



ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Π. ΚΑΠΡΟΣ

Καθηγητής ΕΜΠ, ΣΗΜΜΗΥ

2006



Α: Εισαγωγή στην Ενεργειακή Οικονομία και Πολιτική

Σημειώσεις για το μάθημα
Ενεργειακή Οικονομία
Π. Κάπρος, ΣΗΜΜΗΥ, 2006

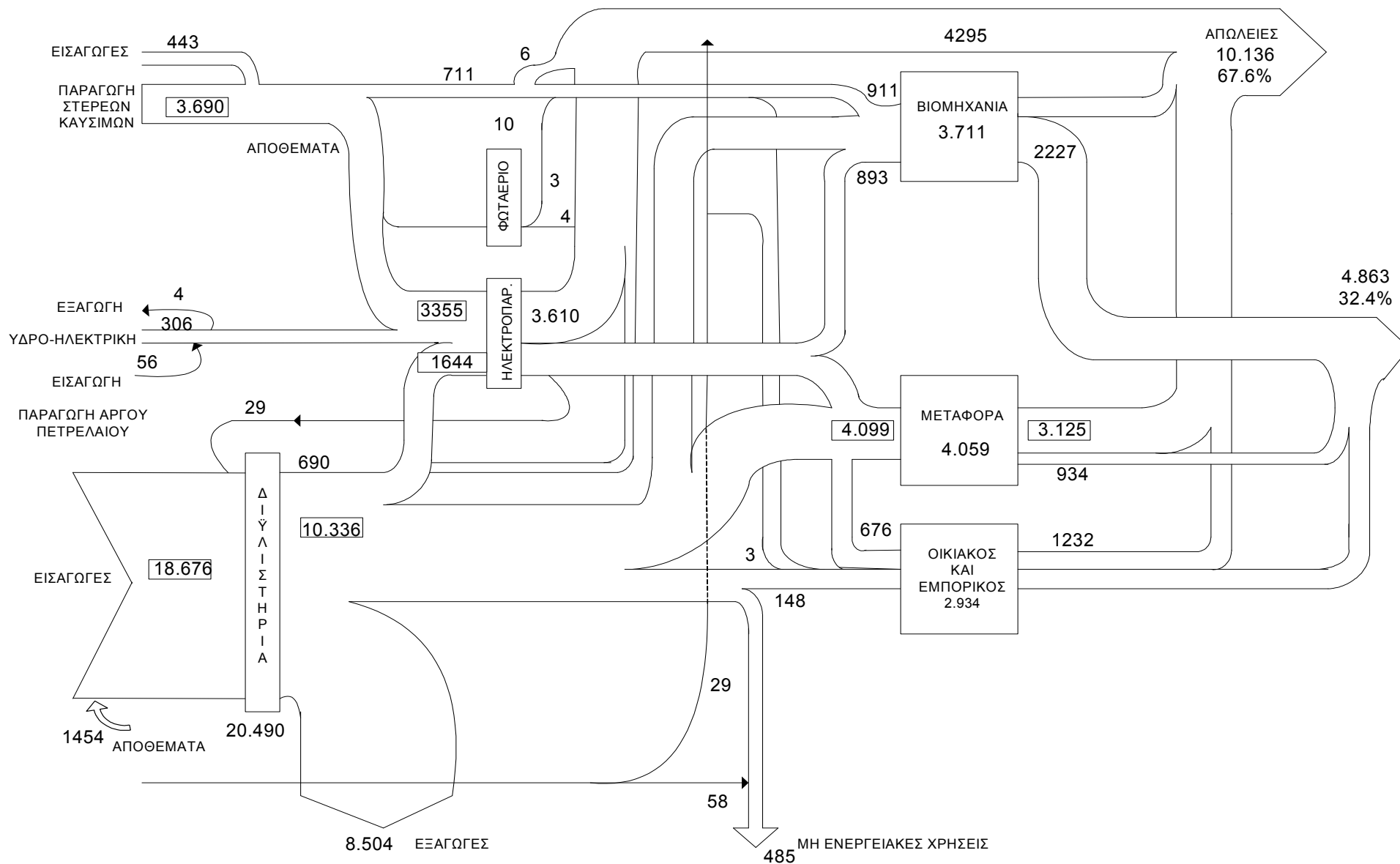
Εισαγωγικές Έννοιες

1. **Ενέργεια**: ζωτικός ρόλος για τη διαβίωση, την τροφή, τη μεταποίηση, τη μεταφορά
2. **Ενέργεια και Τεχνολογία**: σύμπλεγμα που χαρακτηρίζει την οικονομία και παραγωγική ικανότητα κάθε εποχής
3. **Ενεργειακές Κρίσεις**: η ενέργεια ως εξαντλούμενος πόρος ζωτικής σημασίας αποτελεί αιτία γεωπολιτικών και οικονομικών κρίσεων
4. **Ενέργεια και Κεφάλαιο-Υποδομή**: η μεγάλη ένταση κεφαλαίου και η σημασία της ενέργειας εξηγούν τη σημασία της οικονομικής βελτιστοποίησης και του μακροχρόνιου σχεδιασμού
5. **Ενέργεια και Περιβάλλον**: οι σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, τοπικό και πλανητικό, περαιτέρω δικαιολογούν την ενεργειακή πολιτική, οικονομική βελτιστοποίηση και το μακροχρόνιο σχεδιασμό.

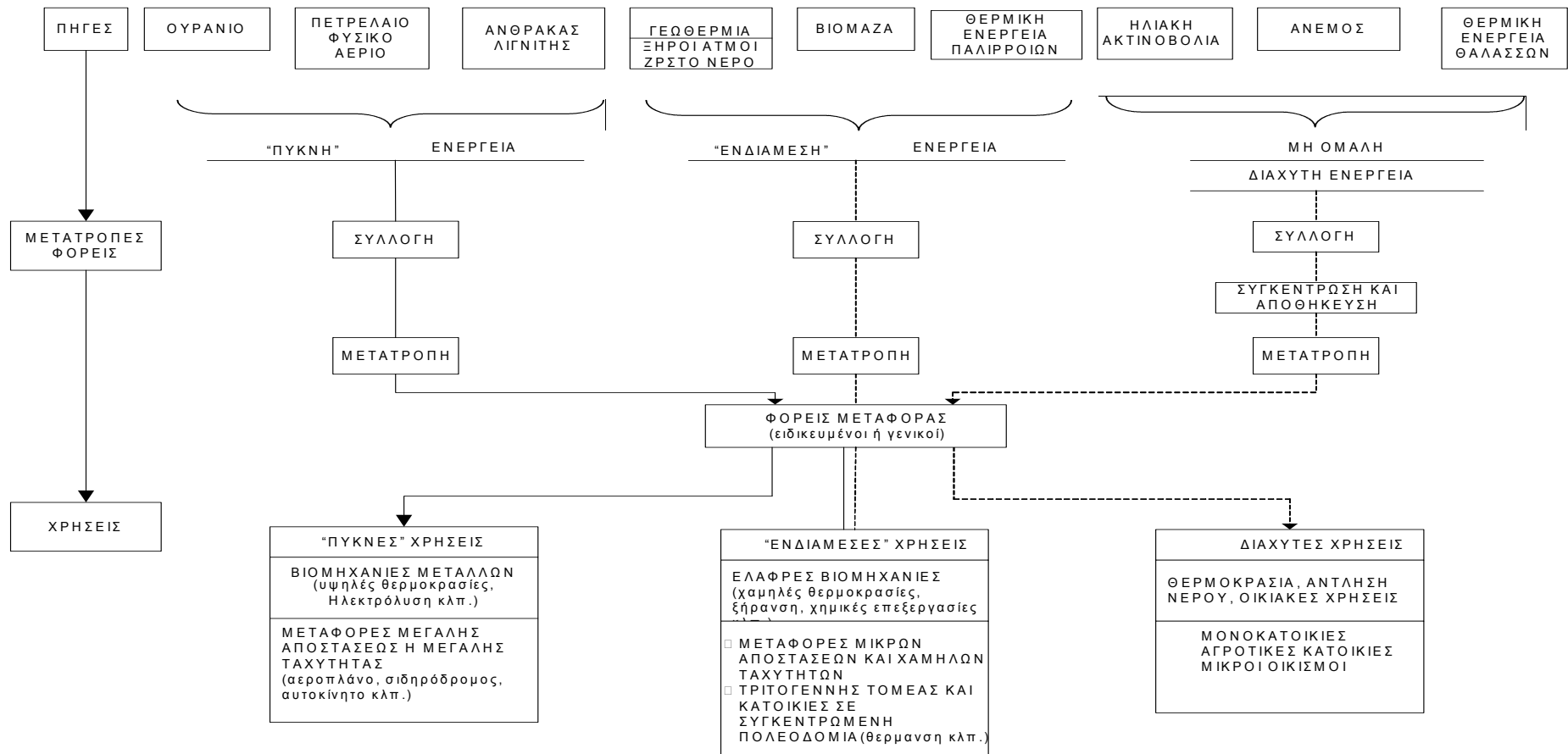
Ορισμοί για την Ενέργεια

- Ορισμός από τη Φυσική: πρωταρχική έννοια
- Τεχνολογικός Ορισμός: θερμικό ισοδύναμο – μετατροπή από μία ενεργειακή μορφή σε άλλη
 - Α' Θερμοδυναμικό Αξίωμα: διατήρηση ενέργειας στο κλειστό σύστημα (ποσότητα ενέργειας – μετατροπή)
 - Απόδοση ενεργειακού συστήματος: Έξοδος προς Είσοδο
 - Β' Θερμοδυναμικό Αξίωμα: κατά τις μετατροπές η ενέργεια υποβαθμίζεται και η εντροπία αυξάνει
 - Διαθέσιμη ενέργεια: μέγιστο μέρος της ενέργειας που μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμο έργο
- Οικονομικός Ορισμός: προϊόν με ανταλλακτική αξία ή θέληση για πληρωμή
- Ενεργειακό Προϊόν:
 - Ενσωματώνει ενέργεια προς διάθεση σε χρήση: αξία χρήσης και υποκατάστασης
 - Η χρήση αυτή, δηλαδή η μετατροπή ενέργειας, απαιτεί τεχνολογικό εξοπλισμό: κεφάλαιο

Σύστημα Ροών Ενέργειας

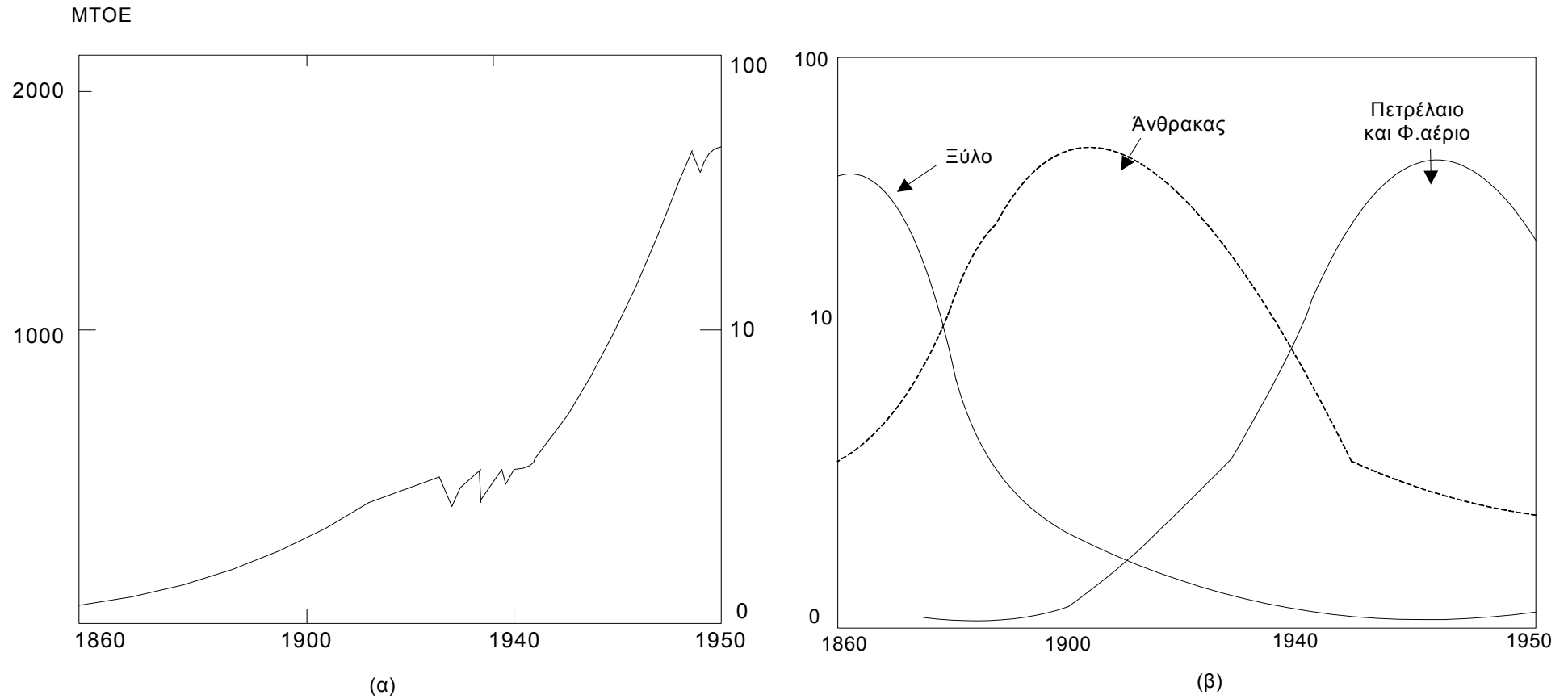


Διάχυτη και Πυκνή Ενέργεια στη Χρήση



- Η χρησιμότητα μιας ενεργειακής πηγής περιορίζεται από τις δυνατότητες του ενεργειακού φορέα που μεταφέρει την ενέργεια από την πηγή στη χρήση.
- Μία "πυκνή" ενεργειακή μορφή μπορεί να χρησιμεύσει σε μία διάχυτη χρήση, αλλά το αντίστροφο είναι πολύ πιο δύσκολο.
- Οι καύσιμες ύλες, ο ηλεκτρισμός, το ζεστό νερό σε δίκτυο κλπ. θεωρούνται φορείς μεταφοράς ενέργειας. Ο μόνος πραγματικά γενικός φορέας είναι ο ηλεκτρισμός, γιατί μπορεί να παραχθεί από οποιασδήποτε φύσεως ενεργειακή μορφή (πυκνή ή διάχυτη) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν σε οποιαδήποτε χρήση (πυκνή ή διάχυτη).

