



**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ: ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΕΣ
ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΝΕΟΥ
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΣΤΗΡΙΞΗΣ**

**Άγγελος Τσακανίκας,
Υπεύθυνος Ερευνών IOBE
Υποβληθείσα εργασία (με Γ.Μανιάτη, S.Danchev) στο
Renewable and Sustainable Energy Reviews**

Σεμινάρια Ερμούπολης 2009
*Ομάδα για την Τεχνολογική, Οικονομική και Στρατηγική
Ανάλυση της Κοινωνίας της Πληροφορίας του Εργαστηρίου
Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας του ΕΜΠ*

Κοινοτικές πολιτικές για καταπολέμηση κλιματικής αλλαγής και ενεργειακή ασφάλεια

- Δεσμευτικοί στόχοι για διείσδυση ΑΠΕ (στρατηγική του 20-20-20)
 - 20% μείωση αερίων θερμοκηπίου
 - 20% εξοικονόμηση ενέργειας
 - 20% από ΑΠΕ
- Στόχος Ελλάδας: 18% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας από ΑΠΕ
 - Ανάγκη για γρήγορη ανάπτυξη και εφαρμογή περιβαλλοντικά φιλικών τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ: ΦΒΣ

- Επιλογή που συνεισφέρει αρκετά στην επίτευξη του εθνικού στόχου, δεδομένης της ευρείας ηλιοφάνειας και ακτινοβολίας που δέχεται η Ελλάδα
- Όμως: χαμηλός βαθμός εμπορικής ωριμότητας των ΦΒΣ, σε σύγκριση με συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ΗΕ, αλλά και ώριμες εμπορικά τεχνολογίες ΑΠΕ (ανεμογεννήτριες)
- Άρα για να καταστεί ελκυστική μια επένδυση σε αυτή την τεχνολογία απαιτούνται γενναιόδωροι μηχανισμοί στήριξης:
 - Επιδότηση επένδυσης, υψηλή εγγυημένη τιμή αγοράς της παραγόμενης από ΦΒΣ ενέργειας (feed-in tariff) μέσω ειδικού τέλους (τιμολόγια ΔΕΗ),
 - Ποσοτικός περιορισμός της ισχύος ΦΒΣ που μπορούσε να εγκατασταθεί στο ηλεκτρικό σύστημα (790 MW)
- Ενσωμάτωση στο εθνικό πρόγραμμα ανάπτυξης των ΑΠΕ (ν.3468/2006)

Ισχυρό επενδυτικό ενδιαφέρον

- Μέχρι Μάρτιο 2008: 7.947 αιτήσεις για 3.756 MW
- Υπερκαλύφθηκε ο ποσοτικός περιορισμός
- Ανάγκη για δύο σημαντικές προσαρμογές του μηχανισμού στήριξης.
 1. Κατάργηση ποσοτικού περιορισμού (άρα τα ΦΒΣ μπορούν να συνεισφέρουν ακόμα περισσότερο στην επίτευξη του εθνικού στόχου)
 2. Σταδιακή αποκλιμάκωση εγγυημένης τιμής, έτσι ώστε να αποκλιμακώνεται και η επιβάρυνση των καταναλωτών (Ειδικό Τέλος ΑΠΕ)

Νέο θεσμικό πλαίσιο στήριξης παραγωγής ΗΕ από ΦΒΣ

- Ο παραγωγός αμείβεται με την εγγυημένη τιμή που ισχύει τη χρονική στιγμή σύναψης 20 ετούς σύμβασης με το διαχειριστή
 - Προϋπόθεση: δοκιμαστική λειτουργία ή δοκιμαστική λειτουργία ενεργοποίησης σύνδεσης ΦΒΣ εντός 18 μηνών για σταθμούς με ισχύ έως 10 MW και 36 μηνών για σταθμούς > 10 MW.
- Αποκλιμάκωση εγγυημένων τιμών σε εξαμηνιαία βάση (από Αύγ. 2010):
 - Εγγυημένες τιμές: διαφοροποιούνται ανάλογα με ισχύ (100 kW) και γεωγραφική ζώνη (διασυνδεδεμένο σύστημα ή μη διασυνδεδεμένα νησιά),
 - Σταδιακή μείωση μέχρι τον Αύγουστο 2014 κατά 35% από το αρχικό τους ονομαστικό επίπεδο, που κυμαίνεται από 400-500 €/MWh.
- Ιανουάριος 2015: σύνδεση εγγυημένων τιμών με μέση οριακή τιμή συστήματος όπως αυτή διαμορφώνεται το προηγούμενο έτος, προσαυξημένες κατά 30% - 50% ανάλογα με μέγεθος ισχύος και γεωγραφική ζώνη εγκατάστασης
- Ευνοϊκότερη αντιμετώπιση (υψηλότερες εγγυημένες τιμές) ΦΒΣ με ισχύ <100 kW, που εγκαθίστανται στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα.

