

## ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:

### ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΣΦΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ<sup>1</sup>

Π. Κάπρος, Λ. Μάντζος, Κ. Ντελκής

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο<sup>2</sup>

Πατησίων 42, Αθήνα 10682

Τηλ. 7723641 Fax 7723630, e-mail kapros@central.ntua.gr

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ:** Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από σειρά ενεργειακών αναλύσεων που πραγματοποίησε η ερευνητική μας ομάδα στο ΕΜΠ για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Τα αποτελέσματα αφορούν στο σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και έχουν προκύψει από μεγάλο μεγέθους μαθηματικά μοντέλα του ενεργειακού συστήματος, κυρίως από το PRIMES και το MIDAS, που έχουν αναπτυχθεί στο ΕΜΠ. Οι ενεργειακές αναλύσεις περιλαμβάνουν σενάρια αναφοράς (ΓΔ 17), μελέτες μέτρων πολιτικής για την επίτευξη των στόχων του Κυότο (ΓΔ 12, 17 και 11), αλλά και μακροχρόνιες αναλύσεις με έμφαση στην τεχνολογική πρόοδο (ΓΔ 12). Η εργασία καταλήγει τονίζοντας το σημαντικό ρόλο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όταν το πρόβλημα του περιβάλλοντος κυριαρχεί στη στρατηγική της ενεργειακής πολιτικής, αλλά και τη σημασία της τεχνολογικής πρόοδου σε μακροχρόνια προοπτική. Η εργασία τονίζει επίσης ότι η προεξόφληση της μελλοντικής τεχνολογικής προόδου στις ανανεώσιμες πηγές απαιτείται σήμερα για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητάς τους στις συνθήκες της απελευθερούμενης αγοράς ενέργειας.

#### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα τελευταία χρόνια η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΕ) υποστήριξε πολλές ποσοτικές αναλύσεις για τη μακροχρόνια προοπτική του ενεργειακού συστήματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ). Η απειλή από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προέρχονται από τη καύση ορυκτών ενεργειακών μορφών ενέργειας, ιδιαίτερα το φάσμα κλιματικής μεταβολής σαν αποτέλεσμα εκπομπών CO<sub>2</sub> υπήρξε το αντικείμενο των περισσότερων από αυτές τις αναλύσεις. Τρεις ήταν οι θεματικές ενότητες των σχετικών μελετών και αφορούσαν:

- Το πρόβλημα της συμβατότητας των περιβαλλοντικών απαιτήσεων με τους στόχους της ενεργειακής πολιτικής, σχετικούς με την επιδίωξη ασφαλούς ενεργειακής τροφοδοσίας χαμηλού κόστους.
- Το ερώτημα του κατά πόσον οι απελευθερούμενες ενεργειακές αγορές μπορούν να εσωτερικοποιήσουν τα μακροχρόνια ζητήματα του περιβάλλοντος και της προόδου των ενεργειακών τεχνολογιών.
- Το ερώτημα κατά πόσον η σημερινή ενεργειακή και τεχνολογική πολιτική μπορεί να εξασφαλίσει και ίσως να επιταχύνει την τεχνολογική πρόοδο σε μακροχρόνια βάση.  
Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κατέχουν βασικό ρόλο στα πλαίσια αυτά. Κατ' αρχήν, όπως πάντοτε,

αποτελούν τη μακροχρόνια λύση στο πρόβλημα της ασφαλούς ενεργειακής τροφοδοσίας δεδομένης της εξαντλησιμότητας των ορυκτών πόρων. Συνυπολογίζοντας το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής, οι ανανεώσιμες πηγές αποτελούν επίσης βιώσιμη λύση σε μακροχρόνια προοπτική.

Το βασικό οικονομικό ερώτημα συνίσταται στο πώς οι αγορές θα μπορέσουν να αποδεχθούν προσωρινά αυξημένο κόστος ώστε να συσσωρευθεί ο απαραίτητος όγκος κεφαλαίου στις ανανεώσιμες πηγές που θα επιτρέψει τις οικονομίες κλίμακος και την επιταχυνόμενη τεχνολογική πρόοδο. Με άλλα λόγια, το ερώτημα έγκειται στον προσδιορισμό της πολιτικής που θα οδηγήσουν τις αγορές στην προεξόφληση σήμερα του μελλοντικού δυναμικού τεχνολογικής προόδου των ανανεώσιμων πηγών.

Ο συλλογισμός αυτός οδήγησε την ΕΕ σε μέτρα πολιτικής όπως:

- Την επιδότηση της έρευνας και ανάπτυξης για τις τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών.
- Τον υπολογισμό του εξωτερικού κόστους από τη χρήση ορυκτών πόρων και την προώθηση της ιδέας κοστολόγησης της ενέργειας στο συνολικό κόστος.
- Την εξέταση της περίπτωσης επιβολής κατώτερου υποχρεωτικού ορίου ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές, ιδίως στα πλαίσια των

<sup>1</sup> Οι απόψεις και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην εργασία δεν δεσμεύουν την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και δεν απηχούν απαραίτητα τις απόψεις της. Στηρίζονται σε επιστημονική έρευνα και είναι δυνατόν να τροποποιηθούν.

<sup>2</sup> Οι συγγραφείς είναι αντίστοιχα Καθηγητής ΕΜΠ, Διδάκτωρ Ερευνητής του ΕΠΙΣΕΥ και Επιστημονικός Συνεργάτης ΕΜΠ. Οι αναλύσεις που παρουσιάζονται στην εργασία έχουν πραγματοποιηθεί στο ΕΜΠ και είναι αποτέλεσμα συλλογικής εργασίας στην οποία συμμετείχαν πολλοί ακόμα ερευνητές. Σημαντική συμβολή είχε και ο Ελ. Βουγιούκας (ανεξάρτητος εμπειρογνώμονας).

απελευθερούμενων αγορών όπου τα προεξοφλητικά επιτόκια αυξάνουν.

- ο Την εξέταση της περίπτωσης επιβολής ειδικού φόρου κατανάλωσης στην ενέργεια που θα αντανάκλα τα μελλοντικά περιβαλλοντικά κόστη.