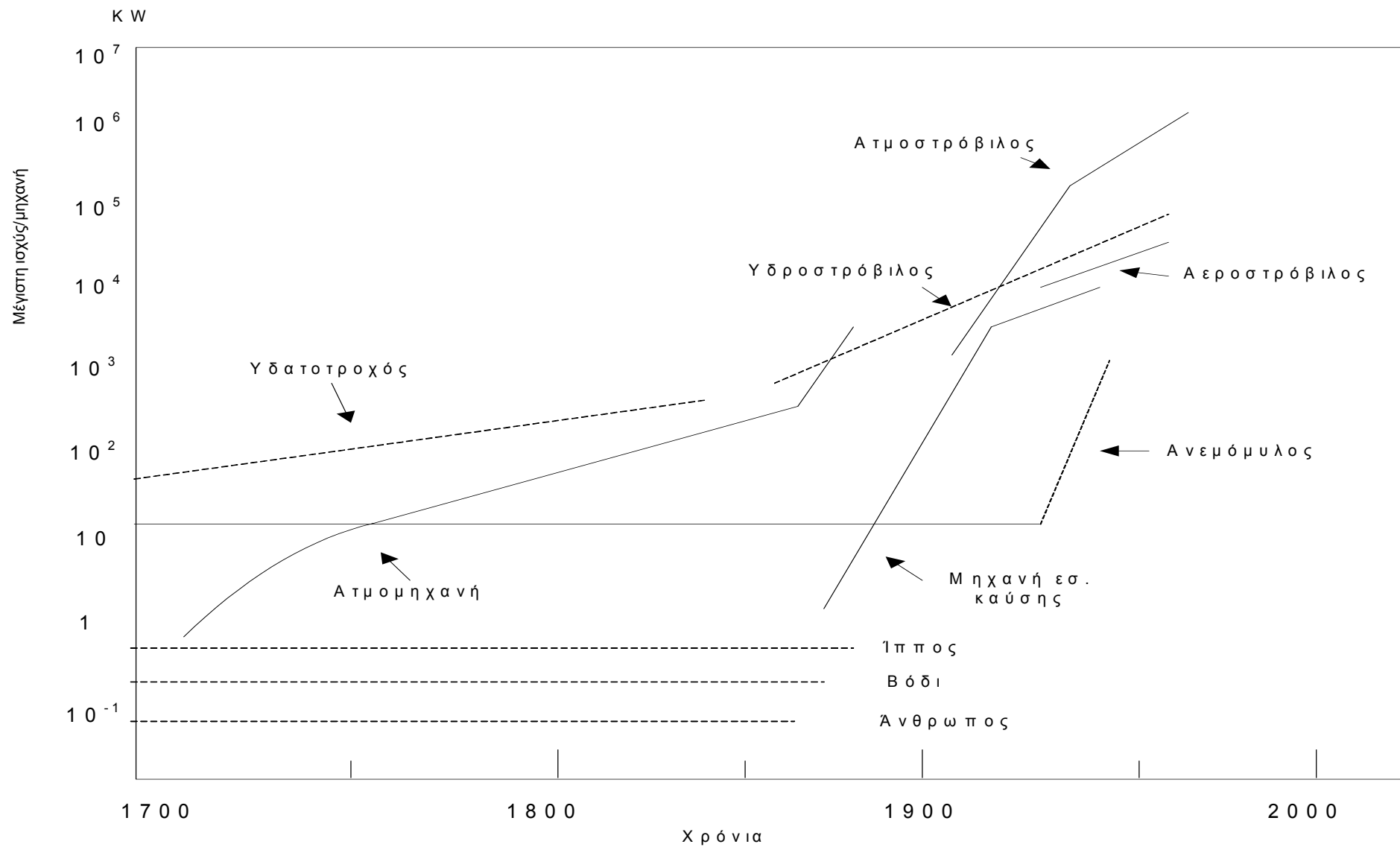
Ενέργεια και Τεχνολογία



(α): Συνολική ζήτηση για ενέργεια

(β): Ζήτηση για ορισμένα καύσιμα ως ποσοστό της συνολικής ζήτησης

Ενέργεια και Τεχνολογία



Ενέργεια και Οικονομία

- Μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973 αναδείχθηκε ο ιδιαίτερος οικονομικός ρόλος της ενέργειας και αναπτύχθηκε η επιστήμη της Ενεργειακής Οικονομίας, που περιλαμβάνει
 - Ενεργειακή Ανάλυση, Στατιστική και Σύστημα
 - Τεχνική-οικονομική βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων
 - Ανάλυση Ενεργειακής Πολιτικής και Στρατηγικής
 - Ενέργεια και Περιβάλλον: οικονομική ανάλυση και πολιτική
 - Οικονομικά για την ενέργεια σε ανταγωνιστικές αγορές
- Πώς γίνεται ένας κλάδος που παριστάνει 3-4% του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος ή 5-8% της καταναλωτικής δαπάνης να δημιουργεί κρίση τέτοιας έκτασης και έντασης;
- Πώς γίνεται η τεχνολογία χρήσης και μετατροπής της ενέργειας να χαρακτηρίζει τεχνολογικά οικονομίες και εποχές;
- Πώς γίνεται το περιβάλλον της γης να κινδυνεύει από ολική καταστροφή λόγω της ενέργειας και η αποτροπή αυτής της εξέλιξης να απαιτεί τεράστιους οικονομικούς πόρους και τόσο μεγάλη αλλαγή;
- Γιατί πολιτικά και γεωπολιτικά είναι τόσο σημαντική η ενέργεια;

Ενέργεια και Οικονομία

- Τριπλός ρόλος της ενέργειας: προϊόν για εμπόριο και κατανάλωση, κλάδος παραγωγής, συντελεστής παραγωγής και μάλιστα πρωταρχικός
- Δεν γίνεται απεριόριστη υποκατάσταση της ενέργειας με άλλα αγαθά ή υπηρεσίες, άρα η τυχόν σπανιότητα ή ακρίβεια της ενέργειας αφαιρεί οικονομικούς πόρους από τυχόν άλλη πιο αποδοτική χρήση (οικονομική κρίση)
- Η παραγωγή και χρήση της ενέργειας απαιτεί κεφάλαιο μεγάλης έντασης, άρα και υψηλές επενδύσεις
 - Μακροχρόνια δέσμευση στο κεφάλαιο – ρίσκο
 - Χαμηλές οικονομικές αποδόσεις
 - Μέρος του κεφαλαίου σε υποδομή κοινής χρήσης
- Η τεχνολογική εξέλιξη είναι αργή και μακροχρόνια, η ελαστικότητα εισοδήματος χαμηλή ενώ οι επιπτώσεις από τις ενεργειακές κρίσεις είναι άμεσες

Ενέργεια ως Κοινή Ωφέλεια

- Διπλή φύση της ενέργειας
 - Αντικείμενο ανταγωνισμού επιχειρήσεων και κερδοσκοπίας
 - Υπηρεσία ζωτικής σημασίας για τη διαβίωση και την οικονομία, άρα η αδιάλειπτη παροχή σε ανταγωνιστικές τιμές είναι προς όφελος του δημοσίου συμφέροντος
- Κοινή υποδομή –φυσικό μονοπώλιο
 - Όταν δεν συμφέρει η ανάπτυξη παράλληλων και ανταγωνιστικών υποδομών
 - Παράδειγμα κοινά δίκτυα ηλεκτρισμού, αγωγοί φυσικού αερίου
- Εξωτερικά κόστη σχετικά με την ενέργεια
 - Περιβάλλον (τοπικό και πλανητικό)
 - Τεχνολογική πρόοδος
 - Δημόσιο αγαθό από διασφάλιση διαθεσιμότητας
 - Γεωπολιτική

Οι τρεις πυλώνες της Ενεργειακής Πολιτικής

1. Οικονομική ανταγωνιστικότητα

- Χαμηλό κόστος για την κατανάλωση σε επιχειρήσεις και νοικοκυριά
- Χαμηλό έμμεσο κόστος (π.χ. περιβάλλον) από τη χρήση και μετατροπή της ενέργειας
- Χαμηλό έμμεσο κόστος σχετικά με τεχνολογία και κεφάλαιο
- Χαμηλό έμμεσο κόστος ασφάλειας για την ενεργειακή παροχή

2. Ασφάλεια εφοδιασμού

- Αδιάλειπτη παροχή – αξιοπιστία
- Διασφάλιση επενδύσεων για μακρόχρονη διαθεσιμότητα προσφοράς
- Αποφυγή εμπάργκο
- Διατήρηση κοστοστρεφών τιμών ενέργειας
- Αποφυγή υπερτιμολογήσεων λόγω σπανιότητας

3. Προστασία περιβάλλοντος

- Τοπικό περιβάλλον: όξινη βροχή, σωματίδια, ποιότητα αέρα (π.χ. Πόλεις)
- Πλανητικό περιβάλλον: αέρια του θερμοκηπίου – κλιματική αλλαγή



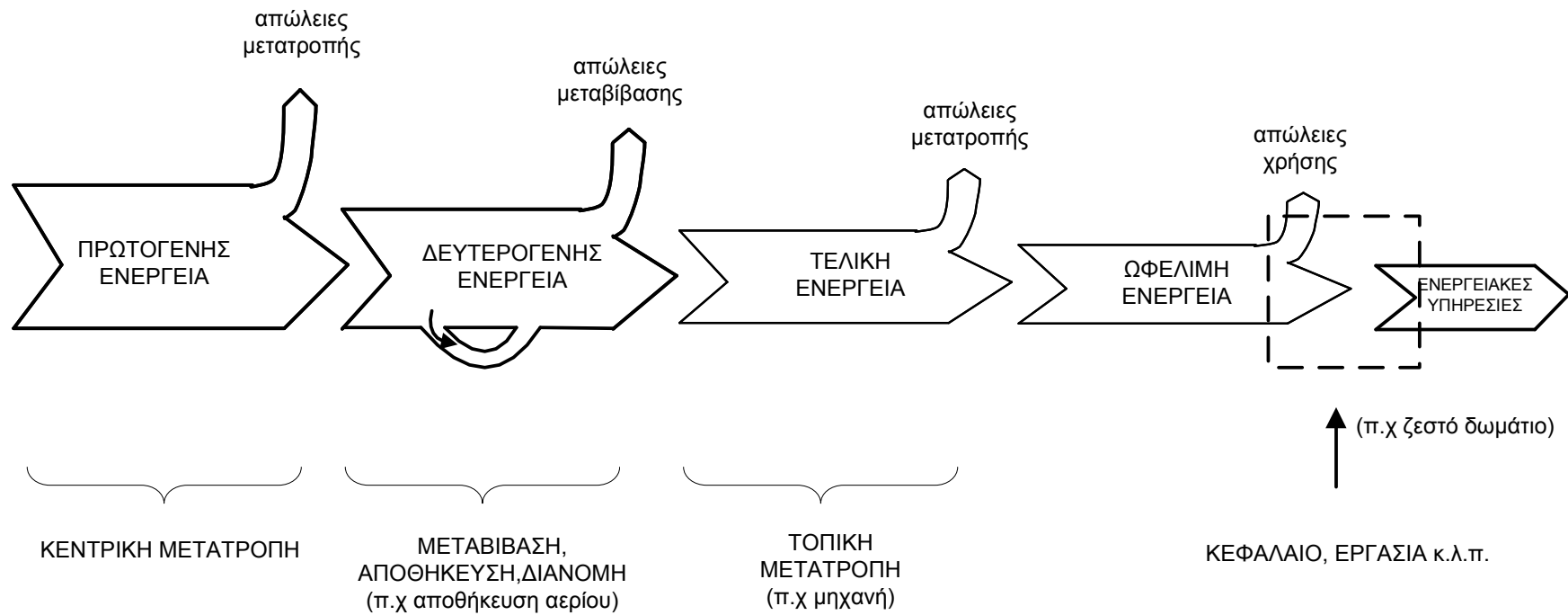
Β: Βασικοί Ορισμοί της Ενεργειακής Ανάλυσης

Σημειώσεις για το μάθημα
Ενεργειακή Οικονομία
Π. Κάπρος, ΣΗΜΜΗΥ, 2006

Οι Ενεργειακές Μορφές

- **ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**
 - Όπως στη φύση (αργό πετρέλαιο, άνθρακας, λιγνίτης, ουράνιο, ήλιος, αέρας κτλ.)
- **ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**
 - Ενέργεια ως αποτέλεσμα κάποιας μετατροπής πριν όμως την κατανάλωση.
- **ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ–ΠΡΟΪΟΝΤΑ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΦΟΡΕΙΣ**
 - Ενέργεια ενσωματωμένη στα προϊόντα όπως διανέμονται στους καταναλωτές.
- **ΩΦΕΛΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**
 - Μορφή της ενέργειας τελικά χρήσιμη στον καταναλωτή (μηχανική, θερμική κτλ.)
- **ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ**
 - Σειρά μετατροπών από την πρωτογενή έως την ωφέλιμη, κατά είδος.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

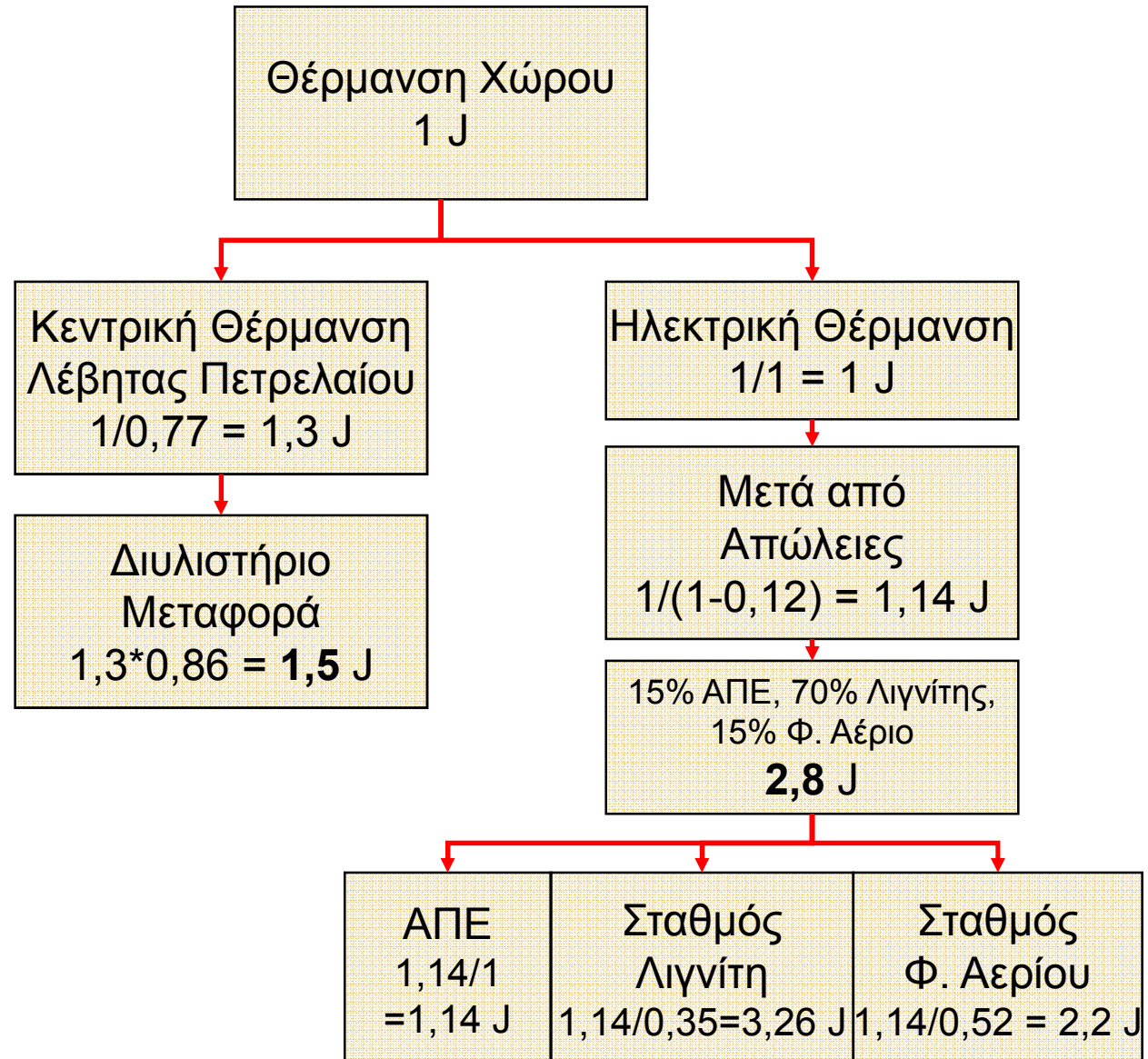


Ενεργειακή Ανάλυση

Έννοιες	Παραδείγματα	Προετοιμασία φαγητού	Μεταφορά με αυτοκίνητο	Θέρμανση σπιτιού
Ενεργειακή υπηρεσία		μαγειρεμένο φαγητό	Απόσταση μεταφοράς επιβάτη	ζεστό σπίτι
		θέρμανση δοχείου	κίνηση αυτοκινήτου	θέρμανση χώρου
Ωφέλιμη ενέργεια		απαιτούμενη θερμότητα	απαιτούμενη κινητήρια δύναμη	απαιτούμενη θερμότητα
		ηλεκτρική κουζίνα	μηχανή	κλίβανος
Τελική ενέργεια		απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια	απαιτούμενη βενζίνη	απαιτούμενο πετρέλαιο
		ηλεκτροπαραγωγή	δυλιστήριο	δυλιστήριο
Πρωτογενής ενέργεια		απαιτούμενος λιγνίτης	απαιτούμενο αργό πετρέλαιο	απαιτούμενο αργό πετρέλαιο

