

# Πυρηνική Ένέργεια και Έθνική Οικονομία

Υπό ΗΛΙΑ Π. ΓΥΦΤΟΠΟΥΛΟΥ

Ανάτυπον ἐκ τῶν «Χημικῶν Χρονικῶν» Τομ. 25 Β, 1-7, 1960

# ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΘΝΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ \*

\*Υπό ΗΛΙΑ Π. ΓΥΦΤΟΠΟΥΛΟΥ \*\*

## Εισαγωγή

Η τεχνολογική και επιστημονική εξέλιξις, κατά την διάρκεια των τελευταίων 150 ετών, ήνοιξε νέους ορίζοντας οικονομικής ανόδου δια την ανθρωπότητα και προσφέρει τας απαραίτητους προϋποθέσεις δια την καλλιτέραν αξιοποίησιν του εμψύχου και υλικού πλούτου της γης. Τοῦτο ἔχει γίνει ἀντιληπτὸν ἀπὸ πολλοὺς λαοὺς, οἱ ὁποῖοι ἤδη ἀπολαμβάνουν ἐξαιρετικὰ ὑψηλοῦ κατὰ κεφαλὴν εἰσοδήματος, ἐνῶ ἄλλα ἔθνη εὐρίσκονται τὴν στιγμὴν αὐτὴν εἰς τὸ στάδιον τῆς οικονομικῆς τῶν ἀνάδου, διὰ τῆς βαθμιαίας χρησιμοποίησεως τῶν δυνατοτήτων τῆς συγχρόνου τεχνολογίας.

Εἶναι γενικῶς δεκτὸν ὅτι τὸ ἕψος τῆς παραγωγῆς καὶ καταναλώσεως ἐνεργείας εἶναι χαρακτηριστικὸς δείκτης τῆς εὐημερίας μιᾶς χώρας. Π. χ. αἱ Ἡνωμένοι Πολιτεῖαι τῆς Ἀμερικῆς, ἀντιπροσωπεύουσαι 6% τοῦ πληθυσμοῦ τῆς γῆς, καταναλίσκουν 40% τῆς συνολικῆς παγκοσμίου παραγωγῆς ἐνεργείας. Ἐπομένως, ἡ εξέλιξις τῶν προηγμένων Οἰκονομιῶν καὶ ἡ ἀνοδος τῶν χωρῶν ἡσσονος ἀναπτύξεως θὰ δημιουργήσουν τεραστίαν ἀνάγκαν ἐνεργείας εἰς τὸ μέλλον.

Εἰς τὸ πλαίσιον τῶν προηγουμένων παρατηρήσεων, εἶναι σκόπιμον νὰ μελετηθῇ ὁ τρόπος κατὰ τὸν ὁποῖον καλύπτονται αἱ σημεριναὶ ἐνεργειακαὶ ἀνάγκαι τοῦ κόσμου, νὰ ἐξετασθῇ ἡ μελλοντικὴ εξέλιξις τῆς αὐξήσεώς των, νὰ διαπιστωθῇ τὸ μέγεθος τῶν οικονομικῶς ἐκμεταλλευσίμων ἐνεργειακῶν ἀποθεμάτων καὶ νὰ διερευνηθῇ ἡ δυνατότης ἐξευρέσεως νέων ἐνεργειακῶν πηγῶν ἐὰν τοῦτο εἶναι ἀπαραίτητον. Τέλος, εἶναι ἐξ ἴσου σκόπιμον νὰ διαπιστωθῶν αἱ συνθήκαι ὑπὸ τὰς ὁποίας μία νέα πηγὴ ἐνεργείας, ὅπως ἡ διάσπασις τοῦ πυρῆνος τοῦ οὐρανίου, εἶναι ἀξιοποιήσιμος, ὡς ἐπίσης ὁ ρόλος τῶν ὁποίων θὰ κληθῇ νὰ παίξῃ εἰς τὴν ἐξέλιξιν τῆς Ἐθνικῆς Οἰκονομίας τῶν διαφόρων χωρῶν.

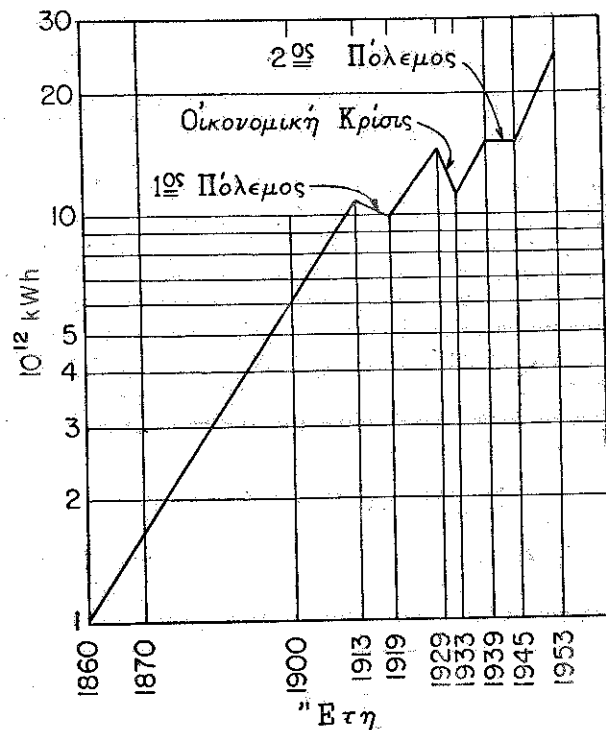
Σημειωτέον ὅτι, παρ' ὅλον ὅτι τὰ πλεῖστα τῶν χρησιμοποιηθησομένων στοιχείων ἔχουν ἀντληθῇ ἀπὸ διεθνεῖς μελέτας, εἶναι δυνατόν νὰ συσχετισθοῦν μετὰ τῆς οικονομικῆς καὶ τεχνικῆς ἀναπτύξεως τῆς Ἑλλάδος, τῆς ὁποίας ἡ Οἰκονομία παρουσιάζει ὀρισμένας ἰδιουσίας.

\* Διᾶλειξις δοθεῖσα εἰς τὸ Ἐθνικὸν Μετασβίον Πολυτεχνεῖον τὴν 7ην Σεπτεμβρίου 1959, ἐπὶ τὴν αἰγίδα τοῦ Πρωτάνεως τοῦ Ε.Μ.Π. καὶ τοῦ προέδρου τῆς Ε.Ε. Ἀτομικῆς Ἐνεργείας.

\*\* Παροῦσα διεύθυνσις: Massachusetts Institute of Technology Electrical Engineering Dept. Cambridge 39, Mass., U.S.A.