## 2. ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Τα ενεργειακά μας μοντέλο MIDAS και πρόσφατα το PRIMES χρησιμοποιούνται συστηματικά (από το 1991) στα πλαίσια της ΓΔ 17 της ΕΕπ για την κατασκευή σεναρίων αναφοράς. Αναφέρουμε κατά χρονολογική σειρά τα σενάρια: A View to the Future (1992), European Energy to 2020 (1995-1996), Pre-Kyoto Baseline (1997) και Baseline for Shared Analysis (1998). Σκοπός των σεναρίων αυτών ήταν η ποσοτικοποίηση της προβολής των ενεργειακών εξελίξεων με τρόπο ώστε να χρησιμεύουν σαν σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση εναλλακτικών ενεργειακών πολιτικών. Σκοπός επίσης ήταν τα σενάρια αυτά να αποτελέσουν αναφορά για την ανάλυση πολιτικής από τρίτους, και όχι μόνο για την ΕΕπ.

### 2.2 Προβολές για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

‘Όλα τα σενάρια αναφοράς προβλέπουν σημαντική αύξηση της πρωτογενούς ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η αύξηση προέρχεται κυρίως από πηγές εκτός παραδοσιακών υδρο-ηλεκτρικών, η διείσδυση νέων ανανεώσιμων τεχνολογιών πρέπει να θεωρηθεί ιδιαίτερα σημαντική. Ακόμα και στα πλαίσια αυτής της πρόβλεψης, που είναι σχετικά συντηρητική για τις ανανεώσιμες πηγές, οι νέες ανανεώσιμες τεχνολογίες θα αποτελέσουν αντικείμενο σημαντικής νέας βιομηχανίας στην ΕΕ και θα απαιτήσουν σημαντική υποστήριξη σε βιομηχανική κλίμακα και συνοδευτικές υπηρεσίες.

Όμως, επειδή το αρχικό επίπεδο των ανανεώσιμων πηγών είναι σχετικά χαμηλό στην ΕΕ, παρόλη την αύξηση, η συνεισφορά τους στην πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση της ΕΕ παραμένει μικρή μέχρι το 2020. Η συνεισφορά αυτή κυμαίνεται από 6% μέχρι 15% το 2020, ανάλογα με το σενάριο.

Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι οι σχετικά αισιόδοξες προβλέψεις για τις ΑΠΕ που επικρατούσαν πρό μερικών ετών και καταγράφηκαν στα σενάρια του “European Energy to 2020”, οφείλονταν σε υπερεκτίμηση των δυνατοτήτων διείσδυσης της βιομάζας και ιδιαίτερα των βιο-καυσίμων, στα πλαίσια βέβαια ενός σεναρίου αναφοράς. Σήμερα πάντως οι προβλέψεις για τα βιο-καύσιμα και τη χρήση της βιομάζας (εκτός της χρήσης λυμάτων για ενεργειακούς σκοπούς) είναι σαφώς πιο συντηρητικές.

Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι η διαμορφούμενη απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η επαγόμενη αύξηση των προεξοφλητικών επιτοκίων (που αντανάκλουν αυξημένο ρίσκο για τις επιχειρήσεις), έχει ήδη οδηγήσει σε επανεκτίμηση

προς τα κάτω για τις προοπτικές και των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει χαρακτηριστικά τη μείωση των προσδοκιών για τις προοπτικές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ΕΕ στα πλαίσια των βασικών σεναρίων της ΕΕπ.

**Πίνακας 1: ΑΠΕ στα βασικά σενάρια της ΓΔ 17**

Renewables in Primary Energy		1995	2000	2010	2020
<u>Scenario: Baseline 1998</u>					
	ktoe	71.4	78.8	81.9	90.4
	% in Primary	5.2	5.4	5.2	5.6
<u>Scenarios: Pre-Kyoto Baseline 1997</u>					
	% in Primary	5.2	5.7	6.5	7.1
<u>Scenarios: European Energy to 2020</u>					
Conv. Wisdom	% in Primary	5.3	5.7	7.7	10.0
Battlefield	% in Primary	5.3	5.5	7.4	9.5
Forum	% in Primary	5.3	5.8	9.0	13.7
Hypermarket	% in Primary	5.3	5.5	7.6	10.2

Σε αυτή τη μείωση των προοπτικών των ΑΠΕ συμβάλλει σημαντικά η προσδοκία για σαφώς χαμηλότερες, από προηγούμενα σενάρια, τιμές εισαγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου στην ΕΕ. Οι σημερινές προβλέψεις είναι περίπου 30 με 40% χαμηλότερες για όλη την περίοδο προβολής.

**Πίνακας 2: Ανανεώσιμες κατά κατηγορία**

Renewables by type	1990	1995	2000	2010	2020
<u>Scenario: Baseline 1998</u>					
Hydro	22.3	24.9	27.8	28.1	28.2
Biomass and Waste	39.2	43.6	45.3	44.5	53.5
Wind, solar, geoth.	2.4	3.0	6.1	9.7	12.2
<u>Scenarios: Pre-Kyoto Baseline 1997</u>					
Hydro	22.3	25.6	27.8	29.8	30.5
Biomass and Waste	39.2	38.1	50.6	65.4	76.3
Wind, solar, geoth.	2.4	3.1	5.0	7.7	9.8

Όπως δείχνει όμως ο Πίνακας 2 η πτώση των προσδοκιών αφορά κυρίως τη βιομάζα (και βιοκαύσιμα). Αντίθετα είναι ευνοϊκότερες οι προβλέψεις για τα αιολικά.

Σε κάθε όμως περίπτωση, οι χαμηλές τιμές ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με προοπτική συγκράτησης ή και μείωσης των περιθωρίων κέρδους στην ηλεκτροπαραγωγή, σαν αποτέλεσμα της απελευθέρωσης, επιβαρύνουν την ανταγωνιστικότητα των ΑΠΕ. Μάλιστα πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω προβλέψεις, στα πλαίσια σεναρίων αναφοράς, υποθέτουν συνέχιση των σημερινών πολιτικών πολλών χωρών της ΕΕ που περιλαμβάνουν διάφορα μέτρα επιδότησης (έμμεσης ή άμεσης) της παραγωγής από ΑΠΕ.

Το βασικό συμπέρασμα της ανάλυσης αυτής είναι ότι με τα σημερινά δεδομένα και πολιτικές, οι προοπτικές θεαματικής ανάπτυξης των ΑΠΕ στην ΕΕ είναι περιορισμένες και μάλιστα δυσμενέστερες του πρόσφατου παρελθόντος. Απέχουν δε σημαντικά του στόχου πολιτικής που έχει θέσει η ΕΕπ.