Πλαίσιο κινήτρων επενδυτών

- Η αποκλιμάκωση εγγυημένων τιμών πιέζει τους κατασκευαστές ΦΒΣ για βελτίωση αποτελεσματικότητας και μείωση κόστους
- Περιορίζει ενδεχόμενη κατάχρηση δύναμής τους στην αγορά
- Μετριάζει την επιβάρυνση των καταναλωτών (ειδικό τέλος ΑΠΕ)
- Όμως, εφόσον οι τεχνολογικές εξελίξεις δεν είναι οι αναμενόμενες, ενδέχεται η ανάπτυξη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒΣ να διακοπεί αν οι εγγυημένες τιμές δεν καλύπτουν το κόστος κατασκευής
- Θεσμική ευελιξία: ετήσια αναπροσαρμογή των εγγυημένων τιμών λόγω βάσει καταγραφόμενου πληθωρισμού, αλλά και προσαρμογή σε άλλες πιθανές μεταβολές, ώστε να διασφαλίζεται μερική προστασία εσόδων

Αξιολόγηση επένδυσης σε ΦΒΣ

- Αξιολόγηση με βάση IRR για 20ετία

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + IRR)^t} = 0$$

- IRR: επιτόκιο που εξισώνει την συνολική ΠΑ των ταμιακών εισροών με τη συνολική ΠΑ των ταμιακών εκροών: το υψηλότερο επιτόκιο που μπορεί να πληρώσει ο επενδυτής, χωρίς να κινδυνεύει να χάσει τα κεφάλαια που διέθεσε στην επένδυση

Υποθέσεις εκτίμησης

- Αρχική επενδυτική δαπάνη	Ίδια κεφάλαια: 25% του κόστους. Υποθέτουμε (α) μέγιστη δυνατή επιδότηση κόστους ανά περιοχή, (β) δανεισμός 10 ετών με επιτόκιο 7% για το υπόλοιπο και (γ) σταδιακή μείωση κόστους από ~5.700 €/kW με βάση διεθνείς μελέτες.
+Έσοδα από πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσότητα παραγωγής επί εγγυημένη τιμή πώλησης. Συγκεκριμένης τεχνολογίας ΦΒΣ (σταθερής θέσης με συντελεστή 2/3 και περιστρεφόμενου με 2 άξονες, με συντελεστή 1/3, κρυσταλλικού πυριτίου με 14% συντελεστή συστημικής απώλειας και με βέλτιστη κλίση και βέλτιστο προσανατολισμό). Έχει προβλεφθεί: (α) αύξηση εγγυημένης τιμής κατά το 25% του πληθωρισμού του προηγούμενου έτους και (β) μείωση μέσης ποσότητας παραγωγής κατά 0,8% ετησίως λόγω απωλειών στην απόδοση των ΦΒΣ
-Αποπληρωμή κεφαλαίου -Πληρωμή τόκων	Εξαμηνιαίες καταβολές
-Κόστος συντήρησης	~ 1% του συνολικού επενδυτικού κόστους ετησίως
-Αποσβέσεις*	5% του επενδυτικού κόστους ετησίως (απόσβεση σε 20 έτη)
-Φόρος εισοδήματος	25%
=Καθαρή Χρηματική Ροή	Ροές κεφαλαίων σε σταθερές τιμές 2008, με υπόθεση για πληθωρισμό 2% ετησίως

Αποτελέσματα: Τι περιμένουμε

- Διαφορετικά IRR λόγω διαφορετικής εγγυημένης τιμής ανάλογα με ισχύ και γεωγραφική εγκατάσταση των ΦΒΣ, αλλά και μέση θερμοκρασία και διαφορές στην ηλιακή ακτινοβολία, αλλά και ποσοστού επιδότησης
 - Περιοχές με υψηλότερη ηλιακή ακτινοβολία, χαμηλότερη μέση θερμοκρασία, υψηλότερο μέγιστο ποσοστό επιδότησης και ΦΒΣ < 100 kW (υψηλότερη τιμή) σε μη διασυνδεδεμένα νησιά αναμένεται να εμφανίζουν υψηλότερους IRR, *ceteris paribus*.

