευση στις λειτουργικές δαπάνες ή τις κύριες δαπάνες. Παράδειγματα είναι: (α) επιφύλαξη περιστροφής για προσωρινό στήριγμα παραγωγής, (β) διατήρηση ισχύος στα 50 Hz, και (γ) διαφορά ισχύος των νέων παραγωγικών εγκαταστάσεων. Τον Νοέμβριο του 1994, η Αρχή Ηλεκτρικής Ενέργειας του Πουέρτο Ρίκο εγκατέστησε ένα σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης μπαταριών 20 MW/40 λεπτών για την επιφύλαξη περιστροφής και διατήρηση της συχνότητας και της τάσης. Η μονάδα αποστέλλεται ακριβώς ως οποιοσδήποτε άλλο πόρο παραγωγής στο σύστημά τους και η μπαταρία έχει μειώσει τις επιπτώσεις από τις διακοπές λειτουργίας και τη βελτιωμένη αξιοπιστία της ηλεκτρικής υπηρεσίας.

Σε συνδυασμό με τους ανανεώσιμους πόρους, η ενεργειακή αποθήκευση μπορεί να αυξήσει την αξία του φωτοβολταϊκού και του αιολικού ηλεκτρισμού, με το να κάνει ταυτόχρονο ανεφοδιασμό στις περιόδους μέγιστης καταναλωτικής ζήτησης. Η ενεργειακή αποθήκευση διευκολύνει μεγάλης κλίμακας ένταξη των διακοπτόμενων ανανεώσιμων πόρων όπως ο άνεμος και ο ήλιος στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπληρώνουν τους ανανεώσιμους πόρους με εφαρμογή της ευελιξίας και των ελάχιστων περιβαλλοντικών επιδράσεων.

Τα στρατηγικά τοποθετημένα συστήματα αποθήκευσης μπορούν να αυξήσουν τη χρησιμοποίηση του υπάρχον εξοπλισμού Μετάδοσης και Διανομής και αναβάλλει ή εξαλείφει την ανάγκη για τις δαπανηρές προσθήκες Μετάδοσης και Διανομής. Η ενεργειακή αποθήκευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειωθεί την πίεση στις μεμονωμένες γραμμές μετάδοσης που είναι κοντά στη μέγιστη εκτίμηση με τη μείωση του μέγιστου φορτίου υποσταθμών. Συγκεκριμένα οφέλη στην Μετάδοση και Διανομή είναι (α) σταθερότητα γραμμών μετάδοσης για τη σύγχρονη λειτουργία για να αποτρέψουν την κατάρρευση του συστήματος (β) ρύθμιση τάσης για σταθερή τάση μέσα σε 5% ενός καθορισμένου σημείου, και (γ) αναβολή της κατασκευής ή βελτίωσης των γραμμών Μετάδοσης και Διανομής, μετασχηματιστές, συστοιχίες πυκνωτών, και υποσταθμοί. Οι ευκαιρίες μπορούν να αναπτυχθούν για τους ανεξάρτητους χειριστές συστημάτων που επεκτείνουν την αποθήκευση για να βοηθήσουν να ισορροπήσουν τα περιφερειακά φορτία καθώς η αναδόμηση προχωρά.

Η ενεργειακή αποθήκευση μπορεί να εξυπηρετήσει πελάτες ως μια ελέγξιμη διοικητική επιλογή της ζήτησης που μπορεί επίσης να παρέχει προνομιακές υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένης (α) της ποιότητας ενέργειας για "κρέμασμα" ή "κυματισμό" που κρατάει λιγότερο από 5 δευτερόλεπτα, (β) αδιάκοπη παροχή ενέργειας για διακοπές λειτουργίας που διαρκούν περίπου 10 λεπτά, και (γ) μείωση μέγιστης ζήτησης για να μειωθούν οι λογαριασμοί ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένα ποιοτικό πρόβλημα ενέργειας είναι οποιαδήποτε τάση, ρεύμα, ή απόκλιση συχνότητας που οδηγούν στην αποτυχία ή την δυσλειτουργία του εξοπλισμού των πελατών. Μπορεί να είναι ένας κυματισμός που διαρκεί μερικές περιοδικές επαναλήψεις (λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο) ή μια διακοπή λειτουργίας που συνεχίζεται για ώρες, με τρέχουσα αρμονική διαστρέβλωση ή η διακοπτόμενη τάση που τρεμοπαίζει. Μια έρευνα 450 διοικητικών στελεχών πληροφοριακών συστημάτων 1000 επιχειρήσεων αποκάλυψαν ότι τα ποιοτικά προβλήματα ενέργειας οδήγησαν σε σημαντικές καταρεύσεις υπολογιστών και απώλειες παραγωγικότητας που υπολογίζεται ότι κοστίζει στις επιχειρήσεις στην Αμερική \$400 δισεκατομμυρία κάθε έτος. Τα συστήματα ποιοτικής αποθήκευσης δύναμης διορθώνουν το πρόβλημα στον πρώτο κύκλο και μπορούν να ταξινομηθούν για να παρέχει μερικά δευτερόλεπτα ή λεπτά προστασίας.

Τέλος, η ενεργειακή αποθήκευση χρησιμοποιείται συνήθως σε αυτόνομες εφαρμογές, όπου μπορεί να χρησιμεύσει ως μια αδιάληπτη μονάδα παροχής ενέργειας (UPS). Οι μονάδες UPS χρησιμοποιούνται για συνοδευτική δύναμη και ενεργοποιούνται μόνο σε περιπτώσεις διακοπής ενεργειακής λειτουργίας αντίθετα τα συστήματα αποθήκευσης συζητούνται στο παρόν έγγραφο εκτελούν διάφορες εφαρμογές ανοικτής γραμμής. Απομονωμένες, μακρινές θέσεις, χωρίς σύνδεση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει να εξετάσουν κάποιο τύπο συνοδευτικής δύναμης εάν μια διακοπτόμενη πηγή χρησιμοποιείται. Αυτά είναι κάποια παραδείγματα της ενεργειακής αποθήκευσης μπαταριών που ενσωματώνονται με τις φωτοβολταϊκές και τις αιολικές εγκαταστάσεις στα εθνικά πάρκα και τις στρατιωτικές εγκαταστάσεις.

4.1.2 Τεχνολογίες Ηλεκτρικής Αποθήκευσης

Διάφορες τεχνολογίες ενεργειακής αποθήκευσης έχουν αναπτυχθεί ή είναι υπό ανάπτυξη για εφαρμογές ηλεκτρικής ενέργειας, που περιλαμβάνουν:

- Αντλησιοταμίευση
- Ενεργειακή αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα (CAES)
- Μπαταρίες
- Βολάν
- Υπεραγωγικά μαγνητικά ενεργειακά μέσα αποθήκευσης (MME)
- Υπερπυκνωτές

Οι θερμικές τεχνολογίες ενεργειακής αποθήκευσης, όπως το λειωμένο αλάτι, δεν εξετάζονται σε αυτό το παράρτημα.