## Αἱ Ἐνεργειακαὶ Ἀνάγκαι τοῦ Κόσμου

Αἱ ἐνεργειακαὶ ἀνάγκαι τοῦ κόσμου κατὰ τὴν τελευταίαν ἑκατονταετίαν βαίνουν διαρκῶς αὐξανόμεναι με μέσον ρυθμὸν διπλασιασμοῦ ἀνὰ εἰκοσαετίαν (Σχῆμα 1) ἐκτὸς μερικῶν ἐξαιρέσεων κατὰ τὴν διάρκειαν

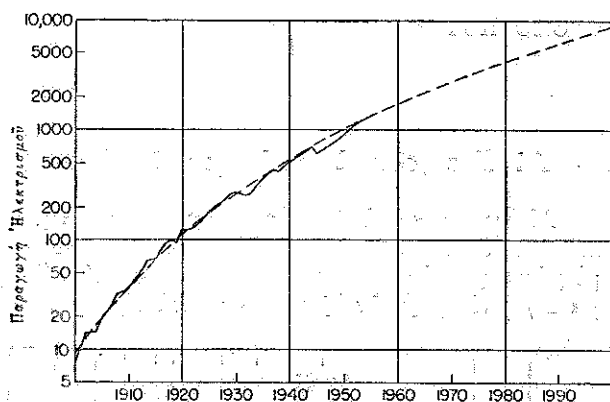


Σχ. 1. Παγκόσμιος παραγωγή ἐνεργείας, 1860 - 1953 (Πηγή: Geneva Conference P/902, 1955)

τῶν δύο παγκοσμίων πολέμων καὶ τῆς οικονομικῆς κρίσεως τοῦ 1930. Ἐνα μεγάλο ποσοστὸν τῆς ἐνεργείας ταύτης ἐχρησιμοποιήθη ὑπὸ μορφήν ἠλεκτρικῆς ἐνεργείας τῆς ὁποίας ἡ παραγωγή ἀνῆλθε με ταχύτερον ρυθμὸν (Σχῆμα 2), διπλασιαζομένη ἀνὰ δεκαετίαν.

Ἡ αὐξήσις τῆς καταναλώσεως ἐνεργείας ὀφείλεται ἀφ' ἐνὸς μὲν εἰς τὴν αὐξήσιν τοῦ πληθυσμοῦ τῆς γῆς, ἀφ' ἑτέρου δὲ εἰς τὴν ραγδαίαν ἐξέλιξιν τῆς Ἐθνικῆς Οἰκονομίας διαφόρων χωρῶν. Καὶ τὰ δύο αὐτὰ φαινόμενα εἶναι ἀποτέλεσμα τῶν δυνατοτήτων τὰς ὁποίας ἐδημιούργησε καὶ δημιουργεῖ ἡ ἀνάπτυξις τῆς ἐπιστήμης καὶ τῆς τεχνολογίας. Συνεπῶς εἶναι λογικὸν νὰ ὑποτεθῇ ὅτι ἡ ζήτησις ἐνεργείας θὰ ἐξακολουθήσῃ ἐπιταχυνόμενη μετὰ τῆς προόδου τῆς ἀνθρωπότητος.

Η εκτίμηση του μελλοντικού ρυθμού αύξησης των γενικών ή ηλεκτρικών ενεργειακών αναγκών μιας ειδικής χώρας είναι πολύπλοκο πρόβλημα. Παράγοντες ως τεχνολογικά εξελίξεις (π.χ. βαθμός αποδόσεως

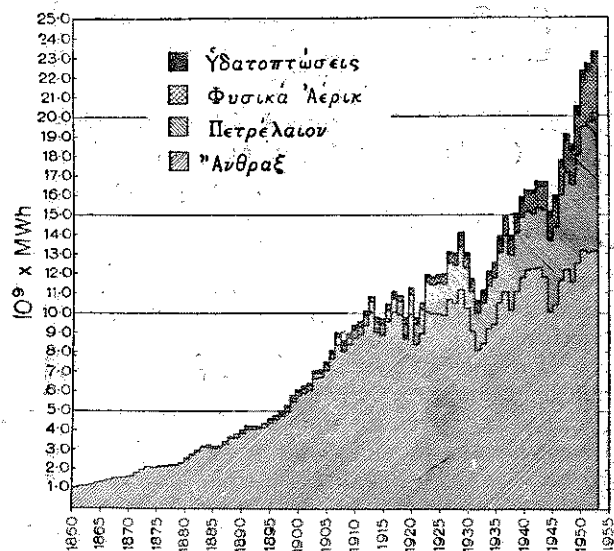


Σχ. 2. Παγκόσμιος Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Πηγή: Geneva Conference P/157, 1955)

θερμοηλεκτρικών εργοστασίων) διάφοροις Έθνικής Οικονομίας κατά τομείς (π.χ. βιομηχανία, γεωργία κ.λ.) στάδιον Έθνικής Οικονομίας (π.χ. προηγμένη ή υποανάπτυκτος) κ.λ. παίζουν σημαίνοντα ρόλον εις τοιούτου είδους εκτιμήσεις. Παρά ταύτα, στοιχεία συγκυρωθέντα υπό του Οργανισμού Ηνωμένων Έθνών (1) σαφέστατα δεικνύουν ότι η ζήτηση ενέργειας θα εξακολουθήσει αυξανόμενη μετά του αυτού ρυθμού τουλάχιστον κατά την διάρκειαν της επομένης εκατονταετηρίδος.

### Συμβατικά Πηγαι Ένεργειας

Έξεταστέον τώρα ποια είναι αι πηγαι εκ των οποίων καλύπτονται σήμερα αι εις ενέργειαν ανάγκαι του Κόσμου και ποια τα αποθέματα αυτών.



Σχ. 3. Συμβατικά πηγαι ενέργειας. (Πηγή: Geneva Conference P/902, 1955)

Αι μέχρι τούδε χρησιμοποιούμεναι πηγαι και το ποσοστόν ζήτησεως το οποίον καλύπτουν φαίνονται εις το διάγραμμα του Σχήματος 3. Κατά την τελευταίαν εικοσαετίαν 60% καλύπτονται υπό άνθράκων και λιγνιτών, 30% υπό πετρελαίων και βενζίνης και το υπόλοιπον 10% υπό φυσικών αερίων και ύδατοπτώσεων.