Παράδειγμα Ενεργειακής Ανάλυσης

- Στην τελική χρήση η ηλεκτρική θέρμανση είναι ενεργειακά πιο αποδοτική
- Όμως στο συνολικό ενεργειακό σύστημα, η ηλεκτρική θέρμανση είναι σχεδόν διπλάσιας ενεργειακής σπατάλης
- Η συνολική απόδοση της ηλεκτρικής θέρμανσης βελτιώνεται με αντλία θερμότητας ή με συμπαραγωγή



ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
	ΦΥΣΙΚΑ	ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ
<u>ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΕΣ & ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΕΣ</u> (πετρέλαιο, κάρβουνο, ουράνιο, φυσικό αέριο)	<ul style="list-style-type: none"> • πυκνές • διαιρετές • εξαντλούμενες • γεωγραφικά συγκεντρωμένες 	<ul style="list-style-type: none"> • οργάνωση σε δίκτυα και αγορές • συγκεντρωμένη μετατροπή και επεξεργασία • γενικής χρήσεως • χαμηλό σχετικά ύψος επενδύσεων • υψηλό κόστος χρησιμοποίησης (καύσιμα)
<u>ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ</u> (ξύλο, βιομάζα, γεωθερμία)	<ul style="list-style-type: none"> • λίγο πυκνές • λίγο συγκεντρωμένες • ανανεώσιμες μόνο βραχυπρόθεσμα ή μεσοπρόθεσμα 	<ul style="list-style-type: none"> • τοπική χρήση και επεξεργασία • ειδικές χρήσεις εκτός από την παραγωγή ηλεκτρισμού • σημαντικές επενδύσεις • χαμηλό κόστος χρησιμοποίησης
<u>ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΥΠΟ ΜΟΡΦΗ ΡΟΗΣ</u> (ήλιος, άνεμος)	<ul style="list-style-type: none"> • διάχυτες και μη ομαλής παροχής • ανανεώσιμες • δύσκολα αποθηκεύσιμες • ισοκατανεμημένες γεωγραφικά 	<ul style="list-style-type: none"> • τοπική χρήση και επεξεργασία εκτός από την παραγωγή ηλεκτρισμού • δωρεάν συλλογή αλλά ακριβή συγκέντρωση και αποθήκευση • υψηλό κόστος επενδύσεων αλλά χαμηλό κόστος χρησιμοποίησης • διακοπτόμενη παροχή ενεργείας
<u>ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ</u>		
<p><u>ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΙΜΟΙ</u>: καύσιμα, υδρογόνο <u>ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΙ</u>: ζεστό νερό σε δίκτυο <u>ΜΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΙΜΟΙ</u>: ηλεκτρισμός</p>		

Μονάδες Μέτρησης Ενέργειας

- Από το Έργο στην Ενέργεια
 - 1 Joule: έργο δύναμης 1 Newton για μετακίνηση 1 m
 - $1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}$
 - 1 Joule: ενέργεια ηλεκτρικής ισχύος 1 W σε ένα δευτερόλεπτο
 - $1 \text{ J} = 1 \text{ W}\cdot\text{sec} \rightarrow 1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$
 - $1 \text{ BTU} = 1,055 \times 10^3 \text{ J}$ (1 therm or th = 0,1 MBTU)
- Το calorie ορίζεται σαν το ποσό θερμότητας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας ενός γραμμαρίου νερού από $14,5 \text{ }^\circ\text{C}$ σε $15,5 \text{ }^\circ\text{C}$ με κανονική ατμοσφαιρική πίεση.
- Η Βρετανική θερμική μονάδα ορίζεται σαν το ποσό θερμότητας που απαιτείται για την αύξηση μιας λίμπρας νερού κατά ένα βαθμό της κλίμακας Fahrenheit, όταν η θερμοκρασία είναι $39,2 \text{ }^\circ\text{F}$.
- Οι μετατροπές μεταξύ των δύο γίνονται βάσει των σχέσεων
 - $1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal}$ $1 \text{ cal} = 3.96825 \cdot 10^{-3} \text{ Btu}$

Μονάδες Μέτρησης Ενέργειας

- Μετατροπή Ενέργειας – Θερμικό Ισοδύναμο
 - 1 cal: θερμότητα από 1° Celsius 1 cm³ νερού
 - 1 kWh = 860 kcal
 - 3600 kJ = 860 kcal → 1 cal = 4,186 J
 - 1 BTU = 1,055 x 860 / 3600 kcal = 0,252 kcal
- Τόνος ισοδυνάμου πετρελαίου (τιπ ή toe)
 - 1 toe = 10¹⁰ cal = 10 Gcal
 - 1 MWh = 0,086 toe ή 1 GWh = 0,086 ktoe
 - 1 toe = 41,86 GJ ή 1 Mtoe = 41,86 PJ
 - 1 toe = 39,678 MBTU
- Τόνος ισοδυνάμου άνθρακα (τια ή tce)
 - 1 toe = 7*10¹⁰ cal = 7 Gcal

Kilo 10³, Mega 10⁶, Giga 10⁹, Tera 10¹², Peta 10¹⁵, Exa 10¹⁸

Ειδικές Μονάδες Μέτρησης Ενεργειακών Προϊόντων

- Τα ενεργειακά προϊόντα διαφέρουν ως προς τη χημική τους σύνθεση και το θερμικό τους ισοδύναμο. Τα ενεργειακά προϊόντα συχνά πωλούνται σε μονάδες βάρους ή όγκου
- Μέσοι συντελεστές για θερμική μετατροπή:
 - **Πετρέλαιο**
 - 1 βαρέλι (bl) = 159 λίτρα (lt) → 1 tn = 7,3 bl
 - 1 bl/day (bld) = 50 tn/year
 - Βενζίνη: 1 tn = 1,051 toe
 - Mazout: 1 tn = 0,956 toe
 - Ντίζελ: 1 tn = 0.978 toe
 - **Στερεά καύσιμα**
 - Άνθρακας: 1 tce = 0,6 – 0,7 toe
 - Λιγνίτης:
 - 1 tce Μεγαλόπολης = 0,13 toe
 - 1 tce Πτολεμαΐδας = 0,18 toe
 - 1 tce Γερμανίας = 0,35 toe
 - **Φυσικό Αέριο**
 - Κατώτερα Θερμογόνος Δύναμη:
 - 1000 m³ = 0,8 toe
 - Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη:
 - 1000 m³ = 0,9 toe
 - 1 m³ = 10 – 11 kWh
 - 1 bcm = 0,8 – 0,9 Mtoe
 - 1 MMbtu = 28 x 1000 m³
 - **Ηλεκτρισμός**
 - Χρήση: 1 MWh = 0,086 toe
 - Παραγωγή: 1 MWh = 0,222 toe

Οι Ενεργειακοί Πόροι

- Οι ανανεώσιμες μορφές είναι ελάχιστα αξιοποιημένες ενώ οι μη-ανανεώσιμες μορφές εξαντλούνται σε ορατό χρονικό ορίζοντα.
- Τα αποθέματα επεκτείνονται αλλά ολοένα και σε υψηλότερη τιμή. Τα βεβαιωμένα αποθέματα είναι
 - άνθρακας (74%), πετρέλαιο (13%), αέριο (13%), ενώ η κατανάλωση είναι πετρέλαιο (47%), άνθρακας (32%), αέριο(17%)
- **Άνθρακας**
 - αποθέματα 40000×10^{18} J - 60000×10^{18} J
 - κατανάλωση 140×10^{18} J
 - RP ratio: 300 έτη – 450 έτη
- **Πετρέλαιο**
 - αποθέματα 10000×10^{18} J - 26000×10^{18} J
 - κατανάλωση 200×10^{18} J
 - RP ratio: 50 έτη – 130 έτη
- **Φυσικό Αέριο**
 - αποθέματα 12000×10^{18} J - 30000×10^{18} J
 - κατανάλωση 120×10^{18} J
 - RP ratio: 100 έτη – 250 έτη

Οι Ενεργειακοί Πόροι

- Κατανάλωση: 500×10^{18} J/χρόνο \rightarrow 800 EJ το 2030
- Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας
 - Ήλιος: 1000×10^{18} J/χρόνο
 - Γεωθερμία: 1000×10^{18} J/χρόνο
 - Άνεμος: 1×10^{18} J/χρόνο
 - Άλλα: $1-2 \times 10^{18}$ J/χρόνο

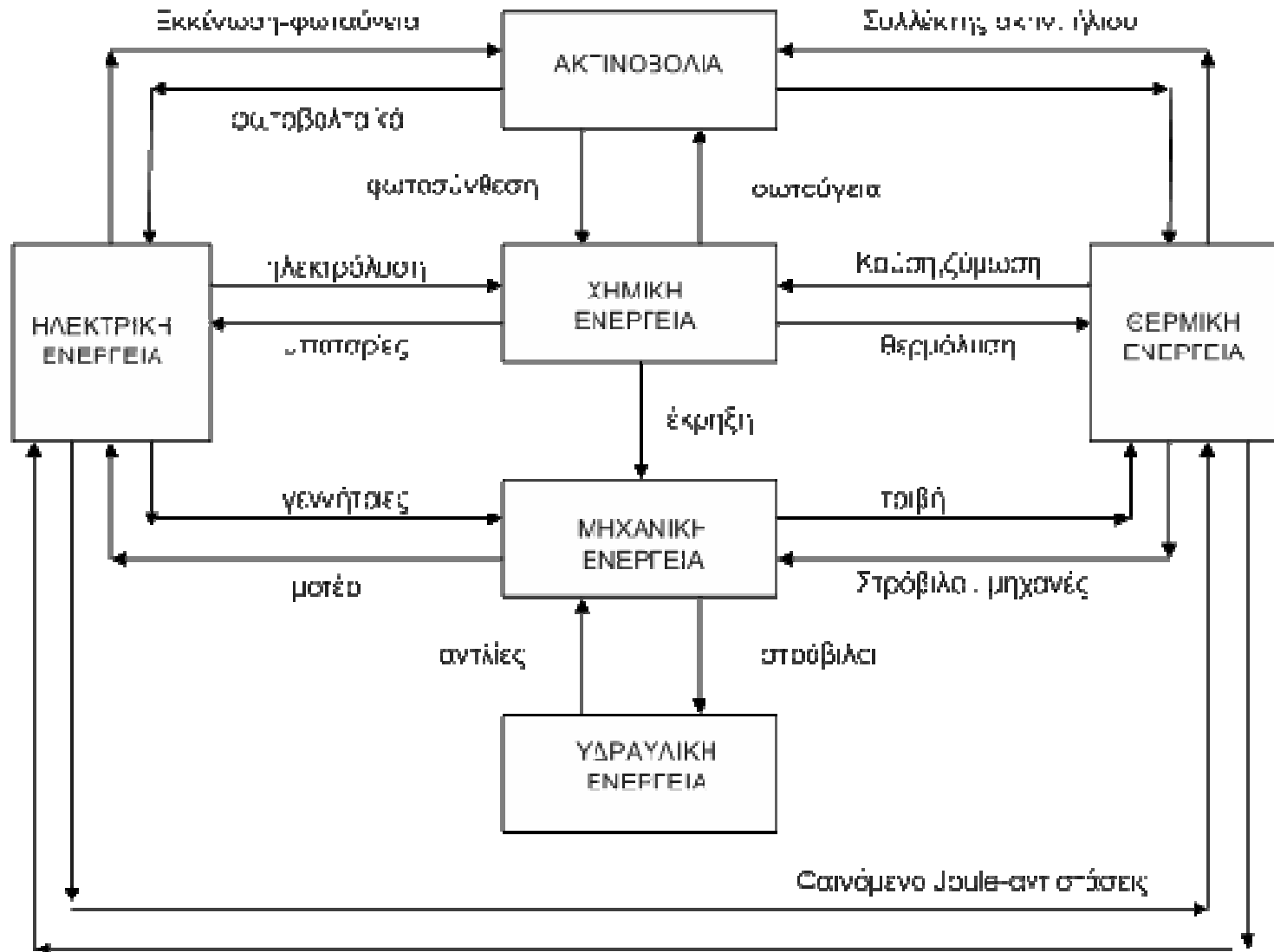
Σενάριο εξέλιξης σημερινών τάσεων – Διεθνής Επιτροπή Ενέργειας του ΟΟΣΑ (IEA/OECD), World Energy Outlook 2005

Πλανήτης - σε EJ	2001	2010	2020	2030	% ετήσια μεταβολή	% Διάρθρωση το 2001	% Διάρθρωση το 2030
Σύνολο Πρωτογενούς Ενέργειας	422.4	532.0	661.5	784.6	2.16%	100%	100%
Ανθρακας και Λιγνίτης	100.8	132.9	150.4	183.6	2.09%	24%	23%
Πετρέλαιο	146.0	182.9	242.2	281.7	2.29%	35%	36%
Φυσικό Αέριο	80.7	120.9	165.3	197.9	3.14%	19%	25%
Πυρηνική ενέργεια	28.1	30.8	34.9	47.4	1.82%	7%	6%
Υδροηλεκτρική ενέργεια	9.7	11.5	13.1	14.5	1.39%	2%	2%
Βιομάζα και απ όβλητα	56.8	52.0	53.5	54.3	-0.15%	13%	7%
Ηλιακή και Αιολική ενέργεια	0.3	0.8	2.1	5.1	10.36%	0%	1%

Οι Πηγές Ενέργειας

Πρωτογενής Ενέργεια	Πηγή	Προέλευση
Υδρογόνο	ΣΥΝΤΗΕΗ	ΤΥΡ·ΙΝΑΣ ΑΤΟΜΟΥ
Ουράνιο	ΣΧΛΣΗ	
Γετρέλαια . Φυσικό Αέριο	ΓΗΙΝΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ	ΠΑΛΑΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
Άνθρακας , Λ γνίτης		
Γαλβάνια	ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ
Ατμός		
Ζεστό νερό		
Ξύλο , Τύρφη	ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ	(ΤΩΡΙΝΪ)
Βιομάζα		
Υδραυλική	ΒΡΟΧΗ	ΗΛΙΑΚΗ
Αεαικά	ΑΝΕΜΟΣ	
Φώς	ΗΛΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
Θερμότητα		
Οκεανοί		

Η Μετατροπή της Ενέργειας



Θερμ.ο-ηλεκτρικοί μετατροπείς κτλ.