Αντλησιοταμίευση: Η αντλησιοταμίευση ήταν σε χρήση από το 1929, που καθιστά την παλαιότερη της τεχνολογία ενεργειακής αποθήκευσης. Στην πραγματικότητα, έως το 1970 ήταν η μόνη εμπορικά διαθέσιμη επιλογή αποθήκευσης για τις εφαρμογές παραγωγής. Οι συμβατικές αντλημένες υδροεγκαταστάσεις αποτελούνται από δύο μεγάλες δεξαμενές, κάποια βρίσκεται σε επίπεδο βάσης και η άλλη είναι τοποθετημένη σε μια διαφορετικό ύψος. Το νερό αντλείται στην ανώτερη δεξαμενή όπου μπορεί να αποθηκευτεί ως πιθανή ενέργεια. Επάνω στην απαίτηση, το νερό απελευθερώνεται πίσω στη χαμηλότερη δεξαμενή, που περνά μέσω των υδραυλικών στροβίλων που παράγει ηλεκτρική δύναμη τόσο υψηλή όσο 1.000 MW. Τα εμπόδια στην αυξανόμενη χρήση αυτής της τεχνολογίας αποθήκευσης στην Αμερική περιλαμβάνει υψηλές δαπάνες κατασκευής και όχι μακροχρόνια αποτέλεσμα καθώς επίσης οι γεωγραφικοί, γεωλογικοί και περιβαλλοντικοί περιορισμοί συνδέονται με το σχέδιο των δεξαμενών. Αυτήν την περίοδο, οι προσπάθειες που στοχεύουν στην αύξηση της χρήσης της αντλημένης υδροαποθήκευσης στρέφονται στην ανάπτυξη υπόγειων εγκαταστάσεων.

Ενεργειακή Αποθήκευση Συμπιεσμένου Αέρα (CAES): Οι εγκαταστάσεις CAES χρησιμοποιούν την εκτός των ωρών αιχμής ενέργεια για να συμπιέσουν και να αποθηκεύσουν τον αέρα σε έναν αεροστεγή υπόγειο σπήλαιο αποθήκευσης. Επάνω στην απαίτηση, ο αποθηκευμένος αέρας απελευθερώνεται από το σπήλαιο, θερμαίνεται και επεκτείνεται μέσω ενός στροβίλου καύσης για να δημιουργήσει ηλεκτρική ενέργεια. Το 1991, η πρώτη Αμερικανική εταιρία CAES χτίστηκε στην McIntosh, Αλαμπάμα, από τον Ηλεκτρικό Συνεταιρισμό της Αλαμπάμα και το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας, και έχουν μια εκτίμηση ισχύς 110 MW. Αυτήν την περίοδο οι κατασκευαστές μπορούν να δημιουργήσουν μηχανήματα CAES για τις εγκαταστάσεις που κυμαίνονται από 5 έως 350 MW. Το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας έχει υπολογίσει ότι περισσότερο από το 85% της Αμερικής έχει τα γεωλογικά χαρακτηριστικά που θα προσαρμόσουν μια υπόγεια δεξαμενή CAES. Οι μελέτες κατέληξαν ότι το CAES είναι ανταγωνιστικό με τους στροβίλους καύσης και τις μονάδες συνδυασμένου

κύκλου, ακόμη και χωρίς απόδοση μερικών από τα μοναδικά οφέλη της ενεργειακής αποθήκευσης.

Μπαταρίες: Τα τελευταία χρόνια, ένα μεγάλο μέρος της εστίασης στην ανάπτυξη της ηλεκτρικής τεχνολογίας ενεργειακής αποθήκευσης έχει επικεντρωθεί στις συσκευές αποθήκευσης μπαταριών. Υπάρχει αυτήν την περίοδο μια ευρεία ποικιλία μπαταριών διαθέσιμων εμπορικά και πολλές περισσότερες στη φάση σχεδίου. Σε μια χημική μπαταρία, η φόρτιση προκαλεί αντιδράσεις στις ηλεκτροχημικές ενώσεις για να αποθηκεύσει ενέργεια από μια γεννήτρια σε μια χημική μορφή. Επάνω στην απαίτηση, αντιστρέπτικές χημικές αντιδράσεις προκαλούν την ηλεκτρική ενέργεια να ρέυσει έξω από την μπαταρία και πίσω στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη εμπορικά διαθέσιμη μπαταρία ήταν η γεμάτη απο οξύ μολύβδου που χρησιμοποιήθηκε για τις σταθερές, συγκεντρωμένες εφαρμογές. Η ρυθμιζόμενη από βαλβίδα οξέως μολύβδου μπαταρία (VRLA) είναι η τελευταία εμπορικά διαθέσιμη επιλογή. Η μπαταρία VRLA είναι χαμηλής συντήρησης, προστασία σε διαροή και εκροή, και σχετικά συμπαγής. Ψευδαργύρου/βρώμιου είναι μια νεώτερη τεχνολογία αποθήκευσης μπαταριών που δεν έχει φθάσει ακόμα στην εμπορική αγορά. Άλλες βασισμένες στο λίθιο μπαταρίες είναι υπό ανάπτυξη. Οι μπαταρίες κατασκευάζονται σε μια ευρεία ποικιλία ισχύος που κυμαίνονται από λιγότερο από 100 Watts σε σταθερές διαμορφώσεις διάφορων μεγεθών. Κατά συνέπεια, οι μπαταρίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις διάφορες εφαρμογές εταιριών στους τομείς της παραγωγής, Μεταφοράς και Διανομής, και της εξυπηρέτησης πελατών.

Βολάν: Τα βολάν χρησιμοποιούνται αυτήν την περίοδο για διάφορες μη εταιρικές εφαρμογές. Πρόσφατα, εντούτοις, οι ερευνητές έχουν αρχίσει να ερευνούν τις εφαρμογές εταιρικής ενεργειακής αποθήκευσης. Μια συσκευή αποθήκευσης βολάν αποτελείται από ένα βολάν που περιστρέφεται σε μια πολύ υψηλή ταχύτητα και μια ενσωματωμένη ηλεκτρική συσκευή που μπορεί να λειτουργήσει είτε ως μηχανή για να γυρίσει το βολάν και να αποθηκεύσει ενέργεια ή ως γεννήτρια για να παραγάγει την ηλεκτρική ενέργεια μετά από απαίτηση που χρησιμοποιεί την ενέργεια που αποθηκεύεται στο βολάν. Η χρήση των μαγνητικών ρουλεμάν και ένας θάλαμος κενού αέρα μειώνουν τις ενεργειακές απώλειες. Μία κατάλληλη αντιστοιχία μεταξύ γεωμετρίας και χαρακτηριστικά των υλικών επιρρεάζουν τον βέλτιστο σχεδιασμό του βολάν. Κατά συνέπεια, οι μηχανικοί έχουν εστιάσει την ανάπτυξη υλικών με υψηλές αναλογίες ενέργειας ως προς την πυκνότητα. Τα βολάν έχουν προταθεί για να βελτιώσουν το εύρος, την απόδοση και την ενεργειακή αποδοτικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων.

