

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΜΕ ΣΥΝΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΒΙΩΣΙΜΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Κεραμιώτη Δέσποινα
Επιβλέπων Καθηγητής: Χρίστος Αθ. Φραγκόπουλος

Αθήνα 2009

Σύνοψη

Τις τελευταίες δεκαετίες, η επιστημονική κοινότητα έχει αρχίσει και μελετά τα ενεργειακά συστήματα από μια πιο σφαιρική σκοπιά σε σύγκριση με το παρελθόν. Εκτός από την ενεργειακή και εξεργειακή απόδοση των ενεργειακών συστημάτων και από το κόστος τους το ενδιαφέρον πλέον στρέφεται και στον τρόπο με τον οποίο τα ενεργειακά συστήματα επηρεάζουν το περιβάλλον και την κοινωνία. Με άλλα λόγια, εξετάζεται το κατά πόσο τα ενεργειακά συστήματα συμβάλλουν στη βιώσιμη ανάπτυξη της κοινωνίας. Στην παρούσα εργασία, αρχικά, παρουσιάζονται διάφορες μέθοδοι αξιολόγησης ενεργειακών συστημάτων και επιχειρήσεων ως προς τη συμβολή αυτή.

Εν συνεχεία, θεωρούνται τρεις περιπτώσεις ενεργειακών συστημάτων οι οποίες μπορούν να καλύψουν τις ηλεκτρικές και θερμικές απαιτήσεις μιας βιομηχανίας. Οι τρεις αυτές περιπτώσεις είναι οι εξής:

- A. Αγορά ηλεκτρικού ρεύματος από το δίκτυο και παραγωγή θερμότητας από λέβητα φυσικού αερίου.
- B. Εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής αεριοστροβίλου με καύση φυσικού αερίου.
- Γ. Εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής κινητήρα διπλού καυσίμου και λέβητα φυσικού αερίου.

Για κάθε περίπτωση πραγματοποιείται οικονομική ανάλυση του συστήματος και γίνεται σύγκριση των τριών περιπτώσεων με κριτήρια βιώσιμης ανάπτυξης με τη μέθοδο ASPID και τη μέθοδο των κυκλικών τομέων.

Τέλος, εξάγονται ορισμένα γενικά συμπεράσματα και προτείνονται ορισμένες κατευθύνσεις για συνέχιση της εργασίας.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κύριο Χρίστο Α. Φραγκόπουλο για την αμέριστη βοήθεια και την καθοδήγησή του χωρίς τις οποίες δε θα ήταν δυνατή η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Αρκτικόλεξα.....	13
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
1.1 Ενεργειακοί πόροι.....	15
1.2 Χρήση ενέργειας – Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον.....	16
1.3 Βιωσιμότητα.....	17
1.4 Το Παράδοξο της Βιωσιμότητας.....	20
1.5 Η Μέτρηση της Βιωσιμότητας.....	20
2 Η ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	
2.1.1 Εισαγωγή - Βασικοί Προβληματισμοί.....	23
2.1.2 Μέθοδοι αξιολόγησης της βιωσιμότητας.....	24
2.2 Κατανομή Πόρων Μεταξύ Γενεών.....	25
2.3 Η Μεταξύ Γενεών Διανομή των Δικαιωμάτων Περιβαλλοντικής Ιδιοκτησίας.....	27
2.3.1 Εισαγωγή.....	27
2.3.2 Περίπτωση I: αποκλειστικά δικαιώματα ιδιοκτησίας στις παρούσες γενιές.....	28
2.3.3 Περίπτωση II: αποκλειστικά δικαιώματα ιδιοκτησίας στις μελλοντικές γενιές.....	29
2.3.4 Περίπτωση III: διανομή των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας μεταξύ διαφορετικών γενεών.....	30
2.3.5 Συμπεράσματα.....	33
2.4 Η Μεταξύ Γενεών Αναγωγή σε Παρούσα Αξία.....	35
2.4.1 Παραλλαγές ορισμών της καθαρής παρούσας αξίας.....	35
2.4.2 Προβληματισμοί και προτάσεις προσδιορισμού του επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία.....	39
2.4.2.1 Εισαγωγή.....	39
2.4.2.2 Η αναγωγή σε παρούσα αξία στην ανάλυση κόστους-οφέλους: υπόβαθρο.....	40
2.4.2.3 Αξιολόγηση των προσεγγίσεων της αναγωγής σε παρούσα αξία.....	41
2.4.2.4 Μια πρόταση σχετικά με την περιβαλλοντική αναγωγή σε παρούσα αξία.....	48
2.4.2.5 Δείκτες περιβαλλοντικής αποδοτικότητας.....	52
2.4.2.5.1 Ποσό μεταφοράς μεταξύ γενεών (Intergenerational Transfer Amount, ITA).....	52
2.4.2.5.2 Κρίσιμο περιβαλλοντικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (Critical Environmental Rate, CER).....	52
2.4.2.6 Εφαρμογή των διαφορετικών προσεγγίσεων αναγωγής σε παρούσα αξία στο πρόγραμμα WREC της Almería (Ισπανία).....	53
2.4.2.7 Συμπεράσματα.....	59
2.5 Δείκτες Βιωσιμότητας από Πλευράς Πόρων.....	60
3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ	

