



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ – ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διεπιστημονικό - Διατμηματικό
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Περιβάλλον & Ανάπτυξη»

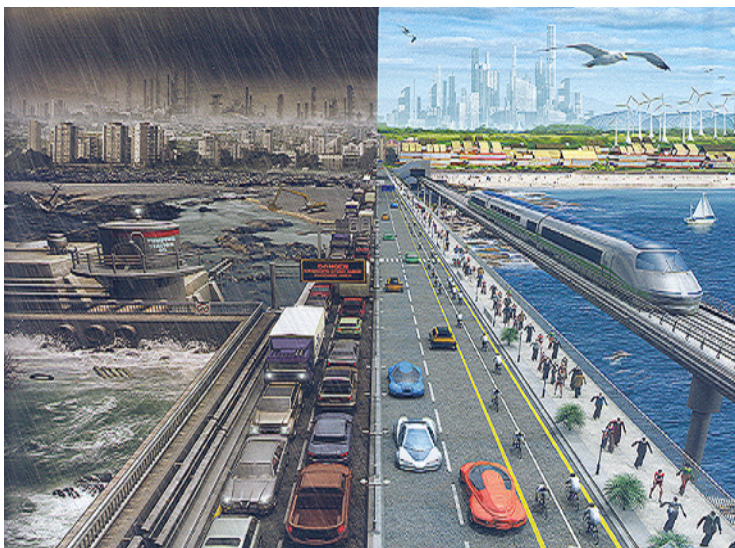
Γεώργιος Καρακατσάνης

Απόφοιτος τμήματος

Διεθνών & Ευρωπαϊκών Οικονομικών Σπουδών
Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Διπλωματική εργασία υποβληθείσα προς μερική εκπλήρωση των προϋποθέσεων απόκτησης Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, με θέμα:

**Ανάπτυξη υποδειγμάτων τεχνολογικής χρηματοδοτικής
βάσει οίκο-εξεργειακής ανάλυσης**



Επιβλέπων:

Αν. Καθηγητής Δημήτριος Καλιαμπάκος
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλειολόγων ΕΜΠ

Εξεταστική Επιτροπή:

Αν. Καθηγητής Δημήτριος Καλιαμπάκος
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών ΕΜΠ

Αν. Καθηγήτρια Δ. Χατζηιωσήφ Διακουλάκη
Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

Λέκτορας Δημήτριος Λαμίγος
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών ΕΜΠ

**Περιβάλλον
&
Ανάπτυξη**

Αθήνα, Νοέμβριος 2007



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ – ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διεπιστημονικό - Διατμηματικό
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Περιβάλλον & Ανάπτυξη»

Γεώργιος Καρακατσάνης

Απόφοιτος τμήματος

Διεθνών & Ευρωπαϊκών Οικονομικών Σπουδών
Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Διπλωματική εργασία υποβληθείσα προς μερική εκπλήρωση των προϋποθέσεων απόκτησης Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, με θέμα:

**Ανάπτυξη υποδειγμάτων τεχνολογικής χρηματοδοτικής
βάσει οίκο-εξεργειακής ανάλυσης**



Επιβλέπων:

Αν. Καθηγητής Δημήτριος Καλιαμπάκος
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλειολόγων ΕΜΠ

Εξεταστική Επιτροπή:

Αν. Καθηγητής Δημήτριος Καλιαμπάκος
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών ΕΜΠ

Αν. Καθηγήτρια Δ. Χατζηιωσήφ Διακουλάκη
Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

Λέκτορας Δημήτριος Λαμίγος
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών ΕΜΠ

**Περιβάλλον
&
Ανάπτυξη**

Αθήνα, Νοέμβριος 2007

**Εγκρίνουμε την μεταπτυχιακή διατριβή του Γεωργίου Καρακατσάνη
με τίτλο:**

**«Ανάπτυξη υποδειγμάτων τεχνολογικής χρηματοδοτικής
βάσει οίκο-εξεργειακής ανάλυσης»**

Ο επιβλέπων καθηγητής:

Δημήτριος Καλιαμπάκος

Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών ΕΜΠ

Οι συνεξεταστές καθηγητές:

Δ. Χατζηιωσήφ Διακουλάκη

Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

Δημήτριος Δαμίγος

Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών ΕΜΠ

Αθήνα, 26 Νοεμβρίου 2007

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Ανάπτυξη υποδειγμάτων τεχνολογικής χρηματοδοτικής βάσει οίκο-εξεργειακής ανάλυσης» εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διεπιστημονικού-Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΔΠΜΣ) «Περιβάλλον & Ανάπτυξη» της Σχολής Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ).

Η αναζήτηση των πρώτων βιβλιογραφικών στοιχείων ξεκίνησε σχεδόν παράλληλα με τη συμμετοχή του γράφοντος στο πρόγραμμα, δηλαδή κατά την εκκίνηση του ακαδημαϊκού έτους 2006-2007, ενώ η τελική εξειδίκευση του τίτλου και των στοιχείων έγινε κατά το τελευταίο τρίμηνο της συμμετοχής στο πρόγραμμα.

Ως επί το πλείστον, η εργασία χαρακτηρίζεται από την προσπάθεια σύνδεσης φαινομενικά ετερόκλητων στοιχείων, ακολουθώντας τη μεθοδολογία του ολισμού. Εντός αυτού του πλαισίου, ο αναγνώστης θα έχει την ευκαιρία να μελετήσει την ανάπτυξη ιδεών για τους τρόπους σύνδεσης των οικονομικών αποδόσεων με το Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής, την κατανάλωση των εξεργειακών αποθεμάτων, την μείωση της ρυπαντικής βιοχωρητικότητας της φύσης, την παραγωγή πλούτου από τα πλανητικά οικοσυστήματα -καθώς και πληθώρα άλλων θεμάτων- σε ένα ενιαίο οργανικό οικολογικό-οικονομικό σύστημα, όπου το ρόλο της μεταβλητής-κλειδί κατέχει η τεχνολογία και –ειδικότερα- η επένδυση πόρων σ' αυτή.

Η συγγραφή έγινε, με τη βαθιά πεποίθηση ότι η συμβατική οικονομική δεν μπορεί –παρά μόνο αποσπασματικά- να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της υποβάθμισης των πλανητικών οικοσυστημάτων.

Ολοκληρώνοντας τη συγγραφή, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά κάποιους συντελεστές του προγράμματος για τη βοήθειά τους σε πολλαπλά επίπεδα. Για τα παραπάνω, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δ. Καλιαμπάκο, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του ΕΜΠ και κ. Δημήτριο Δαμίγο, Λέκτορα της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του ΕΜΠ, επιστημονικούς υπεύθυνους της μεταπτυχιακής μου εργασίας, για την εξαιρετική υπομονή τους, τις χρήσιμες υποδείξεις τους σε κρίσιμα σημεία της συγγραφής, και την ευκαιρία που μου έδωσαν να αναπτύξω με μεγάλη ελευθερία και δημιουργικότητα ένα από τα πλέον ανερχόμενα θέματα στον κόσμο της οικονομικής σκέψης.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών κ. Δημήτριο Ρόκο για την υψηλού επιπέδου διδασκαλία που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της διετούς συμμετοχής μου στο πρόγραμμα, και για τους πολιτικούς προβληματισμούς που μου δημιούργησε, οι οποίοι σίγουρα θα με απασχολήσουν για πολύ καιρό ακόμα...

Γεώργιος Καρακατσάνης

Περίληψη

Η σύγχρονη περιβαλλοντική ποσοτική ανάλυση γίνεται κατά βάση υπό το πρίσμα του *ελλείμματος των πόρων*. Εναλλακτικά, τα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα μπορούν να ειδωθούν υπό το πρίσμα του *ελλείμματος τεχνολογίας*. Αντικείμενο της εργασίας είναι η ανάπτυξη υποδειγμάτων οικολογικής χρηματοδοτικής για την τεχνολογία βάσης.

Το ζήτημα της τεχνολογικής εξέλιξης προσδιορίζεται γενικά ως *βαθμός νεγεντροπίας* (=αρνητικής εντροπίας), ο οποίος επιτυγχάνεται με επένδυση Έρευνα & Ανάπτυξη. Το αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η προτυποποίηση των συνθηκών βάσει των οποίων θα πρέπει να γίνεται αυτή η εξέλιξη.

Στο **Κεφάλαιο 1**, η τεχνολογία ορίζεται, ως *το μέτρο της επιτυχίας μεταφοράς μιας μονάδας πληροφορίας ανά μονάδα ενεργειακής ροής*. Με βάση αυτό τον ορισμό, η τεχνολογία δεν αφορά μονάχα στα ανθρώπινα τεχνολογικά επιτεύγματα, αλλά και στις φυσικές διεργασίες ως σύστημα αναφοράς. Ως φυσικό μέτρο του κόστους και της απόδοσης κάθε ενεργειακής ροής ορίζεται η *Εξέργεια*, εννοούμενη ως μέτρο της ταξινόμησης ενός συστήματος. Η αντίληψη αυτή θεμελιώνεται βάσει δυο επιστημονικών θεωριών οι οποίες σε βιοφυσικό επίπεδο δύνανται να συγκλίνουν, *α) τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής και β) τη Θεωρία της Πληροφορίας*. Στη συνέχεια, παρατίθενται εμπειρικά στοιχεία για τον εξεργειακό προϋπολογισμό της Γης και τον μηχανισμό αναπαραγωγής του.

Στο **Κεφάλαιο 2** αναπτύσσεται η προτυποποίηση της μακρο-δομής της οικολογικής χρηματοδοτικής της τεχνολογίας. Υπό αυτή τη θεώρηση, οι υλικές συναλλαγές μεταξύ Φύσης και Οικονομίας αποτελούν ένα ιδιότυπο *βιοφυσικό πιστωτικό σύστημα*. Το χρήμα αποτελεί στην ουσία μετασχηματισμένους φυσικούς πόρους, του οποίου η διαχρονική απαξίωση είναι αποτέλεσμα της ισχύος του *Δεύτερου Νόμου της Θερμοδυναμικής* (=Νόμος της *Εντροπίας*). Εδώ αναπτύσσονται οι αρχές αυτού του βιοφυσικού πιστωτικού συστήματος βάσει των ροών μάζας και ενέργειας μεταξύ της Οικονομίας και της Φύσης. Επιπλέον, προτυποποιούνται οι δύο βασικοί περιορισμοί οι οποίοι λειτουργούν κι επιβάλλουν συνδυασμένα την διαρκή τεχνολογική εξέλιξη. Αυτοί είναι: *α) το εξεργειακό απόθεμα και β) η ρυπαντική βιοχωρητικότητα του οικοσυστήματος*. Τέλος, γίνεται μια εισαγωγή αυτών των μεταβλητών σε επιλεγμένα νεοκλασικά οικονομικά υποδείγματα.

Στο **Κεφάλαιο 3** αναπτύσσεται η προτυποποίηση της μικρο-δομής της οικολογικής χρηματοδοτικής της τεχνολογίας. Εδώ, η Έρευνα & Ανάπτυξη προτυποποιείται ως μια πληροφορική διαδικασία η οποία ενέχει αβεβαιότητα. Κατόπιν, ερευνάται θεωρητικά η συσχέτιση μεταξύ της αύξησης της χρηματοοικονομικής επένδυσης και της στατιστικής μείωσης της αβεβαιότητας. Πλέον, αναπτύσσονται τα βασικά οικονομικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση της οικονομίας με το οικοσύστημα. Συγκεκριμένα, εισάγονται δείκτες όπως η *πρόσοδος στενότητας* (*scarcity rent*), ο *στόχος υποκατάστασης*, η *χρηματοοικονομική απόδοση Έρευνας & Ανάπτυξης*, ο *χρηματοοικονομικός επιταχυντής υποκατάστασης*, αλλά και έννοιες, όπως η *εξεργειακή επενδυτική* -με έμφαση στις βιοφυσικές αποδόσεις και το συνολικό εξεργειακό κόστος- και η *περιβαλλοντική τραπεζική* -με έμφαση στη δυνατότητα μικρο-χρηματοδότησης της Έρευνας & Ανάπτυξης και την αυτοχρηματοδότηση της ενεργειακής αξίας του χρήματος.

Το **Κεφάλαιο 4** αφορά κάποια ειδικά θέματα τεχνολογικής χρηματοδοτικής, τα οποία έχουν διαχωριστεί σε τρεις βασικές κατηγορίες: *α) θέματα ενεργειακής κλίμακας β) θέματα τεχνολογίας υλικών και γ) θέματα χρηματοδοτικής των οικοσυστημάτων.*

Ειδικότερα, γίνεται αναφορά στην Έκθεση Stern (2006) για τα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής και το ρόλο της τεχνολογικής αλλαγής για την αντιμετώπισή της. Με βάση αυτό το πρότυπο, παρατίθεται και η μελέτη της European Fusion Development Agreement - EFDA (2001) για την επίδραση των οικονομικών μάθησης στην εξέλιξη του κόστους της πλέον ανερχόμενης ενεργειακής τεχνολογίας μεγάλης κλίμακας, της θερμοπυρηνικής σύντηξης. Στη συνέχεια, παρατίθενται κάποια πρότυπα εκτίμησης της θέσης ανερχόμενων βιομηχανικών υλικών όπως τα κεραμικά, τα νάνο-υλικά και τα βιομημητικά υλικά στη διεθνή αγορά, ενώ γίνεται και μια βασική οικονομική ανάλυση για τη συνεισφορά της ανακύκλωσης. Τέλος, παρατίθεται η πολύ σημαντική μελέτη των Constanza et al. (1997) για την αξία των υπηρεσιών των οικοσυστημάτων, ως βάση για την εξέλιξη μιας νέας οικονομικής ιδέας που αφορά την χρηματοδότηση της ανάπτυξής τους.

Η συνεισφορά της εργασίας συνίσταται σε μια προσπάθεια σαφούς απόδοσης του λογιστικού δεσμού μεταξύ της Φύσης και της βιομηχανικής παραγωγής, τον οποίο ορίζει η *τεχνολογία*.

Σε τελική ανάλυση, αναδύεται η ιδιαίτερη πολιτική σημασία του ζητήματος υπό την έννοια ότι –ειδικά- η περιβαλλοντική η Έρευνα & Ανάπτυξη, αντί ν' αποτελεί μια αφηρημένη διαδικασία υπαγόμενη στους κανόνες των επιχειρηματικών παιγνίων, δύναται και πρέπει ν' αποτελεί μια οργανωμένη κοινωνικοοικονομική διαδικασία.

Abstract

The modern environmental quantitative analysis is primarily made in the concept of *deficit of resources*. Alternatively, the modern environmental problems can be seen in the concept of *deficit of technology*. The object of the work is the development of ecological finance models for basis technology.

The issue of technological development is determined generally as *degree of negentropy* (=negative entropy), which is achieved through investing on Research & Development. The object of this work is the standardization of the conditions according to which this progress should be achieved.

In **Chapter 1**, technology is defined as *the measure of success of a unit of information transfer per unit of energy flow*. According to this definition, technology has to do not only with the human technological accomplishments, but also with the natural processes as a reference system. As a natural measure of the cost and efficiency of each energy flow we define *Exergy*, meant as a measure of a system's classification. This perception is based on two scientific theories that on a biophysical level are likely to converge, **a) the Second Law of Thermodynamics and b) the Theory of Information**. In the following, empirical data for the Earth's exergy budget and its reproduction mechanism are provided.

In **Chapter 2** we model the macro-structure of technology ecological financing. Under this regard, the material transactions between Nature and Economy constitute a singular *biophysical credit system*. In fact, money is a whole of converted natural resources, the diachronic depreciation of which is a result of the validity of the *Second Law of Thermodynamics* (=Law of Entropy). Here, we develop the principles of this biophysical credit system, based on the of mass and energy flows between the Economy and Nature. Furthermore, we model the two basic restrictions that function and -combined- necessitate the permanent technological progress. These are: **a) the exergy reserve and b) the ecosystem's pollution biocapacity**. Finally, there is an import of these variables in selected neoclassical economic models.

In **Chapter 3** we model the micro-structure of technology ecological financing. Here, the Research & Development is modelled as an informational process that involves uncertainty. Furthermore, is examined theoretically the correlation between the increase of financial investment and the statistical reduction of uncertainty. Henceforth, the basic economic tools that are used for the connection of economy with the ecosystem are developed. More concretely, indicators such as the *scarcity rent, the substitution objective, the financial efficiency of Research & Development, the financial substitution accelerator* are imported, but also significances, such as *exergy investing* –with emphasis on the biophysical attribution and the total exergy cost- and the *environmental banking* –with emphasis on the Research & Development micro-finance potential as well as on the self-financing of the energy value of money.

Chapter 4 is concerned with certain special issues of technology finance, which have been separated in three basic categories: **a) issues of energy scale b) issues of materials technology and c) issues of ecosystems finance**.

More specifically, there is a reference on the Stern Review (2006) on the finances of climatic change and the role of technological change for its confrontation. In accordance to this model, is also mentioned the study of the European Fusion Development Agreement - EFDA (2001) for the effect of learning economies in the progress of the cost of the most rising large-scale energy technology, thermonuclear fusion. In the following, there is a reference on certain of rising industrial materials evaluation models in the international market, such as ceramics, nano-materials and biomimetic materials. Hence, there's illustrated a basic economic analysis for the contribution of recycling. Finally, there's a significant reference on the very important study of Constanza et al. (1997) on the value of ecosystem services, as the foundation of a new economic theory that concerns ecosystems' development finance.

This work is trying to render in a concrete way the bond between Nature and the industrial production, which is determined by *technology*.

In final analysis, the special political importance of the question is also emerged, provided that the environmental Research & Development –as it is alleged especially nowadays- instead of a process submitted to the rules of enterprising games, should be able to constitute an organised socio-economic activity.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή

Τεχνολογία: Μια πληροφορική προσέγγιση.....	1
Η έννοια της Πληροφορίας.....	1
Η Πληροφορία ως μαθηματικό μέγεθος.....	1
Γενίκευση της θεωρίας της πληροφορίας για τους βιοφυσικούς μετασχηματισμούς: Η ύλη και η ενέργεια ως φορείς της.....	2
Πληροφορία και Εντροπία.....	3

Κεφάλαιο 1

Η οικολογική εξέργεια ως φυσικό μέτρο του κόστους και της απόδοσης των συστημάτων.....	4
1.1 Η έννοια της εξέργειας.....	4
1.1.1 Προσδιορισμός του συστήματος αναφοράς.....	5
1.1.2 Εξέργεια και ποιότητα.....	6
1.2 Εξέργεια: Ένα φυσικό μέτρο του κόστους της ροής πληροφορίας.....	7
1.2.1 Η ανανέωση του εξεργειακού περιεχομένου.....	8
1.3 Ο καθημερινός εξεργειακός προϋπολογισμός της Γης. Η φυσική διαθέσιμη ενέργεια.....	9
1.3.1 Η διαθέσιμη εξέργεια στα αβιοτικά και τα βιοτικά συστήματα.....	11
1.4 Χρήμα, Έρευνα & Ανάπτυξη, τεχνολογία και νεγεντροπία.....	12
1.4.1 Επενδύοντας στην νεγεντροπία.....	12

Κεφάλαιο 2

Η μακρο-δομή της οικολογικής χρηματοδοτικής της τεχνολογίας.....	15
2.1 Προτυποποίηση των οικονομικών μετασχηματισμών της διαθέσιμης εξέργειας...15	15
2.2 Ο βιοφυσικός προϋπολογισμός.....	17
2.3 Ο Περιοριστικός Παράγοντας.....	19
2.3.1 Εξεργειακό απόθεμα.....	20
2.3.2 Το κόστος της οικονομικής μεγέθυνσης σε όρους εξεργειακού αποθέματος.....	25
2.3.3 Ρυπαντική βιοχωρητικότητα.....	29

2.4 Συνδυασμένη επίδραση των περιοριστικών παραγόντων.....	31
2.4.1 Το «οικολογικό έλλειμμα» της διεθνούς οικονομίας.....	33
2.5 Η Έρευνα & Ανάπτυξη στα νεοκλασικά υποδείγματα παραγωγής.....	34
2.5.1 Το βασικό νεοκλασικό υπόδειγμα.....	35
2.5.2 Το σουμπετεριανό νεοκλασικό υπόδειγμα.....	35
2.5.3 Διακλαδικό Δυναμικό Υπόδειγμα Γενικής Ισορροπίας (Computable Dynamical General Equilibrium Model – CDGEM).....	36

Κεφάλαιο 3

Η μικρο-δομή της οικολογικής χρηματοδοτικής της τεχνολογίας.....

3.1 Η Έρευνα & Ανάπτυξη ως πληροφορική διαδικασία.....	39
3.2 Η «εξεργειακή επένδυση».....	42
3.2.1 Το «βιοφυσικό επιτόκιο» προεξόφλησης.....	44
3.3 Η Πρόσδοδος Στενότητας.....	44
3.3.1 Προτυποποίηση της Προσόδου Στενότητας.....	45
3.3.2 Αξιοποίηση της Προσόδου Στενότητας.....	49
3.4 Η χρηματοδοτική της Έρευνας & Ανάπτυξης.....	51
3.5 Περιβαλλοντική χρηματοοικονομική και τραπεζική.....	55
3.5.1 Δυνατότητες μικρο-χρηματοδότησης Έρευνας & Ανάπτυξης.....	55
3.5.2 Αυτοχρηματοδότηση της ενεργειακής αξίας του χρήματος.....	55

Κεφάλαιο 4

Ειδικά θέματα οικολογικής χρηματοδοτικής της τεχνολογίας.....

4.1 Ενεργειακή κλίμακα.....	57
4.1.1 Η έννοια της ενεργειακής κλίμακας.....	57
4.1.2 Ενεργειακή κλίμακα & οικολογική παραγωγή.....	59
4.1.3 Ο ενεργειακός πολλαπλασιαστής.....	63
4.1.4 Τα οικονομικά της τεχνολογικής μετάβασης.....	66
4.1.5 Ο Διεθνής Πειραματικός Αντιδραστήρας Θερμοπυρηνικής Σύντηξης (ITER).....	67
4.2 Τεχνολογία υλικών.....	69
4.2.1 Η εξέλιξη των βιομηχανικών υλικών.....	69
4.2.2 Ανακύκλωση.....	73
4.3 Δυναμική οικοσυστημάτων.....	77
4.3.1 Γενικά στοιχεία πληθυσμιακής δυναμικής.....	77
4.3.2 Έλεγχος οικοσυστημάτων.....	81
4.3.2.1 Διατηρησιμότητα συγκομιδής με μηδενικό κόστος, δίχως προεξόφληση.....	82

4.3.2.2 Έλεγχος οικολογικών παραμέτρων.....	82
4.3.3 Παραγωγή υπηρεσιών από τα πλανητικά οικοσυστήματα.....	83
4.3.4.1 Δυνατότητα Ενδιάμεσης Μνήμης και πολλαπλασιαστής αξίας υπηρεσιών.....	84

Επίλογος

Η τεχνολογία ως πολιτικό ζήτημα.....	90
---	-----------

Σύνοψη κυρίων συμπερασμάτων: Πλανητική διατηρησιμότητα.....	90
--	-----------

Τεχνολογική δημοκρατία. Η περίπτωση της ενεργειακής τεχνολογίας.....	90
---	-----------

Αλλαγή τεχνολογικού παραδείγματος. Προοπτικές.....	91
--	----

Παράρτημα 1

Παίγνια τεχνολογίας: Ο μονοπωλιακός έλεγχος των ροών της εξέργειας και της τεχνολογικής καινοτομίας.....	92
---	-----------

Παράρτημα 2

“The value of the world’s ecosystem services and natural capital”.....	102
---	------------

- **Main article**
- **Supplementary**

Παράρτημα 3

Παρουσίαση εργασίας (PowerPoint).....	135
--	------------

Πηγές Συγγραφής.....	146
-----------------------------	------------

Κατάλογος Διαγραμμάτων & Πινάκων

Διαγράμματα

Κεφάλαιο 1

Η οικολογική εξέργεια ως φυσικό μέτρο του κόστους και της απόδοσης των συστημάτων

<u>Διάγραμμα 1.1:</u> Προτυποποίηση της διαδικασίας απώλειας εξέργειας-ποιότητας.....	6
<u>Διάγραμμα 1.2:</u> Σχέση μεταξύ του εξεργειακού περιεχομένου ενός υλικού και της ανανεωσιμότητάς του.....	9
<u>Διάγραμμα 1.3:</u> Ο εξεργειακός προϋπολογισμός σε μορφή κοσμικής ακτινοβολίας.....	10
<u>Διάγραμμα 1.4:</u> Ο εξεργειακός προϋπολογισμός εντός των ορίων της Γης.....	11
<u>Διάγραμμα 1.5:</u> Εξεργειακός ροές και απώλειες εντός της Γης σε μονάδες ενέργειας (J).....	12
<u>Διάγραμμα 1.6:</u> Η διαδικασία της τεχνολογικής εξέλιξης ως διαχρονική σχέση Εξέργειας-Πληροφορίας.....	14

Κεφάλαιο 2

Η μακρο-δομή της οικολογικής χρηματοδοτικής της τεχνολογίας

<u>Διάγραμμα 2.1:</u> Απεικόνιση της ροής των μετασχηματισμών του διαθέσιμου εξεργειακού περιεχομένου.....	16
<u>Διάγραμμα 2.2:</u> Βασική προτυποποίηση της χρήσης ενός πόρου σε αποθεματική μορφή.....	22
<u>Διάγραμμα 2.3:</u> Μεγέθυνση και χρήση εξεργειακού αποθέματος.....	28
<u>Διάγραμμα 2.4:</u> Ο περιοριστικός παράγοντας ρύπανσης και ο επιβεβλημένος ρυθμός μετάβασης.....	31
<u>Διάγραμμα 2.5:</u> (α) Η αντί-οικολογική μεγέθυνση της ανθρώπινης οικονομίας.....	33
(β) το κατά κεφαλήν έλλειμμα βιοχωρητικότητας.....	33

Κεφάλαιο 3

Η μικρο-δομή της οικολογικής χρηματοδοτικής της τεχνολογίας

<u>Διάγραμμα 3.1:</u> Η Έρευνα & Ανάπτυξη ως πληροφορική διαδικασία επιτυχίας-αποτυχίας.....	40
<u>Διάγραμμα 3.2:</u> Η απόκτηση πληροφορίας ως αύξηση της πιθανότητας ενεργειακού σήματος.....	41
<u>Διάγραμμα 3.3:</u> Η σχέση της οικονομίας με τη Φύση ως εξεργειακή επένδυση.....	43
<u>Διάγραμμα 3.4:</u> Η διαχρονική εξέλιξη της προσόδου στενότητας με σταθερό κόστος εξόρυξης.....	46
<u>Διάγραμμα 3.5:</u> Η διαχρονική εξέλιξη της προσόδου στενότητας με αυξανόμενο κόστος εξόρυξης.....	48
<u>Διάγραμμα 3.6:</u> Η γενική απεικόνιση της επιτυχίας της τεχνολογικής μετάβασης.....	51
<u>Διάγραμμα 3.7:</u> Απεικόνιση της διαδικασίας E&A βάσει της κατανομής Poisson.....	52
<u>Διάγραμμα 3.8:</u> Χρηματοδότηση E&A και υποκατάσταση βάσει της κατανομής Poisson.....	54

Κεφάλαιο 4

Ειδικά θέματα οικολογικής χρηματοδοτικής της τεχνολογίας

<u>Διάγραμμα 4.1:</u> Προτυποποίηση της έννοιας της ενεργειακής κλίμακας στο χρόνο.....	58
<u>Διάγραμμα 4.2:</u> Η σχέση δυνητικής οικολογικής παραγωγής και ελάχιστης απαιτούμενης κλίμακας.....	60
<u>Διάγραμμα 4.3:</u> Τα οικονομικά της τεχνολογικής μετάβασης.....	67
<u>Διάγραμμα 4.4:</u> Σχέση κόστους και κλίμακας παραγωγής ενός πιθανού εμπορικού αντιδραστήρα σύντηξης....	68

<u>Διάγραμμα 4.5:</u> Κατανομή πιθανοτήτων κόστους ηλεκτροπαραγωγής ενός μελλοντικού αντιδραστήρα σύντηξης βάσει ενός δεδομένου σεναρίου Έρευνας & Ανάπτυξης.....	69
<u>Διάγραμμα 4.6:</u> Ο κύκλος χρήσης των βιομηχανικών μετάλλων.....	70
<u>Διάγραμμα 4.7:</u> (α) Ποσοστά χρηματοδότησης του IMF ανά γενική κατηγορία E&A βιομηχανικών υλικών για το έτος 2004.....	72
(β) ποσοστά χρηματοδότησης ανά τομέα Έρευνας & Ανάπτυξης των <i>εξελεγμένων ανθεκτικών βιομηχανικών υλικών</i>	72
<u>Διάγραμμα 4.8:</u> Το διάγραμμα Sherwood για τη σχέση κόστους ανάκτησης χρήσιμων μετάλλων - ποσοστού διάλυσής τους σε βιομηχανικά απόβλητα	75
<u>Διάγραμμα 4.9:</u> Η πληθυσμιακή δυναμική ενός βιολογικού πόρου.....	78
<u>Διάγραμμα 4.10:</u> Γεωγραφική κατανομή της αξίας των υπηρεσιών των οικοσυστημάτων της Γης.....	87

Παράρτημα 1

Παίγνια τεχνολογίας: Ο μονοπωλιακός έλεγχος των ροών της εξέργειας και της τεχνολογικής καινοτομίας

<u>Διάγραμμα 1.1:</u> Σύγκριση χρηματοδοτικών δυνατοτήτων μιας μονοπωλιακής και μιας πλήρως ανταγωνιστικής επιχείρησης.....	94
<u>Διάγραμμα 1.2:</u> Απλοποιημένη απεικόνιση του δικτύου προμηθευτών της μητρικής επιχείρησης.....	97
<u>Διάγραμμα 1.3:</u> Γεωγραφική κατανομή των αποδεδειγμένων αποθεμάτων πετρελαίου για το 2006.....	100
<u>Διάγραμμα 1.4:</u> Οι μεγαλύτερες εμπορικές ροές πετρελαίου του 2006 (σε εκατ. τόνους).....	101

Πίνακες

Κεφάλαιο 4

Ειδικά θέματα οικολογικής χρηματοδοτικής της τεχνολογίας

<u>Πίνακας 4.1:</u> Στοιχεία για το ποσοστό των συνολικών μεταλλικών φορτίων που δύνανται να ανακτηθούν οικονομικά (βάσει του Διαγράμματος Sherwood) από επικίνδυνα βιομηχανικά απόβλητα.....	76
<u>Πίνακας 4.2:</u> Ενδεικτικοί ορισμοί της Δυνατότητας Ενδιάμεσης Μνήμης.....	85

Εισαγωγή

Τεχνολογία: Μια πληροφορική προσέγγιση

*Άνθρωπος του ειδέναι ορέγεται φύσει
(Ο Άνθρωπος από τη φύση του θέλει να μαθαίνει)*

Αριστοτέλης

Η εισαγωγική ενότητα του παρόντος εκπονήματος αποτελεί μια προσπάθεια θεμελίωσης μιας εναργούς απόδοσης του λογιστικού δεσμού μεταξύ της Φύσης και της βιομηχανικής παραγωγής. Στην πράξη αυτός ο δεσμός ορίζεται ως *τεχνολογία*.

Κάθε δράση βιομηχανικής παραγωγής, αποτελεί μια δράση τεχνικού μετασχηματισμού. Ο μετασχηματισμός ορίζεται ως *η οποιαδήποτε διαφορά μεταξύ της κατάστασης ενός αντικειμένου σε σχέση με μια κατάσταση αναφοράς*. Στη Φύση συμβαίνουν διαρκώς φυσικοί μετασχηματισμοί. Η εργασία αυτή ασχολείται με την ποιότητα των μετασχηματισμών που γίνονται από τον άνθρωπο. Επομένως η κατάσταση αναφοράς θα είναι η υπόλοιπη Φύση.

Το θεμέλιο κάθε οικονομίας είναι οι ροές ύλης και ενέργειας από και προς τη Φύση μέσω κάποιων ενδιάμεσων φορέων. Από τις ροές αυτές δημιουργούνται απώλειες στην ποιότητα των φορέων, οι οποίες αποτελούν και το μέτρο της ελάττωσης της *ποιότητας* των αρχικών ροών. Κατά συνέπεια, *η τεχνολογία μπορεί να οριστεί και ως το μέτρο της ποιότητας των ροών μεταξύ της Φύσης και της Οικονομίας*.

Κατά τη συγγραφή θα γίνεται εκτεταμένη αναφορά στην *ποιότητα*. Στην προσπάθεια να αναγνωριστούν τα φυσικά μέτρα με τα οποία η έννοια αυτή μπορεί να συνδεθεί, εξέχουσα θέση κατέχουν δυο σημαντικές επιστημονικές θεωρίες: **α)** η *Θεωρία της Πληροφορίας* και **β)** ο *Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής (=Νόμος της Εντροπίας)*.

Η έννοια της Πληροφορίας

Η Πληροφορία ως μαθηματικό μέγεθος

Η συνήθης αντίληψη για την πληροφορία είναι ταυτόσημη της έννοιας της σειριακής ή κυκλικής λήψης ενός πεπερασμένου αριθμού λογικών συμβόλων. Στην πράξη αυτό είναι μονάχα ένα μέρος της πληροφορικής διαδικασίας. Υπό την καθαρά μαθηματική έννοια της θεωρίας της πληροφορίας, *πληροφορία είναι το γεγονός το οποίο δεν είναι ακόμη γνωστό*. Η πληροφορία I συνδέεται με την πιθανότητα P ενός συνόλου ενδεχομένων n , με την σχέση¹:

$$I = -\sum_{i=1}^n P_i \log_2 p_i \Rightarrow I = -\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \log_2 \left(\frac{1}{p} \right)$$

¹ Βλ. Claude Shannon (1948), "A Mathematical Theory of Communication"

Η εξίσωση εγκλείει όλη την ποσότητα πληροφορίας κάθε συνόλου ισοπίθανων ($P_i = 1/n$) ενδεχομένων n που έχουν τεθεί. Το λογαριθμικό μέρος της εξίσωσης δίνει την μονάδα *ποσότητας πληροφορίας*, το δυαδικό στοιχείο (binary digit = bit) πολλαπλασιασμένο επί την πιθανότητα P του ενδεχομένου i . Με το δυαδικό ψηφίο είναι δυνατόν να κωδικοποιηθεί κάθε λογικό πρόβλημα βασισμένο σε μια επίσης δυαδική λογική.

Η ποσότητα της ληφθείσας πληροφορίας σε δυαδικά ψηφία αποτελεί θετική συνάρτηση των ενδιάμεσων σταδίων που έχουν τεθεί για την άφιξη στο συγκεκριμένο ενδεχόμενο, δηλαδή της πιθανότητας επιτυχίας του.

Η σχέση μεταξύ της απαιτούμενης ποσότητας της πληροφορίας I προς επίτευξη ενός και μόνο επιθυμητού ενδεχομένου A το οποίο περιλαμβάνει N ενδιάμεσα στάδια, εκφράζεται από τη γενική σχέση:

$$I_A = f^+(N)$$

Η παραπάνω γενική σχέση είναι εξαιρετικά σημαντική, καθώς δημιουργεί την έννοια του *αποθεματικού πληροφορίας*. Αυτό εννοείται με βάση την υπόθεση πως αν N είναι ένας πεπερασμένος αριθμός ενδιάμεσων σταδίων διερεύνησης ενός συστήματος, τότε όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο αριθμός τόσο περισσότερη πληροφορία είναι δυνατόν να αντληθεί από το σύστημα.

Γενίκευση της θεωρίας της πληροφορίας για τους βιοφυσικούς μετασχηματισμούς: Η ύλη και η ενέργεια ως φορείς της

Η πρώτη φυσική θεώρηση της πληροφορίας αφορούσε τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα για τη μέτρηση της απόδοσης (=ποιότητας) ενός καναλιού επικοινωνίας. Η ποιότητα εκφράστηκε ως θετική συνάρτηση των *σημάτων* και ως αρνητική συνάρτηση των *σφαλμάτων*.

Η έννοια της πληροφορίας δύναται να προτυποποιηθεί ως μια γενικευμένη βιοφυσική διαδικασία¹. Η Φύση μπορεί να μελετηθεί και να εξηγηθεί με βάση τις καθιερωμένες έννοιες της *ύλης* και της *ενέργειας*, ως μέτρα της *Πληροφορίας*. Στην πράξη η *ύλη* και η *ενέργεια* αποτελούν τους φορείς *μεταφοράς της πληροφορίας*. Η δομή και η οργάνωσή τους ορίζουν το επίπεδο της ποιότητά της.

Ειδικότερα, αυτή η άποψη αφορά στις αλληλεπιδράσεις στις οποίες υπόκειται διαρκώς ο υλικός κόσμος. Η αντίδραση ενός υλικού (π.χ. υγροποίηση, αεριοποίηση) στις θερμοκρασιακές μεταβολές ή αλλαγή της ταλάντωσης ενός ηλεκτρονίου μπορούν να εξηγηθούν ως *λήψη σήματος*.

Γενικά, η Φύση μπορεί να γίνει αντιληπτή ως ένα τεράστιο αποθεματικό πληροφορίας. Η εξελικτική διαδικασία εκατομμυρίων ετών, μπορεί να ερμηνευθεί ως *μια συνεχής διαδικασία βελτιστοποίησης της διαθέσιμης πληροφορίας μέσα από συνεχείς ροές ύλης και ενέργειας*.

¹ Σημειώνεται πως ο ίδιος ο Shannon, προειδοποιούσε πως η γενίκευση της Θεωρίας της Πληροφορίας πέραν του πεδίου της Ηλεκτρονικής Μηχανικής θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή, παρόλο που και ο ίδιος την είχε χρησιμοποιήσει κατά τη διδακτορική του διατριβή για να εξάγει υποδείγματα Θεωρητικής Γενετικής. Έπειτα από μερικά χρόνια οι Crick και Watson κατά την προτυποποίηση του DNA, έκαναν σαφείς αναφορές στη θεωρία του Shannon. Πλέον, η Θεωρία της Πληροφορίας αποτελεί ένα εξελισσόμενο ερμηνευτικό υπόδειγμα της λειτουργίας των φυσικών φαινομένων κυρίως στην Στατιστική Θερμοδυναμική.

Πληροφορία και Εντροπία

Η μείωση της ποιότητας μιας ροής ενέργειας και ύλης κατά τη διαδικασία μετασχηματισμού της, ισοδυναμεί με μείωση της μέγιστης δυνατής πληροφορίας που μπορεί να αποκτηθεί. Όπως ακριβώς η επιτυχία της ροής της πληροφορίας ορίστηκε ως *λήψη σήματος*, η αποτυχία ορίζεται ως *σφάλμα*.

Η αξία των συστημάτων στη Φύση μπορεί να κριθεί από το βαθμό βελτιστοποίησης των σημάτων, η εναλλακτικά το βαθμό ελαχιστοποίησης των σφαλμάτων. Στη Φύση, η *πληροφορία* ενός συστήματος αποτελεί το μέτρο της τάξης, ενώ η *εντροπία* το μέτρο της αταξίας. Από αυτά εξάγεται το συμπέρασμα πως η *Πληροφορία είναι αντιστρόφως ανάλογη της Εντροπίας*.

Η σχέση *Πληροφορίας* και *Εντροπίας* εκφράζεται συνοπτικά:

$$I = -S$$

Η σχέση ορίζει την πληροφορία I ως *αρνητική εντροπία* S (αρνητική εντροπία = negentropy = νεγεντροπία) και αντίστροφα. Στην πράξη, κάθε έλλειμμα πληροφορίας, ερμηνεύεται ως εντροπία. Η κατάσταση πλήρους εντροπίας δεν παρέχει καμία ενδογενή χρησιμότητα σε οποιοδήποτε σύστημα – ανεξαρτήτως φύσεως- διότι παρουσιάζει μια κατάσταση πλήρους αποδιοργάνωσης, οπότε και μια κατάσταση πλήρους ανυπαρξίας δομής¹.

Οι έννοιες της *πληροφορίας* και της *εντροπίας*, είναι -από ερμηνευτική σκοπιά- θεμελιώδεις για την κατανόηση όλων των βιοφυσικών μηχανισμών. Ωστόσο υπό την καθαρά μαθηματική άποψη και οι δύο έννοιες είναι αφηρημένες. Είναι επομένως χρήσιμη η εύρεση ενός κοινού οικολογικού μέτρου της πληροφορίας, ώστε να κατανοηθούν –βάσει αυτού- και να αναχθούν –σ’ αυτό- οι επιπτώσεις της αποδιοργάνωσης των οικοσυστημάτων που προκαλούνται από την βιομηχανική διαδικασία.

Ειδικότερα, αν η απόκτηση πληροφορίας και εντροπία μετράται με βάση την ανά μονάδα ενεργειακή ροή, θα πρέπει να αναζητηθεί το φυσικό μέτρο του κόστους αυτής της ενεργειακής ροής. Στην ουσία δεν είναι η υπερβολική διεθνής ροή της ενέργειας –αυτή καθαυτή- που συνθέτει το οικολογικό πρόβλημα του πλανήτη, αλλά η υπερβολική μείωση της ποιότητας (μείωση ταξινόμησης = εντροπία) της πηγής άντλησης της συγκεκριμένης ροής.

¹ Σ’ αυτό το σημείο, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην *ενδογενή* απουσία χρησιμότητας. Μπορεί αυτή η μείωση της δομής για το ίδιο το σύστημα ισοδυναμεί με μια μειωμένη λειτουργικότητα, ωστόσο, μπορεί το έλλειμμα πληροφορίας αυτού του συστήματος να προκαλεί εξαιρετικά υψηλή χρησιμότητα σε κάποιο άλλο. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει εξωγενής χρησιμότητα για το δεύτερο σύστημα. Το πιο ενδεικτικό παράδειγμα αυτής της περίπτωσης στην οικολογία, αποτελούν οι *Αποδομητές*. Η απόδοση των αποδομητών –ως μικροοργανισμών- στην πράξη είναι αυξημένη όταν η εντροπία των συστημάτων (εδώ ως χημικών ενώσεων) είναι υψηλή. Κατά τη λειτουργία τους οι αποδομητές επαναταξινομούν το εντροπικό σύστημα στα συστατικά του μέρη (χημικά στοιχεία). Από τη λειτουργία των αποδομητών επωφελούνται άλλα συστήματα τα οποία λαμβάνουν τα απαραίτητα συστατικά υλικά (C,N,P,O κτλ.). Η συζήτηση για την πλοκή των ροών πληροφορίας και εντροπίας μεταξύ των οικοσυστημάτων είναι τεράστια και προς το παρόν ασαφής. Μια βασική προσπάθεια αποτύπωσης αυτών των μηχανισμών γίνεται πάντως στο κεφάλαιο 4.

Κεφάλαιο 1

Η οικολογική εξέργεια ως φυσικό μέτρο του κόστους και της απόδοσης των συστημάτων

Στα μάτια μου δεν έμοιαζα παρά με ένα παιδί που έπαιζε σε μια ακτή διασκεδάζοντας με το να βρίσκει συχνά ένα λείο βότσαλο ή ένα πιο όμορφο κοχύλι, ενώ την ίδια στιγμή ο μεγάλος ωκεανός της αλήθειας απλωνόταν ανεξερεύνητος μπροστά μου...

Ισαάκ Νεύτων

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί η έννοια της *εξέργειας*. Η εξέργεια έχει εξαιρετική οικονομική χρησιμότητα από την άποψη ότι αποτελεί το καλύτερο φυσικό μέτρο της υποβάθμισης των οικοσυστημάτων. Η οικονομική της χρησιμότητα συνίσταται στο ότι αν πρόκειται να δημιουργηθεί ένας ολοκληρωμένος χρηματοοικονομικός μηχανισμός σύνδεσης των αποδόσεων της Φύσης με αυτές του οικονομικού συστήματος, είναι απαραίτητη η χρήση ενός αξιόπιστου μέτρου οικολογικής απόδοσης, το οποίο όμως να είναι ταυτόχρονα και εύχρηστο οικονομικό εργαλείο.

Ειδικότερα, η εξέργεια μπορεί να λάβει διάφορες ερμηνείες και τυπολογία, αναλόγως του συστήματος αναφοράς. Σε κάθε περίπτωση όμως έχει σχέση με τη θερμοδυναμική. Εδώ η εξέργεια ενδιαφέρει κυρίως μακρο-οικολογικά και μακρο-οικονομικά δεδομένα, όπου με βάση αυτά γίνεται και η δικαιολόγηση της χρήσης της ως κοινού μέτρου.

Πλέον, αναλύονται και αρκετές παράμετροι της εξέργειας, όπως η ανανεωσιμότητα ανά κατηγορία υλικού και ο εξεργειακός προϋπολογισμός της Γης, ώστε -σε πρώτη φάση- να αποσαφηνιστούν οι δυνατότητες που καθορίζουν τους στόχους μιας τεχνολογικής μετάβασης σε πιο οικολογικά πρότυπα.

1.1 Η έννοια της εξέργειας

Η εξέργεια μπορεί να οριστεί γενικά ως *το μέγιστο ποσό ενέργειας που μπορεί να αντληθεί φυσικά από ένα σύστημα*. Η άντληση της ενέργειας δεν αφορά κάποιο τεχνικό μετασχηματισμό, αλλά μονάχα φυσικές ανταλλαγές. Κατά συνέπεια, η ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ δυο ή περισσότερων συστημάτων, αφορά στη δημιουργία δυναμικού (δηλαδή διαφοράς) μεταξύ μιας ή περισσότερων παραμέτρων τους. Κάθε διαφορά μεταξύ δύο επικοινωνούντων συστημάτων θα τείνει –βάσει του *Τρίτου Νόμου της Θερμοδυναμικής*- να εξαλειφθεί. Η ενέργεια που θα παραχθεί από την διαδικασία εκμηδενισμού των διαφορών των δύο συστημάτων, ισούται με την εξέργεια του όλου συστήματος.

Ένα πολύ χαρακτηριστικό φυσικό παράδειγμα, είναι η ηλιακή ενέργεια που διαχέεται διαρκώς στο Διάστημα. Η τεράστια θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του Ηλίου όπου λαμβάνουν χώρα συνεχείς θερμοπυρηνικές αντιδράσεις εκατομμυρίων βαθμών K° και του σχεδόν απόλυτου ψύχους που επικρατεί στο Διάστημα επιτρέπει την αυτόματη ροή ενέργειας από το πρώτο σύστημα (Ηλιος)

στο δεύτερο (Διάστημα). Η εξέργεια που παρέχεται με το φυσικό μηχανισμό της αξιοποίησης των διαφορών μεταξύ δύο συστημάτων ονομάζεται συχνά και *ελεύθερη ενέργεια*.

1.1.1 Προσδιορισμός του συστήματος αναφοράς

Σ' αυτό το σημείο έχει μεγάλη σημασία να προσδιοριστεί και η έννοια του *συστήματος αναφοράς*. Είναι δυνατόν να μελετώνται συστήματα τα οποία είναι άνισα μεταξύ τους σε πολλές μεταβλητές, όπως ο όγκος, η θερμοκρασία, η πίεση, η πυκνότητα κ.α.. Αυτές οι περιπτώσεις οδηγούν κάθε φορά σε διαφορετικά αποτελέσματα κλίμακας. Για παράδειγμα η ροή της εξέργειας από ένα κυβικό μέτρο πάγου προς ένα δοχείο διπλάσιου όγκου σε θερμοκρασία δωματίου είναι μεγάλη, όμως προς το πλανητικό οικοσύστημα είναι ασήμαντη. Θα πρέπει επομένως από την αρχή κάθε μελέτης των εξεργειακών ροών να προσδιορίζεται το ευρύτερο σύστημα το οποίο αποτελεί και το μέτρο της κλίμακας αυτών των ροών.

Τη συγκεκριμένη εργασία, αφορά η ροή της εξέργειας από και προς το οικονομικό σύστημα σε σχέση με το βιοφυσικό περιβάλλον το οποίο και αποτελεί το σύστημα αναφοράς. Κατά συνέπεια, η γενική προτυποποίηση των εξεργειακών ροών μεταξύ ενός συστήματος και του περιβάλλοντος ορίζονται ως:

$$Ex = |E_{env} - E_s|$$

Βάσει αυτού του τύπου η ροή της εξέργειας μπορεί να είναι αμφίδρομη, αναλόγως της διαφοράς των μεταβλητών του συστήματος προς αυτές του περιβάλλοντός του (αρνητική ή θετική). Αυτό έχει σχέση και με την γεωγραφική ανομοιομορφία περιβάλλοντος του πλανήτη, γεγονός που επιτρέπει διαφορετικές συγκεντρώσεις και ροές εξέργειας ανά γεωγραφική επικράτεια. Κατά συνέπεια, αναλόγως των τοπικών περιβαλλοντικών προτύπων, διακρίνονται δύο ειδικότερες περιπτώσεις:

- $Ex = E_s - E_{env}$ για θετικές διαφορές των μεταβλητών του συστήματος (όταν $E_s > E_{env}$)
- $Ex = E_{env} - E_s$ για αρνητικές διαφορές των μεταβλητών του συστήματος (όταν $E_s < E_{env}$)

Για παράδειγμα, αν ένα σύστημα διατηρεί υψηλότερη θερμοκρασία και πίεση προς αυτή του περιβάλλοντός του, τότε υπάρχει μια φυσική τάση ροής εξέργειας προς το περιβάλλον, έως ότου η πίεση και η θερμοκρασία του συστήματος να εξισωθούν μ' αυτό. Σε αντίθετη, περίπτωση υπάρχει ροή εξέργειας από το περιβάλλον προς το σύστημα.

Η εξέργεια μπορεί να εντοπιστεί σε ποικίλες μορφές. Ηλιακή, αιολική, κυματική ενέργεια, υδατοπτώσεις, σχάσιμα υλικά είναι μερικά ενδεικτικά παραδείγματα. Πρωτογενής πηγή για τη δημιουργία εξεργειακού περιεχομένου στη Γη είναι η κοσμική ενέργεια¹ από το Διάστημα, σε μορφή ακτινοβολίας.

¹ Στη διεθνή βιβλιογραφία η κοσμική ενέργεια αναφέρεται ορθώς και ως *κοσμική εξέργεια*. Αυτό γίνεται διότι θεωρείται πως ο φορέας της είναι στην πράξη η διαστημική ύλη, με κυριότερο σώμα τον Ήλιο. Η διαδικασία

Με βάση τα παραπάνω, ο συντελεστής της φυσικής -ή εναλλακτικά- θερμομηχανικής εξέργειας¹ ισούται με:

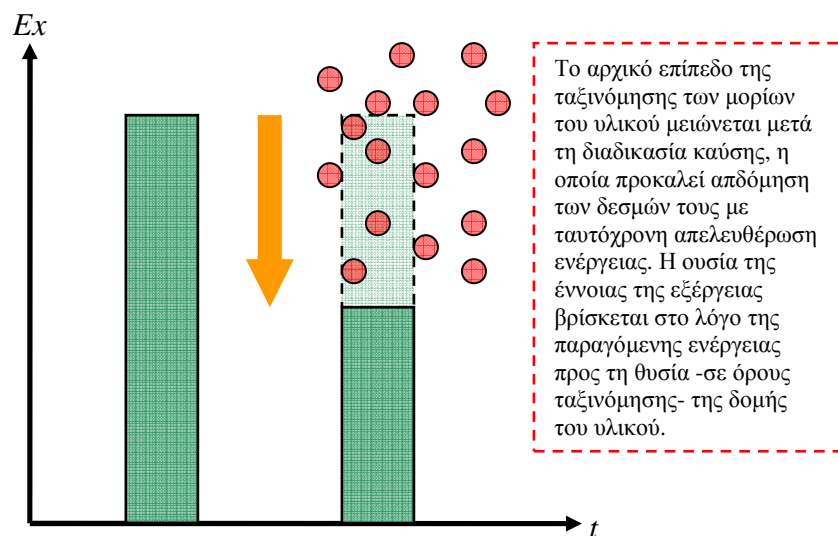
$$Ex = [(h - h_0) - T_0(s - s_0)]M$$

όπου $h-h_0$ ισούται με τη διαφορά ενθαλπίας (σε J/Kg) μεταξύ του υλικού και του περιβάλλοντος, T_0 η θερμοκρασία περιβάλλοντος και $s-s_0$ η διαφορά θερμοκρασίας του υλικού με αυτή του περιβάλλοντός του. Με M συμβολίζεται η μάζα του υλικού ως θετικός σταθμιστής του εξεργειακού περιεχομένου που περιέχεται στο υλικό.

1.1.2 Εξέργεια και ποιότητα

Η εξέργεια έχει μεγάλη σχέση με την εντροπία ως μείωση της ποιότητας ενός υλικού. Αντίστοιχα, η μείωση της ποιότητας μπορεί να ερμηνευθεί ως μείωση της εσωτερικής ταξινόμησης του υλικού, άρα και μείωση της μέγιστης διαθέσιμης πληροφορίας του.

Η μείωση της εξέργειας ενός συστήματος λαμβάνει χώρα κατά τις ενεργειακές ροές. Όταν δηλαδή, υπάρχει διέλευση ή άντληση μιας ενεργειακής ροής απ ένα σύστημα, τότε προκαλείται μείωση της τάξης του, δηλαδή εντροπία. Στο αμέσως επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται μια τέτοια περίπτωση.



Διάγραμμα 1.1: Προτυποποίηση της διαδικασίας απώλειας εξέργειας-ποιότητας

Ας υποθεθεί πως υπάρχει ένα σύστημα το οποίο διατηρεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο εξεργειακού περιεχομένου. Αν για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα πραγματοποιηθεί άντληση

τροφοδοσίας της Γης με ενέργεια απλώς μειώνει σταδιακά την ποιότητα του Ηλίου και των υπολοίπων διαστημικών σωμάτων που την παρέχουν.

¹ Σ' αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να αποφημιστεί πως η εξέργεια μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά με ποικίλους τρόπους, αναλόγως τι σύστημα εκφράζει -χημικό, οικολογικό, πληροφορικό κτλ.. Την παρούσα εργασία, η απώλεια εξέργειας ενδιαφέρει ως μείωση ταξινόμησης του συστήματος ανά μονάδα ροής ενέργειας, κάτι που παραπέμπει στην πληροφορική της έννοια. Εφόσον όμως γίνεται αναφορά σε οικολογικά συστήματα, η απώλεια εξέργειας υφίσταται με θερμομηχανικό τρόπο, γι' αυτό και γίνεται χρήση ανάλογων συντελεστών.

ενέργειας από αυτό σύστημα μέσω κάποιας καύσης, τότε βάσει του *Δεύτερου Νόμου της Θερμοδυναμικής* παράγεται εντροπία.. Κατά τη μετατροπή αυτή, ούτε η συνολική ενέργεια ούτε η συνολική ύλη χάνονται αλλά αλλάζουν σύνθεση. Κατά την άντληση της ενσωματωμένης χημικής ενέργειας του υλικού, το χρήσιμο μέρος αφορά στην κινητική ενέργεια κι ένα μέρος μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια που διαχέεται στο περιβάλλον. Αντίστοιχα, το μέρος του υλικού που υπόκειται στην εντροπία διαχέεται στο περιβάλλον και δημιουργεί νέες ενώσεις μ' αυτό. *Η απώλεια υφίσταται μονάχα για το αρχικό επίπεδο της ποιότητας του υλικού.* Αυτό οδηγεί μετά το πέρας του χρόνου άντλησης, σ' ένα χαμηλότερο επίπεδο εξεργειακού περιεχομένου του υλικού. *Ο βαθμός της μείωσης της ποιότητας του υλικού ανά μονάδα ενεργειακής ροής, προσδιορίζει αντιστρόφως ανάλογα και το επίπεδο της ποιότητας του τεχνικού μετασχηματισμού ή της τεχνολογίας.*

Η εισαγωγή της καύσης -ως τεχνικής μεθόδου- στη μελέτη του εξεργειακού περιεχομένου των υλικών έχει ιδιαίτερη σημασία για ένα σύνολο πρότυπων πόρων που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας για την άντληση ενέργειας. Κατά βάση αυτό αφορά στα ορυκτά καύσιμα. Από θερμομηχανική άποψη, είναι δυνατόν το απόθεμα (π.χ άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) στην αρχική του μορφή να έχει ένα σχετικά χαμηλό εξεργειακό περιεχόμενο, ώστε αν αφηθεί ελεύθερο στο περιβάλλον του η ροή της ελεύθερης ενέργειας να είναι μικρή, δίχως να παρέχει κάποια ιδιαίτερη οικονομική χρησιμότητα. Σε μια τέτοια περίπτωση ενδιαφέρει το εξεργειακό περιεχόμενο που αποκτά το υλικό κατά την καύση του –δεδομένου ότι η καύση είναι μια στιγμιαία αντίδραση για την οποία η θυσία επιπλέον εξεργειακού περιεχομένου μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Πράγματι, κατά την καύση τους τα ορυκτά καύσιμα αποκτούν εξαιρετικά υψηλό εξεργειακό περιεχόμενο λόγω των μεγάλων θερμοκρασιακών διαφορών που αποκτούν προς το περιβάλλον τους, παρέχοντας υψηλό επίπεδο κινητικής ενέργειας και οικονομικής χρησιμότητας για την ανθρώπινη κοινωνία.

1.2 Εξέργεια: Ένα φυσικό μέτρο του κόστους της ροής πληροφορίας

Κατά την ροή της πληροφορίας στους βιοφυσικούς μετασχηματισμούς, είναι απαραίτητη η εύρεση ενός μέτρου φυσικού κόστους. Το μέγεθος που δύναται να χρησιμοποιηθεί ως ενιαίο νόμισμα του κόστους της ροής της πληροφορίας στη Φύση είναι η *Εξέργεια*. Η εξέργεια έχει άμεση σχέση με την *ενέργεια* και την *ποιότητα*. Ως προς την ενέργεια γίνεται ο εξής αποσαφηνισμός:

- *Ενέργεια:* ο φυσικός παράγοντας στον οποίο οφείλονται όλες οι μεταβολές που τα συστήματα υφίστανται.
- *Εξέργεια:* το μέγιστο φυσικά διαθέσιμο ποσό έργου ενός συστήματος προς ή από ένα περιβάλλον σύστημα.

Ως προς την ποιότητα, η εξέργεια είναι το μέρος της ποιότητας το οποίο είναι πλήρως αναλώσιμο. Ο *Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής* ορίζει πως ούτε η ύλη, ούτε η ενέργεια χάνονται, αλλά αλλάζουν μορφή. Αυτό που δύναται να αναλωθεί πλήρως είναι η *ποιότητα* της ύλης και της ενέργειας, δηλαδή η *εξέργεια*.

Η μορφή στην οποία βρίσκεται η ύλη και η ενέργεια ορίζει και την ποιότητα ως μέτρο της χρησιμότητας για κάθε σύστημα. Σημασία έχει ο βαθμός ταξινόμησης του υλικού που ενσωματώνει το εξεργειακό περιεχόμενο. Συγκεκριμένα, η ενέργεια σε ταξινομημένη μορφή σε σχέση με μια εντροπική μορφή καθίσταται πιο εύκολα διαχειρίσιμη από τον άνθρωπο, συνεπώς έχει μεγαλύτερη χρησιμότητα¹.

Απ' την άλλη πλευρά, η ευαισθησία κάθε συστήματος απέναντι σε κάθε επίπεδο ποιότητας της διαθέσιμης ενέργειας διαφέρει. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα (όπως τα βιολογικά), διατηρούν εξαιρετικά υψηλή ευαισθησία ακόμα και στα πιο χαμηλά εξεργειακά επίπεδα (θερμότητα).

Η μαθηματική προτυποποίηση της πληροφορίας ενέχει και την εξαιρετικά χρήσιμη ιδιότητα της ολοκλήρωσης της ποσότητας με την ποιότητα. Ένα σύστημα υψηλού πληροφοριακού περιεχομένου μπορεί να παρέχει περισσότερη πληροφορία σ' ένα οποιοδήποτε άλλο σύστημα απ' ότι ένα σύστημα χαμηλού πληροφοριακού περιεχομένου.

1.2.1 Η ανανέωση του εξεργειακού περιεχομένου

Τη διαφορά εξεργειακού περιεχομένου που υφίσταται μεταξύ της αβιοτικής και της βιοτικής ύλης μπορεί να προσφέρει η εισαγωγή κι ενός επιπλέον μέτρου: *Η ανανεωσιμότητα*.

Με βάση αυτό το μέτρο μπορεί να γίνει μια πρώτη γενική κατηγοριοποίηση:

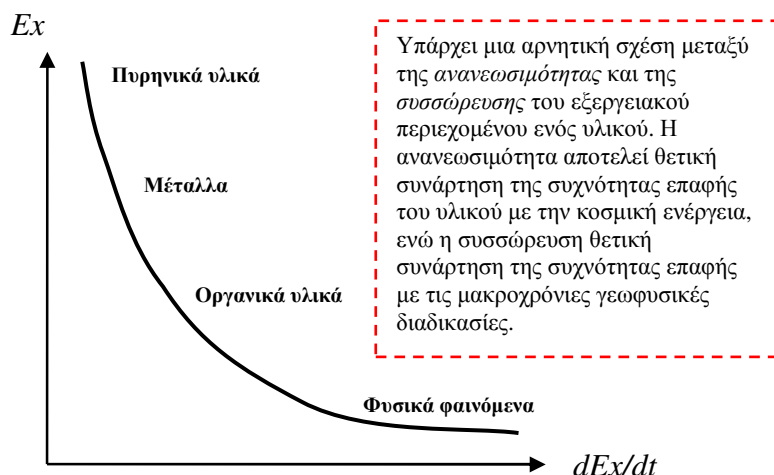
- Εξεργειακές πηγές σε ελεύθερη μορφή *πλήρως ανανεώσιμες*
- Εξεργειακές πηγές σε αποθεματική μορφή *υπό συνθήκες ανανεώσιμες*

Το συνολικό απόθεμα T των εξεργειακών πηγών θα ορίζεται ως το άθροισμα των ελεύθερων εξεργειακών πηγών r με το σύνολο των εξεργειακών πηγών d σε αποθεματική μορφή:

$$Ex_T = \sum_{i=1}^n Ex_{r_i} + \sum_{i=1}^m Ex_{d_i}$$

Εδώ εντοπίζεται και η σχέση μεταξύ του είδους της ύλης που φέρει την εξέργεια και του βαθμού ανανέωσής της. Απ' τη μια πλευρά, η αβιοτική ύλη εμπεριέχει εξαιρετικά μεγαλύτερο εξεργειακό περιεχόμενο, ωστόσο, η ανανεωσιμότητά της είναι εξαιρετικά βραδεία. Αντίθετα, η βιοτική –και σε μικρότερο βαθμό η οργανική– ύλη και τα φυσικά φαινόμενα έχουν μικρό εξεργειακό περιεχόμενο, αλλά εξαιρετικά υψηλό βαθμό ανανεωσιμότητας. Γενικά, *μπορεί να παρατηρηθεί μια αρνητική σχέση μεταξύ του εξεργειακού περιεχομένου ενός υλικού και της ανανεωσιμότητάς του*. Αυτή η σχέση παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα:

¹ Στην περίπτωση της ενεργειακής επάρκειας –που ενδιαφέρει άμεσα– μια ποσότητα ενέργειας σε μορφή υδρογονάνθρακα, έχει μεγαλύτερη χρησιμότητα από την ίδια ποσότητα ενέργειας διάχυτη ως θερμότητα ή κινητική ενέργεια του ανέμου στο περιβάλλον. Εφόσον, η ίδια ποσότητα ενέργειας βρίσκεται σε αποθεματική μορφή –άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανά πάσα στιγμή– προτιμάται έναντι κάποιας άλλης της οποίας η παροχή ενέχει αβεβαιότητα (π.χ. αιολική, φωτοηλεκτρική κτλ.).