Υπεραγωγικά Μαγνητικά Ενεργειακά Μέσα Αποθήκευσης (SMES): Ένα σύστημα SMES αποθηκεύει την ενέργεια στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τη ροή του άμεσου ρεύματος σε μια σπείρα του υπεραγωγικού υλικού. Για να διατηρήσει τη σπείρα στην υπεραγωγική κατάσταση της, βυθίζεται σε υγρό ήλιο που περιλαμβάνεται σε ένα απομονωμένου κενού κρουστάτη. Η ενεργειακή παραγωγή ενός συστήματος SMES είναι πολύ λιγότερο εξαρτώμενη από το ποσοστό απαλλαγής από τις μπαταρίες. Τα συστήματα SMES έχουν επίσης μια υψηλή ζωή κύκλου και, κατά συνέπεια, είναι κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν σταθερή, πλήρη ανακύκλωση και έναν συνεχή τρόπο λειτουργίας. Αν και έρευνα διεξάγεται στα μεγαλύτερα συστήματα SMES σε εύρος από 10 έως 100 MW, η πρόσφατη εστίαση ήταν στις μικρότερες μικροσυσκευές SMES σε εύρος 1 έως 10 MW. Οι μικροσυσκευές SMES είναι διαθέσιμες εμπορικά για εφαρμογές ποιότητας ενέργειας.

Προηγμένοι Ηλεκτροχημικοί Πυκνωτές: Οι Υπερπυκνωτές είναι στα αρχικά στάδια ανάπτυξης ως τεχνολογία ενεργειακής αποθήκευσης για τις εταιρικές ηλεκτρικές εφαρμογές. Ένας ηλεκτροχημικός πυκνωτής έχει συστατικά σχετικά με μια μπαταρία και με έναν πυκνωτή. Συνεπώς, η τάση στοιχείων περιορίζεται σε μερικά βολτ. Συγκεκριμένα, η τάση στοιχείων αποθηκεύεται από τα ιόντα όπως σε μια μπαταρία. Αλλά, όπως σε έναν συμβατικό πυκνωτή, καμία χημική αντίδραση δεν παίρνει θέση στην ενεργειακή παράδοση. Ένας ηλεκτροχημικός πυκνωτής αποτελείται από δύο αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια, έναν διαχωριστή, έναν ηλεκτρολύτη και τρέχοντες συλλέκτες. Προς το παρόν, οι πολύ μικροί υπερπυκνωτές του εύρους επτά έως δέκα Watt είναι ευρέως διαθέσιμοι εμπορικά για τον καταναλωτή για ποιοτική ενεργειακές εφαρμογές και βρίσκονται συνήθως στις οικιακές ηλεκτρικές συσκευές. Η ανάπτυξη των μεγάλης κλίμακας πυκνωτών έχει στραφεί στα ηλεκτρικά οχήματα. Αυτήν την περίοδο, μικρής κλίμακας ενεργειακή ποιότητα (< 250 kW) θεωρείται η πιο ελπιδοφόρος χρήση εταιριών για τους προηγμένους πυκνωτές.

Ο πίνακας 1 συνοψίζει τα κύρια χαρακτηριστικά κάθε συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης. Μπαταρίες, Βολάν, SMES και Προηγμένους Ηλεκτροχημικούς Πυκνωτές. οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές προσφέρονται στις διανεμημένες εταιρικές εφαρμογές ενώ οι αντλημένες υδροεγκαταστάσεις και CAES είναι μεγάλες, κεντρικές εγκαταστάσεις. Όλοι οι προϋπολογισμοί δαπανών είναι για πλήρη συστήματα με τα ρυθμιζομένης ενέργειας υποσυστήματα, έλεγχοι, εξαιρισμός και ψύξη, εγκατάσταση, και άλλη ισορροπία των τμημάτων εγκαταστάσεων.

4.1.3 Έρευνα και Ανάπτυξη

Το Ερευνητικό Ίδρυμα Ηλεκτρικής Ενέργειας, από την έναρξή του το 1972, έχει καινοτομήσει στην ανάπτυξη της ενεργειακής αποθήκευσης. Τα τρέχοντα προγράμματα εστιάζουν στην επέκταση των SMES, CAES, και μπαταρίες και περαιτέρω αξιολογήσεις των βολάν και των υπερπυκνωτών. Το Τμήμα Ενέργειας της Αμερικής, μέσω του Προγράμματος Συστημάτων Ενεργειακής Αποθήκευσης του (ESS), έχει στραφεί σχεδόν αποκλειστικά στα συστήματα μπαταριών για την τελευταία δεκαετία για ποικίλους λόγους, συμπεριλαμβανομένης της μεταβλητής τεχνολογίας, δυνατότητα εφαρμογής στις ανάγκες πελατών, τη σταθερή κατασκευή, και τα περιορισμένα κεφάλαια. Πρόσφατα, το πρόγραμμα επεκτάθηκε για να περιλάβουν τις SMES, τα βολάν και τους προηγμένους ηλεκτροχημικούς πυκνωτές. Το πρόγραμμα ESS εκτελεί σήμερα συνεργατική έρευνα με τη βιομηχανία για την ολοκλήρωση των συστημάτων και τη δοκιμή πεδίων, την ανάπτυξη τμημάτων, και την ανάλυση συστημάτων. Η αντλημένη υδροεγκατάσταση εκτελέστηκε από τα σώματα του μηχανικού του Αμερικανικού στρατού, η ανάπτυξη των βολάν έγινε από το Τμήμα Μεταφορών, και η ανάπτυξη των SMES υποστηρίχθηκε από το Υπουργείο Άμυνας. Οι προηγμένοι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές ερευνήθηκαν από το Αμυντικό Πρόγραμμα του Τμήματος Ενέργειας

Πίνακας 1. Σχεδιαγράμματα τεχνολογίας ενεργειακής αποθήκευσης.