3.1	Εισαγωγή.....	63
3.2	Μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό του κριτηρίου βιώσιμης ανάπτυξης.....	64
3.2.1	Επιλογή των δεικτών.....	65
3.2.2	Ομαδοποίηση των επιλεγμένων δεικτών.....	65
3.2.3	Κρίση των δεικτών.....	66
3.2.4	Στάθμιση των δεικτών.....	66
3.2.5	Κανονικοποίηση των δεικτών.....	67
3.2.6	Υπολογισμός των σύνθετων δεικτών.....	67
3.2.7	Συνδυασμός των σύνθετων δεικτών ώστε να προκύψει ο I_{CSD}	68
3.3	Παράδειγμα μελέτης αξιολόγησης επιχειρήσεων.....	68
3.3.1	Υπολογισμός του κριτηρίου βιώσιμης ανάπτυξης των επιχειρήσεων της μελέτης.....	69
3.3.2	Ανάλυση των αποτελεσμάτων.....	77
3.4	Συμπεράσματα.....	80
4	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ	
4.1	Κριτήρια Βιωσιμότητας Ενεργειακών Συστημάτων.....	83
4.1.1	Αναζήτηση κριτηρίων της βιωσιμότητας.....	83
4.1.2	Ορισμός των δεικτών.....	83
4.1.2.1	Δείκτες πόρων.....	84
4.1.2.2	Περιβαλλοντικοί δείκτες.....	84
4.1.2.3	Κοινωνικοί δείκτες.....	85
4.1.2.4	Οικονομικοί δείκτες.....	85
4.2	Τεχνικά και Οικονομικά Χαρακτηριστικά των Συστημάτων.....	86
4.2.1	Περιγραφή των ενεργειακών αναγκών και γενικά δεδομένα.....	86
4.2.2	Δεδομένα και προκαταρκτικοί υπολογισμοί για το Σύστημα Α.....	88
4.2.3	Δεδομένα και προκαταρκτικοί υπολογισμοί για το Σύστημα Β.....	90
4.2.4	Δεδομένα και προκαταρκτικοί υπολογισμοί για το Σύστημα Γ.....	91
4.3	Δεδομένα Υπολογισμού του Εξωτερικού Περιβαλλοντικού Κόστους.....	94
4.4	Οικονομική Ανάλυση του Συστήματος Α.....	94
4.4.1	Συμβατική οικονομική ανάλυση του συστήματος Α.....	94
4.4.2	Συνεκτίμηση του εξωτερικού περιβαλλοντικού κόστους του Συστήματος Α.....	97
4.5	Οικονομική Ανάλυση του Συστήματος Β.....	100
4.5.1	Συμβατική οικονομική ανάλυση του Συστήματος Β.....	100
4.5.2	Συνεκτίμηση του εξωτερικού περιβαλλοντικού κόστους του Συστήματος Β.....	101
4.6	Οικονομική Ανάλυση του Συστήματος Γ.....	104
4.6.1	Συμβατική οικονομική ανάλυση του Συστήματος Γ.....	104
4.6.2	Συνεκτίμηση του εξωτερικού περιβαλλοντικού κόστους του Συστήματος Γ.....	106
4.7	Δείκτες Βιωσιμότητας Ενεργειακών Συστημάτων.....	109
4.7.1	Επιλογή των δεικτών βιωσιμότητας και απόλυτες τιμές αυτών.....	109
4.7.2	Κανονικοποιημένες τιμές των δεικτών και σύνθετοι δείκτες βιωσιμότητας (μεθόδου ASPID).....	111
4.7.3	Σχηματική απεικόνιση των δεικτών βιωσιμότητας (Μέθοδος των Κυκλικών Τομέων).....	114
4.8	Σύγκριση Μεταξύ Συστημάτων και Συμπεράσματα.....	117

5 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	119
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	121

Αρκτικόλεξα

AHP	Analytic Hierarchy Process
BIONET	Biodiversity Action Network
CBA	Cost-Benefit Analysis (Ανάλυση Κόστους - Οφέλους)
CCI	Current Change Indicator (Δείκτης Τρέχουσας Αλλαγής)
CER	Critical Environmental Rate (Κρίσιμο Περιβαλλοντικό Επιτόκιο Αναγωγής σε Παρούσα Αξία)
CV	Contingent Valuation (Ενδεχόμενη Αξιολόγηση)
CWRT	Center for Waste Reduction Technologies
DDR	Declining Discount Rate (Μειούμενο Επιτοκίου Αναγωγής σε Παρούσα Αξία)
ECBA	Extended or Environmental Costs Benefits Analysis (Εκτεταμένη ή Περιβαλλοντική Ανάλυση Κόστους Οφέλους)
EDF	Exponential Discount Factors (Εκθετικοί Παράγοντες Αναγωγής σε Παρούσα Αξία)
EDR	Environmental Discount Rate (Περιβαλλοντικό Επιτόκιο Αναγωγής σε Παρούσα Αξία)
EKC	Environmental Kuznets Curve (Περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets)
EMAS	Eco-management and Auditing Scheme
GNPV	Generational NPV (Μεταξύ Γενεών Επιτόκιο Αναγωγής σε Παρούσα Αξία)
GRI	Global Reporting Initiative
HDF	Hyperbolic Discount Factors (Υπερβολικοί Παράγοντες Αναγωγής σε Παρούσα Αξία)
IChemE	Institution of Chemical Engineers
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change
IRR	Internal Rate of Return (Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης της Επένδυσης)
ISO	International Organization of Standardization
ITA	Intergenerational Transfer Amount (Μεταξύ Γενεών Ποσό Μεταφοράς)
NPV	Net Present Value (Καθαρή Παρούσα Αξία)
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
PCI	Possible Change Indicator (Δείκτης Δυνατών Αλλαγών)
RFF	Resources For the Future
RI	Resource Index (Δείκτης Πηγής)
SDR	Social Discount Rate (Κοινωνικό Επιτόκιο Αναγωγής σε Παρούσα Αξία)
SEDR	Social Environmental Discount Rate (Κοινωνικό Περιβαλλοντικό Επιτόκιο Αναγωγής σε Παρούσα Αξία)
STPR	Social Time Preference Rate (Επιτόκιο Κοινωνικής Χρονικής Προτίμησης)
UNEP	United Nations Environment Programme
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WCED	World Commission on Environment and Development