Αποτελέσματα

Περιφέρεια / Ζώνη	IRR	
	> 100kW	<= 100kW
Βορείου Αιγαίου	21,9%	30,5%
Νοτίου Αιγαίου	19,1%	27,6%
Κρήτης	17,8%	26,1%
Πελοποννήσου	16,8%	25,1%
Δυτικής Ελλάδος	15,0%	22,9%
Ηπείρου	14,7%	22,6%
Αν. Μακεδονίας και Θράκης	14,1%	21,9%
Δυτικής Μακεδονίας	12,7%	20,4%
Στερεάς Ελλάδος	12,1%	19,6%
Κεντρικής Μακεδονίας	11,5%	19,0%
Θεσσαλίας	10,9%	18,3%
Ιονίων Νήσων	10,9%	18,2%
Αττικής	10,2%	17,4%
Διασυνδεδεμένο Σύστημα	13,5%	16,7%
Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά	20,2%	23,8%

Επενδύσεις σε ΦΒΣ που υλοποιούνται τον Ιανουάριο του 2009

Αποτελέσματα επενδύσεων (01/01/2009)

- Νησιά Αιγαίου και Κρήτη (μη διασυνδεδεμένο σύστημα), εμφανίζουν καλύτερη αποδοτικότητα, ανεξάρτητα από μέγεθος ισχύος του ΦΒΣ
- Μικρότερης ισχύος ΦΒΣ παρουσιάζουν μεγαλύτερο IRR λόγω υψηλότερων εγγυημένων τιμών
- Ιδιαίτερη σημασία στο % επιδότησης, καθώς στην Αττική, όπου η ηλιακή ακτινοβολία και η δυνητική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλότερη συγκριτικά με άλλες περιοχές, λόγω χαμηλής επιδότησης προκύπτει χαμηλή αποδοτικότητα της επένδυσης
- Καθοριστική η ένταξη των σχετικών επενδύσεων στον αναπτυξιακό νόμο: χωρίς επιδότηση και με δεδομένο το συνολικό κόστος, η επένδυση σε ΦΒΣ μπορεί να μην είναι ελκυστική, ακόμα και με τις πλέον ευνοϊκές εγγυημένες τιμές