### 3. Οι Αναλύσεις για τους Στόχους του Κυότο

#### 3.1 Εισαγωγή

Κατά το χρονικό διάστημα πρό της Διάσκεψης στο Κυότο, τον Δεκέμβριο 1997, για την κλιματική αλλαγή, η ΕΕ διαμόρφωσε την εισήγησή της, που περιλάμβανε στόχο μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> το 2010 κατά 8% σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπών του 1990.

Στα πλαίσια αυτά πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σχετικές με το κόστος που συνεπάγεται ο στόχος αυτός, αλλά και τις δυνατότητες μέτρων πολιτικής να επιτύχουν τη μείωση. Ο κατάλογος των μέτρων πολιτικής περιλάμβανε ρυθμιστικές παρεμβάσεις στους τομείς της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας σε διάφορους κλάδους, την προώθηση της συμπαραγωγής και την υποστήριξη της διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ποσοτική ανάλυση για την ΕΕπ πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο PRIMES για την ΕΕ. Κατασκευάστηκαν δύο σενάρια πολιτικής εναλλακτικά του σεναρίου αναφοράς (pre-Kyoto baseline) με ορίζοντα το 2010.

Σκοπός του πρώτου σεναρίου (KATREN: Kyoto Advanced Technologies and Renewables Scenario) ήταν η ανάλυση των αποτελεσμάτων που το πακέτο μέτρων πολιτικής θα είχε στο ενεργειακό σύστημα και στη μείωση των εκπομπών. Σε αυτό το σενάριο τα μέτρα πολιτικής θεωρήθηκαν δεδομένα. Ο ρόλος του μοντέλου ήταν η ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς. Τα μεγέθη για κάθε μέτρο πολιτικής προσαρμόστηκαν σύμφωνα με όσα είχαν παράλληλα συζητηθεί στην επιτροπή του Συμβουλίου Υπουργών για την κλιματική αλλαγή.

Σκοπός του δεύτερου σεναρίου (CO<sub>2</sub>Tax Scenario) ήταν ο προσδιορισμός, μέσω του μοντέλου, της βέλτιστης συνεισφοράς κάθε τομέα της οικονομίας και του ενεργειακού συστήματος στη μείωση των εκπομπών, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος προσαρμογής του ενεργειακού συστήματος. Βεβαίως, ένας από τους τομείς ήταν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

#### 3.2 Αποτελέσματα για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Στα πλαίσια του σεναρίου KATREN τα μέτρα πολιτικής για τις ανανεώσιμες πηγές περιλάμβαναν:

- Υπόχρεωση του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος κάθε χώρας της ΕΕ να παράγει τουλάχιστον ένα ορισμένο ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το όριο ήταν διαφορετικό για κάθε χώρα, λαμβανομένων υπόψη της δομής της ηλεκτροπαραγωγής και τις προοπτικές στα πλαίσια του σεναρίου αναφοράς. Η υποχρέωση αυτή τέθηκε στο επίπεδο της χώρας, ενώ η επιμέρισή της σε διάφορες κατηγορίες ηλεκτροπαραγωγών (κατηγορίες εταιριών) και τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ήταν ενδογενές αποτέλεσμα του μοντέλου.

- Διατήρηση του σημερινού συστήματος άμεσης ή έμμεσης επιδότησης της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή και συμπαραγωγή, έτσι όπως εφαρμόζεται σε κάθε χώρα.
  - Δεν προβλεπόταν ειδική πολιτική για την αύξηση (ή μείωση κόστους) της προσφοράς βιομάζας ούτε για την προσφορά βιο-καυσίμων.
  - Το πακέτο μέτρων πολιτικής περιλάμβανε κανονιστικές ρυθμίσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας και την προώθηση της συμπαραγωγής. Αυτά τα μέτρα έχουν έμμεσες επιπτώσεις στο δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν προβλέπονταν στόχοι ή μέτρα για την ηλεκτροπαραγωγή, πέραν της υποστήριξης των ΑΠΕ και της συμπαραγωγής.
- Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει συνοπτικά τα αποτελέσματα του πακέτου μέτρων πολιτικής και τη συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών. Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τη σύγκριση των κατηγοριών μέτρων πολιτικής σχετικά με τη συνεισφορά τους για την επίτευξη του στόχου της ΕΕ για το Κυότο.

**Πίνακας 3: Σενάριο για το Κυότο**

Αποτελέσματα του σεναρίου KATREN για ΕΕ - 8 (BE, FR, GE, IT, NL, SP, SV, UK)	
	% Μεταβολή το 2010 από Σενάριο Αναφοράς
Πρωτογενής Ενέργεια	-11.4
Εκπομπές CO <sub>2</sub>	-15.4
Ανανεώσιμες Πηγές	26.3
Δυναμικό Ηλεκτροπαραγωγής (ισχύς)	
- υδροηλεκτρικά	39.4
- αιολικά και ηλιακά	142.0
- βιομάζα και λύματα	33.0
- ΑΠΕ σε συμπαραγωγή	365.0
ΑΠΕ σαν % Πρωτογενούς	43.0 (=8%)

**Πίνακας 4: Διάρθρωση κατά μέτρο πολιτικής**

Αποτελέσματα του σεναρίου KATREN για ΕΕ - 15	
Συνεισφορά των μέτρων πολιτικής στη μείωση των εκπομπών για το Κυότο (σε %)	
- Βαριά βιομηχανία	14.9
- Ηλεκτρικές συσκευές κλπ.	14.9
- Κτίρια	7.5
- Μεταφορές	34.9
- Ανανεώσιμες Πηγές	19.5
- Συμπαραγωγή	9.8
- Έμμεσα Αποτελέσματα	-1.7
	100.0

Οι ανανεώσιμες πηγές συνεισφέρουν κατά 20 % περίπου στο στόχο της ΕΕ για το Κυότο. Από αυτό 11% αντιστοιχεί σε ΑΠΕ ηλεκτροπαραγωγής (αιολικά κυρίως και μικρά υδροηλεκτρικά) και 9% σε χρήση λυμάτων και βιομάζας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και συμπαραγωγή.