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Οι ενεργειακοί πόροι ανέκαθεν έπαιζαν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της ανθρώπινης κοινωνίας. Από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά, η ενέργεια έχει γίνει κινητήριο δύναμη για την ανάπτυξη του μοντέρνου πολιτισμού.

Η τεχνολογική ανάπτυξη και η χρήση ενέργειας με την αύξηση του πληθυσμού στον κόσμο είναι ισχυρά αλληλενδετες. Η βιομηχανική επανάσταση ειδικά, με την ανάπτυξη που δημιουργήθηκε χάρη στις ατμομηχανές και τον ατμοστρόβιλο στο τέλος του 19^{ου} αιώνα, επέφερε μια επανάσταση στην επιστήμη της δυναμικής, και ξεκίνησε μια δραστική αύξηση στην κατανάλωση καθώς και στον πληθυσμό του κόσμου.

Η ενέργεια και η ύλη συνιστούν το φυσικό κεφάλαιο της γης που είναι ουσιώδες για τις ανθρώπινες δραστηριότητες, που δύναται να ταξινομηθεί ως εξής:

- Ηλιακό κεφάλαιο
(παρέχει το 99% της ενέργειας που χρησιμοποιείται στη γη)
- Κεφάλαιο της γης (φυσικοί πόροι που βοηθούν τη ζωή και διαδικασίες που περιλαμβάνουν το ανθρώπινο δυναμικό).

Αυτοί και άλλοι φυσικοί πόροι, αποτελούν αυτό που είναι γνωστό ως «φυσικό κεφάλαιο» και είναι αυτό το φυσικό κεφάλαιο που πολλοί υποστηρίζουν ότι υποβαθμίζεται αυτή την περίοδο. Πολλοί επίσης υποστηρίζουν ότι η σύγχρονη οικονομική θεωρία δεν εκτιμά τη σημασία του φυσικού κεφαλαίου στην τεχνο-οικονομική παραγωγή.

1.1 Ενεργειακοί Πόροι

Όλοι οι φυσικοί πόροι είναι θεωρητικά ανανεώσιμοι αλλά σε ευρέως διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Αν η χρονική περίοδος για ανανέωση είναι μικρή, οι φυσικοί πόροι ονομάζονται ανανεώσιμοι. Αν η ανανέωση λαμβάνει χώρα σε μια μεγαλύτερη χρονική περίοδο, που περίπου ταυτίζεται με την ανθρώπινη ζωή, ονομάζονται δυνητικά ανανεώσιμοι. Αν η ανανέωση ορισμένων φυσικών πόρων είναι μόνο δυνατή μέσω γεωλογικών διεργασιών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε μεγάλη χρονική περίοδο, για τους πρακτικούς μας σκοπούς θα τους θεωρούμε μη ανανεώσιμους.

Η χρήση των υλικών φυσικών πόρων από τους ανθρώπους σχετίζεται άμεσα με τη μη καταστροφή της ύλης. Βασικά, όλη η ύλη της γης παραμένει στη γη σε μια μορφή που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα. Η ποιότητα του χρησιμοποιούμενου τμήματος ενός ποσού ενέργειας υποβαθμίζεται σταθερά από τη χρήση και λέμε ότι η εντροπία αυξάνεται.

Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί το γεγονός ότι η χρήση των φυσικών πόρων εξαρτάται από τις τεχνολογικές μετατροπές της.

1.2 Χρήση Ενέργειας – Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον

Οι άφθονοι ενεργειακοί πόροι στις αρχές της βιομηχανικής ανάπτυξης της σημερινής κοινωνίας είχαν επιβάλει τη στρατηγική της ανάπτυξης του πολιτισμού μας να βασίζεται στην προσδοκόμενη σκέψη ότι οι ενεργειακοί πόροι είναι ανεξάντλητοι και ότι δεν θα υπήρχαν όρια που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ανάπτυξη της ανθρώπινης ευημερίας. Έχει αναγνωριστεί ότι το μοντέλο της χρήσης των ενεργειακών πόρων είναι στενά εξαρτώμενο από την ανάπτυξη της τεχνολογίας.