Technology	Installed (U.S. total)	Facility Size Range	Potential/Actual Applications	Commercially Available	Selected Manufacturers	Estimated System Costs (\$1997)
Pumped Hydro	22 GW at 150 facilities in 19 states	Up to 2.1 GW	Electricity • Load Leveling • Spinning Reserve	Yes	Allis-Chalmers, Combustion Engineering, General Electric, North American Hydro, Westinghouse	500-1,600 \$/kW
CAES	110 MW in Alabama	25 MW to 350 MW	Electricity • Peak Shaving • T&D Applications • Spinning Reserve	Yes	Dresser Rand, Westinghouse, ABB	350-500 \$/kW (commercial plant estimates)
Batteries	More than 70 MW installed by utilities in 10 states	From 100 W to 20 MW	Electricity • Spinning Reserve • Integration with Renewables • T&D Applications • Power Quality (PQ) • Peak Shaving Transportation	Yes (Flooded Lead-Acid, VRLA) No (Zinc/Bromine, Lithium)	AC Battery Corp, C&D, Delco-Remy, Delphi, GE Drive Systems, GNB, Precise Power Corp., SAFT America, Yuasa-Esuide, ZBB	750-1,000 \$/kW (20-40 MW, 2 hrs) 500-600 \$/kW (20-40 MW, 0.5 hr) 400-600 \$/kW (2 MW, 10-20 sec)
Flywheels	1-2 demo facilities, no commercial facilities	kW-scale	Electricity • Power Quality Transportation Defense	Yes (steel, low rpm) No (advanced composite)	American Flywheel Systems, Boeing, Int'l Computer Products, SatCon, US Flywheel Systems	Advanced: 6,000 \$/kW (~1 kW) 3,000 \$/kW (~20 kW) Steel: 500 \$/kW (1 MW, 15 sec)
SMES	5 facilities with approx. 30 MW in 5 states	From 1-10 MW (micro-SMES) to 10-100 MW	Electricity • T&D Applications • Power Quality	Yes (micro-SMES) No (larger units)	Superconductivity, Inc.	1,000 \$/kW (1-2 MW, 1 sec)
Advanced Electrochemical Capacitors	Millions of units for standby power; 1 defense unit	7-10 W commercial 10-20 kW prototype	Electricity • Power Quality Consumer Electronics Transportation Defense	Yes (low-voltage, standby power) No (power quality)	Evans, Maxwell, NEC, Panasonic, Pinnacle, Polystor, Sony	unknown

Αυτή η έκθεση στρέφεται στις τεχνολογίες παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας. Τα πιά κατάλληλα συστήματα αποθήκευσης για τέτοιες εφαρμογές προς το παρόν εμφανίζεται να είναι μπαταρίες. Οι μπαταρίες έχουν εγκατασταθεί στο αυτόνομα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά συστήματα περισσότερο από δύο δεκαετίες σε όλη την Αμερική. Οι παγκόσμιες πωλήσεις των μπαταριών που συνδέθηκαν με τις εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών το 1995 ήταν υπολογισμένες σε 3.000 MWh, με το σύνολο που εγκαθίσταται πάνω από 10.500 MWh. Οι πωλήσεις στην Αμερική των μπαταριών για τα φωτοβολταϊκά το 1995 υπολογίστηκαν σε 340,5 MWh. Αυτές οι ετήσιες στατιστικές πωλήσεων περιλαμβάνουν και τις νέες εγκαταστάσεις και τις αντικαταστάσεις. Αυτά είναι σημαντικά όταν εξετάζεται ενάντια στο ποσό παραγωγής ισχύος ενός φωτοβολταϊκού σε λειτουργία. Μέχρι το 1996, η Αμερικανική βιομηχανία φωτοβολταϊκών εγκατέστησε συνολικά 210 MW παραγωγής ισχύος των φωτοβολταϊκών παγκοσμίως.

Οι μπαταρίες υποστηρίζουν την ανανεώσιμη παραγωγή σε τουλάχιστον τρία εύρη μεγέθους: (α) 1-4 kW οικιακό, (β) 30-100 kW εμπορικό, βιομηχανικό, ή χωριό, και (γ) > 1MW παραγωγή ή υποστήριξη ηλεκτρικού δικτύου. Ένα μεγάλο μέρος της δραστηριότητας που χρηματοδοτείται από τη βιομηχανία φωτοβολταϊκών έχει επικεντρωθεί στις εφαρμογές οικιακής κλίμακας με τις μεγάλες μεγέθους (πολλές ώρες) υποστήριξη μπαταριών, ενώ ένα μεγάλο μέρος της διαστηριότητας που χρηματοδοτείται από τους κατασκευαστές μπαταριών βιομηχανικής κλίμακας έχει επικεντρωθεί σε εφαρμογές χαμηλής υποστήριξης μπαταριών. παράδειγμα, το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας και τα Εθνικά Εργαστήρια Sandia ολοκληρώνουν μια ανάλυση μιας σειράς φωτοβολταϊκών 2,4 kW και μιας επτά ωρών μπαταρίας που λειτουργεί σε ένα συνδεδεμένο με το σπίτι δίκτυο στην περιοχή υπηρεσιών του Προγράμματος του Salt River.

Οι ευκαιρίες για τα φωτοβολταϊκά εμφανίζονται στις γεωγραφικές ζώνες που προηγουμένως είχαν αποκλειστεί από την εκτίμηση. Το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας, που βοηθιέται από το Κρατικό Πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης (SUNY) στο Albany, έχει παραγάγει ένα νέο μέτρο αποτελεσματικής ισχύς των φωτοβολταϊκών. Η αποτελεσματική μεταφερόμενη από το φορτίο ισχύ είναι η δυνατότητα οποιασδήποτε γεννήτριας να συμβάλει αποτελεσματικά σε μια εταιρική ισχύ για να συναντηθεί το φορτίο της. Ενώ η ένταση της ηλιακής έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία είναι κρίσιμη για τα φωτοβολταϊκά, είναι λιγότερο σημαντικό από τη σχέση των φωτοβολταϊκών να φορτωθούν τις απαιτήσεις. Οι ερευνητές του SUNY έχουν αναπτύξει συμπληρωματικό μέτρο του ελάχιστου ποσού συνοδευτικής ή αποθηκευμένης ενέργειας που έπρεπε να εξασφαλίσει ότι όλο το φορτίο της εταιρίας θα είναι επάνω από ένα κατώτατο όριο το οποίο θα συναντιέται από το σύστημα αποθήκευσης των φωτοβολταϊκών. Το ελάχιστο μέτρο ενεργειακής αποθήκευσης διαπίστωσε ότι ένα μικρό ποσό αποθήκευσης θα μπορούσε να παραγάγει μια αυξανόμενη πίστωση ισχύος για τα φωτοβολταϊκά