Γ: Το Ενεργειακό Ισοζύγιο

Σημειώσεις για το μάθημα
Ενεργειακή Οικονομία
Π. Κάπρος, ΣΗΜΜΗΥ, 2006

Τα Ενεργειακά Προϊόντα

- **ΣΤΕΡΕΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ**

- Άνθρακας, λιθάνθρακας κ.τ.λ.
- Συσσωματώματα άνθρακα
 - Κωκ
 - Μπρικέττες
- Λιγνίτης

- **ΑΕΡΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ**

- Φυσικό αέριο
- Αέριο κωκεριών
- Αέριο υψικαμίνων
- Φωταέριο – Αέριο Πόλης

- **ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΦΟΡΕΙΣ**

- Ηλεκτρισμός
- Διανεμόμενη Θερμότητα
- Υδρογόνο

- **ΥΓΡΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ**

- Αργό πετρέλαιο
- Αέριο διυλιστηρίων
- Υγραέριο LPG
- Diesel
- Βενζίνη
- Κηροζίνη
- Νάφθα
- Μαζούτ
- Νέφτι
- Λιπαντικά
- Άσφαλτος
- Κώκ πετρελαίου

- **ΥΓΡΑ αλλά μη ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΑ**

- Μεθανόλη
- Εθανόλη

Το Ενεργειακό Ισοζύγιο

- Στατιστικό εργαλείο καταγραφής των ενεργειακών μεγεθών ενός συστήματος εντός ορισμένης χρονικής περιόδου
 - Μέτρηση των μεγεθών βάσει του θερμικού ισοδυναμίου
 - Σύστημα, π.χ. χώρα, βιομηχανία, κτίριο
 - Χρονική Περίοδος, π.χ. Ένα έτος
- Καταγραφή των ενεργειακών μεγεθών σε όλα τα στάδια μετατροπής της ενέργειας από την πρωτογενή της μορφή μέχρι την ωφέλιμη χρήση της
- Καταγραφή του τρόπου ισοσκελισμού των αναγκών με τις προμήθειες ενέργειας, ή της ζήτησης με την προσφορά ενέργειας → Ισοζύγιο (ανάλογο του ισολογισμού)
 - Το ισοζύγιο καταγράφεται χωριστά για κάθε μορφή ενέργειας
 - Κάθε μετατροπή ενέργειας καταγράφεται ως προς την ποσότητα εισόδου και την ποσότητα εξόδου της μετατροπής
 - Καταγράφονται και οι ανταλλαγές του συστήματος με άλλα συστήματα

Ενεργειακό Ισοζύγιο Χώρας

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Χώρα..... Περιοχή..... Έτος.....	Στερεά Καύσιμα	Υγρά Καύσιμα	Αέρια Καύσιμα	Άλλα	Θερμότης	Ηλεκτρισμός
1. Ακαθάριστη Εγχώρια Παραγωγή	6081	11015	71	0	0	305
2. Δευτερογενής Μετατροπή-Εργαστ.						
2.1 Είσοδος	4855	12163+1635=13798				
2.2 Έξοδος	48	12043	12			2144
2.3 Απώλεια	0	421	35			399
ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ						
3. Κατανάλωση Ενέργειας (τελική) (κλάδοι)	1274	8839 (73%)	48	0	0	2050 (17%)

$$X_1 = X_{1.1} + X_{1.2} - X_{1.3} - X_{1.4} + X_{1.5} - X_{1.6}$$

Προσφορά πρωτογενούς ενέργειας

- ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΗ ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

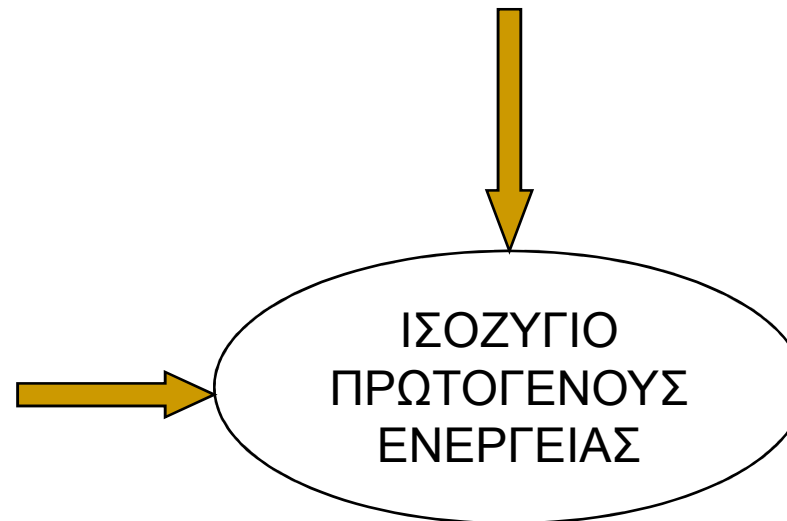
- 1.1 Παραγωγή πρωτογενών πηγών.
- 1.2 Προϊόντα ανάκτησης.
- 1.3 Εισαγωγές.
- 1.4 Εξαγωγές.
- 1.5 Μεταβολή αποθεμάτων.
- 1.6 Bunkers.

- ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΗ ΕΓΧΩΡΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

- Κατανάλωση συστημάτων μετατροπής ενέργειας
- Απώλειες Μεταφοράς και Διανομής της Ενέργειας
- Τελική Κατανάλωση Ενέργειας

1. Ακαθάριστη εγχώρια παραγωγή
Προσφορά πρωτογενούς ενέργειας - σύνολο

$$X_1 = X_{1.1} + X_{1.2} - X_{1.3} - X_{1.4} + X_{1.5} - X_{1.6}$$



ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ

2.1 ΕΙΣΟΔΟΣ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΩΝ

- 2.1.1. Σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς.
- 2.1.2. Σε πυρηνικούς σταθμούς.
- 2.1.3. Σε εργοστάσια παραγωγής συσσωματωμάτων παραγωγής.
- 2.1.4. Σε κωκερίες.
- 2.1.5. Σε υψικαμίους.
- 2.1.6. Σε εργοστάσια φωταερίου.
- 2.1.7. Σε διυλιστήρια.
- 2.1.8. Σε σταθμούς οικιακής θέρμανσης.
- 2.1.9. Σε σταθμούς παραγωγής υδρογόνου.
- 2.1.10. Σε σταθμούς υγροποίησης άνθρακα.
- 2.1.11. Σε σταθμούς αεριοποίησης άνθρακα.

$$X_{2.1} = \sum_{i=1}^{11} X_{2.1.i}$$

2.2 ΕΚΡΟΕΣ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΩΝ

- 2.2.1 Θερμοηλεκτρικών σταθμών.
- 2.2.2 Πυρηνικών σταθμών.
- 2.2.3 Συσσωματωμάτων και μπρικεττών.
- 2.2.4 Κωκεριών.
- 2.2.5 Υψικαμίνων.
- 2.2.6 Εργοστάσια Φωταερίου.
- 2.2.7 Διυλιστηρίων.
- 2.2.8 Σταθμών οικιακής θέρμανσης.
- 2.2.9 Σταθμών παραγωγής υδρογόνου.
- 2.2.10 Σταθμών υγροποίησης άνθρακα.
- 2.2.11 Σταθμών αεριοποίησης άνθρακα.

$$X_{2.2} = \sum_{i=1}^{11} X_{2.2.i}$$

2.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ

2.3.1 Ιδιο-κατανάλωση ενεργειακού συστήματος

2.3.2 Απώλειες μεταφοράς και διανομής ενέργειας

2.3.3 Στατιστικές Ανταλλαγές

$$X_{2.3} = X_{2.3.1} + X_{2.3.2} - X_{2.3.3}$$

2. Σύνολο Δευτερογενούς Ενέργειας

2.1 Είσοδος Εργοστασίων Δευτερογενούς Μετατροπής

2.2 Έξοδος Εργοστασίων Δευτερογενούς Μετατροπής

2.3 Απώλειες

$$X_2 = X_{2.2} - X_{2.1} - X_{2.3}$$

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1 ΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

3.1.1 Πετροχημεία

3.1.2 Άλλες μη-ενεργειακές χρήσεις (π.χ. άσφαλτος, λιπαντικά)

$$X_3 = X_{3.1} + X_{3.2}$$

$$X_{3.2} = X_{3.2.1} + X_{3.2.2} + X_{3.2.3}$$

3.2 ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

3.2.1 Βιομηχανία

3.2.1.1 Σιδηουργία.

3.2.1.2 Μη-σιδηρούχα.

3.2.1.3 Υλικά κατασκευαστών.

3.2.1.4 Χημική Βιομηχανία.

3.2.1.5 Χαρτί και πολτός.

3.2.1.6 Άλλες βιομηχανίες.

3.2.2 Μεταφορές

3.2.2.1 Αεροπορικές.

3.2.2.2 Οδικές.

3.2.2.3 Σιδηροδρομικές

3.2.2.4 Ναυτιλιακές.

3.2.3 Οικιακή και άλλα

3.2.3.1 Νοικοκυριά.

3.2.3.2 Γεωργία.

3.2.3.3 Αλιεία

3.2.3.4 Κτίρια Υπηρεσιών

3.2.3.5 Λοιπές Υπηρεσίες

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Διαθέσιμη Ενέργεια
Κατανάλωση

$$X_3 = X_1 + X_{2.2} - X_{2.1} - X_{2.3}$$
$$X_3 = X_{3.1} + X_{3.2.1} + X_{3.2.2} + X_{3.2.3}$$

ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ

$$X_{1.1} + X_{1.2} + X_{1.3} - X_{1.4} + X_{1.5} - X_{1.6}$$
$$+ \sum_i X_{2.2.i} - \sum_i X_{2.1.i} - X_{2.3.1} - X_{2.3.2} + X_{2.3.3} =$$
$$X_3 + X_{3.2.1} + X_{3.2.2} + X_{3.2.3}$$

Αυτή η σχέση ισχύει για
κάθε ενεργειακό προϊόν.
Λύεται είτε ως προς:

εισαγωγές
πρωτογενή παραγωγή
δευτερογενή παραγωγή

Απόδοση Εργοστασίων Μετατροπής

ΥΨΙΚΑΜΙΝΟΙ

Είσοδος: Κώκ

Έξοδος: Αέριο υψικαμίνων

ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΦΩΤΑΕΡΙΟΥ

Είσοδος: 1. Άνθρακας και άλλα συναφή
2. Πετρελαιοειδή

Έξοδος: Αέριο πόλης

ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ

Εισροές: Άνθρακας, λιγνίτης, μαζούτ,
diesel, φυσικό αέριο, συνθ. Αέριο

Εκροή: Ηλεκτρισμός

ΠΥΡΗΝΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ

Εισροή: Πρωτογενής ενέργεια
θερμότητας

Εκροή: Ηλεκτρισμός

ΔΙΪΛΙΣΤΗΡΙΑ

Εισροές: Αργό πετρέλαιο και συναφή

Εκροές: Πετρελαιοειδή (10-12 προϊόντα)

ΕΡΓ. ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΠΡΙΚΕΤΩΝ

Είσοδος: Άνθρακας, κώκ, λιγνίτης

Έξοδος: Μπρικέττες και συναφή

ΚΩΚΕΡΙΕΣ

Είσοδος: Άνθρακας, κώκ

Έξοδος: 1. Κώκ 2. Αέριο κωκεριών

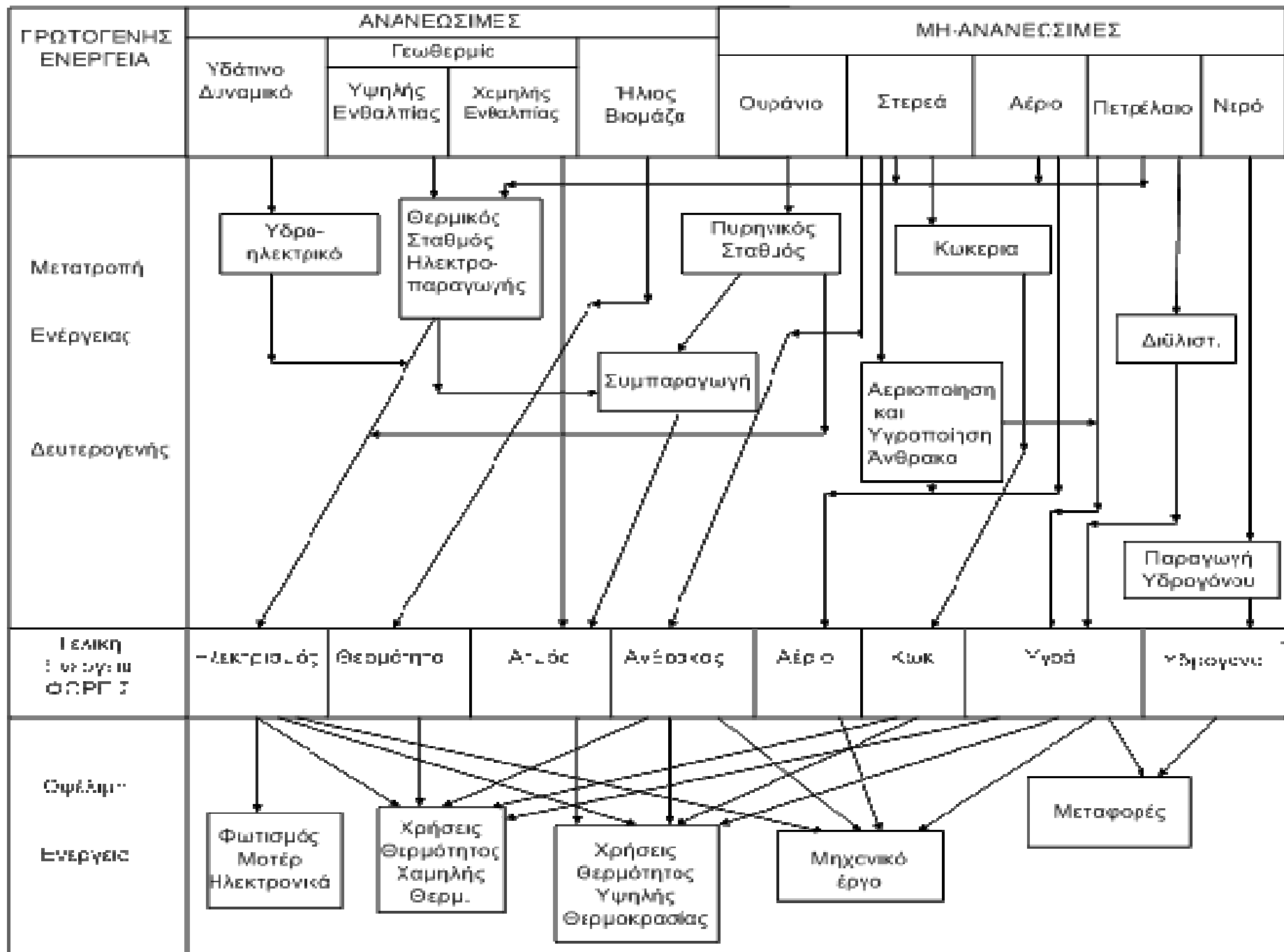
→ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

Δεν περιλαμβάνονται στα εργοστάσια μετατροπής, αλλά εμφανίζονται σε στήλες (ενεργειακές μορφές) και με αρνητικό πρόσημο στις ανταλλαγές



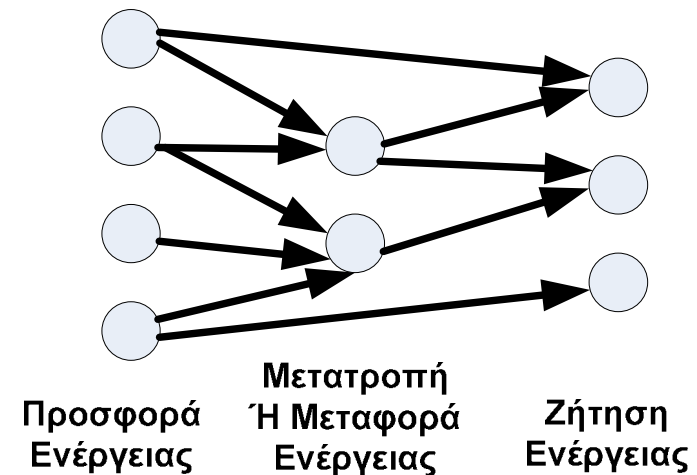
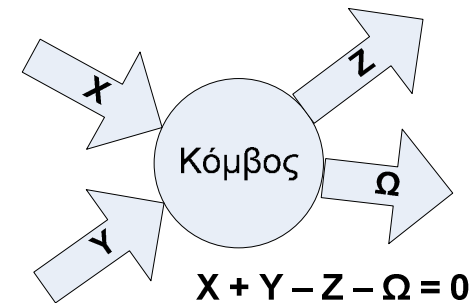
Δ: Διάγραμμα Ενεργειακών Ροών