Βλέποντας το παρόν μοντέλο κατανάλωσης ενεργειακών πόρων, σημειώνουμε ότι το πετρέλαιο είναι ο μεγάλος τροφοδότης, που εφοδιάζει γύρω στο 40% της ενέργειας. Επόμενος είναι ο λιγνίτης με εφοδιασμό γύρω στο 30%, το φυσικό αέριο περίπου στο 20% και η πυρηνική ενέργεια στο 6,5%. Αυτό σημαίνει ότι τα μη πυρηνικά καύσιμα καλύπτουν το 90% της τρέχουσας ενεργειακής ζήτησης. Τις τελευταίες δεκαετίες ο πολιτισμός μας έχει γίνει μάρτυρας αλλαγών που θέτουν υπό αμφισβήτηση τη μακροπρόθεσμη προοπτική μας. Το μη ανακυκλώσιμο φυσικό καύσιμο είναι ένας εξαντλούμενος φυσικός πόρος που κάποια μέρα δεν θα είναι διαθέσιμο. Εν προκειμένω, αποτελεί υπόθεση κοινού ενδιαφέροντος η γνώση τού κατά πόσον οι πόροι του φυσικού καυσίμου θα είναι διαθέσιμοι, αφού είναι η κύρια πηγή ενέργειας για τον πολιτισμό μας. Η ποσότητα των διαθέσιμων καυσίμων εξαρτάται από το εμπλεκόμενο κόστος.

Είναι γνωστό ότι η χρήση ενέργειας εξαρτάται από δύο κύριες παραμέτρους: το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται κατά κεφαλήν και την αύξηση του πληθυσμού. Έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει ένας δυνατός συσχετισμός μεταξύ του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος και της κατά κεφαλήν χρήσης ενέργειας.

Υπάρχει πλήθος σεναρίων που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της παγκόσμιας οικονομικής ανάπτυξης που λαμβάνουν υπόψη τη νέα τάση στην οικονομική ανάπτυξη, υπολογίζοντας την μελλοντική αυξανόμενη χρήση ενέργειας. Σε σύγκριση με τους διαθέσιμους πόρους, είναι εύκολο να προβλεφθεί ότι η μείωση των ενεργειακών πόρων είναι μία ενυπάρχουσα διαδικασία, με την οποία ο πολιτισμός μας θα έλθει αντιμέτωπος στο προσεχές μέλλον.

Η σπανιότητα των φυσικών πόρων και η οικονομική ανάπτυξη έρχονται σε ουσιώδη αντίθεση η μία με την άλλη. Είναι γνωστό ότι: 1) Οι φυσικοί πόροι είναι σπάνιοι και το κόστος τους αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου. 2) Η σπανιότητα των πόρων αντιτάσσεται την οικονομική ανάπτυξη.

Υπάρχουν δύο βασικές εκδοχές αυτού του δόγματος [Afgan, Carvalho (2000)]. Η πρώτη, η μαλθουσιανή εκδοχή, μένει στην υπόθεση ότι υπάρχουν απόλυτα όρια. Άπαξ και αυτά τα όρια προσεγγισθούν, η συνεχής αύξηση του πληθυσμού απαιτεί μία αυξανόμενη ένταση της καλλιέργειας και κατά συνέπεια φέρνει μειωμένες εισπράξεις κατά κεφαλήν. Η δεύτερη, η ριχαρδιανή εκδοχή, αντιμετώπισε τις μειωμένες εισπράξεις σαν προσωρινό φαινόμενο που αντανάκλα τη μείωση/ύφεση της ποιότητας των πόρων που έρχεται μέσα στα περιθώρια μιας κερδοφόρας καλλιέργειας. Εκτός από αυτά τα δύο μοντέλα, υπάρχει επίσης η καλούμενη «ουτοπική περίπτωση», κατά την οποία δεν υπάρχει σπανιότητα των φυσικών πόρων. Έχουν γίνει διάφορες απόπειρες εφαρμογής αυτών των μοντέλων στους ενεργειακούς χώρους με σκοπό τον ορισμό του συσχετισμού ανάμεσα σε ορισμένους ενεργειακούς πόρους και την οικονομική ανάπτυξη.

1.3 Βιωσιμότητα

Όπως είναι γνωστό, οι ενεργειακοί πόροι είναι τα θεμέλια για την ανάπτυξη του πολιτισμού μας. Η πολυσυνδυασμένη χρήση τους έχει υπηρετήσει την ανθρώπινη κοινωνία οδηγώντας την σε αφθονία αγαθών ευημερίας για ένα αξιοπρεπές επίπεδο ανθρώπινης ζωής. Δυστυχώς όμως η μετατροπή και η χρήση ενέργειας συμβαδίζουν με ανεπιθύμητες παρενέργειες. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η κοινωνία έχει αναγνωρίσει την σημαντικότητα της έξυπνης χρήσης της ενέργειας με ευαισθησία για την παροχή της σε επάρκεια σε όσο το δυνατόν καθαρότερη και αποτελεσματικότερη μορφή. Το ζήτημα της ενέργειας έγινε ζωτικής σημασίας λόγω της ταχείας αύξησης του πληθυσμού στον κόσμο και της ανάγκης για επιταχυνόμενη οικονομική ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων χωρών. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο το θέμα «ενέργεια» καταλαμβάνει το επίκεντρο της διαμάχης των σοβαρών διλημμάτων του σήμερα: δηλαδή, πώς να συνδυασθεί η οικονομική ανάπτυξη μ' ένα βιώσιμο περιβάλλον σ' ένα κόσμο που υφίσταται ταχείες μεταβολές λόγω αυξήσεως του πληθυσμού και της οικονομικής ανάπτυξης του αναπτυσσόμενου κόσμου.