Ο Πίνακας 4 δείχνει ότι η κατανομή της προσπάθειας μείωσης των εκπομπών κατά κλάδο είναι περίπου κατά 1/3 σε εξοικονόμηση ενέργειας, 1/3 στις

μεταφορές και 1/3 στην ηλεκτροπαραγωγή, η οποία κατανέμεται κατά 2/3 σε ΑΠΕ και 1/3 σε συμπαραγωγή.

Θα πρέπει να τονισθεί ότι χάρη στη χρήση του μαθηματικού μοντέλου, αναλύθηκαν οι συστημικές συσχετίσεις των μέτρων πολιτικής μεταξύ τους. Έτσι επισημάνθηκε ότι το δυναμικό των ΑΠΕ, σχετικά με τη μείωση των εκπομπών, περιορίζεται έμμεσα από τα μέτρα πολιτικής που στοχεύουν στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό σχετίζεται με τη μείωση του όγκου της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας πράγμα που έχει κάποιες δυσμενείς επιπτώσεις για τις ΑΠΕ σαν αποτέλεσμα μείωσης των δυνατοτήτων που θα έδιναν αυξημένες αποδόσεις κλίμακας. Παρόμοιες επιπτώσεις προσδιορίστηκαν και για τη συμπαραγωγή.

Το σενάριο βελτίστου επιμερισμού του στόχου μείωσης των εκπομπών κατά τομέα (δηλαδή το CO2Tax) έδωσε ακόμα μεγαλύτερο ρόλο στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ιδιαίτερα στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής και λιγότερο της συμπαραγωγής. Στο σενάριο αυτό η συνεισφορά των ΑΠΕ ανέρχεται σε 22% και επιτυγχάνεται σύμφωνα με την βελτιστοποίηση, όπου ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής υποχρεώνεται σε σημαντική αναδιάρθρωση της μείξης ενεργειακών μορφών, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος συνολικά στο ελάχιστο κόστος.

Παρόλη τη δυσμενή πρόβλεψη για τα βιοκαύσιμα, που σχετίζεται με θέματα τοπικής ρύπανσης πόλεων, ο φιλόδοξος στόχος που έθεσε η ΕΕ για το Κυότο, προσδίδει θεαματικές δυνατότητες επέκτασης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το ποσοστό των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή διπλασιάζεται μέσα σε 10 χρόνια, ενώ συνολικά η βιομηχανία των ΑΠΕ γίνεται σε όγκο πίο σημαντική από εκείνη των στερεών καυσίμων που όπως είναι γνωστό υπήρξε ιστορικά πολύ σημαντική για την Ευρώπη.

#### 4. Μακροχρόνια Τεχνολογικά Σενάρια

##### 4.1 Εισαγωγή

Κατά την προετοιμασία του 5ου Προγράμματος Πλαισίου για την Έρευνα και Ανάπτυξη, της ΕΕπ, έγιναν σημαντικές αναλύσεις με τα μαθηματικά ενεργειακά μοντέλα σχετικά με τις μακροχρόνιες προοπτικές τεχνολογικής προόδου των ενεργειακών τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων αυτών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σκοπός ήταν η μελέτη των μακροχρόνιων επιπτώσεων στο ενεργειακό σύστημα και στο περιβάλλον που θα είχε μακροχρόνια ενδεχόμενη επιτυχία των στόχων του προγράμματος Ε&Α (έρευνας και ανάπτυξης). Η ανάλυση έγινε χωριστά για ομοειδείς κατηγορίες ενεργειακών τεχνολογιών, όπως η πυρηνική τεχνολογία, η καθαρή καύση άνθρακος, οι κύκλοι καύσης αερίου, οι κυψέλες καυσίμου, οι ανανεώσιμες πηγές και οι τεχνολογίες ορθολογικής χρήσης της ενέργειας. Έτσι σχεδιάστηκαν 6 τεχνολογικά σενάρια για τη περίοδο 1995-2030 που το καθένα υπέθετε σημαντική τεχνολογική πρόοδο σε μία μόνο από τις 6 κατηγορίες

ενεργειακών τεχνολογιών. Τα σενάρια αυτά ονομάστηκαν «τεχνολογικές ιστορίες».

Η ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων στο ενεργειακό σύστημα πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του ενεργειακού μοντέλου PRIMES για την ΕΕ και το μοντέλο POLES για το παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα.

Η εργασία αυτή συνδυάστηκε με την αντίστοιχη δραστηριότητα του CERT της Διεθνούς Επιτροπής Ενέργειας του ΟΟΣΑ (IEA/OECD). Σε αυτά τα πλαίσια έγινε συστηματική σύγκριση των αποτελεσμάτων των Ευρωπαϊκών μοντέλων με το μοντέλο του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ (μοντέλο NEMS της EIA/US-DOE) το οποίο επίσης ποσοτικοποίησε τα 6 τεχνολογικά σενάρια για τις ΗΠΑ.

#### 4.2 Αποτελέσματα για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η τεχνολογική ιστορία για τις ανανεώσιμες πηγές υποθέτει μετά το 2010 και ιδιαίτερα μετά το 2020 θεαματική πτώση του κόστους κατασκευής και αύξηση του βαθμού διαθεσιμότητας των τεχνολογιών ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή (Πίνακας 5).

##### Πίνακας 5: Υποθέσεις για τις ΑΠΕ

Το βασικό συμπέρασμα από την ανάλυση των τεχνολογικών σεναρίων, και για τα τρία μοντέλα που

RENEWABLE TECHNOLOGIES ALTERNATIVE SCENARIOS			
ECU90/KW	1995	2030 reference case	2030 scenario
<b>SPECIFIC CAPITAL COSTS</b>			
Biomass gasification < 25 MW	1767	1767	960
Photovoltaics in buildings	12000	4000	2000
Solar Thermal low Temp.	1200	750	500
Small Hydro > 2 MW	2000	1850	1000
Molten Salt Tower Plant & storage	2500	1603	1131
Photovoltaics rural electr.	13100	10000	5000
Wind on shore	1300	1100	460
<b>AVAILABILITY FACTOR %</b>			
Photovoltaics in buildings	15	17	17
Solar Thermal low Temp.	27	31	33
Small Hydro > 2 MW	57	57	57
Molten Salt Tower Plant & storage	27	32	34
Photovoltaics rural electr.	9	9	14
Wind on shore	20	24	32

χρησιμοποιήθηκαν, είναι ότι μόνο η τεχνολογική πρόοδος, ανεξάρτητα κατηγορίας ενεργειακών τεχνολογιών, δεν είναι δυνατόν να αντιμετωπίσει μέχρι το 2030 τις απαιτούμενες σημαντικές μειώσεις των εκπομπών CO2. Η τεχνολογική πρόοδος έχει σημαντικές επιπτώσεις στη διάρθρωση του ενεργειακού συστήματος, απαιτείται όμως συγχρόνως πολιτική είτε συνολικού στόχου για τις εκπομπές, είτε

εμπόριο αδειών ρύπανσης, είτε εσωτερικοποίηση του περιβαλλοντικού κόστους, ώστε οι τεχνολογίες να αποκτήσουν τη πλήρη δυναμική τους και να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα των εκπομπών. Βεβαίως στην περίπτωση που τέτοια πολιτική αποφασισθεί, ο ρόλος της προόδου των ενεργειακών τεχνολογιών είναι καθοριστικός και απαραίτητος.