Διάγραμμα 1.2: Σχέση μεταξύ του εξεργειακού περιεχομένου ενός υλικού και της ανανεωσιμότητάς του

Οι ιδιότητες αυτές προκύπτουν από την εξελικτική πορεία της Φύσης. Οι βιολογικοί οργανισμοί στην επιφάνεια της Γης, έρχονται σε απευθείας επαφή με την κοσμική εξέργεια σε πρακτικά συνεχή χρόνο. Η αβιοτική ύλη η οποία βρίσκεται σε ορυκτή μορφή διαμορφώνεται μετά από μακροχρόνιες διεργασίες, οι οποίες ξεκινούν από το βιοτικό σύστημα της επιφάνειας φθάνοντας στο υπέδαφος με σημαντική χρονική υστέρηση. Οι ορυκτοί πόροι διαμορφώνονται με αργό ρυθμό κάτω υπό ειδικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης του υπεδάφους. Ακριβώς και αυτό είναι το νόημα του χαρακτηρισμού «υπό συνθήκη» καθώς υπεισέρχονται ειδικές συνθήκες του ρυθμού χρήσης τους σε σχέση με τον ρυθμό της ανανέωσής τους.

Ακόμη πιο ειδικά, η ανανεωσιμότητα έχει σχέση και με το απαιτούμενο χρονικό διάστημα για την επιστροφή μιας πηγής εξέργειας στην αρχική της (νεγεντροπική) μορφή, έπειτα από τη χρήση της. Υπό αυτή την έννοια μη αποθηκεύσιμες μορφές όπως η ηλιακή, η αιολική, η κυματική ενέργεια, αλλά και ορισμένες αποθηκεύσιμες όπως η ενέργεια του υδρογόνου από ηλεκτρόλυση ύδατος, είναι πλήρως ανανεώσιμες σε πρακτικά μηδενικό χρόνο.

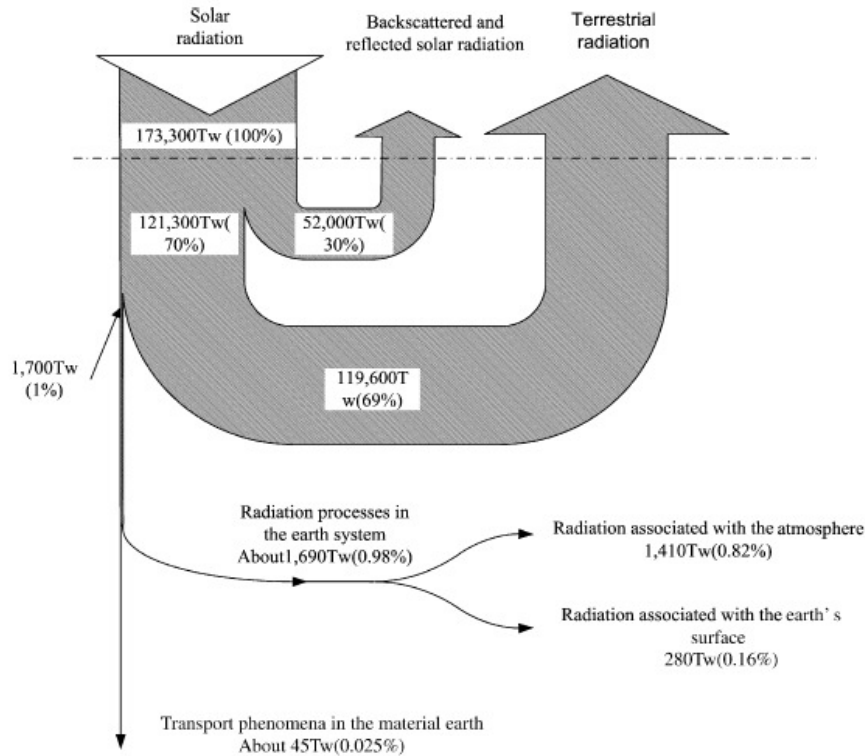
1.3 Ο καθημερινός εξεργειακός προϋπολογισμός της Γης. Η φυσική διαθέσιμη ενέργεια

Με βάση τη θερμοδυναμική η Γη ορίζεται ως *Κλειστό Σύστημα*¹. Η Γη δέχεται καθημερινά ασύλληπτες ποσότητες ενέργειας (Chen, 2005) που φθάνουν τα 173300 TW (=173300x10¹² W). Από αυτή την ποσότητα, μονάχα το 1% (1700TW) φθάνει στη Γη. Το μεγαλύτερο ποσοστό (99%), διαχέεται ως ανάκλαση ακτινοβολίας, και ως ακτινοβολία της Γης προς το Διάστημα.

¹ Η Θερμοδυναμική διακρίνει τριών ειδών συστήματα: *ανοικτά*, τα οποία ανταλλάσσουν ύλη και ενέργεια με το ευρύτερο σύνολο, *κλειστά*, τα οποία ανταλλάσσουν ελεύθερα μόνο ενέργεια, αλλά όχι ύλη και *απομονωμένα*, τα οποία δεν ανταλλάσσουν ούτε ενέργεια ούτε ύλη. Αν και στην πράξη η Γη αποτελεί περίπτωση ανοικτού συστήματος, λόγω ανταλλαγής μάζας με το Διάστημα, οι ποσότητες αυτές μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες για τους σκοπούς της εργασίας, ώστε η Γη να θεωρηθεί κλειστό σύστημα.

Από το διαθέσιμο 1%, μόνο το 0,025% (45TW) ενσωματώνεται στη Γη για όλες τις φυσικές διεργασίες. Από αυτό, το 0,82% (1410TW) διαχέεται ως ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα και το 0,16% (280 TW) ως ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης.

Οι παραπάνω ροές που καθορίζουν και τον συνολικό εξεργειακό προϋπολογισμό της Γης, παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα:

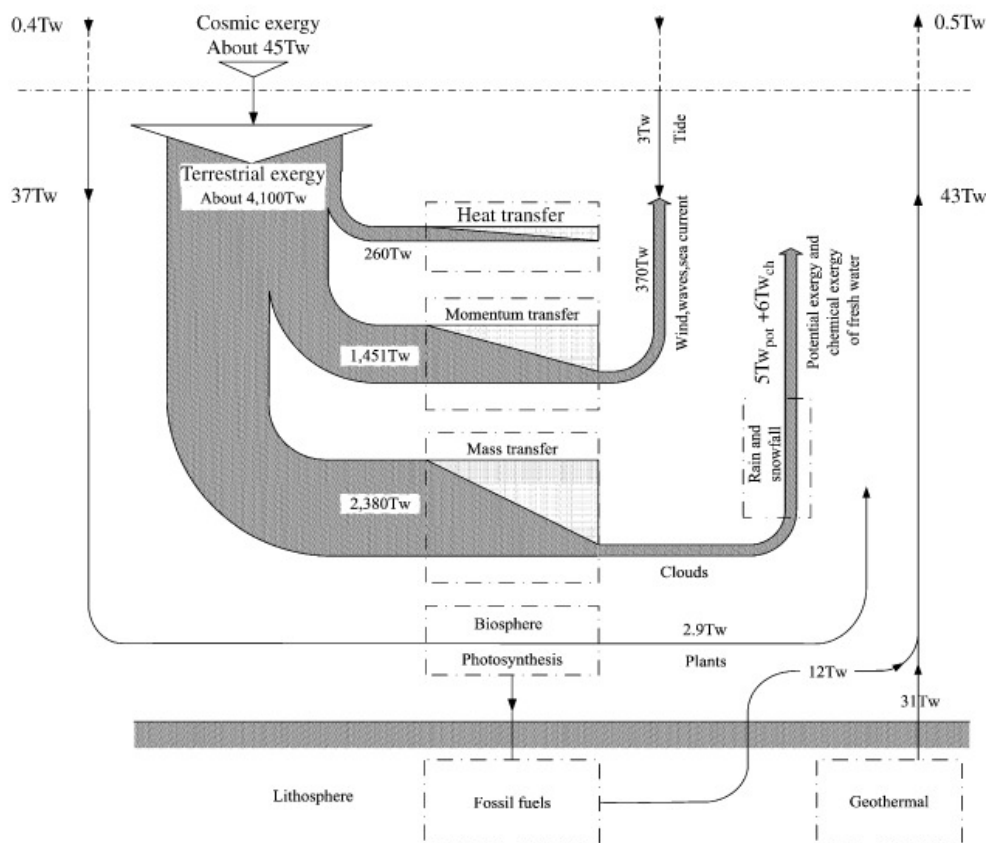


Διάγραμμα 1.3: Ο εξεργειακός προϋπολογισμός σε μορφή κοσμικής ακτινοβολίας (Chen, 2005)

Η κοσμική ενέργεια των 45 TW είναι απαραίτητη για τη διατήρηση εξεργειακής πυκνότητας της Γης, της τάξης των 4100 TW. Αυτό το εξεργειακό περιεχόμενο προέρχεται από τις φυσικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια και το υπέδαφος και την ενσωματωμένη ενέργεια των βιολογικών οργανισμών. Από αυτά, τα 260 TW μετατρέπονται σε θερμότητα, περίπου 1450 TW σε κινητική ενέργεια και ειδικότερα σε τυρβώδη κίνηση τροφοδοσίας του ανέμου, των κυμάτων και των ρευμάτων κάθε είδους, ενώ 2380 TW ως απώλεια μάζας, απαραίτητη για την τροφοδοσία του υδρολογικού κύκλου (υδατοπτώσεις, χιονοπτώσεις).

Από την αντίθετη κατεύθυνση οι συνολικές εξεργειακές ροές φθάνουν το σύνολο των 43 TW, με 31 TW να προέρχονται από τις γεωθερμικές μεταφορές στο εσωτερικό της Γης, οι οποίες προστίθενται στις ανθρωπογενείς εξεργειακές αντλήσεις της τάξης των 12 TW από τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων. Πρόσθετα, περίπου 3 TW προέρχονται ως χημική εξέργεια ενσωματωμένη στα φυτά.

Οι παραπάνω ροές που καθορίζουν και τη συνολική διαθέσιμη αξιοποιήσιμη εξέργεια εντός του γήινου οικοσυστήματος, παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα:



Διάγραμμα 1.4: Ο εξεργειακός προϋπολογισμός εντός των ορίων της Γης (Chen, 2005)

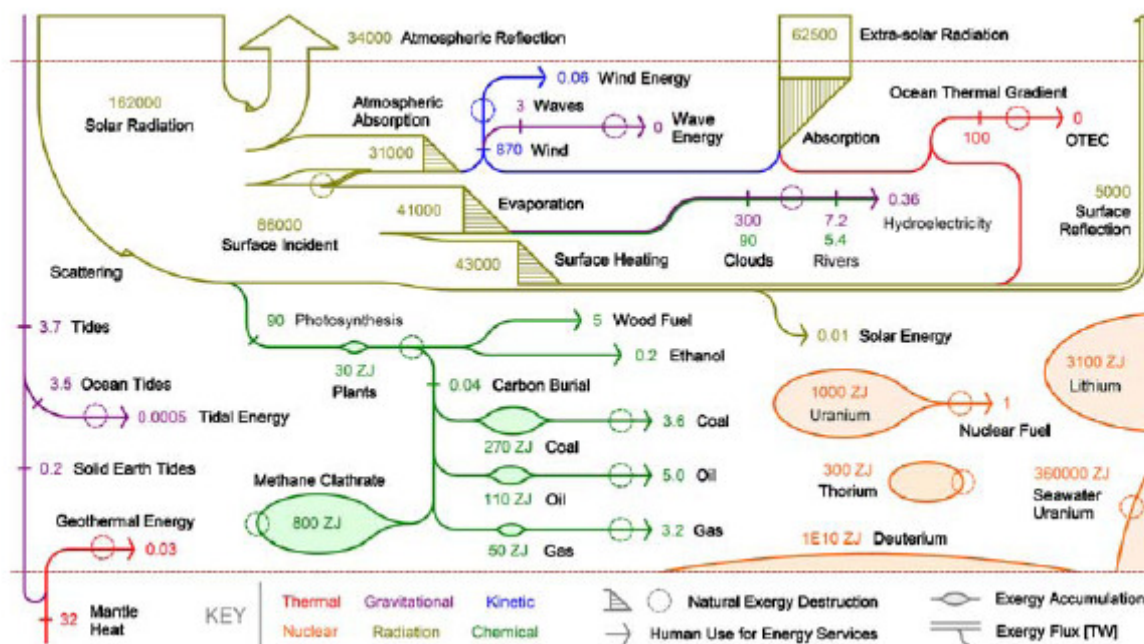
1.3.1 Η διαθέσιμη εξέργεια στα αβιοτικά και τα βιοτικά συστήματα

Για την βελτιστοποίηση της διαχείρισης των εξεργειακών πηγών, είναι απαραίτητη μια βασική αποσαφήνιση των μηχανισμών των εξεργειακών ροών που διέπουν τα βιοτικά και τα αβιοτικά συστήματα. Η διαθεσιμότητα και η μηχανική της ανανέωσης του εξεργειακού περιεχομένου μεταξύ της αβιοτικής και της βιοτικής ύλης διαφέρει σημαντικά, όπως ακριβώς διαφέρει και για κάθε διαφορετικό είδος βιοτικής και αβιοτικής ύλης.

Ενδεικτικά, το συνολικό εξεργειακό περιεχόμενο τριών μόνο πυρηνικών υλικών, υπερβαίνει την τιμή των 10 δις J. Συγκεκριμένα, το περιεχόμενο του ορυκτού Ουρανίου (U) φθάνει τα 1000 ZJ (=1000x10²¹J), ενώ του διαλυμένου στα θαλάσσια ύδατα τα 36x10⁴ ZJ, του Δευτερίου (D) τα 10¹⁰ ZJ και του Λιθίου (Li) τα 31x10² ZJ.

Αντίθετα το εξεργειακό περιεχόμενο των βιολογικών οργανισμών και της οργανικής ύλης είναι πολύ χαμηλότερο. Το εξεργειακό περιεχόμενο των φυτικών οργανισμών συγκεντρώνει μονάχα 30 ZJ, ενώ η υψηλότερη συγκέντρωση εξέργειας στην οργανική ύλη βρίσκεται σε μορφή αερίου Μεθανίου (CH₄) όντας της τάξης των 800 ZJ.

Το επόμενο διάγραμμα (Herman, 2005) συμπυκνώνει πλήθος στοιχείων για τα σημαντικότερα υλικά και φυσικές διαδικασίες, σε σχέση με τις φυσικές εξεργειακές ροές και απώλειές τους, λογισμένα σε μονάδες ενέργειας (J):



Διάγραμμα 1.5: Εξεργειακές ροές και απώλειες εντός της Γης σε μονάδες ενέργειας (J) (Herman, 2005)

Σ’ αυτό το σημείο είναι απαραίτητη μια βασική σημείωση για τα βιοτικά συστήματα. Από άποψη οικονομικής χρησιμότητας, η ανόργανη ύλη μπορεί να παρέχει υψηλότερο επίπεδο εξεργειακού περιεχομένου, σε σχέση με τα οργανικά-βιολογικά συστήματα. Ωστόσο, είναι ακριβώς αυτή η χρησιμότητα των βιολογικών συστημάτων που συνθέτουν το σύνολο του περιβάλλοντος προσδιορίζοντας κατ’ αυτόν τον τρόπο το σύστημα αναφοράς. Όπως έχει ειπωθεί, αυτό συμβαίνει διότι βρίσκονται σε άμεση και συνεχή επαφή με την ηλιακή ενέργεια.

1.4 Χρήμα, Έρευνα & Ανάπτυξη, τεχνολογία και νεγεντροπία

Οι φυσικές μεταβλητές καθορίζουν σε πρωταρχικό βαθμό τη μορφή που θα λάβει η οικονομία κάθε βιολογικού οργανισμού. Ως κοινό μέτρο αυτών των μεταβλητών ορίστηκε η εξέργεια, η οποία δύναται να είναι πλήρως αναλώσιμη. Υπό αυτή την άποψη, όπως κάθε μετασχηματισμός εντός του βιοφυσικού συστήματος διέπεται από τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής, έτσι και το χρήμα ως μέτρο της αξίας της ανταλλαγής αυτών των μετασχηματισμών, διέπεται από τον ίδιο φυσικό νόμο. Συνεπώς, απεικονίζει την εντροπία στην οποία υπόκειται κάθε υλικό αγαθό (διαχρονική απαξίωση).

Προκύπτει επομένως το ζήτημα της διάθεσης του χρήματος σε επενδύσεις που μειώνουν την εντροπία που προκαλεί ο πυρήνας των ανθρώπινων μετασχηματισμών, δηλαδή η βιομηχανία.

1.4.1 Επενδύοντας στην νεγεντροπία

Η εντροπία της θερμοδυναμικής συνεπάγεται τη φθορά. Το ίδιο πρότυπο της εντροπίας είναι κοινό και αναπόφευκτο για κάθε είδους επένδυση. Από καθαρά όμως οικολογική άποψη, κάποιες επενδύσεις εξυπηρετούν περισσότερο την οικονομία της Φύσης. Μια τέτοιου είδους επένδυση είναι

εκείνη η οποία στοχεύει να χρησιμοποιήσει την –αναπόφευκτη- απώλεια εξέργειας προκειμένου να βελτιώσει τις δομές της ροής της πληροφορίας του συστήματος απ' το οποίο προέρχεται. Η κυριότερη επένδυση στην οποία μια κοινωνία μπορεί να προβεί είναι η Έρευνα & Ανάπτυξη, ως διαδικασία διαχρονικής αύξησης της διαθέσιμης πληροφορίας.

Η διαχρονική εξέλιξη της βελτίωσης της ροής της πληροφορίας μέσα από την επενδυτική χρήση της μείωσης του επιπέδου εξέργειας μπορεί να αποδοθεί από την ακόλουθη σχέση:

$$Ex \times (A_{Ex} \times I)^{-1} \times t^{-1}$$

η οποία δείχνει την ανάλωση της εξέργειας Ex σε σχέση με το συνολικό απόθεμά της A_{Ex} ανά μονάδα πληροφορίας I ανά μονάδα χρόνου t . Μια πιο ολοκληρωμένη μορφή της παραπάνω εξίσωσης θα ήταν:

$$d \sum_{i=1}^n Ex_i \times \left(d \sum_{i=1}^n A_i^{Ex} \right)^{-1} \times dI^{-1} \times dt^{-1}$$

η οποία εκφράζει για οριακές χρονικές μεταβολές τη μεταβολή της χρησιμοποιούμενης εξέργειας ανά μορφή, προς τη μεταβολή του συνολικού εξεργειακού αποθέματος σε όλες τις διαθέσιμες μορφές, προς τη μεταβολή της ροής της πληροφορίας ανά μονάδα χρόνου.

Μια ακόμη μεγαλύτερη εξειδίκευση θα μπορούσε να γίνει με διαχωρισμό μεταξύ της χρήσης των πλήρως ανανεώσιμων πηγών εξέργειας και των υπό συνθήκη. Συνεπώς, η εξίσωση θα λάμβανε τη μορφή:

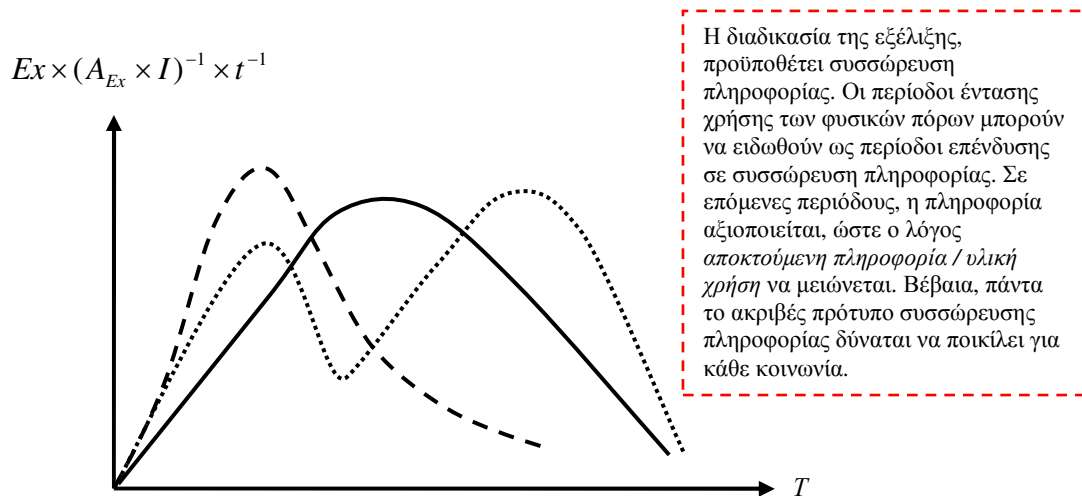
$$d \sum_{i=1}^m Ex_{di} \times \left(d \sum_{i=1}^m A_{di}^{Ex} \right)^{-1} \times dI^{-1} \times dt^{-1}$$

Αυτή η μορφή δίνει βαρύτητα στην εξέταση της σχέσης των πηγών εξέργειας οι οποίες όντας σε αποθεματική μορφή θεωρούνται περιορισμένες. Σ' αυτή την περίπτωση αφαιρείται η συνεισφορά των πλήρως ανανεώσιμων πηγών εξέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική και η κυματική, καθότι ανανεώνονται σε πρακτικά συνεχή χρόνο. Σε μια τέτοια περίπτωση δεν υφίσταται κανένα κόστος εντροπίας για το οικοσύστημα.

Οι παραπάνω σχέσεις εκφράζονται στην γενική τους μορφή από το επόμενο διάγραμμα. Σ' αυτό παρουσιάζονται τρία διαφορετικά ενδεικτικά πρότυπα της εξελικτικής διαδικασίας της τεχνολογίας. Τα δύο πρώτα ακολουθούν το σύνηθες παραβολικό πρότυπο, όπου έπειτα από μια περίοδο έντονης χρήσης εξεργειακού περιεχομένου για τη μεταφορά μιας μονάδας πληροφορίας, ακολουθεί μια μείωση ως αποτέλεσμα της μάθησης. Η μόνη διαφορά αφορά κάποιες παραμέτρους χρονικής έντασης. Στην πρώτη περίπτωση η εξεργειακή ένταση της πληροφορίας ($=Ex/I$) είναι αρκετά υψηλή, ωστόσο μειώνεται και αρκετά απότομα στο χρόνο, σε σχέση με τη δεύτερη καμπύλη, όπου αυξάνεται, εξομαλύνεται και μειώνεται πιο ομαλά, διατηρώντας όμως στο σύνολο του χρόνου μια υψηλότερη εξεργειακή ένταση της μεταφερόμενης πληροφορίας.

Η τρίτη περίπτωση αφορά μια δίκροφη συνάρτηση. Η δεύτερη κορυφή είναι πιθανόν να οφείλεται σε κάποιο αποτέλεσμα κλίμακας, κατά το οποίο η χρήση εξέργειας ανά μονάδα

αποκτηθείσας πληροφορίας ως προς το συνολικό απόθεμα εκτινάχθηκε ραγδαία. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να απεικονίζουν μια περίοδο έντασης της εξεργειακής επένδυσης.



Διάγραμμα 1.6: Η διαδικασία της τεχνολογικής εξέλιξης ως διαχρονική σχέση Εξέργειας-Πληροφορίας

Η συνολική χρήση εξέργειας ως προς το απόθεμα, κατά μια διαδικασία συγκέντρωσης όλης της διαθέσιμης πληροφορίας (πλήρους βεβαιότητας) σε χρονικό διάστημα $T-t$ θα δίνεται από:

$$\int_t^T Ex \left[A_{EX} \left(- \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \log_2 \left(\frac{1}{p} \right) \right) \right]^{-1} dt$$

Με βάση τα παραπάνω, το ζήτημα της τεχνολογικής ανάπτυξης συνοψίζεται στην επένδυση της εισροής της διαθέσιμης εξέργειας, με σκοπό την αύξηση της ανά μονάδα εκροής της πληροφορίας. Μια πιο πρακτική θεώρησή της θα ήταν ο βαθμός απόδοσης της αξιοποίησης των πλήρως ανανεώσιμων διαθέσιμων μορφών εξέργειας (φυσικά φαινόμενα) για την ανά μονάδα εκροή πληροφορίας. Στα επόμενα κεφάλαια, θα αναπτυχθούν υποδείγματα που ανάγουν τα παραπάνω αποτελέσματα σε οικονομικά μεγέθη.

Κεφάλαιο 2

Η μάκρο-δομή της οικολογικής χρηματοδοτικής της τεχνολογίας

«Η οικονομία είναι μια επιστήμη της ζωής, μάλλον κοντινότερη με τη βιολογία παρά με τη μηχανική...»

Alfred Marshall

Στο παρόν κεφάλαιο προτυποποιούνται θεωρητικά οι διαδικασίες των μετασχηματισμών από την ανθρώπινη οικονομία, καθώς και οι βιοφυσικές συνθήκες εντός των οποίων αυτοί λαμβάνουν χώρα. Η σχέση μεταξύ των μεγεθών και των ρυθμών των μετασχηματισμών σε σχέση με τα φυσικά αποθέματα, ορίζουν το πλαίσιο το οποίο αποτελεί το μέτρο της αξιολόγησης του επιπέδου της ποιότητας της ανθρώπινης τεχνολογίας.

Ειδικότερα, υποστηρίζεται μια εναλλακτική αντίληψη για την έννοια του αποθέματος. Απόθεμα δεν θεωρείται μονάχα η συγκέντρωση εξεργειακού περιεχομένου εντός συγκεκριμένου όγκου, αλλά και οι ιδιότητες που δημιουργεί. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία κατά τη συγκέντρωση εξεργειακού περιεχομένου στη βιοτική ύλη, η οποία αποτελεί ένα φυσικό δωρεάν μέσο απορρόφησης ποσοτήτων εντροπίας (π.χ. ρύπανσης) και αναπαραγωγής ποσοτήτων τάξης (δηλαδή εξέργειας).

Κατά συνέπεια, κάθε μεταβολή στο απόλυτο βιολογικό απόθεμα, προκαλεί αυτόματα ένα αποτέλεσμα μεταβολής του επιπέδου της ποιότητας της τεχνολογίας. Στις επόμενες ενότητες, οι σχέσεις αυτές παρουσιάζονται σε μαθηματική μορφή.

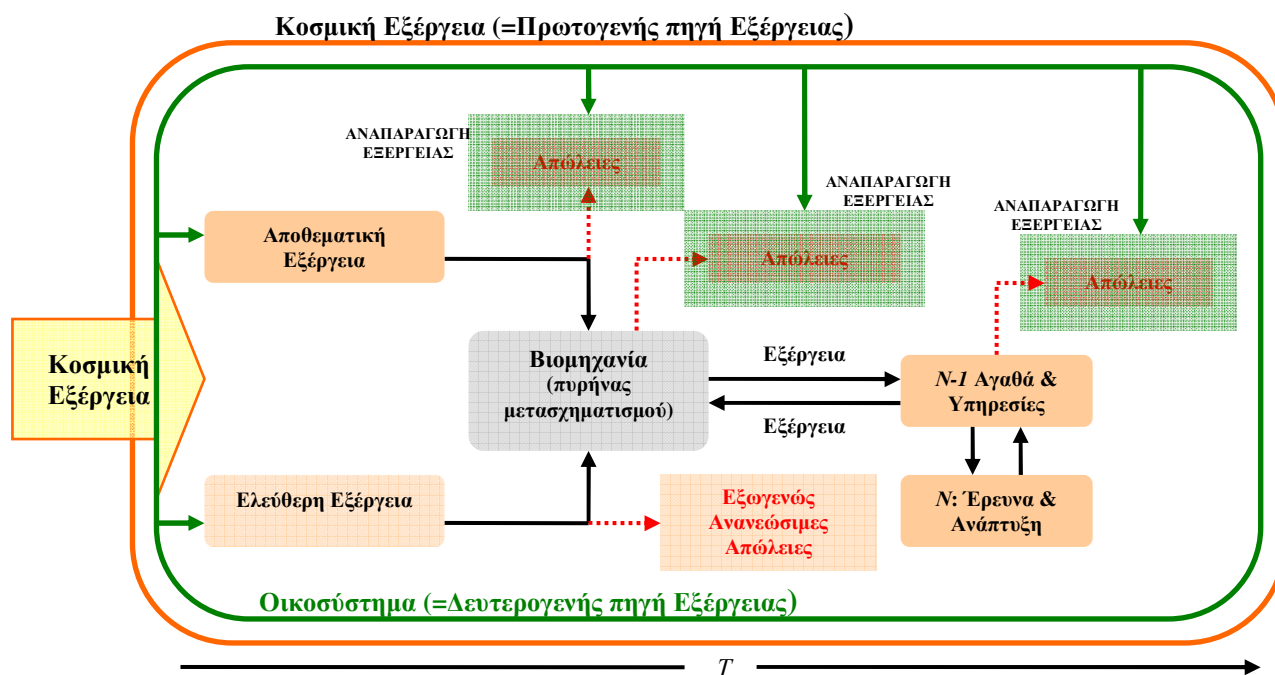
2.1 Προτυποποίηση των οικονομικών μετασχηματισμών της διαθέσιμης εξέργειας

Η διαθέσιμη εξέργεια, αποτελεί την πρωταρχική εισροή των οικονομικών μετασχηματισμών. Η επόμενη εισροή είναι η ανθρώπινη γνώση η οποία αποδίδει στους μετασχηματισμούς χρησιμότητα.

Όπως έχει αναφερθεί, η πρωταρχική μορφή εξέργειας είναι η κοσμική ενέργεια (ή κοσμική εξέργεια), η οποία τροφοδοτεί το οικοσύστημα ως σύνολο προκειμένου να παράγει τη συνολική βιομάζα του και τις ιδιότητες που απορρέουν. Από τη διαδικασία ενσωμάτωσης της κοσμικής ενέργειας δημιουργείται εξεργειακό περιεχόμενο σε αποθεματική (βιομάζα, ορυκτά) και σε ελεύθερη μορφή (ηλιακή ακτινοβολία, άνεμος, ροή ωκεάνιων ρευμάτων).

Η βιομηχανία ως κόμβος μετασχηματισμού δύναται να αξιοποιεί και τις δυο μορφές. Τόσο η ελεύθερη, όσο και η αποθεματική μορφή δύναται να αξιοποιηθούν πλήρως. Το μέρος της ελεύθερης μορφής που αξιοποιείται καταλήγει ως εισροή. Το μέρος που δεν αξιοποιείται, διαχέεται στο οικοσύστημα δίχως κανένα κόστος γι' αυτό, καθότι ανανεώνεται σε διαρκή χρόνο εξωγενώς.

Στο επόμενο διάγραμμα, απεικονίζεται απλοποιημένα η διαχρονική ροή των φυσικών και τεχνητών μετασχηματισμών του εξεργειακού περιεχομένου:



Διάγραμμα 2.1: Απεικόνιση της ροής των μετασχηματισμών του διαθέσιμου εξεργειακού περιεχομένου

Η μηχανική της χρήσης της εξέργειας σε αποθεματική μορφή είναι πιο πολύπλοκη. Για τη δημιουργία εισροής πρώτης ύλης απαιτείται εξαγωγή από το φυσικό της περιβάλλον. Κατά τη διαδικασία εξαγωγής δημιουργούνται απώλειες σε μορφή εξέργειας ανάμιξης (χημικών ενώσεων) που δημιουργείται τεχνητά ως πρόσμιξη για την ευκολότερη εξαγωγή (π.χ. χρήση υδραργύρου κατά την εξαγωγή του χρυσού). Έπειτα, η διαδικασία μετασχηματισμού της ύλης σε προϊόντα προκαλεί επίσης απώλειες, είτε ως απορρίμματα από το σύστημα, ή ως απώλειες βάσει του *Δεύτερου Νόμου της Θερμοδυναμικής*. Το εναπομείναν απόθεμα καταλήγει σε μορφή *N-1* υλικών αγαθών και υπηρεσιών τα οποία μετά τη λήξη της ζωής τους απορρίπτονται στο οικοσύστημα.

Ως αγαθό *N* λογίζεται η *Έρευνα & Ανάπτυξη*. Η ιδιαίτερη φύση του υπαγορεύει πως αποτελεί τη δυνατότητα βελτίωσης της απόδοσης των μετασχηματισμών της διαθέσιμης εξέργειας για τη δημιουργία των υπολοίπων *N-1* αγαθών. Αυτό το ιδιόμορφο προϊόν τροφοδοτείται στο χρόνο τόσο από την υλική επάρκεια των προηγούμενων μετασχηματισμών, ενώ με τη σειρά του τροφοδοτεί το σύστημα με γνώση τεχνολογικών βελτιώσεων που θα λάβουν χώρα σε μελλοντικό χρόνο¹.

Κατά τη διάρκεια και των τριών σταδίων των απωλειών, ενεργοποιούνται οι μηχανισμοί του οικοσυστήματος προκειμένου να αναπαράγουν τάξη από την απορριφθείσα εντροπία. Το είδος και το μέγεθος της απορριφθείσας εντροπίας θα καθορίσει το χρόνο αναπαραγωγής του εξεργειακού περιεχομένου, δηλαδή της τάξης. Ενδεικτικά, το οικοσύστημα θα αναπαράγει ταχύτατα την τάξη όταν

¹ Η ροή της εξέργειας εντός μιας χρονικής μονάδας παρουσιάζεται ως μονόδρομη στο σχήμα, διότι εστιάζει στην χρήση της διαθέσιμης εξέργειας προκειμένου να παραχθεί το σύνολο των αγαθών *N*. Ενδεχομένως, σε επόμενο χρόνο να δημιουργούνται πιο πολύπλοκες ροές, για παράδειγμα λόγω ανακύκλωσης υλικών. Και πάλι, αυτό δεν αλλάζει ουσιαστικά τη φύση και το σκοπό του σχήματος. Αυτό που πρέπει να φαίνεται είναι η χρήση του *καθαρού εξεργειακού ποσού* για την παραγωγή της χρηματικής αξίας των *N* αγαθών.

η εντροπία βρίσκεται σε οργανική μορφή, παρά ως τοξική χημική ένωση (π.χ. βαρέα μέταλλα). Συνεπώς, ο χρόνος της φυσικής αναπαραγωγής του εξεργειακού περιεχομένου του οικοσυστήματος, αποτελεί το μέτρο της πίεσης που δέχεται από την ανθρώπινη τεχνολογία. Αντίστοιχα, το προϊόν Έρευνα & Ανάπτυξη, αποτελεί την προσδοκώμενη απορρόφηση πίεσης προς το οικοσύστημα.

2.2 Ο βιοφυσικός προϋπολογισμός

Οι παραπάνω σχέσεις, δημιουργούν την έννοια ενός βιοφυσικού προϋπολογισμού, βιοφυσικού ισοζυγίου ή εναλλακτικά ενός βιοφυσικού πλεονάσματος. Αυτό το πλεόνασμα συγκεντρώνει όλη την πλανητική διαθέσιμη εξέργεια σε αποθεματική μορφή. Εδώ παραλείπεται σκόπιμα η συνεισφορά της ελεύθερης εξέργειας¹. Κατά συνέπεια, το συνολικό εξεργειακό απόθεμα θα εκφράζεται ως:

$$\sum_1^n aiMi_T = \sum_1^n aiMi_e + \sum_1^n aiMi_s$$

δηλαδή, το συνολικό απόθεμα T , το οποίο ορίζεται από το άθροισμα όλων των διαφορετικών μορφών ύλης n , το οποίο με βάση τον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής, θα ισούται με το άθροισμα όλων των διαφορετικών εξορυσσόμενων ποσοτήτων των μορφών i και του εναπομείναντος αποθέματος για κάθε μια από αυτές. Ο συντελεστής a είναι ένας παράγοντας εξεργειακής πυκνότητας, ο οποίος διαφέρει για κάθε διαφορετικό είδος υλικού². Ο συντελεστής βοηθά στην πληρέστερη περιγραφή του βιοφυσικού ισοζυγίου, κατά συνέπεια στις επόμενες σχέσεις μπορεί να παραλειφθεί προς απλοποίηση.

Η αύξηση της μάζας για κάθε μορφή, αποτελεί συνάρτηση του αποθέματος επί έναν ρυθμό ανάπτυξης, ο οποίος καθορίζεται από ποικίλες παραμέτρους x_n των οποίων το μέγεθος της επίδρασης μπορεί να διαφέρει ανά χρονική περίοδο t^3 :

$$Mi_s(1 + \rho_{it})^T$$

$$\text{με ρυθμό αναπαραγωγής } \rho_{it} = f(x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})$$

Ο χρόνος T , δείχνει τον απαιτούμενο χρόνο ολικής αναπαραγωγής του πόρου. Όταν συμπληρωθεί αυτός ο χρόνος εξετάζεται η σχέση:

$$Mi_s(1 + \rho_{it})^T = Mi \pm u$$

όπου το συνολικό εξεργειακό απόθεμα θα είναι ίσο με:

$$aiMi_s(1 + \rho_{it})^T = ai(Mi \pm u)$$

¹ Αυτό γίνεται κυρίως για λόγους απλούστευσης, εφόσον η αξιοποίησή της δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα πίεσης προς το οικοσύστημα

² Γενικά θα μπορούσε να οριστεί ως ο συντελεστής φυσικής ή εναλλακτικά θερμομηχανικής εξέργειας ο οποίος ορίστηκε παραπάνω και ισούται με $Ex = a_i = [(h-h_0) - T_0(s-s_0)]/M_i$. Ωστόσο, σημειώνεται πως επειδή τα περιβαλλοντικά πρότυπα αναφοράς διαφέρουν σημαντικά γεωγραφικά, αυτός ο συντελεστής μπορεί να θεωρηθεί ως μια μέση τιμή του πλανήτη.

³ Η αναλυτικότερη προτυποποίηση της πληθυσμιακής οικολογικής δυναμικής των πόρων –ιδιαίτερα των βιολογικών- παρουσιάζεται σε ενότητα του κεφαλαίου 3.

Αυτή η σχέση, υποδεικνύει πως το απόθεμα μετά την εξόρυξη, έχει αναπαραχθεί πλήρως στα αρχικά του επίπεδα, μεταβλημένος κατά ένα αποδεκτό όριο διακύμανσης μ , που οφείλεται σε αστάθμητους παράγοντες. Στην περίπτωση που υπάρχει ισότητα της παραπάνω σχέσης, κάθε θετική ποσότητα Mie που έχει εξαχθεί σε προηγούμενο χρόνο, ισούται με το *πραγματικό πλεόνασμα μάζας*. Η πραγματική του τιμή στο χρόνο θα είναι μειωμένη κατά ένα ρυθμό απαξίωσης που οφείλεται στον *Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής* και θα είναι ίση με:

$$Mi_e(1 - \rho_{it})^t, \text{ υπό την προϋπόθεση ότι: } Mi_e(1 - \rho_{it})^t \geq 0$$

$$\text{με ρυθμό απαξίωσης } \rho_{it} = f(g_{1t}, g_{2t}, \dots, g_{mt})$$

Συνεπώς, είναι κατανοητό πως αν ο ρυθμός απαξίωσης του πόρου τείνει να ξεπεράσει το ρυθμό της φυσικής αναπαραγωγής του, το σύστημα ρέπει προς την εντροπία.

Αντίστοιχα, θα ισχύουν ανάλογες σχέσεις για την ικανότητα του υλικού αποθέματος να απορροφά εντροπία και να αναπαράγει τάξη. Η συγκεκριμένη περίπτωση είναι εξαιρετικά πιο πολύπλοκη από αυτήν της εξαγωγής του αποθέματος μάζας, καθώς υπεισέρχονται ιδιαιτερότητες λόγω των εκάστοτε χημικών ενώσεων που προκύπτουν από την ροή ρύπων στο περιβάλλον.

Εδώ, γίνονται δυο κατηγοριοποιήσεις. Αφενός μεταξύ *αβιοτικής* και *βιοτικής* ύλης, καθώς οι ιδιότητες της απορρόφησης και της αποδόμησης οφείλονται κυρίως στην δεύτερη. Αφετέρου, γίνεται κατηγοριοποίηση και μεταξύ των *αποδομήσιμων* (π.χ. αέρια του θερμοκηπίου, CO₂, NO_x, SO_x) και των *συσσωρεύσιμων* ρύπων (π.χ. βαρέα μέταλλα).

Η βιοτική ύλη *b* αποτελεί μέρος του συνολικού αποθέματος μάζας. Κάθε βιολογική ποικιλία έχει μια ιδιαίτερη ικανότητα απορρόφησης και αποδόμησης κάθε είδους ρύπου *i* (από ένα σύνολο *k*) η οποία εκφράζεται ως συντελεστής ως προς το συνολικό απόθεμα. Η ικανότητα αυτή του κάθε βιολογικού πόρου έχει οριστεί ως *Φέρουσα Ικανότητα*. Συνεπώς, για κάθε είδος βιοτικής ύλης θα ισχύει:

$$\sum_{i=1}^k P_{i \max} \sum_{i=1}^m Mi_b (1 + \rho_{it})^t$$

Όπου το συνολικό απόθεμα της βιοτικής μάζας θα είναι ένα μέρος της συνολικής:

$$\sum_{i=1}^m Mi_b \leq \sum_{i=1}^n Mi_T$$

Η παραπάνω γενική τυπολογία, ισχύει τόσο για τους αποδομήσιμους όσο και για τους συσσωρεύσιμους ρύπους. Για τους αποδομήσιμους μπορεί να ισχύει αυτούσια, δίχως περαιτέρω προσαρμογή. Η βασική διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι ενώ για τους *αποδομήσιμους* ρύπους η φέρουσα ικανότητα θεωρείται ανανεώσιμο μέγεθος σε συνεχή χρόνο, για τους *συσσωρεύσιμους* αποτελεί φθίνουσα συνάρτηση της παραγωγής τους. Κατά συνέπεια, η διαχείρισή τους αφορά στην εκπομπή τους μέχρι ένα ανώτατο αποδεκτό όριο ασφαλείας, κι έπειτα την οριστική εγκατάλειψή τους. Σημειώνεται ωστόσο, ότι κάθε ρύπος μπορεί να χαρακτηριστεί διαφορετικά υπό διαφορετικές χημικές ενώσεις. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η γενική προτυποποίηση ισχύει για κάθε είδος ρύπου.

Αν υποθεθεί πως οι συσσωρεύσιμοι ρύποι l αποτελούν ένα μέρος των συνολικών ρύπων k , κατά μια συνεχή ροή τους $\sum_{i=1}^l f(li)$ σε συγκεκριμένο χρόνο, θα ισχύει μια διαχρονική σχέση

φέρουσας ικανότητας:

Για χρόνο t :

$$\sum_{i=1}^l p_{i_{\max t}} \sum_{i=1}^m Mi_b (1 + \rho_{ii})^t$$

Ενώ σε χρόνο $t+1$:

$$\left(\sum_{i=1}^l p_{i_{\max t}} - \sum_{i=1}^l f(li) \right) \sum_{i=1}^m Mi_b (1 + \rho_{i(t+1)})^{t+1}$$

Το συνολικό απόθεμα φέρουσας ικανότητας το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί σ' ένα χρονικό διάστημα ορίζεται ως:

$$\int_t^T \left[\left(\sum_{i=1}^l p_{i_{\max t}} - \sum_{i=1}^l f(li) \right) \sum_{i=1}^m Mi_b (1 + \rho_{ii})^t \right] dt$$

Με βάση τα παραπάνω, η σχέση άντλησης πρώτων υλών από τον άνθρωπο, μπορεί να γίνει αντιληπτή υπό το πρίσμα ενός ιδιότυπου *βιοφυσικού πιστωτικού συστήματος*. Αν υποθεθεί η ύπαρξη, ενός αρχικού αποθέματος για κάθε πόρο, τότε κάθε μικρότερη διαθέσιμη ποσότητα υποδεικνύει μια κατάσταση πίστωσης από το βιοφυσικό σύστημα προς τον άνθρωπο. Αντίστοιχα, το ίδιο ισχύει για κάθε απόρριψη εντροπίας στο βιοφυσικό σύστημα, όπου τίθενται σε ενεργοποίηση οι μηχανισμοί αναπαραγωγής τάξης. Πρόκειται δηλαδή για την χρήση ενός *δυναμικού αναπαραγωγής τάξης*. Και οι δυο περιπτώσεις αφορούν πλεονάσματα τα οποία υφίστανται δωρεάν για τον άνθρωπο, εφόσον δεν δημιουργήθηκαν με συνεισφορά ανθρώπινης εργασίας.

Από τις παραπάνω σχέσεις εξάγεται το συμπέρασμα ότι το *πραγματικό βιοφυσικό πλεόνασμα*, προκύπτει μονάχα μετά από την πλήρη αναγέννηση της *μάζας* και της *φέρουσας ικανότητας* του οικοσυστήματος. Επομένως, η αντίληψη για την ανάγκη απόδοσης κόστους για τη χρήση καθενός από τα δύο αρχικά πλεονάσματα, αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της χρηματοοικονομικής της περιβαλλοντικής τεχνολογίας.

2.3 Ο Περιοριστικός Παράγοντας

Η έννοια του περιοριστικού παράγοντα έχει ληφθεί αυτούσια από την επιστήμη της Οικολογίας. Βασίζεται στο *Νόμο του Ελαχίστου* ή *Νόμο von Liebig*. Σύμφωνα με αυτόν, κάθε βιολογικό είδος μεγεθύνεται και εξελίσσεται συναρτήσει του διατροφικού πόρου που βρίσκεται σε μεγαλύτερο περιορισμό σε σχέση με τους υπολοίπους. Ενδεικτικά, ο περιοριστικός παράγοντας στην έρημο είναι το νερό.

Εν ολίγοις, είναι ο πιο αδύναμος κρίκος ενός οικοσυστήματος, που καθορίζει και το εξελικτικό του δυναμικό. Ο Justus Von Liebig όρισε τον περιοριστικό παράγοντα ως μια σχέση μεταξύ των ποσοτήτων τριών στοιχείων: του άνθρακα (C), του αζώτου (N) και του φωσφόρου (P). Η αναλογία που διακρίνει τα τρία στοιχεία είναι:

$$\frac{C}{N} = \frac{41}{7}$$
$$\frac{P}{1}$$

Η έννοια του περιοριστικού παράγοντα μπορεί πολύ εύκολα να εισαχθεί κατ' αναλογία και στο ανθρώπινο οικονομικό σύστημα. Αν οι πρωταρχικές εισροές της οικονομίας είναι τα βιοφυσικά πλεονάσματα, τότε τις δυνατότητες μεγέθυνσής της θα καθορίσει εκείνο το οποίο βρίσκεται σε ελάχιστη διαθεσιμότητα. Ωστόσο, η κύρια διαφορά με τα υπόλοιπα βιολογικά συστήματα, είναι ότι ο περιορισμός ενός βιοφυσικού πλεονάσματος δεν είναι μακροχρόνια δεσμευτικός, εφόσον μπορεί να υπερκεραστεί με Έρευνα & Ανάπτυξη. Με βάση την προηγούμενη ενότητα, έγινε διάκριση σε δύο ειδών πλεονάσματα, το πλεόνασμα μάζας (εναλλακτικά και εξέργειας) και το πλεόνασμα φέρουσας ικανότητας. Ακολουθεί η προτυποποίηση των μηχανισμών λειτουργίας τους.

2.3.1 Εξεργειακό απόθεμα

Το εξεργειακό απόθεμα αποτελεί το σύνολο όλης της απαραίτητης μάζας, η οποία μπορεί να μετασχηματιστεί είτε για να παραδώσει τα απαραίτητα υλικά (π.χ. μέταλλα), ή για να αποδώσει τις απαραίτητες ενεργειακές ροές (π.χ. υδρογονάνθρακες). Τελικό προϊόν αυτών των μετασχηματισμών είναι η αποδιδόμενη ενεργειακή χρησιμότητα στον άνθρωπο.

Η διαχρονική διαδικασία της χρήσης του εξεργειακού αποθέματος είναι δυνατόν να κατανοηθεί απλοποιημένα με την εισαγωγή ενός προτύπου πόρου. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια βασική προτυποποίηση της διαχρονικής χρήσης ενός αποθεματικού πόρου, όπως οι υδρογονάνθρακες.

Η συνάρτηση χρήσης έχει διαμορφωθεί κατά ένα παραβολικό πρότυπο (δηλαδή αντιστρόφου U), καθώς είναι σύμφωνη με την υπόθεση των *περιβαλλοντικών καμπυλών Kuznets*. Η αρχική υπόθεση αφορά τη σχέση μεταξύ ενός αριθμού δεικτών περιβαλλοντικής υποβάθμισης και του κατά κεφαλήν εισοδήματος. Αυτή συνοψίζεται στο ότι στα αρχικά στάδια της οικονομικής μεγέθυνσης, η περιβαλλοντική υποβάθμιση και η ρύπανση αυξάνονται, αλλά ύστερα από ένα επίπεδο εισοδήματος κι έπειτα (το οποίο ποικίλλει αναλόγως των δεικτών που χρησιμοποιούνται), το ενδιαφέρον της κοινωνίας στρέφεται στην αποκατάσταση, ώστε στα υψηλά εισοδήματα ο όρος να αντιστρέφεται οδηγώντας σε μια περιβαλλοντική βελτίωση (Stern, 2004)¹.

¹ Η υπόθεση Kuznets παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στο *World Development Report 1992*. Για την ισχύ της επικρατεί μια γενικότερη διαμάχη τόσο σε θεωρητικό, όσο και σε οικονομετρικό επίπεδο. Πάντως, τα μακροπρόθεσμα στοιχεία (άνω των 100 ετών) επιβεβαιώνουν την υπόθεση, όπως ακριβώς και η λογική παραγωγή ότι γενικά τα πρόσωπα και τα κράτη με υψηλά εισοδήματα, αναζητούν περιβαλλοντική ποιότητα (υψηλή εισοδηματική ελαστικότητα). Οι σημαντικότερες αδυναμίες της υπόθεσης αφορούν σε επιμέρους σημεία –κυρίως μαθηματικής τυποποίησης–κι όχι στην ουσία της υπόθεσης.

Η τροποποιημένη συνάρτηση Kuznets στηρίζεται στην αρχική υπόθεση, αλλά έχει εφαρμογή στην χρήση των αποθεμάτων. Βάσει αυτής, η χρήση ενός αποθεματικού πόρου εκφράζεται ως συνάρτηση του χρόνου. Εδώ η μεταβλητή του χρόνου ενδιαφέρει άμεσα, καθώς ενέχει τόσο ερμηνευτικό, όσο και κανονιστικό χαρακτήρα. Η κοινωνία έχει συγκεκριμένους βαθμούς ελευθερίας καθορισμού της κατανάλωσης της ποιότητας του αποθέματος, οι οποίοι διαχρονικά μειώνονται λόγω της ισχύος του Β' Νόμου της Θερμοδυναμικής. Κατά συνέπεια θα πρέπει να καθορίσει την σχέση κατανάλωσης-υποκατάστασης με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτύχει πλήρη μετάβαση σε ανανεώσιμους πόρους.

Με βάση τα παραπάνω, η διαχρονική χρήση ενός αποθεματικού πόρου μπορεί να προτυποποιηθεί και μαθηματικά. Η συνολική χρήση ενέργειας E_T , θα είναι ίση με το άθροισμα της ισχύος που παράγεται από ανανεώσιμες r και αποθεματικές c εξεργειακές πηγές. Κατά συνέπεια:

$$E_{Tt} = \sum_{i=1}^n c_{it} + \sum_{i=1}^m r_{it}$$

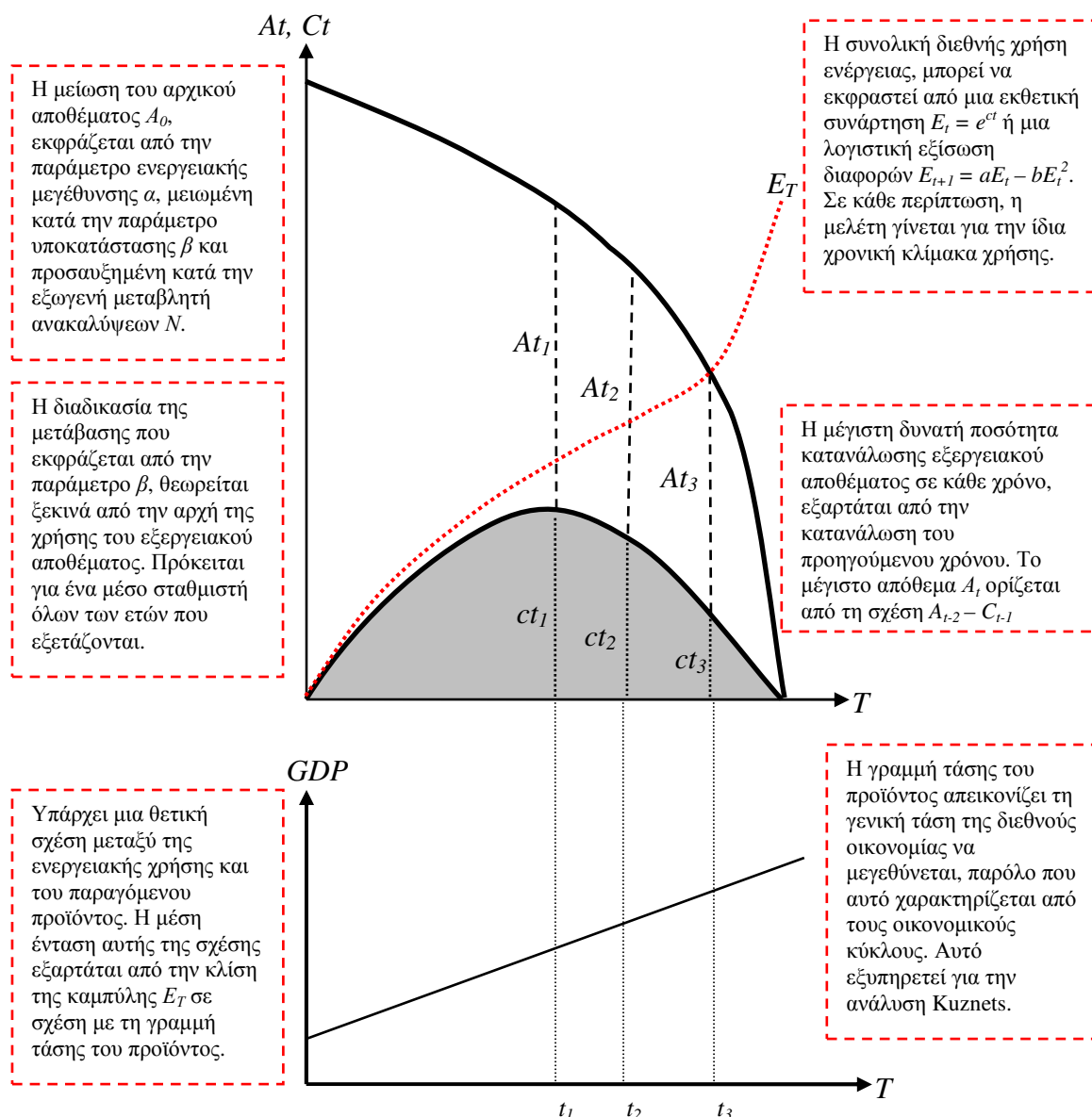
Για απλοποίηση, θα γίνει η υπόθεση ότι υπάρχει ένας μονάχα πόρος σε αποθεματική μορφή. Η προτυποποίηση της χρήσης ενός εξεργειακού αποθέματος λαμβάνει χώρα στο επόμενο διάγραμμα. Η δυνατότητα χρήσης ξεκινά από ένα μέγιστο απόθεμα A_0 . Η μείωση του αποτελεί συνάρτηση της χρήσης του. Αυτό υποδεικνύει πως αρχικά η χρήση αυξάνεται εν ανυπαρξία υποκατάστατου πόρου, ενώ ύστερα από ένα χρονικό σημείο t_1 αρχίζει να φθίνει ως συνέπεια του συγκεντρωμένου αποτελέσματος χρόνων περιβαλλοντικής Έρευνας & Ανάπτυξης. Η καμπύλη E_T , εκφράζει τη συνολική χρήση της εξαγχθείσας ενέργειας, όπου έπειτα από το χρονικό σημείο t_1 , το ποσοστό συμμετοχής των υδρογονανθράκων μειώνεται ραγδαία.

Τα παραπάνω λαμβάνουν χώρα με -διαχρονικά- γραμμικά αυξανόμενο προϊόν¹. Μετά από ένα συγκεκριμένο επίπεδο προϊόντος, ο όρος χρήσης αποθέματος αντιστρέφεται, με αποτέλεσμα το κύριο μέρος της ενεργειακής χρήσης να καλύπτεται σχεδόν αποκλειστικά από ανανεώσιμους πόρους.

Στο εν λόγω υπόδειγμα, σημασία έχει η ταχύτητα της μετάβασης. Αυτή καθορίζεται από την αναλογία των παραμέτρων που ορίζουν την χρήση και την υποκατάσταση. Ακόμη πιο συγκεκριμένα, η αναλογία αυτή θα καθορίζεται από το ποσοστό του συνολικού πλούτου που διαθέτει η κοινωνία σε Έρευνα & Ανάπτυξη για ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους προς το συνολικό πλούτο που παράγεται από την προηγηθείσα ενεργειακή μεγέθυνση μέσω της χρήσης του εξεργειακού αποθέματος.

Η γενική προτυποποίηση της κατανάλωσης ενός εξεργειακού αποθέματος παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα:

¹ Η γραμμική απεικόνιση του ΑΕΠ, ως μην θεωρηθεί ως η απόλυτη ιστορική πορεία του, καθώς αυτή είναι γνωστό ότι χαρακτηρίζεται από οικονομικούς κύκλους. Η γραμμή ως θεωρηθεί ως γραμμή τάσης του ΑΕΠ να αυξάνεται κατά τη διάρκεια αυτών των ετών, και έχει χαραχθεί έτσι ώστε να είναι και πιο κατανοητή η υπόθεση Kuznets. Άλλωστε δεν λαμβάνει ουσιαστικό μέρος στην ανάλυση, οπότε δεν την επηρεάζει και σε ακρίβεια.



Διάγραμμα 2.2: Βασική προτυποποίηση της χρήσης ενός πόρου σε αποθεματική μορφή

Βάσει της υπόθεσης Kuznets, η χρήση του αποθεματικού πόρου σε κάθε έτος, θα λαμβάνει τη γενική μορφή:

$$c = at - \beta t^2, \text{ με } a, \beta \geq 0^1$$

όπου τα a, β δύο ανταγωνιστικές παράμετροι, με την παράμετρο a να ορίζει την καθαρή χρήση των υδρογονανθράκων, ενώ την παράμετρο β την υποκατάσταση καυσίμου με κάποια ανανεώσιμη

¹ Στην πράξη, η γενική μορφή του οικονομετρικού υποδείγματος των περιβαλλοντικών καμπυλών Kuznets είναι τετραγωνική και εκφράζεται σε λογαριθμική μορφή ως: $\ln(E/P)_t = a_t + \gamma_t + \beta_1 \ln(X/P)_t + \beta_2 [\ln(X/P)_t]^2 + \varepsilon_t$, όπου E είναι η μεταβλητή εκπομπής ρύπων, P ο πληθυσμός, X το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ), a και γ άλλες παράμετροι επιρροής της περιβαλλοντικής ποιότητας και ε ο στοχαστικός όρος σφάλματος. Για να λάβει την παραβολική μορφή του το υπόδειγμα, ο συντελεστής β_1 του γραμμικού όρου πρέπει να είναι θετικός, ενώ ο συντελεστής β_2 του τετραγωνικού όρου πρέπει να είναι αρνητικός. Η αντιστροφή του όρου περιβαλλοντικής υποβάθμισης γίνεται στο χρονικό σημείο που καθορίζεται από την εξίσωση $t = \exp[-\beta_1 / (2\beta_2)]$.

μορφή ενέργειας, η οποία τείνει να αντισταθμίσει το πρώτο αποτέλεσμα. Η διαφορά τους καθορίζει κυρίως δύο (2) παράγοντες: την κλίση της καμπύλης –που μεταφράζεται ως ένταση της ενεργειακής κατανάλωσης και το σημείο μηδενισμού της κατανάλωσης του υδρογονάνθρακα. Ο πρώτος παράγοντας καθορίζει και το χρόνο έναρξης της ραγδαίας μείωσης της συμμετοχής του υδρογονάνθρακα στο συνολικό ποσό ενέργειας. Επιπλέον, οι παράμετροι α, β μπορούν να θεωρηθούν κι αυτές μεταβαλλόμενες¹ καθορίζοντας ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα χρήσης-υποκατάστασης κάθε χρόνο.

Επιπλέον, η χρήση ανανεώσιμων εξεργειακών πηγών θεωρείται προς το παρόν εξωγενής παράγοντας, συνεπώς θεωρείται ανεξάρτητος από την επίδραση της χρήσης των πόρων σε αποθεματική μορφή. Αυτό γίνεται μονάχα για λόγους διευκόλυνσης της κατανόησης του προτύπου λειτουργίας του αποθεματικού πόρου, παρόλο που κάτι τέτοιο δεν είναι ακριβές².

Αναλυτικότερα, η εξίσωση μπορεί να παρουσιαστεί ως:

$$c_t = \alpha_t \left(1 - \frac{\beta_t}{a_t} t\right)$$

Ο πρώτος όρος αποτελεί τον συντελεστή ενεργειακής μεγέθυνσης, ο οποίος είναι πολλαπλασιασμένος με έναν συντελεστή διαχρονικής μείωσης της χρήσης του αποθέματος. Ο συντελεστής μείωσης είναι ενδογενής –πρόκειται δηλαδή για ένα εσωτερικό βαθμό απόδοσης της υποκατάστασης επί της συνολική ενεργειακής χρήσης- και υποδηλώνει πως για κάθε αύξηση α στη χρήση του εξεργειακού αποθέματος, ένα μέρος της β αφιερώνεται για την μελλοντική υποκατάστασή της. Η αναλογία β/α μεταξύ των δύο συντελεστών καθορίζει και την ταχύτητα της μετάβασης.

Η συγκεκριμένη μορφή εξυπηρετεί ώστε να είναι εμφανής η αναλογία μεταξύ των δύο παραμέτρων. Αυτή η αναλογία καθορίζει και το χρόνο μηδενισμού της κατανάλωσης του εξεργειακού αποθέματος ($t=\beta/\alpha$). Γνωρίζοντας αυτή την αναλογία, είναι δυνατή η παρέμβαση μέσω οικολογικών πολιτικών, προκειμένου η διαδικασία υποκατάστασης να επιταχυνθεί³. Γι' αυτό και οι παράμετροι επαναπροσδιορίζονται σ' αυτή τη μορφή και ως δυναμικές στο χρόνο.

¹ Σ' αυτή την περίπτωση, η παραβολή γίνεται πιο ασύμμετρη. Οι σταθερές παράμετροι α, β εκφράζουν απλώς μια μέση τιμή τους, ώστε η παραβολή λαμβάνει το γνωστό συμμετρικό σχήμα ως προς τα δύο σημεία μηδενισμού της. Η δυναμική μορφή των παραμέτρων είναι και η πιο ρεαλιστική.

² Αυτή η υπόθεση σίγουρα αποτελεί τη μεγαλύτερη απλούστευση της υπόθεσης Kuznets, καθώς είναι ακριβώς η δέσμευση και συσσώρευση ενεργειακών πλεονασμάτων σε μορφή κεφαλαίου που επιτρέπει στην κοινωνία ν' ασχοληθεί με την περιβαλλοντική Έρευνα & Ανάπτυξη, προκειμένου ν' αποκαταστήσει τη ζημιά που προκάλεσε. Η απλούστευση παύει να διατηρείται στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφ. 2) το οποίο αφορά το μικρο-μηχανισμό λειτουργίας της *εξεργειακής επένδυσης*, δηλαδή την (σειριακή) διαδικασία επένδυσης της χρησιμοποιούμενης εξέργειας σε Έρευνα & Ανάπτυξη, με σκοπό την μελλοντική υποκατάστασή της. Υπό αυτό το πρότυπο, η παράμετρος β , ενεργοποιείται -βάσει μιας σχέσης χρονικής υστέρησης- από την α .