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Annan, R.H., "**Solar 2000: Office of Solar Energy Conversion Strategy**," Proceedings of the 22nd IEEE PV Specialist Conf., Las Vegas, NV (1991).
- [2] Shugar, D.S., "**Photovoltaic in the Utility Distribution System: The Evaluation of System and Distributed Benefits**," Proceedings of the 21st IEEE PV Specialist Conference, Kissimmee, FL (1990).
- [3] Iannucci, J.J., and D.S. Shugar, "**Structural Evolution of Utility Systems and Its Implications for Photovoltaic Applications**," Proceedings of the 23rd IEEE PV Specialist Conference, Louisville, KY (1993).
- [4] Wegner, H., et al., "**Niche Markets for Grid-connected Photovoltaics**," Proceedings of the 25th IEEE PV Specialist Conference, Washington, D.C. (1996).
- [5] Shugar, D.S., M.G. Real, and P. Aschenbrenner, "**Comparison of Selected Economics Factors for Large Ground-Mounted Photovoltaic Systems with Roof-Mounted Photovoltaic Systems in Switzerland and the USA**" Proceedings of the 11th E.C. Photo. Solar Energy Conf. (1992).
- [6] Osborn, D.E., and D.E. Collier, "**Utility Grid-connected Photovoltaic Distributed Power Systems**," Proceedings of the National Solar Energy Conf., ASES Solar 96, Asheville, NC (April 1996).
- [7] Strong, S.J., "**Power Windows: Building-integrated Photovoltaics**," IEEE Spectrum, October 1996, pp. 49-55.
- [8] Lamarre, L., "**Utility Customers Go for Green**," EPRI Journal, March/April 1997, pp.6-15.
- [9] The Market for Solar Photovoltaic Technology, Arthur D. Little Inc., for the Electric Power Research Institute: March 1993. Report EPRI/TR-102290.
- [10] Strong, S.J. with W.G. Scheller, The Solar Electric House, Sustainability Press, Still River, MA; 1991.
- [11] Osborn, D.E., "**Commercialization of Utility PV Distributed Power Systems**," Proceedings of the 1997 American Solar Energy Society Annual Conference, ASES Solar 97, Washington, D.C. (April 25-30, 1997).
- [12] "**Utility-Scale, Flat-Plate Thin Film Photovoltaic Systems**," EPRI/DOE report, to be published concurrently with this report.
- [13] U.S. Department of Energy, "**Peña Outlines Plan to Send Solar Sales Through the Roof**," Press Release, June 27, 1997.

[14] Zhao, J., et al., "**Twenty-four Percent Efficient Silicon Solar Cells with Double Layer Antireflection Coatings and Reduced Resistance Loss,**" Applied Physics Letters, Vol. 66, pp. 3636-3638 (1995).

[15] Shockley, W., and H.J. Queisser, "**Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells,**" Journal of Applied Physics, Vol 32, pp. 510-519 (1961).

[16] The Design of Residential Photovoltaic Systems, Sandia Photovoltaic Systems Design Assistance center : December 1988. Report SAND87-1951.

[17] Crosscup, R.W., ed., Means Electrical Cost Data, 1996, Robert Snow Means Co., Kingston, MA, 1996.

[18] "**USGen's 5,000 MW of NEES Plants is first big Utility Transfer to an IPP,**" Independent Power Report , McGraw Hill, New York, August 22, 1997, pp. 20-21.

[19] Cody, G., and T. Tiedje, "**A Learning Curve Approach to Projecting Cost and Performance in Thin Film Photovoltaics,**" Proceedings of the 25th IEEE PV Specialist Conference, Washington, D.C. (1996).

[20] Henderson, E.J., and J. P. Kalejs, "**The Road to Commercialization in the PV Industry: A Case Study of EFG Technology,**" Proceedings of the 25th IEEE PV Specialist Conference, Washington, D.C. (1996).

[21] Williams, R.H., and G. Terzian, A benefit/cost analysis of accelerated development of photovoltaic technology , Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University: October 1993. UP/CEES Report 281.

[22] Maycock, P.D., ed., "**Summary of World PV Module Shipments,**" PV News, Vol. 15, No. 1-2, (January 1996).

[23] Gay, C.F., and C. Eberspacher, "**Worldwide Photovoltaic Market Growth 1985-2000,**" Prog. in Photovoltaics, Vol. 2, pp. 249-255 (1994).

[24] Bruton, T.M., et al., "**Multi-Megawatt Upscaling of Silicon and Thin-film Solar Cell and Module Manufacturing – MUSIC FM,**" Proceedings of the Eur. Conf. on Renewable Energy Development, Venice, Italy (November 1995).

[25] Bower, W., et al., "**Balance-of-System Improvements for Photovoltaic Applications Resulting from the PVMaT Phase 4A1 Program,**" to be presented at the 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim, CA ,

[26]. Solar Radiation Data Manual for Flat Plate and Concentrating Collectors, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO: April 1994. Report TP-463-5607.

[27] Shugar, D., "**PV in the Utility Distribution System: The Evaluation of System and Distributed Benefits**," Proceedings of the 21st IEEE PV Specialists Conference, Kissimmee, FL (May 1991).

[28]. Alsema, E.A., and B.C.W. van Engelenburg, "**Environmental Risks of CdTe and CIS Solar Cell Modules**," Proceedings of the 11th European Solar Energy Conference, Montreux (October 12-16, 1992).

[29] "**Energy System Emissions and Material Requirements**," Meridien Research Inc., Needham, MA: 1989.

[30] Proceedings of the 25th IEEE PV Specialist Conf., Washington, D.C. (1996). Moskowitz, P.D., and V.M. Fthenakis, "**Toxic Materials Released from PV Modules during Fires: Health Risks**," Solar Cells, 1990.

[31] Moskowitz, P.D., V.M. Fthenakis, L.D. Hamilton, and J.C. Lee, "**Public Health Issues in PV Energy Systems : An Overview of Concerns**," Solar Cells, 1990, pp. 287-299.

[32] Moskowitz, P.D., W.M. Fthenakis, and K. Zweibel, "**Health and Safety Issues Related to the Production, Use , and Disposal of Cd-Based PV Modules**," Proceedings of the 21st IEEE PV Specialist Conference, Kissimmee ,FL (May 1990)

[33] Moskowitz, P.D., L.D. Hamilton, S.C. Morris, K.M. Novak, and M.D. Rowe, Photovoltaic Energy Technologies: Health and Environmental Effects Document, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY: 1990. Report BNL-51284.

[34] Moskowitz, P.D., and K. Zweibel, eds., Recycling of Cadmium and Selenium from PC Modules and Manufacturing Wastes: A Workshop Report, Brookhaven National Laboratory, Golden, CO: March 11-12 1992. Report BNL 47787.

[35] Moskowitz, P.D., K. Zweibel, and V.M. Fthenakis, Health, Safety, and Environmental Issues Relating to Cadmium Usage in PV Energy Systems, Solar Energy Research Inc., Golden, CO: 1990. Report SERI/TR-211-3621.

[36] San Martin, R.L., Environmental Emissions from Energy Technology Systems: Total Fuel Cycle, U.S. Department of Energy, April 1989.

[37] Tolley, W.K., and G.R. Palmer, "**Recovering Cadmium and Tellurium from CdTe Manufacturing Scrap**," Proceedings of the 1991 AIME Annual Meeting, New Orleans, LA (February 1991).

[38] Moskowitz, P.D., National PV Environmental, Health and Safety Information Center: Bibliography, Brookhaven National Lab, Upton, NY: 1993. Report 11973.