Σημειώσεις για το μάθημα
Ενεργειακή Οικονομία
Π. Κάπρος, ΣΗΜΜΗΥ, 2006



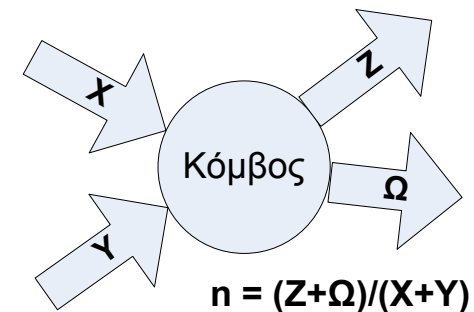
Ορισμοί Διαγράμματος Ροών

- Προσανατολισμένος Γράφος
 - Κόμβοι → Διεργασίες
 - Τόξα → Ενεργειακά Προϊόντα
 - Φορά Τόξων: από πρωτογενή προς τελική και ωφέλιμη ενέργεια
- Ισορροπία κόμβου
 - Διατήρηση Ενέργειας δηλ. Άθροισμα εισόδων και εξόδων = 0
- Κόμβοι αρχής γράφου
 - Πρωτογενής ενέργεια
 - Εισαγωγές ενέργειας
- Κόμβοι πέρατος γράφου
 - Τελική ή Ωφέλιμη Κατανάλωση
 - Εξαγωγές ενέργειας
 - Απώλειες ενέργειας

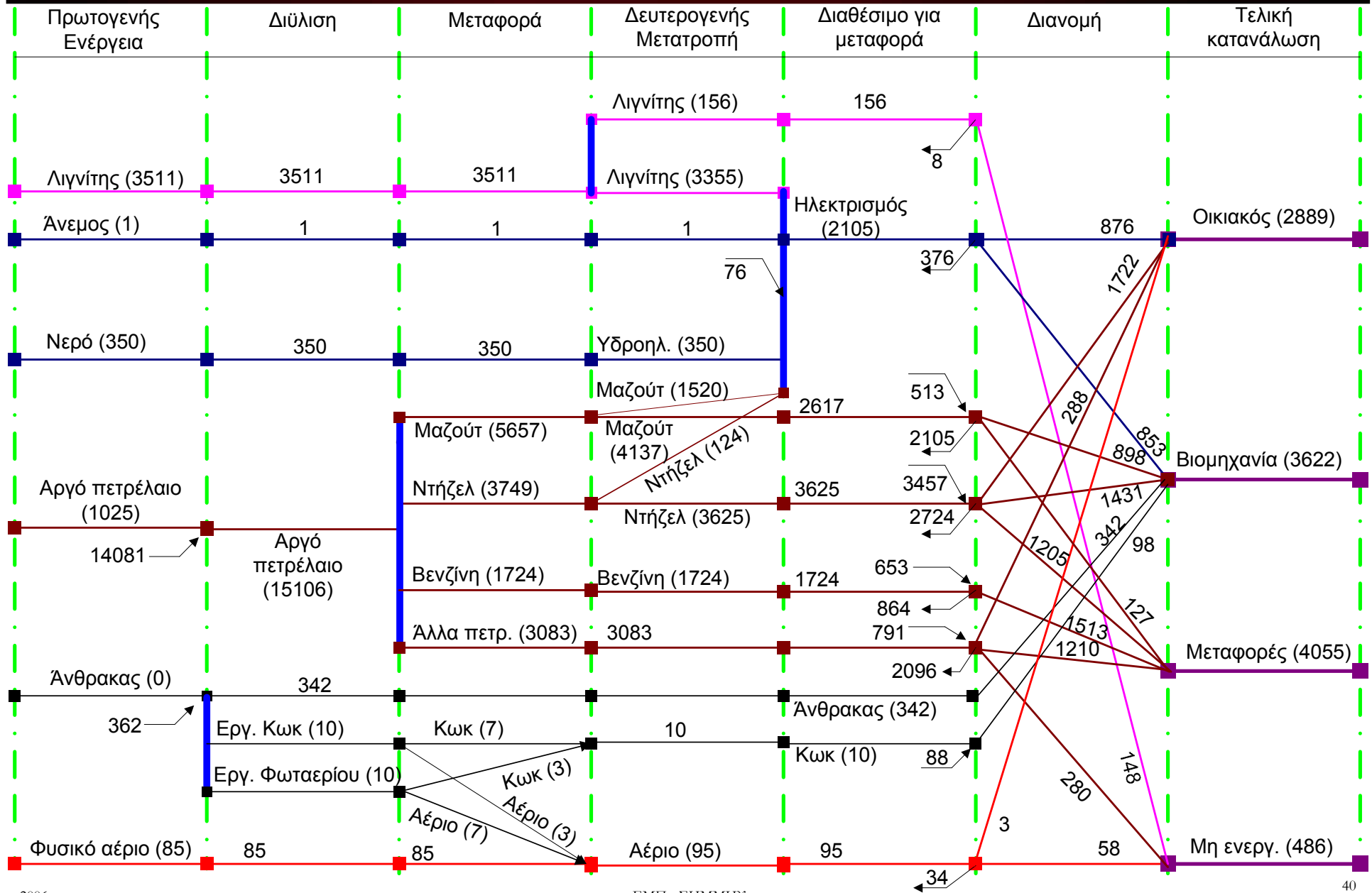


Ορισμοί Διαγράμματος Ροών

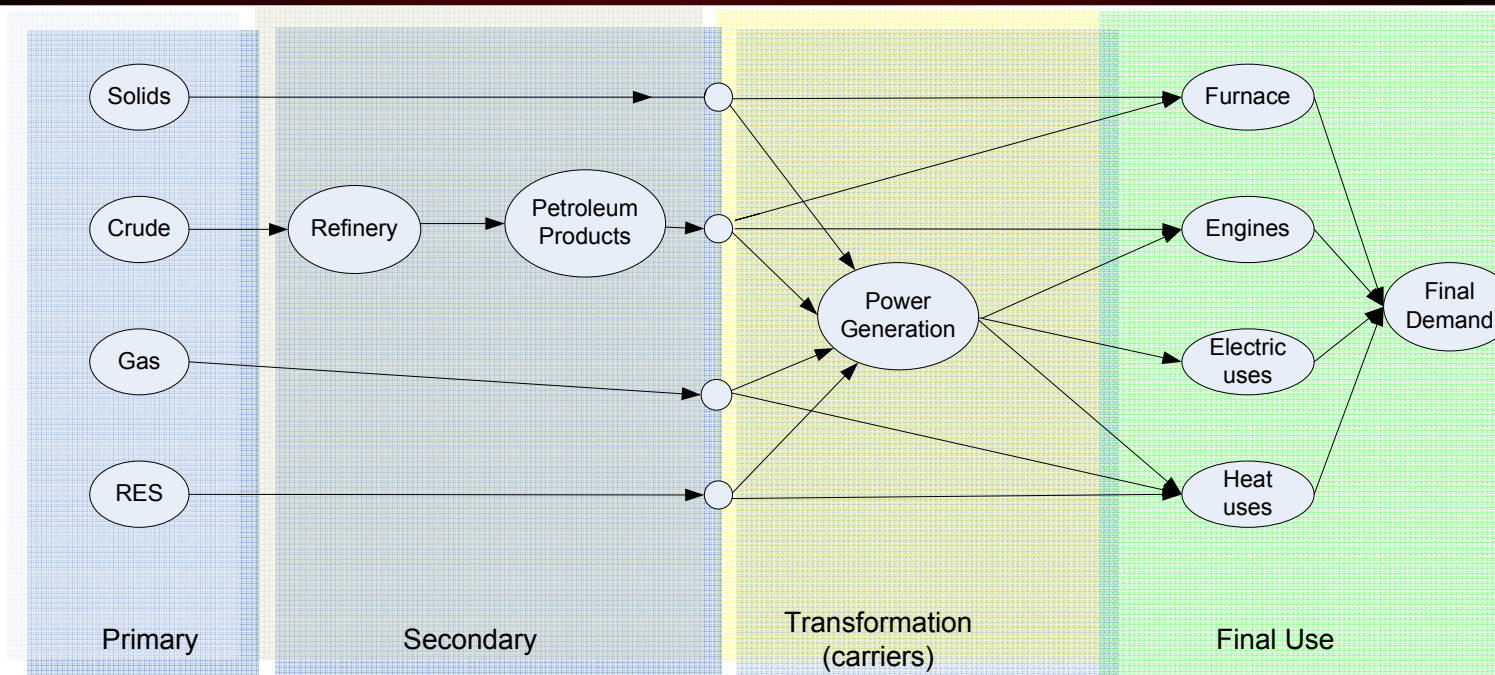
- Κόμβοι πολλαπλών εισόδων
 - Υποκατάσταση μορφών ενέργειας
- Κόμβοι πολλαπλών εξόδων
 - Μείγμα προϊόντων με ή χωρίς περιορισμούς
- Συντελεστής θερμικής απόδοσης σε κόμβο μετατροπής
 - Λόγος αθροίσματος εξόδου προς είσοδο



Τυπικό Διάγραμμα Ενεργειακών Ροών



Υπολογισμοί μέσω Διαγράμματος Ροής



$$\begin{bmatrix} 1/\eta_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\eta_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\eta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/\eta_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\eta_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & 0 & 0 \\ 0 & a_{42} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{53} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{64} \\ 0 & 0 & 0 & a_{74} \\ 0 & 0 & 0 & a_{84} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{bmatrix} = [x]$$

Υπολογισμοί μέσω Διαγράμματος Ροής

											Economy												
Demand											21217												
Furnace											3024	14.25%											
Engines											13454	63.41%											
Electric uses											3337	15.73%											
Heat uses											1402	6.61%											
Solids Furnace											595	19.68%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	Structure						
Petroleum Furnace											2429	80.32%	0.00%	0.00%	0.00%								
Petroleum Engines											13353	0.00%	99.25%	0.00%	0.00%								
Electricity Engines											101	0.00%	0.75%	0.00%	0.00%								
Electricity Electric uses											3337	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%								
Electricity Heat uses											841	0.00%	0.00%	0.00%	59.99%								
Gas Heat uses											509	0.00%	0.00%	0.00%	36.31%								
RES Heat uses											52	0.00%	0.00%	0.00%	3.71%								
Solids Final											595	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Substitution	
Petroleum Final											15782	0	1	1	0	0	0	0	0	0			
Electricity Final											4279	0	0	0	1	1	1	0	0	0			
Gas Final											509	0	0	0	0	0	0	0	1	0			
RES Final											52	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
Solids Final											607	Summation										0.02	
Petroleum Final											16270											0.03	
Electricity Final											4754											0.10	
Gas Final											514											0.01	
RES Final											52											0.001	
Solids Electricity											2833											59.59%	Losses
Petroleum Electricity											381											8.01%	
Gas Electricity											680											14.30%	
RES Electricity											860											18.09%	
Solids Electricity											8094											0.35	Substitution
Petroleum Electricity											1058											0.36	
Gas Electricity											1511											0.45	
RES Electricity											860											1.00	
Solids Whole											8701											Efficiency	
Petroleum Whole											17328												
Gas Whole											2025												
RES Whole											912												
Solids Primary	8701	0	Summation																				
Petroleum Primary	18435	0.06																					
Gas Primary	2025	0																					
RES Primary	912	0																					
TOTAL	30073	Losses	28967	11524	4754	22198	21217	21217	21217	21217	21217	21217											

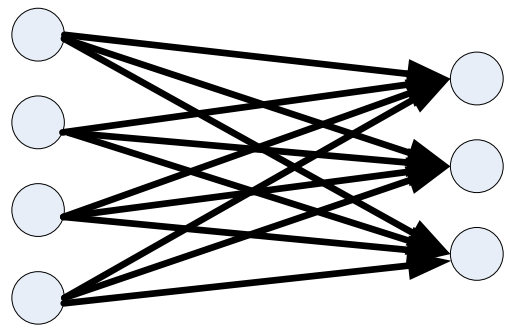
Μικροχρόνιος Σχεδιασμός μέσω Ροών

Σύνολα	Κόμβοι	$i = 1, \dots, n$
	Κόμβοι ζήτησης	$id \subseteq i$
	Κόμβοι προσφοράς	$is \subseteq i$
	Τόξα	$j = 1, \dots, m$
Τοπολογία γράφου	Ορισμός υποσυνόλου καρτεσιανού γινομένου 1 εάν το τόξο j εξέρχεται από κόμβο i -1 εάν το τόξο j εισέρχεται σε κόμβο i 0 εάν το τόξο j δεν συνδέεται με τον κόμβο i	$h(i, j) = \begin{cases} 1 \\ -1 \\ 0 \end{cases}$

Δεδομένα προβλήματος

Άγνωστοι	Ροή ενέργειας στο τόξο j σε μονάδες ενέργειας	X_j
Γνωστά μεγέθη	Όγκος ζήτησης σε μονάδες ενέργειας	D_{id}
	Μέγιστος όγκος διαθέσιμων πόρων σε μονάδες ενέργειας	S_{is}
	Ενεργειακή απόδοση μετατροπής σε κόμβο i σε %	n_i
	Δυναμικότητα μετατροπής ή παραγωγής κόμβου i σε μονάδες ισχύος	K_i
	Ελάχιστο όριο ροής σε τόξο j σε μίξη εισόδου σε κόμβο i (0 έως 1)	mi_{ji}
	Μέγιστο όριο ροής σε τόξο j σε μίξη εισόδου σε κόμβο i (0 έως 1)	xi_{ji}
	Ελάχιστο όριο ροής σε τόξο j σε μίξη εξόδου από κόμβο i (0 έως 1)	mo_{ji}
	Μέγιστο όριο ροής σε τόξο j σε μίξη εξόδου από κόμβο i (0 έως 1)	xo_{ji}
	Μοναδιαίο μεταβλητό κόστος ροής σε τόξο j σε €/μονάδα ενέργειας	cl_j
	Μοναδιαίο μεταβλητό κόστος δραστηριότητας κόμβου i σε €/μονάδα ενέργειας	cn_i
	Μοναδιαίο τίμημα πόρου σε €/ανά μονάδα ενέργειας	cr_{id}
	Μοναδιαία επίπτωση τόξου σε κριτήριο h	w_{jh}
	Άνω όριο επιπτώσεων στο κριτήριο h	W_h

Τυπικό Πρόβλημα Μεταφοράς



Προσφορά
Ενέργειας

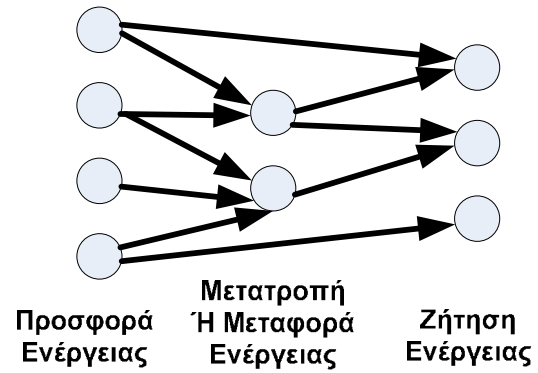
Ζήτηση
Ενέργειας

$$\text{Min} \quad \sum_j cl_j X_j$$

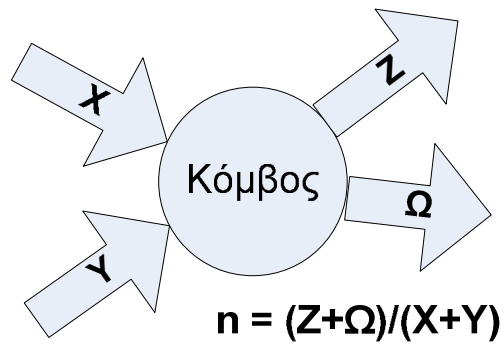
$$\text{st} \quad \sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j = D_i \quad \forall i \in id$$

$$\sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \leq S_i \quad \forall i \in is$$

Ισορροπία Κόμβου Διαμετακόμισης



$$n_i \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) = \sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \quad \forall i \notin \{id, is\}$$



Περιορισμοί μίξης σε είσοδο και έξοδο κόμβου

$$mi_{ji} \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) \leq X_j \leq xi_{ji} \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) \quad \forall j$$

$$mo_{ji} \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \right) \leq X_j \leq xo_{ji} \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \right) \quad \forall j$$