Ανάλυση ευαισθησίας

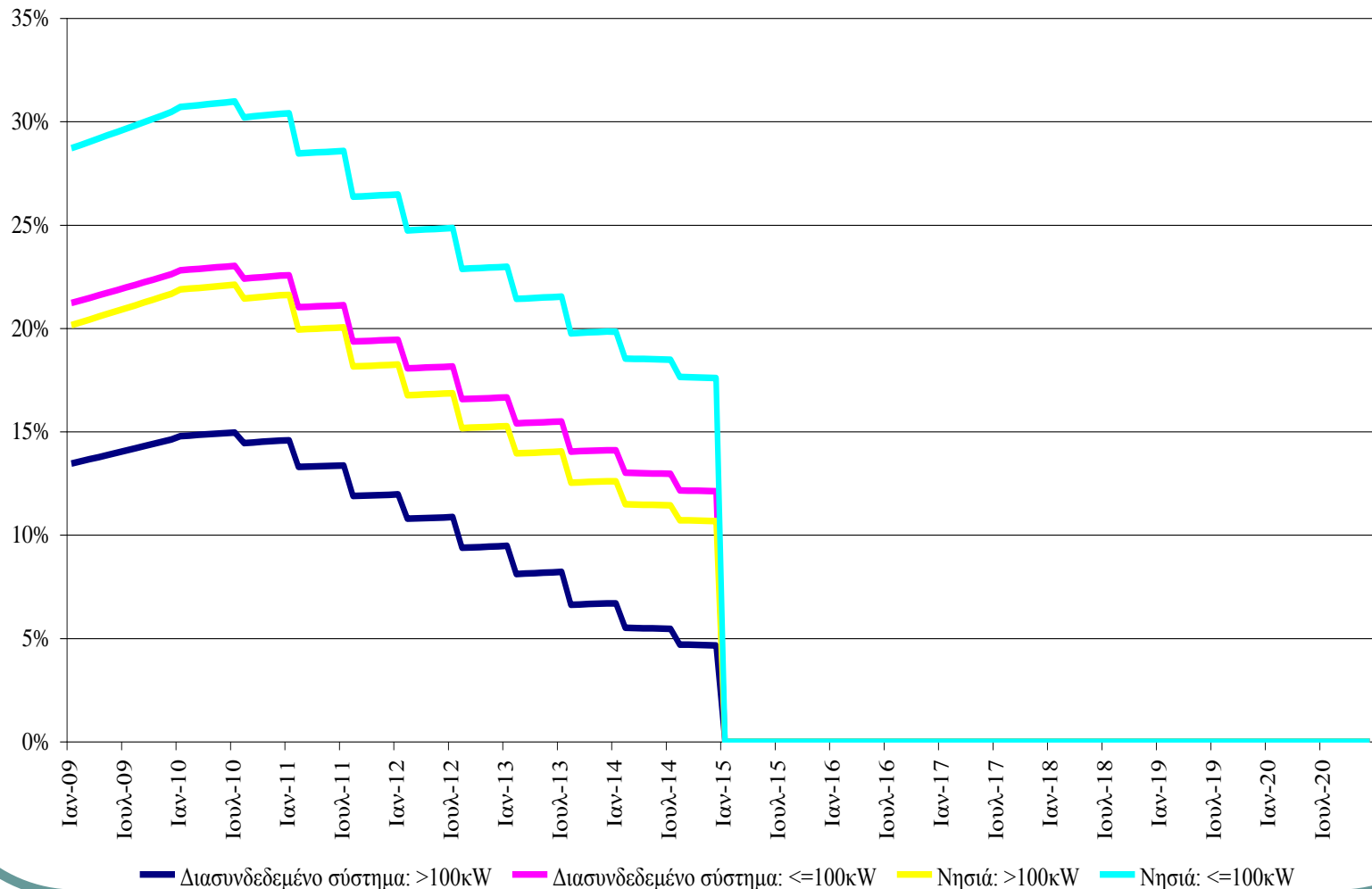
IRR calculations for a PVS in the interconnected system with capacity less than 100 kW and contract date January 2009

Parameter name	Units	- 25%		Reference case		+ 25%	
		Value	IRR	Value	IRR	Value	IRR
Investment cost	€/08/kW	4,278	31.5%	5,704	21.2%	7,129	15.1%
Investment subsidy	%	41%	15.1%	55%	21.2%		
Loan interest rate	%	5.3%	21.8%	7.0%	21.2%	8.8%	20.6%
Loan duration	years	7.5	20.4%	10	21.2%	12.5	22.3%
Inflation rate	%	1.5%	21.7%	2.0%	21.2%	2.5%	20.8%
Operating expenses	% of i.c.	0.75%	22.0%	1.0%	21.2%	1.25%	20.4%
Annual production	kWh/kW	995	13.6%	1,327	21.2%	1,659	28.9%
Productivity loss	%	0.6%	21.4%	0.8%	21.2%	1.0%	20.9%
xCPI rule	%	19%	21.0%	25%	21.2%	31%	21.3%
Income tax	%	19%	21.9%	25%	21.2%	31%	20.5%

Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας

- Ανάλυση ευαισθησίας στις εξωγενείς παραμέτρους ± 25 σε σχέση με το σενάριο βάσης.
- Τρεις παράμετροι οι πλέον ευαίσθητοι: το κόστος της επένδυσης, το ύψος της επιδότησης και η ετήσια παραγωγή.
- Μεγάλη σημασία του κόστους της επένδυσης
- Ανάγκη για σχεδιασμό με τις βέλτιστες συνθήκες (θερμοκρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας) ώστε να μεγιστοποιείται η ετήσια παραγωγή