[39] Golden Photon Inc., and Solar Cells Inc., Proceedings of the 12th NREL PV Program Review Meeting, Golden , CO (October 1993).

[40] Stone, J.L., E. Witt, R. McConnell, and T. Flaim, Proceedings of 17th IEEE PV Specialists Conference , Kissimmee, FL (May 1984).

[41] Johansson, T.B., H. Kelly, A.K.N. Reddy, and R.L. Williams, eds., Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity, Island Press, Washington, D.C., 1993, pp. 1160.

[42] Luft, W., and Y.S. Tsuo, Hydrogenated Amorphous Silicon Alloy Deposition Processes, Marcell Dekker Inc. ,New York, NY, 1995.

[43] Witt, C.E., M. Al-Jassim, and J. Gee (eds.) "**NREL/SNL PV Program Review**," Proceedings of the 14th Conference, Lakewood, CO, AIP Conference Proceedings 394, American Institute of Physics, Wookbury, NY , 1997, pp. 3-171, 445-463, 537-709, 881-892.

[44] Ullal, H.S., K. Zweibel, and B.Von Roedern, "**Current Status of Polycrystalline Thin Film PV Technologies**," 26th IEEE PV Specialists Conference, Anaheim, CA, October 1997 (also, NREL/CP-520-22922, NREL, Golden, CO, 1997).

[45] Zweibel, K., "**The Progress of Polycrystalline Thin Film PV**," American Scientist, April 1993.

[46] Zweibel, K., Harnessing Solar Energy, Plenum Publishing, New York, NY, 1990, pp. 319.

[47] Russell, T.W.F., B.N. Baron, and R.E. Rocheleau, "**Economics of Processing Thin Film Solar Cells**," J. Vac. Sci. Technology. Vol. B2, No. 4, pp. 840-844 (October-December 1984).

[48] Jackson, B., CdZnS/CuInSe Module Design and Cost Assessment, Solar Energy Research Institute, Golden, Co: September 1985. Report SERI/TP-216-2633.

[49] Meyers, P.V., Polycrystalline Cadmium Telluride n-i-p Solar Cells, Solar Energy Research Institute, Golden, Co: March 1990. Report SERI/ZL-7-06031-2.

[50] Kapur, V.K., and B. Basol, "**Key Issues and Cost Estimates for the Fabrication of CIS PV Modules by the Two -Stage Process**," Proceedings of at the 21st IEEE PV Specialists Conference, Kissimmee, FL (May 1990).

[51] Zweibel, K., and R. Mitchell, CuInSe 2 and CdTe Scale-up for Manufacturing, Solar Energy Research Inc. ,Golden, CO: December 1989. Report SERI/TR-211-3571.

- [52] Wohlgemuth, J.H., D. Whitehouse, S. Wiedeman, A.W. Catalano, and R. Oswald, Final Report for PV Manufacturing Technology Phase I (Jan.-April 1991), Solarex Corporation: December 1991. Report NREL/TP-214-4483.
- [53] Izu, M., Final Report for PV Manufacturing Technology Phase I (Jan.-April 1991), Photon Energy Inc.: March 1992. Report NREL/TP-214-4579.
- [54] Albright, S., Final Report for PV Manufacturing Technology Phase I (Jan.-April 1991), Photon Energy Inc.: November 1991. Report NREL/TP-214-4569.
- [55] Stanbery, B.J., Final Report for PV Manufacturing Technology Phase I (Jan.-April 1991), Boeing Aerospace & Electronics: November 1991. Report NREL/TP-214-4606.
- [56] Jester, T., Final Report for PV Manufacturing Technology Phase I (Jan.-April 1991), Siemens Solar Industries: November 1991. Report NREL/TP-214-4481.
- [57] Brown, J., Final Report for PV Manufacturing Technology Phase I (Jan.-April 1991), Solar Cells Inc.: November 1991. Report NREL/TP-214-4478.
- [58] Wagner, S., and D.E. Carlson, "**Amorphous Silicon Solar Cells**", Proceedings of the 10th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 1179-1183 (1991).
- [59] DeBlasio, R., L. Mrig, and D. Waddington, "**Interim Qualification Tests and Procedures for Terrestrial PV Thin Film Flat Plate Modules**," Proceedings of the 22nd IEEE PV Specialist Conference, Las Vegas, NV (October 1991).
- [60] Zweibel, K., "**Thin Films: Past, Present, and Future**," Progress in PV, The Future of thin Film Solar Cells. Vol .3, No. 5, pp. 279-294 (Sept. 1995).
- [61] Zweibel, K., H.S. Ullal, and B. von Roedern, "**Progress and Issues in Polycrystalline Thin Film PV Technologies**," Proceedings of the 25th IEEE PV Specialists Conference, Washington, DC (May 1996).
- [62] Edwards, H.S., G.D. Smith, G. Voecks, N. Rohatgi, P. Prokopius, and K. Zweibel, "**CdTe Terrestrial Modules as a Power Source for a Regenerative Fuel Cell Power Plant for Space Applications**," Proceedings of the 25th IEEE PV Specialists Conference, Washington, DC (May 1996).
- [63] U.S. Department of Energy, National PV Program, Five Year Research Plan 1987-1991, PV: USA's Energy Opportunity, DOE/CH10093-7, May 1987.
- [64] Taylor, R.W., PV Systems Assessment: An Integrated Perspective, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA: 1985. Report EPRI/AP-3176-SR.

- [65] Awerbach, S., "**Measuring the Costs of PV in an IRP Framework**," Proceedings of the DOE-NARUC 4th National Conference on Integrated Resource Planning, Burlington, VT (September 1992).
- [66] Hay, K., J.D.L. Harrison, R. Hill, and T. Riaz, "**A Comparison of Solar Cell Production Technologies Through their Economic Impact on Society**," Proceedings of the 15th IEEE PV Specialist Conference, Kissimmee, FL (May 1981).
- [67] Haynes, K.M., A.E. Baumann, and R. Hill, "**Life Cycle Analysis of PV Modules Based on CdTe**," Proceedings of the 12th EC PV Solar Energy Conference, Amsterdam (1994).
- [68] PV System Assessments: An Integrated Perspective, Electric Power Research Institute, Palo Alto, Ca: 1983 . Report EPRI/AP-3176-SR.
- [69] Mauk, M.G., P.E. Sims, and R.B. Hall, "**Feedstock for Crystalline Silicon Solar Cells**," Proceedings of the First Conference on Future Generation Photovoltaic Technologies (March 1997).
- [70] Swanson, R.M., "**Straight Talk about Concentrators**," Proceedings of the First Conference on Future Generation Photovoltaic Technologies (March 1997).
- [71] Kurtz, S.R., and D. Friedman, "**Recent Developments in Terrestrial Concentrator Photovoltaics**," Proceedings of the 14th NREL Photovoltaics Program Review, (November 1996).
- [72] "**The PV Concentrator Alliance Founding Position Paper**," PV Concentrator Alliance, for the U.S. Department of Energy: April 1997.
- [73] Solar Radiation Data Manual for Flat-Plate and Concentrating Collectors, National Renewable Energy Laboratory: April 1994. Report TP-463-5607.
- [74] Recent Advances in the EPRI High-Concentration Photovoltaic Program, Volume 2, Electric Power Research Institute: February 1992. Report EPRI/TR-100393.
- [75] Garboushian, V., D. Roubideaux, and S. Yoon, "**An Evaluation of Integrated High-Concentration Photovoltaics for Large-Scale Grid-Connected Applications**," Proceedings of the Twenty-Fifth IEEE PV Specialists Conference, Washington, D.C. (May 1996).
- [76] Ruby, D., "**Manufacturing of Silicon Concentrator Solar Cells**," Proceedings of the First European Union International Workshop on Crystalline-Silicon Solar Cells (April 1994).
- [77] Deb, S.K., "**Novel Material Architectures for Photovoltaics**," Proceedings of the First Conference on Future Generation Photovoltaic Technologies (March 1997).