Η τεχνολογική ιστορία για τις ΑΠΕ έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ΕΕ. Η τεχνολογική πρόοδος μπορεί να οδηγήσει σε περίπου 20% λιγότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> το 2030 από ότι στο σενάριο αναφοράς και να μειώσει το συνολικό κόστος συστήματος κατά 5% περίπου κατ'έτος. Τα οφέλη αυτά ήταν τα δεύτερα πιο σημαντικά μετά το σενάριο των κυψελών καυσίμου. Η πρόοδος των τεχνολογιών ΑΠΕ οδηγεί σε νέες επενδύσεις περίπου 100 GW σταθμών ηλεκτροπαραγωγής επιπλέον αυτών του σεναρίου αναφοράς, οι οποίες υποκαθιστούν επενδύσεις σε συμβατικούς σταθμούς, μονάδες καθαρής καύσης άνθρακος αλλά και μονάδες φυσικού αερίου. Ο ανταγωνισμός με το φυσικό αέριο μειώνει τις θετικές επιπτώσεις του σεναρίου ως προς τις εκπομπές.

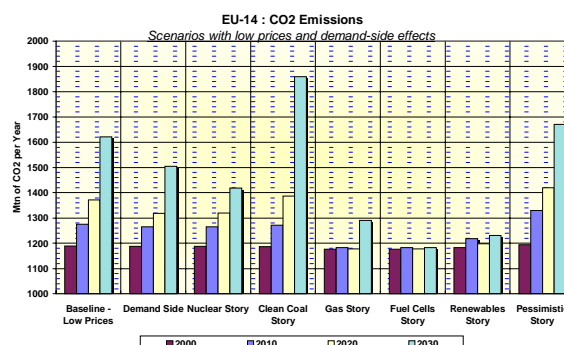
Ο Πίνακας 6 δείχνει τη σημαντική διεύθυνση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή το 2030 που είναι αποτέλεσμα της διαφορικής τεχνικής προόδου των τεχνολογιών ΑΠΕ.

**Πίνακας 6: Τεχνολογική Ιστορία για τις ΑΠΕ**

Ηλεκτροπαραγωγή το 2030 κατά ενεργ. Μορφή (μεταβολή από σενάριο αναφοράς σε TWh)	ΕΕ
- πυρηνική	-7
- στερεά καύσιμα	-133
- πετρέλαιο	-26
- αέρια καύσιμα	-487
- βιομάζα και λύματα	93
- υδροηλεκτρικά	228
- αιολικά, ηλιακά, γεωθερμία	305

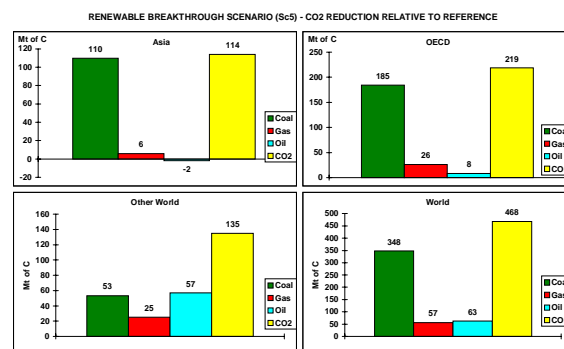
Ο συνδυασμός της τεχνικής προόδου των ΑΠΕ με μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας και τεχνολογίες ορθολογικότερης χρήσης της ενέργειας, είναι δυνατόν να σταθεροποιήσει μετά το 2000 και μέχρι το 2030 τις εκπομπές CO<sub>2</sub> της ΕΕ. Μάλιστα εκτός της περίπτωσης των κυψελών καυσίμου, κανένα άλλο τεχνολογικό σενάριο δεν καταφέρνει αυτή τη σταθεροποίηση (Σχήμα 1). Αν μάλιστα ληφθεί υπόψη ότι το 2000 η ΕΕ σταθεροποιεί τις εκπομπές στο επίπεδο του 1990, τα αποτελέσματα των σεναρίων αυξημένης τεχνολογικής προόδου δείχνουν ότι οι ΑΠΕ μαζί με τεχνολογίες στη πλευρά της ζήτησης μπορούν να επιτύχουν τουλάχιστον τη σταθεροποίηση των εκπομπών στα επίπεδα του 1990 και μάλιστα μέχρι το 2030.

**Σχήμα 1: Οφέλη για το CO<sub>2</sub> από τις τεχνολογικές ιστορίες**



Τα αντίστοιχα αποτελέσματα σε παγκόσμιο επίπεδο είναι λιγότερο θεαματικά. Τα αποτελέσματα της διαφορικής τεχνολογικής προόδου των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή οδηγούν σε μείωση εκπομπών κατά 5% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς (Σχήμα 2).