Είναι αυτονόητον, ότι τα αποθέματα άνθράκων, λιγνιτών, πετρελαίων και λοιπών συμβατικών πηγών ενεργείας, δέν είναι δυνατόν να εκτιμηθούν επακριβώς λόγω της διαρκούς ανακάλυψεως νέων κοιτασμάτων, της βελτιώσεως μεθόδων εξορύξεως κλπ. Πάντως συμφώνως προς λεπτομερείς μελέτας του Οργανισμού Ηνωμένων Έθνών (2) τα μέχρι τούδε γνωστά αποθέματα της γης έχουν ως εις τον Πίνακα I.

Πίναξ I. Γνωστά αποθέματα συμβατικών πηγών ενεργείας.

* Άνθραξ *	$3 \times 10^{12}$ τόννοι
Πετρέλαια και καυσάερια	$0,3 \times 10^{12}$ "
Υόφαι κλπ.	$0,15 \times 10^{12}$ "
* Υδατοπτώσεις	$2,5 \times 10^9$ ετησίως

\* Οικονομικώς εκμεταλλεύσιμος ποσότης.

Η σημερινή ζήτηση καυσίμων είναι της τάξεως των τριών δεκατομμυρίων τόννων ετησίως. Συνεπώς, εάν υποτεθή ότι η ζήτηση ενεργείας παραμείνει εις το επίπεδον εις το οποίον ευρίσκεται σήμερα, τα αποθέματα συμβατικών πηγών ενεργείας είναι επαρκή δια περισσότερα των 1000 ετών. Εάν όμως ληφθῆ ὑπ' ὄψιν ἡ αύξησης της ζήτησεως μέχρι του έτους 2025, τότε υπολογίζεται ότι η διάρκεια των πηγών αυτών είναι της τάξεως 300 ετών μόνον, υποτιθεμένου ότι η ζήτηση σταθεροποιείται εις την του έτους 2025. Τέλος, εάν υποτεθή ότι η ζήτηση θα κορεσθῆ εις το προβλεπόμενον επίπεδον του έτους 2050, τα αποθέματα επαρκούν δια 50 έτη μόνον.

Συνέπεια των ως άνω προϋπολογισμών είναι η ανάγκη αναζήτησεως νέων πηγών ενεργείας. Τοιαύτη ανάγκη, άλλωστε, δημιουργείται και από την συνεχή αύξησιν των τιμών των συμβατικών καυσίμων, οφειλομένην αφ' ενός μὲν εις την οσημέραι αυξανόμενην δυσκολίαν προσελκύσεως εργατών δια τα άνθρακωρυχεία, αφ' ετέρου δὲ διότι γίνεται ολοέν και δυσκολωτέρα ἡ εξόρυξις άνθράκων (3).

Είναι αξιοπαρατήρητον ενταύθα ότι το κόστος της ενεργείας αντιπροσωπεύει μόνον 3% του εθνικού εισοδήματος προηγμένων Οικονομιών, όπως η των Ηνωμένων Πολιτειών, και 0,7% του εισοδήματος χωρών ησονος αναπτύξεως, όπως η Ελλάς. Επομένως, εάν το κόστος της ενεργείας δεκαπλασιασθῆ, ἡ επιβάρυνσις της Έθνικής Οικονομίας είναι σημαντικωτάτη. Εξ αντιθέτου, υποδεκαπλασιασμός του ενεργειακού κόστους έχει κατά το μάλλον ἢ ἧττον ἀμελητέας συνεπειάς. Η σημασία της διαπιστώσεως αυτής δά τονισθῆ περαιτέρω.

### Νεαι Πηγαι Ένεργείας — Πυρηνικοι Αντιδραστήρες

Οι προαναφερθέντες λόγοι είναι αρκετά ούσια-

στικοί ώστε να δημιουργήσουν τα αναγκαία κίνητρα δια την αναζήτηση και ανάπτυξη νέων πηγών ενέργειας.

Τοιαύται πηγαι προς το παρόν είναι αι πυρηνικαι αντιδράσεις διασπάσεως Ουρανίου και Θορίου. Τα αποθέματα Ουρανίου και Θορίου είναι τωσαύτα, ώστε εάν υποτεθή ότι κατηνάλισκοντο υπό τών σημερινών ρυθμών ζήτησεως ενεργείας θα ήτο δυνατόν να διαρκέσουν επί 20.000 έτη ή εν άλλοις λόγοις εύρισκονται εις ενεργειακήν ποσότητα εικοσαπλάσιαν τών άλλων γνωστών συμβατικών πηγών. Η άνωτέρω εκτίμησις βασίζεται επί της υποθέσεως κατασκευής αντιδραστήρων μετασηματισμού U-238 εις Pu-239, άνευ της επιτεύσεως της οποίας η χρησιμότης τών πυρηνικών αντιδραστήρων είναι άμφισβητήσιμος.

Επομένως, άνεξαρτήτως της αναπτύξεως άλλων πηγών ενεργείας, ως η εκμετάλλεσις της ήλιακής ενεργείας ή η επίτευσις συντηρουμένης συντήξεως έλαφρών πυρήνων, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες θα παίξουν άναμφισβητήτως σημαντικόν ρόλον εις το ενεργειακόν πρόβλημα του Κόσμου.

Βεβαίως, η ταχύτης μετά της οποίας η πυρηνική ένεργεια θα υποκαταστήση την συμβατική είναι πολύπλευρον πρόβλημα του οποίου η επίλυσις εξαρτάται από παράγοντας τόσον τεχνολογικούς όσον και πολιτικούς. Συγκεκριμένως, η κατασκευή ράβδων εκ σχασίμου όθικου ίκωνών να άνδρέξουν νετρονικές άκτινοβολήσεις της τάξεως τών  $10^4 - 1,5 \times 10^4 \frac{\text{MWD}}{\text{ton}}$ , η κατασκευή πυρηνικών αντιδραστήρων λειτουργούντων εις υψηλάς θερμοκρασίας, η εφευρέσεις πυρηνικών συστημάτων απολύτως εύσταθών, η άνευ άτυχημάτων λειτουργία τών πρώτων εγκατεστημένων πυρηνικών μονάδων, είναι μόνον μερικά από τα προβλήματα τών οποίων η επίτυχις επίλυσις θα υποβοηθήση την καθιέρωσιν τών αντιδραστήρων ως μονάδων παραγωγής ενεργείας. Πλείστοι τών άνωτέρω παραόντων, και άλλοι οι όποιοι δεν άνεφέρθησαν, καθορίζουν το κόστος τών αντιδραστήρων, το όποιον είναι και το τελικόν κριτήριον του ρυθμού χρησιμοποίησεώς των.