Η αγγλική λέξη "sustainability" έχει ρίζες στη λατινική γλώσσα -sustinere- που σημαίνει συντηρώ-διατηρώ. Στα ελληνικά έχει αποδοθεί με τη λέξη βιωσιμότητα. Πριν από οποιαδήποτε συζήτηση σχετικά με το θέμα, είναι απαραίτητο να οριστεί και να αξιολογηθεί κατάλληλα ο ορισμός που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Πρέπει να τονιστεί, ότι ο ορισμός χρειάζεται για να διασαφηνισθούν οι αντιλήψεις. Τότε λοιπόν τί είναι βιωσιμότητα;

Ανάμεσα στους ορισμούς που υιοθετούνται συχνά για τη βιωσιμότητα είναι οι ακόλουθοι:

- α) για την World Commission on Environment and Development (Brundland Commission): "η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς τον συμβιβασμό της ικανότητας των μελλοντικών γενιών να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους"
- β) για την United Nation Conference in Environment and Development (1992): "η ανάπτυξη που απαιτεί τη λήψη μακροχρόνιων προοπτικών, ενσωματώνοντας τοπικές και περιφερειακές επιδράσεις της συνολικής αλλαγής στη διαδικασία ανάπτυξης, και χρησιμοποιώντας την καλύτερη διαθέσιμη επιστημονική και παραδοσιακή γνώση"
- γ) για το Council of Academies of Engineering and Technological Sciences: "η ισορροπία οικονομικών, κοινωνικών, περιβαλλοντικών και τεχνολογικών θεωρήσεων, όπως και η ενσωμάτωση μιας μονάδας ηθικών αξιών"
- δ) για το Earth Chapter: "η προστασία του περιβάλλοντος είναι σημαντική για την ανθρώπινη ευεξία και την απόλαυση των ουσιωδών δικαιωμάτων, και έτσι απαιτεί την αντιστοιχία ουσιωδών καθηκόντων"
- ε) Thomas Jefferson, Sept. 6 1789: "τότε λέω ότι η Γη ανήκει σε κάθε γενιά κατά τη διάρκεια της ζωής της, εξολοκλήρου, και δεν έχει δικαίωμα να πάρει μεγαλύτερα δάνεια από αυτά που μπορεί να αποπληρώσει κατά τη διάρκεια της ζωής της".

Καί οι πέντε αυτοί ορισμοί δίνουν έμφαση σε συγκεκριμένες πλευρές της βιωσιμότητας. Οι ορισμοί (α) και (ε) υπονοούν ότι κάθε γενιά πρέπει να κληροδοτεί αρκετό φυσικό κεφάλαιο, ώστε να επιτρέπεται στις μελλοντικές γενιές να

ικανοποιούν τις ανάγκες τους. Ακόμη και αν υπάρχει κάποια ασάφεια σ' αυτόν τον ορισμό εννοείται ότι πρέπει να δώσουμε στους απογόνους μας τη δυνατότητα να επιβιώνουν καλώς και να ικανοποιούν τις ανάγκες τους. Επιπλέον, δεν υπάρχουν προδιαγραφές ως προς τον τύπο των πόρων που πρέπει ν' απομείνουν και τί ποσότητες απαιτούνται για τις μελλοντικές γενιές διότι είναι δύσκολο να προβλεφθούν τα μελλοντικά σενάρια.

Οι ορισμοί (β) και (γ) εκφράζουν περισσότερο πολιτικές παρεμβάσεις για τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν σε παγκόσμιο, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο για να παροτρύνουν τον Οργανισμό των Ηνωμένων Εθνών, Κυβερνήσεις και Τοπικές Αρχές να σχεδιάσουν αναπτυξιακά προγράμματα σύμφωνα με την επιστημονική και τεχνολογική γνώση. Συγκεκριμένα στον ορισμό (γ) πρέπει ν' αναφερθεί η ηθική πλευρά των ενεργειών που πρέπει να γίνουν για τη μελλοντική ανάπτυξη, ώστε να γίνει πραγματικότητα η βιώσιμη ανάπτυξη.

Ο ορισμός (δ) βασίζεται σε θρησκευτικές θέσεις που σχετίζονται με την ευθύνη και τις υποχρεώσεις απέναντι στη φύση και τον πλανήτη μας.

Το ενδιαφέρον μας, που είναι μεγαλύτερο από ποτέ, μας έχει οδηγήσει στον επαναπροσδιορισμό της κύριας συζήτησης για την ανάπτυξη στρατηγικής, ώστε να προσαρμοστεί το μέλλον μας στις μη αναστρέψιμες αλλαγές, οι οποίες ενυπάρχουν στον πολιτισμό μας.