³ Η παράμετρος β αποτελεί έναν μετασχηματισμό της παραμέτρου Poisson λ , η οποία στην ουσία είναι η μέση τιμή άφιξης ενός γεγονότος σε κάθε χρονική περίοδο. Το σύνολο των ευρεσιτεχνιών προσδιορίζεται από $\beta t = \lambda t$. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το υπό παρατήρηση γεγονός είναι η άφιξη των οικολογικών ευρεσιτεχνιών, που προορίζονται να υποκαταστήσουν τους υδρογονάνθρακες. Ειδικότερη ανάλυση γι' αυτήν την παράμετρο και πως μπορεί να επηρεαστεί χρηματοοικονομικά (γι' αυτό και θεωρείται κι αυτή μεταβαλλόμενη στο χρόνο) προκειμένου να ελεγχθεί η διαδικασία υποκατάστασης, ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Αντίστοιχα, η συνολική χρήση εξεργειακού αποθέματος για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, θα ισούται με:

$$C_t = \int_0^t (\alpha_t t - \beta_t t^2) dt$$

Όπως έχει αναφερθεί, προς το παρόν παραλείπεται η υπόθεση για κάποια σχέση που να συνδέει αλγεβρικά τις δυο παραμέτρους. Επιπλέον, μπορεί να εισαχθεί και μια νέα εξωγενής μεταβλητή N , η οποία εκφράζει μια ποσότητα ανακαλύψεων, ή εναλλακτικά *ανάκτησης εξεργειακού αποθέματος*, η οποία επιτυγχάνεται σε συγκεκριμένο χρόνο t . Το άθροισμα των ανακαλύψεων σε συγκεκριμένο χρόνο, προστίθεται στο αρχικό απόθεμα. Η μεταβλητή αυτή αφορά καθαρά το σύνολο των παραμέτρων α εφόσον αυτές και μόνο ενισχύει. Και σ' αυτή την περίπτωση, γίνεται η υπόθεση πως η μεταβλητή N δεν συνδέεται με τις παραμέτρους α με κάποια συναρτησιακή σχέση, κάτι που επίσης δεν είναι ακριβές¹.

Κατά συνέπεια, υφίσταται ένας γενικός υπολογισμός της συνολικής χρήσης ενός εξεργειακού αποθεματικού A_t από την εκκίνηση της χρήσης του αρχικού αποθέματος μέχρι ενός συγκεκριμένου χρόνου t , ο οποίος μπορεί να δοθεί από τον παρακάτω τύπο:

$$A_t = A_0 + \sum_0^t N_t - \int_0^t (\alpha_t t - \beta_t t^2) dt$$

Κατά την διαχρονική χρήση αυτού του εξεργειακού αποθέματος, δημιουργούνται περιορισμοί. Ο πιο θεμελιώδης διατυπώνεται από τον *Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής*, και υπογορεύει πως η συνολική χρήση δεν μπορεί να υπερβεί το αρχικό απόθεμα αυξημένο κατά τις ανακαλύψεις που μπορεί να προκύψουν στο χρόνο. Κατά συνέπεια:

$$A_0 + \sum_0^t N_t - \int_0^t (\alpha_t t - \beta_t t^2) dt \geq 0$$

Με ακόμη μεγαλύτερη εξειδίκευση των περιορισμών σε ακόμη μικρότερη χρονική κλίμακα, προκύπτει ότι σε κάθε χρόνο μικρότερο του τελικού, το απόθεμα –ενισχυμένο κατά τις ανακαλύψεις– πρέπει να είναι θετικό².

$$(A_t + \sum_0^t N_t) - A_{t-1} \geq 0$$

Επιπλέον, όλα τα παραπάνω ορίζουν πως η μέγιστη δυνατή χρήση σε κάθε χρόνο, δεν μπορεί να υπερβαίνει το εναπομείναν απόθεμα, ενισχυμένο κατά τις ανακαλύψεις. Συνεπώς:

¹ Όπως ακριβώς ισχύει η έννοια της *εξεργειακής επένδυσης* για την ενεργοποίηση της παραμέτρων β από την α , έτσι και η μεταβλητή N μπορεί να θεωρηθεί ως ένας εναλλακτικός στόχος επένδυσης έναντι της β . Κατά συνέπεια είναι δυνατόν να αφιερώνεται ποσοστό από τη συνολική ενεργειακή χρήση ως επένδυση για ανάκτηση και όχι υποκατάσταση.

² Η εξίσωση των δύο αποθεμάτων αφορά μόνο τον τελικό χρόνο t , και όχι κάποιο ενδιάμεσο. Η τυποποίηση έχει γίνει για καθαρά μαθηματικούς λόγους.

$$(A_t + \sum_0^t N_t) - A_{t-1} = A_{(t+1)\max}$$

2.3.2 Το κόστος της οικονομικής μεγέθυνσης σε όρους εξεργειακού αποθέματος

Το κόστος της μεγέθυνσης της οικονομίας σε όρους χρήσης αποθεμάτων εξεργειακού περιεχομένου, μπορεί να μετρηθεί με βάση την χρήση του σχετικού εξεργειακού αποθέματος (σε όρους ενέργειας) προκειμένου αυτή να επιτευχθεί. Είναι απαραίτητος ο λογισμός της διαχρονικής εξέλιξης των χρήσεων της οικονομίας καθώς αυτό αποτελεί στοιχείο πληροφόρησης για την κλίμακα μιας μελλοντικής επένδυσης σε μια πιο οικολογική τεχνολογία.

Το σχετικό απόθεμα ορίζεται ως το χρησιμοποιούμενο αποσπώμενο απόθεμα από τη Φύση, προς το συνολικό απόθεμα. Συνεπώς, η μέτρηση της πραγματικής μεγέθυνσης (σε όρους κόστους εξέργειας), δίνεται από τον τύπο:

$$RG_t = \frac{G_t}{d \sum_{i=1}^n A_{EXi_{t-1}}}$$

Δηλαδή η πραγματική μεγέθυνση σε συγκεκριμένο χρόνο t , καθορίζεται από την αύξηση της οικονομικής δραστηριότητας G_t , προς την μεταβολή του συνολικού εξεργειακού αποθέματος A , σε σχέση με το απόθεμα στο τέλος της προηγούμενης χρονικής περιόδου.

Ειδικότερα, αν το μέτρο της οικονομικής δραστηριότητας είναι το *Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν* (ΑΕΠ, GDP), τότε η μεγέθυνση ορίζεται ως:

$$RG_t = \frac{GDP_t - GDP_{t-1}}{\sum_{i=1}^n A_{it} - \sum_{i=1}^n A_{i(t-1)}}$$

Τόσο η αύξηση της οικονομικής δραστηριότητας, όσο και η μεταβολή του εξεργειακού αποθέματος μπορεί να λαμβάνουν τιμή θετική, μηδενική ή αρνητική.

Από τα παραπάνω, μπορεί να εξαχθεί ένας τύπος μέτρησης της ελαστικότητας ε_{RGt} της οικονομίας για μεγέθυνση ως προς τις ανάγκες της για χρήση αποθεμάτων. Αυτή η τυποποίηση αφορά την ελαστικότητα μεγέθυνσης για ελάχιστες χρονικές μεταβολές. Συνεπώς:

$$\varepsilon_{RGt} = \frac{\frac{GDP_t - GDP_{t-1}}{GDP_{t-1}}}{\frac{\sum_{i=1}^n A_{it} - \sum_{i=1}^n A_{i(t-1)}}{\sum_{i=1}^n A_{i(t-1)}}} \Rightarrow \varepsilon_{RGt} = \frac{(GDP_t - GDP_{t-1}) \sum_{i=1}^n A_{i(t-1)}}{\left(\sum_{i=1}^n A_{it} - \sum_{i=1}^n A_{i(t-1)} \right) GDP_{t-1}}$$

Η ελαστικότητα υπολογίζει το βαθμό της οίκο-εξεργειακής ποιότητας της μεγέθυνσης, εφόσον ενσωματώνει και το σχετικό ανάλογο κόστος σ' αυτή. Με βάση την *ελαστικότητα πραγματικής οικονομικής μεγέθυνσης* ε_{RGt} , μπορούν να διακριθούν οι παρακάτω επτά (7) περιπτώσεις:

- Αν $\varepsilon < -1$, σημαίνει πως τη μεγέθυνση και τη χρήση αποθέματος, τις συνδέει μια αρνητική σχέση η οποία όμως είναι ελαστική, δηλαδή ένα σταθερό ποσό μεγέθυνσης σε απόλυτους όρους επιτυγχάνεται με υποπολλαπλάσια χρήση αποθέματος.
- Αν $\varepsilon = -1$, σημαίνει πως τη μεγέθυνση και τη χρήση αποθέματος, τις συνδέει μια αρνητική σχέση 1:1, δηλαδή ένα σταθερό ποσοστό μεγέθυνσης σε απόλυτους όρους επιτυγχάνεται με ακριβώς ίση ποσοστιαία χρήση αποθέματος.
- Αν $-1 < \varepsilon < 0$, σημαίνει πως τη μεγέθυνση και χρήση αποθέματος τις συνδέει μια αρνητική σχέση, η οποία όμως είναι ανελαστική, δηλαδή ένα σταθερό ποσό μεγέθυνσης σε απόλυτους όρους επιτυγχάνεται με πολλαπλάσια χρήση αποθέματος.
- Αν $\varepsilon = 0$, σημαίνει πως τη μεγέθυνση και τη χρήση αποθέματος, τις συνδέει μια αρνητική σχέση η οποία όμως είναι πλήρως ανελαστική, δηλαδή κάθε περαιτέρω μεγέθυνση είναι ανέφικτη, ανεξαρτήτως της χρήσης αποθέματος.
- Αν $0 < \varepsilon < 1$, σημαίνει πως τη μεγέθυνση και τη χρήση αποθέματος, τις συνδέει μια θετική σχέση η οποία είναι ανελαστική, δηλαδή ένα σταθερό ποσό μεγέθυνσης σε απόλυτους όρους εξαρτάται θετικά από μια πολλαπλάσια μεταβολή του αποθέματος.
- Αν $\varepsilon = 1$, σημαίνει πως τη μεγέθυνση και τη χρήση αποθέματος, τις συνδέει μια θετική σχέση 1:1, δηλαδή ένα σταθερό ποσοστό μεγέθυνσης σε απόλυτους όρους εξαρτάται θετικά από μια ακριβώς ίση ποσοστιαία μεταβολή του αποθέματος.
- Αν $\varepsilon > 1$, σημαίνει πως τη μεγέθυνση και τη χρήση αποθέματος, τις συνδέει μια θετική σχέση η οποία είναι ελαστική, δηλαδή ένα σταθερό ποσό μεγέθυνσης σε απόλυτους όρους εξαρτάται θετικά από μια υποπολλαπλάσια μεταβολή του αποθέματος.

Οι τρεις τελευταίες περιπτώσεις εμφανίζουν το παράδοξο της θετικής συσχέτισης με τη μεταβολή του εξεργειακού αποθέματος. Είναι δύσκολη η αντίληψη μιας οικονομίας που μεγεθύνεται υλικά με όλο και λιγότερη άντληση πρώτων υλών από τη Φύση. Τέτοιες περιπτώσεις θα περιέγραφαν μια εξαιρετικά οικολογική οικονομία, η οποία θα ήταν στενά συνδεδεμένη με τις μεταβολές του βιοφυσικού αποθέματος. Ωστόσο, μια τέτοια περίπτωση δεν είναι και τόσο παράδοξη, καθώς θα περιέγραφε μια οικονομία η οποία έχει ένα εξαιρετικά υψηλό συντελεστή ανακύκλωσης, όντας αποσυνδεδεμένη από τη διαρκή άντληση πρώτων υλών και έχοντας εισάγει ταυτόχρονα στους λογαριασμούς της την παραγωγή πλούτου από την διατήρηση και αύξηση της βιομάζας των οικοσυστημάτων¹.

Αντίστοιχα, η τρίτη περίπτωση, περιγράφει μια οικονομία εξεργειακά κορεσμένη, ενώ οι τρεις πρώτες περιπτώσεις το σύνθημα πρότυπο μεγέθυνσης μέσω κατανάλωσης εξεργειας από τη Φύση.

Στην πράξη, η ελαστικότητα μετρά το «αποτύπωμα» της οικονομίας στα εξεργειακά της αποθέματα, καθώς αυτή μεγεθύνεται στο χρόνο. Κατά συνέπεια, εκτός από τη μεμονωμένη μελέτη της, η ελαστικότητα μπορεί να αποτελεί μια συνάρτηση καταγραφής των ενδιάμεσων σταδίων της

¹ Σημειώνεται πως το συγκεκριμένο ζήτημα, αναλύεται εκτενώς σε ενότητα του τελευταίου κεφαλαίου.

οικονομίας, βάσει των εξεργειακών απαιτήσεών της. Συνεπώς, είναι λογικό να αναμένεται μια αρχική υψηλή χρήση αποθέματος για την απαιτούμενη συσσώρευση κεφαλαίου, έπειτα να ακολουθεί ένα στάδιο κορεσμού όπου το κεφάλαιο δεν αποδίδει λόγω της περιβαλλοντικής υποβάθμισης που προκαλεί, με τελικό αποτέλεσμα τη στροφή της οικονομίας σε τομείς που βελτιώνουν ποιοτικά τις δομές της (π.χ. περιβαλλοντική Έρευνα & Ανάπτυξη). Η σχέση αυτή μπορεί να εξελίσσεται σε μια μεγάλη χρονική κλίμακα (μακροπρόθεσμα) μ' ένα εναλλασσόμενο τρόπο, όπου τις ανά χρηματική μονάδα εξάρσεις και μειώσεις της εξεργειακής έντασης, καθορίζουν ενδογενείς παράμετροι (συγκεκριμένα οι ανταγωνιστικές παράμετροι α, β που περιγράφηκαν στην ενότητα 1.2.1)¹.

¹ Στο σημείο αυτό, μπορούν να αναφερθούν δύο σημαντικές αντιρρήσεις για την παραπάνω προτυποποίηση. Αυτές αφορούν: **α)** την κριτική του ΑΕΠ ως ακριβούς μέτρου της οικονομικής δραστηριότητας και **β)** την ενδεχόμενη έλλειψη ακρίβειας των πραγματικών επιπτώσεων από την μεταβολή του εξεργειακού αποθέματος.

Συγκεκριμένα, ως προς το πρώτο ζήτημα, το ΑΕΠ κρίνεται ως ανακριβές μέτρο της οικονομικής δραστηριότητας το οποίο υπερεκτιμά τις επιδόσεις της οικονομίας. Αυτό γιατί προσμετρά θετικά, στοιχεία τα οποία -τουλάχιστον από ηθικής άποψης- θα έπρεπε να αφαιρούνται. Τέτοια στοιχεία, είναι το μέρος του ΑΕΠ που διατίθεται για περιβαλλοντική αποκατάσταση και οι ιατρικές δαπάνες των ασθενειών που προκλήθηκαν από την περιβαλλοντική υποβάθμιση. Μάλιστα, οι πιο ανθρωποκεντρικές απόψεις προτείνουν την αφαίρεση των ιατρικών δαπανών για ασθένειες γενικά, εφόσον τις θεωρούν ως το μέτρο της αποτυχίας της κοινωνίας να επιτύχει -μέσω της επένδυσης σε ιατρική γνώση- υγεία για όλους τους ανθρώπους.

Είναι αλήθεια πως το ΑΕΠ θα έπρεπε να αφαιρεί αυτές τις δαπάνες, καθώς τόσο από λογικής, όσο και από ηθικής άποψης δεν δικαιολογούνται. Ωστόσο, η ενδεχόμενη αφαίρεση των δαπανών δημιουργεί με τη σειρά της δύο ζητήματα. Αφενός, η κριτική αφορά το ΑΕΠ αυτό καθαυτό, και όχι τη σύγκρισή του με ένα φυσικό μέτρο, όπως η χρήση εξέργειας. Με λίγα λόγια, δεν επηρεάζει την υπόθεση εργασίας που γίνεται, ότι ένα οποιοδήποτε μέτρο της οικονομικής δραστηριότητας, πρέπει να συγκρίνεται με το κόστος που προκαλεί σε φυσικούς όρους. Κατά συνέπεια, ακόμα κι αν υιοθετείτο ένα πιο ακριβές μέτρο της οικονομικής δραστηριότητας και πάλι θα έπρεπε να συγκριθεί με τη χρήση του εξεργειακού αποθέματος. Αφετέρου, είναι εξαιρετικά δυσχερής ο δίκαιος καταμερισμός του κόστους στον κάθε ρυπαντή, ειδικά για τα ζητήματα υγείας. Πλέον, η λογική της απλής απόδοσης κόστους, δεν διαθέτει έναν κανονιστικό οικονομικό μηχανισμό βελτίωσης της τεχνολογίας υποδομής -υπόθεση η οποία αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο αυτής της εργασίας.

Το δεύτερο ζήτημα είναι πιο σύνθετο. Η αναγωγή των επιπτώσεων από τη χρήση του κάθε είδους εξεργειακού αποθέματος, δεν είναι ακριβής. Η χρήση κάποιων κατηγοριών αποθεμάτων προκαλεί μεγαλύτερες επιπτώσεις (π.χ. τα πυρηνικά απόβλητα) και ενδεχομένως με μια δυναμική χρόνου. Αντίστοιχα, η ανάλωση ενός δασικού αποθέματος δεν ενέχει μονάχα το κόστος σε όρους απώλειας εξεργειακού περιεχομένου, αλλά και το πρόσθετο κόστος της συνολικής μείωσης της ικανότητας της Φύσης να αναπαράγει τάξη. Επιπλέον, τα αποθέματα αναπαράγονται με διαφορετικό ρυθμό. Επομένως, αν ο ρυθμός ανάλωσης ενός εξ αυτών είναι ίσος η μικρότερος του φυσικού ρυθμού ανανέωσής του, τότε δεν υφίσταται πραγματικό κόστος. Τέλος, η μεταβολή των αποθεμάτων ορισμένων ειδών (ιδίως των βιολογικών) αποτελεί μερική η ολική συνάρτηση του αποθέματος κάποιων άλλων, γεγονός του οποίου η εισαγωγή στο υπόδειγμα, καθίσταται εξαιρετικά δύσκολη.

Ωστόσο, τα παραπάνω προβλήματα δεν είναι δυσεπίλυτα. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 1.1.1 (Βιοφυσικός προϋπολογισμός), μπορεί να εισαχθεί ένας μέσος πλανητικός συντελεστής θερμομηχανικού έργου για κάθε είδος πόρου σε απόθεμα. Αν ένας πλανητικός μέσος δεν θεωρείται επαρκής, τότε μπορεί να εισαχθεί ένας τοπικός μέσος, ανάλογα με τα όρια που έχουν τεθεί για την θεώρηση του περιβάλλοντος ως *ενρύτερο σύστημα*. Συνεπώς, το πρόβλημα της απόδοσης της χρήσης εξεργειακού περιεχομένου μπορεί να εξαλειφθεί.

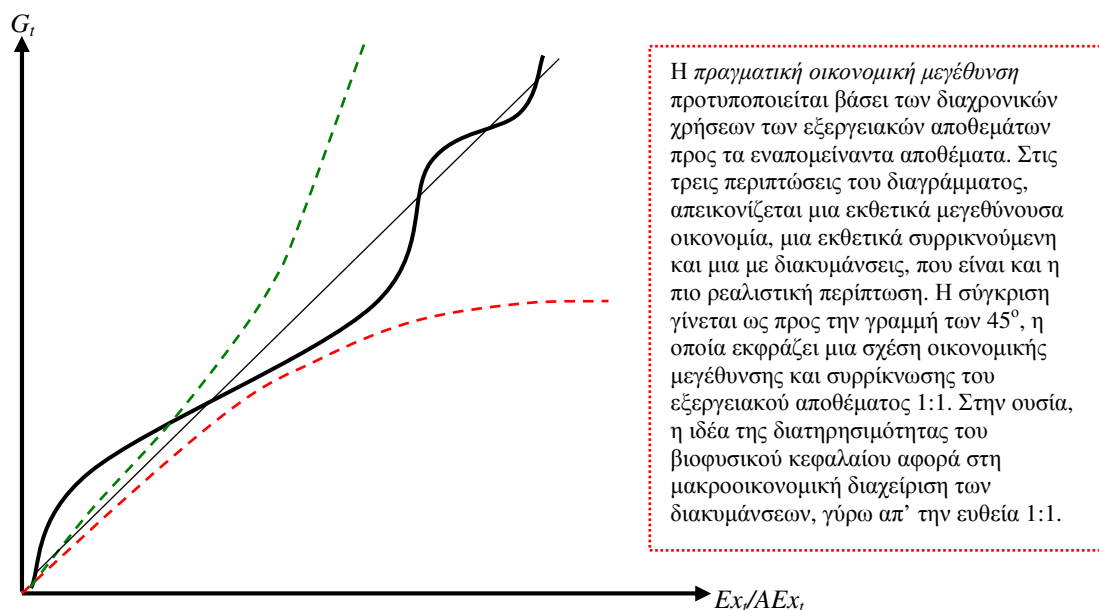
Ως προς τον συσχετισμό της χρήσης του αποθέματος με τη δυναμική των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανά χρήση πόρου, μπορεί να ειπωθεί πως αυτά τα ζητήματα αφορούν μια περαιτέρω εξειδίκευση του τύπου, ως προς τους μηχανισμούς λειτουργίας του οικοσυστήματος. Αφενός, ως προς το ζήτημα του ρυθμού χρήσης ενός πόρου ως προς το ρυθμό ανανέωσής του, μπορεί να υποστηριχθεί πως αυτό ενσωματώνεται αυτόματα στον τύπο, εφόσον γίνεται σύγκριση μεταξύ δυο διαδοχικών ετών. Αλλωστε, παρακολουθείται ο κάθε πόρος που θεωρείται πως αποτελεί μέρος του συνολικού εξεργειακού αποθέματος, κάτι που μπορεί να εξειδικευτεί αν υπάρχει ενδιαφέρον εστίασης σ' αυτόν. Αφετέρου, αν και το επιχείρημα της *δεσμευμένης δυναμικής ανάπτυξης* δύο η περισσότερων (κυρίως βιολογικών) πόρων κρίνεται εξαιρετικά εύστοχο, μπορεί να ειπωθεί πως το αντικείμενο αυτού του τύπου συνίσταται απλά στην εξαγωγή ενός βαθμού έντασης της εξεργειακής υποβάθμισης ανά μονάδα νεοδημιουργηθείσας χρηματοροής της οικονομίας (μεγέθυνσης), κι όχι στην προτυποποίηση της δυναμικής των ακριβών συνεπειών αυτής της χρήσης, βιολογικών και μη.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως η διαδικασία της μεγέθυνσης σε σχέση με το εξεργειακό της κόστος, κατηγοριοποιείται ως εξής:

- **Οριζόντια μεγέθυνση**, την αύξηση του πραγματικού ΑΕΠ¹, που οφείλεται αποκλειστικά στην αύξηση της εξαγωγής εξεργειακού αποθέματος από τη Φύση.
- **Κάθετη μεγέθυνση**, την αύξηση του πραγματικού ΑΕΠ, που οφείλεται αποκλειστικά στην βελτίωση της χρήσης του υπάρχοντος επιπέδου εξεργειακής χρήσης της οικονομίας. Αυτή η έννοια είναι ταυτόσημη με τον όρο *ανάπτυξη*.
- **Σύνθετη μεγέθυνση**, την συνισταμένη των δυο παραπάνω συνιστωσών η οποία παρουσιάζεται ως μια εναλλασσόμενη σχέση στο χρόνο. Αυτή η περίπτωση ανταποκρίνεται καλύτερα στην πραγματικότητα.

Κατά τους Anghion & Howitt (*“Endogenous Growth Theory”*, σ. 7), τόσο η τεχνολογική καινοτομία, όσο και η ποσοτική συσσώρευση κεφαλαίου, είναι δυο απαραίτητα συστατικά για την οικονομική μεγέθυνση. Συμπληρώνοντας αυτή την άποψη, θα μπορούσε να ειπωθεί πως η ένταση και ο βαθμός της χρονικής εναλλαγής τους, προσδιορίζει και το συνολικό αποτέλεσμα.

Το επόμενο διάγραμμα αφορά την διαχρονική προτυποποίηση των παραπάνω περιπτώσεων. Συγκεκριμένα, απεικονίζονται τρεις (3) εναλλακτικές οικονομίες, εκ των οποίων η κάθε μια αντιστοιχεί και σε διαφορετικό πρότυπο μεγέθυνσης, οριζόντιο, κάθετο και σύνθετο.



Διάγραμμα 2.3: Μεγέθυνση και χρήση εξεργειακού αποθέματος

Η σύγκριση γίνεται ως προς την γραμμή των 45°, η οποία εκφράζει μια σχέση οικονομικής μεγέθυνσης και συρρίκνωσης του εξεργειακού αποθέματος του φυσικού κεφαλαίου, 1:1. Η πρώτη περίπτωση παρουσιάζει μια οικολογικά αποτελεσματική οικονομία στο χρόνο, αφού επιτυγχάνει μια σταθερή μεγέθυνση με διαρκώς μειούμενη χρήση αποθέματος. Η δεύτερη περίπτωση παρουσιάζει

¹ δηλαδή αποπληθωρισμένου, δίχως την επίδραση της αύξησης των τιμών

μια οικολογικά σπάταλη οικονομία η οποία επιτυγχάνει ένα σταθερό ρυθμό μεγέθυνσης με διαρκώς αύξουσα χρήση αποθέματος. Η τρίτη περίπτωση, περιγράφεται από μια καμπύλη, η οποία κινείται με εναλλασσόμενο τρόπο γύρω από την γραμμή των 45°. Μια τέτοια περίπτωση παρουσιάζει μια διαρκώς μεγεθύνουσα οικονομία η οποία χαρακτηρίζεται από αποτελέσματα κλίμακας, δηλαδή ανά τακτά χρονικά διαστήματα η εξεργειακή ένταση αυξάνεται (πιθανότατα από κάποιο επενδυτικό κύμα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις), ακολουθούμενη από μια εκτίναξη της περιβαλλοντικής αποτελεσματικότητας. Αυτή η περίπτωση αντικατοπτρίζει καλύτερα και την έννοια της *εξεργειακής επένδυσης*, η οποία θα συζητηθεί στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο.

2.3.3 Ρυπαντική βιοχωρητικότητα

Η βιοχωρητικότητα υπό τη γενική έννοια, μπορεί να οριστεί ως *η ικανότητα του βιοφυσικού συστήματος να υποστηρίξει τη συντήρηση ενός συγκεκριμένου ποσού βιομάζας, με δεδομένο επίπεδο αναγκών του σε όρους ανάλωσης εξεργειακού αποθέματος*. Στη προκειμένη περίπτωση, αυτός ο ορισμός χρησιμεύει κατά την αναγωγή της συντήρησης της ανθρώπινης βιομάζας σε όρους απορρίψεων στο οικοσύστημα. Συγκεκριμένα, η βιοχωρητικότητα θα θεωρηθεί ως μια εξαρτημένη μεταβλητή, της οποίας το μέγεθος εξαρτάται από την κατανάλωση των πλεονασμάτων αποδόμησης της ρύπανσης. Κάθε υπερκατανάλωση αυτού του πλεονάσματος ισοδυναμεί με μειωμένη ικανότητα της Φύσης να αναπαράγει πόρους για τη συντήρηση δεδομένου ποσού βιομάζας.

Η ρυπαντική βιοχωρητικότητα (=φέρουσα ικανότητα) αποτελεί συνάρτηση του βιολογικού αποθέματος και ορίζει τα όρια ασφαλείας εκπομπής ρύπων. Η ρυπαντική βιοχωρητικότητα δεν είναι ίδια για κάθε ρύπο, συνεπώς η ικανότητα απορρόφησης ορισμένων από αυτούς είναι μικρότερη, δημιουργώντας κατ' αυτόν τον τρόπο μεγαλύτερη περιοριστικότητα στην οικονομία.

Πλέον, η βιοχωρητικότητα μπορεί να είναι μια πλήρως ανανεώσιμη ιδιότητα για κάποιους ρύπους (π.χ. CO₂) και πλήρως εξαντλήσιμη για κάποιους άλλους (π.χ. βαρέα μέταλλα). Μια εικόνα της δεύτερης περίπτωσης έχει δοθεί και στην ενότητα 1.1.1 (Βιοφυσικός προϋπολογισμός). Για τους συσσωρεύσιμους ρύπους, η δυνατότητα αξιοποίησης της βιοχωρητικότητας θα θεωρηθεί όμοια με εκείνη οποιουδήποτε εξαντλήσιμου αποθέματος, όπως διατυπώθηκε στην ενότητα 1.2.1.. Το ανώτατο όριο εκπομπής ισοδυναμεί με το αρχικό απόθεμα, το οποίο αν δεν είναι αντικειμενικά γνωστό, καθορίζεται για κάθε ρύπο με βάση την *Αρχή της Μέγιστης Ασφάλειας*¹.

Η εκπομπή των αποδομήσιμων ρύπων σε κάθε χρόνο, μπορεί να παρασταθεί ως συνάρτηση της κατανάλωσης κάποιου εξεργειακού αποθέματος (π.χ. ορυκτών καυσίμων). Συνεπώς:

$$c_t = \sum_{i=1}^k p_i (\alpha_i t - \beta_i t^2)$$

¹ Δηλαδή, ένα ποσό για το οποίο η κοινωνία είναι απολύτως σίγουρη πως δεν θα έχει καμία επίπτωση -έστω κι αν αυτό είναι πολύ πιο χαμηλό από τις πραγματικές δυνατότητες της Φύσης- έως ότου περαιτέρω Έρευνα & Ανάπτυξη να αποδείξει πως οι φυσικές δυνατότητες αποδόμησης του ρύπου καθορίζονται σε υψηλότερο επίπεδο. Περιβαλλοντομετρικά, τα *Επίπεδο Μέγιστης Ασφάλειας* ορίζεται για διάστημα εμπιστοσύνης 100%.

όπου p_i η ανά μονάδα παραγωγή κάθε είδους ρύπου που προκαλείται από τη χρήση του αποθέματος.

Αυτό θα καθορίζει την ικανότητα του κάθε βιολογικού αποθέματος να τους αποδομεί ως:

$$\sum_{i=1}^k \mu_i \sum_{i=1}^f \gamma_{it} - \sum_{i=1}^k p_i (\alpha_i t - \beta_i t^2)$$

όπου μ θεωρείται ο συντελεστής απορρόφησης κάθε ρύπου i και το γ είναι το σύνολο του αποθέματος από κάθε βιολογικό είδος i .

Σε διακλαδική μορφή, η παραπάνω μορφή των περιβαλλοντικών περιορισμών γράφεται:

$$\begin{aligned} p_{\max 1} - p_1 (a_1 t - \beta_1 t^2) &\geq 0 \\ p_{\max 2} - p_2 (a_2 t - \beta_2 t^2) &\geq 0 \\ \cdot & \\ \cdot & \\ p_{\max k} - p_k (a_k t - \beta_k t^2) &\geq 0 \end{aligned}$$

Τα οποία συναρτήσει του βιοφυσικού αποθέματος που τους αποδομεί γράφονται:

$$\begin{aligned} \mu_1 \gamma - p_1 (a_1 t - \beta_1 t^2) &\geq 0 \\ \mu_2 \gamma - p_2 (a_2 t - \beta_2 t^2) &\geq 0 \\ \cdot & \\ \cdot & \\ \mu_v \gamma - p_k (a_k t - \beta_k t^2) &\geq 0 \end{aligned}$$

όπου $\gamma = \sum_{i=1}^{\varphi} \gamma_i$ το δημιουργηθέν βιοφυσικό απόθεμα του πόρου στον οποίο οφείλεται η απορρόφηση

(=ρυπαντική αποδόμηση), με i τον αριθμό που ορίζουν την ποικιλία του¹.

Αντίστοιχα, σε σταθμισμένη ποσοστιαία μορφή, τα παραπάνω μεγέθη γράφονται:

$$\mu_i \gamma - p_i f = \mu_i^* \sigma_i \gamma - p_i f$$

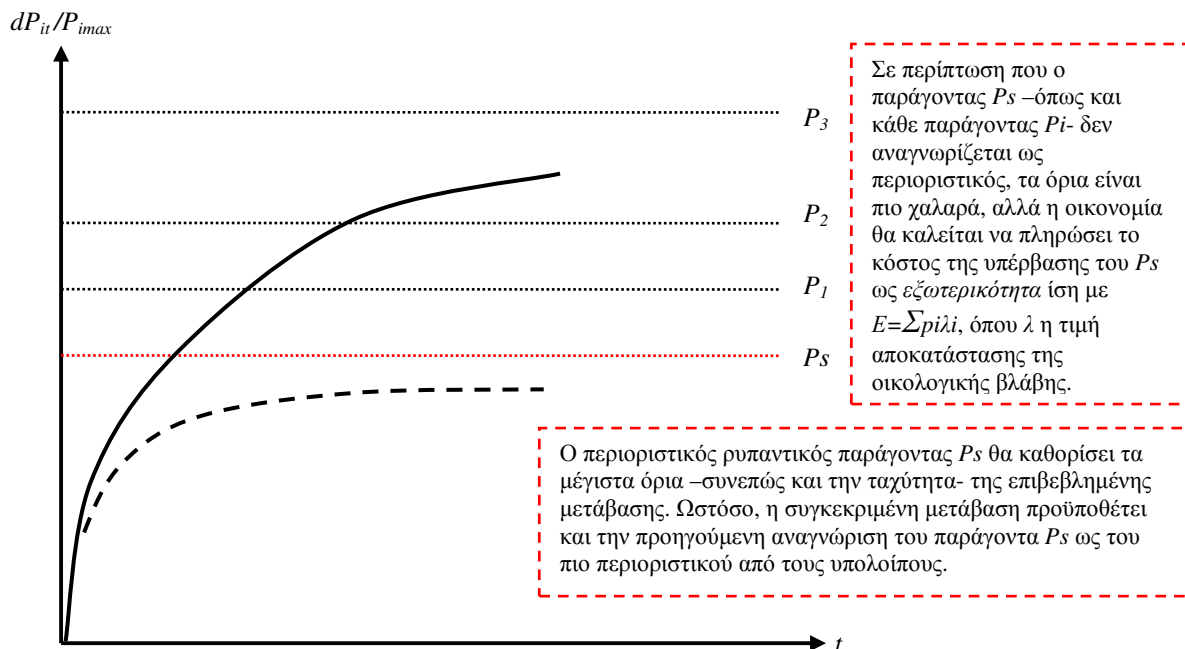
όπου το μ_i αποτελεί τον μέσο σταθμικό συντελεστή αποδόμησης ενός συγκεκριμένου ρύπου, ο οποίος εξαρτάται από τη φυσική ικανότητα αποδόμησης που διαθέτει κάθε είδος βιολογικού πόρου, επί το ποσοστό σ του πόρου στο συνολικό απόθεμα γ . Το p_i θεωρείται η συνολική εκπεμπόμενη ποσότητα του συγκεκριμένου ρύπου σε ποσοστιαία μορφή.

Βάσει του επιπέδου του περιορισμού, και κυρίως της συνάρτησης παραγωγής ρύπων, καθορίζεται και το χρονικό περιθώριο που διαθέτει η οικονομία για να υιοθετήσει εμπορικά μια πιο καθαρή τεχνολογία. Με λίγα λόγια, είναι ο πιο ισχυρός περιορισμός που θα καθορίσει το επίπεδο της απαιτούμενης Έρευνας & Ανάπτυξης προκειμένου να επιτευχθεί έγκαιρα η μετάβαση.

Η διαδικασία μπορεί να παρασταθεί στο επόμενο διάγραμμα. Εδώ παρουσιάζονται δυο εναλλακτικά μονοπάτια τεχνολογικής μετάβασης. Είναι προφανές, πως όσο πιο περιοριστικός είναι ο

¹ Κάθε μεταβλητή γ_i θεωρείται διαμορφωμένη κατά μια συγκεκριμένη ποσότητα για το εξεταζόμενο χρόνο. Κατά την ανάλυση της, υπόκειται σε διαδικασία αναγέννησης, της οποίας η δυναμική εκφράζεται από συνάρτηση η οποία θα διατυπωθεί αναλυτικά στο τέταρτο κεφάλαιο.

επιλεγμένος παράγοντας (P_s), τόσο πιο γρήγορα πρέπει να γίνει η τεχνολογική μετάβαση, προκειμένου η οικονομία να είναι συνεπής ως προς τα όρια ασφαλείας. Αυτό έχει άμεση σχέση με την ένταση της χρηματοδότησης βάσει των ορίων που θέτει η κοινωνία, τα οποία όσο πιο αυστηρά είναι, τόσο περισσότερα χρήματα πρέπει διατεθούν σε Έρευνα & Ανάπτυξη προκειμένου αυτά να τηρηθούν.



Διάγραμμα 2.4: Ο περιοριστικός παράγοντας ρύπανσης και ο επιβεβλημένος ρυθμός μετάβασης

Μαθηματικά, τα παραπάνω έχουν άμεση σχέση με την διαχείριση των παραμέτρων α, β που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 1.2.1, και συγκεκριμένα στην ενίσχυση των δευτέρων ως πολιτική επιτάχυνσης της τεχνολογικής μετάβασης. Η επιλογή των ανώτατων ορίων ρύπανσης, θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό και την δομή των δαπανών του διαθέσιμου πλούτου μιας κοινωνίας.

2.4 Συνδυασμένη επίδραση των περιοριστικών παραγόντων

Οι περιοριστικοί παράγοντες δεν ισχύουν σε μεμονωμένη βάση, αλλά συνδυασμένοι. Η οικονομία θα πρέπει να προσαρμόσει το ρυθμό της τεχνολογικής μετάβασης, βάσει του πιο περιοριστικού από τους δύο (απόθεμα, βιοχωρητικότητα-φέρουσα ικανότητα). Για το απόθεμα, τα όρια είναι πιο προβλέψιμα και ο διαθέσιμος χρόνος για τη μετάβαση περισσότερος. Ωστόσο, όσον αφορά στη βιοχωρητικότητα, τα ακριβή όρια ενδεχομένως να μεταβάλλονται σε μικρότερη χρονική κλίμακα -αναλόγως της χρήσης του βιολογικού αποθέματος- μεταβάλλοντας αντίστοιχα και την απαιτούμενη ταχύτητα της μετάβασης. Η σχέση μεταξύ των δύο παραγόντων σε συγκεκριμένο χρόνο θα δίνεται από το λόγο της φυσικής φέρουσας ικανότητας CC προς το απόθεμα A :

$$L_t = \frac{CC_t}{A_t}$$

Ο δείκτης εκφράζει πόσο πιο «περιοριστικός» είναι ο κάθε περιορισμός σε σχέση με τον άλλον. Αυτό εξυπηρετεί στην ακριβή γνώση του χρονικού περιθωρίου κατά το οποίο θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί η μετάβαση (για το απόθεμα), αλλά και του ύψους της απαιτούμενης μείωσης ρύπων ανά μονάδα εξεργειακής χρήσης (για τη φυσική φέρουσα ικανότητα).

Σημαντική θέση σ' αυτή την ανάλυση έχουν οι φυσικοί πόροι διπλής χρησιμότητας, δηλαδή εκείνοι οι φυσικοί πόροι οι οποίοι συνιστούν ταυτόχρονα τόσο πηγή αντλήσιμου εξεργειακού αποθέματος όσο και φέρουσα ικανότητα. Οι φυσικοί πόροι διπλής χρησιμότητας είναι κατά βάση βιολογικοί, και ως βιομάζα συνιστούν ένα σημαντικό μέρος της τροπόσφαιρας. Την πιο κλασική περίπτωση τέτοιων πόρων αποτελούν τα δάση.

Για απλοποίηση, θεωρείται ως πρότυπος, μοναδικός και πιο περιοριστικός ρύπος, η εκπομπή CO₂ απ' την χρήση ορυκτών καυσίμων. Επιπλέον, γίνεται η υπόθεση πως η εκπομπή του ρύπου αποτελεί συνάρτηση μονάχα της χρήσης των υδρογονανθράκων, όπως και η φέρουσα ικανότητα αποδόμησής του, συνάρτηση μονάχα του δασικού αποθέματος. Η βασική συνθήκη επίτευξης περιβαλλοντικής αποτελεσματικότητας γράφεται:

$$\gamma \int_0^T f(x) dx - \delta g(t)$$

με $g(t)$ τη συνάρτηση χρήσης του υδρογονάνθρακα, $\gamma > 0$ τον συντελεστή αποδόμησης x μονάδων ρύπων ανά μονάδα μάζας δασικού αποθέματος, και $\delta > 0$ το συντελεστή ρύπων ανά μονάδα μάζας ενός δεδομένου είδους ορυκτού καυσίμου¹.

Πλέον, γίνεται η υπόθεση ότι όλο το δασικό απόθεμα έχει διαμορφωθεί μέχρι το χρονικό σημείο t (προκειμένου να αποφευχθεί η εισαγωγή πολλών περιορισμών στην ανάλυση), ώστε για κάθε

$t \leq t_0 \leq T$ να ισχύει $\frac{\partial f}{\partial t} = 0$. Έτσι, η συνάρτηση $\int_t^T f(x) dx$, ισούται με ένα δεδομένο απόθεμα Φ , και

η σχέση διαμορφώνεται:

$$\gamma \Phi - \delta g(t) \geq 0$$

Σε περίπτωση αρνητικής διαφοράς, δημιουργείται μια σταδιακή περιβαλλοντική υποβάθμιση – με ή δίχως χρονική υστέρηση- που ενέχει κόστος, τόσο για τη μελλοντική φέρουσα ικανότητα της Φύσης, όσο και για την ανθρώπινη οικονομία (σε όρους ανθρώπινης υγείας, φυσικών καταστροφών κτλ.). Το πλεόνασμα των ρύπων συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα, και η διάσπασή του απαιτεί την - ίση με αυτό το πλεόνασμα- μείωση εκπομπής ρύπων σε επόμενο χρόνο -δεδομένου ότι σε κάθε έτος, το δασικό απόθεμα δύναται ν' ανανεώνει πλήρως την φέρουσα ικανότητά του.

Η *ισότητα*, σημαίνει οριακή επάρκεια αποδόμησης της συνολικής ποσότητας ρύπων. Πρόκειται δηλαδή για μια οριακή κατάσταση βιωσιμότητας του οικοσυστήματος. Αυτή η κατάσταση ενέχει αυξημένο κίνδυνο από ενδεχόμενη απρόβλεπτη μείωση του αποθέματος (π.χ. φυσικές καταστροφές).

¹ Για παράδειγμα, για τον άνθρακα, το πιο διαδεδομένο καύσιμο στη βιομηχανία, η καύση 1kg, υπολογίζεται ότι επιφέρει επιβάρυνση 3,67kg CO₂

Αντίθετα, σε οποιαδήποτε περίπτωση θετικής διαφοράς, το δασικό απόθεμα υπερεπαρκεί για την αποδόμηση των ρύπων, και υπονοείται πως –υπό συνθήκες- υπάρχει μια κατάσταση διατηρησιμότητας του οικοσυστήματος. Θέτοντας $\gamma\Phi - \delta g(t) = K$ (με $K > 0$), το οποίο είναι ποσό δυνατότητας αύξησης ρύπων, τότε $\frac{K}{\gamma}$ θα είναι το απόθεμα του δασικού πλούτου που μπορεί να αναλωθεί από το οικονομικό σύστημα, δίχως να ξεπεραστεί η φέρουσα ικανότητα της Φύσης.

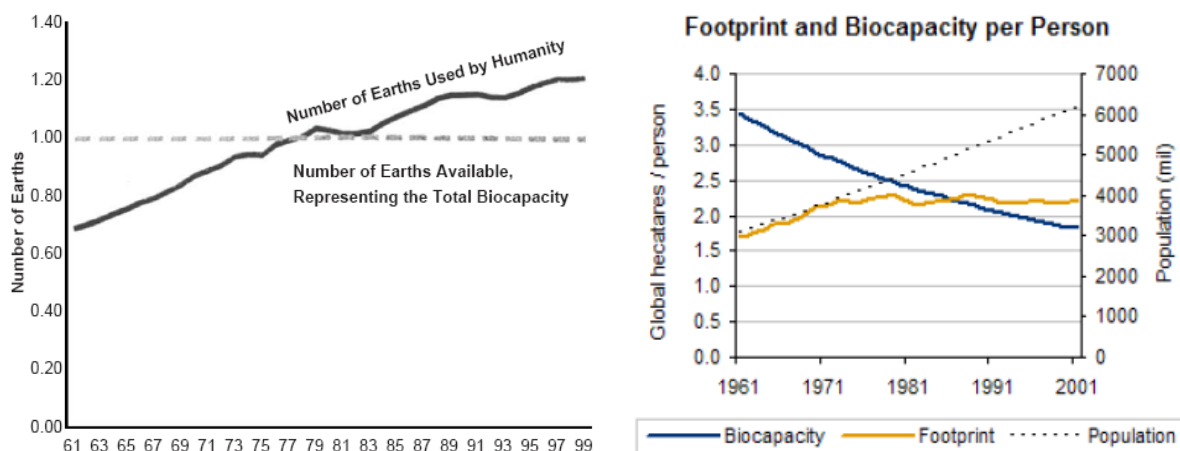
Ωστόσο, η πλήρης ανάλωση αυτού του αποθέματος, θα οδηγούσε και πάλι σε μια οριακή κατάσταση βιωσιμότητας, η οποία θα επέβαλλε αυστηρά την μηδενική κατανάλωση του αποθέματος σε επόμενο χρόνο -πλην μονάχα του παράγοντα ανανέωσής του- προκειμένου η κοινωνία να μην υπερβεί τα όρια μέγιστης ασφάλειας που έχουν τεθεί. Αυτό θα είχε και ως συνέπεια το κλείδωμα της ανώτατης δυνατότητας εκπομπής ρύπων της οικονομίας στον επόμενο χρόνο, σ' ένα μικρότερο επίπεδο. Γενικά, κάθε ανάλωση $\frac{Z}{\gamma} \leq \frac{K}{\gamma}$, θα μείωνε στον επόμενο χρόνο τη μέγιστη δυνατότητα εκπομπής ρύπων της οικονομίας, από $\delta g(t) + K$, σε:

$$\begin{aligned} \delta g(t) + \gamma\left(\frac{K-Z}{\gamma}\right) + \gamma\theta\left(\Phi - \frac{Z}{\gamma}\right) &\Rightarrow \\ \Rightarrow \delta g(t) + K - Z + \theta(\gamma\Phi - \theta Z) \end{aligned}$$

με $\theta = f\left(\Phi - \frac{Z}{\gamma}\right)$, την ικανότητα αναγέννησης του εναπομείναντος δασικού αποθέματος, με βάση την πληθυσμιακή δυναμική του.

2.4.1 Το «οικολογικό έλλειμμα» της διεθνούς οικονομίας

Ένα ανάλογο υπόδειγμα προτυποποίησε την αντί-οικολογική μεγέθυνση της διεθνούς οικονομίας. Με βάση αυτό το υπόδειγμα, εκτιμήθηκε η παραγωγή όλων των οικονομιών του πλανήτη σε σχέση με το οικολογικό αποτύπωμά τους για τα έτη 1960-1999.



Διάγραμμα 2.5: (α) Η αντί-οικολογική μεγέθυνση της ανθρώπινης οικονομίας (Pillarissetti, 2005), (β) το κατά κεφαλήν έλλειμμα βιοχωρητικότητας (Andersson, 2006)

Το όριο του ενός πλανήτη αφορά σε μια μέση σταθμισμένη εκτίμηση της συνολικής βιοχωρητικότητας της Γης για ένα σύνολο πολλών ετερογενών στοιχείων, όπως η ποιότητα ύδατος, η συνολική ικανότητα των πλανητικών οικοσυστημάτων να απορροφούν αέρια του θερμοκηπίου, κ.α.. Το υπόδειγμα παρουσιάζεται στο διάγραμμα 2.5(α) (WWF for Nature International (2002), Pillarisetti (2005)). Όπως φαίνεται από το σχήμα, ήδη από το 1961, η διεθνής οικονομία χρησιμοποιούσε το 70% της συνολικής βιοχωρητικότητας της Γης, γύρω στο 1976 χρησιμοποιούσε ακριβώς τη μέγιστη δυνατή βιοχωρητικότητα, ενώ μέχρι το τέλος του 1999, την είχε ξεπεράσει κατά 20%. Από μια άλλη οπτική, έχει εκτιμηθεί, ότι για έναν διεθνή πληθυσμό του επιπέδου του 1990, ο οποίος θα ζούσε με μια κατά κεφαλήν ενεργειακή χρήση του επιπέδου της πόλης του Los Angeles, θα απαιτούνταν περίπου πέντε πλανήτες στο μέγεθος της Γης.

Αντίστοιχα, στο διάγραμμα 2.5(β) (Andersson, 2006) παρουσιάζεται η εξέλιξη του διεθνούς οικολογικού αποτυπώματος, με εισαγωγή και της εξέλιξης του διεθνούς πληθυσμού μέχρι το 2001. Με βάση αυτό παρουσιάζεται η διαχρονική μείωση του κατά κεφαλήν ελλείμματος βιοχωρητικότητας ως μέση μείωση της χρήσιμης έκτασης γης (σε εκτάρια) ανά κάτοικο στον πλανήτη.

Τα παραπάνω, πρακτικά σημαίνουν ότι, εδώ και είκοσι έτη η ανθρωπότητα αντλεί τους πόρους της Γης σε επίπεδο άνω του ορίου ασφαλείας. Αυτό το στοιχείο έχει ιδιαίτερη σημασία για μια ενδεχόμενη διαρθρωτική αλλαγή διεθνούς κλίμακας υπό το βάρος των πλανητικών περιβαλλοντικών πιέσεων. Σ' αυτή την περίπτωση, μια έξαρση των ενεργειακών απαιτήσεων προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι ανάλογες επενδύσεις, ενδεχομένως να οδηγήσει σε ακόμα πιο επισφαλές σημείο τη σχέση οικονομικής μεγέθυνσης και βιοχωρητικότητας.

2.5 Η Έρευνα & Ανάπτυξη στα νεοκλασικά υποδείγματα παραγωγής

Τα νεοκλασικά υποδείγματα έχουν επιλεγεί καθώς αποτελούν τον πυρήνα της οικονομικής σκέψης που υιοθετεί την λιγότερο αυστηρή αντίληψη για τους βιοφυσικούς περιορισμούς. Η αντίληψη αυτή συμπυκνώνεται στην έννοια της *πλήρους υποκαταστησιμότητας* που υιοθετείται για την αποτίμηση της αξίας του βιοφυσικού κεφαλαίου και του μηχανικού, τουλάχιστον στα πλαίσια των πιο τυπικών νεοκλασικών υποδειγμάτων. Ωστόσο, η αντίληψη αυτή καταρρίπτεται πολύ εύκολα, καθώς παραβιάζει τον *Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής*.

Ως αναγνώριση αυτού του μειονεκτήματος, δημιουργήθηκαν παραλλαγές του βασικού νεοκλασικού υποδείγματος, που υιοθετούν αυστηρότερες υποθέσεις για την εξάντληση του βιοφυσικού αποθέματος, αλλά προπάντων εισάγουν την επίδραση της Έρευνας & Ανάπτυξης. Το πιο καθιερωμένο υπόδειγμα αυτού του τύπου είναι το *σουμπετεριανό*¹.

¹ Το *σουμπετεριανό* υπόδειγμα της *ενδογενούς μεγέθυνσης* συνίσταται στις οικονομικές απόψεις του Γερμανού κοινωνιολόγου-οικονομολόγου Joseph Schumpeter, ο οποίος εισήγαγε την έννοια της *δημιουργικής καταστροφής* λόγω τεχνολογικής καινοτομίας. Για πρώτη φορά μαθηματοποιήθηκε από τους Segerstrom, Anant, Dinopoulos (1990), και στηρίζεται σε μια διατηρήσιμη μεγέθυνση, προερχόμενη από μια διαδοχή βελτιώσεων των προϊόντων ενός δεδομένου αριθμού κλάδων, δίχως αβεβαιότητα κατά την διαδικασία καινοτομίας [βλ. (1998), "*Endogenous Growth Theory*", κεφ.7, (σ.53)].

Στη συνέχεια, ακολουθεί μια βασική σύγκριση μεταξύ των δύο επικρατέστερων νεοκλασικών υποδειγμάτων, ενώ στο τέλος αυτής της ενότητας συντίθεται ένα ακόμη πιο πολύπλοκο δυναμικό νεοκλασικό υπόδειγμα, το οποίο αναλύει τις απαραίτητες ισορροπίες στόχου, μεταξύ των ρυθμών της παραγωγικότητας και της αύξησης των ορίων του βιοφυσικού αποθέματος.

2.5.1 Το βασικό νεοκλασικό υπόδειγμα

Όπως δείχνουν οι Anghion & Howitt ("*Endogenous Growth Theory*", κεφ. 5, σ. 160)¹, στο νεοκλασικό υπόδειγμα η διαχρονική αύξηση της κατανάλωσης με ταυτόχρονη διατήρηση της ποιότητας του φυσικού περιβάλλοντος, δεν είναι δυνατή στη μακροχρόνια περίοδο. Αυτό οφείλεται σε δομικά χαρακτηριστικά της κατασκευής της νεοκλασικής συνάρτησης παραγωγής (συμπεριλαμβανομένης της ρύπανσης), η οποία λαμβάνει συνήθως τη μορφή Cobb-Douglas [υπό τυποποίηση της εργασίας L με τιμή ίση με τη μονάδα ($=1$), και διατήρηση σταθερών αποδόσεων κλίμακας (άθροισμα των εκθετών $= 1$). Η z αποτελεί μια μεταβλητή έντασης της ρύπανσης]:

$$Y = (AKz)Z^{\gamma} \Rightarrow Y = AKz^{\gamma+1}$$

Το δομικό πρόβλημα της νεοκλασικής συνάρτησης, συνίσταται στο ότι δεν διαχωρίζει τη συσσώρευση κεφαλαίου από τις άλλες μορφές *ποιοτικού κεφαλαίου* (intellectual capital), όπως η *Γνώση* και η *Ερευνα & Ανάπτυξη*, οι οποίες κατά την παραγωγή τους, είναι αναμφισβήτητα λιγότερο - έως καθόλου- ρυπογόνες απ' ότι το μηχανικό κεφάλαιο. Αντίστοιχα, η τεχνολογική παράμετρος A είναι εξωγενής και ως δείκτης προσδιορίζει περισσότερο την κλίμακα της παραγωγής προϊόντος στην οποία λειτουργεί η οικονομία, παρά την εξοικονόμηση πόρων κατά την παραγωγική διαδικασία.

Κατά συνέπεια, η απόδοση της ίδιας στάθμησης ρύπανσης σε κάθε μορφή κεφαλαίου K , σημαίνει πως στην ουσία *οποιαδήποτε* καταναλωτική δραστηριότητα αποφέρει πάντα μια μείωση στην περιβαλλοντική ποιότητα. Ο μόνος τρόπος να διατηρηθεί η δεύτερη είναι η διαχρονική μείωση της πρώτης.

2.5.2 Το συμπετεριανό νεοκλασικό υπόδειγμα

Το συμπετεριανό υπόδειγμα, ξεκινά από την υπόθεση της *δημιουργικής καταστροφής*, μέσω τεχνολογικής μεταβολής. Η βασική του ιδιότητα είναι ότι προβαίνει στο διαχωρισμό μεταξύ ρυπογόνου μηχανικού κεφαλαίου και γνώσης. Η συνάρτηση παραγωγής είναι:

$$Y = A(BL)^{1-a} K^a z^{\gamma+1}$$

Όπου εδώ δεν μπορεί να γίνει απαλοιφή της μεταβλητής της εργασίας καθώς αποτελεί μέρος του *γνωσιακού κεφαλαίου*, το οποίο δεν μπορεί να παραχθεί μονάχα απ' το μηχανικό. Αν $L = x + n$, με x να συμβολίζει τους εργάτες που απασχολούνται στη ρυπογόνο παραγωγή, και n εκείνους που

¹ Για την πλήρη μαθηματική ανάλυση των απαραίτητων συνθηκών της διαχρονικής βελτιστοποίησης, τόσο με βάση το ορθόδοξο νεοκλασικό όσο και το συμπετεριανό υπόδειγμα, ο αναγνώστης ας ανατρέξει στο "*Endogenous Growth Theory*", κεφ. 5, "*Endogenous Growth & Sustainable Development*" (σ. 151-171). Εδώ θα υπάρξει περιορισμός *μονάχα* στα βασικά συμπεράσματα της συζήτησής τους.

απασχολούνται στη μη ρυπογόνο Έρευνα & Ανάπτυξη, τότε η ποιοτική παράμετρος $B = \sigma\eta\eta$, όπου η είναι ο ρυθμός άφιξης καινοτομιών με βάση την κατανομή Poisson¹ ανά εργάτη, και σ το μέγεθός της στην οικονομία. Στην πράξη, η παράμετρος σ , είναι εκείνη που ωθεί την οικονομία να ξεπεράσει - μέσω τεχνολογικής μεταβολής- το υπάρχον παραγωγικό της όριο.

Η παραγωγικότητα του κεφαλαίου ισούται με:

$$\frac{Y}{K} = K^{a-1} (BL)^{1-a} z^{\gamma+1}$$

Εφόσον,

$$\begin{aligned} a-1 < 0 &\Rightarrow 1-a > 0 \Rightarrow K^{a-1} < K \Rightarrow \\ &\Rightarrow z^{\gamma+1} K^{a-1} < z^{\gamma+1} K \end{aligned}$$

Αυτό σημαίνει ότι ενώ η $(BL)^{1-a}$ αυξάνεται με φθίνοντα ρυθμό, η Z/K^{1-a} μειώνεται με φθίνοντα ρυθμό όσο το μηχανικό κεφάλαιο αυξάνεται. Συνεπώς, το ποσοστό της ρύπανσης στην σουμπετεριανή οικονομία είναι φθίνον. Η διατηρησιμότητα επιτυγχάνεται με την αύξηση του γνωσιακού κεφαλαίου, με γρηγορότερο ρυθμό από του μηχανικού, και αρκετά γρήγορα ώστε να αντισταθμίσει την πτώση της παραμέτρου Z , προκειμένου να τη διατηρήσει σε σταθερό επίπεδο στο διηνεκές.

Πλέον στα σουμπετεριανά υποδείγματα, τίθεται και μια βασική συνθήκη-προϋπόθεση για τη δυνατότητα συνεχούς μεγέθυνσης:

$$\eta\sigma - \rho > 0$$

η οποία εξασφαλίζει ότι ο ρυθμός απαξίωσης των αγαθών στην οικονομία, δεν θα ξεπερνά τον ρυθμό των τεχνολογικών βελτιώσεων, ώστε η οικονομία να μην οδηγηθεί ποτέ σε μια κατάσταση ανυπαρξίας οποιασδήποτε καινοτομίας.

2.5.3 Διακλαδικό Δυναμικό Υπόδειγμα Γενικής Ισορροπίας (Computable Dynamical General Equilibrium Model – CDGEM)

Το σουμπετεριανό υπόδειγμα μεγέθυνσης αποτελεί το πιο ακριβές νεοκλασικό υπόδειγμα. Ωστόσο, ο βασικός περιορισμός του είναι η υπόθεσή του για την μη ρυπογόνο διαδικασία της Έρευνας & Ανάπτυξης. Υπό ορισμένες συνθήκες η E&A μπορεί να αποτελεί μια εξαιρετικά ρυπογόνο δραστηριότητα, εφόσον είναι συνδεδεμένη με βιομηχανικές δομές. Εδώ θα γίνει μια γενίκευση του νεοκλασικού υποδείματος παραγωγής, η οποία συμπεριλαμβάνει αυτή την πιθανότητα.

Η αποτύπωση των πολλαπλασιαστικών ωφελειών του βαθμού της περιβαλλοντικής ουδετερότητας της τεχνολογίας, μπορεί να αποτυπωθεί εμφανώς σε μια βασική παραλλαγή της συνάρτησης παραγωγής τύπου Cobb-Douglas. Αυτή η παραλλαγή επιτρέπει την εμφάνιση των αποτελεσμάτων των διαρκών τεχνολογικών βελτιώσεων στον κάθε συντελεστή παραγωγής. Η γενικευμένη μορφή του υποδείματος, γράφεται ως:

¹ Στο “*Endogenous Growth Theory*”, δεν διατηρείται η υπόθεση του κλασικού σουμπετεριανού υποδείματος, για απόλυτη βεβαιότητα στην καινοτομική διαδικασία, η οποία θεωρείται στατιστικό μέγεθος (κατανομή Poisson). Κατά συνέπεια η τιμή της μέσης άφιξης ευρεσιτεχνιών λ είναι μεταβαλλόμενη στο χρόνο.

$$Q_{it} = \prod_{i=1}^n A_{K_{it}}^{d_{it}} K_{it}^{a_{it}} \prod_{i=1}^m A_{L_{it}}^{e_{it}} L_{it}^{b_{it}} \prod_{i=1}^s A_{E_{it}}^{f_{it}} E_{it}^{c_{it}}$$

Σ' αυτό το υπόδειγμα, η τεχνολογική παράμετρος A εισάγεται σε κάθε συντελεστή παραγωγής K, L, E οι οποίοι συμβολίζουν το μηχανικό κεφάλαιο, την ανθρώπινη εργασία και το φυσικό περιβάλλον αντίστοιχα. Οι εκθέτες d, a, e, b, f, c , αποτελούν τους συντελεστές απόδοσης του κάθε παραγωγικού συντελεστή. Το εν λόγω υπόδειγμα, προτυποποιεί την παραγωγή κατά τέτοιο τρόπο ώστε τόσο η τεχνολογική παράμετρος, όσο και οι συντελεστές έχουν τη δική τους απόδοση σε κάθε χρονική περίοδο¹.

Εδώ η απόδοση του κεφαλαίου και της εργασίας ως ανά μονάδα αύξηση της παραγωγικότητας [=Q(T⁻¹)] διαχωρίζεται πλήρως από την περιβαλλοντική επίδοσή τους, η οποία θεωρείται ως η ανά μονάδα εισροή φυσικού πόρου ανά μονάδα παραγωγής προς ένα συνολικό απόθεμα [=Q(E⁻¹)/E_T], η οποία συμπεριλαμβάνεται στον τελευταίο όρο.

Η απόδοση του φυσικού περιβάλλοντος μπορεί να θεωρηθεί ως θετική συνάρτηση της συνολικής βιοχωρητικότητάς του, η οποία προκαλείται από ένα σύνολο περιβαλλοντικών τεχνολογικών βελτιώσεων. Η τεχνολογική βελτίωση ισοδυναμεί με μικρότερο ποσό εισροής φυσικού πόρου ανά μονάδα συνολικής παραγωγής προς το συνολικό απόθεμα, άρα και με τη συνολική αύξηση της βιοχωρητικότητας του οικοσυστήματος. Κατά συνέπεια η μεγέθυνση μπορεί να επιτευχθεί υπό την προϋπόθεση:

$$\prod_{i=1}^n A_{K_{it}}^{d_{it}} K_{it}^{a_{it}} \prod_{i=1}^m A_{L_{it}}^{e_{it}} L_{it}^{b_{it}} \leq \prod_{i=1}^s A_{E_{it}}^{f_{it}} E_{it}^{c_{it}}$$

ή εναλλακτικά,

$$\frac{\prod_{i=1}^n A_{K_{it}}^{d_{it}} K_{it}^{a_{it}} \prod_{i=1}^m A_{L_{it}}^{e_{it}} L_{it}^{b_{it}}}{\prod_{i=1}^s A_{E_{it}}^{f_{it}} E_{it}^{c_{it}}} \leq 1$$

δηλαδή, η αύξηση του παραγωγικού δυναμικού των συντελεστών του κεφαλαίου και της εργασίας που χρησιμοποιούν μαζί (εξεργειακό περιεχόμενο), δεν θα είναι μεγαλύτερη από την μεγέθυνση του βιοφυσικού συστήματος (παραγωγός εξεργειακού περιεχομένου) που την υποστηρίζει.

Επιπλέον, ισχύει πάντα και η επίδραση του περιοριστικού παράγοντα, η οποία μάλιστα στο συγκεκριμένο (πολλαπλασιαστικό) υπόδειγμα έχει ιδιαίτερα σημαντική επίδραση. Στην περίπτωση ενός περιβαλλοντικού περιοριστικού παράγοντα i θα ισχύει:

$$A_{E_{it}}^{f_{it}} E_{it}^{c_{it}} > E_{i \min}$$

Δηλαδή προκειμένου η συνολική παραγωγικότητα του φυσικού περιβάλλοντος –και κατ' επέκταση της οικονομίας- να διατηρείται, είναι αναγκαίο η ποσότητα κανενός είδους αποθέματος να

¹ Ειδικά η τεχνολογική παράμετρος μπορεί να έχει τη δική της απόδοση, με την έννοια ότι η έρευνα δημιουργεί νέα επιστημονικά πεδία, τα οποία διοχετεύονται ως εξωτερικότητες στην συνολική παραγωγή.