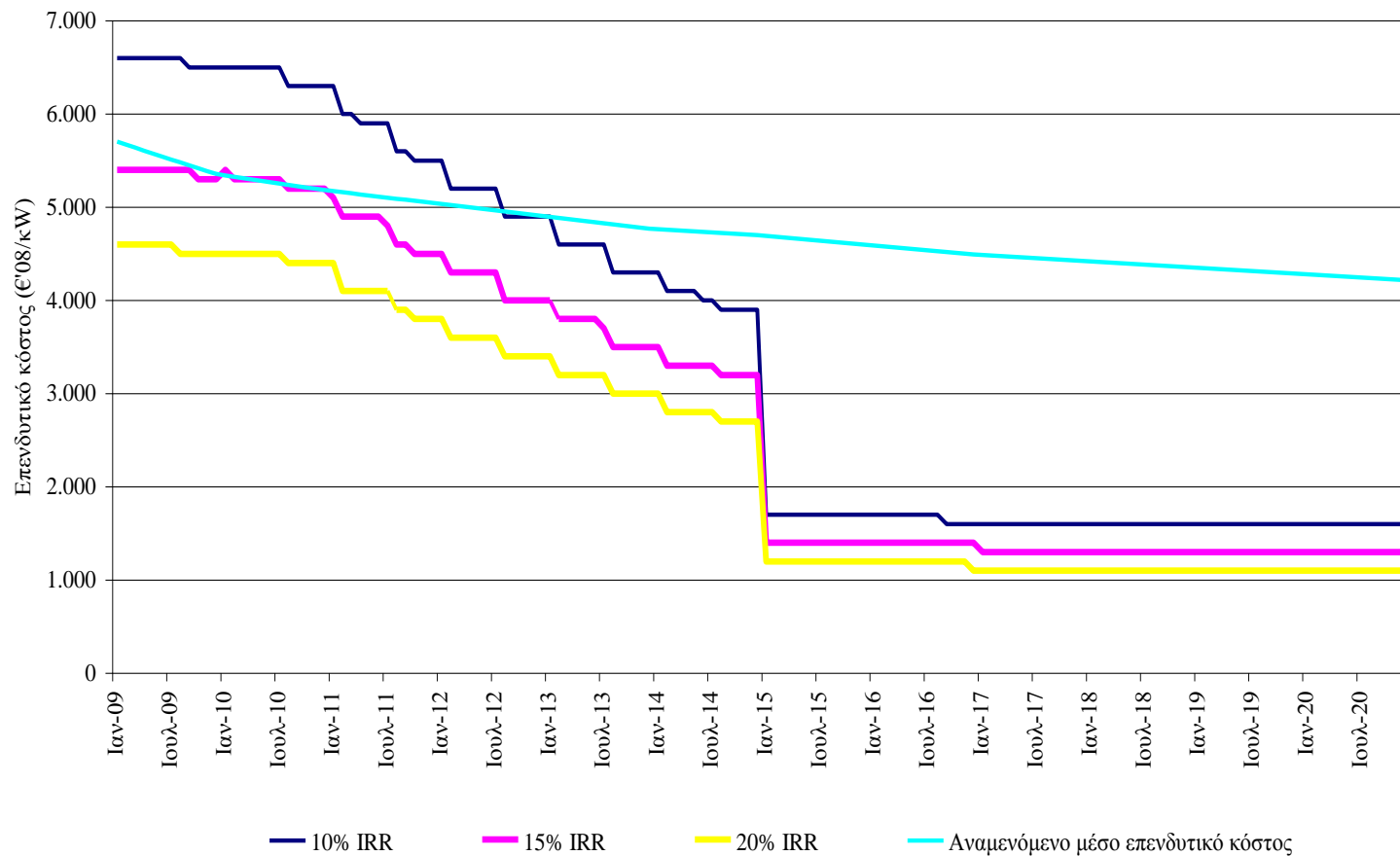
Διαχρονική εξέλιξη αποδοτικότητας επένδυσης