Πρός τούτοις, είναι σκόπιμον να εξετασθή το κόστος τών πυρηνικών εγκαταστάσεων παραγωγής ενεργείας έν συγκρίσει προς συμβατικας πηγας.

**Κόστος Συμβατικών και Πυρηνικών Έργοστασίων**

Η σύγκρισις του κόστους συμβατικής και πυρηνικής ενεργείας θα γίνη επί τη βάσει του κόστους ηλεκτρικής ενεργείας δοθέντος ότι αυτη αποτελεί μίαν από τας κυριωτέρας μορφάς υπό τας οποίας θα χρησιμοποιηθή η πυρηνική ένεργεια.

Εις τόν Πίνακα II παρατίθενται αι κεφαλαιουχικαι επενδύσεις και το κόστος της παραγομένης ενεργείας δια διαφόρους τύπους συμβατικών εργοστασίων. Αι τιμαί αυται αναφέρονται εις τας Ηνωμένας Πολιτείας πλην όμως είναι αντιπροσωπευτικαί του κόστους και εις άλλας χώρας.

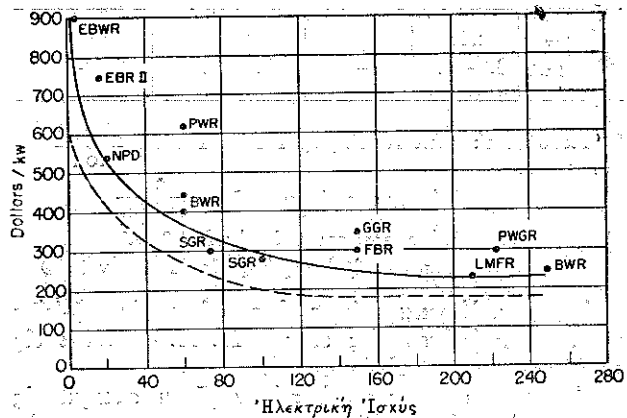
Αι κεφαλαιουχικαι επενδύσεις εις την περίπτωσιν τών πυρηνικών ηλεκτρικών εργοστασίων δεν έχουν ακόμη πλήρως διαμορφωθή αφ' ενός μιν διότι υπάρχει

Πίναξ II. Κόστος συμβατικών εργοστασίων.\*

Τύπος Έργοστασίου	Ίσχύς (MW)	Κεφάλαιον (\$/kW)	Κόστος ένεργ. (mills/kWh)
Θερμικόν	400—600	135	2.8
	100—200	150	3.2
	10—50	165	3.5
	*Απόθεμα άνθρ.	7	0.15
Diesel	15	135	2.9
	10	140	3.0
	1	160	3.4
Υδροηλεκτρικόν	200 Στροβ-γεν.	115	2.5
	100 >	120	2.6
	50 >	125	2.7
	10 >	170	3.6
	Φράγμα κτλ.	100—200	2.1—4.3

- \* Υποθέσεις : Σταθεραί επιβαρύνσεις : 15 %
- Βαθμός φορτίσεως : 80 %
- Βαθμός αποδόσεως (θερμ.) : 34 %
- Κόστος άνθρακος : 6—8 \$ / ton
- Κόστος πετρελαίου : 0,14 \$ / gallon

περιορισμένη εμπειρία εις την κατασκευην μεγάλων μονάδων αφ' έτέρου δε διότι πολλά τεχνολογικά προβλήματα εύρισκονται υπό μελέτην, ως άνεφέρθη προηγουμένως. Παρά ταύτα, το μέγεθος τών κεφαλαιουχικών δαπανών είναι δυνατόν να εκτιμηθή επί τη βάσει προϋπολογισμών (5) ως εις το Σχήμα 4. Οι διάφο-



Σχ. 4. Κόστος πυρηνικών εργοστασίων. Τα σύμβολα τών διαφόρων αντιδραστήρων επεξηγούνται εις τόν πίνακα III. Η διακεκομμένη γραμμή αναφέρεται εις τιμάς αι όποιαί θα προκύψουν λόγω προβλεπομένων τεχνολογικών βελτιώσεων.

ροι τύποι αντιδραστήρων επεξηγούνται εις τόν Πίνακα III.

Όσον αφορά το κόστος της πυρηνικής ενεργείας, εις το Σχήμα 5 υποδεικνύεται παραστατικώς η εξέλιξις του έν σχέσει προς το κόστος της συμβατικώς παραγομένης ενεργείας.

Πίναξ III. Κόστος Πυρηνικών Έργοστασίων

Αντιδραστήρ	Ισχύς (MW)	Κόστος (\$/kw)	Πηγή Geneva Conference 1955
Ζέοντος ύδατος (EBWR)	4.5	890	P/497
D <sub>2</sub> O-Ζέοντος ύδατος (BWR)	250	250	P/495
» » » (BWR)	62	450	P/495
H <sub>2</sub> O- » » (BWR)	60	410	P/495
Ταχύς αναπαραγωγικός (FBR)	150	300	P/501
Αναπαραγωγικός (EBR-II)	12.5	740	P/816
Νατρίου - Γραφίτου (SGR)	75	300	P/493
C <sub>2</sub> O-C (GGR)	150	350	P/390
H <sub>2</sub> O-C (PWGR)	223	290	P/492
Πιέσεως-H <sub>2</sub> O (PWR)	20	375-550	P/11
Υγρού μετάλλου (LMFR)	210	240	P/494

Τέλος, εις τόν Πίνακα IV έχουν συνοψισθή τὰ ἀποτελέσματα μιᾶς τελευταίας οικονομικῆς μελέτης τῆς Ἀμερικανικῆς Ἐπιτροπῆς Ἀτομικῆς Ἐνεργείας (6).

Ἐκ τῆς συγκρίσεως τοῦ Πίνακος II μετὰ τοῦ Πίνακος IV προκύπτει, ὅτι χώραι, ὡς αἱ Ἡνωμένοι Πολιτεῖαι, αἱ ὁποῖαι εἶναι πλούσιαι εἰς συμβατικά καύσιμα δὲν θὰ αὐξήσουν ἀμέσως τὴν ἐγκατεστημένην πυρηνικὴν τῶν ἰσχύν, διότι τοῦτο εἶναι οικονομικῶς

Πίναξ IV. Τελευταῖαι ἐκτιμήσεις κόστους Πυρηνικῶν Ἐργοστασίων\*

	Αντιδραστήρ			
	Πιέσεως	Ζέοντος Ὑδατος	Ὁργανικοῦ Ἐπιβραδυντοῦ	Ὁμογενῆς
\$/kw	252	290	237	321
mills/kwh	8.3-8.7	8.6-8.8	8.3-8.8	10.8-11.8

\* Ὑποθέσεις: Ἀκτινοβόλῃσις 13000-10000 MWD ton

Κόστος καυσίμου 0,35 \$  
10<sup>6</sup>BTu  
Μέση ἠλεκτρικὴ ἰσχύς 250 MW  
Κατασκευὴ ἀρχομένη τὸν Ἰούλιον 1960

ἀσύμφορον. Συγκεκριμένως, ἡ προβλεπομένη ἐξέλιξις τῆς πυρηνικῆς ἐνεργείας εἰς τὰς Η. Π. φαίνεται εἰς τὸ διάγραμμα τοῦ Σχήματος 6.