Περιορισμοί δυναμικότητας (ισχύος)

$$0 \leq X_j \leq Z_j \quad \forall j$$

$$\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \leq K_i \quad \forall i \notin \{id, is\}$$

ή

$$\sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \leq K_i \quad \forall i \notin \{id, is\}$$

Ελαχιστοποίηση Κόστους και κριτήρια

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z = & \sum_j cl_j X_j + \sum_i cn_i \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) \\
 & + \sum_{i \in is} cr_i \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \right) - \sum_{i \in id} cr_i \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) \\
 mW_h \leq & \sum_j w_{jh} X_j \leq xW_h \quad \forall h
 \end{aligned}$$

Μακροχρόνιος Σχεδιασμός μέσω Ροών

- Ελαχιστοποίηση συνολικού κόστους υπό περιορισμούς

- Ικανοποίηση τελικής ζήτησης και εξαγωγών
- Περιορισμένοι ενεργειακοί πόροι (πρωτογενείς και εισαγωγές)
- Διατήρηση ενέργειας κατά κόμβο – βαθμός απόδοσης
- Δυναμικότητα κάθε ροής
- Δυναμικότητα μετατροπής κάθε κόμβου
- Άνω και Κάτω όρια στη μείξη ροών εισόδου και εξόδου κατά κόμβο
- Ελάχιστα ή μέγιστα όρια σε επιπτώσεις στα κριτήρια
- Ροές θετικές ή μηδέν

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \quad & \sum_j cl_j X_j + \sum_i cn_i \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) + \sum_{i \in is} cr_i \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \right) - \sum_{i \in id} cr_i \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) \\
 \text{st} \quad & \sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j = D_i \quad \forall i \in id \\
 & \sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \leq S_i \quad \forall i \in is \\
 & n_i \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) = \sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \quad \forall i \notin \{id, is\} \\
 & 0 \leq X_j \leq Z_j \quad \forall j \\
 & \sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \leq K_i \quad \forall i \notin \{id, is\} \\
 & mi_{ji} \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) \leq X_j \leq xi_{ji} \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) \quad \forall j \\
 & mo_{ji} \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \right) \leq X_j \leq xo_{ji} \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \right) \quad \forall j \\
 & mW_h \leq \sum_j w_{jh} X_j \leq xW_h \quad \forall h \\
 & X_j \geq 0 \quad \forall j
 \end{aligned}$$

Δυϊκές Τιμές και Τιμές Αγοράς

- Έμμεσα τιμολόγηση στο οριακό κόστος ή στην οριακή αξία
 - Δυϊκή τελικής ζήτησης: τιμή πώλησης
 - Δυϊκή προσφοράς: τιμή αγοράς
- Δυϊκή Δυναμικότητας: οριακή αξία νέας επένδυσης
- Δυϊκή ορίων επιπτώσεων σε κριτήρια: οριακό κόστος - τιμή ισορροπίας τυχόν αγοράς πιστοποιητικών

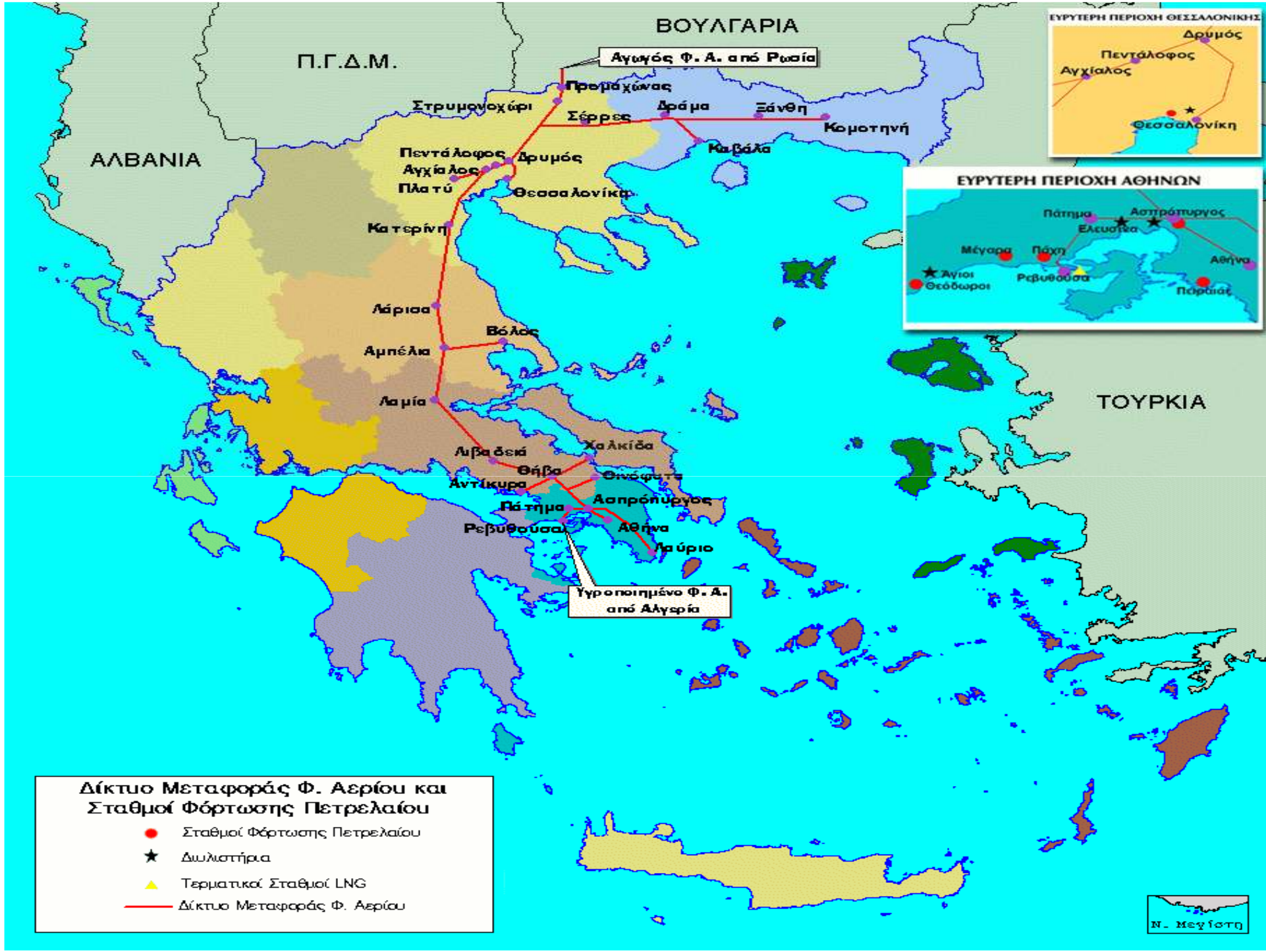
$$\begin{aligned}
 \text{Min} \quad & \sum_j cl_j X_j + \sum_i cn_i \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) + \sum_{i \in is} cr_i \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \right) - \sum_{i \in id} cr_i \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) \\
 \text{st} \quad & \sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j = D_i \quad \forall i \in id \\
 & \sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \leq S_i \quad \forall i \in is \\
 & n_i \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) = \sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \quad \forall i \notin \{id, is\} \\
 & 0 \leq X_j \leq Z_j \quad \forall j \\
 & \sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \leq K_i \quad \forall i \notin \{id, is\} \\
 & mi_{ji} \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) \leq X_j \leq xi_{ji} \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=-1\}} X_j \right) \quad \forall j \\
 & mo_{ji} \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \right) \leq X_j \leq xo_{ji} \left(\sum_{\forall j: \{h(i,j)=1\}} X_j \right) \quad \forall j \\
 & mW_h \leq \sum_j w_{jh} X_j \leq xW_h \quad \forall h \\
 & X_j \geq 0 \quad \forall j
 \end{aligned}$$



Ε: Ενεργειακό Ισοζύγιο της Ελλάδας

Άνοιγμα αρχείου ισοζυγίου 2003

Εκπομπές Ρύπων



Π.Γ.Δ.Μ.

ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ

Αγωγός Φ. Α. από Ρωσία

ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΘΗΝΩΝ



ΤΟΥΡΚΙΑ

Υδροποιημένο Φ. Α. από Αλγερία

Ν. Μεγίστη

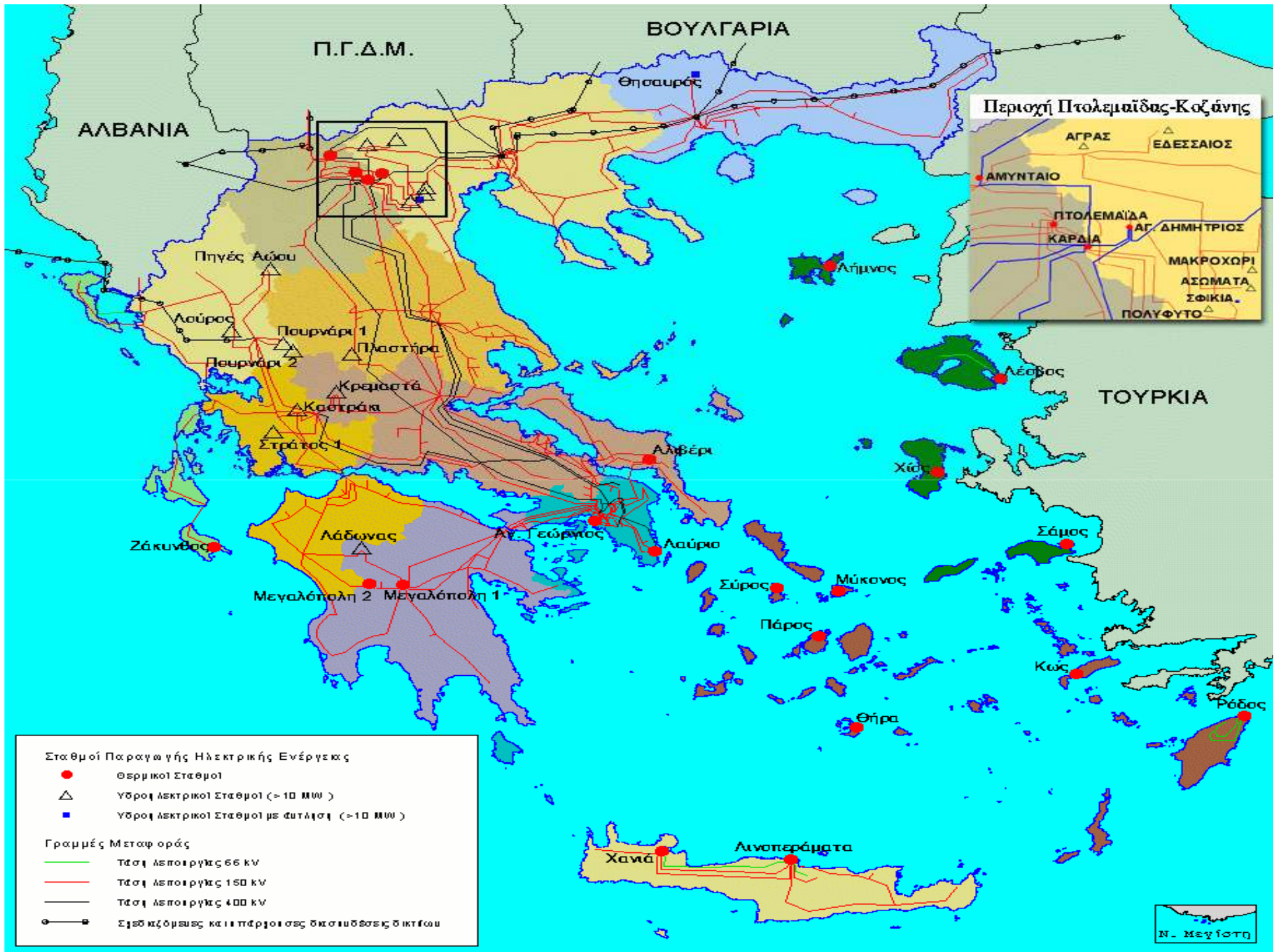
ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΩΝ (εκατ. τόνοι / έτος)

<i>Ιδιοκτήτης</i>	<i>Τοποθεσία</i>	<i>Ατμοσφαιρική απόσταση</i>	<i>Απόσταση υπό κενό</i>	<i>Καταλυτική διάσπαση</i>	<i>Υδρογονο-διάσπαση</i>
ΕΛΔΑ	Ασπρόπυργος	7,00	4,12	2,38	2,18
MOTOR OIL HELLAS	Άγιοι Θεόδωροι	4,99		1,53	
PETROLA	Ελευσίνα	5,00			
ΕΚΟ	Θεσσαλονίκη	3,45	0,48		

	<i>Ιξωδόλυση</i>	<i>Καταλυτική αναμόρφωση</i>	<i>HDS/HT</i>	<i>Ισομερισμός</i>	<i>Παραγωγή MTBE</i>
ΕΛΔΑ	1,41	1,37	3,94	0,28	0,05
MOTOR OIL HELLAS	1,49	0,56	1,49	0,21	0,05
PETROLA			0,86		
ΕΚΟ		0,43	2,32	0,31	

Σύστημα Φυσικού Αερίου

- **ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ** Στο δίκτυο μεταφοράς του φυσικού αερίου περιλαμβάνονται:
 - **Κεντρικός αγωγός μεταφοράς αερίου υψηλής πίεσης (70 bar)** από τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα μέχρι την Αττική, συνολικού μήκους 512 χλμ. Η διάμετρος του αγωγού είναι 36'' για τα πρώτα 100 χλμ και 30'' για τα υπόλοιπα.
 - **Κλάδοι μεταφοράς υψηλής πίεσης** προς την ανατολική Μακεδονία και Θράκη, τη Θεσσαλονίκη, το Βόλο και την Αττική, συνολικού μήκους 440 χλμ
 - **Μετρητικοί και ρυθμιστικοί σταθμοί** για τη μέτρηση της παροχής αερίου και τη ρύθμιση της πίεσης
 - **Σύστημα τηλεχειρισμού, ελέγχου λειτουργίας και τηλεπικοινωνιών**
 - **Κέντρα λειτουργίας και συντήρησης**, στην Αττική, τη Θεσσαλονίκη και τη Θεσσαλία
 - **Συνοριακός Σταθμός Εισόδου (Border Station)**
- **ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΡΕΒΥΘΟΥΣΑΣ** Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ρεβυθούσα περιλαμβάνουν:
 - **Δύο δεξαμενές αποθήκευσης** συνολικής χωρητικότητας 130.000 κ.μ. (65.000 κ.μ. έκαστη)
 - **Εγκαταστάσεις ελλιμενισμού δεξαμενόπλοιων**
 - **Κρυογενικές εγκαταστάσεις**
 - **Αεριοποιητές**, για την επαναεριοποίηση του LNG και την τροφοδοσία του συστήματος μεταφοράς
 - Δύο αγωγούς διασύνδεσης της Ρεβυθούσας με το σύστημα μεταφοράς.
 - Ναυλωμένο δεξαμενόπλοιο χωρητικότητας 29,500 κ.μ. Υ.Φ.Α.
- **ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ** Το σύστημα διανομής αποτελείται από:
 - **δίκτυα μέσης πίεσης (19 bar)** στην Αττική, Θεσσαλονίκη, Θεσσαλία και στις βιομηχανικές περιοχές Οινόφυτων, Πλατέος Ημαθίας, Ξάνθης, Καβάλας και ΒΙΠΕ Κομοτηνής
 - **δίκτυα χαμηλής πίεσης (4 bar)** σε Αττική, Θεσσαλονίκη και Θεσσαλία, προβλεπόμενου μήκους 6.500 χλμ.
 - **υπάρχον δίκτυο διανομής στην Αθήνα.** Η ΔΕΠΑ, στο πλαίσιο του κατασκευαστικού της έργου, ολοκλήρωσε στην ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας **860 χιλιόμετρα** δικτύου διανομής τα οποία προσετέθησαν στα υφιστάμενα 550 χιλιόμετρα δικτύου που ανήκαν στην Δημοτική Επιχείρηση Φωταερίου Αθηνών και ήδη τροφοδοτεί περίπου 8.000 εμπορικούς, οικιακούς και βιομηχανικούς καταναλωτές με φυσικό αέριο.