Αποτελέσματα

- Κάθε εξάμηνο: αποκλιμάκωση εγγυημένων τιμών αλλά και μείωση επενδυτικού κόστους (~2,5%) με βάση υποδείγματα τεχνολογικής εκμάθησης (οι υπόλοιποι παράγοντες αμετάβλητοι)
- Το 2015 εξίσωση με εκτιμώμενη μέση οριακή τιμή συστήματος.
- Φθίνων IRR μέχρι Ιανουάριο του 2015, όταν η εγγυημένη τιμή συνδέεται με την οριακή τιμή του συστήματος με μια προσαύξηση της τάξης του 30% έως 50%, ο IRR μηδενίζεται
- Με τον αναμενόμενο ρυθμό μείωσης του επενδυτικού κόστους, οι εγγυημένες τιμές μετά το 2015 – εφόσον η μέση οριακή τιμή συστήματος κινηθεί όπως εκτιμάται– δεν καλύπτουν το επενδυτικό κόστος.
- Αλλά ακόμα και πριν το 2015, ο IRR ενδέχεται να μην ξεπερνά το κόστος ευκαιρίας κεφαλαίου

Διαχρονική εξέλιξη επενδυτικού κόστους για IRR (Διασυνδεδεμένο σύστημα, ισχύς ΦΒΣ > 100kW)



Αποτελέσματα

- Τεχνολογικές εξελίξεις και πορεία ενεργειακών αγορών επηρεάζουν το επενδυτικό κόστος και την οριακή τιμή συστήματος, αποτελώντας βασικούς παράγοντες αβεβαιότητας για το κατά πόσο:
 - (α) θα υλοποιηθούν τα επενδυτικά προγράμματα και (β)
 - θα επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή συνεισφορά των ΦΒΣ στην προσπάθεια προσέγγισης των εθνικών στόχων ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο.
- Αναγκαία η μείωση του επενδυτικού κόστους προκειμένου η επένδυση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ΦΒΣ να διατηρήσει ένα εύλογο IRR ($> 10\%$).
- Ειδικά μετά το 2015, το επενδυτικό κόστος θα πρέπει να προσεγγίσει επίπεδα κατά 65% έως 75% χαμηλότερα συγκριτικά με το αναμενόμενο με βάση διεθνείς μελέτες μέσο επενδυτικό κόστος για να είναι επικερδής η είσοδος στον κλάδο.
- Για να επιτευχθούν όμως μειώσεις τέτοιου μεγέθους απαιτούνται άλματα της τεχνολογίας των ΦΒΣ και επίτευξη σημαντικών οικονομιών κλίμακας

Συμπεράσματα

- Παρά την κατά πολύ υψηλότερη από τη χονδρική τιμή ηλεκτρικής ενέργειας που εισπράττουν οι παραγωγοί ενέργειας με ΦΒΣ, οι επενδυτικές αποδόσεις δεν είναι εγγυημένες
- Καθοριστική η εξασφάλιση υψηλής επιδότησης του κόστους για την ελκυστικότητα της επένδυσης, καθώς και η γεωγραφία και η διασύνδεση στο σύστημα ηλεκτροδότησης
- Η διαχρονική εξέλιξη της αποδοτικότητας εξαρτάται κρίσιμα από το ρυθμό αποκλιμάκωσης των τιμών προμήθειας των ΦΒΣ, ο οποίος δύσκολα μπορεί να προβλεφθεί, καθώς η ζήτηση για τα ΦΒΣ επηρεάζεται έντονα από τις πολιτικές στήριξης οι οποίες δεν είναι συντονισμένες μεταξύ των χωρών.
- Εφόσον το επενδυτικό κόστος δεν μειωθεί δραστικά, μετά το 2015 (απαιτούνται όμως τεχνολογικά άλματα ή μεγάλες οικονομίες κλίμακας) με τον υφιστάμενο μηχανισμό στήριξης η είσοδος στον κλάδο δεν θα είναι αποδοτική
- Η πολιτική στήριξης θα πρέπει να αναθεωρηθεί προκειμένου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒΣ να συνεχίσει να συνεισφέρει στην προσπάθεια επίτευξης των εθνικών στόχων για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο και μετά το 2015

Ευχαριστώ πολύ !

Επικοινωνία: Άγγελος Τσακανίκας

atsakanikas@iobe.gr

Τηλ.: 210-9211265