Ἐρωτᾶται ὅμως κατὰ πόσον χώραι πτωχαὶ εἰς συμβατικά καύσιμα θὰ χρησιμοποιήσουν πυρηνικὴν ἐνέργειαν ἐνωρίτερον καὶ ὑπὸ ποίας συνθήκας. Πρὸς τοῦτοις ἄς ἐξετάσωμεν τὸ ἐνεργειακὸν πρόβλημα τῆς Ἑλλάδος.

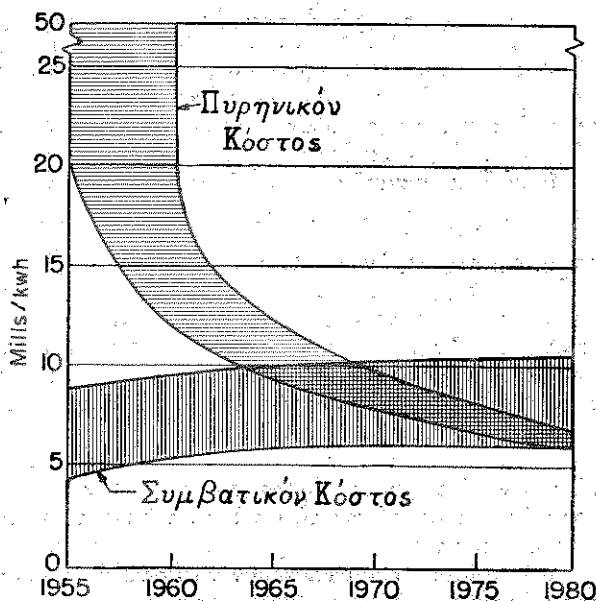
Τὸ κόστος τῶν συμβατικῶν ἐργοστασίων τῆς Δημοσίας Ἐπιχειρήσεως Ἠλεκτρισμοῦ φαίνεται εἰς τὸν Πίνακα V (7). Ἐξ αὐτοῦ συμπεραίνεται ὅτι εἶναι συγκρίσιμον πρὸς τὸ Ἀμερικανικὸν κόστος.

Λόγῳ ἐλλείψεως εἰδικῆς μελέτης ἐγκαταστάσεως πυρηνικῶν ἀντιδραστήρων ἐν Ἑλλάδι, αἱ προβλεπόμεναι τιμαὶ τῶν πρώτων δὲν εἶναι γνωσταί. Πλὴν ὅμως ἡ International Bank for Reconstruction and Development, ἐνδιαφερομένη ἀμέσως διὰ τὴν

Πίναξ V. Κόστος ἑλληνικῶν ἐργοστασίων

Ἐργοστάσιον	Ισχύς (MW)	Κεφάλαιον (\$/KW)	Κόστος ἐνεργείας (mills/kwh)
Ἀλιβέριον	80	200	6.3
Λάδων	64	380	0.6 ( )
Ἄγρα	50	310	
Λουῆρος	5	900	
Diesel	30	—	33-40
Μέση τιμὴ συνόλου			4.5

ἐξέλιξιν τῆς πυρηνικῆς ἐνεργείας, δοθέντος ὅτι 60% τῶν κεφαλαίων τῆς χρησιμοποιοῦνται δι' ἐνεργειακὰ ἔργα εἰς χώρας ὡς ἡ Ἑλλάς, ἐμελέτησε τὸ θέμα καὶ πρὸς πληρεστέραν ἐνημέρωσιν τῆς διενήργησε διεθνή διαγωνισμὸν διὰ τὴν ἐγκατάστασιν μονάδος πυρηνικῆς ἐνεργείας εἰς τὴν Νότιον Ἰταλίαν. Τὰ ἀποτελέ-



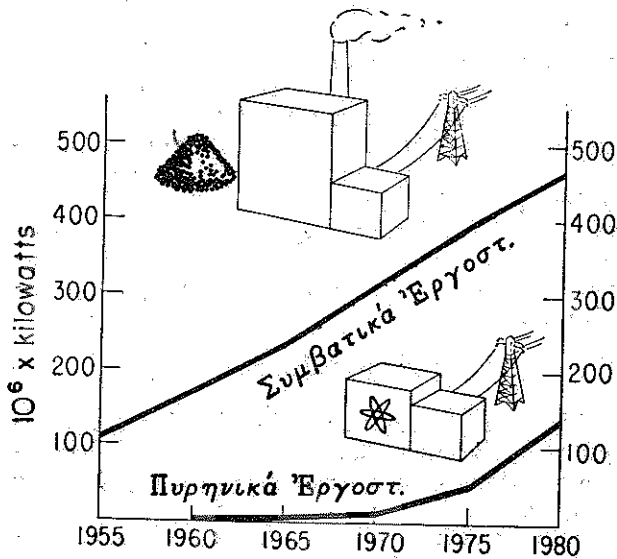
Σχ. 5. Κόστος πυρηνικῆς ἐνεργείας. (Πηγή: Nucleonics 15, 4, 18, 1957)

σματα τῆς μελέτης αὐτῆς εἶναι πολὺ χρήσιμα διὰ τὴν Ἑλλάδα καὶ δύνανται νὰ συνοψισθοῦν ὡς ἑξῆς (8):

Μεγάλοι πυρηνικοὶ ἀντιδραστήρες (100 ἠλεκτρικῶν MW ἢ περισσοτέρων) ἔχουν τὴν εὐκαιρίαν νὰ ἐγκατασταθοῦν εἰς Εὐρωπαϊκὰς χώρας, ὡς ἡ Ἑλλάς, διὰ τὴν παραγωγὴν ἠλεκτρικῆς ἐνεργείας ὑπὸ συνθήκας κόστους συγκρισίμους πρὸς τὰς συμβατικὰς ἐὰν καὶ ἐφ' ὅσον πληροῦνται αἱ ἐπόμεναι προϋποθέσεις:

α. Τὸ σύστημα παραγωγῆς καὶ διανομῆς τῆς ἐνεργείας εἰς τὸ ὁποῖον θὰ ἐγκατασταθῇ ὁ ἀντιδραστήρ πρέπει νὰ εἶναι μεγάλο ὥστε νὰ ἐπιτρέπη τὴν χρησιμοποίησιν πυρηνικῆς μονάδος ἰσχύος μεγαλυτέρας τῶν 100 MW ὡς μονάδος βάσεως (βαθμὸς φορτίσεως 80%).