[78] U.S. Department of Energy, Photovoltaics, the Power of Choice: DOE National Photovoltaics Program Five-Year Research Plan for 1996-2000, DOE/GO-10096-017, March 1997.

[79] Kazmerski, L.L., "**Photovoltaics: A Review of Cell and Module Technologies**," Renewable and Sustainable Energy Review, to be published.

[80] Gunn, J.A., and F.J. Dostalek, "EPRI 25-kW High-Concentration Photovoltaic Integrated Array Concept and Associated Economics," Proceedings of the Twenty-Third IEEE PV Specialists Conference, Louisville, KY (May 1993).

[81] Jennings, C., A. Reyes, and K. O'Brien, "**PVUSA Utility-Scale System Capital and Maintenance Costs, Proceedings of the First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion**" (December 1994).

[82] Maish, A.B., "**PV Concentrator Array Installed Costs**," Proceedings of the ASME Solar Energy Division Conference (April 1983).

[83] Mitchell, K.W., "**The Renaissance of Cz Si Photovoltaics**," Progress in Photovoltaics, April 1994

[84] Milligan, M., "**Variance Estimates of Wind Plant Capacity Credit**," Windpower '96 Proceedings, American Wind Energy Association, June 23-27, 1996, pp. 313-332.

[85] Grubb, Michael, "**Valuing Wind Energy on a Utility Grid**", Parts 1-3, Wind Energy Weekly, Vol 27, No. 350-351, pp. 4-9, No. 352, pp. 4-9, No. 353, pp 4-9. First published in Windirections.

[86] Halberg, N., "**Wind Energy Research Activities of the Dutch Electricity Generating Board**" Proceedings of the European Community Wind Energy Conference, Madrid, Spain (September 1990).

[87] "**The Potential of Renewable Energy, An Interlaboratory White Paper**," March, 1990, pg. 36, SERI/TP-260-3674.

[88] Wan, Y., and B.K. Parsons, Factors Relevant to Utility Integration of Intermittent Renewable Technologies, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO: August, 1993. Report NREL/TP-463-4953.

[89] Elliott, D.L., L.L. Wendell, and G.L. Gower, An Assessment of the Available Windy Land Area and Wind Energy Potential in the Contiguous United States, Pacific Northwest Laboratory: August, 1991. Report PNL-7789.

[90] Elliott, D.L. et. al., Wind Energy Resource Atlas of the United States, Pacific Northwest Laboratory, for the U.S. Department of Energy: October, 1986. Report DOE/CH 10093-4.

- [91] Brower, et. al., "Powering the Midwest: Renewable Energy for the Economy and the Environment," Union of Concerned Scientists, Cambridge, MA, 1993.
- [92] Parsons, B., E. Hammond, and Y. Wan, U.S. Wind Reserves Accessible to Transmission Lines, National Renewable Energy Laboratory: 1995.
- [93] Technical Assessment Guide, Volume 3: Fundamentals and Methods, Electricity Supply, Electric Power Research Institute, V3, R6, (diskette), 1992. Report TR-100281.
- [94] FATE-2P cashflow model, Princeton Economic Research, Inc., Rockville, MD, developed for the National Renewable Energy Laboratory, 1997.
- [95] "**Harvest the Wind...**", Sustainable Resources Center, Part of the Windustry™ Wind Energy Course, Minneapolis, Minnesota, 1997.
- [96] Planning Your First Windpower Project: a Primer for Utilities, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA: 1994. Report TR-104398.
- [97] Avery, M.L., P.F. Springer, and N.S. Dailey, Avian Mortality and Man-made Structures: an Annotated Bibliography (Revised), United States Fish & Wildlife Service: 1980. Report OBS-80/54.
- [98] Colson, E.W., "**Avian Interactions with Wind Energy Facilities: A Summary**," Windpower '95 Proceedings, American Wind Energy Association, March 26-30, 1995, pp. 77-86.
- [99] Wind Resource Assessment Handbook, AWS Scientific, Inc., for the National Renewable Energy Laboratory: 1997. Report NREL SR-440-22223.
- [100] Thresher, R., Proceedings of Utility Wind Interest Group (UWIG) Technical Workshop, August 13, 1996.
- [101] "**Three Companies Selected For Major Wind Energy Research Project**," National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, January 13, 1996.
- [102] Robinson, M., "**National Wind Technology Center (NWTC) Research Facilities and Objectives**," Briefing at IEA Wind Experts Meeting (October 1995).
- [103] Gates, R., Oral presentation at Utility Wind Interest Group Technical Workshop, Minneapolis, MN (August 13, 1996).
- [104] Advanced Wind Turbine Conceptual Study, Final Report, August 1990 - March 1992, R. Lynette & Associates: July 1995. Report NREL/TP-441-692.
- [105] Advanced Wind Turbine Near-Term Product Development, Final Technical Report, R. Lynette & Associates: January, 1996. Report NREL/TP-441-7229.