μην μειωθεί κάτω από ένα ελάχιστο επίπεδο E_{imin} . Για κάθε είδος πόρου E αυτό το επίπεδο είναι διαφορετικό. Σ' αυτή την προτυποποίηση πάντως, εξαιρετική σημασία έχει ο σταθμιστής A . Αυτό σημαίνει πως το ελάχιστο επίπεδο -αν και είναι μια συγκεκριμένη ποσότητα (βιομάζας ή εξέργειας)- δεν περιορίζει την οικονομία απόλυτα στο ίδιο ακριβώς επίπεδο διατήρησης, αλλά ενδεχομένως ακόμη και σ' ένα χαμηλότερο επίπεδο, του οποίου όμως η τεχνολογική στάθμιση A αρκεί να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να καλύψει αυτό το έλλειμμα.

Τέλος, η συνολική ποσότητα πληροφορίας που μπορεί να αντληθεί από το συγκεκριμένο πρότυπο παραγωγικής διαδικασίας θα ισούται με:

$$I_Q = \prod_{i=1}^n A_{K_{it}}^{d_{it}} K_{it}^{a_{it}} \prod_{i=1}^m A_{L_{it}}^{e_{it}} L_{it}^{b_{it}} \prod_{i=1}^s A_{E_{it}}^{f_{it}} E_{it}^{c_{it}} \left[- \sum_{i=1}^{n \times m \times s} \frac{1}{n \times m \times s} \log_2 \left(\frac{1}{p} \right) \right]$$

Τα διακλαδικά υποδείγματα αυτού του είδους είναι ιδανικά για τη μέτρηση της συνολικής ποσότητας της πληροφορίας που μπορεί να αντληθεί από την παραγωγική διαδικασία για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Αυτό γίνεται διότι διαχωρίζουν την παραγωγή σε πλήθος κλάδων, βάσει των οποίων μπορούν να ακολουθηθούν εναλλακτικά μονοπάτια παραγωγής και χρήσης πόρων. Αν δηλαδή, όλοι οι κλάδοι παραγωγής ορίζονται ως n, m, s για τους συντελεστές K, L, E αντίστοιχα, τότε ο συνολικός αριθμός συνδυασμός παραγωγής ισούται με $n \times m \times s$. Αυτό το σύνολο εναλλακτικών ενδεχομένων παραγωγής, πολλαπλασιασμένο με την ποσότητα πληροφορίας ανά ενδεχόμενο προσδιορίζει και το ύψος της συνολικής ποσότητας πληροφορίας που μπορεί να αντληθεί από την παραγωγική διαδικασία.

Είναι προφανές από την παραπάνω προτυποποίηση, ότι οι οικονομίες με μεγάλη ποικιλία εναλλακτικών τεχνικών μεθόδων παραγωγής και επάρκεια εξεργειακού αποθέματος (οριζόμενο κυρίως από την μεταβλητή E), έχουν δυνατότητα μεγαλύτερης άντλησης ποσότητας πληροφορίας.

Σε κάθε περίπτωση, η μακρο-δομή της εξέλιξης των ενεργειακών χρήσεων, των απορρίψεων ρύπων και γενικά της υποβάθμισης της οίκο-εξεργειακής ποιότητας της κοινωνίας προσδιορίζεται από ενδογενείς παραμέτρους που συνθέτουν ένα συνολικό αποτέλεσμα. Στην πράξη, αυτό ερμηνεύεται βάσει του πρότυπου οργάνωσης της απόκτησης της πληροφορίας ανά ενεργειακή ροή (τεχνολογία) και του μηχανισμού διάχυσής της. Το επόμενο κεφάλαιο θα ασχοληθεί με τις δομές και τις αναλογίες των χρηματοοικονομικών ροών που προκύπτουν από τη χρήση εξεργειακού αποθέματος οι οποίες αφιερώνονται για τη δημιουργία τεχνολογίας.

Κεφάλαιο 3

Η μικρο-δομή της οικολογικής χρηματοδοτικής της τεχνολογίας

Δεν είναι δυνατόν να ανακαλύψεις νέες χώρες δίχως πρώτα να δεχθείς ότι θα χάσεις τη στεριά από τα μάτια σου για ένα πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα...

Andre Gide

Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναπτυχθεί το μικρο-επίπεδο της χρηματοδότησης του μηχανισμού περιβαλλοντικής Έρευνας & Ανάπτυξης και άφιξης των τεχνολογικών καινοτομιών, προκειμένου να τηρούνται οι προδιαγραφές που συζητήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Η Έρευνα & Ανάπτυξη δύναται να προτυποποιηθεί ως μια πληροφορική διαδικασία, της οποίας τα αποτελέσματα κωδικοποιούνται βάσει δύο δυνατών ενδεχομένων, *αποτυχία* ή *επιτυχία*. Συνήθως, η πιθανότητα επιτυχίας η αποτυχίας της διαδικασίας ενσωματώνεται στους οικονομικούς λογαριασμούς. Εδώ όμως η ενσωμάτωση εξετάζεται από μια εναλλακτική σκοπιά. Συγκεκριμένα, δεν εξετάζεται η επιρροή της αβεβαιότητας στην τελική αποτίμηση της αξίας της καινοτομίας, αλλά η επιρροή της χρηματοδότησης για την μείωσή της.

Καθοριστική σημασία για το συνολικό αποτέλεσμα που μπορεί να προσφέρει η τεχνολογική εξέλιξη στην απορρόφηση της πίεσης προς το οικοσύστημα έχουν τρία μέτρα: *α)* το χρονικό ενδιάμεσο που μεσολαβεί μεταξύ δύο ανταγωνιστικών καινοτομιών περιβαλλοντικής τεχνολογίας *β)* το ειδικό βάρος της τεχνολογίας και *γ)* ο απαιτούμενος χρόνος αλλαγής του τεχνολογικού παραδείγματος. Σε σχέση με αυτά τα τρία μέτρα, εξετάζεται ο τρόπος διαχείρισης και ελέγχου της διαδικασίας με χρηματοοικονομικά μέσα.

3.1 Η Έρευνα & Ανάπτυξη ως πληροφορική διαδικασία

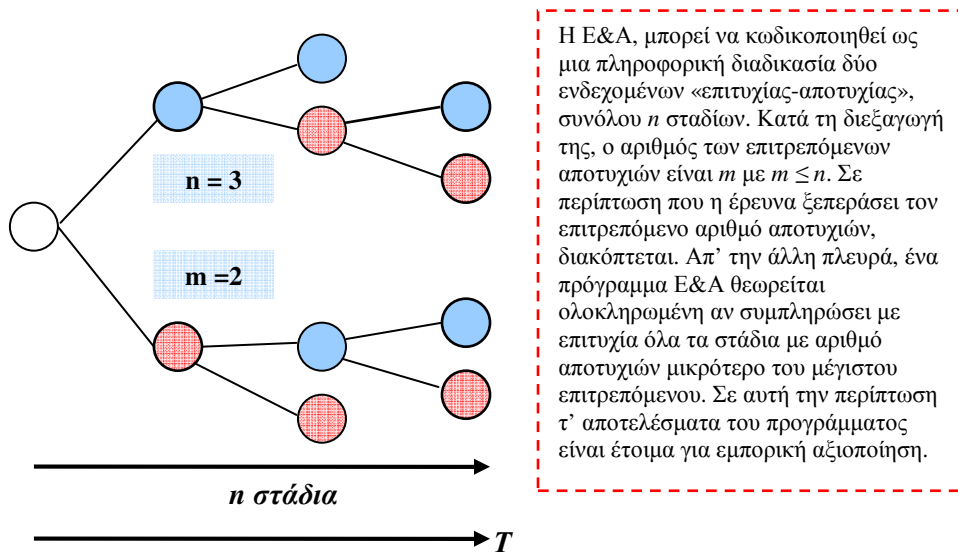
Όπως έχει διατυπωθεί από την εισαγωγική ενότητα αυτού του εκπονήματος, η πληροφορία συνδέεται με την αβεβαιότητα. Όσο μικρότερη είναι η πιθανότητα P να πραγματοποιηθεί ένα γεγονός, τόσο περισσότερη ποσότητα πληροφορίας I συνοδεύει την πραγματοποίησή του. Αντίστροφα, αν η πιθανότητα πραγματοποίησης ενός γεγονότος είναι μεγάλη, τότε η πληροφορία που μεταφέρει το γεγονός αυτό είναι μικρή.

Η Έρευνα & Ανάπτυξη αποτελεί την κατεξοχήν διαδικασία αύξησης του αποθέματος πληροφορίας. Η απόκτηση πληροφορίας συνεπάγεται την χρήση της για την αύξηση της πιθανότητας επιτυχίας ενός (επιθυμητού) ενδεχομένου. Η περίπτωση που αφορά άμεσα, είναι η δυνατότητα μεταφοράς της διαθέσιμης ενέργειας με ελαχιστοποίηση των απωλειών.

Σε άμεση σχέση με τον ορισμό που αποδόθηκε στην Πληροφορία στην εισαγωγή του εκπονήματος, η ποσότητα της Πληροφορίας, εξαρτάται από δυο παραμέτρους: *α)* την πιθανότητα του επιθυμητού ενδεχομένου σε σχέση με τα υπόλοιπα και *β)* τον αριθμό των ενδιάμεσων σταδίων που

μεσολαβούν από την αρχή του ενδεχομένου μέχρι το τέλος του. Η Έρευνα & Ανάπτυξη αποτελεί μια στατιστική διαδικασία, η οποία ενσωματώνει και τις δυο παραμέτρους.

Αφενός, κατά την λήψη της απόφασης χρηματοδότησης έρευνας ενός επιστημονικού πεδίου, έχει οριστεί το επιθυμητό αποτέλεσμα σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο. Αφετέρου, το χρονικό διάστημα από την έναρξη της έρευνας μέχρι την άφιξη στο επιθυμητό αποτέλεσμα μπορεί να χωριστεί σε μεμονωμένα στάδια, τα οποία χαρακτηρίζονται από *επιτυχία* ή *αποτυχία*. Ο αριθμός των επιτρεπόμενων αποτυχιών θα καθορίσει και το χρονικό διάστημα διατήρησης της έρευνας. Στο παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνεται αυτή η διαδικασία με την υπόθεση δύο επιτυχιών για την ομαλή λήξη της έρευνας ή δυο επιτρεπόμενων αποτυχιών για την διακοπή της.



Διάγραμμα 3.1: Η Έρευνα & Ανάπτυξη ως πληροφορική διαδικασία επιτυχίας-αποτυχίας

Συγκεκριμένα, για απλοποίηση έχει αφαιρεθεί η επίδραση της πιθανότητας του επιθυμητού ενδεχομένου σε σχέση με τα υπόλοιπα (καθώς αυτό έχει προσδιοριστεί εξ αρχής) και δίνεται έμφαση στην ποσότητα πληροφορίας που το επιθυμητό ενδεχόμενο εγκλείει. Αυτή η ποσότητα καθορίζεται από τα ενδιάμεσα στάδια στα οποία αυτό χωρίζεται.

Η γενική μορφή της μέγιστης δυνατής ποσότητας πληροφορίας γράφεται ως συνάρτηση των απαιτούμενων επιτυχιών και του αριθμού των μέγιστων επιτρεπόμενων αποτυχιών:

$$I_{\max} = 2n - (n - m) \Rightarrow I_{\max} = n + m$$

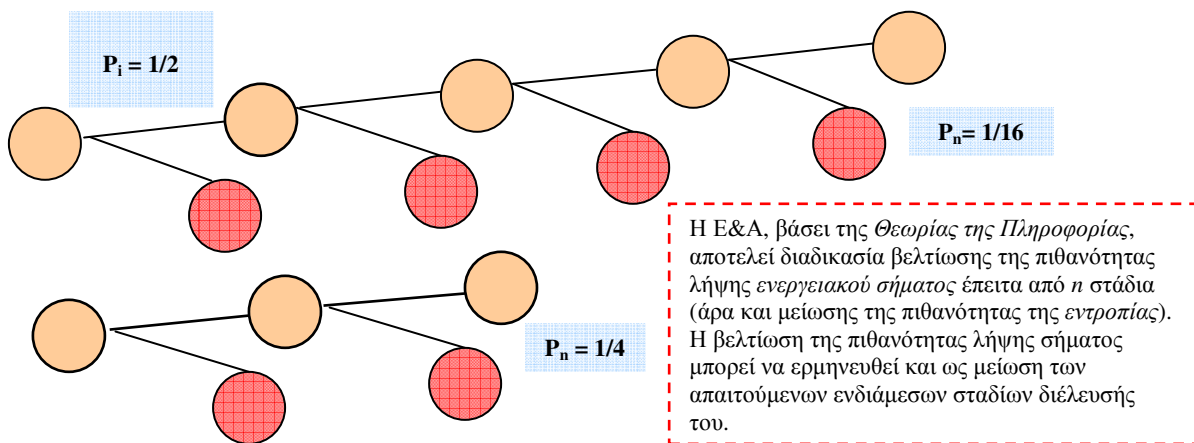
Κατά την ειδική περίπτωση, όπου ο αριθμός των απαιτούμενων επιτυχιών ισούται με αυτόν των επιτρεπόμενων αποτυχιών, η μέγιστη δυνατή ποσότητα πληροφορίας ισούται με:

$$I_{\max} = 2n - 1$$

Η παραπάνω ειδική περίπτωση έχει και πραγματικό νόημα. Συνήθως αφορά επενδύσεις Έρευνας & Ανάπτυξης οι οποίες θεωρούνται πως έχουν μια τεράστια κοινωνικοοικονομική σημασία, γι' αυτό και η χρηματοδότηση αφήνεται ανοικτή. Ακόμα και σε περίπτωση πλήρους αποτυχίας τους, τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου προγράμματος θα προσφέρουν μεγάλη χρησιμότητα είτε σε άλλα

ερευνητικά προγράμματα –ως εισροή πληροφορίας- είτε ως οικονομική εξωτερικότητα. Ως τέτοια περίπτωση θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η τεράστια χρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης (=10⁹ euros) για το πρόγραμμα της θερμοπυρηνικής σύντηξης¹.

Με βάση τις παραδοχές της εισαγωγικής ενότητας, η μεταφορά -η όχι- ενέργειας μέσω κάποιου ενδιάμεσου φορέα μπορεί να προτυποποιηθεί ως μια πληροφορική διαδικασία, δυο δυνατών καταστάσεων, ως *λήψη σήματος* και ως *σφάλμα*. Η λήψη σήματος θεωρείται η επιθυμητή κατάσταση ενώ το σφάλμα η ανεπιθύμητη, καθώς θα ισούται με την απώλεια. Η Έρευνα & Ανάπτυξη συνδέεται άμεσα και με τις δύο πιθανότητες. Στην ουσία, σε βιοφυσικούς όρους, η ολοκλήρωση ενός προγράμματος περιβαλλοντικής Έρευνας & Ανάπτυξης, ισοδυναμεί με βελτίωση της πιθανότητας λήψης ενεργειακού σήματος και μείωσης της πιθανότητας σφάλματος. Στο επόμενο διάγραμμα παριστάνεται σχηματικά η τεχνολογική βελτίωση, ως βελτίωση πιθανότητας λήψης σήματος.



Διάγραμμα 3.2: Η απόκτηση πληροφορίας ως αύξηση της πιθανότητας ενεργειακού σήματος

Στο διάγραμμα 3.2, παρουσιάζεται κατά το πληροφορικό πρότυπο η πιθανότητα άφιξης ενός ενεργειακού σήματος -που ξεκινά από μια αρχική πηγή- σε ένα τελικό επιθυμητό στάδιο. Το σήμα περνά από n διαδοχικά στάδια, εκ των οποίων το καθένα χωρίζεται σε δυο διαφορετικά ενδεχόμενα. Κάθε ενδεχόμενο θεωρείται ισοπίθανο με το άλλο ($p=1/2$). Η πιθανότητα πλήρους επιτυχίας διέλευσης του σήματος θεωρείται εκείνη του επιθυμητού ενδεχομένου του τελευταίου σταδίου. Αυτή η πιθανότητα ισούται με την πιθανότητα διέλευσης απ' όλα τα επιθυμητά στάδια μέχρι του τελευταίου. Στην περίπτωση του ενεργειακού σήματος, ενδιαφέρει η διέλευση απ' όλα τα ενδιάμεσα στάδια, αλλά από την επιθυμητή διαδρομή. Στο συγκεκριμένο σχήμα τα άνω ενδεχόμενα θεωρούνται τα επιθυμητά (επιτυχία διέλευσης) και τα κάτω ανεπιθύμητα (αποτυχία διέλευσης). Σε κάθε αποτυχία διέλευσης, δεν υπάρχει επανάληψη.

Το πρώτο διάγραμμα παρουσιάζει ένα σύστημα απ' το οποίο το σήμα πρέπει να περάσει από τέσσερα διαδοχικά στάδια έχοντας μια συνολική πιθανότητα πλήρους διέλευσης $p=1/2^4$ (=1/16), ενώ το δεύτερο ένα σύστημα με πιθανότητα πλήρους διέλευσης $p=1/2^2$ (=1/4). Το δεύτερο σύστημα εκφράζει

¹ Μια πιο εκτενής αναφορά γι' αυτό το ζήτημα θα γίνει στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας.

στην ουσία ένα σύστημα βελτιωμένης ενεργειακής απόδοσης, εφόσον κατά μέσο όρο απαιτούνται λιγότερα ενεργειακά σήματα προκειμένου να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή η σίγουρη λήψη ενός. Στην πρώτη περίπτωση, απαιτούνται κατά μέσο όρο δεκαέξι ενεργειακά σήματα, ενώ στη δεύτερη περίπτωση μονάχα τέσσερα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η τεχνολογική βελτίωση ισοδυναμεί με τετραπλασιασμό της απόδοσης του συστήματος.

Η παραπάνω τεχνολογική βελτίωση, μπορεί να κατανοηθεί και με εξεργειακούς όρους. Αν απαιτείται ένας συγκεκριμένος αριθμός ενεργειακών σημάτων ανά επιτυχία, τότε υπό οίκο-εξεργειακή άποψη- ενδιαφέρει η απαιτούμενη υποβάθμιση εξεργειακού αποθέματος για την παραγωγή τους. Για παράδειγμα, βάσει του πρώτου συστήματος, μια ποσότητα υδρογονάνθρακα κατά τη μετατροπή της έχει μια συγκεκριμένη απόδοση α . Από αυτό το χρήσιμο ποσό ενέργειας που ξεκινά τη διέλευση, θα φθάσει ποσότητα ίση με $\alpha/16$. Για κάθε ενεργειακή μονάδα που λαμβάνεται θυσιάζεται ένα συγκεκριμένο εξεργειακό ποσό σε όρους ταξινόμησης του φυσικού πόρου απ' τον οποίο παράγεται η ενέργεια. Αυτός ο τετραπλασιασμός της απόδοσης του πρώτου συστήματος, στην ουσία ισοδυναμεί με υποτετραπλασιασμό της θυσίας σε εξεργειακό απόθεμα.

Εδώ η τεχνολογική βελτίωση προτυποποιείται ως μείωση των απαιτούμενων σταδίων διέλευσης ενός ενεργειακού σήματος¹. Αυτό το πρότυπο μπορεί να ισχύει τόσο σε μικρο-επίπεδο (τεχνολογία υλικών, νανοτεχνολογία, υπεραγωγοί κτλ.), όσο και σε μακρο-επίπεδο (περιβαλλοντική υποβάθμιση, απώλεια φέρουσας ικανότητας, απώλεια βιοχωρητικότητας κτλ.).

3.2 Η «εξεργειακή επένδυση»

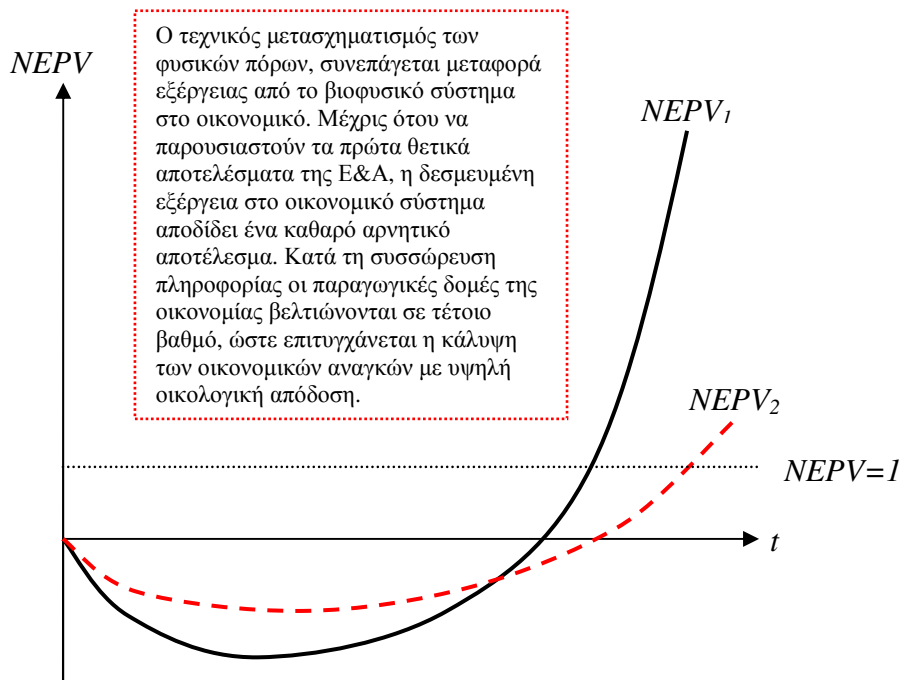
Σε άμεση σχέση με τα παραπάνω, η επένδυση στην πιθανότητα απόκτησης πληροφορίας που θα βελτιώσει την πιθανότητα λήψης σήματος, ενέχει κάποιο κόστος σε όρους εξεργειακούς. Με λίγα λόγια απαιτείται θυσία εξεργειακού περιεχομένου, για τη βελτίωση της μελλοντικής χρήσης του. Η ποσότητα της θυσίας του εξεργειακού περιεχομένου, εξαρτάται με τη σειρά της από τα πρότυπα του ενεργειακού μετασχηματισμού.

Σε βιοφυσικό επίπεδο, ο *Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής* ισχύει για κάθε διαδικασία μετασχηματισμού. Η ουσία της έννοιας της εξεργειακής επένδυσης συνίσταται στην *αφαίρεση εξεργειακού περιεχομένου από ένα σύστημα, με αντίστοιχη πρόσδοση εξεργειακού περιεχομένου σ' ένα άλλο του οποίου η αναμενόμενη απόδοση σε μελλοντικό χρόνο είναι μεγαλύτερη από του πρώτου*. Για παράδειγμα, ο καθαρισμός ενός μετάλλου από τις προσμίξεις του συνιστά πράξη εμπλουτισμού του εξεργειακού περιεχομένου του μετάλλου, με θετικό όμως εξεργειακό κόστος αν χρησιμοποιείται ενέργεια

¹ Σ' αυτό το σημείο θα μπορούσε να αντιταχθεί το επιχείρημα ότι η τεχνολογική βελτίωση αφορά καθαρά στην βελτίωση της πιθανότητα επιτυχίας του ενδεχομένου επιτυχίας από 1/2, δίχως να χρειάζεται ν' απασχολήσει ο αριθμός των ενδιάμεσων σταδίων από τα οποία πρέπει να περάσει το σήμα. Ωστόσο, μπορεί να απαντηθεί πως το συγκεκριμένο υπόδειγμα εξυπηρετεί και την υπόθεση εργασίας που γίνεται για την προτυποποίηση των βιοφυσικών διεργασιών ως πληροφορικών διαδικασιών. Η *Θεωρία της Πληροφορίας*, προϋποθέτει αυστηρά την τήρηση της ίσης πιθανότητας μεταξύ των δύο ενδεχομένων, ωστόσο επιτρέπει την παρέμβαση σε άλλες πτυχές του υποδείγματος αν είναι επιθυμητό να δοθεί έμφαση σ' ένα επιθυμητό αποτέλεσμα. Πλέον, εκφράζει την μετάδοση ενέργειας ως ασυνεχές φαινόμενο, γεγονός που εξυπηρετεί και την ανάλυση βάσει της Κατανομής Poisson που ακολουθεί.

παραγόμενη από εξεργειακό απόθεμα (π.χ. πετρέλαιο) για τη διαδικασία του εμπλουτισμού¹. Αν στον υπολογιζόμενο μελλοντικό χρόνο, η συγκεκριμένη ποσότητα μετάλλου συνεισφέρει στη συνολική μείωση της εντροπίας σε βαθμό μεγαλύτερο από την εξεργειακή ποσότητα που θυσιάστηκε αρχικά—αν αυτή παρέμενε εντός του πόρου από τον οποίο αντλήθηκε— τότε η επένδυση συμφέρει από εξεργειακή άποψη.

Κατά τον ίδιο τρόπο μπορεί να ειπωθεί η σχέση της οικονομίας με τη Φύση. Η συσσώρευση μηχανικού κεφαλαίου από το μετασχηματισμό των φυσικών πόρων, μπορεί να ειπωθεί ως μια διαδικασία μεταφοράς εξεργειακού περιεχομένου από τη Φύση, κατά την οποία η ανθρώπινη οικονομία θεωρείται εν δυνάμει πιο παραγωγική. Κάποια στιγμή σε μελλοντικό χρόνο, η οικονομία αναμένεται να αποπληρώσει τη Φύση για το εξεργειακό «δάνειο» που έλαβε, λογισμένο σε όρους εντροπίας. Η γραφική απεικόνιση της επενδυτικής σχέσης μεταξύ της οικονομίας και της Φύσης παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.3: Η σχέση της οικονομίας με τη Φύση ως εξεργειακή επένδυση

Η αυξημένη παραγωγικότητα της οικονομίας δεν είναι εμφανής στα αρχικά στάδια της δημιουργίας της, με αποτέλεσμα τη μεγάλη παραγωγή εντροπίας. Ωστόσο κατά την διαρκή ενεργειακή χρήση συγκεντρώνεται συνεχώς πληροφορία, η οποία σε μελλοντικό χρόνο βελτιώνει εξαιρετικά τις

¹ Αυτό το παράδειγμα θυμίζει το παράδειγμα του Maxwell, ο οποίος υποστήριζε πως αν εντός ενός κλειστού συστήματος δύο διαμερισμάτων -όπου στο ένα βρίσκεται αέριο και στο άλλο κενό- υπήρχε η δυνατότητα να μεταφερθούν μονάχα τα επιθυμητά μόρια από το ένα δοχείο στο άλλο, θα επιτυγχάνονταν η μέγιστη πληροφορία, άρα και μηδενική εντροπία. Η απάντηση ήταν πως ακόμα κι έτσι θα απαιτείτο για τη διαδικασία μεταφοράς μια εξωτερική πηγή ενέργειας, η οποία θα αύξανε την εντροπία κάπου αλλού αν και όχι στο συγκεκριμένο σύστημα. Αυτή η εξωτερική ενεργειακή ποσότητα, αποτελεί την εξεργειακή επένδυση, προκειμένου σε μελλοντικό χρόνο η ταξινόμηση να επιτυγχάνεται με χαμηλότερο εξεργειακό κόστος. Για τα ανοικτά συστήματα γενικά -όπως είναι τα βιοφυσικά- θα μπορούσε να ειπωθεί πως σημασία δεν έχει μονάχα η επίτευξη μέγιστης πληροφορίας, αλλά και η επίτευξη της μέγιστης απόδοσης πληροφορίας μεταξύ εναλλακτικών συστημάτων.

παραγωγικές δομές του συστήματος¹. Σημασία έχει μονάχα ο χρόνος επίτευξης των αποτελεσμάτων της συγκέντρωσης της πληροφορίας, ώστε να μην ξεπερνά τις δυνατότητες αντοχής της Φύσης να απορροφά την ανθρώπινη εντροπία.

3.2.1 Το «βιοφυσικό επιτόκιο» προεξόφλησης

Το βιοφυσικό επιτόκιο προεξόφλησης, αποτελεί ο φυσικός ρυθμός αύξησης του πρώτου συστήματος μαζί με όλες τις προκύπτουσες ωφέλιμες ιδιότητές του. Σε πρώτη φάση, το βιοφυσικό επιτόκιο προεξόφλησης δεν αποτιμάται σε χρηματικούς όρους αλλά σε εξεργειακούς.

Η καθαρή εξεργειακή απόδοση της επένδυσης, προκύπτει από το λόγο της μείωσης της εντροπίας προς τη φυσική απορρόφηση εντροπίας αν το σύστημα είχε αφεθεί ελεύθερο να αναπτυχθεί, σε συγκεκριμένο χρόνο t . Η μαθηματική απεικόνιση της *Καθαρής Εξεργειακής Παρούσας Αξίας (NEPV)* είναι:

$$NEPV = -\sum_{t=0}^T S \cdot (G_{t-1} - G_t) + \frac{|dS|}{(1 + \rho_t)^T \cdot G_0 \cdot S}, \text{ με } NEPV \geq 1$$

όπου $NC = NEPV - 1$, είναι η φυσική φέρουσα ικανότητα ως περιθώριο αύξησης της εντροπίας από την οικονομία.

Πέρα από το καθαρό εξεργειακό του νόημα, το βιοφυσικό επιτόκιο προεξόφλησης μπορεί να αποτελέσει ένα καλό οικονομικό εργαλείο για την πληρωμή της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας της επένδυσης. Αν το συνολικό αποτέλεσμα της *Καθαρής Εξεργειακής Παρούσας Αξίας* είναι αρνητικό μέχρι τον επιλεγμένο χρόνο αποτίμησης, μπορεί να υποβληθεί ένα πρόστιμο περιβαλλοντικής αναποτελεσματικότητας ίσο με το έλλειμμα της μείωσης εντροπίας επί το προεξοφλημένο κόστος αποκατάστασης της.

3.3 Η Πρόσδοτος Στενότητας

Ο λογαριασμός της προσόδου στενότητας είναι άμεσα συνδεδεμένος με τον *B' Νόμο της Θερμοδυναμικής*, εφόσον εκφράζει την πληρωμή για την απαξίωση ενός πόρου. Η διαχρονική μείωση των καταναλωτικών δυνατοτήτων, αποτελεί ένα *οικονομικό κόστος ευκαιρίας*, το οποίο έχει περιγραφεί με την έννοια της *Προσόδου Στενότητας (Scarcity Rent)*. Το κόστος αυτό, αποτελεί έναν ενδογενή λογαριασμό ο οποίος για να είναι οικονομικά αποτελεσματικός, θα πρέπει να διατίθεται αποκλειστικά για κάποια μορφή αντικατάστασης της απώλειας που προκλήθηκε σε προηγούμενο χρόνο. Ανηγμένο σε οικονομικές αξίες, αυτό το κόστος ευκαιρίας συνίσταται στο *καθαρό όφελος το οποίο χάνεται όταν καταναλώνεται μια μονάδα πόρου σήμερα και δεν είναι διαθέσιμη προς κατανάλωση στο μέλλον, λόγω πεπερασμένων αποθεμάτων*² (τα οποία άπαξ και καταναλωθούν είναι μη ανακτήσιμα λόγω ισχύος του B'

¹ Αυτή η υπόθεση, αποτελεί στην ουσία την υπόθεση Kuznets προσαρμοσμένη σε εξεργειακά δεδομένα.

² Βλάχου Ανδριάντα, «Περιβάλλον & Φυσικοί Πόροι: Οικονομική Θεωρία και Πολιτική», σελ. 193 – Κεφάλαιο 7 - «Αριστη Χρήση των Εξαντλήσιμων Πόρων»

Νόμου της Θερμοδυναμικής). Συνεπώς, η όποια τιμή του εξαντλήσιμου πόρου, θα πρέπει να καλύπτει τόσο το κόστος ευκαιρίας του χρήστη (πρόσοδος στενότητας), όσο και το κόστος εξόρυξής του¹.

Η εξασφάλιση του λογαριασμού της προσόδου στενότητας, είναι συνυφασμένη με την έννοια του περιβαλλοντικού μακροοικονομικού υποδείγματος (γενικά αναφερόμενο και ως «πράσινο» ΑΕΠ). Το περιβαλλοντικό μακροοικονομικό υπόδειγμα γράφεται γενικά ως:

$$RGDP = \sum_{i=1}^n p_i q_i - \sum_{i=1}^m p_i r_i$$

Ενώ σε διακλαδική μορφή το υπόδειγμα γράφεται ως:

$$RGDP = \sum_{i=1}^n p_i (a_i q_i) - \sum_{i=1}^n p_i [(1 - a_i) q_i]$$

Το περιβαλλοντικό μακροοικονομικό υπόδειγμα, εξαρτάται στενά από τη μεθοδολογία της αποτίμησης της αξίας των φυσικών πόρων και της ζημίας από την εξάλειψή τους. Οι καθιερωμένες μέθοδοι αποτίμησης, υστερούν ως προς την ακρίβεια της μέτρησης, καθώς χαρακτηρίζονται από *έλλειμμα πληροφόρησης*. Αυτό τις καθιστά ανεπαρκείς για την εφαρμογή τους σε μακροοικονομικό επίπεδο. Η πρόσοδος στενότητας αντιμετωπίζει αυτό το πρόβλημα καθώς αφορά στην διαχρονική δυναμική της εξάλειψης ενός πόρου, η οποία είναι άμεσα παρατηρήσιμη.

Βάσει το περιβαλλοντικού μακροοικονομικού υποδείγματος, το πραγματικό προϊόν ορίζεται ως το χρηματικό άθροισμα όλων των τελικών αγαθών και υπηρεσιών που παράχθηκαν, ελαττωμένο κατά το συνολικό κόστος για την αποκατάσταση της περιβαλλοντικής ζημίας που προκλήθηκε κατά την παραγωγική διαδικασία.

Ωστόσο, αντί της άμεσης καταβολής πληρωμής για την περιβαλλοντική ζημία, είναι δυνατό να καταβάλλεται διαχρονικά ένα ποσό, ως μέτρο πρόληψης αυτού του κόστους. Αυτός ο λογαριασμός δεν είναι άλλος από την επένδυση σε τεχνολογική βελτίωση, προκειμένου τα εξεργειακά αποθέματα και η φέρουσα ικανότητα να διατηρούνται σε σχετικά (ως προς το μέγεθος των συνολικών χρήσεων της οικονομίας) τουλάχιστον σταθερό. Αυτή είναι και η ουσία της προσόδου στενότητας.

3.3.1 Προτυποποίηση της Προσόδου Στενότητας

Η πρόσοδος στενότητας, εφόσον ενσωματώνεται στην τιμή του προϊόντος ως διαχρονικό κόστος ευκαιρίας, θα δημιουργεί μια διαφορά μεταξύ της τελικής τιμής και του κόστους εξόρυξης, ανεξαρτήτως απ' το επίπεδο κερδών της κάθε επιχείρησης που αναλαμβάνει την παραγωγή. Αν υποθεθεί πως στην πλήρως ανταγωνιστική αγορά, η συνθήκη ισορροπίας, είναι η εξίσωση του οριακού κόστους MC_t με την τιμή P_t , τότε για τους πόρους σε αποθεματική μορφή η συνθήκη ισορροπίας μετατρέπεται σε:

$$P_t = MC_t + \lambda_t$$

ή εναλλακτικά,

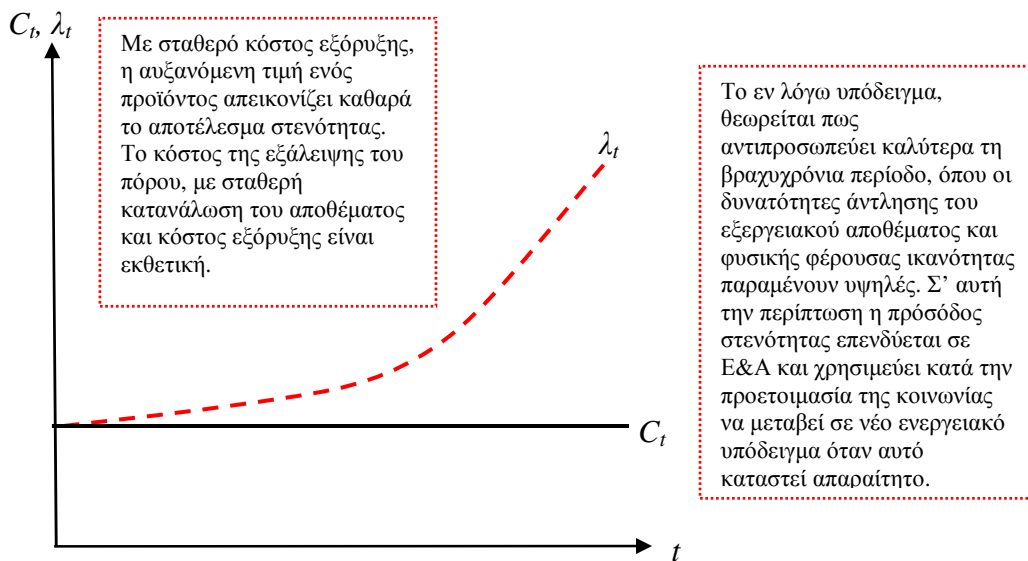
$$\lambda_t = P_t - MC_t$$

¹ Ομοίως με πριν, σελ. 193

Όπου λ_t είναι η απροεξόφλητη τιμή της προσόδου στενότητας. Η προεξοφλημένη της τιμή είναι:

$$\lambda_t (1+r)^{-t} = (P_t - MC_t)(1+r)^{-t}$$

Ο παραπάνω τύπος, υπαγορεύει πως ο ρυθμός αύξησης της τιμής του προϊόντος, θα πρέπει να είναι ίσος με τον ρυθμό αύξησης της τιμής της προσόδου στενότητας, ανεξαρτήτως από το ρυθμό αύξησης του κόστους παραγωγής. Για να γίνει κατανοητή η παραπάνω πρόταση, μπορεί να υποτεθεί μια κατάσταση όπου το οριακό κόστος παραγωγής παραμένει διαχρονικά σταθερό ($\frac{\partial MC_t}{\partial t} = 0$). Σ' αυτή την περίπτωση, η διαχρονική αύξηση της τιμής θα εκφράζει απόλυτα την πρόσοδο στενότητας του πόρου, καθώς αυτός εξαντλείται. Αυτή η περίπτωση παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.4: Η διαχρονική εξέλιξη της προσόδου στενότητας με σταθερό κόστος εξόρυξης

Η πρόσοδος στενότητας πρέπει να παρουσιάζει αποκλειστικά το καθαρό αποτέλεσμα εξάντλησης του πόρου. Η εκθετική αύξηση της τιμής της στην ουσία εκφράζει ένα σταθερό επίπεδο κατανάλωσης, με διαρκώς μειούμενα αποθέματα. Σ' αυτή την περίπτωση η σχετική κατανάλωση που ορίζεται από το λόγο *Κατανάλωση / Απόθεμα* θα είναι εκθετικά αύξουσα. Η σχέση θα γράφεται στη γενική της μορφή ως:

$$SR = \frac{X_t}{A_t}, \text{ με } \frac{\partial X}{\partial t} = 0, \frac{\partial A}{\partial t} < 0 \text{ και } \frac{\partial (X / A)}{\partial t} > 0$$

Η πρόσοδος στενότητας εκφράζει ένα ποσοστό προς το συνολικό απόθεμα. Αυτό το ποσοστό, θα πρέπει να ισούται με την πληρωμή της προσόδου στενότητας, ως αύξηση της τιμής του τελικού προϊόντος. Ωστόσο, η πληρωμή αυτή είναι πιθανόν να υπολείπεται των πραγματικών αναγκών σε χρηματοδότηση της Έρευνας & Ανάπτυξης προκειμένου να καλυφθεί το έλλειμμα υποκατάστασης για την αυξημένη χρήση του πόρου σε μελλοντικό χρόνο.

Ειδικότερα, η πρόσοδος στενότητας στα αρχικά στάδια της χρήσης του πόρου αποτελεί ένα μικρό ποσοστό της τιμής, ενώ αυξάνεται ραγδαία στα τελευταία στάδια. Κατά συνέπεια, θα διατίθενται

μικρά ποσά για την έρευνα στα πρώτα έτη και πολύ μεγάλα στα τελευταία όπου θα υπάρχει και η άμεση ανάγκη για τη μετάβαση. Ωστόσο, η Έρευνα & Ανάπτυξη λειτουργεί με χρονικές υστερήσεις. Είναι επομένως παρακινδυνευμένη η ραγδαία αύξηση της χρηματοδότησης στα τελευταία στάδια της χρήσης του πόρου, εφόσον είναι πολύ πιθανό να μην επιτευχθούν έγκαιρα τα επιθυμητά τεχνολογικά αποτελέσματα.

Το πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί με μια μέθοδο προεξόφλησης, ώστε η κατανομή της καταβολή του λογαριασμού να είναι πιο ομαλή στο χρόνο. Σε αυτή την περίπτωση, η πληρωμή υφίσταται αυξημένη κατά έναν συντελεστή, ο οποίος εκφράζει την προσδοκώμενη στενότητα σε μελλοντικό χρόνο. Αυτό βασίζεται στη λογική ότι κατά την πραγματοποίηση των επενδύσεων, αυτές θα λειτουργούν κατά ένα συγκεκριμένο ενεργειακό πρότυπο, μέχρι του σημείου της τελικής μηχανολογικής απόσβεσής τους. Πλέον, οι αρχικές επενδύσεις αναμένεται να δημιουργήσουν μια αυτόνομη επενδυτική δυναμική προσαρμοσμένη στο καθιερωμένο ενεργειακό πρότυπο. Στην περίπτωση των υδρογονανθράκων -ως προτύπου καυσίμου- αυτό ισοδυναμεί με μια βεβαιότητα κατανάλωσης εξεργειακού αποθέματος για μια δεδομένη χρονοσειρά. Κατά συνέπεια, η πληρωμή της προσόδου στενότητας μπορεί να γραφεί ως:

$$SR = \mu \frac{X_t}{A_t}$$

όπου όπως και προηγουμένως, θα ισχύει $\frac{\partial X}{\partial t} = 0$, $\frac{\partial A}{\partial t} < 0$, $\frac{\partial (X / A)}{\partial t} > 0$ και $0 \leq \mu$

Ο συντελεστής μ αποτελεί το συντελεστή προεξόφλησης της κατανάλωσης για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Σε μαθηματικούς όρους πρόκειται για τον πολλαπλασιαστή Lagrange, ενώ σε φυσικούς, τον πολλαπλασιαστή ενεργειακής μεγέθυνσης¹. Η εισαγωγή του πολλαπλασιαστή εξυπηρετεί κατά πολλούς τρόπους. Αφενός, επιτρέπει τη χάραξη τεχνολογικής πολιτικής στη μακροπρόθεσμη περίοδο, εφόσον παρέχει πληροφορίες για την αναμενόμενη αύξηση της χρήσης, άρα και της απαιτούμενης κλίμακας της επένδυσης σε υποκατάσταση. Αφετέρου, επιτρέπει τη συμμετοχή και άλλων παραγόντων στη διαχείριση του λογαριασμού της προσόδου στενότητας όπως είναι το τραπεζικό σύστημα.

Εναλλακτικά, η απαιτούμενη χρηματοδότηση για Έρευνα & Ανάπτυξη, μπορεί να τεθεί ως μελλοντικός στόχος ενός επιθυμητού επιπέδου χρήσεων. Στο ενδιάμεσο χρονικό διάστημα, η χρήση μπορεί να φθάσει οποιοδήποτε επίπεδο, ωστόσο στο επιλεγμένο χρονικό διάστημα θα πρέπει να έχει επιτευχθεί ο στόχος υποκατάστασης. Σ' αυτή την περίπτωση θα ισχύει η σχέση:

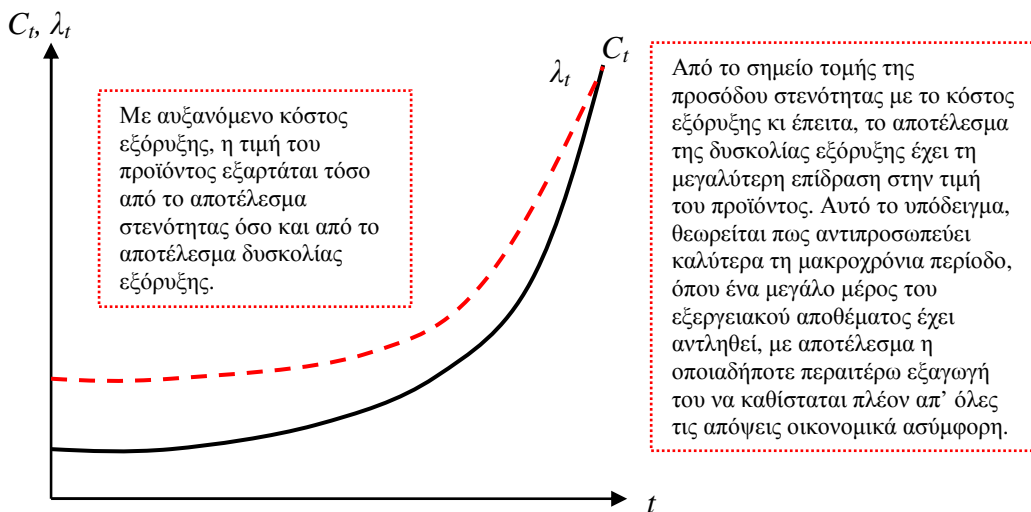
$$\frac{X_t}{A_t} \frac{\partial W_R}{\partial M} M = \mu, \text{ με } \frac{\partial W_R}{\partial M} > 0$$

Με λίγα λόγια, αυτό σημαίνει πως για ένα επίπεδο σχετικής χρήσης σε συγκεκριμένο χρόνο, το ποσό που θα πρέπει να καταβληθεί, ώστε η υποκατάσταση να φθάσει τα επίπεδα του πολλαπλασιαστή, θα πρέπει να ισούται με τη σχετική χρήση, πολλαπλασιασμένη κατά την μεταβολή της παραγόμενης

¹ Εκτενής ανάλυση για την έννοια και τον τρόπο λειτουργίας του ενεργειακού πολλαπλασιαστή, ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

οικολογικής ισχύος W_R ανά επενδεδυμένη μονάδα χρήματος στην Έρευνα & Ανάπτυξή της, επί το συνολικό επενδεδυμένο χρηματικό ποσό σ' αυτή.

Ωστόσο, η πιο ρεαλιστική περίπτωση είναι αυτή του αυξανόμενου κόστους εξόρυξης. Κατά τη διαρκή εξόρυξη (και γενικά άντληση) ενός περιορισμένου πόρου, δημιουργούνται όλο και δυσκολότερες συνθήκες εξόρυξης. Ενδεικτικό παράδειγμα αυτής της περίπτωσης αποτελούν οι ορυκτοί υδρογονάνθρακες. Σε πρώτη φάση αξιοποιούνται τα επιφανειακά κοιτάσματα, τα οποία όμως καθώς εξαντλούνται, δημιουργούν την ανάγκη για εξερεύνηση και άντληση σε βαθύτερα κοιτάσματα, προκειμένου η κοινωνία να διατηρήσει την ενεργειακή της δυναμικότητα. Σε οικονομικούς όρους, αυτό μεταφράζεται ως διαχρονική αύξηση του συνολικού κόστους εξόρυξης.



Διάγραμμα 3.5: Η διαχρονική εξέλιξη της προσόδου στενότητας με αυξανόμενο κόστος εξόρυξης

Η διαφορά με την προηγούμενη περίπτωση, είναι ότι δεν είναι δυνατή η άμεση εξαγωγή της ακριβούς επίδρασης των δύο αποτελεσμάτων. Διαχρονικά, το αυξανόμενο κόστος αποτελεί έναν αποτρεπτικό παράγοντα διατήρησης των ίδιων επιπέδων εξόρυξης. Απ' την άλλη, το αποτέλεσμα της προσόδου στενότητας στην τιμή του προϊόντος εξελίσσεται και πάλι εκθετικά, δίχως όμως να είναι εμφανής το αν υπερτερεί του κόστους εξόρυξης. Σε κάποια χρονική στιγμή το κόστος γίνεται τόσο αποτρεπτικό ώστε η εξορυσσόμενη ποσότητα είναι πολύ μικρή. Σ' αυτό το σημείο η τιμή της προσόδου στενότητας συγκλίνει με αυτή του κόστους εξόρυξης.

Η πρόσδοδος στενότητας πληρώνεται προκειμένου να διατηρείται η χρήση ενός πόρου προς το συνολικό απόθεμά του σταθερή στο χρόνο. Κατά συνέπεια η βασική εκδοχή της χρησιμότητας της προσόδου στενότητας μπορεί να γραφεί ως μια διαχρονική ισοδυναμία χρήσης:

$$\frac{X_0}{A_0} = \frac{X_1}{A_0 - X_0} = \dots = \frac{X_n}{A_{n-1} - X_{n-1}}$$

όπου X_t η κατανάλωση σε χρόνο t , A_t το απόθεμα σε χρόνο t , με $\frac{\partial A}{\partial t} < 0$ και $\frac{\partial X}{\partial t} < 0$

Βάσει των παραπάνω σημαίνει ότι με θετική κατανάλωση κάποιου αποθέματος, το τελευταίο μειώνεται διαχρονικά. Αυτό που έχει σημασία είναι να διατηρείται η σχετική χρήση του αποθέματος σταθερή, κάτι που επιτυγχάνεται με διαχρονική μείωση και της χρήσης. Αυτή η διαχρονική μείωση επιτυγχάνεται μέσω της Έρευνας & Ανάπτυξης, βάσει της οποίας βρίσκονται υποκατάστατοι πόροι σε μεγαλύτερη αφθονία.

3.3.2 Αξιοποίηση της Προσόδου Στενότητας

Η διαχρονική αύξηση της τιμής του εξαντλήσιμου πόρου, είναι απαραίτητη συνθήκη για την διατηρησιμότητα του οικονομικού συστήματος, έως ότου αυτό να μεταβεί στη χρήση νέων –λιγότερο εξαντλήσιμων- πόρων. Στην ενότητα 2.3.1 τέθηκε η απαραίτητη συνθήκη *μεγέθους* της κατανάλωσης ενός εξαντλήσιμου πόρου, βασισμένη σε μια αναλογία *χρήσης* και *υποκατάστασης*. Σε καθεστώς ελεύθερης οικονομίας, είναι οι μηχανισμοί της αγοράς που θα πρέπει να ανταποκρίνονται σ' αυτή τη συνθήκη, δηλαδή οι αποτελεσματικές τιμές.

Η αυξανόμενη τιμή ενός εξαντλήσιμου πόρου, εξυπηρετεί τον σκοπό της μετάβασης σε κάποιον υποκατάστατο, καθώς ο πρώτος καθίσταται ακριβότερος. Γι' αυτή την περίπτωση δύναται να χρησιμοποιηθεί ως πρότυποι πόροι οι υδρογονάνθρακες, ώστε να γίνει εύκολα η υπόθεση ότι η Ενέργεια είναι αγαθό που χαρακτηρίζεται από ανελαστική ζήτηση ($0 < \varepsilon_x = \frac{dQ_t}{dP_t} \frac{P_t}{Q_t} < 1$, με ε_x ως απόλυτη τιμή).

Ακόμα κι αν υποθεθεί ότι το οριακό κόστος παραγωγής παραμένει διαχρονικά σταθερό ($\frac{\partial MC_t}{\partial t} = 0$), η ποσοστιαία αύξηση της τιμής θα είναι πάντα μεγαλύτερη από την ποσοστιαία μείωση της κατανάλωσης. Η εξίσωση της ταχέως αυξανόμενης τιμής -λόγω επίδρασης της προσόδου στενότητας- του εξαντλήσιμου πόρου, με την τιμή του (υποθετικά) ακριβότερου υποκατάστατου S , θα ισοδυναμεί με το τέλος της χρήσης του πρώτου και την έναρξη της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών από τον δεύτερο. Η βασική συνθήκη γι' αυτό είναι:

$$P_t = P_s \Rightarrow MC_t + \lambda_t = MC_s + \lambda_s$$

Πλέον, η Πρόσδος Στενότητας υφίσταται και ως ζήτημα *πληρωμής της Φύσης* για την παροχή υπηρεσιών προς τις ανθρώπινες κοινωνίες. Ενώ είναι πολύ εύκολο να κατανοηθεί η πληρωμή μισθού στους εργάτες που προσέφεραν τις σωματικές και πνευματικές υπηρεσίες τους, ή την πληρωμή επιτοκίου στο μηχανικό κεφάλαιο που φθείρεται κατά την παραγωγική διαδικασία, η παροχή των πρώτων υλών από τη Φύση θεωρείτο δωρεάν, καθώς δεν στην πράξη προήλθε από καμιά ανθρώπινη παραγωγική διαδικασία.

Κατά συνέπεια, εφόσον η Φύση δεν αποτελεί κάποιο φυσικό η νομικό πρόσωπο το οποίο μπορεί να μισθωθεί με ανθρώπινα χρήματα, η πληρωμή της στηρίζεται στην επανεπένδυση της προσόδου στενότητας για την φθορά του φυσικού πόρου που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή τεχνητού κεφαλαίου. Υπό ποία έννοια όμως, εφόσον δεν μπορεί να αναδημιουργηθεί ο καθαυτός φυσικός πόρος

που χάθηκε; Η απάντηση είναι, με την επένδυση σε Έρευνα & Ανάπτυξη, είτε σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (σ' ό,τι αφορά την ενεργειακή χρήση), ή σε ανακύκλωση (για τη χρήση βιομηχανικών υλικών), είτε και στα δύο. Αυτή η πληρωμή ισοδυναμεί με έναν *υποσχετικό τίτλο αποφυγής μελλοντικής ανάγκης χρήσης του πόρου*.

Με λίγα λόγια, αν η Πρόσοδος Στενότητας επενδύεται για ένα συνεχές χρονικό διάστημα, μόνο σε Έρευνα και Ανάπτυξη για την αντικατάσταση του –για παράδειγμα- πετρελαιοκίνητου κεφαλαίου, από την χρονική στιγμή που αυτό θα αντικατασταθεί κι έπειτα, παύει η χρήση του πόρου, του οποίου όμως η κοινωνία θα εξακολουθούσε να έχει την ανάγκη χρήσης, αν δεν είχε λάβει χώρα η παραπάνω επένδυση. Η μη χρήση του πόρου από αυτό το χρονικό σημείο κι έπειτα, αποτελεί στην ουσία, την *αποπληρωμή του δανείου* που λαμβανόταν από τη Φύση, κατά τη χρονική περίοδο χρήσης του πόρου.

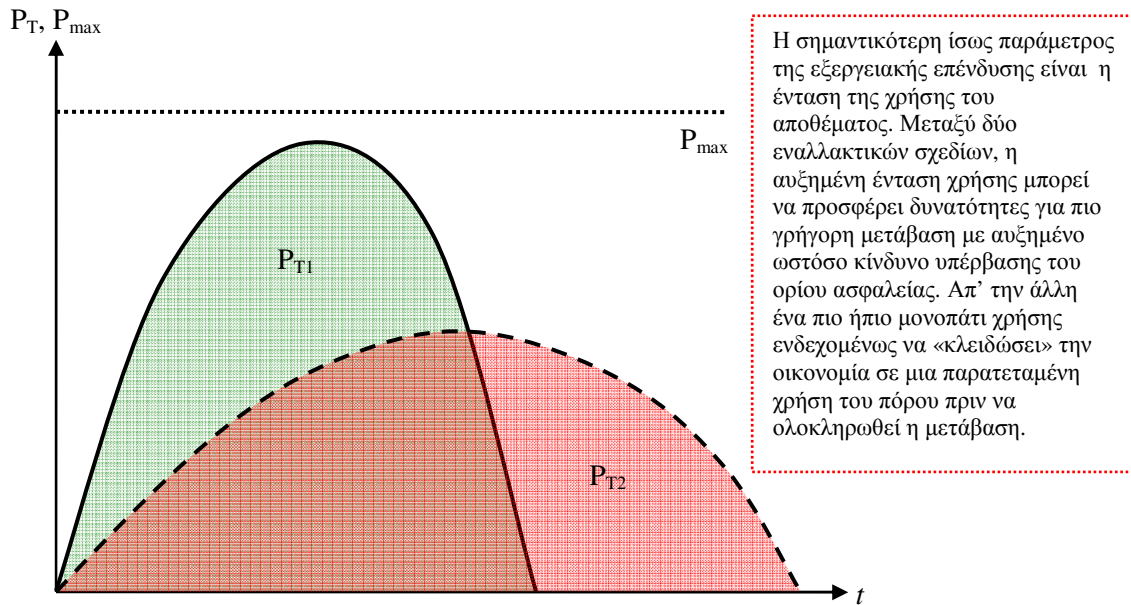
Σ' αυτό το σημείο θα πρέπει ν' αναφερθεί πως η επένδυση της προσόδου στενότητας μόνο σε Έρευνα & Ανάπτυξη προκειμένου να τηρείται ο ορισμός Brundtland, είναι πολύ πιο συνεπής και συγκεκριμένη από την πρόταση των Solow (1974), Hartwick (1977), και Olewiler (1998), να επενδύεται γενικά σε υλικό και ανθρώπινο κεφάλαιο, προς αντιστάθμιση του απωλεσθέντος φυσικού. Η πρόταση των τριών νεοκλασικών οικονομολόγων, στηρίζεται στην υπόθεση της πλήρους υποκαταστησιμότητας του φυσικού και του ανθρωπίνως δημιουργηθέντος κεφαλαίου, η οποία όμως είναι εξαιρετικά αφαιρετική και ανακριβής.

Αν ίσχυε κάτι τέτοιο, ο άνθρωπος δεν θα είχε καμιά απολύτως ανάγκη μετατροπής του φυσικού κεφαλαίου σε μηχανικό, και συσώρευσής του κατά τα στάδια της εξέλιξής του. Πλέον, οι περισσότερες μορφές φυσικού και τεχνητού κεφαλαίου, χαρακτηρίζονται από μια σχέση συμπληρωματικότητας (για παράδειγμα, βενζινοκινητήρες-πετρέλαιο). Κατά συνέπεια, δεν θα είχε καμιά απολύτως χρησιμότητα για την *διατήρηση ενός διαχρονικά σταθερού κατά κεφαλήν επιπέδου κατανάλωσης*, η επένδυση σε βενζινοκινητήρες δίχως την ύπαρξη πετρελαίου.

Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα πως η επένδυση της προσόδου στενότητας μόνο σε Έρευνα και Ανάπτυξη, δύναται να εξασφαλίσει την απεξάρτηση της ανθρώπινης οικονομίας από την εκτεταμένη χρήση εξαντλήσιμων πόρων. Άρα δύναται να εξασφαλίσει όχι μόνο τον ορισμό Brundtland (εφόσον οι αυξανόμενες επενδυτικές δαπάνες αποτελούν μέρος του ΑΕΠ), αλλά και περιβαλλοντική αποτελεσματικότητα.

3.4 Η χρηματοδοτική της Έρευνας & Ανάπτυξης

Η χρηματοδότηση της Έρευνας & Ανάπτυξης, εστιάζει στην επιτυχία εμπορικής αξιοποίησης ενός τεχνολογικού αποτελέσματος, προτού η οικονομία φθάσει να χρησιμοποιεί κάποιο πόρο ή πλεόνασμα άνω του *Ορίου Μεγίστης Ασφαλείας*. Αναλυτικά, η διαδικασία περιγράφεται για την εκπομπή ενός προτύπου ρύπου από τη χρήση ενέργειας στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.6: Η γενική απεικόνιση της επιτυχίας της τεχνολογικής μετάβασης

Βάσει του διαγράμματος, η εκπομπή ενός συγκεκριμένου ρύπου αποτελεί συνάρτηση της κατανάλωσης ενός εξεργειακού περιεχομένου. Αυτή η συνάρτηση έχει περιγραφεί αναλυτικά στην ενότητα 2.3.1. Κατά την καθιέρωση ενός ορίου μέγιστης ασφαλείας, η σημαντικότερη παράμετρος που προκύπτει είναι η ένταση της παραμέτρου της ενεργειακής μεγέθυνσης, καθώς, σ' αυτήν οφείλεται το καθαρό αποτέλεσμα χρήσης. Σε κάθε σημείο της καμπύλης κατανάλωσης μπορεί να χαραχθεί ένα σενάριο βάσης, το οποίο υποθέτει την γραμμική αύξηση της εκπομπής του ρύπου. Ο χρόνος άφιξης στο μέγιστο επιτρεπόμενο σημείο θα ορίζεται από:

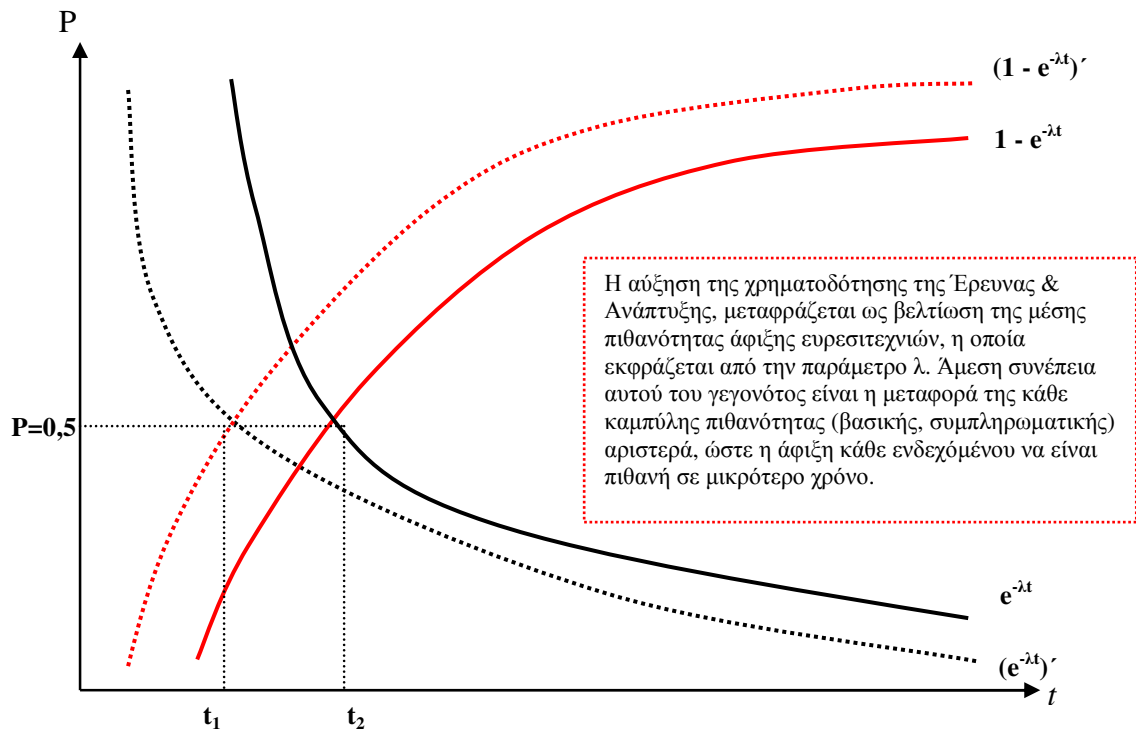
$$P_{\max} - P_t = f'(p_t)t$$

που δεν είναι άλλος από την παράμετρο ενεργειακής μεγέθυνσης α , πολλαπλασιασμένη επί έναν συντελεστή δημιουργίας του ρύπου.

Ο προσδιορισμός ενός βασικού σεναρίου εκπομπής εξυπηρετεί λόγω της ιδιότητας ότι οι στατιστικές αφίξεις των ευρεσιτεχνιών δεν συμβαίνουν κατά συνεχή τρόπο, αλλά ασυνεχή. Κατά συνέπεια, στις ενδιάμεσες αυτές περιόδους, είναι χρήσιμο να εξετάζεται η γραμμική αύξηση των ρύπων ως σενάριο βάσης, προκειμένου να καθοριστούν οι χρηματοοικονομικές ανάγκες σε Έρευνα & Ανάπτυξη.

Ως προς το συνολικό αποτέλεσμα, μια υψηλή τιμή της παραμέτρου χρήσης, θα επιτρέψει σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα τη συγκέντρωση όλης εκείνης της πληροφορίας που είναι απαραίτητη για τη μετάβαση, ωστόσο με αυξημένο κίνδυνο υπέρβασης του ορίου. Απ' την άλλη πλευρά, ένα πιο ομαλό μονοπάτι εκπομπής θα επιτρέψει την συγκέντρωση της απαιτούμενης πληροφορίας σε μεταγενέστερο χρόνο και με μεγαλύτερη ασφάλεια, «κλειδώνοντας» όμως την κατανάλωση σ' ένα συγκεκριμένο επίπεδο για περισσότερο χρόνο.