**Σχήμα 2: Αποτελέσματα του POLES**



Οι χαμηλές τιμές άνθρακος και η διατήρηση της ηλεκτροπαραγωγής από στερεά καύσιμα σε πολλές περιοχές του κόσμου (λιγότερο όμως στην ΕΕ) εξηγεί τη μικρότερη σχετικά συνεισφορά της τεχνολογικής προόδου σε ΑΠΕ στη μείωση των εκπομπών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Αν όμως η πρόοδος των ΑΠΕ συνδυασθεί με παγκόσμιο σύστημα αδειών εκπομπών CO<sub>2</sub>, τότε το συνολικό κόστος του συστήματος για μείωση των εκπομπών στα επίπεδα της συμφωνίας του Κυότο (και περαιτέρω μείωση μετά το 2010), μειώνεται από 170\$ ο τόννος άνθρακος σε 120\$, πράγμα που οδηγεί σε μείωση κατά 1/3 της επιβάρυνσης του κόστους της ηλεκτροπαραγωγής. Η βελτίωση του κόστους επίτευξης των στόχων για τις εκπομπές που έγινε δυνατή χάρη στην πρόοδο των τεχνολογιών ΑΠΕ εκτιμήθηκε σε περίπου 140 δις.\$ σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτή θεωρήθηκε η αξία από την τεχνολογική πρόοδο στις ΑΠΕ και εμφανώς είναι ιδιαίτερα μεγάλη (πολύ περισσότερη των δαπανών Ε&Α σε ΑΠΕ).

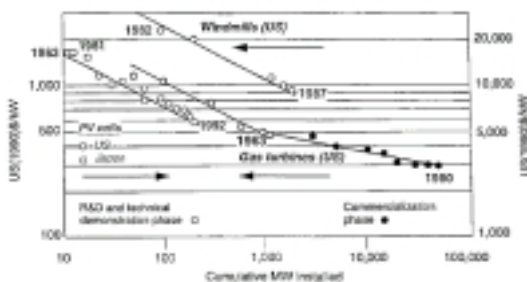
## 5. Ενδογενής Τεχνολογική Πρόοδος

### 5.1 Εισαγωγή

Η παραπάνω ανάλυση σχετικά με την αξία (τα οφέλη) της τεχνολογικής προόδου, οδήγησε σε κατασκευή σημαντικών επεκτάσεων των ενεργειακών μαθηματικών μοντέλων. Σκοπός ήταν η ενδογενοποίηση της τεχνολογικής προόδου με την έννοια ότι οι οικονομικοί παράγοντες προεξοφλώντας τη δυναμική της τεχνολογικής προόδου επιταχύνουν τις επενδύσεις τους πράγμα που επιταχύνει και την ίδια την τεχνολογική πρόοδο. Όταν οι οικονομικοί παράγοντες βρεθούν σε περιβαλλοντικούς περιορισμούς ή προσδοκούν τέτοιους περιορισμούς για το μέλλον, επενδύουν γρηγορότερα σε ενεργειακές τεχνολογίες που έχουν τη δυνατότητα αντιμετώπισης του περιβαλλοντικού περιορισμού όμως απαιτούν συσσώρευση κεφαλαίου ώστε να γίνουν ανταγωνιστικές όταν ακριβώς ο περιβαλλοντικός περιορισμός γίνει στο μέλλον πιά αυστηρός. Η συσσώρευση αυτή κεφαλαίου επιταχύνει την τεχνολογική πρόοδο με μηχανισμό που είναι ενδογενής στο μοντέλο.

Η υπόθεση της «εκμάθησης με την εμπειρία» (learning by doing or learning by experience) είναι στατιστικά παρατηρημένη για πολλές τεχνολογικές περιπτώσεις.

#### Σχήμα 3: Εκμάθηση με την εμπειρία



Το Σχήμα 3 δείχνει παράδειγμα στατιστικής παρατήρησης όπου η μείωση του κόστους αγοράς τεχνολογιών συνδέεται με τη συσσώρευση εγκαταστάσεων που λειτουργούν με αυτήν την τεχνολογία. Μάλιστα η συσχέτιση είναι εκθετικής μορφής (στο σχήμα γραμμική σε λογαριθμική κλίμακα).

Η κλίση των καμπυλών εκμάθησης με την εμπειρία διαφέρουν κατά τεχνολογία. Μάλιστα οι κλίσεις μειώνονται όταν ωριμάσει η τεχνολογία οπότε αναμένονται μόνο μειώσεις κόστους από οικονομίες κλίμακος. Όμως όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, αν υποθεθεί ότι η κλίση της καμπύλης εκμάθησης συνεχισθεί και στο μέλλον για τη φωτοβολταϊκή τεχνολογία, οι μειώσεις κόστους μπορεί να είναι ιδιαίτερα θεαματικές εφόσον οι ηλεκτροπαραγωγό συσσωρεύουν επενδύσεις σε αυτήν την τεχνολογία.

Αυτό θα το κάνουν όταν προσδοκώντας για το μέλλον σημαντικούς περιορισμούς από το περιβάλλον, θα επενδύσουν νωρίτερα σε φωτοβολταϊκά ώστε να επιταχύνουν την εκμάθηση, να μειωθεί το κόστος και

έτσι όταν έρθουν οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί να είναι ανταγωνιστικοί.

Στα πλαίσια προγράμματος της ΕΕ κατασκευάστηκε πειραματικό μοντέλο (ERIS) που ενδογενοποιεί την τεχνολογική πρόοδο με την έννοια που αναφέρθηκε παραπάνω. Το μοντέλο αυτό είναι μορφής Μεικτού-Ακεραίου Προγραμματισμού και αφορά στην ηλεκτροπαραγωγή μόνο.