β. Ο αντιδραστήρ πρέπει να χρησιμοποιηθῆ εἰς χώραν ἢ ὁποία ἔχει σχετικῶς ὑψηλὸν κόστος καυσίμων καὶ ὑδροηλεκτρικῶν ἐργοστασίων ὡς ἐπίσης καὶ



Σχ. 6. Ἐξέλιξις Συμβατικῆς καὶ Πυρηνικῆς τοῦσος εἰς Ἡ.Π. εἰς χώραν διαθέτουσαν κεφάλαια, ὥστε τὸ κόστος κεφαλαίου νὰ μὴ ὑπερβαίνῃ τὰ 10—14%.

γ. Ἡ Κυβέρνησις πρέπει νὰ πραγματοποιήσῃ τὰς ἀπαιτουμένας συμφωνίας διὰ τὴν ἐξασφάλισιν πυρηνικῶν καυσίμων κ.λ.

δ. Τὸ κόστος τῆς ἐνεργείας τοῦ συστήματος εἰς τὸ ὁποῖον θὰ συνδεθῆ ὁ ἀντιδραστήρ πρέπει νὰ εἶναι ἀρκετὰ εὐέλκτιον ὥστε ἐὰν τὸ κόστος τοῦ ἀντιδραστήρος εἶναι μεγαλύτερον τοῦ προβλεπομένου νὰ μὴ ἐπιφέρῃ ἀναταραχὴν.

ε. Ἡ πυρηνικὴ ἐνέργεια δὲν πρέπει νὰ εἶναι μεγάλον ποσοστὸν τῆς παραγομένης ἐνεργείας μέχρις ἀποκτήσεως καλλιτέρας ἐμπειρίας περὶ τῶν πυρηνικῶν ἐργοστασίων.

στ. Αἱ τιμαὶ αἱ ὁποῖαι προέκυψαν ἐκ τοῦ διεθνoῦς διαγωνισμοῦ ἔχουν ὡς εἰς τὸν πίνακα VI.

Πίναξ VI. Κόστος Πυρηνικῶν Ἐργοστασίων εἰς Ν. Ἱταλίαν (Προτάσεις διαφόρων διεθνῶν Ἐταιρειῶν)

Ἴσχυς (MW)	Κεφάλαιον (\$/KW)	Κόστος (mills/kwh)
206	120	11.1—16.9
280	130	
303	131	

Εἰς τοὺς προϋπολογισμοὺς τοῦ Πίνακος VI ὑπετέθη ὅτι τὸ κόστος τοῦ κεφαλαίου εἶναι 14% καὶ ὁ βαθμὸς φορτίσεως 80%.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω παρατηρήσεων καὶ στοιχείων προκύπτει ὅτι ἡ Ἑλλάς δὲν πρόκειται νὰ χρησιμοποιήσῃ πυρηνικὸν ἀντιδραστήρα διὰ 10, τοῦλάχιστον,

στον, ἔτη ἀκόμη. Τοῦτο ὀφείλεται ἀπ' ἑνὸς μὲν εἰς τὸ ὅτι ἡ παρούσα ἐγκατεστημένη ἰσχύς εἶναι τῆς τάξεως τῶν 500 MW, ἀπ' ἑτέρου δὲ αἱ προβλεπόμεναι αὐξήσεις ζήτησεως ἐνεργείας τοῦ προσεχoῦς μέλλοντος εἶναι δυνατόν νὰ καλυφθοῦν διὰ τῆς ἀξιοποιήσεως τοῦ ὕδατικοῦ καὶ ἀνθρακικοῦ δυναμικοῦ τῆς χώρας (7).

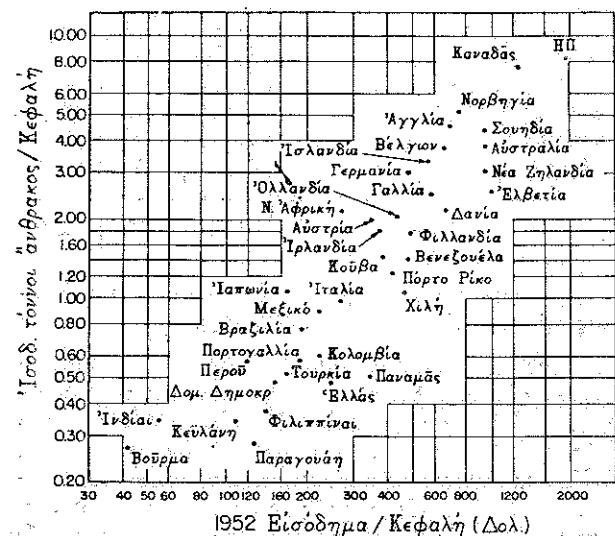
Παρὰ ταῦτα, εἶναι ἀπαραίτητον νὰ προετοιμασθῆ ἡ χώρα διὰ τὴν χρoσιμοποίησιν τῆς πυρηνικῆς ἐνεργείας καθ' ὅσον χρονικὰ διαστήματα τῆς τάξεως τῶν 10 ἔτων δὲν εἶναι μεγάλα. Κατὰ πάσαν πιθανότητα, αἱ ἀρμόδιαι ἑλληνικαὶ ἀρχαί, προβλέπουσαι τὴν ἐξέλιξιν τῆς ἑλληνικῆς Οἰκονομίας καὶ τὴν βελτίωσιν τῶν συνθηκῶν ἐκμεταλλεύσεως τῶν πυρηνικῶν ἀντιδραστήρων, θὰ ἔχουν ἤδη ἀποδυσθῆ εἰς τὸ ἔργον ἐκπαίδευσεως ἐπιστημόνων καὶ προγραμματισμοῦ διὰ τὴν ἐγκατάστασιν πυρηνικῶν μονάδων ἐν Ἑλλάδι.