Η διαδικασία της Έρευνας & ανάπτυξης θα μπορούσε να προτυποποιηθεί κατά την κατανομή Poisson, η οποία είναι ασυνεχής. Η κατανομή Poisson εστιάζει στην πιθανότητα άφιξης ενός αριθμού επιθυμητών γεγονότων, εντός μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Σ' αυτήν την περίπτωση τα επιθυμητά γεγονότα είναι οι τεχνολογικές βελτιώσεις. Η κατανομή αυτή παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα (Ott, 1995):



Διάγραμμα 3.7: Απεικόνιση της διαδικασίας E&A βάσει της κατανομής Poisson

Βάσει του παραπάνω διαγράμματος, η διαδικασία της Έρευνας & Ανάπτυξης που λαμβάνει χώρα εντός μιας επιλεγμένης χρονικής περιόδου, προτυποποιείται με βάση την κατανομή Poisson¹. Η διαδικασία χαρακτηρίζεται από την πλήρη βεβαιότητα ότι κάποια στιγμή σε μελλοντικό χρόνο θα πραγματοποιηθεί το επιθυμητό ενδεχόμενο. Το ζήτημα είναι απλώς, ποια χρονική στιγμή θα συμβεί αυτό². Η μαθηματική έκφραση της κατανομής είναι:

¹ Η παράμετρος λ της κατανομής Poisson, αναφέρεται στη μέση συχνότητα άφιξης ενός φαινομένου εντός επιλεγμένου χρόνου t . Αν αυτός ο χρόνος χωριστεί περαιτέρω σε μικρότερα μέρη, θα παρατηρηθεί πως η ακριβής κατανομή συχνοτήτων εμφάνισης του φαινομένου εντός αυτών των μερών θα διαφέρει σημαντικά. Αυτό δεν επηρεάζει αρνητικά την ανάλυση στις μικρές χρονικές κλίμακες, εφόσον ο χρόνος t έχει προσδιοριστεί ως *χρόνος ασφαλούς μετάβασης*, δηλαδή ότι εντός αυτού του χρόνου πρέπει να έχουν επιτευχθεί λt αφίξεις, ανεξαρτήτως της ειδικότερης κατανομής τους μέσα σ' αυτό το χρόνο.

² Το συμπέρασμα αυτό εξάγεται κυρίως από λογική παραγωγή. Υπό μια πιο εξειδικευμένη σκοπιά όμως, μπορεί να υποστηριχθεί πως βάσει του πληροφορικού προτύπου της Έρευνας & Ανάπτυξης που αναπτύχθηκε στο διάγραμμα 3.1, η διαδικασία μπορεί να χαρακτηριστεί από πλήρη αποτυχία, καθώς –από καθαρά στατιστική άποψη– υπάρχει πάντα το ενδεχόμενο όλα τα προγράμματα να οδηγηθούν σε αποτυχία. Ωστόσο, μπορεί να απαντηθεί ότι η συγκεντρωμένη πληροφορία από ένα πρόγραμμα που έχει χαρακτηριστεί από αποτυχία, μπορεί να αποτελέσει εισροή για ένα άλλο σχετικό πρόγραμμα και να συνεισφέρει στην επιτυχία του. Από εκεί προκύπτει και η μαθηματική απεικόνιση της διαχρονικής πιθανότητας εμφάνισης του ενδεχομένου να πλησιάζει το 1 (απόλυτη βεβαιότητα) αλλά ποτέ να μην αποκτά ακριβώς την τιμή αυτή.

$$P = e^{-\lambda t}$$

Η πιθανότητα αυτή εκφράζει τη διαρκώς μειούμενη πιθανότητα να μην εμφανιστεί καθόλου το επιθυμητό ενδεχόμενο. Κατά συνέπεια, η συμπληρωματική της πιθανότητα ορίζεται ως:

$$1 - P = 1 - e^{-\lambda t}$$

η οποία εκφράζει την διαρκώς αύξουσα πιθανότητα το επιθυμητό ενδεχόμενο να εμφανιστεί τουλάχιστον μια φορά στον εξεταζόμενο χρόνο.

Εξαιρετική σημασία σ' αυτό το υπόδειγμα κατέχει η παράμετρος των μέσων αφίξεων λ^1 . Στην ουσία, αυτή η παράμετρος παρέχει την πληροφορία για την αποτελεσματικότητα της Έρευνας & Ανάπτυξης της κοινωνίας. Για την τεχνολογική υποκατάσταση είναι απαραίτητος ο επηρεασμός αυτής της παραμέτρου με χρηματοοικονομικά μέσα. Ο βαθμός στον οποίο η παράμετρο ανταποκρίνεται στις χρηματοοικονομικές ενισχύσεις της Έρευνας & Ανάπτυξης, αποτελεί στην ουσία έναν επιταχυντή αφίξεων οικολογικών ευρεσιτεχνιών. Αυτό επιτρέπει στην κοινωνία να υποκαταστήσει την παλαιά τεχνολογία, σε συντομότερο χρονικό διάστημα, πράγμα που σημαίνει εξοικονόμηση εξεργειακού περιεχομένου και μειωμένη παραγωγή εντροπίας.

Παράλληλα, υφίσταται και το μέγεθος της κάθε τεχνολογικής άφιξης. Στην πράξη, αυτό ερμηνεύεται ως το ειδικό βάρος της τεχνολογικής καινοτομίας στο σύνολο της οικονομίας. Το μέγεθος και το χρόνο άφιξης της καινοτομίας συνδέει μια αντίστροφη σχέση σε όρους μείωσης της μέσης άφιξης των τεχνολογικών καινοτομιών.

Από τα παραπάνω, μπορούν να εξαχθούν δύο πολύ σημαντικοί χρηματοοικονομικοί δείκτες για την παρακολούθηση της υποκατάστασης.

1. Ο χρηματοοικονομικός επιταχυντής εγκατάστασης της οικολογικής τεχνολογίας, ο οποίος ορίζεται ως η μέση αύξηση των τεχνολογικών ανά μονάδα επενδεδυμένου χρήματος. Ορίζεται ως:

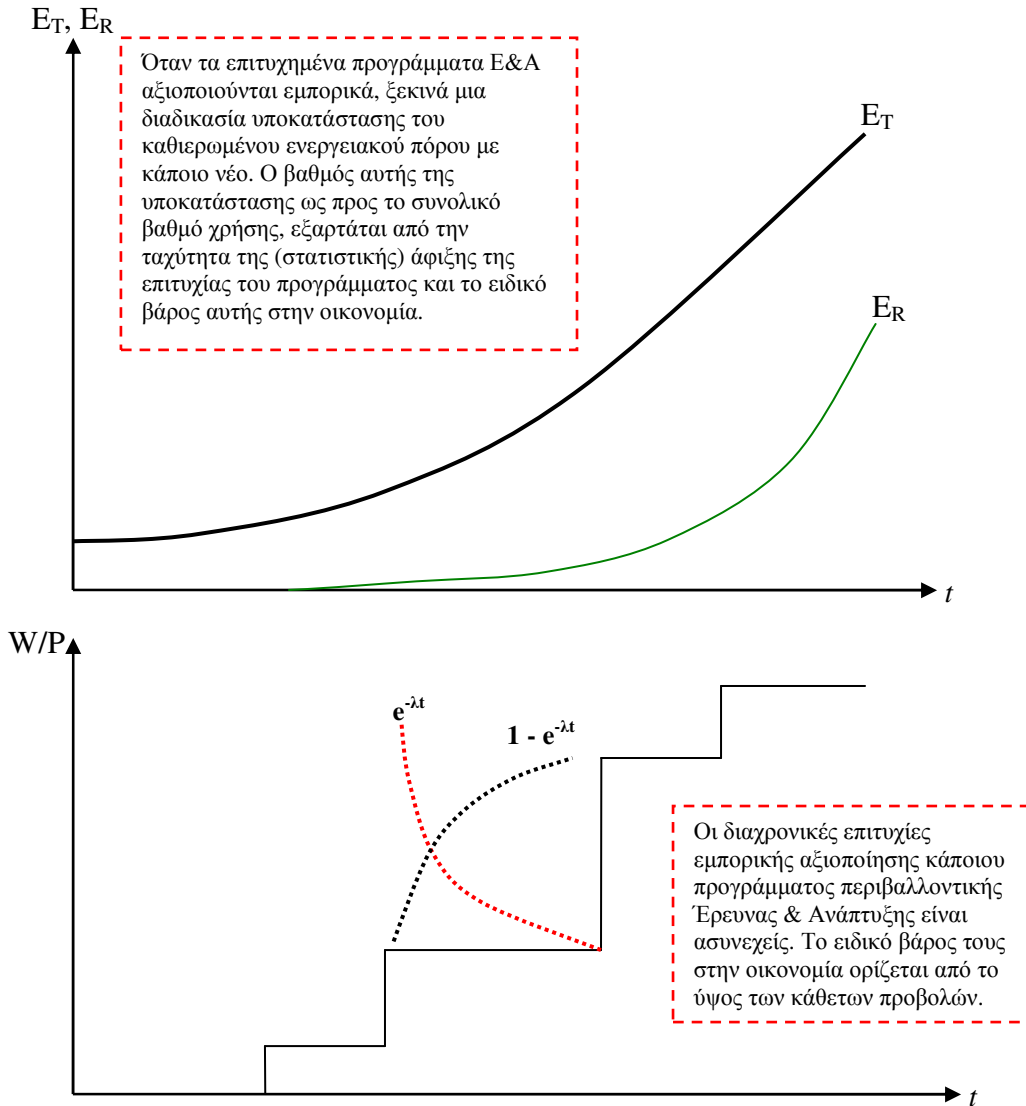
$$\frac{\partial |\lambda|}{\partial M}$$

2. Ο χρηματοοικονομικός πολλαπλασιαστής οικολογικής ισχύος, ο οποίος ορίζεται ως η μέση αύξηση της εγκατάστασης οικολογικής ισχύος ανά μονάδα επενδεδυμένου χρήματος. Ορίζεται ως:

$$\frac{\partial W}{\partial M}$$

Η διαδικασία της υποκατάστασης, της άφιξης των απαιτούμενων καινοτομιών καθώς και του ειδικού βάρους τους στην οικονομία μπορεί να παρασταθεί συνοπτικά, στο επόμενο διάγραμμα:

¹ Σημειώνεται πως η παράμετρος αυτή αποτελεί εντελώς διαφορετικό μέγεθος από την πρόσοδο στενότητας που έχει προτυποποιηθεί με το ίδιο γράμμα.



Διάγραμμα 3.8: Χρηματοδότηση E&A και υποκατάσταση βάσει της κατανομής Poisson

Στο σημείο αυτό, πρέπει να εξεταστεί και η σχέση που συνδέει αυτά τα δύο μεγέθη. Στο βαθμό που είναι επιθυμητά και τα δύο αποτελέσματα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, θα πρέπει να αυξηθεί η μέση χρηματοοικονομική επένδυση, προκειμένου τόσο ο στόχος της χρονικής εγκατάστασης όσο και της εγκατάστασης ισχύος να επιτευχθούν. Κατά συνέπεια, τα δύο μεγέθη θα πρέπει να τηρούν την παρακάτω αναλογία:

$$\frac{\frac{\partial W}{\partial M} M_w}{\frac{\partial | \lambda |}{\partial M} M_\lambda} = 1 \Rightarrow \frac{\partial W \cdot M_w}{\partial | \lambda | \cdot M_\lambda} = 1$$

3.5 Περιβαλλοντική χρηματοοικονομική και τραπεζική

3.5.1 Δυνατότητες μικρο-χρηματοδότησης Έρευνας & Ανάπτυξης

Η πληρωμή της προσόδου στενότητας γίνεται προκειμένου να προεξοφλήσει –μέσω τεχνολογικής εξέλιξης- ένα μικρότερο μελλοντικά επίπεδο χρήσεων. Αυτό μέχρι τώρα έχει γίνει βάσει της υπόθεσης ότι κάθε επιχείρηση δύναται να προβεί σε Έρευνα & ανάπτυξη προκειμένου να επιτύχει τα παραπάνω αποτελέσματα. Ωστόσο, υπάρχει πληθώρα επιχειρήσεων που δεν διαθέτουν –ή δεν επιθυμούν να διαθέτουν- εσωτερικά τμήματα Έρευνας & Ανάπτυξης, με αποτέλεσμα η καταβολή της προσόδου στενότητας να μην έχει γι' αυτές κάποιο τεχνολογικό αντίκρισμα.

Σ' αυτή την περίπτωση υπεισέρχεται ο παράγοντας της περιβαλλοντικής τραπεζικής προκειμένου να γίνει η διαχείριση του συγκεκριμένου λογαριασμού από εξωτερική πηγή. Η ιδέα της τραπεζικής διαχείρισης της προσόδου στενότητας που δεν αξιοποιείται ενδογενώς από την επιχείρηση, βασίζεται στη βεβαιότητα της κατανάλωσης για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ειδικά για τον τομέα της ενέργειας αυτό το «κλείδωμα» της κατανάλωσης μεταφράζεται ως η πρακτική ερμηνεία του πολλαπλασιαστή Lagrange. Μάλιστα, μπορεί να δοθεί ένα συνοπτικό παράδειγμα. Αν σε κάποιο χρονικό διάστημα δημιουργηθούν επενδύσεις οι οποίες λειτουργούν ενεργειακά βάση ενός ορυκτού καυσίμου, τότε η χρήση υδρογονανθράκων εξασφαλίζεται τουλάχιστον μέχρι το χρόνο μηχανολογικής απόσβεσης του κεφαλαίου. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχει από ένα πλήθος επιχειρήσεων μια συνεχής κατάθεση του λογαριασμού της προσόδου στενότητας.

Αυτού του είδους η μικρο-χρηματοδότηση κάθε άλλο παρά εμποδίζει την χρηματοδότηση επενδύσεων μεγάλης κλίμακας, καθότι δίνει τη δυνατότητα συγκέντρωσης όλων των διασπασμένων μικρών λογαριασμών σ' έναν ενιαίο, ο οποίος θα κατευθύνει τους πόρους στην πιο αποδοτική περιβαλλοντικά επένδυση.

3.5.2 Αυτοχρηματοδότηση της ενεργειακής αξίας του χρήματος

Κάθε χρηματική μονάδα εφόσον εκφράζει μετασχηματισμένους φυσικούς πόρους, ενσωματώνει ένα συγκεκριμένο ενεργειακό ποσό, όπως ακριβώς ενσωματώνει και μια εξεργειακή θυσία για την παραγωγή του (Odum, 1995). Η συμπληρωματική τιμή αυτής της χρηματικής μονάδας είναι το ποσό του εξεργειακού αποθέματος που θυσιάστηκε για την παραγωγή αυτής της ενεργειακής ποσότητας.

Η ενεργειακή αξία ανά χρηματική μονάδα ορίζεται από το λόγο $\frac{E}{M}$, δηλαδή της ενεργειακής χρήσης προς το συνολικό χρήμα που κυκλοφορεί στην οικονομία. Με σταθερή ενεργειακή χρήση, όσο μεγαλύτερη είναι η πολλαπλασιαστικότητα του χρήματος, τόσο μικρότερη είναι η ενεργειακή αξία που θα αντιστοιχεί σε κάθε μονάδα του. Αντίστοιχα, ο δείκτης $\frac{M}{E}$, παρουσιάζει την οφειλόμενη απόδοση ενεργειακής αξίας ανά μονάδα χρήματος σε σχέση με κάποια ιδανική ενεργειακή αξία σε παρελθοντικό χρόνο. Με λίγα λόγια, κάθε απόκλιση από ένα συγκεκριμένο ποσό προσφοράς χρήματος το οποίο θεωρείται ιδανικό, σημαίνει πλεονάζουσα ποσότητα κυκλοφορούντος χρήματος, η οποία με σταθερή

ενεργειακή χρήση δεν ανταποκρίνεται πλήρως στην ιδανική ενεργειακή αξία. Θα πρέπει επομένως είτε να μειωθεί η προσφορά χρήματος –γεγονός που απαιτεί πολύπλοκους οικονομικούς χειρισμούς με σημαντικά κοινωνικά κόστη- ή να αυξηθεί η ενεργειακή χρήση –δεδομένου ότι η ποσότητα χρήματος M δεν θα αυξηθεί περαιτέρω.

Τόσο η ενεργειακή αξία, όσο και η οφειλόμενη ενεργειακή αξία, πρέπει να σταθμίζονται βάσει του εξεργειακού κόστους που προκαλούν. Δεν αρκεί μονάχα η ενεργειακή αύξηση, αλλά και ο υπολογισμός της εξεργειακής θυσίας για την ακριβή στάθμιση της καθαρής ενεργειακής αξίας του χρήματος. Αν για παράδειγμα, η ενεργειακή αύξηση οφείλεται κατά 100% σε ΑΠΕ, τότε θα ισχύει το ίδιο και για την ενεργειακή αξία του χρήματος (πλήρης αύξηση της ανά μονάδα αξίας του). Αν όμως η ενεργειακή αύξηση οφείλεται σε χρήση εξεργειακού αποθέματος, η αύξηση θα ισούται κατά ένα συντελεστή α (με $\alpha \in R$) το οποίο υπολογίζεται με λογική εξεργειακής επενδυτικής. Είναι δηλαδή δυνατόν, η ενεργειακή αξία του χρήματος να μειωθεί με την αύξηση της ενεργειακής χρήσης. Αντίστοιχα, η επένδυση σε ΑΠΕ για την αύξηση της ενεργειακής αξίας του χρήματος αποτελεί στην ουσία αυτοχρηματοδότηση της πλήρους αύξησης της αξίας του.

Τα παραπάνω θα μπορούσαν να γραφούν κατά τις παρακάτω ποσοτικές σχέσεις:

$$MEV = \frac{En}{Ex \cdot M},$$

για την καθαρή ενεργειακή αξία του χρήματος και

$$REV = \frac{Ex \cdot M}{En},$$

για την απαιτούμενη απόδοση ενεργειακής αξίας (Requested Energy Value) στο πλεονάζον χρήμα.

Τα παραπάνω έχουν σημασία κατά την απόδοση ενεργειακής αξίας στο πλεονάζον χρήμα. Ειδικότερα, αυτό αφορά στην στάθμιση της ενεργειακής αξίας του πλεονάζοντος χρήματος αναλόγως της φύσης των πραγματοποιούμενων επενδύσεων. Επενδύσεις σε πιο καθαρή τεχνολογία, στην ουσία αποτελούν μείωση των ενσωματωμένων ρύπων, του καταναλισκόμενου εξεργειακού περιεχομένου, άρα και αύξηση της καθαρής ποσοστιαίας ενεργειακής αξίας του χρήματος. Πλέον, το μέτρο αυτό παρέχει χρησιμότητα κατά τη μελέτη της εξέλιξης της τιμής των πολλαπλασιαστών ενέργειας και χρήματος, προκειμένου να πραγματοποιείται το είδος των επενδύσεων, που θα επιτρέπει την διαχρονική διατήρηση της ενεργειακής αξίας του χρήματος.

Κεφάλαιο 4

Ειδικά θέματα οικολογικής χρηματοδοτικής της τεχνολογίας

Ο καλύτερος τρόπος να προβλέψει κανείς το μέλλον, είναι να το εφεύρει...

Alan Key

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθούν προωθημένα θέματα οικολογικής χρηματοοικονομικής της τεχνολογίας. Τα εν λόγω θέματα έχουν επιλεγεί κυρίως βάσει της βαρύτητάς τους για τη δυνατότητα τους να αμβλύνουν -αν όχι να αντιστρέψουν- τα πλανητικά περιβαλλοντικά προβλήματα, αλλά και του περιθωρίου που προσφέρουν στην ανάπτυξη νέων οικονομικών εργαλείων ελέγχου επί αυτών. Η διεθνής βιβλιογραφία για ορισμένα από αυτά τα θέματα είναι εκτενής σε μεμονωμένο επίπεδο, ωστόσο δεν εξυπηρετεί πλήρως τους σκοπούς του κοινωνικού σχεδιαστή που επιχειρεί να αντιμετωπίσει ολιστικά το πρόβλημα.

Κατά συνέπεια, τα ζητήματα που αναλύονται έχουν χωριστεί σε τρεις βασικές κατηγορίες: *α)* θέματα ενεργειακής κλίμακας *β)* θέματα τεχνολογίας υλικών και *γ)* θέματα χρηματοδοτικής των οικοσυστημάτων. Από αυτά τα τρία θέματα, τα δύο πρώτα αποτελούν πιο τεχνικές εισηγήσεις, με δείκτες που εξυπηρετούν στην ακριβή παρακολούθηση των τεχνικοοικονομικών αποδόσεων. Ωστόσο, αποτελούν και επιστέγασμα του τελευταίου, που αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της περιβαλλοντικής χρηματοοικονομικής, ως μια νέα οικονομική ιδέα σύνδεσης της οικονομίας με τις βιοφυσικές αποδόσεις. Με λίγα λόγια, αποτελεί την ποσοτική έκφραση της αντίληψης ότι στην ουσία, πρωταρχική πηγή παραγωγής του ανθρώπινου πλούτου αποτελεί η Φύση.

4.1 Ενεργειακή κλίμακα

Η βασική πηγή περιβαλλοντικών προβλημάτων είναι ο τρόπος μετασχηματισμού της διαθέσιμης ενέργειας από τη Φύση. Οι διεθνείς οργανισμοί (UNEP, WB, IEA) εκπονούν επιχειρησιακά σχέδια με σκοπό την υποκατάσταση των ρυπογόνων πηγών ενέργειας. Ωστόσο, η αποτυχία να επιτευχθεί μια γενικευμένη διεθνής υποκατάσταση μέσω της εύρεσης μιας οικολογικής πηγής ενέργειας μεγάλης ισχύος, μεταφράζεται ως αποτυχία επίτευξης *αποτελεσμάτων κλίμακας*. Συνέπεια των παραπάνω, είναι πως ακόμα και οι πιο αισιόδοξες προβλέψεις να εκτιμούν αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου και γενική επιδείνωση των πλανητικών οικοσυστημάτων

4.1.1 Η έννοια της ενεργειακής κλίμακας

Η *ενεργειακή κλίμακα* παρέχει πληροφορίες σχετικές με το *ανώτατο δυνατό επίπεδο ενεργειακής χρήσης, συναρτήσει του υφιστάμενου ενεργειακού παραδείγματος¹ και του τρέχοντος τεχνολογικού*

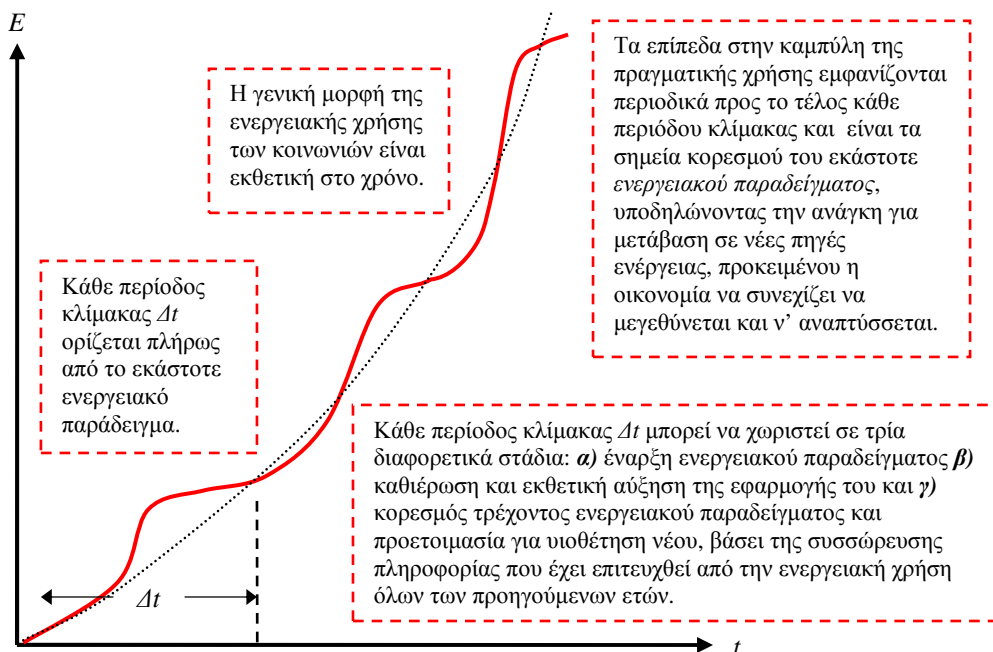
¹ «Ενεργειακό παράδειγμα», κατ' αναλογία με το «επιστημονικό παράδειγμα» του Thomas Kuhn.

επιπέδου. Στην ουσία, ο προσδιορισμός της ενεργειακής κλίμακας χρήσης ανά χρονική περίοδο, εξυπηρετεί στον προσδιορισμό του επιπέδου κορεσμού του εκάστοτε ενεργειακού παραδείγματος.

Η περαιτέρω χρησιμότητα του προσδιορισμού της ενεργειακής κλίμακας είναι πολλαπλή. Δύναται να προσδιορίσει τις μέγιστες καταναλωτικές δυνατότητες ενός εξεργειακού αποθέματος και να προσδιορίσει -βάσει της συνάρτησης του τρέχοντος επιπέδου κατανάλωσης- τα χρονικά περιθώρια που απομένουν για τη μετάβαση (ή εναλλακτικά την αλλαγή ενεργειακού παραδείγματος). Ειδικότερα, δίνει τη δυνατότητα ακριβούς προσδιορισμού του χρόνου της μετάβασης σε συνδυασμό με άλλους οικολογικούς περιορισμούς, ανεξαρτήτως υπερεπάρκειας -η μη- του αποθέματος. Επιπλέον, εξυπηρετεί στον προσδιορισμό των μέγιστων επενδυτικών δυνατοτήτων που απομένουν για το συγκεκριμένο ενεργειακό πρότυπο.

Είναι προφανές ότι τα ζητήματα κλίμακας αφορούν μεγάλες χρονικές περιόδους. Στην ουσία, η ανάλυση κλίμακας αφορά στην εξέταση μεγάλων διαδοχικών περιόδων, οι οποίες διαχωρίζονται από γεγονότα δομικής αλλαγής. Τα γεγονότα δομικής αλλαγής αποτελούν στην ουσία τους παράγοντες στους οποίους οφείλονται οι μεταβάσεις κλίμακας. Τα γεγονότα δομικής αλλαγής αποτελούν τις περιόδους αλλαγής του ενεργειακού παραδείγματος. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα δομικής αλλαγής με εξαιρετικές επιπτώσεις στην ενεργειακή κλίμακα ήταν η βιομηχανική επανάσταση.

Η διαχρονική χρήση ενέργειας από τις ανθρώπινες κοινωνίες, μπορεί να προτυποποιηθεί γενικά από μια εκθετική συνάρτηση. Γύρω από την καμπύλη που εκφράζει αυτή την συνάρτηση, κυμαίνεται η πραγματική ενεργειακή χρήση, η οποία σε κάθε περίοδο παρουσιάζει σημεία στασιμότητας, τα οποία αποτελούν και τα σημεία κορεσμού του εκάστοτε ενεργειακού παραδείγματος. Αυτή η μορφή παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.1: Προτυποποίηση της έννοιας της ενεργειακής κλίμακας στο χρόνο

Στο διάγραμμα, παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ του επιπέδου ενεργειακής χρήσης και του χρόνου. Εντός των μικρότερων περιόδων της εξεταζόμενης κλίμακας, συμβαίνουν όλες οι απαραίτητες διαδικασίες χρηματοδότησης της Έρευνας & Ανάπτυξης για τη μετάβαση σε πιο οικολογικά και αποδοτικά πρότυπα.

Κάθε περίοδος κλίμακας Δt μπορεί να χωριστεί σε τρία διαφορετικά στάδια: **α)** έναρξη ενεργειακού παραδείγματος **β)** καθιέρωση ενεργειακού παραδείγματος και εκθετική αύξηση της εφαρμογής του και **γ)** κορεσμός τρέχοντος ενεργειακού παραδείγματος και προετοιμασία για υιοθέτηση νέου και εισαγωγής σε νέα ενεργειακή κλίμακα, βάσει της συσσωρευμένης πληροφορίας που έχει επιτευχθεί από την ενεργειακή χρήση όλων των προηγούμενων ετών¹.

4.1.2 Ενεργειακή κλίμακα & οικολογική παραγωγή

Τα αποτελέσματα κλίμακας επιτυγχάνονται στην πράξη, ως δυνατότητα εύρεσης μιας οικολογικής πηγής ενέργειας με δυνατότητα εγκατάστασης μεγάλου αριθμού μονάδων παραγωγής. Σ' αυτό το σημείο θα γίνει μια απόπειρα προτυποποίησης πέντε (5) βασικών τύπων μετασχηματισμού της διαθέσιμης ενέργειας: των ορυκτών καυσίμων, της πυρηνικής σχάσης, της πυρηνικής σύντηξης, του υδρογόνου και των λοιπών μορφών ΑΠΕ, ως προς δύο βασικές μεταβλητές τους: **α)** την κλίμακα παραγωγής που ο καθένας μπορεί να προσφέρει και **β)** το βαθμό της δυνητικής οικολογικής παραγωγής. Κάθε μια από τις μεταβλητές λαμβάνει έναν χαρακτηρισμό από *Χαμηλό* έως *Υψηλό*, σ' ένα ορθοκανονικό σύστημα αξόνων, που παρουσιάζεται παρακάτω.

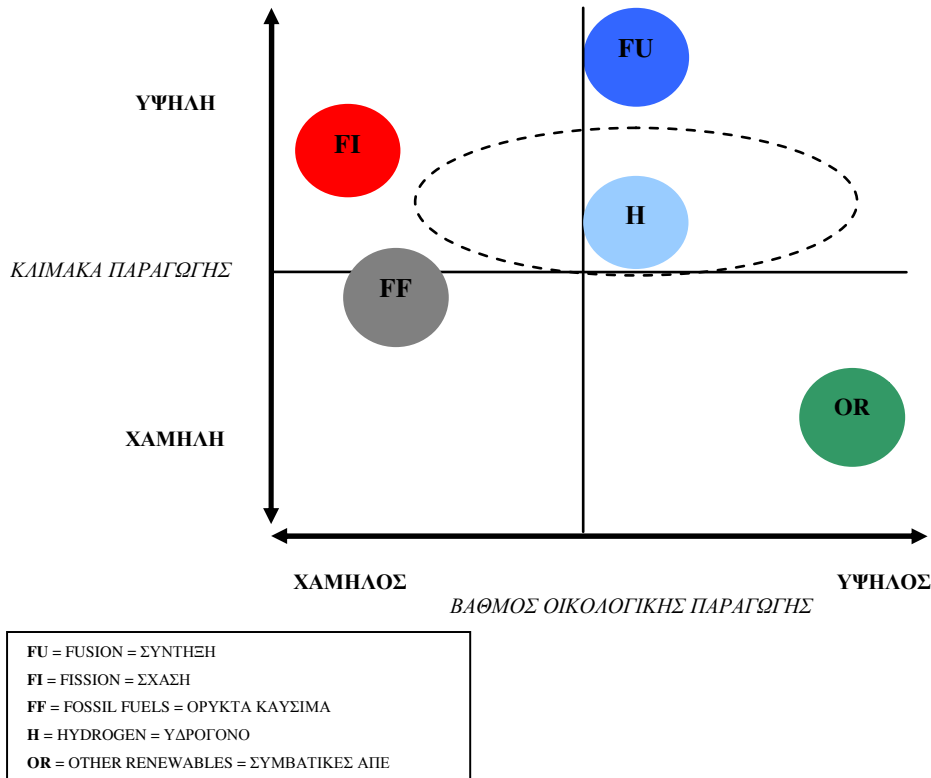
Ο χαρακτηρισμός αυτός έγινε με βάση τέσσερα (4) κριτήρια που εξυπηρετούν, ώστε να αποσαφηνιστεί τι εννοείται ως *Μικρή* και *Μεγάλη* κλίμακα παραγωγής. Αυτά είναι:

1. Το απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο
2. Ο βαθμός της εξειδικευμένης γνώσης που απαιτείται για τη διαχείριση του συγκεκριμένου τύπου ενέργειας
3. Ο βαθμός φυσικής ανανεωσιμότητας της πηγής ή της απαιτούμενης πρώτης ύλης
4. Η διαθεσιμότητα των υλικών κατασκευής των συσκευών μετασχηματισμού

Η προτυποποίηση των σχέσεων για κάθε τύπο ενεργειακού μετασχηματισμού (εξεργειακής πηγής), παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα:

¹ Η κάθε περίοδος κλίμακας, μπορεί στην ουσία να εκφραστεί γενικά από μια λογιστική εξίσωση διαφορών, όπου σε κάθε χρόνο θα ισχύει η σχέση $C_t = aC_{t-1} - \frac{a}{A}C_{t-1}^2$ η οποία στην ουσία προσδιορίζει την ποσότητα

σταθεροποίησης της ενεργειακής χρήσης καθώς και το χρόνο άφιξης σ' αυτή. Η παράμετρος a αποτελεί μια παράμετρο ενεργειακής μεγέθυνσης ενώ η παράμετρος A το εκτιμώμενο συνολικό εξεργειακό απόθεμα που έχει στη διάθεσή της η κοινωνία. Το εκτιμώμενο συνολικό διαθέσιμο εξεργειακό απόθεμα, μπορεί να είναι σταθμισμένο βάσει πληθώρας οικολογικών περιορισμών, όπως η συνολική φέρουσα φυσική ικανότητα για κάθε εκπεμπόμενο ρύπο ανά μονάδα του χρησιμοποιούμενου τύπου εξεργειακού αποθέματος. Η συγκεκριμένη τυπολογία έχει αντληθεί από την Οικολογία καθώς ανάγει τα κοινωνικά φαινόμενα στη γενικότερη οικολογική δυναμική, θεωρώντας τα εξεργειακά αποθέματα -όπως τα ορυκτά καύσιμα και τη φυσική φέρουσα ικανότητα- ως πόρους με συγκεκριμένη διαθεσιμότητα, οι οποίοι επιτρέπουν με τη σειρά τους μια συγκεκριμένη αύξηση και σταθεροποίηση και άλλων μεταβλητών, όπως ο πληθυσμός.



Διάγραμμα 4.2: Η σχέση δυνητικής οικολογικής παραγωγής και ελάχιστης απαιτούμενης κλίμακας

Με βάση τα κριτήρια που έχουν τεθεί, κάθε τεχνολογία έχει λάβει τη θέση της στο παραπάνω σχήμα. Τα ορυκτά καύσιμα και η πυρηνική σχάση λαμβάνουν θέσεις προς τα πάνω αριστερά του διαγράμματος, καθώς και στα τέσσερα κριτήρια απαιτούν πολύ εξειδικευμένες συνθήκες, οι οποίες δεν μπορούν να τηρηθούν σε αποκεντρωμένη βάση. Απαιτούν τόσο πολύ υψηλά αρχικά κεφάλαια, υψηλών προδιαγραφών τεχνικές γνώσεις, και σίγουρα μεγάλη ελάχιστη κλίμακα επένδυσης η οποία για τη σχάση γύρω στα 100MW, ενώ για τα ορυκτά καύσιμα αν και μπορεί να κυμανθεί σε πολύ μικρότερα επίπεδα κάτω των 10MW, η διασπορά της πρώτης ύλης κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα ώστε να απαιτούνται πολλά κεφάλαια για την παραγωγή της, κάτι που καθιστά απαγορευτική τη δημιουργία ενός καθετοποιημένου συστήματος από τον οποιονδήποτε. Από την άλλη πλευρά, ο βαθμός της οικολογικής παραγωγής από αυτές τις πηγές είναι εξαιρετικά περιορισμένος, είτε λόγω εκτεταμένης εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου (ορυκτά καύσιμα), είτε μεγάλης παραμονής μη ανακτήσιμων πυρηνικών αποβλήτων στο υπέδαφος (πυρηνική σχάση).

Για τη σύντηξη μπορούν να γίνουν εκτιμήσεις μόνο σε θεωρητικό επίπεδο, καθώς αυτή αποτελεί τεχνολογία εφαρμόσιμη με χρονικό ορίζοντα όχι νωρίτερα των τριάντα ετών. Η θέση της ως προς τη σχάση είναι πάνω δεξιά, καθώς ενσωματώνει τεράστιες δυνατότητες οικολογικής παραγωγής, με πυρηνικά απόβλητα, τα οποία είναι ανακτήσιμα και διαχειρίσιμα από μια γενεά. Ωστόσο, η κλίμακα παραγωγής κάθε μονάδας είναι εξαιρετικά μεγάλη ώστε η παραγωγή να καθίσταται οικονομική μονάχα όταν ξεπερνά το 1GW. Πλέον, ο χρόνος εγκατάστασης είναι πολύ μεγάλος, γεγονός που μεταφράζεται σε

μεγάλο αρχικό κεφάλαιο εγκατάστασης. Σε σχέση με την πυρηνική σχάση πάντως χαρακτηρίζεται πιο αποκεντρωμένη σε επιμέρους στοιχεία. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη ευκολία της εύρεσης των πρώτων υλών (δευτέριο από το νερό, τρίτιο από λίθιο), καθώς και στο ότι προς το παρόν αποτελεί σχέδιο με δημόσιο χρήμα κι όχι ιδιωτικό.

Στον αντίποδα βρίσκονται οι συμβατικές ΑΠΕ (π.χ. αιολικά, φωτοβολταϊκά, βιομάζα, μικρά υδροηλεκτρικά) οι οποίες χαρακτηρίζονται από χαμηλό αρχικό κόστος επένδυσης, σχεδόν μηδενική σπανιότητα της πρώτης ύλης, δεν απαιτούν πολύ εξειδικευμένες γνώσεις συντήρησης (ειδικά τα φωτοβολταϊκά) ή τουλάχιστον η εκπαίδευση των ατόμων δεν είναι δύσκολη, ενώ η ελάχιστη απαιτούμενη κλίμακα επένδυσης είναι εξαιρετικά μικρή, εφόσον μπορεί να γίνει και σε οικιακή βάση¹. Ωστόσο, η ικανότητα τους για κάλυψη των διεθνών βιομηχανικών αναγκών είναι περιορισμένη, ενώ – προς το παρόν- απαιτούν παράλληλα και πρόσθετες επενδύσεις στον πολεοδομικό και χωροταξικό σχεδιασμό, ώστε να επιτύχουν βέλτιστη απόδοση στον καταναλωτικό τομέα.

Η πιο ενδιαφέρουσα περίπτωση πάντως, είναι αυτή του υδρογόνου. Η μορφή της παραγωγής και της διανομής του υδρογόνου θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό το πόσο συγκεντρωτικό η αποκεντρωτικό θα είναι το μελλοντικό διεθνές ενεργειακό πρότυπο. Η θέση του έχει προσδιοριστεί ακριβώς πάνω δεξιά από την τομή των δυο αξόνων που χαρακτηρίζουν μια μέση κατάσταση και για τις δυο μεταβλητές, υποδεικνύοντας πως τόσο η κλίμακα παραγωγής δύναται να είναι μεγάλη όσο και η βάση αποκεντρωτική. Ωστόσο, αυτή η εκτίμηση θα πρέπει να θεωρηθεί στατική κι όχι δυναμική, καθώς την μελλοντική αγορά του υδρογόνου αναμένεται να χαρακτηρίσουν πολλές ανακατατάξεις μεταξύ μικρών και μεγάλων παραγωγών.

Στην πραγματικότητα μπορεί να οριστεί ένα εύρος θέσεων για όλες τις πιθανές καταστάσεις που είναι πιθανό να χαρακτηρίσουν τη μελλοντική δομή της αγοράς του (διακεκομμένες γραμμές). Το εύρος αυτό τείνει να είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος του άνω και δεξιά, υποδεικνύοντας πως η αποκέντρωση της παραγωγής, δύναται να φτάσει το επίπεδο των συμβατικών ΑΠΕ, ενώ η κλίμακα αυτή των μικρότερων πυρηνικών σταθμών. Η κλίμακα παραγωγής είναι μια επιβεβαιωμένη υπόθεση βασισμένη στην υπάρχουσα τεχνολογία και τις προσδοκίες μετά από 10 έτη. Ωστόσο, ένα μέρος του εύρους επεκτείνεται και στα αριστερά, υπονοώντας την πιθανή ύπαρξη συγκεντρωτικών δομών².

Σ' αυτό το σημείο υπεισέρχεται ένας πολύ σημαντικός προβληματισμός σε σχέση με την κλίμακα της ενεργειακής δυναμικότητας που επιθυμεί να επιτύχει μια κοινωνία. Αυτή αφορά στο συμψηφισμό δύο στοιχείων: **α)** της καθατής ενεργειακής δυναμικότητας και **β)** του κόστους σε ρυπαντικούς όρους (εδώ θα υποθεθεί ισοδυναμία μεταξύ της ρύπανσης και της εντροπίας).

¹ Εξαιρούνται από την ανάλυση τα μεγάλα υδροηλεκτρικά, καθώς παρουσιάζουν μεγάλες ιδιομορφίες (μεγάλο κόστος επένδυσης που μπορεί να φτάσει και το κόστος ενός πυρηνικού αντιδραστήρα, ενώ αμφισβητείται ακόμα και η κατηγοριοποίησή τους στις αμιγώς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, λόγω των καταστροφών που προκαλούν συνήθως στα οικοσυστήματα, και των υψηλών εκλύσεων τους σε CH₄ από τη νεκρή βιομάζα).

² Οι λόγοι για τους οποίους δύναται να συμβαίνει αυτό οφείλονται κατά βάση στις στρατηγικές των επιχειρήσεων που συμμετέχουν στην ολιγοπωλιακή αγορά ενέργειας, και εξηγούνται πιο αναλυτικά στο Παράρτημα 1.

Η υπόθεση βασίζεται στην αντίστροφη σχέση που συνδέει τη ρυπαντικότητα των ενεργειακών πηγών σε σχέση με την ανανεωσιμότητά τους (από την οποία -όπως έχει ειπωθεί- εξαρτάται και το εξεργειακό τους περιεχόμενο, βλ. και διάγραμμα 1.2). Βάσει του διαγράμματος 4.2, προκύπτουν δύο εναλλακτικές επιλογές: **α)** είτε η επένδυση να στοχεύει στην μείωση της ρυπαντικότητας των αποθεματικών πόρων (όπως τα ορυκτά και τα πυρηνικά καύσιμα), ή **β)** η επένδυση να αφορά στην αύξηση της ενεργειακής δυναμικότητας των καθαρών μορφών ενέργειας (όπως είναι οι ανανεώσιμες). Σε καθαρά ενεργειακούς όρους, οι αποθεματικοί πόροι υπερτερούν των ανανεώσιμων, προσφέροντας μεγαλύτερες δυνατότητες μεγέθυνσης στην οικονομία. Ωστόσο, σε όρους καθαρής περιβαλλοντικής λογιστικής, οι ανανεώσιμες μορφές διατηρούν ένα ασύγκριτο πλεονέκτημα.

Από τις παραπάνω ιδιότητες, μπορεί να εξαχθεί ένας δείκτης ισοδύναμης ενεργειακής δυναμικότητας ο οποίος συμψηφίζει τα δύο αυτά αποτελέσματα, ώστε η κοινωνία να έχει μια σαφή εικόνα της κλίμακας του πραγματικού ελλείμματος ενεργειακής δυναμικότητας που πρέπει να καλύψει μέσω επένδυσης σε ενεργειακή Έρευνα & Ανάπτυξη. Ο δείκτης μπορεί να γραφεί ως:

$$EEP = \frac{\frac{W_R}{\sum_{i=1}^m P_{iR}}}{\frac{W_F}{\sum_{i=1}^j P_{iF}}} \Rightarrow EEP = \frac{W_R \sum_{i=1}^j P_{iF}}{W_F \sum_{i=1}^m P_{iR}}, \text{ με } 0 \leq EEP$$

Η τιμή του δείκτη δεν μπορεί να είναι μικρότερη του 0, όπου γενικά θα ισχύουν οι παρακάτω δύο (2) περιπτώσεις:

- Για $0 \leq EEP \leq 1$, τότε υπάρχει έλλειμμα ενεργειακής δυναμικότητας των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. Ακόμα και με το υφιστάμενο κόστος ρύπανσης¹, οι αποθεματικοί πόροι είναι κατά μέσο όρο πιο αποδοτικοί από τους ανανεώσιμους. Η ανανεώσιμη μορφή ενέργειας βρίσκεται ακόμα στην επενδυτική φάση κάλυψης του ενεργειακού χάσματος και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί ακόμη εμπορικά. Η επένδυση για την κάλυψή του χάσματος αφορά στην περαιτέρω Έρευνα & Ανάπτυξη για την αύξηση της ισχύος της, μέχρι του σημείου όπου ο δείκτης αποκτήσει τιμή ίση με τη μονάδα.
- Για $1 \leq EEP$, τότε υπάρχει πλεόνασμα ενεργειακής δυναμικότητας των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. Πλέον, οι ανανεώσιμες μορφές βρίσκονται στην επενδυτική φάση όπου μπορούν να αξιοποιηθούν εμπορικά, καθώς η εξοικονόμηση της ρύπανσης είναι εμφανής. Η περαιτέρω επένδυση πλέον αφορά καθαρά στην αύξηση της ισχύος τους σε σχέση με τους αποθεματικούς πόρους.

Ο δείκτης παρέχει και τη χρησιμότητα της εξέτασης του σταδίου εμπορικής αξιοποίησης της νέας τεχνολογίας σε σχέση με την καθιερωμένη. Πλέον, για την πληρέστερη περιγραφή της αξίας της

¹ Σε μια περαιτέρω εξειδίκευση του τύπου -προσαρμοσμένη για τις κλιματικές αλλαγές- θα ενδιέφερε όχι μόνο η ποσότητα από κάθε ρύπο, αλλά η στάθμισή της με έναν συντελεστή a_i της θερμοχωρητικότητας καθενός από αυτούς, ώστε να εξαχθεί η ακριβής συνεισφορά της κάθε μορφής ενέργειας στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.

επένδυσης, η μεταβλητή των ρύπων πρέπει να συμπεριλαμβάνει όλους τους ρύπους από την έναρξη του κύκλου ζωής της ενεργειακής επένδυσης -ακόμα και αυτούς που αφορούν τους ενσωματωμένους ρύπους για την εγκατάσταση. Μια ολοκληρωμένη εικόνα του παραπάνω τύπου μπορεί να δοθεί αν εισαχθεί στον υπολογισμό και η μεταβλητή του χρόνου. Επομένως, σε συνεχή χρόνο ο δείκτης ισοδύναμης ενεργειακής δυναμικότητας θα γράφεται ως:

$$EEP_T = \frac{\int_0^T \left(W_R \sum_{i=1}^j P_{iF} \right) dt}{\int_0^T \left(W_F \sum_{i=1}^m P_{iR} \right) dt}$$

Όπου για τον σύγκριση της καθαρής ενεργειακής δυναμικότητας σε επιλεγμένο χρονικό διάστημα, θα ισχύουν οι ίδιες αρχές υπολογισμού με το στατικό δείκτη.

4.1.3 Ο ενεργειακός πολλαπλασιαστής

Μια πολύ σημαντική έννοια, άμεσα συνδεδεμένη με αυτήν της ενεργειακής κλίμακας είναι η έννοια του *ενεργειακού πολλαπλασιαστή*. Η μελέτη του ενεργειακού πολλαπλασιαστή προκύπτει από την υπόθεση ότι τα κοινωνικά φαινόμενα χαρακτηρίζονται από μεταβλητές και παραμέτρους, οι οποίες λειτουργούν με τρόπο ενισχυτικό ή μια προς την άλλη. Με λίγα λόγια μπορεί να ειπωθεί πως μεταξύ τους λειτουργούν πολλαπλασιαστικά. Αυτό το πολλαπλασιαστικό αποτέλεσμα των παραμέτρων δεν αποτελεί μια καθαρά θεωρητική υπόθεση. Στην περίπτωση των ενεργειακών επενδύσεων, η αύξηση π.χ. των μονάδων παραγωγής, δεν αναμένεται αυξήσει αναλογικά –βάσει της συνολικής δυναμικότητάς τους- τη συνολική χρήση ενέργειας, αλλά εκθετικά, λόγω της επίδρασης των πρόσθετων συμπληρωματικών επενδύσεων, όπως τα δίκτυα. Για την κατασκευή των δικτύων απαιτείται πρόσθετη ενεργειακή δυναμικότητα, γεγονός που θα τροφοδοτήσει την εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής και νέων βιομηχανικών κλάδων με τελικό αποτέλεσμα την συνολική αύξηση της ενεργειακής χρήσης σε μελλοντικό χρόνο.

Βάσει των παραπάνω, μπορεί να οριστεί η έννοια του *ενεργειακού πολλαπλασιαστή* ως το ποσό των πρόσθετων ενεργειακών μονάδων που δημιουργούνται ενδογενώς ανά μονάδα χρόνου, λόγω της εξωγενούς αύξησης μιας ενεργειακής μονάδας σε αμέσως προηγούμενο χρόνο.

Προκειμένου να έχει νόημα η πολλαπλασιαστική υπόθεση, η ενεργειακή χρήση κάθε έτους μπορεί να γραφεί ως συνάρτηση του προηγούμενου. Η εξωγενής αύξηση μιας μονάδας ενέργειας σε συγκεκριμένο χρόνο θα προκαλέσει μια σειρά αυξήσεων για μια σειρά επόμενων χρόνων. Αυτό που ενδιαφέρει τη μελέτη του πολλαπλασιαστή είναι η απομόνωσή του απ' όλες τις υπόλοιπες επιδράσεις που μπορεί να οδηγούν στην ενεργειακή μεγέθυνση. Είναι δηλαδή δυνατό, η ενεργειακή μεγέθυνση να μην λαμβάνει χώρα μονάχα χάρη στην επίδραση του πολλαπλασιαστή, αλλά σε κύματα εξωγενών ενεργειακών επενδύσεων. Η μελέτη του ενεργειακού πολλαπλασιαστή, αφορά καθαρά στην εξέταση της ενδογενούς δυναμικής που δημιουργεί κάθε αύξηση της συνολικής ενεργειακής χρήσης.

Πλέον, κατά τη μελέτη της επίδρασης της ενεργειακής χρήσης σε οικολογικές παραμέτρους, ενδιαφέρει η κατηγοριοποίηση ανάμεσα σε πεπερασμένες και ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές. Σε επόμενο επίπεδο, η συσχέτιση μεταξύ των πολλαπλασιαστών είναι απαραίτητη προκειμένου να διερευνηθεί το απαιτούμενο επίπεδο ενίσχυσης της Έρευνας & Ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών και περιορισμού των πεπερασμένων.

Κατά συνέπεια, με κατηγοριοποίηση της κάθε πηγής ενέργειας, μπορούν να διακριθούν δύο είδη ενεργειακού πολλαπλασιαστή:

1. Ο εσωτερικός πολλαπλασιαστής, ο οποίος μετρά τη δυναμική της αυτοτροφοδοσίας κάθε μιας από τις ενεργειακές πηγές
2. Ο εξωτερικός πολλαπλασιαστής, ο οποίος μετρά την ισχύ της κάθε πηγής ενέργειας στη συνολική ενεργειακή χρήση

Επομένως, βάσει και του υποδείγματος κατανάλωσης του εξεργειακού αποθέματος της ενότητας

2.3.1, μπορούν να οριστούν τρεις (3) διαφορετικοί πολλαπλασιαστές:

- Ο συνολικός πολλαπλασιαστής ενέργειας, ο οποίος εκφράζει τη μεγέθυνση της συνολικής ενεργειακής χρήσης. Η παράμετρος που εκφράζει αυτή τη μεγέθυνση είναι η ε η οποία μπορεί με τη σειρά της να γραφεί ως:

$$E_t^T = E_0 + \varepsilon E_{t-1}^T$$

όπου ε ο συντελεστής αύξησης της συνολικής ενεργειακής χρήσης.

Κατά συνέπεια, για την συνολική ενεργειακή χρήση E^T , ο μέσος συνολικός πολλαπλασιαστής ορίζεται ως:

$$EM = \frac{1}{1 - \varepsilon}$$

όπου η συνολική ενεργειακή μεγέθυνση θα δίνεται ως:

$$\frac{1}{1 - \varepsilon} dE$$

Στο συγκεκριμένο υπόδειγμα, ο πολλαπλασιαστής μπορεί να θεωρηθεί ως άθροισμα των δύο επόμενων εσωτερικών πολλαπλασιαστών.

- Ο πολλαπλασιαστής κατανάλωσης εξεργειακού αποθέματος, ο οποίος εκφράζει την ενεργειακή μεγέθυνση που οφείλεται στη χρήση εξεργειακού αποθέματος. Η παράμετρος που εκφράζει αυτή τη μεγέθυνση είναι η α η οποία μπορεί με τη σειρά της να γραφεί ως:

$$a_t = a_0 + \alpha a_{t-1},$$

όπου α ο συντελεστής αύξησης της χρήσης του εξεργειακού αποθέματος.

Για την παράμετρο α , ο μέσος εσωτερικός πολλαπλασιαστής ορίζεται ως:

$$CM = \frac{1}{1 - \alpha}$$

όπου η προκαλούμενη μερική ενεργειακή μεγέθυνση θα δίνεται ως:

$$\frac{1}{1-s} da$$

- Ο πολλαπλασιαστής χρήσεως ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή υποπολλαπλασιαστής κατανάλωσης εξεργειακού αποθέματος. Η παράμετρος που εκφράζει αυτή την υπομεγέθυνση είναι η β η οποία μπορεί με τη σειρά της να γραφεί ως:

$$\beta_t = \beta_0 + r\beta_{t-1},$$

όπου r ο συντελεστής αύξησης της χρήσης του εξεργειακού αποθέματος.

Για την παράμετρο β , ο μέσος εσωτερικός πολλαπλασιαστής (υποπολλαπλασιαστής χρήσης εξεργειακού αποθέματος) ορίζεται ως:

$$RM = \frac{1}{1-r},$$

όπου η προκαλούμενη μερική ενεργειακή μεγέθυνση θα δίνεται ως:

$$\frac{1}{1-r} d\beta$$

Όπως έχει αναφερθεί, οι δυο συντελεστές καθορίζουν και το μέσο συνολικό αποτέλεσμα ενεργειακής μεγέθυνσης. Κατά συνέπεια μεταξύ των δύο συντελεστών θα ισχύει:

$$\frac{s+r}{2} = \varepsilon, \text{ με } 0 \leq \varepsilon \leq 1$$

Κατά συνέπεια, η αύξηση της συνολικής ενεργειακής χρήσης, γράφεται ολοκληρωμένα ως:

$$E_t^T = E_0 + \left(\frac{s+r}{2}\right) E_{t-1}^T$$

Ο πολλαπλασιαστής είναι ένα θετικό μέγεθος και για τις τρεις παραμέτρους εφόσον εκφράζει ένα αυξητικό αποτέλεσμα για τη συνολική ενεργειακή χρήση. Για την παράμετρο α είναι εύκολο να γίνει αντιληπτό πως ο πολλαπλασιαστής είναι θετικός διότι ορίζει ένα καθαρά αυξητικό αποτέλεσμα. Ωστόσο, ο ρόλος της παραμέτρου β , ως προς την α είναι αρνητικός. Εφόσον εκφράζει υποκατάσταση και γενικά μείωση της χρήσης ενός εξεργειακού αποθέματος μπορεί να θεωρηθεί πως κατέχει το ρόλο του υποπολλαπλασιαστή της.

Στην ουσία ο ενεργειακός πολλαπλασιαστής δίνει μια αρκετά σαφή κατεύθυνση για την απαιτούμενη κλίμακα επένδυσης προς υποκατάσταση εξεργειακού αποθέματος. Με λίγα λόγια, ορίζει τρεις (3) βασικές οικονομικές παραμέτρους: **α)** τον πολλαπλασιαστή Lagrange μ που σταθμίζει την «περιοριστικότητα» της κάθε ποσοστιαίας μείωσης του εξεργειακού αποθέματος, **β)** την παράμετρο Poisson λ , η οποία ορίζει τη μέση απαιτούμενη συχνότητα άφιξης ευρεσιτεχνιών ανά χρονική μονάδα, ώστε να επιτευχθεί πλήρως και εγκαίρως η τεχνολογική μετάβαση και **γ)** το ύψος της προεξοφλημένης προσόδου στενότητας που πρέπει να πληρωθεί ως λογαριασμός για την αναμενόμενη μελλοντική εξάντληση του αποθέματος.

Από τις παραπάνω παραμέτρους τον σημαντικότερο λογαριασμό πληρωμής των υπηρεσιών της Φύσης συνιστά η πρόσδοδος στενότητας, καθώς οι δύο πρώτες –όπως έχει δειχθεί στο τρίτο κεφάλαιο-

μπορούν να αναχθούν σε χρηματοοικονομικό μέγεθος. Το συνολικό ύψος της προεξοφλημένης προσόδου στενότητας SR ως αύξηση της τιμής του -ανά μονάδα- προϊόντος που θα πρέπει πληρωθεί σε τρέχοντα χρόνο t_0 για την προσδοκώμενη εξάντληση του εξεργειακού αποθέματος θα είναι:

$$SR = \frac{C_0}{A_0} \frac{1}{1-s} (1+i)^{-t}$$

Ο εξωτερικός πολλαπλασιαστής μπορεί να εκφραστεί ως το γινόμενο του εσωτερικού πολλαπλασιαστή με το ποσοστό του κάθε τύπου ενέργειας στη συνολική χρήση.

Κατά συνέπεια, για το εξεργειακό απόθεμα, ο εξωτερικός πολλαπλασιαστής ορίζεται ως:

$$CM = \frac{1}{1-s\sigma}$$

με σ το ποσοστό συμμετοχής στη συνολική ενεργειακή χρήση, όπου $0 \leq \sigma \leq 1$

Για την ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, ο εξωτερικός πολλαπλασιαστής ορίζεται ως:

$$RM = \frac{1}{1-r\rho}$$

με ρ το ποσοστό συμμετοχής στη συνολική ενεργειακή χρήση, όπου $0 \leq \rho \leq 1$

$$\text{όπου, } \sigma + \rho = 1$$

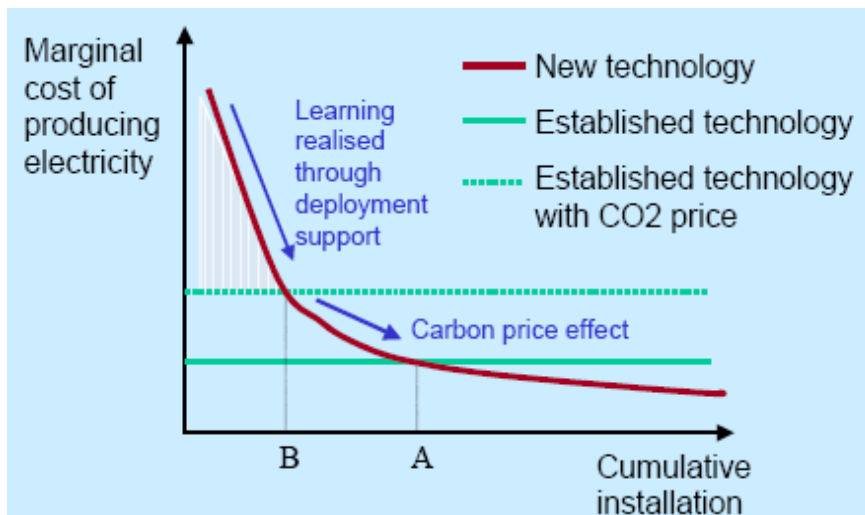
Ο εξωτερικός πολλαπλασιαστής παρέχει μια πολύ πιο ολοκληρωμένη και ακριβή εικόνα της επίδρασης του κάθε τύπου παραγωγής ενέργειας επί της συνολικής χρήσης. Η εξέτασή του παρέχει μεγαλύτερη χρησιμότητα για τη χάραξη μακροοικονομικής ενεργειακής πολιτικής. Ενώ ο εσωτερικός πολλαπλασιαστής παρέχει πληροφορία για την ενδογενή δυναμικότητα ανάπτυξης του κάθε τύπου ενεργειακού μετασχηματισμού, ο εξωτερικός πολλαπλασιαστής συμπεριλαμβάνει και τη βαρύτητα που έχει αυτός ο τύπος στο σύνολο της ενεργειακής χρήσης. Κατά συνέπεια, παρέχει και την πρόσθετη πληροφορία σχετικά με τον χρόνο άφιξης στο ανώτατο σημείο της ενεργειακής κλίμακας.

4.1.4 Τα οικονομικά της τεχνολογικής μετάβασης

Το μεγαλύτερο πρόβλημα της σύγχρονης οικονομικής του περιβάλλοντος αποτελεί η ακριβής αποτίμηση του κόστους των ρύπων, ή γενικευμένα των περιβαλλοντικών εξωτερικοτήτων. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται εστιάζουν κυρίως σε μικροοικονομικά δεδομένα, ενσωματώνοντας αρκετά υποκειμενικά στοιχεία, ενέχοντας κίνδυνο ανακριβούς μέτρησης.

Αντίθετα, σε μακροοικονομική βάση, η βέλτιστη λογική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσέγγιση του συνολικού περιβαλλοντικού κόστους είναι η αποτίμηση κόστους αποκατάστασης βάσει τρέχοντος επιπέδου τεχνολογίας. Με λίγα λόγια, το πραγματικό περιβαλλοντικό κόστος ισούται με το κόστος που η κοινωνία πρέπει να επωμιστεί για να επαναφέρει το περιβάλλον στην αρχική ποιότητά του. Σε περιπτώσεις που δεν μπορεί να το κάνει, τότε η Αρχή της Μέγιστης Ασφάλειας θα πρέπει να τηρείται αυστηρά για το βιοφυσικό κεφάλαιο κρίσιμης σημασίας.

Μια συνδυασμένη οικονομική λογική αποτίμησης των περιβαλλοντικών εξωτερικοτήτων και χρηματοοικονομικής επένδυσης σε Έρευνα & Ανάπτυξη, μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση μεταξύ δυο ανταγωνιστικών τεχνολογιών και να παρασταθεί γραφικά σε απλουστευμένη μορφή, στο επόμενο διάγραμμα (Stern, 2006). Η χρηματοοικονομική επένδυση σε Έρευνα & Ανάπτυξη αφορά κατά βάση την κοινωνική επένδυση της προσόδου στενότητας καθώς και κάθε άλλο πρόσθετο ποσό που μπορεί να συγκεντρώνει το ενδιαφέρον του ιδιωτικού τομέα.



Διάγραμμα 4.3: Τα οικονομικά της τεχνολογικής μετάβασης (Stern, 2006)

Αρχικά, τα συμβατικά κόστη διαμορφώνονται στο ύψος που οι έντονες διακεκομμένες γραμμές συναντούν τον κάθετο άξονα, ώστε η νέα τεχνολογία να εμφανίζεται ως ασύγκριτα πιο ακριβή επιλογή σε σχέση με την κατεστημένη. Αν όμως για μια χρονοσειρά υπολογίζεται και το προσδοκώμενο εξωτερικό κόστος που προκαλεί η λειτουργία της, ενώ παράλληλα, επενδύεται η πρόσσοδος στενότητας στην έρευνα και ανάπτυξη της νέας τεχνολογίας, δημιουργείται επίδραση από δυο αντίθετα αποτελέσματα: *α)* από τη μια το μέσο κόστος της παλαιάς τεχνολογίας αυξάνεται, ενώ *β)* από την άλλη το κόστος της νέας μειώνεται, λόγω της λειτουργίας των λεγόμενων *οικονομιών μάθησης*. Η ένταση των οικονομιών μάθησης θα καθορίσει και την ταχύτητα της πτώσης της τιμής της νέας τεχνολογίας, άρα και του χρόνου υιοθέτησής της. Στην προκειμένη περίπτωση το τελικό αποτέλεσμα, είναι η νέα τεχνολογία να αποδειχθεί πιο φθηνή από την παλαιά σε μικρότερο χρόνο απ' ότι θα γινόταν με συμβατική αποτίμηση.