Σαν παράδειγμα μπορούμε να παρατηρήσουμε την αύξηση της βιωσιμότητας άμεσα συνδεδεμένη με την απόρριψη της ανάπτυξης και του απλού οικονομικού εκσυγχρονισμού, σαν μια νέα προσέγγιση για τη διαχείριση της αλλαγής της κοινωνικής δομής. Από τη μια πλευρά, η «ανάπτυξη» και ο «εκσυγχρονισμός» έχουν προσελκύσει σαν ένα μέσον κυριαρχίας μια αυξανόμενη κριτική από αυτούς που δεν ανήκουν στον ανεπτυγμένο κόσμο. Από την άλλη πλευρά, η «ανάπτυξη» σαν μια γενίκευση της ανάπτυξης του ιστορικού κόσμου έχει αποδειχτεί ακατάλληλη να καλύψει τις πιο επείγουσες ανάγκες της παρούσας παγκόσμιας μεταμορφωτικής διαδικασίας.

Η συζήτηση των «ορίων ανάπτυξης» έχει επικεντρωθεί στο μοναδικό θέμα που αφορά τα όρια των πηγών που δύνανται να επιδράσουν στο μέλλον της δυτικής βιομηχανικής κοινωνίας, αν ακολουθηθεί ο ίδιος δρόμος σε παγκόσμια κλίμακα. Ακόμη κι αν έχει δοθεί κάποια θετική απάντηση στη συνολική οικονομία του ανεπτυγμένου κόσμου, δεν έχουν δοθεί απαντήσεις στα όλο και μεγαλύτερα προβλήματα της κοινωνίας του σήμερα. Ταυτόχρονα με την ανάπτυξη της βιομηχανίας πρωτοεμφανίστηκε η λέξη «παγκοσμιοποίηση» σαν λέξη-κλειδί για την πολιτική και την κανονιστική συνείδηση για να δημιουργηθεί η βιώσιμη ανάπτυξη. Την ίδια στιγμή, εξ αιτίας των άνισων οικονομικών και πολιτικών διαχωρισμών της κοινωνίας, δηλ. φτώχεια, θρυμματισμός, περιθωριοποίηση, πλήττεται απειλητικά ένα αυξανόμενο κομμάτι του πληθυσμού.

Το οικονομικό φάσμα της βιωσιμότητας που σχετίζεται με τις πηγές ενέργειας βασίζεται σε δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη βασίζεται στη βιωσιμότητα ανάμεσα στο φυσικό κεφάλαιο και στο κεφάλαιο που παράγεται από τον άνθρωπο, και η δεύτερη βασίζεται στο κεφάλαιο που παράγεται από τον άνθρωπο και στο φυσικό κεφάλαιο συμπληρωματικά.

Φαίνεται ότι η πρώτη προσέγγιση δεν είναι αποδεκτή, αφού δεν λαμβάνεται υπ' όψιν ο νόμος της εντροπίας που αφορά τη σπανιότητα των πόρων και δεν υπολογίζει το πεπερασμένο των γήινων αποθεμάτων.

Αυτή η προσέγγιση της βιωσιμότητας αντανακλά μόνο την πλευρά των πηγών και απορρίπτει την περιβαλλοντική και κοινωνική επίδραση της έννοιας της βιωσιμότητας. Προφανώς αυτή η απλοποίηση του ορισμού της βιωσιμότητας δεν

λαμβάνει υπ' όψιν της το πολυσύνθετο του παγκόσμιου συστήματος που σχετίζεται με τις πηγές ενέργειας.

Σαν παράδειγμα βλέπουμε μέσα από τα Μ.Μ.Ε. σε ποιο βαθμό η κοινωνική πλευρά της βιωσιμότητας επιδρά στην χρήση ενέργειας στις περιπτώσεις ενεργειακής κρίσης, επηρεάζοντας έτσι την κατανάλωση των ενεργειακών πόρων.

Είναι προφανές ότι η πολυπλοκότητα των προβλημάτων επιτάσσει την ανάγκη του εμπλουτισμού και της εμβάθυνσης στην κατανόηση των επιπτώσεων των διαφορετικών πλευρών της βιωσιμότητας. Επιπροσθέτως, οι πόροι, η οικονομία και το περιβάλλον είναι τα θέματα-κλειδιά των προβλημάτων που επηρεάζουν την ποιότητα ζωής στον πλανήτη μας και έχει αναγνωριστεί ότι ο κοινωνικός παράγοντας είναι θεμελιώδους σημασίας στην κατανόηση της βιώσιμης ανάπτυξης. Η προσοχή επικεντρώθηκε στις σχέσεις ανάμεσα στις κοινωνικές διαδικασίες και τις άλλες όψεις της στρατηγικής της μοντέρνας ανάπτυξης.

Είναι λογικό σ' ένα σύνθετο σύστημα να χρησιμοποιείται σχετική μεθοδολογία στην ανάλυση της συμπεριφοράς του. Αλλά πριν κάνουμε κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο να ορίσουμε το σύστημα λαμβάνοντας υπ' όψιν μας την πολυπλοκότητά του. Όπως γίνεται για κάθε σύστημα, πρέπει να οριστούν οι αντίστοιχες εκτατικές και εντατικές παράμετροι. Αυτό συνεπάγεται ότι γνωρίζουμε τις εσωτερικές διαδικασίες του συστήματος. Όπως είναι γνωστό, μόνο ένα σύστημα με γνωστή δομή θα μπορούσε να περιγραφεί με τον αντίστοιχο αριθμό παραμέτρων, οδηγώντας το στην περιγραφή της εσωτερικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των στοιχείων του. Η πολυπλοκότητα του συστήματος δεν μπορεί να προσδιοριστεί λόγω έλλειψης γνώσης της δομής του.