Ηλεκτρικό Σύστημα

Εγκατεστημένη Ισχύς και Παραγωγή Ηλεκτρικής Εν. του συστήματος της Δ.Ε.Η. ανά τύπο μονάδων 1999

Τύπος Μονάδας	Ισχύς (MW)	%	Παραγωγή (GWh)	%
Λιγνιτικές	4900	46.5	29115	65.0
Πετρελαϊκές	1985	18.8	7160	16.0
Υδροηλεκτρικές	3092	29.3	4800	10.7
Φυσικού Αερίου	537	5.1	3690	8.2
Α/Γ	26	0.2	56	0.1
Σύνολο	10540		44821	

Εμπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλων αερίων από τον ενεργειακό τομέα σε χιλιάδες τόννους

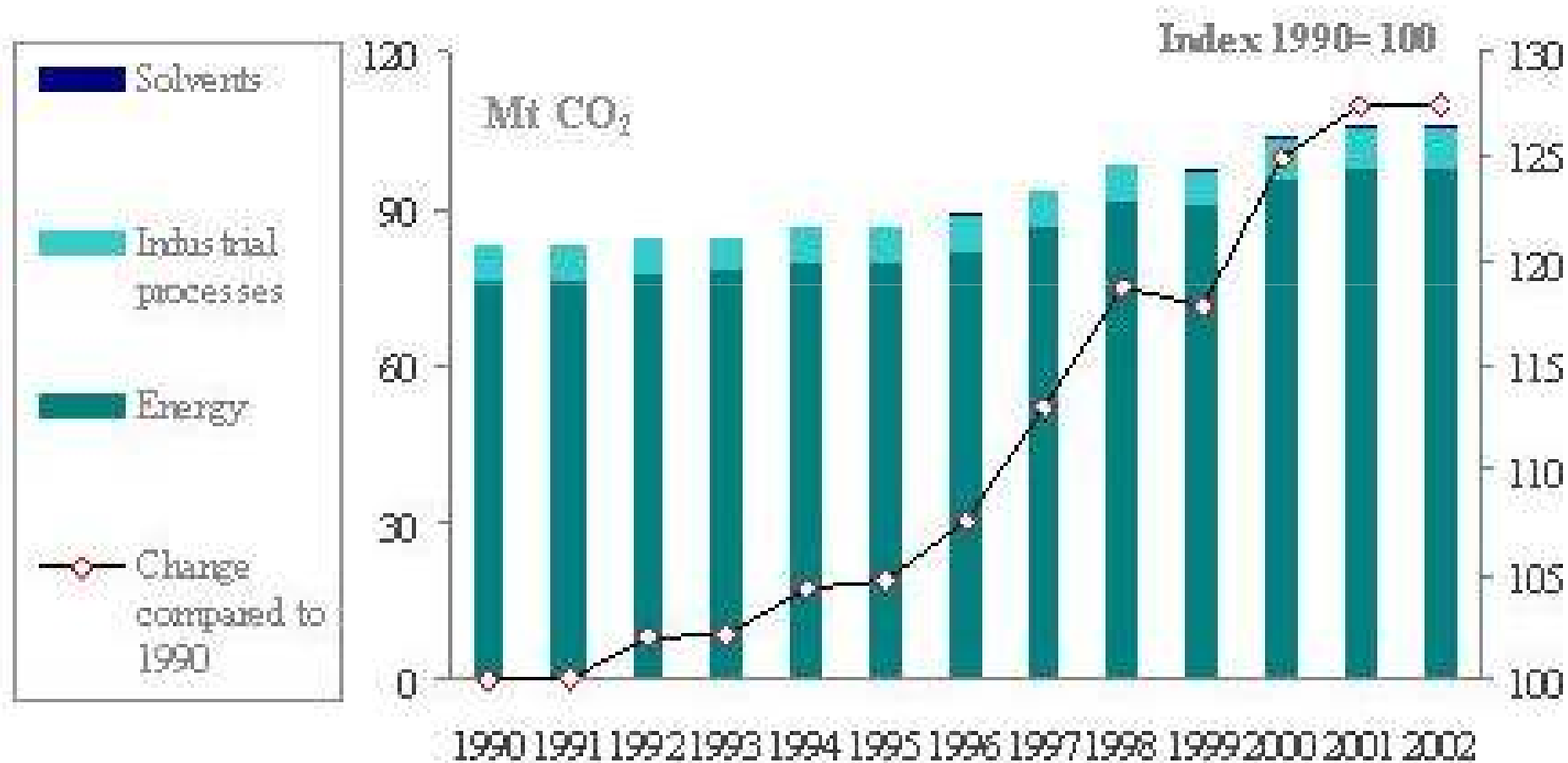
Έτος 1990

Δραστηριότητα	CO ₂	N ₂ O	NO _x	SO ₂	CO	CH ₄	NMVOCs
Παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας	41400,7	2,66	62,86	281,63	1,64	0,09	3,50
Διυλιστήρια	2196,7	0,02	6,56	23,27	3,7	0,06	0,30
Παραγωγή στερεών καυσίμων και άλλες ενεργειακές δραστηριότητες	60,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

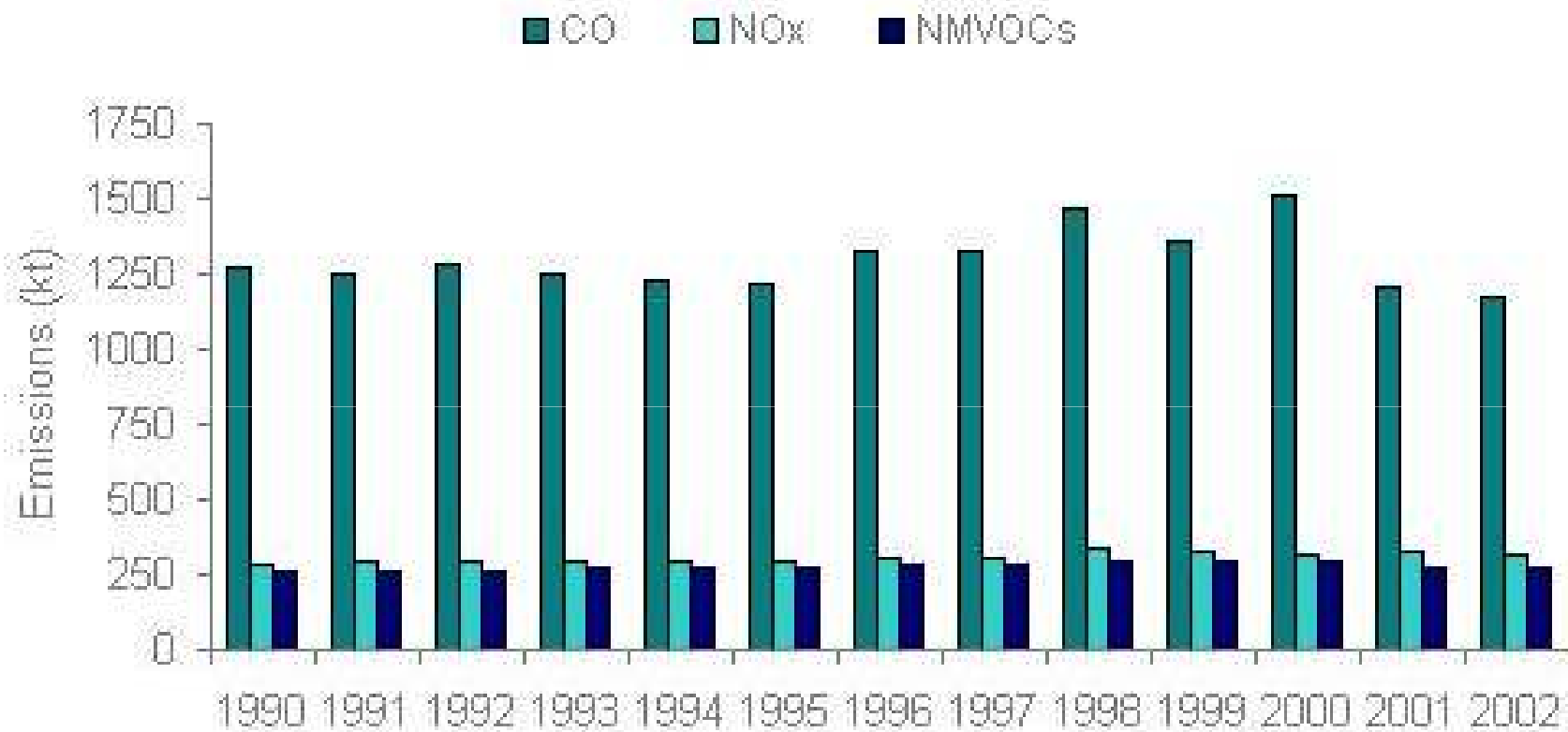
Έτος 1998, προσωρινά στοιχεία

Δραστηριότητα	CO ₂	N ₂ O	NO _x	SO ₂	CO	CH ₄	NMVOCs
Παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας	47567,0	2,92	66,82	363,25	1,58	0,11	3,71
Διυλιστήρια	2996,3	0,03	8,63	20,55	5,28	0,08	0,38
Παραγωγή στερεών καυσίμων και άλλες ενεργειακές δραστηριότητες	49,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Εμπομπές Ρύπων



Εμπορές Ρύπων Όξινης Βροχής





ΣΤ: Πρόβλεψη της Ζήτησης Ενέργειας

Σημειώσεις για το μάθημα
Ενεργειακή Οικονομία
Π. Κάπρος, ΣΗΜΜΗΥ, 2006

Αντικείμενο της πρόβλεψης της ζήτησης ενέργειας

- Ποσοτική εκτίμηση των αναγκών σε ενέργεια και ενεργειακά προϊόντα των διαφόρων κατηγοριών καταναλωτών ενέργειας και των τρόπων επηρεασμού τους

2030	Βιομηχανία	Οικιακός	Υπηρεσίες	Γεωργία	Μεταφορές
Διεργασίες					
Ηλεκτρικές χρήσεις					
Θερμότητα Ψύξη					
Μηχανές					
Οχήματα					
ΩΦΕΛΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ					
Ηλεκτρισμός					
Καύσιμα					
.....					

Σημασία της πρόβλεψης της ζήτησης

- Ενέργεια ζωτικής σημασίας για τη διαβίωση και την οικονομία
 - Επομένως πρέπει οπωσδήποτε να καλύπτεται η ζήτηση, δεν επιτρέπεται η προσφορά ενέργειας να είναι μικρότερη της ζήτησης
- Απαιτείται η δυναμικότητα της προσφοράς να είναι μεγαλύτερη της προβλεπόμενης ζήτησης ώστε να υπάρχει περιθώριο ασφαλείας σχετικά με την κάλυψη της ζήτησης
 - Περιθώριο εφεδρείας στη δυναμικότητα προσφοράς ενέργειας (αξιοπιστία)
- Η προσφορά ενέργειας είναι ιδιαίτερα μεγάλης έντασης κεφαλαίου
 - Τυχόν αστοχία της πρόβλεψης της ζήτησης ή τυχόν υπερβολικό περιθώριο εφεδρείας μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολικές επενδύσεις στην προσφορά ενέργειας, άρα σε μη ορθολογικό κόστος για την οικονομία

Σημασία της πρόβλεψης της ζήτησης

- Ο χρόνος κατασκευής νέων υποδομών ενέργειας είναι μεγάλος και ο χρόνος ζωής των υποδομών είναι μακρύς
 - Επομένως η τυχόν αστοχία της πρόβλεψης της ζήτησης μπορεί να οδηγεί σε αστοχία του προγράμματος νέων ενεργειακών επενδύσεων παραγωγής και δικτύων, με μεγάλες οικονομικές επιπτώσεις
- Η πρόβλεψη της ζήτησης ενέργειας περιλαμβάνει και ανάλυση των πολιτικών ή μέτρων με τα οποία μπορεί η ζήτηση να επηρεασθεί, δηλαδή να μετριάζεται η αύξησή της ή και να μειωθεί
 - Π.χ. φόροι στην ενέργεια, τεχνικές προδιαγραφές ενεργειακών συσκευών, κίνητρα για επενδύσεις εξοικονόμησης ενέργειας, κλπ.
- Επομένως απαιτείται να ευρεθεί η βέλτιστη κατανομή των επενδύσεων μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, όχι απλά η πρόβλεψη της ζήτησης
 - **DSM Demand Side Management**

Δυσκολία της πρόβλεψης της ζήτησης ενέργειας

- Η ζήτηση ενέργειας δεν είναι αυτοσκοπός αλλά γίνεται για την ικανοποίηση αναγκών διαβίωσης ή παραγωγής ή μεταφορών
 - Άρα η πρόβλεψη δεν είναι τεχνικοοικονομική βελτιστοποίηση αλλά περιλαμβάνει πρόβλεψη εξέλιξης της οικονομίας και του τρόπου ζωής, πρόβλεψη συμπεριφοράς καταναλωτών, και πρόβλεψη σχετικά με την επιλογή τεχνολογιών από τους καταναλωτές
- Σε αντίθεση με τον προγραμματισμό της προσφοράς ενέργειας όπου δραστηριοποιούνται λίγες επιχειρήσεις, ο τομέας της ζήτησης περιλαμβάνει χιλιάδες πρόσωπα που αποφασίζουν (καταναλωτές)
 - Ανομοιογένεια μεταξύ κατηγοριών καταναλωτών (βιομηχανία, κτίρια, μεταφορές)
 - Ανομοιογένεια καταναλωτών και εντός της ίδιας κατηγορίας καταναλωτών (πολυκατοικίες, μονοκατοικίες, αγροτικά σπίτια, κλπ.)