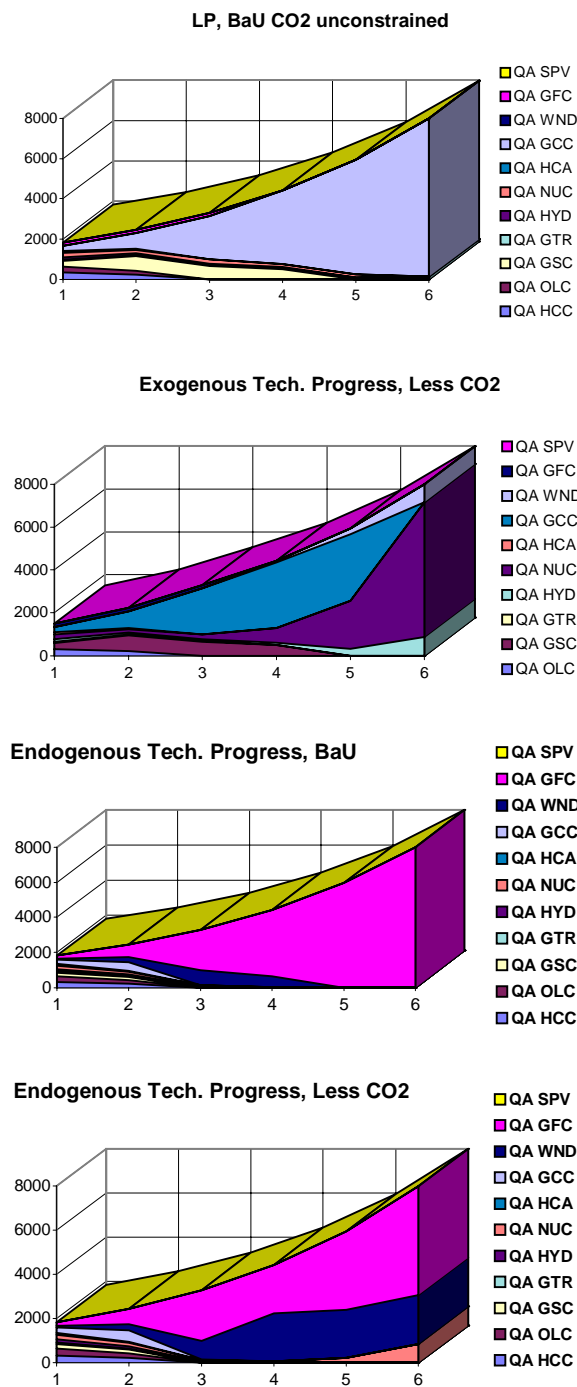
### 5.2 Αποτελέσματα για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Τα αποτελέσματα του ERIS δείχνουν ότι όταν οι οικονομικοί παράγοντες μπορούν να προεξοφλήσουν τη δυναμική τεχνολογικής προόδου των ΑΠΕ τότε ο μακροχρόνιος προγραμματισμός των ηλεκτρικών συστήματος θα είναι σημαντικά διαφορετικός από ότι πιστεύουμε σήμερα με τη συμβατική αντιμετώπιση της τεχνολογικής προόδου.

Όταν η εκμάθηση με τη συσσώρευση δεν παίζει ρόλο στις αποφάσεις επέκτασης της ηλεκτροπαραγωγής, τότε το μοντέλο δείχνει αποτελέσματα στα οποία οι τεχνολογίες συνδυασμένου κύκλου με φυσικό αέριο κυριαρχούν. Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώνεται και από τα μεγαλύτερα μοντέλα PRIMES, NEMS και MARKAL στα οποία η τεχνολογική πρόοδος είναι εξωγενής. Αν επιβληθούν περιβαλλοντικοί περιορισμοί (εκπομπές CO<sub>2</sub>), τότε το σύστημα προσαρμόζεται επενδύοντας περισσότερο σε φυσικό αέριο, υποκαθιστώντας στερεά καύσιμα, και μικρότερη έκταση σε πυρηνική τεχνολογία. Η συνεισφορά των ΑΠΕ είναι περιορισμένη για λόγους κόστους (εφόσον δεν πραγματοποιείται σημαντική τεχνική πρόοδος).

Όταν όμως ληφθεί ενδογενώς υπόψη η δυναμική μείωσης του κόστους των τεχνολογιών λόγω συσσώρευσης επενδύσεων σε αυτές, τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται. Βεβαίως οι κλίσεις των καμπυλών εκμάθησης είναι διαφορετικές κατά τεχνολογία. Είναι μεγάλες για τις ΑΠΕ και τις κυψέλες καυσίμου, αλλά σημαντικά μικρότερες (κατ' απόλυτο τιμή) για τις μονάδες φυσικού αερίου και τη πυρηνική τεχνολογία. Το μοντέλο με ενδογενή τεχνολογική πρόοδο δείχνει στα πλαίσια του σεναρίου αναφοράς ότι πρέπει η ηλεκτροπαραγωγή να επενδύσει μακροχρόνια περισσότερο σε κυψέλες καυσίμου (σε σύγκριση με τη περίπτωση όπου η τεχνολογική πρόοδος είναι εξωγενής) και σε ΑΠΕ. Όταν επιβληθούν περιβαλλοντικοί περιορισμοί, το μοντέλο δεν προτείνει πιά επενδύσεις σε πυρηνικά και σε φυσικό αέριο, όπως προηγουμένως, αλλά επιτάχυνση των επενδύσεων σε αιολικά, φωτοβολταϊκά και κυψέλες καυσίμου και μάλιστα νωρίτερα από την περίοδο πλήρους εφαρμογής των περιορισμών. Έτσι θα έχει συσσωρευθεί αρκετό εγκατεστημένο κεφάλαιο για την ανταγωνιστική από πλευράς κόστους αντιμετώπιση των περιορισμών.

**Σχήμα 4: Αποτελέσματα του ERIS**



Το Σχήμα 4 δείχνει χαρακτηριστικά ότι η ενδογενής τεχνολογική πρόοδος και η προεξόφλησή της από τους οικονομικούς παράγοντες μπορεί να οδηγήσει σε θεαματικές μεταβολές του τι είναι μακροχρόνια βέλτιστο για τις ενεργειακές επενδύσεις. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποκτούν σημαντική θέση γιατί μερικές από αυτές έχουν τη μεγαλύτερη κλίση στην καμπύλη εκμάθησης με την εμπειρία.

Το αποτέλεσμα αυτό εξαρτάται όμως και από το προεξοφλητικό επιτόκιο που οι οικονομικοί

παράγοντες χρησιμοποιούν για τη μακροχρόνια ανάλυση επενδύσεων. Αν ο αυξανόμενος ανταγωνισμός οδηγήσει σε μόνιμα υψηλά προεξοφλητικά επιτόκια, τότε η επένδυση σε νέες τεχνολογίες με δυνατότητα εκμάθησης στο μέλλον αλλά μεγάλα επενδυτικά κόστη θα καθυστερήσει. Αυτό θα επιβαρύνει τη θέση της ηλεκτροπαραγωγής σε ενδεχόμενη επιβολή αυστηρών περιβαλλοντικών περιορισμών και θα έχει αρνητικές συνέπειες για το ρυθμό τεχνολογικής προόδου.

Σε αυτή τη περίπτωση η απελευθερούμενη αγορά δεν θα είναι σε θέση να εσωτερικοποιήσει τα θετικά εξωτερικά οφέλη από την τεχνολογική πρόοδο. Σε μία τέτοια περίπτωση, απαιτείται και πάλι ρυθμιστικός ρόλος της ενεργειακής πολιτικής. Ο ρόλος αυτός, είτε με κανονιστικές ρυθμίσεις σχετικά με ελάχιστο ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, είτε με φορολογική παρέμβαση, θα στοχεύει στην ενίσχυση της κεφαλαιϊκής βάσης των ΑΠΕ ώστε να φανούν ευκολότερα οι δυνατότητες εκμετάλλευσης του δυναμικού εκμάθησης αυτών των τεχνολογιών.