Η επιστήμη της μηχανικής έχει βασιστεί στους κανονικούς νόμους της φυσικής και των παραγώγων της σε άλλους κλάδους της επιστήμης. Έτσι λοιπόν, στενοί σύνδεσμοι μεταξύ αυτών των τομέων έχουν εφαρμοσθεί σε αριθμό θεμάτων για τη λύση τους.

Σε μικρότερο βαθμό η επιστήμη της μηχανικής έχει ενσωματωθεί στον κοινωνικό παράγοντα του προβλήματος. Η έννοια της βιωσιμότητας απαιτεί προσεκτική προσέγγιση σε όλη της την πολυπλοκότητα. Αυτό συνεπάγεται αλληλεπιδράσεις κατανόησης ανάμεσα στις διαφορετικές διαδικασίες στο σύστημα. Γίνεται εμφανές ότι η μονομερής εφαρμογή των κανονισμών και της νομοθεσίας δεν έχει πιθανότητα να επιλύσει τέτοιου είδους προβλήματα.

Η μηχανική από τη φύση της έχει τεράστια εμπειρία στον πολυδιάστατο τομέα να χειρίζεται προβλήματα με ποικιλία παραμέτρων και με πολυπλοκότητα στη δομή τους.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους οι ιδέες της βιώσιμης ανάπτυξης παρουσιάζονται και ερμηνεύονται [Afgan, Carvalho (2000)]. Οι οικολογικοκεντρικές ή οικονομικοκεντρικές ερμηνείες εμφανίζουν ένα καταφανή βαθμό αναφοράς στα οικοσυστήματα. Οι ανθρωποκεντρικές ερμηνείες έχουν την τάση να τοποθετούν τους ανθρώπους στο κέντρο των θεμάτων. Άλλες, όπως οι βιοκεντρικές ερμηνείες, επικεντρώνονται στην προστασία των στοιχείων της βιόσφαιρας. Η κύρια ανησυχία μας σ' αυτό το γενικό πλαίσιο είναι ότι η ενέργεια και οτιδήποτε κάνουμε για ή με την ενέργεια μπορεί να αντανakλάται σε κάποια από τις προαναφερθείσες προοπτικές και ερμηνείες. Ενώ αυτή η ανησυχία για βιωσιμότητα στη σφαίρα της ενέργειας θα έπρεπε να αντιμετωπίζεται σε παγκόσμια κλίμακα πιο συστηματικά, υπάρχει η ανάγκη να μελετάται σαν τοπικό θέμα σ' ένα συνολικό παγκόσμιο σενάριο. Υπάρχουν διάφορες προοπτικές σ' αυτό.

1.4 Το Παράδοξο της Βιωσιμότητας

Η έννοια της βιωσιμότητας έχει προκαλέσει τεράστιο ενδιαφέρον και μια χιονοστιβάδα δημοσιεύσεων. Μερικές από αυτές δεν συμφωνούν με τον ορισμό της. Οι περισσότεροι ορισμοί από αυτούς είναι τόσο αμφιλεγόμενοι, που προσαρμόζονται στις ιδιαίτερες εφαρμογές τους και συχνά χρησιμοποιούν τον όρο χωρίς ειδικές αποδείξεις και αναγνώριση της ακριβούς έννοιας που υπονοείται.

Η επιστημονική ανάλυση που εφαρμόζεται στην έννοια της βιωσιμότητας εμφανίζεται να είναι είτε ξεπερασμένη είτε αμφιλεγόμενη.

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες να επικεντρωθούν σε κάποια από τα προβλήματα και τις αμφισβητήσεις για τους στόχους της βιωσιμότητας που προκύπτουν όταν εντάσσεται στο πλαίσιο της ανάλυσης του συστήματος.

Ο κύκλος ανανέωσης έχει αναγνωριστεί σε πολλά δυναμικά συστήματα και η κυκλική μορφή τους στην ιστορία ζωής πολύπλοκων συστημάτων. Κύκλοι ανανέωσης έχουν ερευνηθεί σε πολυάριθμα συστήματα πολύ διαφορετικής φύσης. Αυτή η κυκλική φύση της ανάπτυξης είναι αλληλοσυγκρουόμενη με το στόχο της βιωσιμότητας, που γενικά στοχεύει να προστατεύσει και να διατηρήσει μια συγκεκριμένη λειτουργία.

Σε όλους τους κύκλους ανανέωσης υποτίθεται ότι ένα σύστημα περνάει μια σειρά σταδίων αρχίζοντας από την ανάπτυξη, ακολουθούμενη από τη συντήρηση, κατόπιν από την απεμπλοκή και τέλος την ανανέωση.

Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο εργασίας του κύκλου ανανέωσης, η βιωσιμότητα μπορεί να ερμηνευτεί ως ο στόχος της διασπάσεως του κύκλου και της επιμήκυνσης ενός συγκεκριμένου σταδίου της μορφής της ζωής του συστήματος.