4.1.5 Ο Διεθνής Πειραματικός Αντιδραστήρας Θερμοπυρηνικής Σύντηξης (ITER)

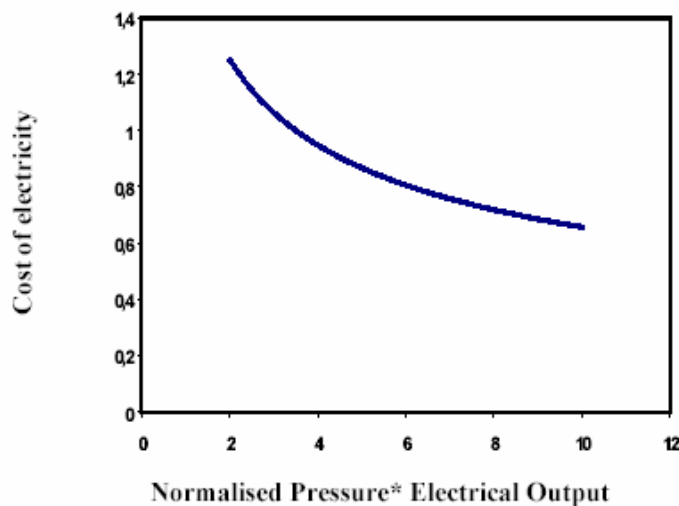
Η περίπτωση ενός υποθετικού εμπορικού αντιδραστήρα θερμοπυρηνικής σύντηξης είναι ιδανική, καθώς αποτελεί την πλέον ανερχόμενη οικολογική τεχνολογία ηλεκτροπαραγωγής μεγάλης κλίμακας. Η ακριβής ανάλυση των στοιχείων ηλεκτροπαραγωγής ενός αντιδραστήρα σύντηξης προς το παρόν δεν είναι εφικτή, καθώς δεν υφίσταται εμπορική εφαρμογή του, αλλά ούτε καν τα πρώτα πειραματικά δεδομένα. Η εκτίμηση των αποδόσεων γίνεται βάσει τεχνικών εξομοιώσεων.

Η πτώση του κόστους ανά μονάδα ισχύος, προέρχεται από τη συνδυασμένη επίδραση δύο (2) βασικών παραμέτρων: **α)** το μέγεθος του αντιδραστήρα που καθορίζει το μέγεθος της καθαρής ηλεκτροπαραγωγής του και **β)** την τιμή της παραμέτρου της κανονικοποιημένης πίεσης β_N , όπου:

$$\beta_N = \frac{P_{in}}{P_{ex}}$$

Οι παραπάνω επιδόσεις μπορούν να αναχθούν στην δεύτερη παράμετρο, καθότι εξαρτώνται από αυτήν. Η κανονικοποιημένη πίεση δίνει τη σχέση μεταξύ της εσωτερικής πίεσης που διατηρεί το πλάσμα προς την άσκηση εξωτερικής πίεσης για να διατηρηθεί η πυκνότητά του. Είναι προφανές πως η άσκηση εξωτερικής πίεσης απαιτεί τη συνεχή διατήρηση παροχής ρεύματος από μια εξωτερική πηγή ενέργειας. Κατά συνέπεια όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο λόγος τόσο πιο οικονομική είναι η λειτουργία του αντιδραστήρα. Διαφορετική τιμή της β_N επιτρέπει διαφορετικό μέγεθος καθαρής ηλεκτροπαραγωγής σε ισομεγέθεις αντιδραστήρες. Σε μελλοντικό χρόνο αυτό ισοδυναμεί με χρήση πολύ μικρότερων αντιδραστήρων με την τωρινή δυναμικότητα ηλεκτροπαραγωγής¹. Αυξάνοντας την τιμή της β_N μειώνεται δραστικά το κόστος της λειτουργίας των ηλεκτρομαγνητών, εφόσον απαιτείται λιγότερη εξωτερική ενέργεια για να συντηρηθεί το πλάσμα.

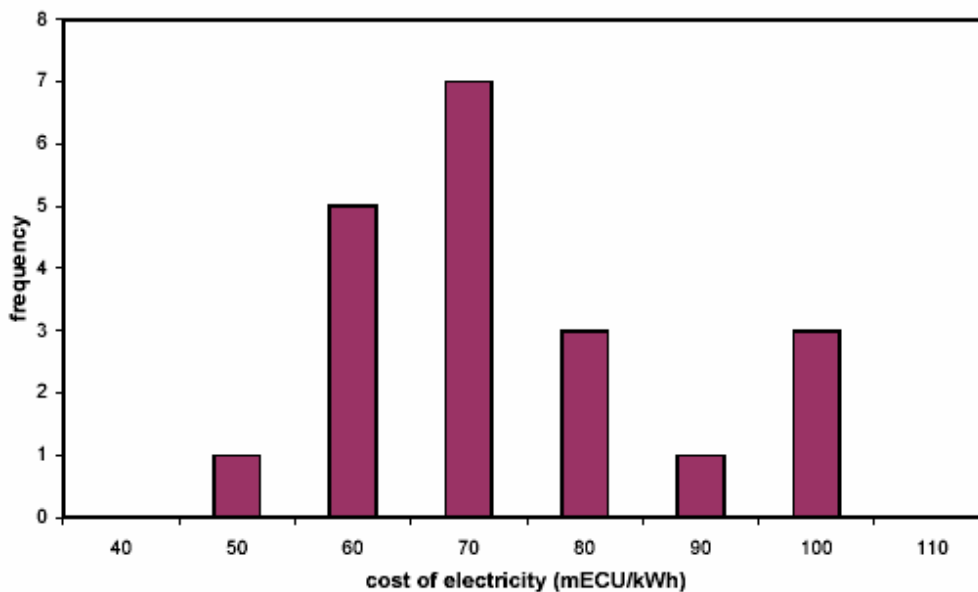
Η πειραματική επίτευξη μιας δεδομένης τιμής της β_N , μπορεί να καθορίσει και το μέγεθος του αντιδραστήρα για δεδομένο προϋπολογισμό, καθώς και τις οικονομίες κλίμακας που αυτός μπορεί να απολαμβάνει. Στο σχήμα 4.4, παρατίθεται η καμπύλη μείωσης του κόστους ηλεκτροπαραγωγής από 1,2 σε 0,8 euros για δεδομένες αυξήσεις της τιμής της κανονικοποιημένης πίεσης από 2% σε 10%.



Διάγραμμα 4.4: Σχέση κόστους και κλίμακας παραγωγής ενός πιθανού εμπορικού αντιδραστήρα σύντηξης (EFDA, 2001)

¹ Αναφέρεται ο μελλοντικός χρόνος, διότι βάσει των τωρινών στοιχείων της έρευνας, για να είναι οικονομική η ηλεκτροπαραγωγή από έναν αντιδραστήρα θερμοπυρηνικής σύντηξης, η ελάχιστη παραγωγή δεν πρέπει να πέφτει κάτω από το 1 GW. Οι περαιτέρω βελτιώσεις που θα προκύψουν μετά τη συνεχή Έρευνα & Ανάπτυξη, αναμένεται να επιτρέψουν και την δημιουργία αντιδραστήρων μικρότερης δυναμικότητας, προκειμένου να αντιμετωπιστεί εν μέρει και το πρόβλημα της υπερβολικής συγκέντρωσης της ηλεκτροπαραγωγής.

Επιπρόσθετα, στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται στην κλίμακα καθαρού κόστους ηλεκτροπαραγωγής 50-100 mECU / kWh (σε συναλλαγματικές ισοτιμίες 1995), η σχετική συχνότητα που παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια 20 επαναλήψεων, για κάθε πιθανή τιμή με δεδομένες τις βασικές παραμέτρους του αντιδραστήρα. Όπως φαίνεται την υψηλότερη συχνότητα εμφάνισε η τιμή των 70 mECU / kWh, με πιθανότητα 35%, ακολουθούμενη από την τιμή των 60 mECU / kWh με πιθανότητα 25%. Με λίγα λόγια, η αθροιστική πιθανότητα το καθαρό κόστος ηλεκτροπαραγωγής από σύντηξη να κυμαίνεται μεταξύ 60-70 mECU / kWh, δηλαδή σε τιμή συγκρίσιμη με το μέσο κόστος ηλεκτροπαραγωγής από τους υπάρχοντες αντιδραστήρες σχάσης ($=0,058\$ / kWh$) είναι 60%. (“Socio-Economic Research on Fusion”, EFDA, 2001).



Διάγραμμα 4.5: Κατανομή πιθανοτήτων κόστους ηλεκτροπαραγωγής ενός μελλοντικού αντιδραστήρα σύντηξης βάσει ενός δεδομένου σεναρίου Έρευνας & Ανάπτυξης (EFDA, 2001)

Σημειώνεται ωστόσο και το εξής: Κατά τη διατύπωση των υποθέσεων του πειράματος, εξαιρέθηκε η υπόθεση ότι πραγματοποιούνται βελτιώσεις παράλληλα σε όλους τους τομείς του αντιδραστήρα, αλλά υποτέθηκε πως οι βελτιώσεις αφορούν μονάχα συγκεκριμένους τομείς, ενώ αποκλείονται κάποιοι άλλοι. Αν ληφθεί υπόψη το πιο αισιόδοξο σενάριο, τότε η μεγαλύτερη πιθανότητα αφορά στην τιμή καθαρής ηλεκτροπαραγωγής των 25 mECU / kWh, δηλαδή το μισό από το ελάχιστο όριο της κλίμακας (“Socio-Economic Research on Fusion”, EFDA, 2001).

4.2 Τεχνολογία υλικών

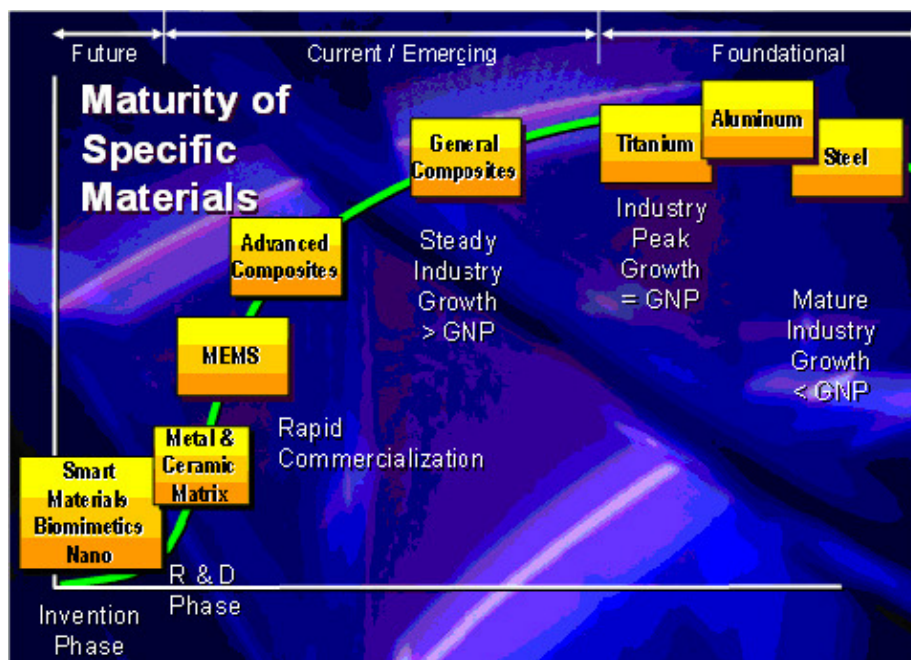
4.2.1 Η εξέλιξη των βιομηχανικών υλικών

Μια εξαιρετικά σημαντική μεταβλητή της τεχνολογίας βάσης, αποτελούν τα βιομηχανικά υλικά. Πέρα από την καθαρή ενεργειακή χρήση, το συνεπαγόμενο εξεργειακό κόστος εξαρτάται σημαντικά από την ικανότητα του κάθε υλικού να βελτιστοποιεί τη μεταφορά ή την απομόνωση κάθε ενεργειακού

σήματος ώστε να ελαχιστοποιείται η εντροπία. Η τεχνολογική ανάπτυξη, αφορά και στην εξέλιξη των υλικών που χρησιμοποιούνται ως βάση για τους βιομηχανικούς μετασχηματισμούς.

Το πρότυπο της εξάντλησης ενός εξεργειακού αποθέματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί –εκτός από την ενεργειακή χρήση- για οποιοδήποτε άλλο πόρο ο οποίος βρίσκεται σε αποθεματική μορφή. Οι κατεξοχήν πόροι που υπάγονται σε μια τέτοια διαδικασία κύκλου προϊόντος (έναρξη χρήσης, έξαρση χρήσης, υποκατάσταση από αποδοτικότερο πόρο) είναι τα βιομηχανικά μέταλλα ως κύρια υλικά των μηχανών μετασχηματισμού της εξέργειας.

Ενδεικτικό αυτής της περίπτωσης είναι το παρακάτω σχήμα που παρουσιάζει μια προτυποποίηση του κύκλου της διαχρονικής χρήσης των βιομηχανικών μετάλλων (The Industrial College of Armed Forces, 2005):



Διάγραμμα 4.6: Ο κύκλος χρήσης των βιομηχανικών μετάλλων
(The Industrial College of Armed Forces, 2005)

Η παραπάνω προτυποποίηση αφορά το επίπεδο ωριμότητας του κάθε υλικού, εκφρασμένη ως συνάρτηση της κλίμακας χρήσης τους ως οικονομικού κλάδου. Κάθε υλικό κατηγοριοποιείται σε μια χρονική φάση ανάλογα με το επίπεδο της χρήσης του. Συγκεκριμένα, το επίπεδο της χρήσης τους εκφράζεται με τη σειρά του ως σχέση μεταξύ του ρυθμού εμπορικής αξιοποίησής τους προς το ρυθμό μεγέθυνσης του ΑΕΠ. Με βάση το παραπάνω διάγραμμα, τα βιομηχανικά υλικά διακρίνονται σε έξι (6) κατηγορίες φάσεων χρήσης:

1. Υλικά σε στάδιο πλήρους ωριμότητας, των οποίων ο ρυθμός εμπορικής αξιοποίησης υπολείπεται του ρυθμού μεγέθυνσης του ΑΕΠ. Αυτά τα υλικά θεωρούνται πως βρίσκονται στο στάδιο πλήρους ωριμότητας, όπου κάθε περαιτέρω Έρευνα & Ανάπτυξη γι' αυτά δεν θεωρείται οικονομική. Κατά συνέπεια, βρίσκονται στο στάδιο της σταδιακής απόσυρσης μέχρι του χρονικού σημείου της πλήρους αντικατάστασής τους.

2. *Υλικά σε στάδιο ακμής*, των οποίων ο ρυθμός εμπορικής αξιοποίησης ισούται με το ρυθμό μεγέθυνσης του ΑΕΠ. Αυτά τα υλικά θεωρούνται πως βρίσκονται στο στάδιο ακμής, όπου η χρήση τους είναι ευρύτατη και θα συνεχίσει να είναι για κάποιο χρονικό διάστημα. Με το πέρας αυτού του διαστήματος και αυτά τα υλικά εισέρχονται στο στάδιο της αντικατάστασης.
3. *Υλικά σε στάδιο σταθερής εμπορικής αξιοποίησης*, των οποίων ο ρυθμός εμπορικής εφαρμογής, ξεπερνά αυτόν του ΑΕΠ. Αυτά τα υλικά πρόκειται να αντικαταστήσουν τα συμβατικά υλικά στο άμεσο μέλλον.
4. *Υλικά σε στάδιο ταχείας εμπορικής αξιοποίησης*, των οποίων ο ρυθμός εμπορικής εφαρμογής, ξεπερνά κατά πολύ αυτόν του ΑΕΠ. Αυτά τα υλικά πρόκειται να αντικαταστήσουν τα συμβατικά υλικά στο μεσοπρόθεσμο μέλλον, και αναμένεται για σημαντικό διάστημα να συνυπάρξουν με αυτά της προηγούμενης κατηγορίας. Ωστόσο η ευρεία εφαρμογή τους αφορά κυρίως περιπτώσεις βιομηχανικών χωρών-ηγετών στην Έρευνα & Ανάπτυξη.
5. *Υλικά σε φάση Έρευνας & Ανάπτυξης*, των οποίων η εμπορική αξιοποίηση δεν υφίσταται στο άμεσο μέλλον. Ωστόσο θεωρούνται αρκετά υποσχόμενα, ώστε να έχουν εξασφαλίσει αρκετή χρηματοδότηση ως μακροπρόθεσμα εμπορικά αξιοποιήσιμα υλικά βιομηχανικής βάσης.
6. *Υλικά σε στάδιο εφεύρεσης*, των οποίων ακόμα και η Έρευνα & Ανάπτυξη βρίσκεται σε βρεφικό στάδιο, καθώς η χρηματοδότησή τους αφορά μονάχα μεμονωμένες περιπτώσεις. Οι προοπτικές τους για οποιαδήποτε εμπορική αξιοποίηση θεωρούνται ακόμα αβέβαιες, αν και αποτελούν τον κορμό των πλέον προωθημένων και επαναστατικών τεχνολογικών ιδεών.

Από την ειδική αυτή κατηγοριοποίηση προκύπτει και ένας γενικότερος διαχωρισμός των βιομηχανικών υλικών σε *συμβατικά*, *ανερχόμενα* και *μελλοντικά*. Οι δύο πρώτες κατηγορίες συνιστούν την κατηγορία των τα συμβατικών υλικών, οι επόμενες τρεις τα ανερχόμενα, ενώ η τελευταία από μόνη της τα μελλοντικά.

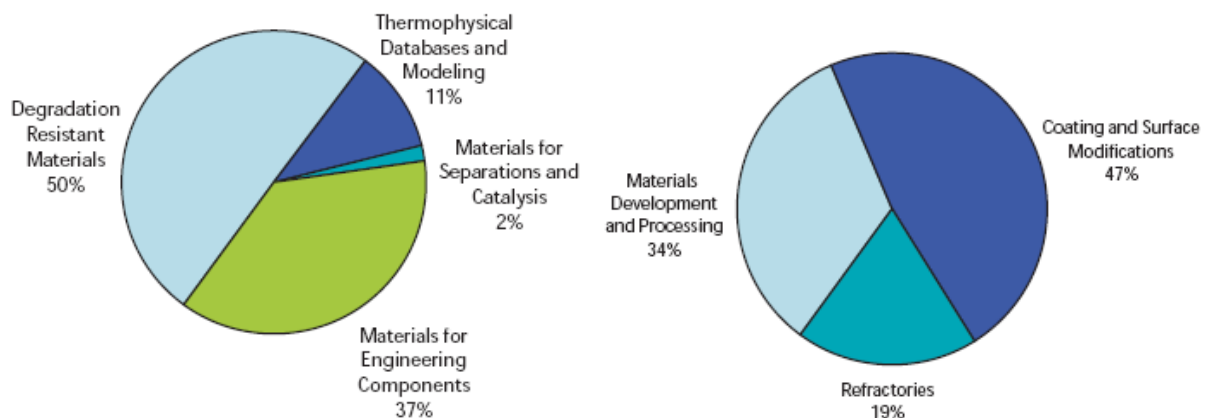
Στην πρώτη φάση ως *συμβατικά* κατηγοριοποιούνται μέταλλα σιδήρου -όπως ο χάλυβας και το αλουμίνιο- τα οποία αποτέλεσαν τον κορμό της βιομηχανικής μεγέθυνσης για πάνω από έναν αιώνα. Η ευρεία αντικατάστασή τους έγινε από το τιτάνιο, ως βιομηχανικό μέταλλο με βελτιωμένες αποδόσεις και μικρότερο βάρος. Σ' αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως η ευρεία βιομηχανική χρήση του τιτανίου αποτελεί τη φυσική εξέλιξη της χρήσης των συμβατικών σιδηρομεταλλευμάτων, καθώς οφείλεται κυρίως στην πτώση του κόστους εξόρυξης και όχι στην δημιουργία κάποιου νέου υλικού που προέκυψε από Έρευνα & Ανάπτυξη. Γι' αυτό, παρόλο που ως βιομηχανικό μέταλλο έχει εξαιρετικά χρήσιμες ιδιότητες, κατατάσσεται στην πρώτη φάση.

Στην φάση των *ανερχόμενων* υλικών κατατάσσονται τα σύνθετα (συμπεριλαμβανομένων και των εξελιγμένων σύνθετων υλικών), τα MEMS και τα κεραμικά. Τα σύνθετα και τα εξελιγμένα σύνθετα αποτελούν τα βιομηχανικά υλικά της επόμενης γενιάς. Αυτά συνιστούν ειδικά μεταλλικά κράματα τα οποία ενσωματώνουν ένα σημαντικό ποσό Έρευνας & Ανάπτυξης και δημιουργήθηκαν με σκοπό ν' αντέχουν στη μακροπρόθεσμη χρήση και τις υψηλές θερμοκρασίες. Αντίστοιχα, σε στάδιο Έρευνας & Ανάπτυξης βρίσκονται τα -πλέον υποσχόμενα- κεραμικά υλικά σε συνδυασμούς με μικροποσότητες

ειδικών μεταλλικών κραμάτων. Η ευρεία χρήση των κεραμικών υλικών, θα σημαίνει και το οριστικό τέλος της εποχής της χρήσης των συμβατικών σιδηρομεταλλευμάτων στη βιομηχανία.

Τέλος, ως μελλοντικά υλικά, χαρακτηρίζονται τα νανοτεχνολογικά και γενικά τα βιομημητικά υλικά. Θεωρητικά, η ενεργειακή αξιοποίηση αυτών των υλικών, πλησιάζει την τελειότητα, καθώς διαθέτουν ιδιότητες αυτοεπιδιόρθωσης και άμεσης αξιοποίησης της ενέργειας του περιβάλλοντος. Ωστόσο, η γενικευμένη χρήση τους δεν προβλέπεται νωρίτερα της πεντηκονταετίας.

Στην παρούσα βιομηχανική περίοδο, τα πλέον ανερχόμενα βιομηχανικά υλικά είναι τα *σύνθετα* και τα *εξελιγμένα σύνθετα*. Η κύρια διαφοροποίησή τους είναι ότι τα πρώτα αξιοποιούνται ευρύτερα, ενώ τα δεύτερα από πιο περιορισμένο κύκλο χωρών που αποτελούν ηγέτες στην Έρευνα & Ανάπτυξη. Το επίπεδο της εμπορικής ωριμότητάς τους είναι τέτοιο, ώστε να μπορούν σε πρώτη φάση να αντικαταστήσουν μαζικά τα συμβατικά βιομηχανικά υλικά όπως ο χάλυβας και το αλουμίνιο, ενώ επιδέχονται περαιτέρω επίπεδα Έρευνας & Ανάπτυξης. Στο επόμενο διάγραμμα, παρουσιάζονται τα ποσοστά χρηματοδότησής τους από το Πρόγραμμα Βιομηχανικών Τεχνολογιών του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ σε σχέση με άλλες δραστηριότητες, καθώς και η δομή της χρηματοδότησης των εξελιγμένων σύνθετων υλικών (Industrial Materials for the Future, 2004).



Διάγραμμα 4.7: (α) Ποσοστά χρηματοδότησης του IMF ανά γενική κατηγορία E&A βιομηχανικών υλικών για το έτος 2004, (β) ποσοστά χρηματοδότησης ανά τομέα Έρευνας & Ανάπτυξης των εξελιγμένων ανθεκτικών βιομηχανικών υλικών (IMF, 2004)

Η κατηγορία των ανθεκτικών στη φθορά εξελιγμένων σύνθετων υλικών, απολαμβάνει το 50% της συνολικής χρηματοδότησης του προγράμματος ενώ ένα επιπλέον 39% αφορά άλλα θέματα τεχνολογίας υλικών, όπως ο διαχωρισμός και η κατάλυση (2%) και υλικά ως βάση (μήτρες) για την κατασκευή άλλων βιομηχανικών υλικών. Περαιτέρω, αυτό το ποσό διασπάται σε τρία (3) μέρη, εκ των οποίων το 47% αφορά την έρευνα για την εξωτερική κάλυψη των υλικών, το 25% έρευνα για κατασκευή δύστηκτων υλικών και 34% για την έρευνα επί των τεχνικών παραγωγής. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως το 33% της συνολικής χρηματοδότησης του προγράμματος, αφορά στις θερμομονωτικές ιδιότητες και την ανθεκτικότητα των εξελιγμένων σύνθετων υλικών. Αυτά τα στοιχεία έχουν άμεση σχέση με την ενεργειακή (και κατά συνέπεια εξεργειακή) εξοικονόμηση.

Το σημαντικότερο συμπέρασμα της παραπάνω ανάλυσης στοιχείων, είναι η αναλογία μεταξύ του υλικού και του βαθμού της περιβαλλοντικής αποτελεσματικότητάς του, σε όρους αξιοποίησης της διαθέσιμης εξέργειας. Τα σιδηρομεταλλεύματα κρίνονται πολύ λιγότερο ικανά σε όρους βάρους, αποτελεσματικότητας της μεταφοράς της ενέργειας, ή σε διακράτηση των θερμοδυναμικών απωλειών, σε σχέση με τα εξελιγμένα συνθετικά και -ακόμη περισσότερο- με τα συνθετικά κεραμικά υλικά, τα οποία είναι ελαφριά, ημιαγώγιμα (ο βαθμός ποικίλει αναλόγως του είδους), και πυρίμαχα¹. Επιπλέον, η συνθετική τους φύση αναμένεται να μειώσει κατακόρυφα τις ανάγκες σε εξορύξεις απ' τη στιγμή που μπορούν να κατασκευαστούν τεχνητά. Κατά συνέπεια, το ίδιο ποσό ενέργειας μπορεί να μεταφερθεί με πολύ λιγότερο κόστος σε όρους εντροπίας.

Το αποκορύφωμα της επανάστασης της τεχνολογίας υλικών, είναι τα νάνο-υλικά και τα βιομιμητικά υλικά. Η ευρείας κλίμακας χρήση τους θα σήμαινε την απελευθέρωση της συντριπτικής πλειονότητας των πόρων που χρησιμοποιούνται σήμερα ως μέσα μεταφοράς της ενέργειας, καθώς χαρακτηρίζονται από δύο στοιχεία: *α*) την πρώτη ύλη για την κατασκευή τους αποτελεί ο άνθρακας, συνεπώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανακυκλώσιμα οργανικά υλικά ως πηγή² *β*) χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά υψηλή ευαισθησία, ακόμα και προς τις πιο χαμηλές -ποιοτικά- μορφές ενέργειας (π.χ. θερμότητα), έχοντας ικανότητα αντίδρασης και αυτοοργάνωσης σε μικροεπίπεδο, αξιοποιώντας σχεδόν πλήρως την λήψη κάθε ενεργειακού σήματος.

4.2.2 Ανακύκλωση

Η ανακύκλωση των υλικών αποτελεί τη δεύτερη όψη του νομίσματος της τεχνολογίας υλικών. Η κατασκευή υλικών που βελτιστοποιούν το διαθέσιμο εξεργειακό περιεχόμενο δεν καθίσταται αρκετή από μόνη της ν' αντιμετωπίσει το πρόβλημα, καθώς δεν εξετάζει ζητήματα οικολογικής άντλησης της πρώτης ύλης για την κατασκευή τους. Είναι πιθανό για ένα επίπεδο υψηλής τρέχουσας περιβαλλοντικής υποβάθμισης, η κλασική τακτική της εξαγωγής πρώτων υλών να εντείνει το πρόβλημα σε κρίσιμο βαθμό, και σε χρόνο πολύ συντομότερο αυτού της εμπορικής εφαρμογής των νέων τεχνολογιών.

Στην ουσία, η ανακύκλωση προκαλεί δύο (2) αποτελέσματα εξοικονόμησης:

- Εξοικονόμηση φυσικού κεφαλαίου
- Εξοικονόμηση φυσικής φέρουσας ικανότητας

Προκειμένου να μετρηθεί η χρησιμότητά της διαδικασίας της ανακύκλωσης είναι απαραίτητη η γνώση της σχέσης μετασχηματισμού μεταξύ του απορρίμματος ως εισροής και του εξαγόμενου προϊόντος ως εκροή. Ο βασικός δείκτης είναι ο *δείκτης επαναμεταποίησης (Recycling Index)*, που δείχνει

¹ Για να κατανοηθεί η θερμό-ανθεκτικότητα αυτών των υλικών, αναφέρεται πως σε περίπτωση επιτυχίας του προγράμματος ITER για την παραγωγή ενέργειας από θερμοπυρηνική σύντηξη, ο θάλαμος πλάσματος του πρώτου εμπορικού αντιδραστήρα DEMO ($T \geq 100.000.000$ Kelvin), πρόκειται να κατασκευαστεί από κεραμικά υλικά, αντί των μετάλλων που θα χρησιμοποιηθούν στον πειραματικό αντιδραστήρα (Βεκίνης, 2006).

² Ενδεικτικά, αναφέρεται, πως ένας νανοσωλήνας μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος κατασκευασμένος από ανακυκλωμένα ελαστικά αυτοκινήτων, έχει καλύτερη απόδοση από ένα καλώδιο χαλκού ίδιου μήκους, και μονάχα στο 1/6 του βάρους του.

το ποσοστό του ανακυκλωμένου προϊόντος το οποίο καταλήγει πάλι στην αγορά. Αυτό ορίζεται ως ο λόγος μεταξύ της μάζας που προκύπτει μετά την ανακύκλωση ως εκροή, προς την αρχική μάζα η οποία αποτέλεσε την εισροή. Ο τύπος είναι:

$$RI = \frac{\sum_{i=1}^n M_i^{out}}{\sum_{i=1}^n M_i^{in}}$$

Εξαιτίας του Β' Νόμου της Θερμοδυναμικής, κατά τη μεταποίηση θα χαθεί ένα μέρος της αρχικής μάζας. Συνεπώς, είναι αδύνατο ο δείκτης να πάρει ποτέ ακριβώς την τιμή 1, αλλά θα κινείται στα όρια $0 < RI < 1$. Επιπλέον, μπορεί να καταλάβει κανείς, ότι ο δείκτης εξαρτάται από το είδος των επαναμεταποιήσεων, ώστε ο δείκτης να μην είναι ίδιος για όλα τα υλικά.

Το πόσες φορές μπορεί να επαναμεταποιηθεί μια μάζα και να εισαχθεί πάλι στην αγορά, δίνεται από τον *Πολλαπλασιαστή Ανακύκλωσης (Recycling Multiplier)*, ο οποίος εκφράζεται από:

$$RM = \frac{1}{1 - RI}$$

Πρόκειται δηλαδή για ένα δυναμικό δείκτη. Όσο πιο κοντά στη μονάδα (1) βρίσκεται ο δείκτης τόσο πιο πολλές φορές μπορεί να ανακυκλωθεί το ίδιο υλικό, παρέχοντας ποσότητες χρήσιμης μάζας. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για την διαχείριση της ανακυκλωμένης μάζας και τη βέλτιστη επιλογή διάθεσής της για επαναμεταποίηση. Αν δηλαδή ένα υλικό πρόκειται να εισαχθεί στην αγορά για να επαναχρησιμοποιηθεί για τον ίδιο ακριβώς σκοπό (π.χ. ένα κουτί αλουμινίου), τότε η ελαχιστοποιείται η απαιτούμενη επεξεργασία του, άρα και οι απώλειες μάζας.

Το -ανά είδος- συνολικό ποσοστό της εξοικονομηθείσας μάζας M_R , έως ότου ο κύκλος των επαναμεταποιήσεων συμπληρωθεί πλήρως¹, δίνεται από τη συνολική ανακυκλωμένη ποσότητα M_i επί τον πολλαπλασιαστή προς το συνολικό απόθεμα της πρώτης ύλης A_i :

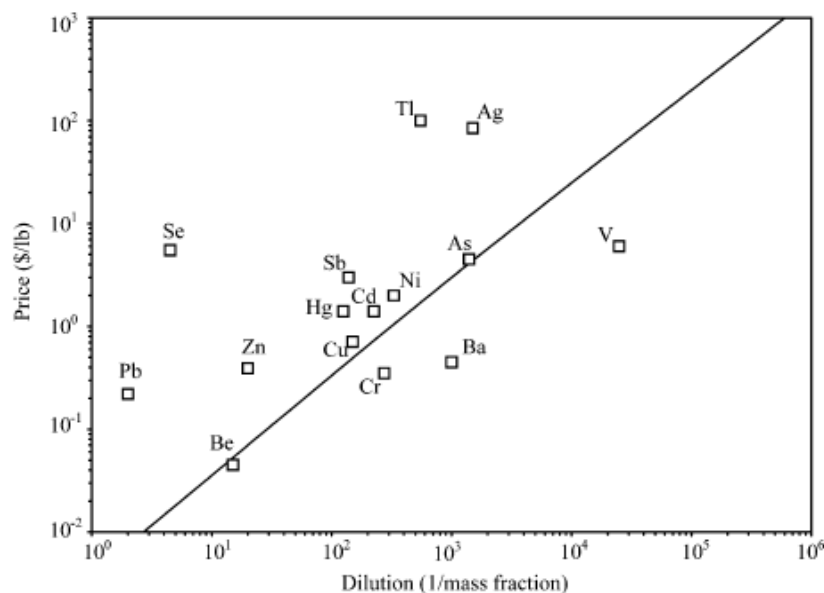
$$M_R = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{1 - RI} \right)_i M_i A_i^{-1}$$

Παράλληλα, ο πολλαπλασιαστής ανακύκλωσης έχει ανάλογη σημασία για την ενεργειακή χρήση. Η ρύπανση απ' τη χρήση ενέργειας για την επαναμεταποίηση, αποτελεί αρνητική συνάρτηση του δείκτη, καθώς όσο πιο κοντά στη μονάδα (1) βρίσκεται ο δείκτης, τόσο μικρότερη είναι και η απαιτούμενη ενεργειακή χρήση σε σχέση με την αρχική. Το αποτέλεσμα του πολλαπλασιαστή ανακύκλωσης δημιουργεί στην ουσία περιορισμούς –ανάλογα με τη βαρύτητα της ανακύκλωσης στη συνολική παραγωγή- στον πολλαπλασιαστή κατανάλωσης εξεργειακού αποθέματος και –κατά συνέπεια- στον συνολικό ενεργειακό πολλαπλασιαστή. Βάσει αυτής της ιδιότητας, η ανακύκλωση δημιουργεί αποτελέσματα εξοικονόμησης εξεργειακού αποθέματος, ενεργειακής κλίμακας και φυσικής φέρουσ.

¹ Δηλαδή μέχρι η αρχική διαθέσιμη ανακυκλώσιμη μάζα του κάθε υλικού να μηδενιστεί λόγω ισχύος του Β' Νόμου της Θερμοδυναμικής κατά τις συνεχείς επαναμεταποιήσεις.

Μια εξαιρετικά σημαντική πτυχή της οικονομικής της ανακύκλωσης, αποτελεί η διαδικασία εξαγωγής χρήσιμων βιομηχανικών μετάλλων από τα βιομηχανικά απόβλητα. Την πτυχή αυτή εξετάζει οικονομικά το Διάγραμμα Sherwood.

Το διάγραμμα Sherwood επιχειρεί να αποσαφηνίσει την παραπλανητική εντύπωση ότι η εν δυνάμει ανακυκλώσιμη μεταλλική μάζα αποτελεί καθαρή συνάρτηση της συνολικής μάζας των αποβλήτων. Σύμφωνα με το διάγραμμα, εξετάζεται οικονομικά η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης συγκεκριμένων βιομηχανικών μετάλλων στο συνολικό ποσό του ρύπου. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.7 (Harper & Graedel, 2004), η οικονομική αξία του πόρου είναι ανάλογη του επιπέδου διάλυσής του στο ρύπο. Οι ρύποι με εξαιρετικά χαμηλό ποσοστό συγκέντρωσης, μπορούν να ανακτηθούν με υψηλό κόστος, κατά συνέπεια γι' αυτούς προτιμάται η τακτική της εξόρυξης. Αντίθετα οι πόροι με υψηλή συγκέντρωση στο ρύπο, μπορούν να ανακτηθούν σε πιο χαμηλή τιμή, κατά συνέπεια ένα μέρος –η και το σύνολο- της ζητούμενης ποσότητας, μπορεί να καλυφθεί από ανάκτηση. Η θετική κλίση του διαγράμματος εκφράζει τη θετική σχέση μεταξύ της ποσοστιαίας διάλυσης του χρήσιμου υλικού στο ρύπο και του κόστους ανάκτησής του.



Διάγραμμα 4.8: Το διάγραμμα Sherwood για τη σχέση κόστους ανάκτησης χρήσιμων μετάλλων - ποσοστό διάλυσής τους σε βιομηχανικά απόβλητα (Harper & Graedel, 2004)

Βάσει του διαγράμματος Sherwood, τα μέταλλα τα οποία βρίσκονται άνω της ευθείας έχουν υψηλό κόστος ανάκτησης, ενώ όσα βρίσκονται κάτω από την ευθεία μπορούν να ανακτηθούν σε χαμηλό κόστος. Η πλειονότητα των περιπτώσεων βρίσκονται σε οριακό στάδιο, ωστόσο υπάρχουν και περιπτώσεις μετάλλων που ενώ η διαλυτότητά τους είναι μικρή, η ανάκτησή τους είναι πολύ ακριβή. Τα μέταλλα που αποτελούν τέτοιες περιπτώσεις είναι το σελήνιο (Se), ο μόλυβδος (Pb), το τελλούριο (Tl) και ο άργυρος (Ag).

Η ανά μονάδα ρύπου διάλυση της μεταλλικής μάζας αποτελεί μια εξελισσόμενη σχέση η οποία επιδέχεται βελτιώσεις μέσω Έρευνας & Ανάπτυξης. Η βελτίωση της οικονομικής σχέσης ανάκτησης

είναι δυνατή με δύο τρόπους: **α)** είτε με αλλαγή της δομής των βιομηχανικών ρύπων, ώστε η «μήτρα» (δηλαδή ο ρύπος) εξαγωγής του μετάλλου να διευκολύνει περισσότερο την ανάκτηση ή **β)** μέσω της καθαυτής Έρευνας & Ανάπτυξης μεθόδων μεγαλύτερης ανάκτησης από τους βιομηχανικούς ρύπους. Στον πίνακα 4.1, είναι δυνατόν να γίνει μια σύγκριση της βελτίωσης της θεωρητικής (μέγιστης δυνατής) ανακτήσιμης ποσότητας ως προς την ελάχιστη αποδεκτή ανακτήσιμη ποσότητα -βάσει του Διαγράμματος Sherwood- εντός μιας οκταετίας, για ομάδα επιλεγμένων μετάλλων.

Πίνακας 4.1: Στοιχεία για το ποσοστό των συνολικών μεταλλικών φορτίων που δύνανται να ανακτηθούν οικονομικά (βάσει του Διαγράμματος Sherwood) από επικίνδυνα βιομηχανικά απόβλητα (Allen & Behmanesh, 1994)

Μέταλλο	Ελάχιστη αποδεκτή (βάσει του Διαγράμματος Sherwood) ανακτήσιμη ποσότητα	Θεωρητικό ποσοστό ανάκτησης (%) το 1994	Ανακτήσιμο ποσοστό (%) το 1986
Sb	0.00405	74-87	32
As	0.00015	98-99	3
Ba	0.0015	95-98	4
Be	0.012	54-84	31
Cd	0.0048	82-97	7
Cr	0.0012	68-89	8
Cu	0.0022	85-92	10
Pb	0.074	84-95	56
Hg	0.00012	99	41
Ni	0.0066	100	0.1
Se	0.0002	93-95	16
Ag	0.000035	99-100	1
Tl	0.00004	97-99	1
V	0.0002	74-98	1
Zn	0.0012	96-98	13

4.3 Δυναμική οικοσυστημάτων

Η συγκεκριμένη ενότητα ασχολείται με τη γενική προτυποποίηση της δυναμικής ανάπτυξης των οικοσυστημάτων, καθώς και την ιδέα της οικονομικής αποτίμησης των υπηρεσιών που παράγονται συναρτήσει της αύξησης της βιομάζας τους (και του ενσωματωμένου εξεργειακού περιεχομένου της). Ως πρότυπο ανάλυσης της μεγέθυνσης των βιολογικών πόρων έχει επιλεγεί μια βασική παραλλαγή της *Λογιστικής Εξίσωσης Διαφορών*¹, πρώτα για την σχετική αναλυτική απλότητά του ως υπόδειγμα, αλλά και για τη δυνατότητά του να παρουσιάζει μια πολύπλοκη δυναμική κατά τη μεταβολή των παραμέτρων του, παρόμοια με αυτή που εμφανίζεται στα πραγματικά οικοσυστήματα.

4.3.1 Γενικά στοιχεία πληθυσμιακής δυναμικής

Ο ρυθμός αναπαραγωγής ενός πληθυσμού σε μια δεδομένη χρονική περίοδο εξαρτάται από το απόθεμα του προηγούμενου χρόνου. Γενικά, η σχέση περιγράφεται ως:

$$X_t = f(X_{t-1})$$

Η γενική μαθηματική μορφή της παραβολής στο εν λόγω υπόδειγμα είναι:

$$X_{t+1} = \alpha_t X_t - \beta X_t^2$$

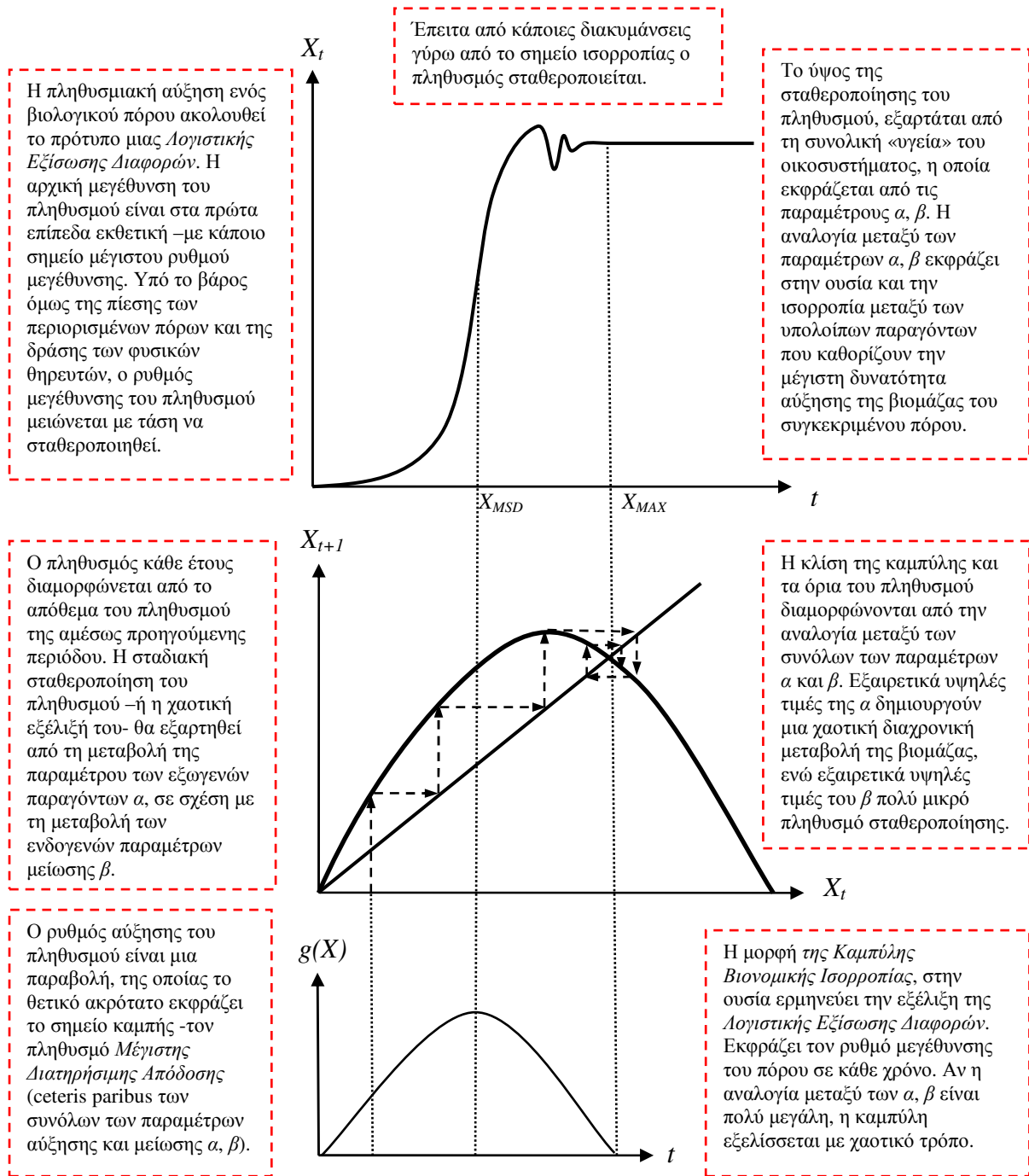
Η οποία σε μορφή προσαρμοσμένη για τα οικολογικά φαινόμενα, γράφεται βάσει του πολλαπλασιαστικού υποδείγματος:

$$X_{t+1} = \prod_{i=1}^n \alpha_{it} X_t - \prod_{i=1}^m \beta_{it} X_t^2$$

Ως X_t θεωρείται το επίπεδο του πληθυσμού σε ένα δεδομένο χρόνο t , και α και β οι παράμετροι που καθορίζουν την κλίση και τα όρια της παραβολής αντίστοιχα, με $\alpha > 0$ και $\beta > 0$. Συγκεκριμένα, το α μπορεί να θεωρηθεί ως μια παράμετρος ποιότητας του βιοτόπου, και το β ως μια παράμετρος θνησιμότητας του πληθυσμού. Οι παράμετροι αυτοί θεωρούνται πως λειτουργούν πολλαπλασιαστικά ως σύνολα -συνθέτοντας μια συνολική παράμετρο- και ανταγωνιστικά μεταξύ τους, τηρώντας μια δεδομένη αναλογία κάθε χρόνο.

Ειδικότερα, οι παράμετροι α εκφράζουν ένα πλήθος από εξωγενείς θετικές μεταβλητές αύξησης του πληθυσμού, όπως ο χώρος, η αφθονία τροφής ή η θερμοκρασία, ενώ οι β ενδογενείς μεταβλητές μείωσης του πληθυσμού όπως η φυσική θνησιμότητα του είδους ή οι φυσικοί θηρευτές. Πλέον, θεωρείται πως τα δυο σύνολα των παραμέτρων α και β δεν συνδέονται με κάποια συναρτησιακή σχέση. Το υπόδειγμα που προκύπτει από τις παραπάνω υποθέσεις, απεικονίζεται γραφικά στο αμέσως επόμενο διάγραμμα:

¹ Η εφαρμογή του υποδείγματος για τους βιολογικούς πόρους, αναπτύχθηκε αρχικά με από τον Αυστραλό φυσικομαθηματικό Robert May, με σκοπό να εξετάσει τη χαοτική συμπεριφορά της πληθυσμιακής δυναμικής των οικοσυστημάτων, σε περίπτωση κάποιες από τις παραμέτρους του υποδείγματος μεταβάλλονταν πάνω από κάποιο επίπεδο. Στη συγκεκριμένη εργασία, γίνεται η προσπάθεια να αποδοθεί και φυσικό νόημα σε κάθε παράμετρο, εκτός από μαθηματικό. Βλέπε, *Nature*, τεύχος 261 (1976), "Simple Mathematical Models with Very Complex Dynamics".



Διάγραμμα 4.9: Η πληθυσμιακή δυναμική ενός βιολογικού πόρου

Οι παράμετροι α και β έχουν πολλαπλό νόημα ως προς τη δυναμική που προσφέρουν ξεχωριστά για δύο βασικά στοιχεία: **α)** το ύψος του πληθυσμού σταθεροποίησης του είδους και **β)** το είδος των διακυμάνσεων του πληθυσμού γύρω από το σημείο ισορροπίας. Για κάθε είδος, τόσο το σύνολο των αβιοτικών, όσο και το σύνολο των βιοτικών παραμέτρων μπορεί να εκφραστεί από τις δυο παραμέτρους. Το ακριβές πρότυπο εξέλιξης του πληθυσμού προς κάποιο σημείο σταθερής ισορροπίας, ή κατά ένα χαοτικό τρόπο, εξαρτάται αυστηρά από την αναλογία των δύο συνόλων.

Ειδικότερα, αβιοτικές παράμετροι όπως ο χώρος, η θερμοκρασία, η ακτινοβολία, το ρυπαντικό φορτίο, η αλατότητα και βιοτικές όπως ο πληθυσμός των υπολοίπων ειδών που μπορούν να αποτελούν πηγή τροφής ή θήραμα για τον συγκεκριμένο βιολογικό πόρο, εκφράζεται από τις παραμέτρους α και β . Αυτές οι ιδιότητες μπορούν να προτυποποιηθούν με τη σειρά τους, ότι συνθέτουν -η κάθε μια ξεχωριστά- ένα επίπεδο βιοχωρητικότητας, όπου το σύνολο αυτών λειτουργεί κατά το πολλαπλασιαστικό πρότυπο.

Σ' αυτή την περίπτωση η ρύπανση μπορεί να ενσωματωθεί ως αβιοτικός και βιοτικός παράγοντας εντός των παραμέτρων α και β . Το πιθανό αποτέλεσμα της εισαγωγής υψηλών ρυπαντικών φορτίων άνω της φυσικής φέρουσας ικανότητας του οικοσυστήματος να τα αποδομεί είναι η σημαντική αλλαγή της συμπεριφοράς της καμπύλης βιονομικής ισορροπίας προς ένα πιο ασταθές πρότυπο, το οποίο θα επηρεάσει μέσω της τροφικής αλυσίδας όλα τα μέρη του οικοσυστήματος.

Πλέον, σε κάθε πληθυσμό υπάρχει ένα ελάχιστο επίπεδο για το οποίο ο πληθυσμός μπορεί να αναπαράγεται. Κάτω απ' αυτό, ο πληθυσμός θεωρείται πως είτε εξαφανίζεται η μεταναστεύει. Για απλοποίηση, γίνεται η υπόθεση ότι ο πληθυσμός αυτός είναι ο μηδενικός (0).

Η ευθεία κλίσης των 45° ($Y=X$), $X_{t+1} = X_t$ χρησιμεύει για την απεικόνιση της «εισόδου» της τιμής του πληθυσμού ενός έτους στην παραβολή, για την διαμόρφωση της τιμής του πληθυσμού στο αμέσως επόμενο έτος. Το σημείο στο οποίο η ευθεία τέμνει την παραβολή είναι εκείνη για την οποία ο πληθυσμός σταθεροποιείται. Αυτό είναι το σημείο της *Ευσταθούς Βιολογικής Ισορροπίας*. Η τιμή της ευσταθούς βιολογικής ισορροπίας δίνεται για:

$$\prod_{i=1}^n \alpha_{it} X_t - \prod_{i=1}^m \beta_{it} X_t^2 = X_t \Rightarrow (\bar{\alpha} - 1)X_t \left[1 - \frac{\bar{\beta}}{(\bar{\alpha} - 1)} X_t \right] = 0$$

Η παραβολή τέμνει την $X_{t+1} = X_t$, για $X_t=0$ και για $X_t = \frac{(\bar{\alpha} - 1)}{\bar{\beta}}$, με $\alpha, \beta > 0$, και $X_t \geq 0$

Για την αποφυγή μιας πολύπλοκης ανάλυσης θα θεωρηθεί πως οι πολλαπλασιαστικές παράμετροι συνθέτουν ένα συνολικό αποτέλεσμα $\prod_{i=1}^n \alpha_{it} X_t = \bar{\alpha}$ και $\prod_{i=1}^m \beta_{it} X_t^2 = \bar{\beta}$ αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω, προκύπτουν οι πρώτες βασικές συνθήκες για τα όρια των τιμών εντός των οποίων οι παράμετροι α και β θα πρέπει να κυμαίνονται. Κατά συνέπεια, πρέπει $\alpha \geq 1$ και $\beta > 0$.

Όμως για να έχει και φυσικό νόημα η τομή της $X_{t+1} = X_t$ με την παραβολή, θα πρέπει να υφίσταται για διαφορετική τιμή του πληθυσμού, εκτός απ' τον μηδενικό. Κατά συνέπεια, εξάγεται και η πρώτη απαραίτητη συνθήκη για την ύπαρξη θετικού πληθυσμού, η οποία αφορά κυρίως την παράμετρο α και είναι:

$$X_t = \frac{(\bar{\alpha} - 1)}{\bar{\beta}}, \text{ με } \alpha > 1 \text{ και } \beta > 0$$

Δηλαδή, για να υπάρχει ευσταθής βιολογική ισορροπία για ένα οποιοδήποτε θετικό μέγεθος πληθυσμού, η παράμετρος που καθορίζει την κλίση της παραβολής, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την κλίση της ευθείας $X_{t+1} = X_t$.

Η ερμηνεία της συμπεριφοράς της δυναμικής ανάπτυξης του πληθυσμού είναι απλή. Για μια οποιαδήποτε αρχική τιμή πληθυσμού $X_0 > 0$ σε χρόνο t , ο πληθυσμός θα αυξάνεται με βάση την εξίσωση της παραβολής, μέχρι το χρονικό σημείο όπου η «είσοδος» τη τιμής του πληθυσμού ενός έτους, αποδίδει ακριβώς τον ίδιο πληθυσμό στο επόμενο, με αποτέλεσμα ο πληθυσμός να σταθεροποιηθεί σε επίπεδο X_{max} .

Η σταθεροποίηση του πληθυσμού στο μέγιστο δυνατό σημείο του, γίνεται υπό συγκεκριμένες αναλογίες των παραμέτρων α και β . Στην ουσία η αναλογία μεταξύ των παραμέτρων προσδιορίζει και το επίπεδο της «υγείας» του οικοσυστήματος, εννοούμενο ως ελαχιστοποίηση των πληθυσμιακών διακυμάνσεων όλων των ειδών που το συνθέτουν.

Κάτω από την παραβολική καμπύλη ανάπτυξης του πληθυσμού, είναι σχεδιασμένη η *Καμπύλη Διατηρήσιμης Απόδοσης*. Η καμπύλη αυτή αποτελεί τον γεωμετρικό τόπο των αυξήσεων g_t κάθε υπάρχοντος αποθέματος πληθυσμού X_t . Μεταξύ αυτών, υπάρχει μια τιμή του αποθέματος, για την οποία η ποσοστιαία αύξηση του πληθυσμού είναι μέγιστη. Αυτό είναι το επονομαζόμενο σημείο *Μέγιστης Διατηρήσιμης Απόδοσης* το οποίο εκφράζει και το σημείο καμπής επί της καμπύλης της λογιστικής εξίσωσης διαφορών. Σ' αυτό το σημείο θα πρέπει να στοχεύει κάθε πολιτική συγκομιδής του πόρου, ώστε η απόδοσή του το επόμενο έτος να είναι η μέγιστη δυνατή. Το εν λόγω απόθεμα, είναι εκείνο για το οποίο η διαφορά μεταξύ της παραβολής και της ευθείας $X_{t+1} = X_t$ είναι μέγιστη.

Κατά συνέπεια:

$$MDA = \text{Max}[(\bar{\alpha}X_t - \bar{\beta}X_t^2 - X_t)] = \text{Max}[(\bar{\alpha} - 1)X_t - \bar{\beta}X_t^2]$$

Η συνάρτηση έχει ακρότατα για τις τιμές του X_t , όπου η πρώτη παράγωγος μηδενίζεται:

$$\frac{\partial f}{\partial X_t} = 0 \Rightarrow f'(X_t) = 0$$

Εφόσον η πρώτη παράγωγος ορίζεται ως:

$$f'(X_t) = \bar{\alpha} - 1 - 2\bar{\beta}X_t$$

Επομένως, ο πληθυσμός *Μέγιστης Διατηρήσιμης Απόδοσης* θα ισούται με:

$$X_{MDA} = \frac{\bar{\alpha} - 1}{2\bar{\beta}}, \text{ με } \alpha > 1, \beta > 0^1$$

Μέσω της ειδικής παραλλαγής της *Λογιστικής Εξίσωσης Διαφορών*, μπορεί να περιγραφεί έμμεσα ένα ολόκληρο οικοσύστημα. Στην ουσία, κάθε πληθυσμός που συντελεί στη σύνθεση ενός οικοσυστήματος, μπορεί να εισαχθεί ως είσοδος στο πρότυπο της πληθυσμιακής αύξησης οποιαδήποτε άλλου πόρου με τον οποίο έχει σχέση. Για παράδειγμα, η διαθέσιμη ποσότητα τροφής (παράμετρος α_1), επί του διαθέσιμου χώρου εύρεσης της (παράμετρος α_2), δημιουργεί ένα δυναμικό αύξησης της βιομάζας

¹ Αυτό το ακρότατο είναι και ολικό μέγιστο, εφόσον η συνάρτηση $f(X_t)$ είναι κοίλη σε όλο το πεδίο ορισμού της, κάτι που δίνεται από την διαρκώς αρνητική β' παράγωγο της: $\partial^2 f / \partial X_t^2 = f''(X_t) = -2\bar{\beta}$, όπου εφόσον $\bar{\beta} > 0$ θα ισχύει $f''(X_t) < 0$ για κάθε X_t .

ενός πόρου. Αυτή η έτοιμη βιομάζα, μπορεί να αποτελεί εισροή αύξησης της βιομάζας για έναν άλλο πόρο ο οποίος είναι θηρευτής του πρώτου, κ.ο.κ.. Κατ' αυτόν τον τρόπο προκύπτουν τόσο οι άμεσες όσο και οι έμμεσες σχέσεις αύξησης της συνολικής βιομάζας και του εξεργειακού περιεχομένου του οικοσυστήματος.

Πλέον, υπάρχει συμβατότητα με τα τρία (3) υποδείγματα ελέγχου της *Μέγιστης Εξεργειακής Υπόθεσης* (η οποία στηρίζεται στα Eutrophication Model, Toxic Substance Model, Stream Model), καθώς και με την άποψη του Ulanowicz για την εφαρμογή της *Αρχής της Μέγιστης Ισχύος* στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης του βιολογικού πόρου, ακολουθούμενη από την *Αρχή της Μέγιστης Εξέργειας* κατά την ωρίμανσή του.

Ειδικότερα, παρατηρείται πως η γενική συμπεριφορά του υποδείγματος της *Λογιστικής Εξίσωσης Διαφορών*, τηρεί αυτές τις προϋποθέσεις. Αρχικά, η ισχύς του οικοσυστήματος είναι υψηλή, κάτι που εκφράζεται από την εκθετική αύξηση του πληθυσμιακού κύκλου εργασιών μέχρι το σημείο της μέγιστης διατηρήσιμης απόδοσης. Στη συνέχεια, η σταθεροποίηση της βιομάζας επιτρέπει στο κάθε είδος να εξελιχθεί βελτιστοποιώντας τις ενεργειακές ροές με το περιβάλλον του. Στην ουσία, η σταθεροποίηση του πληθυσμού συνιστά τη σταθεροποίηση του «κεφαλαίου» πληροφοριών και βιομάζας του συστήματος σε μικρή χρονική κλίμακα, προκειμένου να ξεκινήσει -στη μακροχρόνια κλίμακα- η διαδικασία της εξέλιξης¹.

4.3.2 Έλεγχος οικοσυστημάτων

Ο έλεγχος των οικοσυστημάτων επιτυγχάνεται κυρίως με δύο τρόπους, οι οποίοι δύνανται να διεξάγονται παράλληλα: *α)* μέσω διατήρησης ενός πληθυσμού ασφαλείας και *β)* μέσω της *Αρχής της Ελάχιστης Επέμβασης* στις υπόλοιπες παραμέτρους. Οι δύο τακτικές δύνανται να συγκλίνουν στο βαθμό που οι διατηρήσιμοι πληθυσμοί συντελούν στην συνολική ισορροπία του οικοσυστήματος. Ωστόσο, η *Αρχή της Ελάχιστης Επέμβασης*, είναι στην ουσία η άλλη όψη της *Αρχής της Μέγιστης Ασφάλειας*, με εφαρμογή στην οικολογία.

Η συγκεκριμένη αρχή αφορά στην ελαχιστοποίηση της διαταραχής των αβιοτικών παραμέτρων που καθορίζουν τη συνολική υγεία του συνολικού οικοσυστήματος όπως η ρύπανση. Πλέον, βασίζεται στην υπόθεση ότι ένα βιοφυσικό σύστημα, αν αφεθεί να αναπτυχθεί ελεύθερο από εξωτερικές παρεμβάσεις, θα αναπτυχθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τόσο για τον εαυτό του (ως βιομάζα) όσο και το σύνολο (δηλαδή θα επιτύχει τη βέλτιστη αναλογία ως προς τη βιομάζα του υπόλοιπου οικοσυστήματος).

Η τεχνολογική εξέλιξη στην ουσία συνεισφέρει στο να διαμορφώνονται οι παράμετροι *α*, *β* με όσο το πιο δυνατόν φυσικό τρόπο. Στην πράξη, από τη στιγμή που –όπως έχει οριστεί- η τεχνολογία συνδέεται με την *πληροφορία*, ώστε ο βαθμός υποβάθμισης του φυσικού περιβάλλοντος να καθορίζει και

¹ Ο πληθυσμός σταθεροποίησης, δεν είναι απαραίτητο να είναι ο μέγιστος δυνατός, αλλά ο πληθυσμός του σημείου της μέγιστης διατηρήσιμης απόδοσης μετά τη συγκομιδή, με την προϋπόθεση ότι αυτή παραμένει σταθερή σε κάθε περίοδο. Εναλλακτικά, μπορεί απλά η ανθρώπινη συγκομιδή, να εισαχθεί στο υπόδειγμα ως παράγοντας μείωσης *β*, προκειμένου να συμπεριληφθεί ως επίδραση στη διαμόρφωση του μέγιστου πληθυσμού.

την ποιότητά της, αυτή συνδέεται με την Αρχή της Ελάχιστης Επέμβασης ως αποσύνδεση του τρόπου της μεταφοράς της διαθέσιμης ενέργειας από την περιβαλλοντική εξεργειακή υποβάθμιση.

4.3.2.1 Διατηρησιμότητα συγκομιδής με μηδενικό κόστος, δίχως προεξόφληση

Όπως έχει αναφερθεί, το σημείο της Μέγιστης Διατηρήσιμης Απόδοσης εκφράζει το απόθεμα του πληθυσμού, για το οποίο η ποσοστιαία αύξησή του στον επόμενο χρόνο, είναι η μεγαλύτερη σε σχέση με κάθε άλλο αρχικό απόθεμα. Η συγκομιδή αυτής της αύξησης, δίχως κόστος συγκομιδής, δίχως προεξοφλήσεις (μηδενικό επιτόκιο), και σταθερών όλων των υπολοίπων φυσικών παραγόντων (*ceteris paribus*) του βιοτόπου, είναι η μέγιστη δυνατή που δεν διαταράσσει την ευσταθή βιολογική ισορροπία. Υπό αυτές τις συνθήκες, η μέγιστη συνολική συγκομιδή q_t στο διηνεκές θα δίνεται από:

$$q_t = X_{t_0} - X_{MSD} + \int_{t_1}^{\infty} \left(\prod_{i=1}^n \alpha_{it} X_{MSD} - \prod_{i=1}^m \beta_{it} X_{MSD}^2 \right) dt$$

Όπου t_0 , είναι το πρώτο έτος συγκομιδής της διαφοράς μεταξύ του μεγίστου πληθυσμού X_{max} και του πληθυσμού X_{MDA}^1 , και t , κάθε έτος μεγαλύτερο του t_0 , όπου η συγκομιδή για κάθε έτος, θα ισούται με την μέγιστη διατηρήσιμη απόδοση $g(MDA_t)$. Το δεύτερο σκέλος της εξίσωσης, αποτελεί και το απόθεμα επί του οποίου μπορεί να γίνεται η συγκομιδή σε κάθε χρονική περίοδο. Αυτή η συγκομιδή αποτελεί και τη συγκομιδή ασφαλείας, για την οποία δεν θα απαιτηθεί κανένας ποσοτικός περιορισμός σε μελλοντικό χρόνο -αν αυτή τηρηθεί.