- [106] Advanced Wind Turbine Design Studies, Northern Power System: November 1992.
- [107] Manufacturer Product Literature from Cannon/Wind Eagle Corporation, Kenetech, Vestas, Zond, Enercon, Bonus, Micon, Tacke, and others.
- [108] **"Wind Power Economics,"** Zond Energy Systems, Inc. presentation at "Opportunities for Finance and Investment in Wind Energy," New York, NY (November, 1994).
- [109] WindScan User's Guide, Princeton Economic Research, Inc., for the National Renewable Energy Laboratory : October, 1996.
- [110] Carlin, P.W., **"Analytic Expressions for Maximum Wind Turbine Average Power in a Rayleigh Wind Regime,"** Proceedings of 1997 ASME Wind Energy Symposium at the 35th AIAA Aerospace Sciences Meeting (January 6-9, 1997).
- [111] Tangler, J.L. and D.M. Somers, **"NREL Airfoil Families for HAWTs "** , Windpower '95 Proceedings, American Wind Energy Association, Washington D.C., March 26-30, 1995, pp. 117-128.
- [112] Tangler, J.L., "Influence of Pitch, Twist, and Taper on a Blades' Performance Loss Due to Roughness ", Windpower '96 Proceedings, American Wind Energy Association, Denver, Colorado, June 23-27, 1996, pp. 547-556.
- [113] **"Wind Turbine Market - Types, Technical Characteristics, Prices, The International Overview, 1996,"** WINKRAPROJECT GmbH, WINKRA-RECOM Messe- und Verlags-GmbH.
- [114] Tennis, M.W., and M.C. Brower, **"Powering the Midwest: Wind Energy,"** WindPower '93 Proceedings, American Wind Energy Association , July 12-16, 1993, pp. 183-190.
- [115] Communication with Cannon Wind Eagle, January 1996.
- [116] Fingerish, L., and Robinson, M., **" The Effects of Variable Speed and Drive Train Component Efficiencies on Wind Turbine Energy Capture,"** Proceedings of 1997 ASME Wind Energy Symposium at the 35th AIAA Aerospace Sciences Meeting (January 6-9, 1997).
- [117] Holley, W., W. Aitkenhead, G. McNemey, and E. Rogers, **"Estimating A Wind Turbine Rotor Diameter To Minimize The Installed Cost Of Energy,"** U.S. Windpower, Inc., and Jet Stream.
- [118] The Effects of Increased Production on Wind Turbine Costs, Draft, Princeton Economic Research, Inc., for the National Renewable Energy Laboratory: December 21, 1995.

[119] Holley, W., Oral presentation at Windpower ' 97, Austin Texas (June 15-18, 1997).

[120] Technical Assessment Guide, Electricity Supply-1993, Electric Power Research Institute, Volume 1: Rev. 7, June 1993. Report EPRI TR-102276-V1R7.

[121] Industry O&M Panel at the Utility Wind Interest Group Technical Workshop, August 14, 1996. Also published in "Wind Watch," Vol. 1, No. 3, September, 1996.

[122] Bone, D., "**Wind Energy on the Southern California Edison System**," Proceedings of the UWIG Technical Workshop, Minneapolis, MN, August 14, 1996, pg. 4.

[123] Private communication with windfarm developer, 1992.

[124] Wind, T.A., "**Wind Farm Feasibility Study for the Iowa Association of Municipal Utilities**," April 1996.

[125] Hassenzahl, W.V., Energy Storage in a Restructured Electric Utility Industry—Report on EPRI Think Tanks I and II: September 1997. Report EPRI TR-108894.

[126] Bos, P.B., and Borja, D.B., Strategic Assessment of Storage Plants, Economic Studies—Benefits Under a Regulated Versus Deregulated Utility, Polydyne, Inc.: January 1990. Report EPRI GS-6657.

[127] Fancher, R.B., et al, Dynamic Operating Benefits of Energy Storage, Decision Focus, Inc.: October 1986. Report EPRI AP-4875.

[128] Anderson, M.D., et al, "**Assessment of Utility-Side Cost Savings for Battery Energy Storage**," IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 12, No. 3, pp. 1112-1120, August 1997.

[129] Butler, P.C., Battery Energy Storage for Utility Applications: Phase I - Opportunities Analysis, Sandia National Laboratories: November 1995. Report SAND95-2605.

[130] Zaininger, H.W., Enhancing Wind and Photovoltaic Plant Value to Sacramento Municipal Utility District with Storage, Interim Report to Sandia National Laboratories: April 1995.

[131] Zaininger, H.W., and P.R. Barnes, Applying Wind Turbines and Battery Storage to Defer Orcas Power and Light Company Distribution Circuit Upgrades, Oak Ridge National Laboratories, Oak Ridge, TN: March 1997. Report ORNL-Sub/96-SV115/1.

- [132] Salt River Project Residential Photovoltaic-Battery Energy Storage System Project, Electric Power Research Institute: January 1997. EPRI Report TC3779-003.
- [133] Perez, R., "**Grid-Connected Photovoltaic Power**," presented at Energy Storage Association meeting (April 1997) .
- [134] Zaininger, H.W., et al, Potential Economic Benefits of Battery Storage to Electrical Transmission and Distribution Systems, Power Technologies, Inc.: January, 1990. Report EPRI GS-6687
- [135] DeSteele, J.G., et al, Utility Benefits of SMES in the Pacific Northwest, Battelle Northwest Laboratory: September 1996. Report EPRI TR-104802.
- [136] Torre, W.V. et al, Evaluation of Superconducting Magnetic Energy Storage for San Diego Gas & Electric, San Diego Gas & Electric Company: August 1997. Report EPRI TR-106286.
- [137] Akhil, A.A., L. Lachenmeyer, S.J. Jabbour, and H.K. Clark, Specific Systems Studies of Storage for Electric Utilities, Sandia National Laboratories: August 1993. Report SAND93-1754.
- [138] Norris, B.L., Economic Analysis of Distributed Battery Energy Storage, Pacific Gas & Electric: January 1994 . Report 007.5-94.1.
- [139] Power Quality in Commercial Buildings, Electric Power Research Institute: 1995. Report EPRI BR-105018.
- [140] U.S. Department of Energy, Photovoltaics: the Power of Choice, DOE/GO10096-017, January 1996.
- [141] U.S. Department of Energy, Photovoltaic Fundamentals, DOE/CH10093-117-Rev. 1, February 1995.
- [142] "**PV Balance of System Brief #3**," Sandia National Laboratories, October, 1993, World Wide Web , http://www.sandia.gov/Renewable_Energy/PV_Now/BOS/brief3.html.
- [143] Chapman, R.N., "**Hybrid Power Technology for Remote Military Facilities**," Ninth International Power Quality Solutions/International Power Quality Solutions/Alternative Energy Conference: Power System World '96 Conference and Exhibit, September 1996, pp. 415-427.
- [145] Parker, S.P., ed., Encyclopedia of Energy, McGraw-Hill, 1981.
- [146] Electric Power Research Institute, Compressed Air Energy Storage: 1994. EPRI Brochure BR-102936.
- [147] Zink, J.C., "Who Says You Can't Store Electricity?" Power Engineering, March 1997, pp. 21-25.

[148] Akhil, A.A., S.K. Swaminathan, and R.K. Sen, Cost Analysis of Energy Storage for Electric Utility Applications , Sandia National Laboratories: February 1997. Report SAND97-0443.

[149] R&D Subcommittee Report on Capacitors, Power Sources Manufacturers Association: 1995.

[150] E. C. Swensen, "**CAES Status and the AEC 110 MW Plant,**" Energy Storage Association Spring Meeting 1997, April 30-May 1, 1997.

[151] Hammond, R.L., et al., Photovoltaic Battery and Charge Controller Market and Applications Study, Sandia National Laboratories: December 1996. Report SAND96-2900.