### Πυρηνικὴ Ἐνέργεια καὶ Ἐθνικὴ Οἰκονομία

Ἐκ τῆς διερευνήσεως τοῦ διεθνoῦς καὶ εἰδικότερον τοῦ ἑλληνικοῦ ἐνεργειακοῦ προβλήματος προκύπτει ὅτι ἡ χρoσιμοποίησις τῶν πυρηνικῶν ἀντιδραστῶν ὡς πηγῶν ἐνεργείας εἶναι ἀναπόφευκτος εἰς τὸ προσεχὸς μέλλον. Προβλέπεται ὅτι, ἐντὸς ὀλίγων ἐτῶν, σημαντικὸν ποσοστὸν τῶν νέων ἐγκαταστάσεων παραγωγῆς ἐνεργείας θὰ εἶναι πυρηνικὸν καὶ εἰς τιμὰς ἴσας ἢ χαμηλότερας τῶν συμβατικῶν.

Εἰς τὸ πλαίσιον τῶν ἀνωτέρω διαπιστώσεων καὶ δοθέντος ὅτι ὑψηλὸν κατὰ κεφαλὴν εἰσόδημα συνδυάζεται πάντοτε μετὰ ὑψηλῆς κατὰ κεφαλὴν καταναλώσεως ἐνεργείας (9) (Σχῆμα 7) διερευνητέον κατὰ κόσμον ἢ πιθανὴν διαθέσιμότης εὐθνήνης πυρηνικῆς ἐνεργείας θὰ ὑποβοηθήσῃ τὴν ἐπίλυσιν τῶν οἰκονομικῶν δυσχερειῶν τὰς ὁποῖας ἀντιμετωπίζουν αἱ χώραι ἡσσονος οἰκονομικῆς ἀναπτύξεως.

Εἶναι ἀναμφισβήτητον ὅτι χαμηλὸν κόστος καὶ



Σχ. 7. Κατανάλωσις ἐνεργείας ὡς πρὸς τὸ κατὰ κεφαλὴν εἰσόδημα. (Πηγή: F. S. Mason *Economic Growth and Energy Consumption. Progress in Nuclear Energy VIII*)

άφθονος ενέργεια παίζουν σημαντικό ρόλο εις την εξέλιξιν μιᾶς Οικονομίας ἀλλὰ εἶναι ταυτοχρόνως ἀπαράδεκτον διὰ ἀποτελεῖν πρωτεύοντα παράγοντα εἰς τὴν ἀνάπτυξιν τῆς Οικονομίας. Ἡ οἰκονομικὴ πρόοδος καὶ ἡ παραγωγικὴ χοῆσις τῆς ἐνεργείας ἀπαιτοῦν μεγάλας κεφαλαιουχικὰς ἐπενδύσεις. Ἐπομένως ἐλάττωσις τοῦ κόστους τῆς ἐνεργείας ἔχει ἐννοικίην ἐπίδρασιν ἐπὶ τοῦ ἐθνικοῦ εἰσοδήματος μόνον ἂν καὶ ἐφ' ὅσον κεφάλαια εἶναι ταυτοχρόνως διαθέσιμα δι' ἐπενδύσεις. Τοῦτο εἶναι ἰδιαίτερας σημασίας διὰ χώρας αἱ ὁποῖαι δὲν ἔχουν βαρεῖαν βιομηχανίαν καὶ εἰς τὰς ὁποίας ἕνα μεγάλο ποσοστὸν κεφαλαιουχικῶν ἐπενδύσεων ἀνήκει εἰς ξένους.

Εἰς τὸν Πίνακα VII δίδεται τὸ ποσοστὸν ἐπιβαρύνσεως διαφόρων ἀγαθῶν, ὑπὸ τοῦ συντελεστοῦ

Πίναξ VII. Κόστος ἐνεργείας κατὰ παραγωγικούς τομείς.

Βιομηχανικὸς Τομεὺς	Κόστος παραγωγῆς ( $\times 10^6$ \$)	Κόστος ἐνεργείας ( $\times 10^6$ \$)	Ποσοστὸν ἐνεργειακῆς ἐπιβαρύνσεως %
Τρόφιμα	9.085	279	3,1
Καπνὸς	641	6	0,9
Υφαντουργία	5.341	166	3,1
Εἶδη ἐνδυμασίας	4.443	30	0,7
Ξυλεία	2.497	68	2,7
Ἐπιπλα	1.378	22	1,6
Χάρτης	2.875	198	6,9
Τυπογραφία	4.269	35	0,8
Χημικὰ προϊόντα	5.365	297	5,5
Πετρέλαια	2.015	97	4,8
Προϊόντα ἐλαστικῶν	1.303	46	3,5
Λέσματα	1.533	21	1,4
Υαλοουργία	2.306	258	11,2
Μεταλλουργία	5.765	1.317	22,8
Ἐπεξεργασία μετάλλων	4.921	111	2,3
Μηχανήματα	7.812	147	1,9
Ἡλεκτρικὰ μηχανήματα	3.894	64	1,6
Μεταφορικά μέσα	5.869	125	2,1
Ὅργανα	1.080	12	1,1
Διάφορα	2.090	33	1,6
Σύνολον	74.426	3.332	4,5

Τὸ ποσοστὸν περιλαμβάνει συνολικὸν κόστος ἐνεργείας καὶ οὐχὶ μόνον κόστος παραγωγῆς.

ἐνεργείας κατὰ βιομηχανικούς κλάδους (10). Ἐκ τοῦ πίνακος αὐτοῦ ἐμφαίνεται σαφέστατα ὅτι τὸ οἰκονομικὸν πρόβλημα τὸ ὁποῖον ἀντιμετωπίζουν αἱ ὑπὸ ἀνάπτυξιν χώραι δὲν εἶναι κατ' ἀρχὴν ἐνεργειακόν, ἀλλ' ἀξιοποιήσεως τῶν πλουτοπαραγωγικῶν τῶν πηγῶν. Ἡ διαθέσιμότης μιᾶς νέας πηγῆς ἐνεργείας, ἔστω καὶ δωρεάν, δὲ συντελοῦσε εἰς τὴν ἐπίλυσιν τοῦ οἰκονομικοῦ προβλήματος κατὰ 2-3% μόνον. Τὰ ὑπολειπόμενα 97% εἶναι ἀπαραίτητον νὰ ἀντιμετωπισθοῦν δι' ἄλλων μεθόδων καὶ συγχρόνως.