Απ' τη στιγμή που η συγκομιδή των βιολογικών πόρων γίνεται σε εποχιακή βάση, προκειμένου να τηρούνται τα πρότυπα της αναγέννησής τους, η παραπάνω προτυποποίηση μπορεί να γίνει και σε ασυνεχή χρόνο, ώστε:

$$q_t = X_{t_0} - X_{MSD} + \sum_{t_1}^{\infty} \left(\prod_{i=1}^n \alpha_{it} X_{MSD} - \prod_{i=1}^m \beta_{it} X_{MSD}^2 \right), \text{ με } t > t_0$$

4.3.2.2 Έλεγχος οικολογικών παραμέτρων

Όπως έχει οριστεί, ο αριθμός των παραμέτρων αύξησης της βιομάζας του είδους συνθέτει μια συνολική παράμετρο α ώστε:

$$\bar{\alpha} = \prod_{i=1}^n a_{it}$$

Αντίστοιχα, έχει οριστεί κατ' ανάλογο τρόπο το αποτέλεσμα του συνόλου των ενδογενών παραμέτρων μείωσης β ώστε:

$$\bar{\beta} = \prod_{i=1}^m \beta_{it}$$

Ο έλεγχος των παραμέτρων α_i αύξησης του οικοσυστήματος, στηρίζεται ως η διατήρηση της ενιαίας της συνολικής παραμέτρου α :

¹ Γίνεται η υπόθεση πως η συγκομιδή του πληθυσμού ενός διατροφικού πόρου, ξεκινά από το μέγιστο απόθεμά του, κι όχι κάπου ενδιάμεσα.

$$\left| \prod_{i=1}^{n-1} a_i \Delta a_n \right| = \left| \prod_{i=1}^{n-2} \left(\frac{\partial \alpha_{n-2}}{\partial \alpha_n} \right) a_i \left(\frac{\partial \alpha_{n-1}}{\partial \alpha_n} \right) \Delta a_{n-1} \Delta a_n \right|$$

Αντίστοιχα, ομοίως ισχύει και για την συνολική παράμετρο β :

$$\left| \prod_{i=1}^{n-1} \beta_i \Delta \beta_n \right| = \left| \prod_{i=1}^{n-2} \left(\frac{\partial \beta_{n-2}}{\partial \beta_n} \right) \beta_i \left(\frac{\partial \beta_{n-1}}{\partial \beta_n} \right) \Delta \beta_{n-1} \Delta \beta_n \right|$$

Ισχύει, πως για κάθε μεταβολή της κάθε παραμέτρου, πρέπει να υπάρξει μια αντίθετη και ισόποση μεταβολή σε κάποια παράμετρο της ίδιας κατηγορίας. Γι' αυτό το λόγο, οι μεταβολές αφορούν απόλυτα μεγέθη. Αυτή η μεταβολή διαχωρίζεται σε δύο διαφορετικά αποτελέσματα: α) την ενδογενή μεταβολή κάθε άλλης παραμέτρου προς την μεταβολή της n -οστής, η οποία εκφράζει την *δυνατότητα ενδιάμεσης μνήμης* και β) την απαιτούμενη εξωγενή μεταβολή μιας ή περισσότερων παραμέτρων, προκειμένου το δεύτερο αποτέλεσμα να αντισταθμίσει πλήρως το πρώτο, προκειμένου να επιτευχθεί η διατήρηση της σταθερότητας του οικοσυστήματος¹.

4.3.3 Παραγωγή υπηρεσιών από τα πλανητικά οικοσυστήματα

Ορισμένοι βιολογικοί πόροι διατηρούν μια *φέρουσα ικανότητα* να αποδομούν τη ρύπανση – φυσική και ανθρώπινη. Αυτή η ιδιότητα θα πρέπει να θεωρηθεί ως μια υπηρεσία για την οποία το φυσικό περιβάλλον θα πρέπει να απολαμβάνει ένα όφελος. Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στην περίπτωση της προσόδου στενότητας, το φυσικό περιβάλλον δεν μπορεί να πληρωθεί με βάση τις ανθρώπινες συναλλαγές. Η πληρωμή του στην ουσία υφίσταται μέσω της επένδυσης σε τεχνολογική ανάπτυξη. Η πολιτική αυτή είναι απόλυτα συμβατή με την *Αρχή της Ελάχιστης Παρέμβασης*, καθώς τείνει να μην επεμβαίνει στην δυναμική των οικοσυστημάτων, αλλά σε ενδογενείς κοινωνικές παραμέτρους. Ωστόσο, οι αποδόσεις ενός οικοσυστήματος, μπορούν ν' αποτελέσουν είτε το μέτρο σύγκρισης των αποδόσεων της αντιρρυπαντικής τεχνολογίας σε σχέση με τη φυσική φέρουσα ικανότητα ή απλώς το μέτρο του απαιτούμενου ύψους της επένδυσης.

¹ Ωστόσο, όσον αφορά τις παραπάνω παρεμβάσεις θα πρέπει να σημειωθούν τα εξής τέσσερα (4) ζητήματα: α) η γενικευμένη παρέμβαση στις παραμέτρους των οικοσυστημάτων, προϋποθέτει την εξαιρετικά καλή γνώση της αντίδρασής τους και της *δυνατότητας ενδιάμεσης μνήμης* τους. Τα οικοσυστήματα τείνουν να αντιδρούν με μη γραμμικό-ντετερμινιστικό τρόπο. Ειδικότερα, η μεταβολή λόγω *ενδιάμεσης μνήμης* των $n-1$ παραμέτρων που προκαλείται από τη μεταβολή της n , τροφοδοτεί έναν νέο κύκλο μεταβολών, ο οποίος ενδεχομένως να οδηγήσει το οικοσύστημα σε μια εντελώς νέα ισορροπία. Θεωρητικά πάντως, απαιτούνται μικρές εξωγενείς παρεμβάσεις, καθώς το μεγαλύτερο αποτέλεσμα προκαλείται από την ενδογενή αντίδραση του οικοσυστήματος, β) μια τέτοια παρέμβαση, σίγουρα δεν ενδείκνυται σε περιπτώσεις οικοσυστημάτων που βρίσκονται σε οριακή κατάσταση. Αυτή εννοείται ως κατάσταση κατά την οποία η μεταβολή μιας παραμέτρου συνεπάγεται τη δημιουργία μιας χαοτικής εξέλιξης της πληθυσμιακής δυναμικής του πόρου. Κατά συνέπεια, ως πολιτική προστασίας, θα πρέπει να κινείται εντός κάποιων συγκεκριμένων ορίων, γ) η εξωγενής παρέμβαση ενδεχομένως να μην είναι αποτελεσματική όταν το οικοσύστημα βρίσκεται στο στάδιο της *μέγιστης ισχύος*, αλλά στο στάδιο της *μέγιστης εξέργειας*. Η φάση της *μέγιστης ισχύος*, αποτελεί την περίοδο της μεγαλύτερης κινητικότητας των παραμέτρων a και β , καθώς το οικοσύστημα βρίσκεται υπό διαμόρφωση. Συνεπώς, κάθε εξωγενής μεταβολή, πιθανότατα να τείνει να στρεβλώσει τη φυσική ροπή του συστήματος προς την μεγιστοποίηση της βιομάζας και του εξεργειακού περιεχομένου του, δ) γενικά η τακτική της εξωγενούς παρεμβάσεως έρχεται σε αντίθεση με την *Αρχή της Ελάχιστης Επέμβασης*, γι' αυτό και προτείνεται ως έσχατη επιλογή.

Παράλληλα, τα οικοσυστήματα παράγουν πλούτο, εφόσον διατηρώντας έναν ελάχιστο βαθμό ακεραιότητας, μπορούν να δημιουργούν και αναπαράγουν τη μάζα η οποία αποτελεί την πρώτη ύλη για τους ανθρώπινους τεχνικούς μετασχηματισμούς. Η αναπαραγωγή της μάζας σε οικονομικούς όρους μεταφράζεται σε εξοικονόμηση προσόδου στενότητας, άρα και σε αυξημένη οικολογική απόδοση του οικονομικού συστήματος –σε εξεργειακούς όρους- εφόσον η παραγωγή αποσυνδέεται ολόενα και περισσότερο από τη διαρκή άντληση πρώτων υλών, άρα και από τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής.

4.3.4.1 Δυνατότητα Ενδιάμεσης Μνήμης και πολλαπλασιαστής αξίας υπηρεσιών

Ως πρακτική οικονομική εφαρμογή, η παραγωγή πλούτου από τα οικοσυστήματα ενδιαφέρει ως προς το βαθμό σύγκρισης των αποδόσεων του οικονομικού με το βιοφυσικό σύστημα, προκειμένου να πραγματοποιηθεί –η όχι- η *εξεργειακή επένδυση*. Είναι πιθανό, να συμφέρει η διατήρηση ενός οικοσυστήματος, αντί της ανάπτυξης μιας αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Υπό αυτή την έννοια, το επενδυμένο ποσό θα πρέπει να αφορά στη δυναμική του οικοσυστήματος και όχι την διαχρονική εξέλιξη της Έρευνας & Ανάπτυξης.

Η παραγωγικότητα ενός οικοσυστήματος μπορεί να περιγραφεί και βάσει θερμοδυναμικών όρων. Το σύνολο του εξεργειακού περιεχομένου ενός βιολογικού συστήματος, μπορεί να οριστεί θερμοδυναμικά ως το επίπεδο της κινητικότητας των μορίων του (θερμοκρασία) επί την εσωτερική ταξινόμησή τους (αρνητική εντροπία ή πληροφορία). Συνοπτικά, αυτό μπορεί να γραφεί ως:

$$Ex = T_0 \times (-S) \Rightarrow Ex = T_0 \times I$$

Αντίστοιχα, το μέγιστο εξεργειακό απόθεμα της Γης μπορεί να οριστεί κατά συνοπτικό τρόπο ως το γινόμενο της μέσης πυκνότητας της μάζας, της μέσης θερμοκρασίας, της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και της αντίστροφης διαφοράς των θερμοκρασιών της Γης και του Ηλίου:

$$\Delta E_x = M \times T_0 \times W \times \left(\frac{1}{T_{env}} - \frac{1}{T_{sun}} \right)$$

Εξαιρετική σημασία για τις μεταβολές των παραπάνω μεγεθών έχει η *δυνατότητα ενδιάμεσης μνήμης*. Η ενδιάμεση μνήμη ορίζεται ως *το μέτρο της ανταπόκρισης ενός οικοσυστήματος στην αλλαγή των αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων του*. Ειδικότερα, στην περίπτωση των οικοσυστημάτων η ενδιάμεση μνήμη αφορά στην *ικανότητα ενός συστήματος να κατανοεί τις αλλαγές των εξωγενών του παραγόντων και να αντιδρά άμεσα σ' αυτές*. Αυτό ποσοτικοποιεί την ικανότητα ενός οικοσυστήματος να ανταποκρίνεται σε εξωτερικούς παράγοντες. Με λίγα λόγια, εκφράζει το βαθμό κατά τον οποίο το οικοσύστημα τείνει να διατηρεί το εξεργειακό του περιεχόμενο στα υψηλότερα δυνατά επίπεδα. Αυτή είναι μια συνθήκη βελτιστοποίησης για τα οικοσυστήματα. Με μαθηματικούς όρους, αυτό μπορεί να εκφραστεί ως η ανταπόκριση κάθε παραμέτρου α , β στη μεταβολή οποιασδήποτε άλλης. Η γενική τυπολογία της ενδιάμεσης μνήμης είναι:

$$M = \frac{\partial f}{\partial d}$$

όπου f οι παράγοντες της επιβαλλόμενης λειτουργίας και d η κατάσταση απόκλισης του οικοσυστήματος από τη φυσική του κατάσταση.

Με βάση το υπόδειγμα της *Λογιστικής Εξίσωσης Διαφορών*, οι σχέσεις αυτές θα μπορούσαν να παρουσιαστούν συνοπτικά τέσσερις διαφορετικούς συνδυασμούς ως:

- Το μέτρο της ανταπόκρισης μιας παραμέτρου αύξησης του πληθυσμού ai προς τη μεταβολή οποιασδήποτε άλλης παραμέτρου αύξησης aj

$$M_{aiaj} = \frac{\partial \alpha_{it}}{\partial \alpha_{jt}}$$

- Το μέτρο της ανταπόκρισης μιας παραμέτρου αύξησης του πληθυσμού ai προς τη μεταβολή μιας οποιασδήποτε παραμέτρου μείωσης βi

$$M_{ai\beta i} = \frac{\partial \alpha_{it}}{\partial \beta_{it}}$$

- Το μέτρο της ανταπόκρισης μιας παραμέτρου αύξησης του πληθυσμού βi προς τη μεταβολή μιας οποιασδήποτε παραμέτρου αύξησης ai

$$M_{\beta i ai} = \frac{\partial \beta_{it}}{\partial \alpha_{it}}$$

- Το μέτρο της ανταπόκρισης μιας παραμέτρου αύξησης του πληθυσμού βi προς τη μεταβολή οποιασδήποτε άλλης παραμέτρου αύξησης βj

$$M_{\beta i \beta j} = \frac{\partial \beta_{it}}{\partial \beta_{jt}}$$

Στον παρακάτω πίνακα, παρατίθενται κάποια παραδείγματα της ενδιάμεσης δυνατότητας μνήμης. Στη δεύτερη στήλη η κάθε μεταβλητή χαρακτηρίζεται από τη γενική επίδραση που έχει στην πληθυσμιακή δυναμική του οικοσυστήματος¹, θετική ή αρνητική:

Ενδεικτικοί ορισμοί της Δυνατότητας Ενδιάμεσης Μνήμης	Χαρακτηρισμός Ιδιότητας
$M_P = d$ (Εισαγόμενο P) / d (Συγκέντρωση φυτοπλαγκτόν)	Θετική
$M_T = d$ (Θερμοκρασίας) / d (Συγκέντρωση φυτοπλαγκτόν)	Θετική
$M_R = d$ (Ακτινοβολίας) / d (Συγκέντρωση φυτοπλαγκτόν)	Θετική
$M_N = d$ (Εισαγόμενο N) / d (Συγκέντρωση φυτοπλαγκτόν)	Θετική

¹ Σημειώνεται πως κάθε μεταβλητή δυνατότητας μνήμης αποτελεί αρνητικό παράγοντα της αύξησης της βιομάζας του οικοσυστήματος όταν διοχετεύεται σε υπερβολικό βαθμό. Εδώ ο χαρακτηρισμός γίνεται βάσει της αρχικής επίδρασης της μεταβλητής.

$M_T = d$ (Εισαγόμενη τοξική ουσία) / d (Μείωση συγκέντρωσης φυτοπλαγκτόν)	Αρνητική
$M_{BOD} = d$ (Βιοχημική Ζήτηση Οξυγόνου) / d (Μικροβιολογική δραστηριότητα)	Αρνητική

Πίνακας 4.2: Ενδεικτικοί ορισμοί της ιδιότητας της Ενδιάμεσης Μνήμης

Τα στατιστικά αποτελέσματα των τριών υποδειγμάτων (Eutrophication Model, Toxic Substance Model, Stream Model) έχουν αποδώσει τη σχέση μεταξύ του εξεργειακού περιεχομένου και της ενδιάμεσης μνήμης ως:

$$Ex = \sum_{i=1}^n a_i b_i$$

όπου a είναι ο συντελεστής απόκλισης του συστήματος και b η δυνατότητα της ενδιάμεσης μνήμης του. Με λίγα λόγια, η μεταβολή του εξεργειακού περιεχομένου ενός οικοσυστήματος, ορίζεται από την απόκλιση των παραμέτρων του επί το βαθμό προσαρμογής του σ' αυτή.

Η δυνατότητα ενδιάμεσης μνήμης, έχει εξαιρετική σημασία για τον έλεγχο των οικοσυστημάτων και την παραγωγή πλούτου από αυτά. Κάθε μεταβολή στις παραμέτρους του οικοσυστήματος, θα τροφοδοτήσει έναν κύκλο συνεχών μεταβολών, του οποίου η ένταση και η διάρκεια θα εξαρτηθεί από τη σταθερότητα του οικοσυστήματος. Για παράδειγμα, εντός μιας χωρικής έκτασης, αναπτύσσεται ένας αριθμός ειδών. Αν αυτή η έκταση μειωθεί σημαντικά –λόγω υλοτομίας– ώστε πολλοί από τους πληθυσμούς των ειδών να αναγκαστούν να μεταναστεύσουν, η νέα ισορροπία εντός της νέας -μικρότερης πλέον- έκτασης, θα χρειαστεί κάποιο χρόνο προκειμένου να διαμορφωθεί. Κατ' αναλογία, ισχύει το ίδιο και για άλλους παράγοντες της ενδιάμεσης μνήμης, όπως η ακτινοβολία, η θερμοκρασία,

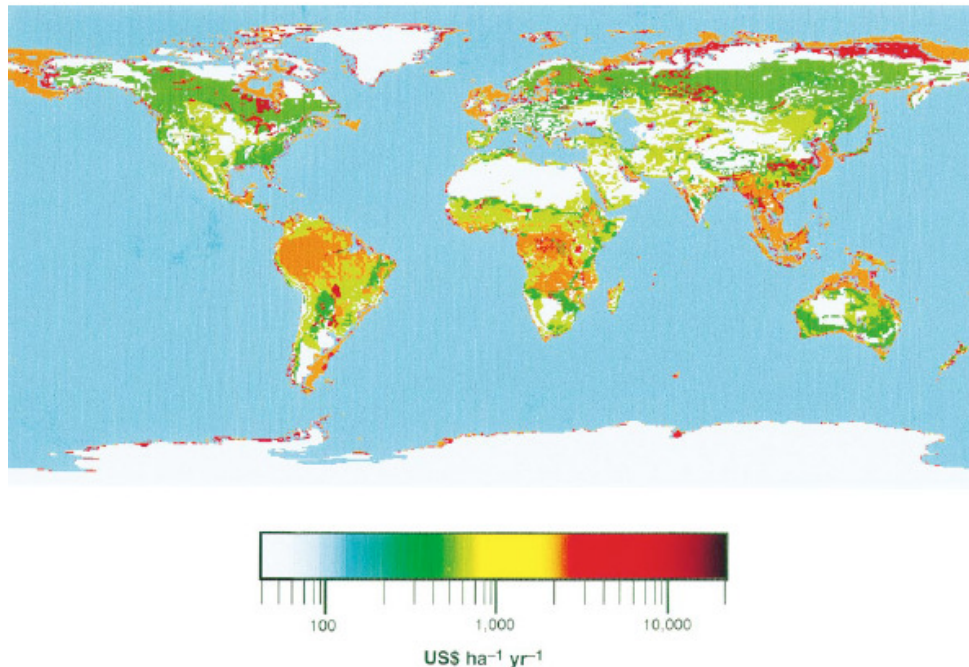
Στα σταθερά οικοσυστήματα ο κύκλος θα τείνει να είναι σύντομος και με μικρές διακυμάνσεις, ώστε η νέα ισορροπία να μην διαφέρει σημαντικά από την παλαιά. Στα ασταθή οικοσυστήματα όμως, οι αλλαγές θα είναι ανεξέλεγκτες, οδηγώντας το σύστημα σε μια χαοτική συμπεριφορά, όπου η επιβίωση των πληθυσμών θα είναι αβέβαιη. Αντίστοιχα, ο κύκλος αυτών των μεταβολών θα τείνει να είναι αρκετά μεγάλος οδηγώντας σε μια εντελώς διαφορετική ισορροπία, με μεγάλη πιθανότητα συνολικής εξάλειψης του οικοσυστήματος.

Οι μεταβολές στην ενδιάμεση μνήμη των παραμέτρων συμβαίνουν παράλληλα. Το αποτέλεσμα της τροφοδοσίας της ενδιάμεσης μνήμης σε κάθε χρονική περίοδο, λειτουργεί ως πολλαπλασιαστής. Το μέγεθός του εξαρτάται από τη νέα ισορροπία που θα διαμορφωθεί στο οικοσύστημα με το κλείσιμο του κύκλου εργασιών της ενδιάμεσης μνήμης. Ο πολλαπλασιαστής αφορά στην ιδιότητα των οικοσυστημάτων να δημιουργούν τη μέγιστη δυνατή βιομάζα κάτω από δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Βάσει της θεωρίας της εξέλιξης, ισχύει ότι στα σταθερά οικοσυστήματα, ο πολλαπλασιαστής τείνει σε κάθε αλλαγή να δημιουργεί ένα μικρό επίπεδο άνω της προηγούμενης ισορροπίας. Ωστόσο, η τελική διαμόρφωση αυτών των μικρών αλλαγών, λαμβάνει χώρα σε μεγάλη χρονική κλίμακα, ώστε να μην είναι άμεσα παρατηρήσιμη.

Από οικονομική άποψη, το μέγεθος του πολλαπλασιαστή ενδιάμεσης μνήμης αφορά στην δυνατότητα παροχής μεγαλύτερου επιπέδου υπηρεσιών από το οικοσύστημα, απ' τη στιγμή που το δυναμικό φυσικής φέρουσας ικανότητας αποτελεί θετική συνάρτηση του αποθέματος βιομάζας. Η οικονομική σημασία του πολλαπλασιαστή ενδιάμεσης μνήμης είναι εξαιρετικά μεγάλη, εφόσον αποτελεί το κόστος ευκαιρίας αποκατάστασης της ρύπανσης με τεχνικά μέσα. Αντί –δηλαδή– της αποκατάστασης της ρύπανσης με απόσπαση και διάθεση ενός μέρους από το συνολικό προϊόν της, η κοινωνία μπορεί να επιλέξει παθητική αποκατάσταση μέσω της λειτουργίας του οικοσυστήματος. Αυτό το κόστος, θεωρούμενο ως μη αξιοποίηση του εξεργειακού αποθέματος, συνιστά το εναλλακτικό κόστος τη δημιουργίας τεχνολογίας αντιρύπανσης.

Μια σχετική μελέτη, όπου επιχειρήθηκε να αποδοθεί οικονομική αξία στις υπηρεσίες που προσφέρει κάθε κατηγορία οικοσυστήματος του πλανήτη έγινε από τους Costanza et al. το 1997. Η μελέτη προσπάθησε να εκτιμήσει βάσει της παραγωγικότητας της βιομάζας των πλανητικών οικοσυστημάτων, την αξία των υλικών και των αύλων υπηρεσιών που απολαμβάνει ο άνθρωπος. Οι υπηρεσίες αυτές αφορούσαν την παραγωγή πρώτης ύλης για τη βιομηχανία, την διεθνή παροχή διατροφικών πόρων, την διατήρηση των κλιματικών ισορροπιών, τη βιοποικιλότητα και την δυνατότητα ψυχαγωγίας. Έπειτα αποτιμήθηκε η φυσική παροχή όλων αυτών των υπηρεσιών ανά εκτάριο γης σε κάθε έτος, με τιμές που ισχύουν σε τρέχουσες τιμές αγοράς για κάθε προϊόν¹.

Η γεωγραφική κατανομή των παραγόμενων αξιών παρουσιάζεται στον παρακάτω χάρτη:



Διάγραμμα 4.10: Γεωγραφική κατανομή της αξίας των υπηρεσιών των οικοσυστημάτων της Γης (Costanza et al., 1997)

¹ Η ακριβής ανάλυση της χρησιμότητας της κάθε κατηγορίας οικοσυστήματος, οι μέθοδοι αποτίμησης και οι παλαιότερες παρόμοιες μελέτες απ' όπου αντλήθηκαν στοιχεία, παρατίθενται στο Παράρτημα 2.

Η συνολική αποτίμηση των υπηρεσιών των πλανητικών οικοσυστημάτων κυμάνθηκε από 18 έως 54 τρις \$. Η διακύμανση αυτή της αποτίμησης είναι εξαιρετικά μεγάλη, ωστόσο εξαρτάται θετικά από το πλήθος των υπηρεσιών βάσει του οποίου το πλανητικό βιοφυσικό σύστημα θεωρείται πως προσφέρει στη διεθνή οικονομία. Αυτή ισοδυναμεί -βάσει μιας μετριοπαθούς αποτίμησης- με οικονομική αξία περίπου ίση με το διεθνές ΑΕΠ του 1997, και τριπλασίου ύψους αυτού σε συνθήκες πιο ολοκληρωμένης αποτίμησης.

Από τη μελέτη παρατηρείται πως οι μεγαλύτερες αξίες παράγονταν στις περιοχές της Νότιας Αμερικής, της Κεντρικής Αφρικής και της Νοτιοανατολικής Ασίας. Η ετήσια αξία των υπηρεσιών των εν λόγω οικοσυστημάτων ανά εκτάριο γης κυμαίνεται από 1000-10000\$ha⁻¹. Πλέον, εξαιρετικά παραγωγικές περιοχές αποτελούν οι πολικές, και συγκεκριμένα τα παράλια της Ανταρκτικής, της Γροιλανδίας, οι βόρειες ακτές της Ρωσίας και ο Βερίγγειος Πορθμός. Η υψηλή αποτίμηση των πολικών περιοχών οφείλεται στο ότι αποτελούν τους κύριους ρυθμιστές του κλίματος. Από την άλλη πλευρά, η αποτίμηση των ερημικών περιοχών και της ενδοχώρας των πολικών δεν ήταν δυνατή ελλείψει σαφών στοιχείων για την παραγωγικότητά τους.

Η υψηλή παραγωγικότητα των παραπάνω περιοχών μπορεί να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα υψηλής δυνατότητας ενδιάμεσης μνήμης. Σ' αυτές τις περιοχές, η ενδιάμεση μνήμη μπορεί να ειπωθεί ως υψηλή κινητικότητα των παραμέτρων του υποδείγματος. Πράγματι, στα τροπικά δάση ο ρυθμός του κύκλου εργασιών ανανέωσης της βιομάζας είναι εξαιρετικά υψηλός με τη μέση παραγωγικότητα άνθρακα (C) να φθάνει τα 900gm²y⁻¹. Αντίστοιχα, οι κοραλλιογενείς ύφαλοι με παραγωγικότητα ίση με αυτή των τροπικών δασών αποτελούν τα γεωγραφικά σημεία συνάντησης και εναλλαγής των ωκεάνιων ρευμάτων, όπου σε πλανητικό επίπεδο παρατηρείται η μεγαλύτερη αφθονία θρεπτικών στοιχείων και συγκέντρωσης πληθυσμών για το σύνολο των ωκεάνιων οικοσυστημάτων.

Από την άλλη πλευρά, τα εύκρατα δάση με οικονομική αξία παραγωγής υπηρεσιών μονάχα από 500\$-1000\$ha⁻¹ διατηρούν ένα επίπεδο μέσης παραγωγικότητας άνθρακα της τάξης των 580gm²y⁻¹ περίπου. Η διαφορά της μέσης παραγωγικότητας άνθρακα σε σχέση με τα τροπικά δάση και τους κοραλλιογενείς υφάλους (περίπου τα 2/3 αυτών) δεν δικαιολογεί την τόσο μειωμένη αξία στην αποτίμηση των υπηρεσιών τους (περίπου το 1/10).

Παρόλαυτά, σ' αυτό το σημείο μπορεί να εντοπιστεί μια σημαντική διαφοροποίηση της *δυνατότητας ενδιάμεσης μνήμης*. Ενώ -για παράδειγμα- στα τροπικά δάση παρατηρούνται πολύ υψηλές τιμές για κάποιους παράγοντες της ενδιάμεσης μνήμης -όπως η θερμοκρασία- οι οποίες ενδεχομένως να ωφελούν στη μεγιστοποίηση της βιομάζας ενός αριθμού ειδών, στις εύκρατες περιοχές επικρατεί μια διαφορετική αναλογία των παραμέτρων της ενδιάμεσης μνήμης η οποία ενδεχομένως να βελτιστοποιεί τις περιβαλλοντικές συνθήκες, εντός των οποίων ευνοείται η μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας ανώτερων βιολογικών ειδών όπως ο άνθρωπος. Αυτή η επίδραση μπορεί να εισαχθεί σε μια ολοκληρωμένη οικονομική αξία, ώστε το σταθμισμένο ποσό της μέσης παραγωγικότητας βιομάζας των εύκρατων περιοχών με την υψηλή δυναμική παραγωγικότητα του ανθρώπου δημιουργεί ένα ανώτερο συνολικό οικονομικό αποτέλεσμα.

Σ' αυτό το σημείο θα πρέπει να δοθεί έμφαση στα εξής ζητήματα: *Πρώτον*, η αξία των υπηρεσιών των πλανητικών οικοσυστημάτων πρέπει να θεωρηθεί εξαιρετικά υποεκτιμημένη, καθώς χρησιμοποιήθηκε συμβατική μεθοδολογία αποτίμησης. Αυτή συνίστατο στην απλή απόδοση τιμών αγοράς –ή στην καλύτερη περίπτωση υποκειμενικών μεθόδων αποτίμησης- στα φυσικά στοιχεία που παράγονται από τη Φύση. Δεν υπήρξε εξειδικευμένη ανάλυση που να περιλαμβάνει ζητήματα δυναμικής πολυπλοκότητας και αλληλεπίδρασης των πλανητικών οικοσυστημάτων –παρόλο που η ιδιότητα αυτή αναφέρεται ρητά- ώστε πολλών ειδών υπηρεσίες να μην συμπεριληφθούν στην συνολική αποτίμηση. *Δεύτερον*, η αξία των υπηρεσιών μιας εξαιρετικά μεγάλης έκτασης του πλανήτη –όπως οι έρημοι και οι ωκεανοί- δεν αποτιμήθηκε λόγω δυσκολίας εύρεσης ακριβών στοιχείων και μεθοδολογίας που θα εξασφάλιζε την ακριβή αποτύπωση της χρησιμότητας αυτών των οικοσυστημάτων. Ωστόσο, και τα δύο είδη οικοσυστήματος παρέχουν πολύ σημαντικές υπηρεσίες στην οικολογική ισορροπία του πλανήτη.

Κλείνοντας αυτή την ενότητα, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια γενική αναφορά προς τις μεθοδολογίες αποτίμησης των φυσικών πόρων, προκειμένου να εντοπιστούν οι σημαντικότερες διαφοροποιήσεις τους. Στις περισσότερες μελέτες αποτίμησης υιοθετείται μια οικονομοκεντρική αντίληψη. Κατά συνέπεια, η αποτίμηση γίνεται είτε με αυτόματη υιοθέτηση τιμών εμπορίου (αγοράς) είτε με μικροοικονομικές υποκειμενικές μεθόδους αποτίμησης (κόστος ταξιδιού, υποθετική αποτίμηση, ηδονιστική μέθοδος). Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως σφάλμα σύγκρισης προς το πραγματικό σύστημα αναφοράς. Ενώ αυτές οι μέθοδοι λειτουργούν καλά σε μικρές συναλλακτικές κλίμακες, ώστε να μπορούν να αποδώσουν καλά αποτελέσματα βελτιστοποίησης μεταξύ ατόμων, αδυνατούν να αντιμετωπίσουν το συνολικό πρόβλημα της υποβάθμισης των πλανητικών οικοσυστημάτων. Με λίγα λόγια, δίνεται έμφαση στα μικροοικονομικά δεδομένα, ενώ αγνοείται η μακρο-κλίμακα των εξεργειακών ροών.

Εντός αυτού του πλαισίου, αναδεικνύεται και η διεθνής κοινωνικοοικονομική πτυχή της Έρευνας & Ανάπτυξης. Μπορεί να υποστηριχθεί πως η αποτελεσματικότητα ενός ολοκληρωμένου οικολογικού-οικονομικού συστήματος στηρίζεται στο να σαφή προσδιορισμό των ελάχιστων τεχνολογικών στόχων σε κλίμακα διεθνούς συνεννόησης, με άφεση της κατανομής των ειδικών αποτελεσμάτων στα μέλη αυτής της συμφωνίας, βάσει των νόμων της αγοράς.

Επίλογος

Η τεχνολογία ως πολιτικό ζήτημα

*Ου το απλώς αγαθόν αιρείται ουδείς, αλλά το αυτώ
(Ουδείς προτιμά το καλό στη γενική έννοια, αλλά ό,τι καλό για τον ίδιο)*

Αριστοτέλης

Το διεθνές οικονομικό σύστημα αποτελεί έναν ογκολιθικό σχηματισμό μετασχηματισμένης μάζας από τη Φύση, με τεράστιες καθημερινές ανάγκες σε εξεργειακές ροές, προκειμένου να συνεχίζει να κινείται. Οι σημερινές προοπτικές υπαγορεύουν πως το μέγεθός του τις προσεχείς δεκαετίες θα είναι ασύλληπτο, ακόμα και για τα σημερινά δεδομένα.

Ειδικότερα, μόνο η διεθνής ηλεκτροπαραγωγή το 2001 ήταν της τάξης των 16 PWh (=16x10¹⁵ Wh), βάσει στοιχείων της Διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας & Ανάπτυξης [International Energy Agency (IEA), Organization for Economic Co-operation & Development (OECD)]. Βάσει προβλέψεων της ίδιας υπηρεσίας, η συνολική χρήση ενέργειας μέχρι το 2030, θα αυξηθεί γύρω στο 50% των σημερινών επιπέδων (World Energy Outlook 2005). Ενδεικτικά, αυτή η ποσότητα είναι πολλαπλάσια των εξεργειακών γεωθερμικών απωλειών από το υπέδαφος ολόκληρης της Γης (=31TW).

Σύνοψη κυρίων συμπερασμάτων: Πλανητική διατηρησιμότητα

Συνοπτικά, το πρόβλημα της *διατηρησιμότητας του πλανήτη* θα μπορούσε να οριστεί από δύο ταυτόχρονες περιοριστικές συνιστώσες: **α)** το πρόβλημα της *διατηρησιμότητας του οικονομικού συστήματος* συνίσταται στο ότι αυτό –με το υπάρχον τεχνολογικό παράδειγμα (χρήση εξέργειας σε αποθεματική μορφή)– στηρίζεται σε πεπερασμένο αποθεματικό το οποίο ανανεώνεται με μικρότερο ρυθμό από αυτόν της ανάλωσής του **β)** το πρόβλημα της *διατηρησιμότητας του βιοφυσικού συστήματος*, συνίσταται στην αυξανόμενη άντληση υψηλού εξεργειακού περιεχομένου ύλης (χαμηλή εντροπία), με την απόρριψη ύλης χαμηλού εξεργειακού περιεχομένου (υψηλή εντροπία), άρα την διαχρονικά μειούμενη ικανότητά του να αποδομεί και να αναπαράγει τάξη.

Τεχνολογική δημοκρατία. Η περίπτωση της ενεργειακής τεχνολογίας

Οι ανθρωπολόγοι Leslie White, Howard Odum, και George Grant MacCurdy, κατέληξαν στην πολύ ενδιαφέρουσα άποψη, ότι η *εξέλιξη των ανθρώπινων κοινωνιών, είναι ένα ιστορικό ταξίδι, του οποίου η διάρκεια καθορίζεται από το κατά κεφαλήν διαθέσιμο προς εκμετάλλευση πόσο ενέργειας*¹.

¹ Βλ., George Grant MacCurdy – “*Human Origins: A Manual of Prehistory*” (1924), Leslie White – “*The Science of Culture: A Study of Man and Civilization*” (1949), και Howard Odum – “*Environment, Power & Society*” (1971)

Αυτή η άποψη θα μπορούσε να επεκταθεί, παράγοντας το συλλογισμό ότι σ' ένα κεντρικό σύστημα διάθεσης της ενέργειας από πεπερασμένα εξεργειακά αποθέματα, ο κεντρικός φορέας ελέγχει την παροχή και τη διάθεσή της, άρα και την εξέλιξη των ανθρώπων που εξαρτώνται απ' αυτή. Αντίθετα, σ' ένα αποκεντρωμένο σύστημα, εύκολης ατομικής πρόσβασης στην διαθέσιμη ενέργεια, κάθε άνθρωπος καθίσταται εν δυνάμει αποκλειστικά υπεύθυνος για την εξέλιξή του...

Κατά συνέπεια, προκύπτει πως ενυπάρχει και μια ισχυρή πολιτική διάσταση στο ζήτημα της ταχύτητας της τεχνολογικής μετάβασης, κάτι που αποτελεί τη ρίζα ενός βαθύτερου πολιτικού προβληματισμού. Ο πυρήνας του είναι πως δημιουργεί τις συνθήκες για την εκκίνηση της συζήτησης για το ζήτημα της *τεχνολογικής δημοκρατίας*, εφόσον αποκαλύπτει πως η ιδιωτική κατοχή της ενεργειακής τεχνολογίας ως επιστημονικό πεδίο γνώσης, αποτελεί ένα πανίσχυρο όπλο πολιτικής διαπραγμάτευσης σε πολλαπλά επίπεδα.

Αν επομένως η δημοκρατία αποτελεί ένα κατοχυρωμένο κανονιστικό πλαίσιο για τη διεξαγωγή των κοινωνικών σχέσεων, γιατί να μην αποτελεί και για τη διεξαγωγή των οικολογικών; Είναι πολύ λογικό να υποτεθεί πως εφόσον η Φύση αποτελεί τον πρωταρχικό παράγοντα άντλησης γνώσης (πληροφορίας) και πλούτου από τον άνθρωπο, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα σύστημα ηθικών αξιών το οποίο να διασφαλίζει τη διάρκεια αυτής της σχέσης για κάθε άνθρωπο πάνω στον πλανήτη.

Υπό αυτές τις συνθήκες, τι επιπτώσεις θα μπορούσε να έχει η εφαρμογή μιας εύκολα αντιγράψιμης τεχνολογίας που θα μπορούσε να εξασφαλίσει άφθονη φθηνή και οικολογική ενέργεια σε κάθε άτομο; Ασφαλώς, η διατηρησιμότητα του βιοφυσικού συστήματος θα μπορούσε να θεωρηθεί δεδομένη. Θα σενέβαινε όμως το ίδιο και με τη διατηρησιμότητα συγκεντρωτικού οικονομικού συστήματος;

Αλλαγή τεχνολογικού παραδείγματος. Προοπτικές

Με βάση τον παραπάνω προβληματισμό, υποστηρίζεται πως ακόμα κι αν κάθε είδους περιβαλλοντικό πρόβλημα εξέλειπε εντελώς, είναι ζήτημα εκούσιας επίδειξης κοινωνικής ευφυΐας και εξέλιξης η διαρκής μετάβαση της ανθρωπότητας στην επινόηση ολοένα και πιο καινοτόμων συσκευών μετασχηματισμού της ενέργειας που λαμβάνεται από τη Φύση.

Ένα τέτοιο τεχνολογικό παράδειγμα, ιδιαίτερα στην περίπτωση που θα ήταν και αποκεντρωτικό, θα οδηγούσε αναπόφευκτα σε σημαντική χαλάρωση των πολιτικών και οικονομικών ιεραρχικών δομών, εφόσον θα έδινε τη δυνατότητα σε κάθε άτομο να παράγει σημαντικό μέρος των ιδίων αναγκών του, μειώνοντας σημαντικά τον όγκο των συναλλαγών του με τα υπόλοιπα. Κατά συνέπεια, η αλλαγή τεχνολογικού παραδείγματος σ' ένα τόσο ζωτικό αγαθό, θα μετέτρεπε ριζικά

Αν επομένως ακόμα και το πολυσυζητημένο θέμα της *διατηρήσιμης ανάπτυξης*, αναγνωρίζεται κατά κόρον ως ζήτημα τεχνολογικής μετάβασης, τότε θα πρέπει να θεωρηθεί αναμενόμενη η αντιπαράθεση μεταξύ των φορέων που επωφελούνται οικονομικά και γεωπολιτικά από την διατήρηση ενός ιεραρχικού διεθνούς συστήματος μετασχηματισμού και κατανομής της διαθέσιμης ενέργειας, και των υπολοίπων αποκεντρωτικών δυνάμεων που έχουν συμφέρον απ' την κατάρρευσή του.

Βέβαια, το ουσιώδες ερώτημα που προκύπτει, είναι το κατά πόσο ο πλανήτης αντέχει μέχρι την επίλυση των ανθρώπινων παιγνίων...

Ωστόσο, όλ' αυτά, δεν μειώνουν τη σημασία της οποιασδήποτε εκκολαπτόμενης τεχνολογικής επανάστασης –ειδικότερα μάλιστα αν εντός των επόμενων δεκαετιών αυτή λάβει περιβαλλοντικό χαρακτήρα. Απλώς υπενθυμίζουν ότι καμία επιστημονική ή τεχνολογική τομή δεν αναιρεί την πρωταρχική ευθύνη του ανθρώπου, σχετικά με τις επιλογές που πρόκειται να καθορίσουν το μέλλον του πλανήτη.

Παράρτημα 1

Παίγνια τεχνολογίας: Ο μονοπωλιακός έλεγχος των ροών της εξέργειας και της τεχνολογικής καινοτομίας

Ο μόνος λόγος που δεν έχουμε ακόμη αυτοκίνητα που να κινούνται με εναλλακτικό τρόπο, είναι πολιτικός...

όχι επιστημονικός

John O' Malley Bockris

Στο εν λόγω παράρτημα θα παρουσιαστούν υποδείγματα τα οποία σχετίζονται με τα διεθνή παίγνια που εφαρμόζονται στη χρηματοδοτική της τεχνολογίας. Επίκεντρο της ανάλυσης αποτελούν τα διεθνή επιχειρηματικά παίγνια τα οποία αποτελούν σε μεγάλο βαθμό τον μηχανισμό ελέγχου της τεχνολογικής εξέλιξης της ανθρωπότητας. Ως φυσικός πόρος αναφοράς ορίζεται η ενέργεια.

Δεδομένου των οξύτατων περιβαλλοντικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο πλανήτης, η Έρευνα & Ανάπτυξη για καθαρή ενεργειακή τεχνολογία θεωρείται ως παράγοντας με σημαντική βαρύτητα. Το παρόν παράρτημα επιζητά να επιστήσει με σαφήνεια την προσοχή του μελετητή στο γεγονός ότι η μετάβαση σ' ένα περιβαλλοντικό παράδεισο -τον οποίο ευαγγελίζονται πολλοί- δεν αναμένεται ν' αποτελέσει μονάχα θέμα τεχνικής αποτελεσματικότητας, αλλά και εισαγωγής στον λαβύρινθο των πολιτικών ελιγμών. Μάλιστα η βαρύτητα των πολιτικών ελιγμών ενδεχομένως να καθορίσει σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό το μέγεθος και το ρυθμό της τεχνολογικής ανάπτυξης απ 'ότι η καθαρή επιστημονική έρευνα.

1. Επιχειρηματικά παίγνια οικονομικής ανταγωνιστικότητας

1.1 Η εξάρτηση του βαθμού τεχνολογικής μετάβασης από τη δομή της αγοράς τεχνολογίας

Στην πλειονότητα των υποδειγμάτων οικονομικής του περιβάλλοντος γίνεται η υπόθεση της μετάβασης σε ανανεώσιμο πόρο όταν υπάρξει εξίσωση της τιμής του με τον εξαντλήσιμο. Ωστόσο, αυτή η υπόθεση δεν ισχύει πάντα. Το ζήτημα της τεχνολογικής μετάβασης είναι στενά συνδεδεμένο με την μορφή της αγοράς του παραγόμενου προϊόντος.

Ενώ με βάση τη Νεοκλασική Θεωρία, η πλήρως ανταγωνιστική είναι η πιο αποτελεσματική – κοινωνικά- μορφή επιχείρησης¹, δεν θα μπορούσε ποτέ να αποτελέσει μια επιχείρηση εκκίνησης σ' ένα τόσο ευαίσθητο αγαθό όπως η ενέργεια, καθώς θα απαιτούσε τεράστια ποσά αρχικής επένδυσης τα οποία εξ υποθέσεως δεν τα διαθέτει. Πλέον, επειδή μια αγορά ξεκινά πάντα να λειτουργεί στο πεδίο των

¹ Για τη νεοκλασική μαθηματική ανάλυση των συνθηκών αριστοποίησης της χρήσης των εξαντλήσιμων φυσικών πόρων υπό διάφορες περιπτώσεις, ο ενδιαφερόμενος ας ανατρέξει στα: **α)** Βλάχου Ανδριάντα, «Περιβάλλον & Φυσικοί Πόροι: Οικονομική Θεωρία και Πολιτική» - Κεφ. 7 - *Αριστη Χρήση των Εξαντλήσιμων Πόρων* (σελ. 189-216), και **β)** την μεταπτυχιακή εργασία του Αποστόλου Γκράμμη, «Διατηρήσιμη Ανάπτυξη: Ανταγωνιζόμενες Θεωρίες και Πολιτικές», σελ.30-36

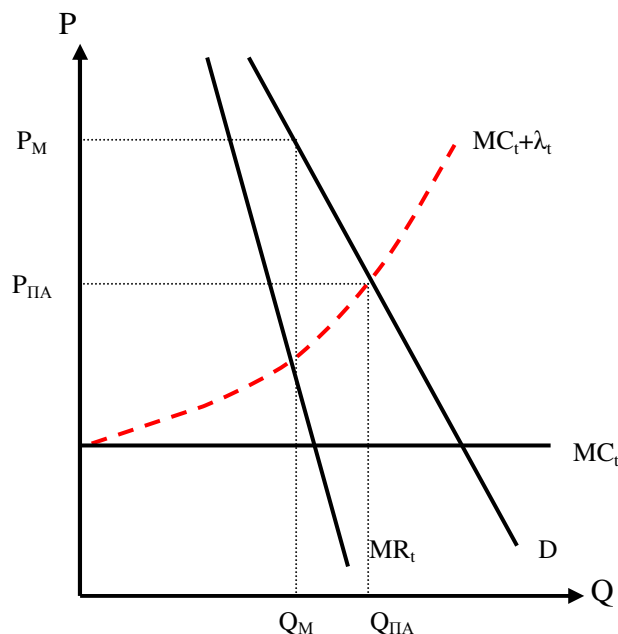
αυξανόμενων αποδόσεων κλίμακας, η τιμολόγηση στο οριακό κόστος επιφέρει ζημιές, άρα η προσφορά του αγαθού θα ήταν μηδενική.

Η αγορά ενέργειας είναι ολιγοπωλιακή, με τάση να μετατρέπεται σε μονοπωλιακή όταν οι επιχειρήσεις παραγωγής (κρατικές και ιδιωτικές) συνεργάζονται ως προς την τιμολογιακή πολιτική τους (πολιτική καρτέλ, π.χ. Ο.Π.Ε.Κ.), η συγχωνεύονται. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ένα μικρό σύνολο μεγάλων -αλλά άνισων μεταξύ τους- επιχειρήσεων μοιράζεται το συνολικό μερίδιο της αγοράς, από τον ηγέτη μέχρι τον ουραγό, δίχως ουσιαστική τιμολογιακή διαφοροποίηση. Η διαφοροποίηση και ο ανταγωνισμός για αναδιανομή των μεριδίων αφορά άλλα πεδία, με κυριότερο την Έρευνα & Ανάπτυξη για επίτευξη ανταγωνιστικών πλεονεκτημάτων. Κατά συνέπεια, μπορεί να υποτεθεί ότι ως προς την τιμή λειτουργεί μια μονοπωλιακή αγορά.

Η μονοπωλιακή επιχείρηση δεν έχει καμπύλη προσφοράς, αλλά καμπύλη οριακού εσόδου που καθορίζεται από την καμπύλη ζήτησης. Πλέον, η επιχείρηση θα προσφέρει στην τιμή που μεγιστοποιεί τα κέρδη της, ανεξαρτήτως ζητούμενης ποσότητας. Η βασική συνθήκη γι' αυτό είναι η εξίσωση του οριακού εσόδου της (MR_t) με το οριακό κόστος αυξημένο κατά την Πρόσοδο Στενότητας ($MC_t + \lambda_t$). Κατά συνέπεια:

$$MR_t = MC_t + \lambda_t$$

Από το παρακάτω διάγραμμα, φαίνεται ότι η μονοπωλιακή επιχείρηση σε σχέση με την πλήρως ανταγωνιστική, παράγει λιγότερο και τιμολογεί περισσότερο. Αυτό δημιουργεί κοινωνικές απώλειες σε μορφή πλεονασμάτων που αναδιανέμονται προς όφελος του μονοπωλίου.



Διάγραμμα 1.1: Σύγκριση χρηματοδοτικών δυνατοτήτων μιας μονοπωλιακής και μιας πλήρως ανταγωνιστικής επιχείρησης

Ωστόσο, αυτό η μη άριστη –κοινωνικά- παραγωγή, μπορεί -υπό συνθήκες- να αποβεί ωφέλιμη υπό την πίεση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, με την επίδραση δυο αποτελεσμάτων. *Αφενός*, η μειωμένη παραγωγή, σημαίνει εξοικονόμηση πόρου, άρα και μικρότερη τιμή της προσόδου στενότητας, σε σχέση με αυτή της πλήρως ανταγωνιστικής επιχείρησης. *Αφετέρου*, αν το υπερκέρδος του μονοπωλητή, ξεπερνά την απώλεια του από τη μειωμένη τιμή της προσόδου στενότητας, το τελικό αποτέλεσμα ενδεχομένως να είναι, ότι ο μονοπωλητής θα διαθέτει ένα πολύ μεγαλύτερο χρηματικό ποσό απ' ότι η πλήρως ανταγωνιστική επιχείρηση (δηλαδή την ακριβή τιμή της προσόδου στενότητας) για να επενδύσει σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

Με σταθερό διαχρονικό οριακό κόστος εξόρυξης ($\partial MC_t / \partial t = 0$), ώστε η αύξηση της $MC_t + \lambda_t$, να απεικονίζει καθαρά το αποτέλεσμα της αύξησης της τιμής της Προσόδου Στενότητας (διακεκομμένες γραμμές), η βασική συνθήκη είναι για $\lambda_{\Pi A_t}$ την πρόσοδο στενότητας της πλήρως ανταγωνιστικής Επιχείρησης, λ_{M_t} , την Πρόσοδο Στενότητας του Μονοπωλίου, και Π_t το υπερκέρδος του μονοπωλίου. Η σχέση μεταξύ των συνολικών εσόδων των δύο τύπων επιχειρήσεων θα είναι:

$$\lambda_{M_t} + \Pi_t > \lambda_{\Pi A_t}$$

όπου αν εξ υποθέσεως $\lambda_{M_t} > \lambda_{\Pi A_t}$, τότε ο μονοπωλητής διαθέτει μεγαλύτερες επενδυτικές δυνατότητες σε Έρευνα & Ανάπτυξη, απ' ότι η πλήρως ανταγωνιστική επιχείρηση.

Είναι κατανοητό, ότι σε περίπτωση αυξανόμενου διαχρονικά οριακού κόστους εξόρυξης ($\partial MC_t / \partial t > 0$) –που είναι και η πιο πραγματική περίπτωση- δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί εξαρχής αν είναι η επίδραση της προσόδου στενότητας η του αυξανόμενου κόστους εξόρυξης, που συμβάλλει περισσότερο στην εξίσωση της τιμής του εξαντλήσιμου πόρου με του υποκατάστατου ($P_t = P_s \Rightarrow MC_t + \lambda_t = MC_s = P_s$). Ωστόσο, μπορεί να υποθεθεί ασφαλώς πως το κόστος εξόρυξης παραμένει σταθερό για μεγάλες χρονικές περιόδους, που επαρκούν για να εφαρμόσει το μονοπώλιο τη στρατηγική του.

Η σουμπετεριανή (schumpeterian) άποψη για το μονοπώλιο, είναι ότι στο βαθμό που το μονοπωλιακό κέρδος είναι ο παράγοντας που ωθεί τις επιχειρήσεις να καινοτομούν, ο υψηλός βαθμός ανταγωνισμού μόνο επιβλαβής μπορεί να είναι για την οικονομική μεγέθυνση. Αντίθετα, εμπειρικές εργασίες [Blundel et al. (1995), Nickell (1996)], δείχνουν μια θετική συσχέτιση μεταξύ βαθμού ανταγωνισμού και *αύξησης της παραγωγικότητας* εντός της επιχείρησης.

Όμως, όπως εξ αρχής ξεκαθαρίζουν οι Anghion & Howitt (βλ. “*Endogenous Growth Theory*”, Εισαγωγή, σελ. 4), η έννοια της *αύξησης της παραγωγικότητας* ως αποτέλεσμα της *δια επαναλήψεως μάθησης (learning by doing)*, διακρίνεται από την έννοια της *καινοτομίας (innovation)*, ως τεχνολογικής βελτίωσης με μακροπρόθεσμο ορίζοντα χρήσης. Κι αν η αύξηση της παραγωγικότητας μπορεί ν' αποτελεί κοινό στοιχείο και των δυο ειδών επιχειρήσεων, *η δυνατότητα καινοτομίας μπορεί -εξ υποθέσεως και εκ των πραγμάτων- ν' αποτελεί στοιχείο μονάχα της ολιγοπωλιακής ή μονοπωλιακής επιχείρησης.*

Ωστόσο, αυτή η συνθήκη σε *καμία περίπτωση* δεν αποτελεί την εγγύηση εφαρμογής των καινοτομιών. Κι αυτό για τον εξής πολύ απλό λόγο: Αν –όπως έχει οριστεί- η πρόσοδο στενότητας αποτελεί την απώλεια ενός καθαρού *κοινωνικού οφέλους*, τότε απ' τη στιγμή που είναι μειωμένη στο μονοπώλιο, το τελευταίο θα έχει μικρότερο κοινωνικό κίνητρο να καινοτομήσει. Το μεγαλύτερο μέρος

του -προς επένδυση- χρηματικού αποθέματός του, προέρχεται από τα υπερκέρδη του, όχι από την πρόσοδο στενότητας. Συνεπώς, η διάθεση του μονοπωλητή να φέρει στην αγορά μια καινοτομία, θα εξαρτάται περισσότερο από τη δυνατότητα επίτευξης νέων υπερκερδών, παρά από κάποια κοινωνική αναγκαιότητα.

Δεδομένου ότι σε κάθε έτος ισχύει η συνθήκη $\lambda_{M_t} + \Pi_t > \lambda_{\Pi A_t}$, αν υποθεθεί ότι το μονοπώλιο κάθε χρόνο επενδύει όλο το ποσό σε Έρευνα & Ανάπτυξη, πιθανόν να έχει έτοιμη μια τεχνολογική εφαρμογή πολύ πριν από την πλήρως ανταγωνιστική επιχείρηση. Θα την εφαρμόσει άμεσα όμως; Η απάντηση είναι, *ενδεχομένως όχι ή με πολύ μικρό ρυθμό*, χρεώνοντας μια πολύ υψηλή τιμή γι' αυτήν.

Οι ολιγοπωλιακές και μονοπωλιακές επιχειρήσεις βασίζονται στα *δικαιώματα ευρεσιτεχνίας*. Τα οποία είναι στην ουσία, πνευματικά δικαιώματα επί των τεχνολογικών καινοτομιών. Το νομικό ή το φυσικό πρόσωπο, μπορεί να κατοχυρώσει τα δικαιώματα εύρεσης και χρήσης μιας τεχνολογικής καινοτομίας. Η πιο σημαντική συνέπεια είναι ότι, κανένα δεύτερο νομικό ή φυσικό πρόσωπο δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει την καινοτομία δίχως την ένομη άδεια του εφευρέτη, ακόμα κι αν εφεύρει ακριβώς μια ίδια συσκευή, δίχως να έχει γνώση της υπάρχουσας κατοχύρωσης. Κατά συνέπεια, σημασία έχει, *όχι μόνο η κατοχή της επιστημονικής γνώσης που θα φέρει την κατοχύρωση, αλλά και ο χρόνος της νομικής πράξης*. Συνεπώς, η πιο πιθανή στρατηγική είναι να προτιμήσουν να εξαντλήσουν τα κέρδη τους, από την παραγωγή του εξαντλήσιμου πόρου, κι έπειτα να φέρουν στην αγορά την καινοτομία που είχαν κατοχυρώσει σε αρκετά προηγούμενο χρόνο.

Η παραπάνω ανάλυση, εμφανίζει το βαθμό εξουσίας που διαθέτουν οι ολιγοπωλιακές και μονοπωλιακές επιχειρήσεις στην αγορά τεχνολογίας. Εξηγεί δε, γιατί έχουν συμφέρον από την καθυστέρηση της ευρείας εφαρμογής εξαιρετικά προηγμένων οικολογικών τεχνολογιών με πληθώρα συνεπειών, οικονομικών, περιβαλλοντικών και γεωπολιτικών, με τις οποίες επιβαρύνεται στις μέρες μας η ανθρωπότητα.

1.2 Συγκομιδή ανεξάρτητης E&A από τις μονοπωλιακές και ολιγοπωλιακές επιχειρήσεις

Στην προηγούμενη ενότητα έγινε η σύγκριση μεταξύ των δυνατοτήτων Έρευνας & Ανάπτυξης μεταξύ δύο ειδών επιχειρήσεων. Στην ουσία έγινε η υπόθεση πως για τα αποτελέσματα της έρευνας από την κάθε επιχείρηση, δεν υφίσταται καμία συναλλαγή. Στην παρούσα ενότητα εισάγεται και αυτή η πιθανότητα.

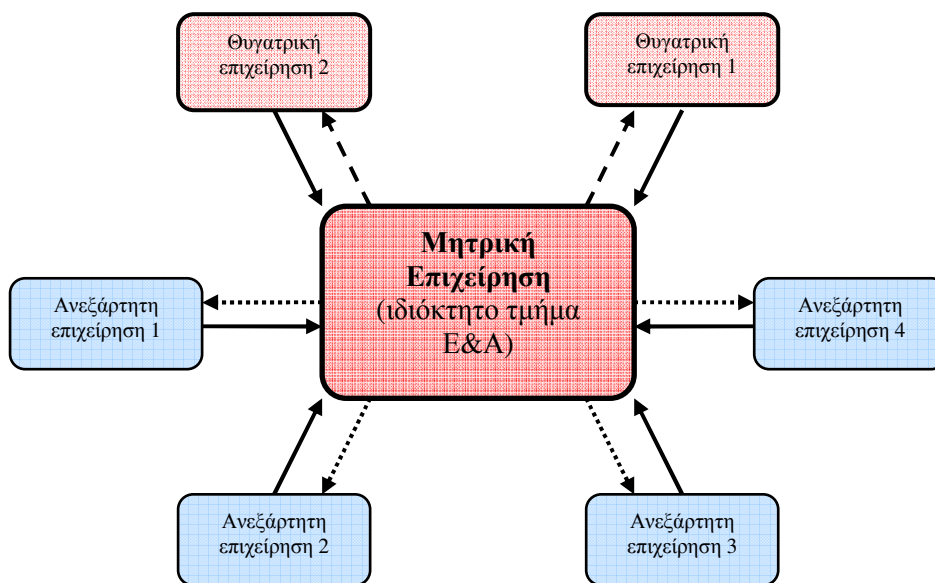
Οι μονοπωλιακές και ολιγοπωλιακές επιχειρήσεις διαθέτουν πολύ ισχυρά τμήματα Έρευνας & Ανάπτυξης στο εσωτερικό τους, με προστασία από τη διαρροή της πληροφορίας στην οποία επενδύουν τα κέρδη τους. Ωστόσο, είναι συχνό το φαινόμενο, να επιλέγουν να συμμετέχουν σε συμβάσεις με μικρές επιχειρήσεις Έρευνας & Ανάπτυξης. Αυτή η τακτική επιλέγεται για τρεις κυρίως λόγους:

1. Η Έρευνα & Ανάπτυξη των μεγάλων επιχειρήσεων αφορά συνήθως τον πυρήνα μιας καινοτομίας, και όχι τόσο περιφερειακά συστήματα και μηχανολογικό εξοπλισμό, ώστε να είναι οικονομικά ασύμφορο να υπάρχει τμήμα E&A γι' αυτά.

2. Οι μικρές επιχειρήσεις Έρευνας & Ανάπτυξης δεν διαθέτουν βιομηχανική βάση, συνεπώς δεν αποτελούν απειλή για την μεγάλη επιχείρηση. Η μόνη πηγή εσόδων τους είναι η πώληση των ευρεσιτεχνιών τους σε επιχειρήσεις που διαθέτουν βιομηχανική βάση, ώστε να τη διαθέσουν στην αγορά
3. Η μεγάλη επιχείρηση έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί και να ελέγχει σε χαμηλό κόστος την αγορά καινοτομίας. Το μόνο που έχει να κάνει είναι να συνάψει έγκαιρα τη συμφωνία προμήθειας, προκειμένου να αποκλείσει τους ανταγωνιστές της.
4. Η μεγάλη επιχείρηση δύναται να αποφεύγει κυρώσεις από τυχόν αντιμονοπωλιακούς νόμους.

Ο τελευταίος παράγοντας αποτελεί ένα από τα κυριότερα προβλήματα της μητρικής επιχείρησης. Γι' αυτό πολλές φορές το ρόλο της συγκομιδής της ανεξάρτητης πληροφορίας, αναλαμβάνουν οι θυγατρικές επιχειρήσεις, οι οποίες -φαινομενικά τουλάχιστον- διαφοροποιούνται από τη μητρική. Γι' αυτό και είναι πιθανό να συνάψουν εκείνες τις άμεσες συναλλαγές με τις ανεξάρτητες επιχειρήσεις, και να παρέχουν έμμεσα την πληροφορία στη μητρική. Ο αριθμός και το μέγεθος των θυγατρικών επιχειρήσεων καθορίζεται από τις ιδιαίτερες συνθήκες της εκάστοτε αγοράς.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η πιο απλή μορφή συναλλαγών, μεταξύ τριών ειδών επιχειρήσεων: μητρικής, θυγατρικών και ανεξάρτητων.



Διάγραμμα 1.2: Απλοποιημένη απεικόνιση του δικτύου προμηθευτών της μητρικής επιχείρησης

Τα βέλη προς τη μητρική επιχείρηση ορίζουν τη ροή της αποκτηθείσας πληροφορίας. Τα βέλη από τη μητρική προς τις υπόλοιπες επιχειρήσεις διαφοροποιούνται αναλόγως του είδους της παροχής. Οι ροές προς τις ανεξάρτητες επιχειρήσεις συνήθως δεν απεικονίζουν τίποτε περισσότερο από τις πραγματοποιούμενες χρηματοροές για την απόκτηση της πληροφορίας. Τα βέλη προς τις θυγατρικές επιχειρήσεις αφορούν τόσο ενδεχόμενες χρηματοροές για απόκτηση πληροφορίας, όσο και ανταλλαγή

πληροφορίας μέσω συμφωνιών, η οποία ενδυναμώνει –έστω και φαινομενικά- τη θέση της θυγατρικής, ώστε μην φαίνεται το πραγματικό μερίδιο αγοράς της μητρικής.

Στο παρόν υπόδειγμα παρουσιάζονται απλοποιημένα οι ροές πληροφορίας με επίκεντρο τη μητρική επιχείρηση. Με λίγα λόγια, όλες οι ροές ξεκινούν από, και καταλήγουν σ' αυτήν. Οι συνολικοί συνδυασμοί είναι επτά. Κατά συνέπεια, αν το συνολικό μερίδιο της αγοράς είναι χωρισμένο σε επτά άνισα μέρη, τότε η συνολική αξία θα ισούται με:

$$\sum_{i=1}^7 a_i p, \text{ με } 0 \leq a_i \leq 1$$

όπου p η συνολική χρηματική αξία της αγοράς και a_i ο συντελεστής μεριδίου για κάθε επιχείρηση

Στην παραπάνω περίπτωση η μητρική επιχείρηση θα έπρεπε να θέσει το ανώτατο μερίδιο της αγοράς που δύναται να διαθέτει (δηλ. το a_i), για να μην παραβιάζει τον αντιμονοπωλιακό νόμο. Σ' ένα πιο πολύπλοκο υπόδειγμα οργάνωσης της Έρευνας & Ανάπτυξης θα μπορούσαν να παρεμβληθούν σχέσεις μεταξύ όλων των επιχειρήσεων. Αυτό θα εξυπηρετούσε ακόμη περισσότερο τη μητρική επιχείρηση ν' αποφύγει κυρώσεις από έναν ενδεχόμενο αντιμονοπωλιακό νόμο, εφόσον θα φαινόταν πως διαθέτει ακόμα μικρότερο μερίδιο της αγοράς, απ' τη στιγμή που σημαντικές αγοραπωλησίες και συμφωνίες δικαιωμάτων με τις ανεξάρτητες επιχειρήσεις λαμβάνουν χώρα μέσω των θυγατρικών της.

Σε μια τέτοια περίπτωση, αν υποθεθεί πως ο έλεγχος της αγοράς επιτυγχάνεται μονάχα μέσω των θυγατρικών επιχειρήσεων, τότε επιτρέπονται όλες οι ροές πληροφορίας μεταξύ των επιχειρήσεων, πλην εκείνων που αφορούν τη μητρική επιχείρηση με τις ανεξάρτητες. Οι συνολικοί συνδυασμοί θα είναι σαράντα δύο. Είναι προφανές ότι το πραγματικό μερίδιο της αγοράς της μητρικής επιχείρησης μπορεί να αποκρυφτεί πολύ πιο εύκολα μεταξύ ενός μεγάλου πλήθους διαφορετικών συναλλαγών παρά ενός μικρού.