Δομή της Απόφασης Καταναλωτή

Δραστηριότητα η οποία δικαιολογεί την ανάγκη για ενέργεια

- Εξέλιξη δραστηριότητας
- Πρόβλεψη ωφέλιμης ενέργειας
- Συμπεριφορά ή τεχνολογία που επηρεάζει την ωφέλιμη ενέργεια

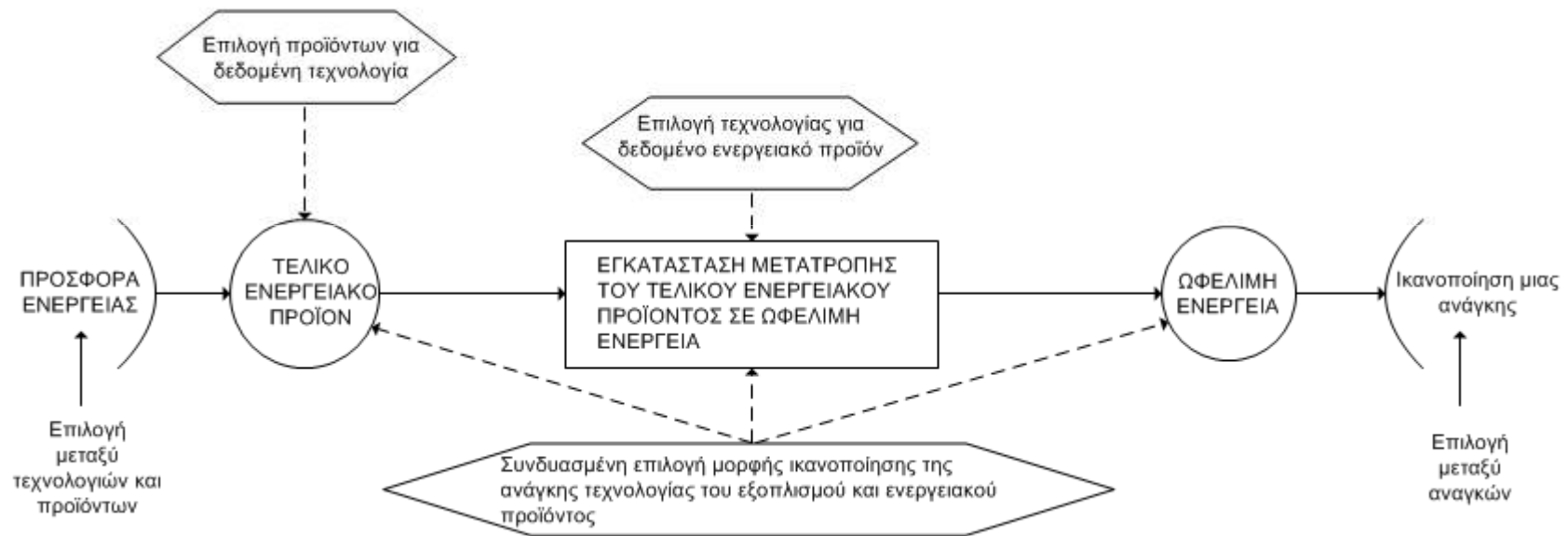
Τεχνικοοικονομική βελτιστοποίηση της επιλογής τεχνολογίας εξοπλισμού για την μετατροπή της τελικής ενέργειας σε ωφέλιμη ενέργεια

- Βασική Υποδομή (κτίριο, είδος οχήματος, διεργασία)
- Είδος εξοπλισμού μετατροπής της ενέργειας
- Απόφαση τυχόν πρόωρης αντικατάστασης εξοπλισμού

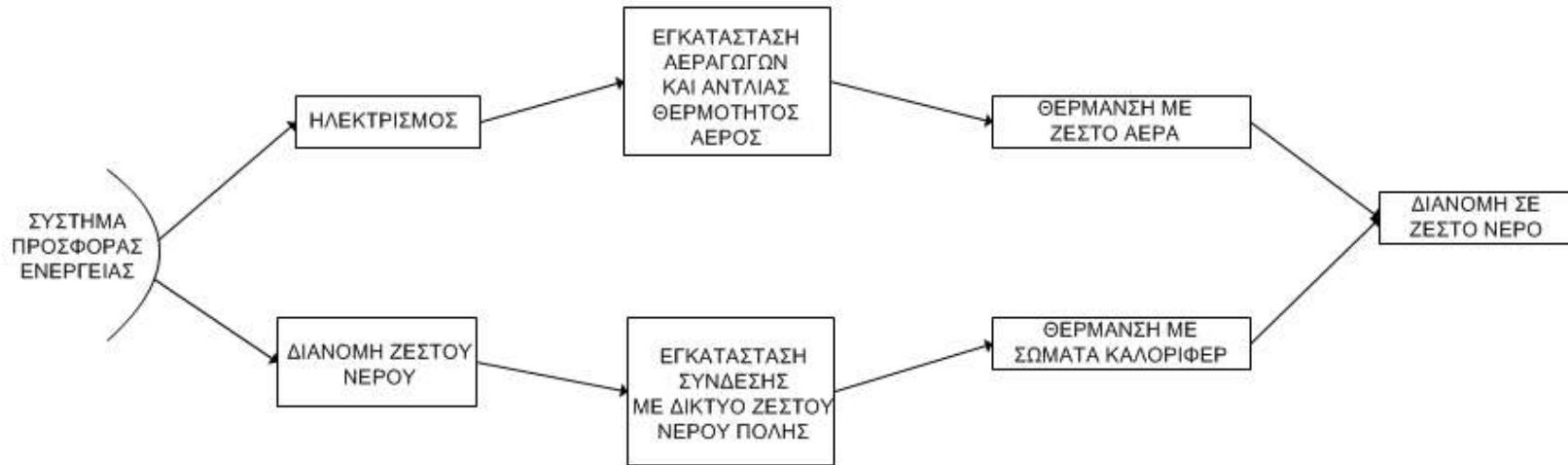
Τεχνικοοικονομική βελτιστοποίησης σχετικά με την αγορά ενεργειακών προϊόντων

- Δυνατότητα αλλαγής καυσίμου για τον ίδιο εξοπλισμό
- Επιλογή προμηθευτή
- Συμπεριφορά σχετικά με τη χρήση του εξοπλισμού

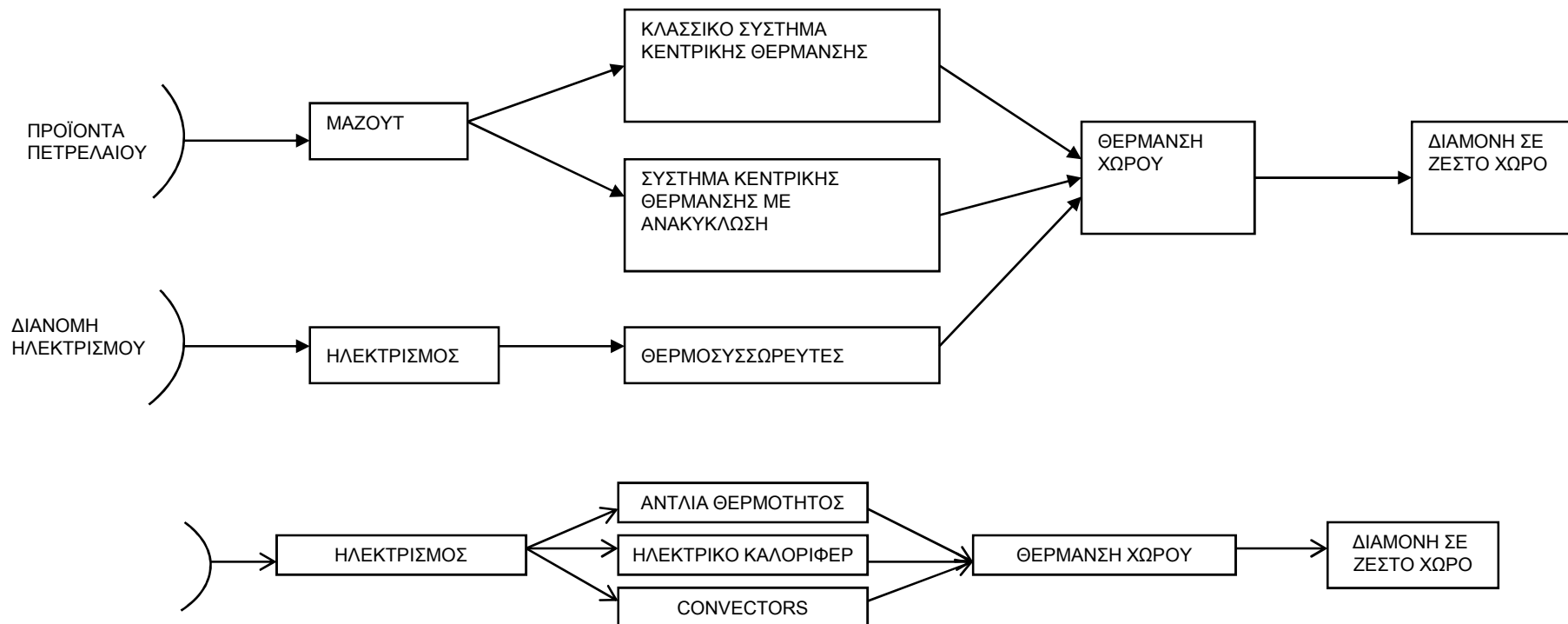
Δομή απόφασης καταναλωτή



Παραδείγματα



Παραδείγματα



Δυναμική της πρόβλεψης ζήτησης ενέργειας

ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Μεταβολή του ποσοστού χρησιμοποίησης της δυναμικότητας του υφισταμένου εξοπλισμού

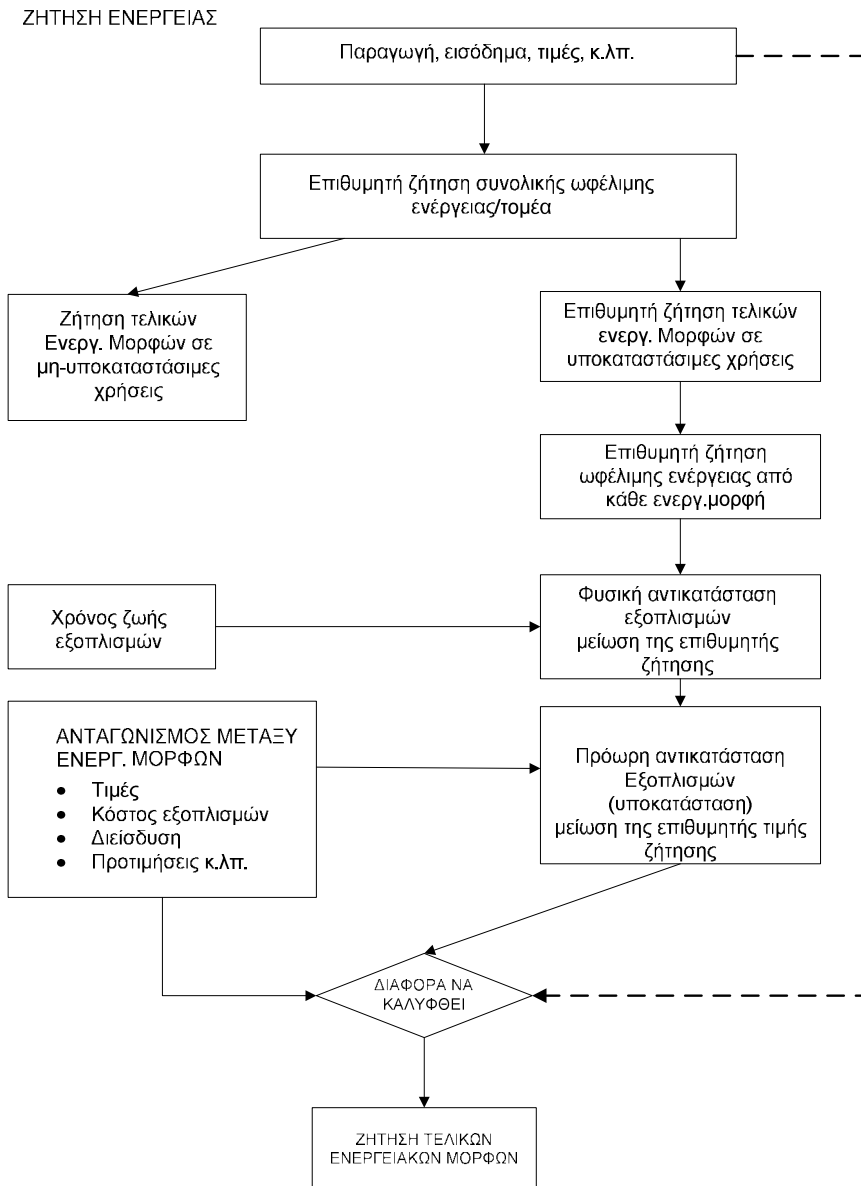
ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΚΑΙ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

- Αλλαγή παλαιού εξοπλισμού
- Εξοικονόμηση και υποκαταστάσεις μεταξύ ενεργειακών προϊόντων
- Υποκαταστάσεις μεταξύ ενεργειακών και μη ενεργειακών προϊόντων και συντελεστών παραγωγής

ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

- Νέα βιομηχανική οργάνωση
- Νέοι τρόποι ζωής

Δομή ποσοτικής πρόβλεψης της ζήτησης ενέργειας



- $\Omega = \alpha A$
 - A δραστηριότητα
 - Ω ωφέλιμη ενέργεια
 - α συντελεστής (ένταση)
- $\omega_i = \sum \mu_i \Omega$
 - μ μερίδια διαφορετικών χρήσεων i
- $E_i = 1/n \omega_i$
 - E_i τελική ενέργεια
 - n βαθμός απόδοσης
- $E_{ji} = \sum m_{ji} E_i$
 - m_{ji} μερίδια

Ενεργειακή Ένταση

- Δείκτης ο οποίος μετράει το μέγεθος των ενεργειακών αναγκών ανά μονάδα δραστηριότητας
 - Αριθμητής: ποσότητα ενέργειας (τελική ή ωφέλιμη)
 - Παρονομαστής: δραστηριότητα (σε ειδικές μονάδες)
- $$\frac{E}{A}$$
- Παραδείγματα
 - Ενέργεια ανά τόνο παραγόμενου τσιμέντου
 - Ηλεκτρική ενέργεια ανά τόνο παραγόμενου αλουμινίου
 - Καύσιμο ανά επιβατο-χιλιόμετρο
 - Σύνολο πρωτογενούς ενέργειας ανά μονάδα ΑΕΠ μιας χώρας (ενεργειακή ένταση μιας χώρας)

Μεταβολές

Έστω

- 0 η αρχική κατάσταση (παλαιό έτος ή σενάριο αναφοράς)
- 1 η νέα κατάσταση (μελλοντικό έτος ή εναλλακτικό σενάριο το οποίο περιλαμβάνει κάποια νέα πολιτική)

Δεδομένα $E_0 \rightarrow E_1$

$A_0 \rightarrow A_1$

Μεταβολές $\Delta E, \Delta A$

Ελαστικότητα
$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta E}{E}}{\frac{\Delta A}{A}} = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \cdot \frac{A_0}{A_1 - A_0} \quad \left(\frac{\%}{\%} \right)$$

$\varepsilon > 1$ επιταχυνόμενη συσχέτιση

$\varepsilon < 1$ επιβραδυνόμενη συσχέτιση

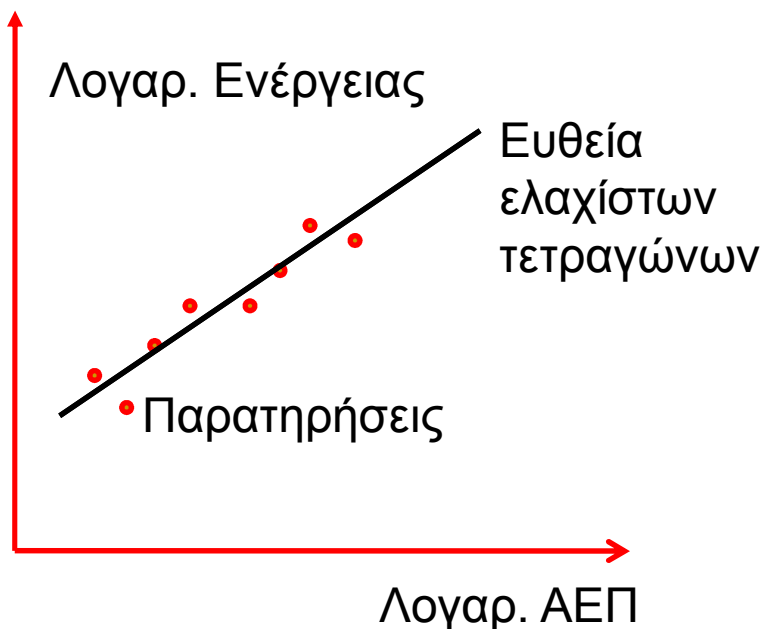
Ενέργεια και ΑΕΠ των χωρών

$$E = a \cdot \text{ΑΕΠ}^\varepsilon$$

$$\frac{\partial E}{\partial \text{ΑΕΠ}} \cdot \frac{\text{ΑΕΠ}}{E} = \frac{\frac{\Delta E}{E}}{\frac{\Delta \text{ΑΕΠ}}{\text{ΑΕΠ}}} = \varepsilon$$

$$\ln(E) = \ln(a) + \varepsilon \cdot \ln(\text{ΑΕΠ})$$

$$y = A + Bx$$



- Απλουστευμένη πρόβλεψη με βάση σταθερή ελαστικότητα ε
- Στατιστική παρατήρηση όμως δείχνει ότι αυξανόμενου του ΑΕΠ μειώνεται η ελαστικότητα
 - $\varepsilon > 1$ χώρες υποανάπτυκτες
 - $\varepsilon < 1$ αναπτυγμένες χώρες