Ἡ ἐξεύρεσις «τῶν ἄλλων μεθόδων» καὶ οὐχὶ ἡ πυρηνικὴ ἐνέργεια εἶναι ἡ ἀπάντησις εἰς τὸ αἴτημα τῆς βελτιώσεως τοῦ ἐθνικοῦ εἰσοδήματος. Ὁ γράφων ὁμως δὲν εἶναι προετοιμασμένος νὰ ἐξετάσῃ τὸ θέμα τοῦτο διὰ τοῦ παρόντος. Ἐπιθυμῶ μόνον νὰ τονίσῃ ὅτι οἰαιδήποτε καὶ ἂν εἶναι αἱ οὐσιαστικὰ μέθοδοι ἀναπτύξεως καὶ προόδου τῆς Ἐθνικῆς Οἰκονομίας, ὁ μόνος τρόπος ἐξευρέσεως τῶν εἶναι ὁ ἐθνικὸς καὶ ἐπιστημονικὸς προγραμματισμὸς. Πιστεύεται ὅτι ὁ ἐθνικὸς καὶ ἐπιστημονικὸς προγραμματισμὸς εἶναι δυνατόν νὰ ἀποβῇ ἀπροβλέπτου σημασίας διὰ τὴν εἰς τὸ μέγιστον χρησιμοποίησιν τοῦ ἔμφυχου καὶ ὕλικου πλοῦτου τῆς Ἑλλάδος καὶ διὰ τοῦτο ἡ ἔννοια καὶ αἱ ἐπιδιώξεις του δὲ παρουσιασθοῦν εἰς μιὰν προσεχῆ ἀνακοίνωσιν.

### Συμπεράσματα

Ἐν συμπεράσματι, διεπιστώθη ὅτι αἱ εἰς ἐνέργειαν ἀνάγκαι τοῦ κόσμου αὐξάνουν διαρκῶς λόγῳ τῶν ραγδαίως ἐξελισσομένων ἐπιστημονικῶν καὶ τεχνολογικῶν μεθόδων.

Λοθέντος ὅτι τὰ ἀποδέματα τῶν σήμερον χρησιμοποιουμένων πηγῶν ἐνεργείας εἶναι περιορισμένα καὶ τὸ κόστος τῶν ἔχει ἀνοδικὰς τάσεις, ἡ πρόβλεψις τῆς μελλοντικῆς ζήτησεως ἐνεργείας ἐπιβάλλει τὴν ἀναζήτησιν νέων πηγῶν.

Ὡς νέαι πηγαὶ ἐνεργείας παρουσιάζονται πρὸς τὸ παρὸν οἱ πυρηνικοὶ ἀντιδραστήρες, τῶν ὁποίων τὸ κόστος προβλέπεται ὅτι συντόμως δὲ εἶναι συναγωνισίμου πρὸς τὸ κόστος τῶν συμβατικῶν πηγῶν.

Διὰ τὴν Ἑλλάδα δὲν εἶναι οἰκονομικῶς ἡ τεχνικῶς σκόπιμον νὰ χρησιμοποιήσῃ πυρηνικὴν ἐνέργειαν πρὸ τῆς παρελεύσεως μιᾶς δεκαετίας. Εἶναι ὁμως ἀπαραίτητον νὰ προετοιμασθῇ ἐπιστημονικῶς διὰ τὴν ἐγκατάστασιν πυρηνικῶν μονάδων εἰς τὸ προσεχές μέλλον.

Τέλος, ὑπεδείχθη ὅτι ἡ πυρηνικὴ ἐνέργεια καὶ γενικώτερον ἡ διαθέσιμότης εὐθηνῆς ἐνεργείας δὲν ἀποτελεῖ μοναδικὴν μέθοδον ἐπίλυσεως οἰκονομικῶν δυσχερειῶν. Ἡ οἰκονομικὴ πρόοδος ἐπιτυγχάνεται διὰ ἀξιοποιήσεως ὅλων τῶν πλουτοπαραγωγικῶν πηγῶν τῆς χώρας, τῆς ἐνεργείας συντελοῦσης εἰς τὴν ἀποδοτικωτέραν χρησιμοποίησιν αὐτῶν. Ἡ ἀξιοποίησις τῶν πλουτοπαραγωγικῶν πηγῶν εἶναι δυνατὴ διὰ συστηματικοῦ ἐθνικοῦ προγραμματισμοῦ.

### S U M M A R Y

#### *Nuclear energy and Economic Growth*

By ELIAS P. GYFTOPOULOS\*

The energy requirements of the world during the past few decades and the foreseeable future are reviewed and the conventional energy resources presented.

It is shown that the economically usable

\* Present address: Massachusetts Institute of Technology Electrical Engineering Dept Cambridge 39, Mass., U.S.A.

coal, oil, natural gases and hydraulic energy will not last longer than one or two hundred years and that there is a need for the development of a new energy source. Such a source is the process of nuclear fission.

The capital investments of conventional and nuclear power plants as well as the cost of conventional and nuclear energy are examined.

It is shown that it is not economically advantageous to use nuclear energy today. It is anticipated that within the next decade nuclear costs will become competitive with conventional costs.

In particular, for the case of countries like Greece, a series of requirements for the installation of nuclear power plants, established by the International Bank, are discussed.

It is concluded that Greece should not install nuclear power before exploiting other conventional resources now available in the country.

Finally, the relationship between availability of energy and economic growth is analyzed.

It is emphasized that even though fully developed economies use large amounts of energy, the availability of energy, even free of charge, is not the primary factor of economic growth. Economic development requires systematic planning and optimal allocation of resources.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. United Nations Organization. «World Energy Requirements in 1957 and 2000». Geneva Conference P/902, (1955).
2. E.A.G. Robinson, G. H. Daniel «The Reserves of Conventional Fuels» Progress in Nuclear Energy VIII p. 48 Mc Graw Hill (1957).
3. T. Reis, «L'Énergie Nucléaire dans le Monde» Dunod (1957).
4. W. K. Davis «Capital Investment Required for Nuclear Energy» Geneva Conference P/477 (1955).
5. I. A. Lane «An Evaluation of Geneva and Post-Geneva Nuclear Power Economic Data». Progress in Nuclear Energy VIII p. 173 Mc Graw Hill 1957.
6. «Advanced Reactor Studies» *Nucleonics* 17, 8, 59 (1959).
7. *Ίσολογισμός Δημοσίας Έπιχειρήσεως Ήλεκτροισμοῦ 1958*.
8. International Bank of Reconstruction and Development «Economics of Nuclear Power» No I, June 1956 και Eleventh Annual Meeting of Bank Sept. (1956).
9. E. S. Mason. «Economic Growth and Energy Consumption» Progress in Nuclear Energy VIII p. 56 Mc Graw Hill (1957).
10. *United States Census of Manufactures*, Vol. I, (1947).

#### ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- P. Putnam, «Energy in the Future» Van Nostrand (1953).

(Εισήχθη τῇ 19ῃ Νομβρίου 1959)