## 6. Συμπεράσματα

Τα κυριότερα συμπεράσματα είναι τα εξής:

- Οι σημερινές προοπτικές στην ΕΕ χωρίς επιπλέον πολιτική για τις ΑΠΕ ή το περιβάλλον είναι δυσμενείς για τις ανανεώσιμες πηγές.
- Ο ρόλος τους για την επίτευξη των στόχων του Κυότο είναι σημαντικός και βραχυχρόνιος.
- Η μακροχρόνια αξία της τεχνολογικής προόδου στις ΑΠΕ για την αντιμετώπιση των μακροχρόνιων περιβαλλοντικών απαιτήσεων είναι πολύ μεγαλύτερη από τη σημερινή προοπτική επενδύσεων και δαπανών σε Ε&Α.
- Ρυθμιστικές παρεμβάσεις στην απελευθερούμενη αγορά είναι απαραίτητες ώστε αυτές να λάβουν υπόψη τους το μεγάλο δυναμικό τεχνολογικής προόδου αυτών των τεχνολογιών όταν αυξάνεται η επενδυτική τους βάση.
- Η νέα γενιά ενεργειακών μοντέλων με ενδογενή τεχνολογική πρόοδο αναμένεται να δώσει διαφορετικά από τα μέχρι τώρα αποτελέσματα για την οικονομική βελτιστοποίηση της ανάπτυξης του ενεργειακού συστήματος.

## 7. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] Capros P., P. Criqui, N. Kouvaritakis, A. Soria, M. Bess and L. Vouyoukas: "Climate Technology Strategy within Competitive Energy Markets", Final Report to the European Commission, DG XII, Joule III Programme, Brussels, June 1998.
- [2] Capros P. et al.: "The PRIMES Energy System Model for the European Union", Model Manual, National Technical University of Athens, Report for the Peer Review of the

- European Commission, DG XII, February 1998.
- [3] Capros P., Dr. Mantzos: "Technology Stories with PRIMES Version 2 for the European Union", papers presented to the 2d EC/IEA Workshop on Energy Technology and Climate Change, 28-29.4.1998, Athens, Greece and to the 3d EC/IEA Workshop on Energy Technology and Climate Change, 28-31.10.1998, Sevilla, Spain.
- [4] Capros P., P. Georgakopoulos, L. Mantzos, "Economic and energy system implications of European CO2 mitigation strategy for 2010: A model based analysis", paper presented at the OECD Experts Workshop on Climate Change and Economic Modelling: Background Analysis for the Kyoto Protocol, Paris, 17-18 September 1998.
- [5] "Energy Technology Dynamics and Advanced Energy System Modelling-TEEM", Midterm Assessment Report for the European Commission, DG XII, Joule III Programme, Brussels, August 1998.
- [6] Kypreos S., and Barreto L., "First Specification of the TEEM Prototype Model with Hedging, Stochastic Learning, Risk Aversion and Extension to Mixed Integer Programming" paper included to the Midterm Assessment Report of the TEEM project to the European Commission, DG XII, Joule III Programme, Brussels, August 1998.
- [7] Nakicenovic N., "Technological Change as a Learning Process" paper presented at the TEEM workshop on Modelling Technology Learning at IIASA, Laxenburg, March 19-21, 1998.
- [8] Capros P., L. Mantzos (1994) "The MIDAS Energy System Analysis Model", in J-Fr. Hake (editor) "Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related emissions on a National and Global Level", Konferenzen des Forschungszentrums Julich, book published in 1994.
- [9] Capros P. et al. (1998) "The baseline energy scenario for the EU, with PRIMES", presented at the International Workshop on Shared Analysis organised by the EC and ENER, Brussels, Belgium, July 2.
- [10] Capros P. (1997) "The pre-Kyoto energy scenario for Europe", presented at the Energy Experts Workshop organised by EC DG-XVII, Brussels, May.
- [11] Criqui P., N. Kouvaritakis and P. Valette: "Technological Scenarios, Climate Change and Emission Trading", paper presented to the World Energy Conference, Houston, US, September 1998.
- [12] EIA/US-DOE: "The National Energy Modelling System: An Overview", US DOE, February 1998.
- [13] EIA/US-DOE: "What Does the Kyoto Protocol Mean to U.S. Energy Markets and the U.S. Economy", US DOE SR/OIAF/98-03 (S), October 1998.
- [14] IEPE: "POLES 2.2: Model Manual", European Commission, EUR 17358 EN, December 1996.
- [15] Kouvaritakis N.: "Technological Scenarios: Simulations made with model POLES", papers presented to the 2d EC/IEA Workshop on Energy Technology and Climate Change, 28-29.4.1998, Athens, Greece and to the 3d EC/IEA Workshop on Energy Technology and Climate Change, 28-31.10.1998, Sevilla, Spain.
- [16] Kydes Andy: "Influences of Technological Progress on Energy Use Patterns and Carbon Emissions in the United States: A Case Study", papers presented to the 2d EC/IEA Workshop on Energy Technology and Climate Change, 28-29.4.1998, Athens, Greece and to the 3d EC/IEA Workshop on Energy Technology and Climate Change, 28-31.10.1998, Sevilla, Spain.
- [17] Laege, E.: "Best available technologies for the demand side in Germany", paper presented to the 3d EC/IEA Workshop on Energy Technology and Climate Change, 28-30.10.1998, Sevilla, Spain.
- [18] Laege, E.: "Technology stories for Germany Results from th common modelling exercise", paper presented to the 2d EC/IEA Workshop on Energy Technology and Climate Change, 28-29.4.1998, Athens, Greece.
- [19] Ybema, J.R et al.: "Scenarios for Western Europe on long term abatement of CO2 emissions", Report ECN-C--97-051, 1997.
- [20] Ybema, J.R. and A. Seebregts: "The energy technology portfolio, for long term CO2 reduction. An analysis for Western Europe", paper presented to the 3d EC/IEA Workshop on Energy Technology and Climate Change, 28-30.10.1998, Sevilla, Spain.