Πλέον, αυτή η στρατηγική είναι συμβατή και με το πρότυπο των πέντε δυνάμεων του Michael Porter. Συγκεκριμένα, εδώ ενδιαφέρει η μεταβλητή των προμηθευτών. Σύμφωνα με τον Porter, η διαπραγματευτική δύναμη μιας επιχείρησης αυξάνει όταν οι προμηθευτές υλικού είναι διασπασμένοι, πολυπληθείς, μικροί σε μέγεθος και παράγουν προϊόντα ομοειδή, η διαφοροποιημένα για τα οποία όμως έχουν υπογραφεί συμβόλαια αποκλειστικότητας.

2.1 Διεθνές εμπόριο και ροές εξέργειας

Μια άλλη ενδιαφέρουσα πτυχή του ελέγχου της διάχυσης της τεχνολογίας είναι γεωπολιτική. *Η ανάπτυξη, υπανάπτυξη και γενικά η ανισότητα μεταξύ των συμμετεχόντων στο διεθνές εμπορικό σύστημα, μπορεί να ειπωθεί από την οπτική της ανισότητας των διαθέσιμων -για κάθε δρώντα-γεωγραφικών εξεργειακών συσσωρεύσεων.* Εν ολίγοις, η οικονομική ανισότητα μεταξύ των χωρών που συμμετέχουν στο διεθνές εμπόριο, μπορεί να ερμηνευθεί σε μεγάλο βαθμό βάσει των διαφορών μεταξύ των εξεργειακών περιεχομένων των πλουτοπαραγωγικών πηγών τους.

Στη σύγχρονη οικονομική, είναι γνωστό και σαφώς διατυπωμένο απ' τον Ricardo πως το διεθνές εμπόριο δημιουργείται από τις διεθνείς ανισότητες στις απαιτούμενες εισροές για την παραγωγή ενός

προϊόντος, Για την παραγωγή των προϊόντων που απαιτούν πολύ μεγάλα μεγέθη εισροών, προτιμάται μια ανταλλακτική σχέση με κάποια άλλη χώρα, η οποία μπορεί να αναλάβει την παραγωγή του προϊόντος με λιγότερες εισροές.

Αυτή η θεώρηση του διεθνούς εμπορίου, αν και αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της θεωρίας των ανταλλαγών, παραμένει καθαρά μια συνθήκη βελτιστοποίησης, δίχως να εισάγει την παράμετρο των γεωπολιτικών παιγνίων κατά τη διεξαγωγή του. Η πιο ενδεικτική περίπτωση προϊόντων που αποτελούν πεδίο εφαρμογής τέτοιων παιγνίων είναι εκείνα που έχουν τον χαρακτηρισμό των *στρατηγικών εισροών*. Η σημασία τους καθορίζεται από το βαθμό χρήσης τους για την παραγωγή οποιουδήποτε άλλου προϊόντος

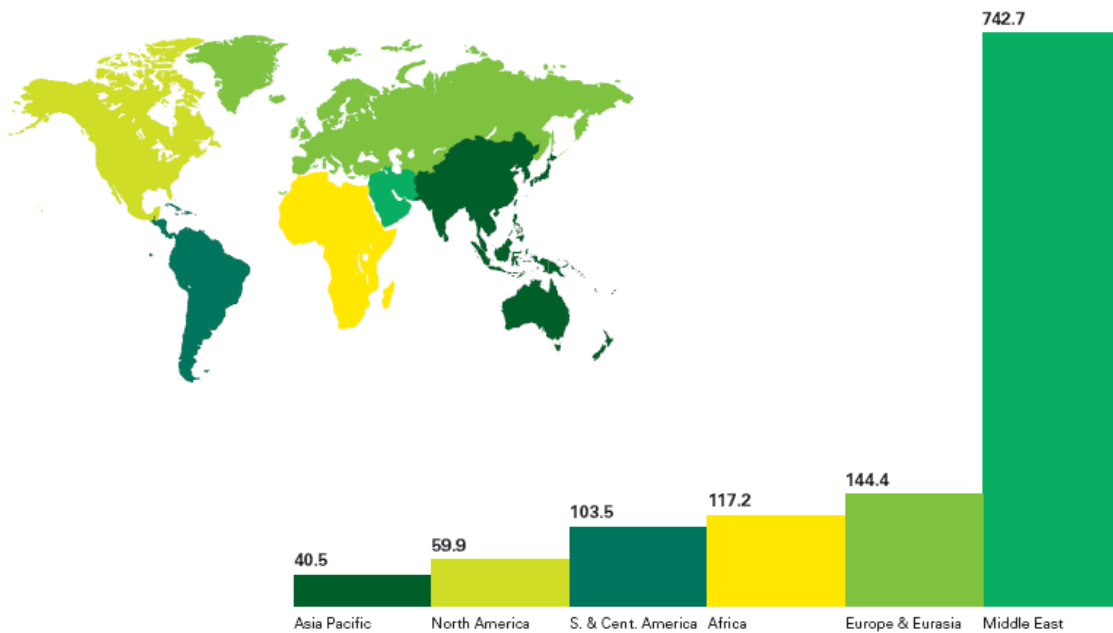
Ενδεικτικότερη περίπτωση στρατηγικής εισροής αποτελεί η ενέργεια. Είναι γνωστό πως η ενέργεια αποτελεί ένα σταθερό μέγεθος στο σύμπαν, η οποία όμως βρίσκεται σε διαφορετικές συμπυκνώσεις στο χώρο. Η ενέργεια αυτή καθαυτή είναι διαθέσιμη σε οποιαδήποτε μορφή, αλλά οι συμπυκνώσεις αυτές συνιστούν στην πράξη το εξεργειακό περιεχόμενο.

Τα παραπάνω ισχύουν φυσικά και στη διεθνή γεωγραφική κλίμακα. Στην περίπτωση των ορυκτών καυσίμων ως πηγές συμπυκνωμένου εξεργειακού περιεχομένου, η παραπάνω υπόθεση εργασίας ισχύει από την εποχή της έναρξης της χρήσης του.

Η ένταση του παιγνίου εξαρτάται από δύο (2) βασικούς παράγοντες:

1. Το αν η πηγή εξαγωγής της ενέργειας βρίσκεται σε αποθεματική μορφή (εξεργειακό απόθεμα)
2. Τη γεωγραφική διασπορά των πηγών εξαγωγής της ενέργειας (διασπορά εξεργειακών αποθεμάτων)

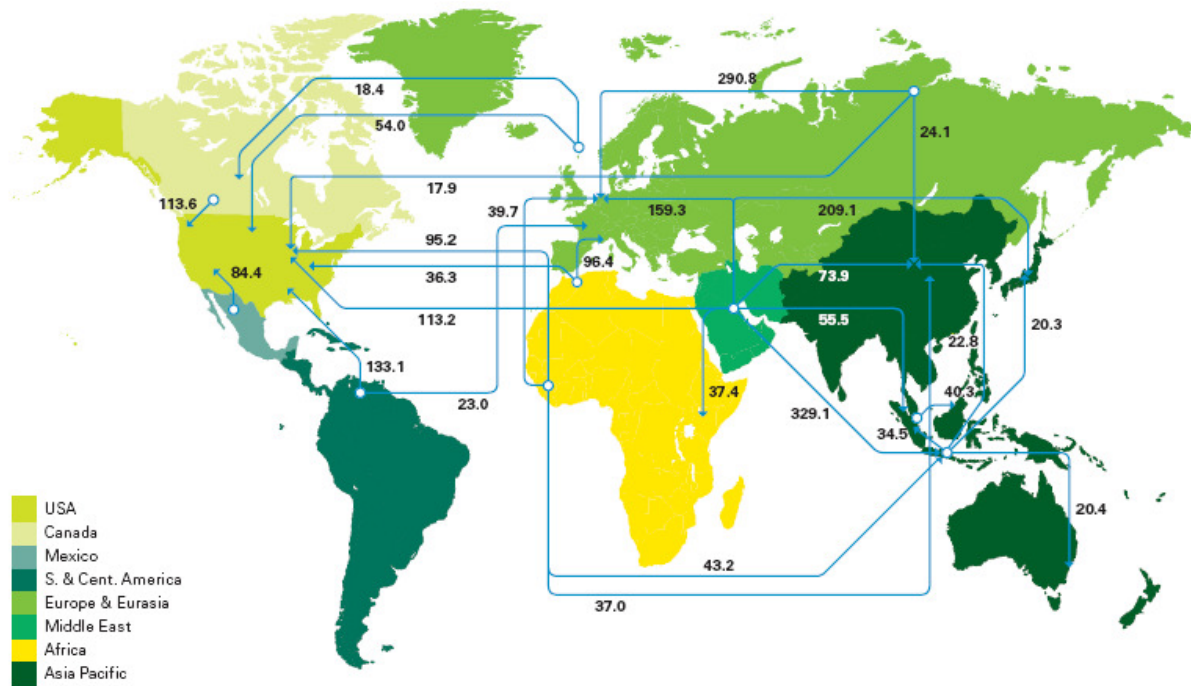
Στο βαθμό που η πηγή της ενέργειας βρίσκεται σε αποθεματική μορφή και σε μικρή γεωγραφική διασπορά, το παίγνιο αποκτά μεγάλη ένταση. Στο επόμενο διάγραμμα, παρουσιάζεται η γεωγραφική συγκέντρωση των διαπιστωμένων αποθεμάτων πετρελαίου που αποτελεί στις μέρες την κύριο εξεργειακό απόθεμα (κατά 60%), το οποίο χρησιμοποιείται για την εξαγωγή ενέργειας.



Διάγραμμα 1.3: Γεωγραφική κατανομή των αποδεδειγμένων αποθεμάτων πετρελαίου για το 2006 (BP Statistical Review of World Energy 2007)

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω χάρτη η συντριπτική πλειονότητα των διαπιστωμένων πετρελαϊκών αποθεμάτων (62,5%) -ή εναλλακτικά το 1/3 (33,3%) των διαπιστωμένων εξεργειακών αποθεμάτων της διεθνούς χρήσης ενέργειας- συγκεντρώνεται στην πολύ περιορισμένη και εξαιρετικά εύφλεκτη γεωγραφική επικράτεια της Μέσης Ανατολής..

Αντίστοιχα, στο επόμενο διάγραμμα, παρουσιάζονται οι σημαντικότερες εμπορικές ροές του πετρελαίου για το 2006. Όπως είναι αναμενόμενο, τα μεγαλύτερα μεγέθη αυτών των ροών ξεκινούν από τη Μέση Ανατολή και κατανέμονται στον υπόλοιπο κόσμο. Ειδικότερα, παρατηρείται μια αυξημένη ροή προς τις ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου, εκ των οποίων οι περισσότερες συμμετέχουν ενεργά στις συρράξεις που έχουν διεξαχθεί ανά περιόδους..



Διάγραμμα 1.4: Οι μεγαλύτερες εμπορικές ροές πετρελαίου του 2006 (σε εκατ. τόνους)
(BP Statistical Review of World Energy 2007)

Τα παραπάνω στοιχεία επιβεβαιώνουν την υπόθεση εργασίας για την δημιουργία διεθνούς εμπορίου λόγω της γεωγραφικής ανισότητας στην επάρκεια των εξεργειακών αποθεμάτων. Πλέον, στην περίπτωση που το εξεργειακό απόθεμα αποτελεί στρατηγική εισροή, παρατηρείται μια ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ της έντασης του διεθνούς γεωπολιτικού ενδιαφέροντος και του μεγέθους των τοπικών συμπεκνώσεων της ενέργειας.

Ειδικότερα -βάσει του υποδείγματος της ενεργειακής μετάβασης που αναπτύχθηκε στην πρώτη ενότητα αυτού του εκπονήματος σε συνδυασμό με τη θεωρία περί *εξεργειακής επένδυσης* που αναπτύχθηκε στην τρίτη- η γεωπολιτική στρατιωτική σύγκρουση που εξελίσσεται στο χώρο της Μέσης Ανατολής, μπορεί να ερμηνευθεί υπό το πρίσμα ενός *στρατηγικού παιχνιδιού κατοχής και ελέγχου της περιοχής συγκέντρωσης των πρωταρχικών εξεργειακών πηγών που αποτελούν τον κύριο παράγοντα δημιουργίας πληροφορίας και τεχνογνωσίας*. Από εκεί κι έπειτα, το παίγνιο συνεχίζει να διεξάγεται σε επιχειρηματικό επίπεδο, το οποίο επεξηγήθηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Κατά συνέπεια, η πιο σωστή αναφορά στο ζήτημα του ελέγχου της ενέργειας θα γινόταν ως η *κατοχή των εξεργειακών αποθεμάτων του πλανήτη, και όχι των ενεργειακών*. Στην πράξη, η διεθνής γεωπολιτική διαμάχη για τον έλεγχο των ενεργειακών αποθεμάτων της Γης, αφορά στην ουσία τον έλεγχο ακριβώς αυτών των τοπικών συμπεκνώσεων της ενέργειας στο χώρο (δηλαδή της εξέργειας).

Παράρτημα 2

“The value of the world’s ecosystem services and natural capital”

- **Main article**
- **Supplementary**

Το περιεχόμενο του εν λόγω παραρτήματος δεν είναι διαθέσιμο σε ηλεκτρονική μορφή

Παράρτημα 3

Παρουσίαση εργασίας (PowerPoint)

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ – ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Περιβάλλον & Ανάπτυξη»

Γεώργιος Καρακατσάνης
Απόφοιτος τμήματος
Διεθνών & Ευρωπαϊκών Οικονομικών Σπουδών
Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Διπλωματική εργασία υποβληθείσα προς μερική εκπλήρωση των
προϋποθέσεων απόκτησης Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης,
με θέμα:

**Ανάπτυξη υποδειγμάτων τεχνολογικής χρηματοδοτικής
βάσει οίκο-εξεργειακής ανάλυσης**

Αθήνα, Νοέμβριος 2007

Τεχνολογία: Μια πληροφορική προσέγγιση

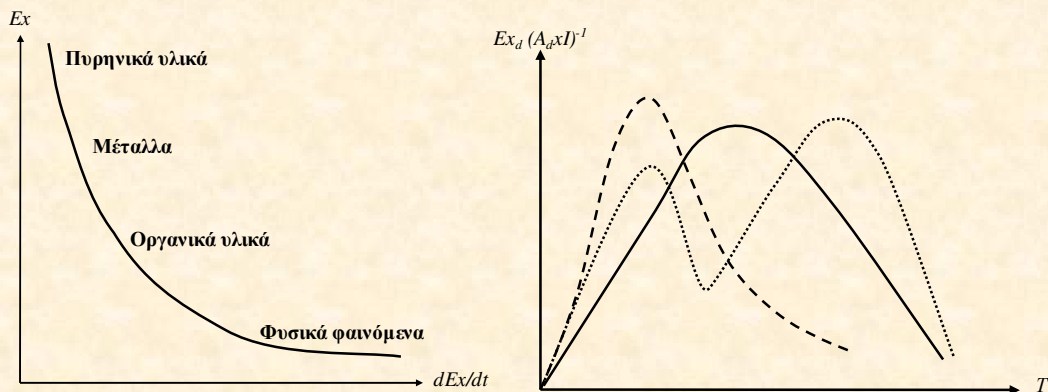
Τεχνολογία = Το μέτρο της επιτυχίας μεταφοράς μιας πληροφορίας

- **Πληροφορία I** = το μέτρο της τάξης ενός συστήματος
Η ποσότητά της εκφράζεται από τη σχέση:
$$I = -\log(1/p)$$
- **Εντροπία S** = το μέτρο της αταξίας ενός συστήματος
$$I = -S$$
- **Εξέργεια Ex** = Το μέτρο του (βίο)φυσικού κόστους ροής της ροής της πληροφορίας ανά μονάδα ενεργειακής ροής
$$Ex = [(h-h_0) - T_0 (s-s_0)]M_i$$

Θεωρητικές συμβατότητες:

- Η Φύση μπορεί να θεωρηθεί εναλλακτικά ως «αποθεματικό πληροφορίας» (=γνώσης), αντί για αποθεματικό ύλης και ενέργειας
- Η **Ενέργεια** είναι ο φυσικός φορέας της ροής της πληροφορίας
- Η **Εξέργεια** είναι το μέτρο του φυσικού κόστους της ροής της πληροφορίας (ενέργειας)
- Εισαγωγή της έννοιας της «εξεργειακής επένδυσης»
- Η εξεργειακή επένδυση σε Έρευνα & Ανάπτυξη (E&A) ισοδυναμεί με επένδυση σε νεγεντροπία (=αρνητική εντροπία)
- Συμβατότητα με το επιστημολογικό (εξελικτικό) πρότυπο του Carl Popper

Η οίκο-εξέργεια ως μέτρο της απόδοσης των συστημάτων (1.1) Προτυποποίηση της διαδικασίας της τεχνολογικής εξέλιξης

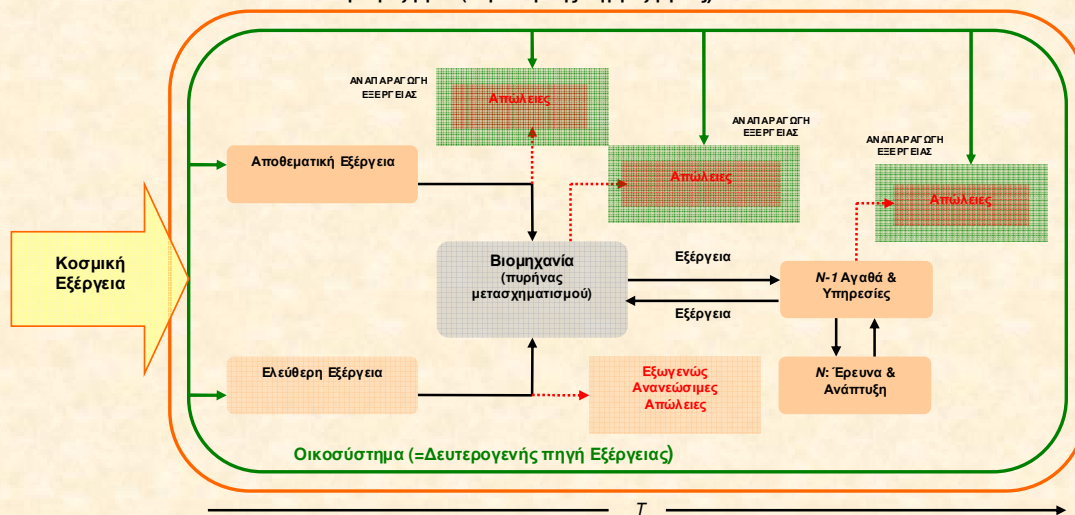


Κόστος (εξεργειακό) της ανά μονάδα μεταφοράς της πληροφορίας

- Η περιεκτικότητα σε εξεργειακό περιεχόμενο διαφέρει από υλικό σε υλικό, και βρίσκεται σε αρνητική σχέση με το βαθμό ανανεωσιμότητάς του
- Ενδιαφέρον για δύο παράγοντες: **α)** καθαυτή χρήση εξέργειας **β)** πηγή προέλευσης (ανανεώσιμοι ή αποθεματικοί πόροι)
- Το συνολικό αποτέλεσμα τεχνολογικής κλίμακας εξαρτάται και από τους δύο παραπάνω παράγοντες

Η οίκο-εξέργεια ως μέτρο της απόδοσης των συστημάτων (1.2) Προτυποποίηση του οίκο-εξεργειακού κύκλου

Κοσμική Εξέργεια (=Πρωτογενής πηγή Εξέργειας)



- Τρία (3) στάδια του μετασχηματισμού: Εξαγωγή (**α**) – Μεταφορά (**β**) – Απορρίψεις (**γ**)
- Καί στα 3 στάδια δημιουργούνται ποιοτικές υποβαθμίσεις (απώλειες), οι οποίες μειώνουν το τελικό ποσό της διαθέσιμης ενέργειας [= $\alpha\beta\gamma(E_T)$, με $0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1$]
- Η ελάττωση των υποβαθμίσεων α, β, γ , ισοδυναμεί με αύξηση του διαθέσιμου ποσού ενέργειας – συνεισφορά της Έρευνας & Ανάπτυξης

Η οίκο-εξέργεια ως μέτρο της απόδοσης των συστημάτων (1.3) Ένα βιοφυσικό πιστωτικό σύστημα

Το πραγματικό βιοφυσικό πλεόνασμα προκύπτει μόνχα μετά την πλήρη αναγέννηση του κάθε πόρου που χρησιμοποιήθηκε, και την πλήρη αποκατάσταση της Φέρουσας Ικανότητας της Φύσης

• Κατά τη διαδικασία μετασχηματισμού ισχύει:

$$\Sigma M_i = \Sigma M_i^e + \Sigma M_i^s$$

όπου όταν $M_i^s (1 + \rho_{it})^T = M_i \pm u$
 M_i^e = πλεόνασμα μάζας

Ο χρόνος T δείχνει το πότε δημιουργείται αυτό το πλεόνασμα το οποίο ισούται με την μετασχηματισμένη ύλη από τον Άνθρωπο

• Κατά τη διαδικασία αποκατάστασης της Φ.Ι. ισχύει:

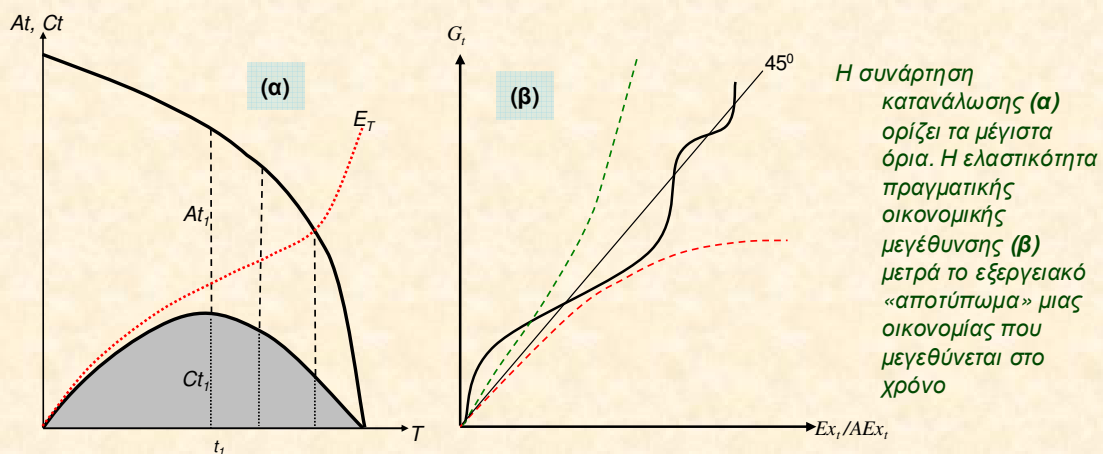
$$\Sigma \rho_{i\max} \Sigma M_i^p (1 + \rho_{it})^T$$

Η φέρουσα ικανότητα αποτελεί συνάρτηση της μάζας b του βιοτικού αποθέματος. Η μέγιστη τιμή της λαμβάνεται στο χρόνο T

Δύο (2) βασικά συμπεράσματα:

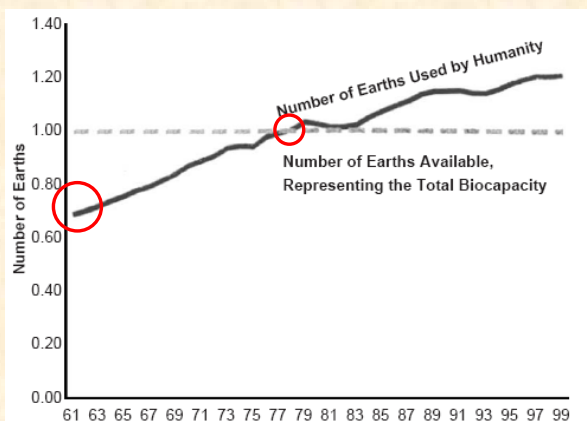
1. Η χρήση του πραγματικού βιοφυσικού πλεονάσματος πρέπει να πληρώνεται για τους περιορισμούς -σε όρους εντροπίας- που δημιουργεί
2. Στα Οικολογικά Οικονομικά το χρήμα αποτελεί μέτρο της αρνητικής εντροπίας που επιτυγχάνει η ανθρώπινη κοινωνία

Η μάκρο-δομή της τεχνολογικής χρηματοδοτικής (2.1) Περιοριστικοί παράγοντες: Εξεργειακά αποθέματα

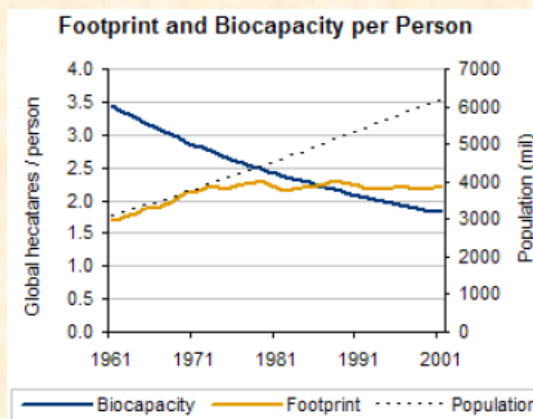


- Το απόθεμα καθορίζει τον μέγιστο διαθέσιμο χρόνο μιας κοινωνίας για να στραφεί σε αποθέματα με μεγαλύτερο βαθμό ανανεωσιμότητας
- Η χρήση αυτού του αποθέματος, θα πρέπει να διατίθεται υπό την προϋπόθεση, την επένδυση μέρους της τιμής αγοράς του σε Έρευνα & Ανάπτυξη για υποκατάσταση
- Η πραγματική οικονομική μεγέθυνση, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει και το αποτέλεσμα της μείωσης του εξεργειακού αποθέματος

Η μάκρο-δομή της τεχνολογικής χρηματοδοτικής (2.2) Περιοριστικοί παράγοντες: Ρυπαντική βιοχωρητικότητα



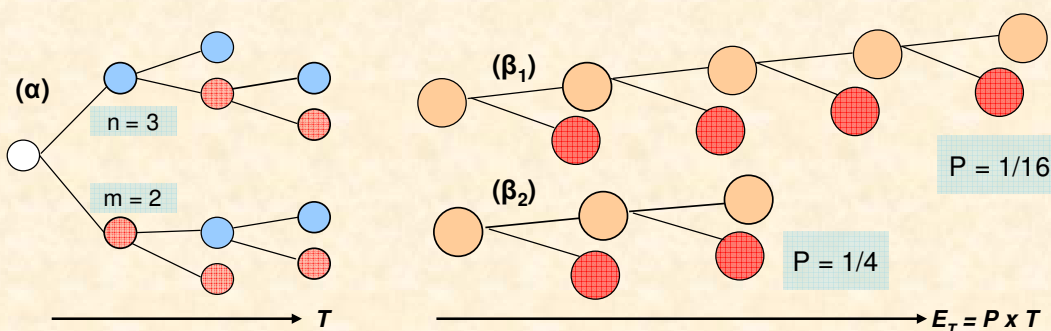
Πηγή: Pillarisetti (2005)



Πηγή: Andersson (2006)

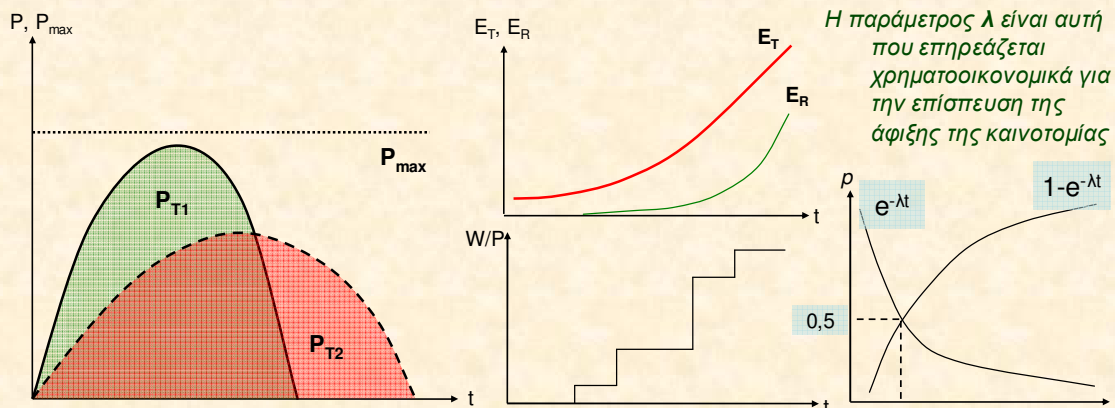
- **Βιοχωρητικότητα** = η ικανότητα του βιοφυσικού συστήματος να υποστηρίξει τη συντήρηση ενός συγκεκριμένου ποσού βιομάζας, με δεδομένο επίπεδο αναγκών του σε όρους ανάλωσης εξεργειακού αποθέματος
- Έχει εκτιμηθεί, ότι για ένα τρέχον επίπεδο του διεθνούς πληθυσμού που θα ζούσε με κατά κεφαλήν ενεργειακή κατανάλωση του επιπέδου της πόλης του Los Angeles θα απαιτούσε περίπου **πέντε πλανήτες** στο μέγεθος της Γης (World Bank, 1992)
- Η χρήση αυτού του δυναμικού απορρόφησης, θα πρέπει να διατίθεται υπό μορφή ενοικίου, με την επένδυση της πληρωμής σε Έρευνα & Ανάπτυξη

Η μικρο-δομή της τεχνολογικής χρηματοδοτικής (3.1): Η Έρευνα & Ανάπτυξη ως πληροφορική διαδικασία



- Διαχωρισμός της ερευνητικής διαδικασίας σε στάδια (**Διάγραμμα α**), με δύο πιθανότητες για κάθε στάδιο – «αποτυχία» ή «επιτυχία»
- Η συγκέντρωση της συνολικής ποσότητας πληροφορίας εξαρτάται θετικά από τον αριθμό των επιτρεπόμενων σταδίων αποτυχίας ($I = 2n - 1$)
- Η τεχνολογική βελτίωση απεικονίζει την βελτίωση της πιθανότητας ροής της πληροφορίας, ως **βελτίωση της μέσης πιθανότητας λήψης ενεργειακού σήματος** (**Διαγράμματα β₁, β₂**) => ($E_t = I_t = P \times T$)
- Σε οικονομικές αξίες, η βελτίωση της πιθανότητας λήψης του ενεργειακού σήματος, ισοδυναμεί με αυτοχρηματοδότηση της ενεργειακής αξίας του χρήματος E / M (νεγεντροπικό χρήμα)

Η μικρο-δομή της χρηματοδοτικής της τεχνολογίας (3.2): Ρυθμός άφιξης ευρεσιτεχνιών και χρόνος υποκατάστασης



- **Εξεργειακή επένδυση** = Η αφαίρεση εξεργειακού περιεχομένου από ένα σύστημα, με αντίστοιχη πρόσδωση εξεργειακού περιεχομένου σ' ένα άλλο του οποίου η αναμενόμενη απόδοση σε μελλοντικό χρόνο είναι μεγαλύτερη από του πρώτου
- Η διαδικασία της καινοτομίας είναι ασυνεχής και χαρακτηρίζεται στατιστικά ως διαδικασία Poisson. Η παράμετρος άφιξης ευρεσιτεχνιών λ είναι μεταβαλλόμενη στο χρόνο. Για τις μικρές χρονικές κλίμακες, μας ενδιαφέρει μονάχα η μέση τιμή της. Σ' αυτή την περίπτωση το σύνολο των ευρεσιτεχνιών σε χρόνο t , θα ισούται με: **$Inv = \lambda t$**
- Η διαδικασία της υποκατάστασης είναι συνεχής και εξαρτάται από: **α)** το ειδικό βάρος της καινοτομίας **β)** τη χρονική υστέρηση της εισαγωγής της στην αγορά

Η μικρο-δομή της χρηματοδοτικής της τεχνολογίας (3.3): Χρηματοοικονομικοί μικρο-δείκτες για την E&A

«**Πρόσδοος Στενότητας**»: Απεικονίζει την «περιοριστικότητα» του εξεργειακού αποθέματος ενός πόρου, στην τιμή του. Προτείνεται να επενδύεται ως Έρευνα & Ανάπτυξη για την υποκατάστασή του. Εκφράζεται από τη διαχρονική ισότητα:

$$(X_0 / A_0) = [X_1 / (A_0 - X_0)] = \dots = [X_n / (A_{n-1} - X_{n-1})]$$

με: A_t = Απόθεμα σε χρόνο t , X_t = Κατανάλωση σε χρόνο t

«**Βιοφυσικό Επιτόκιο Προεξόφλησης**»: αποτελεί ο φυσικός ρυθμός αύξησης του συστήματος απ' το οποίο μεταφέρθηκε εξεργειακό περιεχόμενο μαζί με όλες τις προκύπτουσες ωφέλιμες ιδιότητές του.

«**Χρηματοοικονομικός Επιταχυντής Εγκατάστασης**»: Εκφράζει τη σχέση μεταξύ του ποσού της χρηματοοικονομικής επένδυσης και της μείωσης του απαιτούμενου χρόνου εγκατάστασης της οικολογικής τεχνολογίας. Εκφράζεται από:

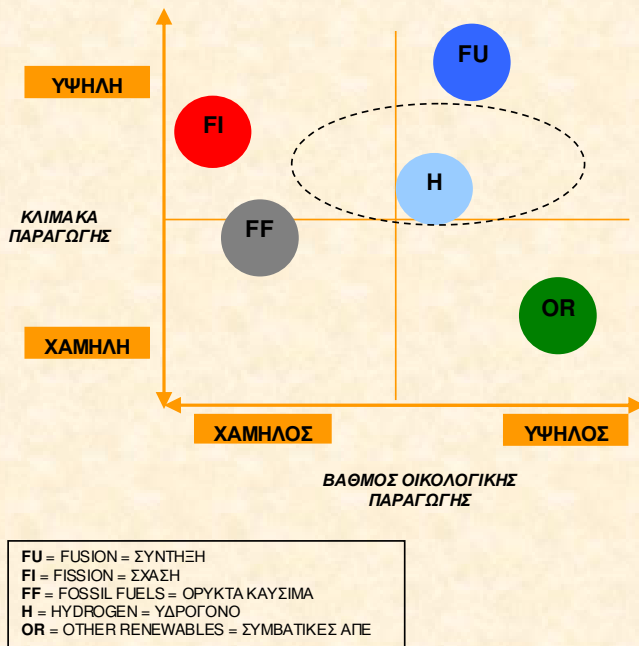
$$d\lambda / dM$$

«**Χρηματοοικονομικός Πολλαπλασιαστής Οικολογικής Ισχύος**»: Εκφράζει τη σχέση μεταξύ του ποσού της χρηματοοικονομικής επένδυσης και της μέγιστης δυνατής αύξησης της ισχύος της οικολογικής τεχνολογίας. Εκφράζεται από:

$$dW / dM$$

«**Χρηματοοικονομικός Δείκτης Υποκατάστασης**»: Εκφράζει την σχέση μεταξύ της υποκατάστασης δυο εναλλακτικών τεχνολογιών ανά επενδυμένη μονάδα χρήματος.

Ειδικά θέματα τεχνολογίας (4.1.1): Ενεργειακή κλίμακα



Δυνατότητα δύο επιλογών:

- Επένδυση στην αύξηση του βαθμού οικολογικής παραγωγής των ρυπογόνων τεχνολογιών μεγάλης κλίμακας
- Επένδυση στην αύξηση της κλίμακας παραγωγής των οικολογικών τεχνολογιών

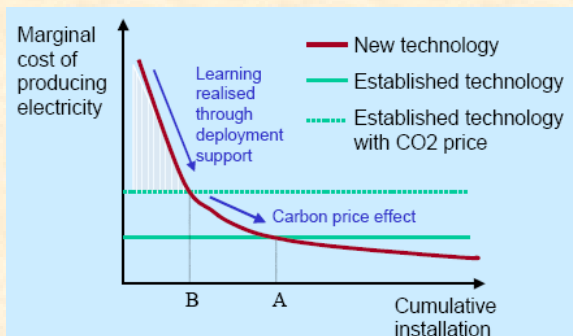


Σημασία έχει η σύγκριση της **ισοδύναμης ενεργειακής δυναμικότητας**, όπου παρουσιάζει το σταθμισμένο αποτέλεσμα της επίδρασης της ρύπανσης της μιας πηγής ενέργειας επί της δυναμικότητας της άλλης

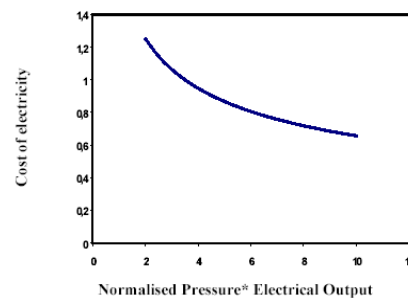
Ειδικά θέματα τεχνολογίας (4.1.2): Ενεργειακή χρηματοδοτική

Οικονομικά αποτελέσματα της εισαγωγής νέας τεχνολογίας στην αγορά:

- Αύξηση της ανά μονάδας κόστους της ρυπογόνου τεχνολογίας
- Μείωση του ανά μονάδας κόστους παραγωγής της νέας τεχνολογίας, (οικονομίες μάθησης) μέχρι εξίσωσης του με τη ρυπογόνο
- Εισαγωγή της νέας τεχνολογίας στην αγορά
- Καθιέρωση της νέας τεχνολογίας στην αγορά
- Περαιτέρω μείωση του κόστους της νέας τεχνολογίας μέσω βελτιώσεων κλίμακας (για τη σύντηξη η θεωρητική μείωση του κόστους ηλεκτροπαραγωγής φθάνει το 46,9%)

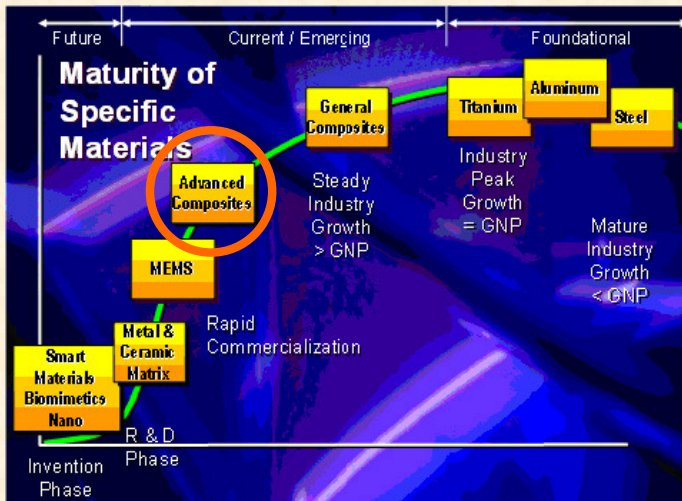


Θεωρητική προτυποποίηση
(Πηγή: *The Stern Review, 2006*)

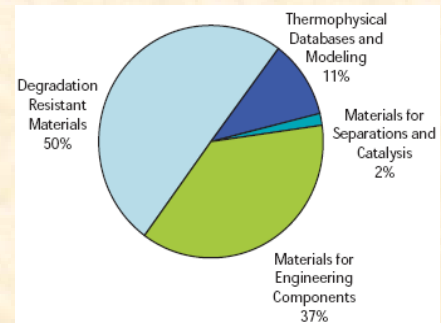


Θερμοπυρηνική σύντηξη
(Πηγή: *EFDA, 2001*)

Ειδικά θέματα τεχνολογίας (4.2.1): Ανερχόμενα βιομηχανικά υλικά



Πηγή: *The Industrial College of Armed Forces (2005)*

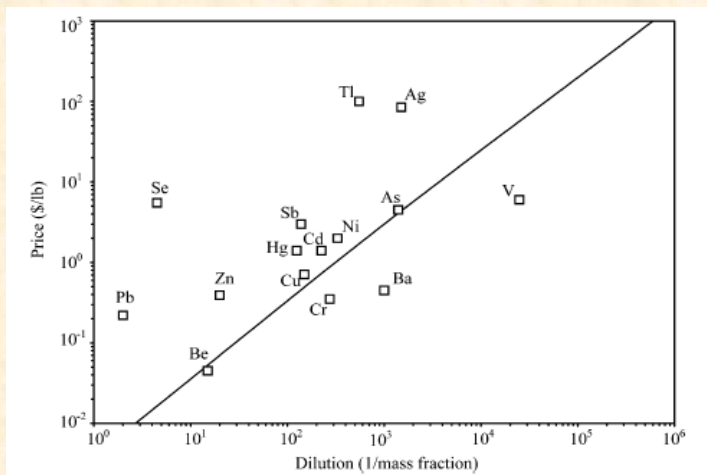


Πηγή: *U.S. Department of Energy, Industrial Materials for the Future (2004)*

Το 50% της συνολικής χρηματοδότησης του προγράμματος του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ, αφορά τα εξελεγμένα σύνθετα υλικά

- Χρηματοδότηση Ε&Α βιομηχανικών υλικών με καλύτερο δείκτη εξεργειακής αξιοποίησης (προηγμένα σύνθετα, κεραμικά, νάνο-υλικά, βιομημητικά υλικά) => **Π.χ.** ένας νανοσωλήνας μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος κατασκευασμένος από ανακυκλωμένα ελαστικά αυτοκινήτων, έχει καλύτερη απόδοση από ένα καλώδιο χαλκού ίδιου μήκους, και μονάχα στο 1/6 του βάρους του.

Ειδικά θέματα τεχνολογίας (4.2.2): Ανακύκλωση



Πηγή: *Harper, Graedel (2004)*

Δείκτης Επαναμεταποίησης

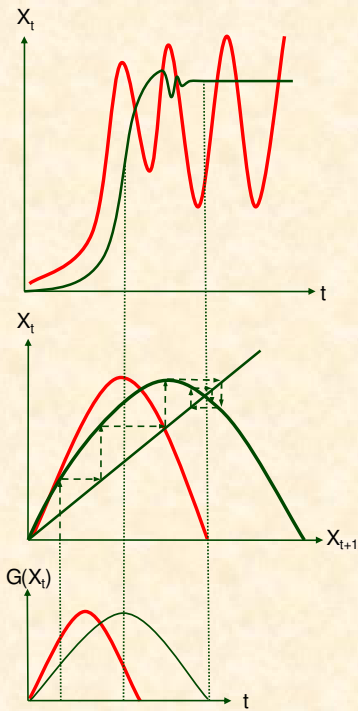
$$RI = \frac{\sum_{i=1}^n M_i^{out}}{\sum_{i=1}^n M_i^{in}}$$

Πολλαπλασιαστής Ανακύκλωσης

$$RM = \frac{1}{1 - RI}$$

- Η απόδοση της Ε&Α αφορά στην επιρροή της μεταβλητής ΣM_i^{out} => αύξηση της τιμής του πολλαπλασιαστή
- Η οικονομική σχέση κόστους – ανάκτησης διαλυμένου μετάλλου ορίζεται από το *Διάγραμμα Sherwood* [λογαριθμική κλίμακα, (lb=453 gr)]
- Επιτάχυνση του χρόνου εισαγωγής των ανακυκλωμένων υλικών μέσω θεσμικών μέτρων (αναγκαστική απόσυρση παλαιών)

Ειδικά θέματα τεχνολογίας (4.3.1)
Μικροεπίπεδο: Δυναμική οικοσυστημάτων



Λογιστική Εξίσωση Διαφορών:

$$X_{t+1} = \Pi a_{it} X_t - \Pi b_{it} X_t^2$$

Προτυποποιεί την αύξηση της βιομάζας κάθε βιολογικού πόρου, άρα και του εξεργειακού του περιεχομένου

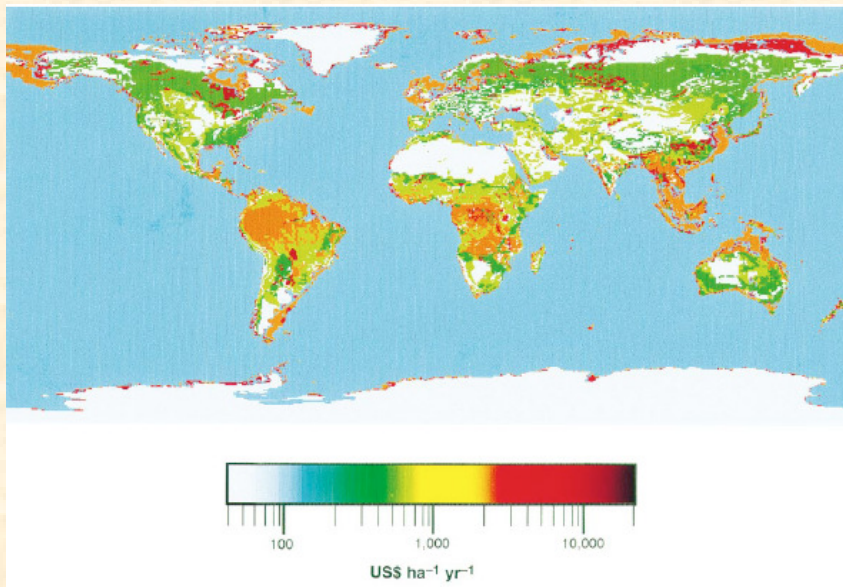
Δυνατότητα Ενδιάμεσης Μνήμης:

$$M = dx_i / dx_j, \text{ όπου } x=a, b$$

Το μέτρο της ανταπόκρισης ενός οικοσυστήματος στην αλλαγή των αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων του

Συμβατότητα με τα 3 υποδείγματα ελέγχου της **Μέγιστης Εξεργειακής Υπόθεσης** (Eutrophication M., Toxic Substance M., Stream M.), καθώς και με την άποψη του Ulanowicz για την εφαρμογή της **Αρχής της Μέγιστης Ισχύος** στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης του βιολογικού πόρου, ακολουθούμενη από την **Αρχή της Μέγιστης Εξέργειας** κατά την ωρίμανσή του

Ειδικά θέματα τεχνολογίας (4.3.2)
Μακροεπίπεδο: Αξία των υπηρεσιών των πλανητικών οικοσυστημάτων



Πηγή: Costanza et al. (1997)

Μέση παραγωγικότητα άνθρακα (C) και οικονομική αξία:

Τροπικά δάση	900gm ² y ⁻¹
	1000-10000\$ha ⁻¹
Κοραλλιογενείς ύφαλοι	900gm ² y ⁻¹
	1000-10000\$ha ⁻¹
Ακτές πολικών περιοχών:	900gm ² y ⁻¹
	1000-10000\$ha ⁻¹
Εύκρατα δάση :	580gm ² y ⁻¹
	500\$-1000\$ ha ⁻¹

- Διεθνές ΑΕΠ 1997: ~**18x10⁹\$**
- Εκτιμώμενη αξία των υπηρεσιών της Γης 1997: **18x10⁹~54x10⁹ \$**

Η τεχνολογία ως πολιτικό ζήτημα...

Οι ανθρωπολόγοι Leslie White, Howard Odum, και George Grant MacCurdy διατύπωσαν την άποψη:

«η εξέλιξη των ανθρώπινων κοινωνιών είναι ένα ιστορικό ταξίδι, του οποίου η διάρκεια καθορίζεται από το κατά κεφαλήν διαθέσιμο προς εκμετάλλευση ποσό ενέργειας»

Υπό το πρίσμα της **Θεωρίας της Πληροφορίας**, η ενέργεια είναι φορέας της πληροφορίας. Άρα:

- Αποσαφηνίζεται ο λογιστικός δεσμός μεταξύ των ανθρώπινων χρήσεων και του κόστους –σε όρους πληροφοριακού δυναμικού- για τη Φύση
- Η Έρευνα & Ανάπτυξη αποτελεί προς το παρόν μια διαδικασία, αποκομμένη από τη σαφή γνώση των οικολογικών περιορισμών, ενώ μπορεί να αποτελεί μια οργανωμένη κοινωνικοοικονομική διαδικασία στόχου υπέρβασής τους
- Αναπτύσσεται η πολιτική συζήτηση για την ανθρώπινη κλίμακα της παραγωγής της τεχνολογίας – το ζήτημα της τεχνολογικής δημοκρατίας = *το δικαίωμα του κάθε ανθρώπου να αποφασίζει για τον τρόπο απόκτησης του κατά κεφαλήν διαθέσιμου προς εκμετάλλευση ποσού ενέργειας (πληροφορίας)*

*Ο καλύτερος τρόπος να προβλέψει
κανείς το μέλλον, είναι να το
εφεύρει...*

Alan Key

Γενική κριτική της εργασίας

- **Θεωρητική** αναθεώρηση των οικονομικών εργαλείων αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών προβλημάτων και δημιουργία νέων=> δημιουργία αγοράς, λειτουργικής για κάθε οικονομικό σύστημα
- Οι δείκτες και τα θεωρητικά υποδείγματα των κεφ. 1 (ενότητες) & 3 (ενότητες), στηρίχθηκαν κυρίως σε **προηγούμενες παρόμοιες μελέτες** -εν ελλείψει ακριβούς πρωτογενούς πληροφορίας => **ανάγκη για εμπειρική επιβεβαίωση** των υποθέσεων εργασίας, μέσω τεχνομετρικών και οικονομετρικών υποδειγμάτων
- Προκειμένου να λειτουργήσει ένα χρηματοοικονομικό σύστημα προσαρμοσμένο στη Φύση, **απαιτείται σαφής προσδιορισμός των βιολογικών ορίων**. Ειδικότερα:
 1. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τις ακριβείς σχέσεις αιτιότητας που διέπουν τις αλληλεπιδράσεις των πλανητικών οικοσυστημάτων
 2. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τις ακριβείς σχέσεις αιτιότητας που διέπουν τη δημιουργία των ρύπων, των αποτελεσμάτων τους, και καταγραφή αυτών σε διεθνή τράπεζα δεδομένων

Πηγές Συγγραφής

Βιβλιογραφία

Γραμμένη στην ελληνική γλώσσα

1. Βερεσόγλου, Δημήτριος Σ. (2002), «*Οικολογία*», Εκδόσεις «έλλα»
2. Βλάχου, Ανδριάννα (2001), «*Περιβάλλον και Φυσικοί Πόροι: Οικονομική Θεωρία και Πολιτική*», Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα
3. Βλάχου, Ανδριάννα (2001), «*Περιβάλλον και Φυσικοί Πόροι: Ειδικά Θέματα*», Εκδόσεις ΟΠΑ, Αθήνα
4. Γκράμμης, Απόστολος (Ιανουάριος 2004), «*Διατηρήσιμη Ανάπτυξη: Ανταγωνιζόμενες Θεωρίες και Πολιτικές*», ΟΠΑ, ΠΜΣ τμήματος Οικονομικής Επιστήμης
5. Κώττης, Γεώργιος (1994), «*Οικολογία και Οικονομία*», Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα

Μεταφρασμένη στην ελληνική γλώσσα

6. Gillis, Malcolm et al. (2002), «*Οικονομική της Ανάπτυξης*», (Α' Τόμος), Τυπωθήτω Γεώργιος Δαρδανός, Αθήνα
7. Passet, Rene (1987), «*Οικονομία & Περιβάλλον: Μια Βιοοικονομική Προσέγγιση*», Εκδόσεις Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη
8. Rifkin, Jeremy (2002), «*Η Οικονομία του Υδρογόνου: Η Δημιουργία του Παγκόσμιου Ενεργειακού Ιστού, και η Ανακατανομή της Εξουσίας στη Γη*», Εκδοτικός Οίκος Λιβάνη

Γραμμένη στην αγγλική γλώσσα

9. Anghion, Philippe & Peter Howitt (1998), «*Endogenous Growth Theory*», MIT Press
10. El-Shaarawi, Abdel H. & Walter W. Piegorsch (2000), «*Encyclopedia of Environmetrics*» (volume 4), John Wiley & Sons
11. Odum, Howard T. (1995), «*Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making*», John Wiley & Sons
12. Ott, Wayne R., (1995), «*Environmental Statistics and Data Analysis*», Lewis Publishers
13. Stern, Nicolas (2006), «*The Stern Review: The Economics of Climate Change*»
14. Shannon, Claude (1948), *A Mathematical Theory of Communication*, reprinted with corrections from *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656
15. United Nations, European Commission, International Monetary Fund, Organization for Economic Cooperation & Development, World Bank (2003), «*Hanbook of Integrated Environmental & Economic Accounting*»

Γραμμένη στην ιταλική γλώσσα

16. Pignatti, Sandro & Bruno Trezza (2000), “*Assalto al Pianeta: Attività Produttiva e Crollo della biosfera*”, Bollati Boringhieri, Torino, Italia

Διεθνής επιστημονική αρθρογραφία

1. Andersson, Jan-Otto, *International trade in a full and unequal world*, Workshop “Trade and environmental justice”, Lund, 15-16 February 2006
2. Bartelmus, Peter, *Dematerialization and capital maintenance: two sides of the sustainability coin*, *Ecological Economics* 46 (2003) 61_/81
3. Boonekamp, P.G.M., *Energy and emission indicators*, *International Inventory and Assessment*, December 2002
4. Borrelli, G. et al., *Socio-Economic Research on Fusion*, Summary of EU Research 1997 – 2000, EFDA July 20, 2001
5. Boyd, James, *Banking on "Green Money": Are Environmental Financial Responsibility Rules Fulfilling their Promise?*, *Resources for the Future*, Discussion Paper 96-26, July 1996
6. Cardoso de Mendonca, Mario Jorge et al., *A study on the valuing of biodiversity: the case of three endangered species in Brazil*, *Ecological Economics* 46 (2003) 9_/18
7. Castelnovo, Efram & Marzio Galeottic, Gretel Gambarelli, Sergio Vergalli, *Learning-by-Doing vs. Learning by Researching in a model of climate change policy analysis*, *Ecological Economics* 54 (2005) 261– 276
8. Chen, G.Q., *Exergy consumption of the earth*, *Ecological Modelling* 184 (2005) 363– 380
9. Costanza, Robert et al., *The value of the world’s ecosystem services and natural capital*, *Nature*, Vol. 387, 15 May 1997
10. Couder, J. & A. Verbruggen, *Towards an integrated performance indicator for (energy) benchmarking covenants with industry*, *The Handbook of Environmental Voluntary Agreements*, 307 – 332, 2005
11. Dasgupta, Partha & Karl-Göran Mäler, *Environmental and Resource Economics: Some Recent Developments*, July 2004
12. David, Paul A., *The Economic Logic of “Open Science” and the Balance between Private Property Rights and the Public Domain in Scientific Data and Information: A Primer*, *Stanford Institute for Economic Policy Research*, Discussion Paper No. 02-30, March 2003
13. Davos, Climis A., *A pollution theory of value*, *Socio-Economic. Planning Sciences Vol 13*, pp. 303-312
14. Dosi, Giovanni, *Finance, innovation and industrial change*, *Journal of Economic Behavior and Organization* 13 (1990) 299-319

15. Dosi, Giovanni & Richard R. Nelson, *An introduction to evolutionary theories in economics*, *Journal of Evolutionary Economics* (1994) 4:153-172
16. Dosi, Giovanni, & Sidney G. Winter, *Interpreting Economic Change: Evolution, Structures and Games*, *LEM Working Paper Series*, July 2000
17. Escobar-Toledo, Carlos E., *Increasing the eco-efficiency and economy of an energy system: A multiobjective optimization approach*, *National University of Mexico*
18. Executive Office of the President, Office of Management & Budget, Office of Science & Technology Policy, *Updated Administration Research and Development Budget Priorities*, August 12, 2004
19. Ferner, Mike, *Democracy and Renewable Energy: Why We're So Short on Both*, *The Program on Corporations, Law & Democracy (POCLAD)*, First Unitarian Church "Community Dialogue", 19 January 2002
20. Foxon, Timothy J., *Inducing Innovation for a low-carbon future: Drivers, barriers and policies*, *A report for The Carbon Trust*, July 2003
21. Fusaro, Peter C., *Green Finance: The Emerging Financial Markets for Protecting the Environment*, *Global Change Associates Inc.*
22. Fusaro Peter C., *The New Business Model for Investing in the Green Space*, *Utilipoint Issue Alert*, July 11, 2005, *Global Change Associates*
23. Gaggioli, Richard A. & William J. Wepfer, *Exergy economics*, *Energy*, Vol. 5, pp. 823-837
24. Gerlagh, Reyer & Wietze Lise, *Carbon taxes: A drop in the ocean, or a drop that erodes the stone? The effect of carbon taxes on technological change*, *Ecological Economics* 54 (2005) 241–260
25. Gilding, Paul et al., *Safe Companies: An Alternative Approach to Operationalizing Sustainability*, *Corporate Environmental Strategy*, Vol. 9, No. 4 (2002)
26. Golub, Alexander & Elena Strukova, *Russia and the GHG market*, *Climatic Change* 63: 223–243, 2004
27. Gorman, Michael E., *Earth systems engineering management: human behavior, technology and sustainability*, *Resources, Conservation and Recycling* 44 (2005) 201–213
28. Grafton, R. Quentin et al., *Financing sustainable development: Country Undertakings and Rights for Environmental Sustainability CURES*, *Ecological Economics* 51 (2004) 65–78
29. Groom, Ben, et al., "Discounting the distant future: How much does model selection affect the certainty equivalent rate?" *Journal of Applied Econometrics* 21: 0 (2006)
30. Hall, Bronwyn H., *The Economics of R&D Tax Credits*, *University of California at Berkeley, Oxford University*, 21/3/01

31. Hannon, Bruce, *Conditioning the Ecosystem*, *Mathematical Biosciences* 75123-42 (1985)
32. Harper, E.M. & T.E. Graedel, *Industrial ecology: a teenager's progress*, *Technology in Society* 26, (2004), 433-445
33. Havinga, Ivo & Vladimir Markhonko, *The Development of an Integrated Approach to Business Statistics at United Nations Statistics Division*, *OECD Structural Business Statistics Expert Meeting – Paris, 10-11 May 2007*
34. Helsinki School of Economics & LTT Research Ltd., *The implications of R&D offshoring on the innovation capacity of EU firms*, *PRO-INNO EUROPE*, January 2007
35. Hermann, Weston A., *Quantifying global exergy resources*, *Energy* (2005)
36. Jones, Charles I. & John C. Williams, *Too Much of a Good Thing? The Economics of Investment in R&D*, July 6, 1999
37. Kammen, Daniel M. & Gregory F. Nemet, *Reversing the Incredible Shrinking Energy R&D Budget*, *Issues in Science and Technology*, fall 2005
38. Kemp, Rene, *Technology and the Transition to Environmental Sustainability: The problem of technological regime shifts*, *Futures* 1994 26(10) 102331046
39. Klaassena, Ger et al., *The impact of R&D on innovation for wind energy in Denmark, Germany and the United Kingdom*, *Ecological Economics* 54 (2005) 227– 240
40. Koroneos Christopher et al., *Exergy analysis of renewable energy sources*, *Renewable Energy* 28 (2003) 295–310
41. Krajnc, Damjan & Peter Glavic, *How to compare companies on relevant dimensions of sustainability*, *Ecological Economics* 55 (2005) 551– 563
42. Lee Chang-Yang & Taeyoon Sung, *Schumpeter's legacy: A new perspective on the relationship between firm size and R&D*, *Research Policy* 34 (2005) 914–931
43. Light, Andrew, *Democratic Technology, Population, and Environmental Change*, forthcoming in “*Philosophy of Technology: New Debates in the Democratization of Technology*”, *SUNY Press*, 2004
44. Loschel, Andreas, *Technological change in economic models of environmental policy: a survey*, *Ecological Economics* 43 (2002) 105/126
45. Lutz, Christian et al., *Endogenous technological change and emissions: the case of the German steel industry*, *Energy Policy* 33 (2005) 1143–1154
46. Matthews, Mark & John Howard, *A Study of Government R&D Expenditure by Sector and Technology*, *Australian Department of Industry, Science and Resources*, February 2000
47. May, Robert, “*Biological Populations with Non-overlapping Generations: Stable Points, Stable Cycles, and Chaos*”, *Science*, vol.186, p.645-647, 1974
48. May, Robert, “*Simple mathematical models with very complicated Dynamics*”, *Nature*, vol.261, p.459, 1976

49. Midilli Adnan et al., *Green energy strategies for sustainable development* *Energy Policy* 34 (2006) 3623–3633
50. Mulvany, Patrick, “*Technology as if People Mattered*”, *International Forum on the Eradication of Poverty, Thinking Outside the Box: innovative approaches*, 15-16 November 2006
51. Munasinghe, Mohan, *Environmental Macroeconomics – Basic Principles*, *International Society for Ecological Economics, Shri-Lanka*, May 2004
52. Mytelka, Lynn Krieger, *Rethinking Development, A role for innovation networking in the “other two-thirds”*, *Futures* July/August 1993
53. O’Callaghan, P.W. & S.D. Robert, *Exergy and economics*, *Applied Energy*, 8 (1981) 227-243
54. OECD, Science Technology Industry (STI), *Tax incentives for Research and Development: Trends and Issues*, 2000
55. Otto, Vincent M. et al., *Energy biased technical change: A CGE analysis*, *Resource and Energy Economics* (2006)
56. Pacudan, Romeo, *The Clean Development Mechanism: New instrument in financing renewable energy technologies*, *Renewable Energies for Central Asia Countries: Economic, Environmental and Social Impacts*, 27–42, 2005
57. Pan, Haoran & Jonathan Köhler, *Technological change in energy systems: Learning curves, logistic curves and input–output coefficients*, *Ecological Economics* (2007)
58. Pillarisetti, J. Ram, *The World Bank’s genuine savings measure and sustainability*, *Ecological Economics* 55 (2005) 599– 609
59. Popp, Jennie et al., *Sustainability indices with multiple objectives*, *Ecological Indicators* 1 (2001) 37–47
60. Popp, David, *Lessons from patents: Using patents to measure technological change in environmental models*, *Ecological Economics* 54 (2005) 209– 226
61. Sartorius, Christian, *Second-order sustainability—conditions for the development of sustainable innovations in a dynamic environment*, *Ecological Economics* 58 (2006) 268– 286
62. Stern I., David, *Environmental Kuznets Curve*, *Encyclopedia of Energy* (vol. 2), Elsevier, 2004
63. Susani, Ludovico et al., *Comparison between technological and ecological exergy*, *Ecological Modelling* 193 (2006) 447–456
64. Szargut, J., *Application of exergy for the determination of the proecological tax replacing the actual personal taxes*, *Energy* 27 (2002) 379–389
65. The Industrial College of the Armed Forces, *Strategic materials*, *National Defence University*, Spring 2005

66. Tsur, Yacov & Amos Zemel, *Growth, Scarcity and R&D*, The Department of Agricultural Economics and Management, The Center for Agricultural Economic Research, June 2002
67. UN Committee of Experts on Environmental-Economic Accounting (UNCEEA), *Guidelines for the Global Assessment of Environment Statistics and Environmental-Economic Accounting*
68. U.S. Department of Energy, *Industrial Materials for the Future*, Industrial Technologies Program (ITP), Fiscal Year 2004 Annual Report
69. Vellinga, Nico & Cees Withagen, *On the concept of Green National Income*, Oxford Economic Papers 48 (1996), 499-514
70. Wagner, Marcus, *Achieving Environmental-economic sustainability through corporate environmental strategies. Empirical Evidence on Environmental Shareholder Value*, Sustainability Accounting and Reporting, 183-206, 2006
71. Wakeford, Tom, *Democratising technology: Reclaiming science for sustainable development*, Intermediate Technology Development Group, The Schumacher Centre for Technology and Development, November 2004
72. Weale, Martin, *Environmental multipliers from a system of physical resource accounting*, Structural Change and Economic Dynamics, vol. 2, no. 2, 1991
73. Winte, S.G. et al., *A Baseline Model of Industry Evolution*, International Institute for Applied Systems Analysis, IR-97-013 /March
74. Zachariadis, Marios, *R&D, Innovation, and Technological Progress: A test of the Schumpeterian Framework without Scale Effects*, Louisiana State University, September 2002

Προσωπικές επικοινωνίες

1. Ηλεκτρονική επικοινωνία με τον Γεώργιο Βεκίνη, Διευθυντή του Εργαστηρίου Προηγμένων Κεραμικών Υλικών, Ινστιτούτο Επιστήμης Υλικών, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, 1/11/2006