Αλλά αν η φάση της απελευθέρωσης του κύκλου του συστήματος είναι το τέλος του συστήματος, σε κατάρρευση, αναμένεται αλλαγή της δομής του συστήματος. Αυτό υπονοεί ότι η λειτουργία του συστήματος τροποποιείται. Υπάρχει πλήθος παραδειγμάτων που αποδεικνύουν αυτή τη σύλληψη του κύκλου ανανέωσης.

Η χρεοκοπία μιας επιχείρησης και το τέλος της σηματοδοτείται όταν οι εργαζόμενοι απολυθούν και πωληθούν τα περιουσιακά της στοιχεία. Αυτό συμβαίνει όταν το κοινωνικό-οικονομικό σύστημα δεν είναι πια βιώσιμο και δε μπορεί να παρατείνει άλλο τη φάση της συντήρησης.

Οι ανθρωπίνι και υλικοί πόροι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν με τη μορφή μιας άλλης νέας επιχείρησης αλλά αυτό θα ήταν ένα διαφορετικό σύστημα.

Μια άλλη πλευρά της έννοιας της βιωσιμότητας είναι η ιεράρχηση των συστημάτων. Εάν ο κύκλος ανανέωσης εφαρμοστεί, θα δώσει τη δυνατότητα επαναρρύθμισης και εφαρμογής. Έτσι, ένα ιεραρχικό σύστημα, για να παρατείνει την ύπαρξή του, και να είναι βιώσιμο το υποσύστημά του χρειάζεται ν' ακολουθήσει μέχρι το τέλος τον κύκλο ανανέωσης. Με αυτόν τον τρόπο, το τέλος των υποσυστημάτων συνεισφέρει στη βιωσιμότητα του υπερ-συστήματος.

Οι διαφωνίες που παρουσιάζονται, αντανακλούν διαφορετικές ιδέες για την προσέγγιση της βιωσιμότητας. Αυτό υποδηλώνει ότι η προσέγγιση του συστήματος στην έννοια της βιωσιμότητας ενυπάρχει στον κύκλο ανανέωσης και την ιεραρχική δομή, που οδηγεί στο παράδοξο της έννοιας της βιωσιμότητας.

1.5 Η Μέτρηση της Βιωσιμότητας

Η μέτρηση της βιωσιμότητας είναι ένα μεγάλο θέμα καθώς επίσης και κίνητρο για την ανάπτυξη της βιωσιμότητας. Για να ευρεθούν αξιόπιστοι τρόποι για τη μέτρηση της βιωσιμότητας, αναγκαία προϋπόθεση είναι η αναγνώριση μη βιώσιμων

διαδικασιών πληροφώντας τους μελετητές για την ποιότητα των προϊόντων και ενημερώνοντάς τους για τις επιδράσεις στο κοινωνικό περιβάλλον. Το πλήθος των δεικτών και των εργαλείων μέτρησης που αναπτύσσονται σ' αυτόν τον ραγδαία αναπτυσσόμενο τομέα δείχνει τη σημαντικότητα της θεμελιώδους και μεθοδικής εργασίας στην περιοχή αυτή. Η ανάπτυξη και η συλλογή δεικτών απαιτεί παραμέτρους που σχετίζονται με την αξιοπιστία, την καταλληλότητα, την πρακτικότητα και τους περιορισμούς της μέτρησης.

Για να προσεγγίσουμε την πολυπλοκότητα της βιωσιμότητας που σχετίζεται με θέματα διαφορετικών συστημάτων, οι δείκτες πρέπει ν' αντανακλούν την ολότητα του συστήματος καθώς και την αλληλεπίδραση των υποσυστημάτων. Κατά συνέπεια οι δείκτες πρέπει να μετρούν την ένταση των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στα στοιχεία των συστημάτων, το σύστημα και το περιβάλλον. Απ' αυτή τη σκοπιά προκύπτει ανάγκη για τους δείκτες που σχετίζονται με τις διαδικασίες της αντίδρασης να επιτρέπουν τον υπολογισμό της σχέσης της πολυπλοκότητας κάθε συστήματος και του περιβάλλοντός του.

Αυτό υπονοεί ότι οι δείκτες πολυπλοκότητας θα οριστούν απεικονίζοντας τους συνδέσμους μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών παραμέτρων του συστήματος. Αυτό στη γλώσσα της θερμοδυναμικής μεταφράζεται ως εντατικές και εκτατικές παράμετροι του συστήματος. Το παράδειγμα του ενεργειακού συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δείξει την πολυπλοκότητα της βιωσιμότητας στον ορισμό των δεικτών βιωσιμότητας. Όσον αφορά στα ενεργειακά συστήματα, η προσοχή μπορεί να επικεντρωθεί σε δύο προσεγγίσεις: η μία βασίζεται στην κατοχύρωση πολύπλοκου συστήματος στο ενεργειακό σύστημα και η δεύτερη βασίζεται στις θεμελιώδεις δυνατότητες του συστήματος.

Η προσέγγιση του πολύπλοκου συστήματος θα αναγνωρίσει το ενεργειακό σύστημα σαν οντότητα που αλλάζει εγκαίρως ως συνέπεια εσωτερικών και εξωτερικών αλληλεπιδράσεων. Αυτό θα οδηγήσει στη χρήση δεικτών που ορίζουν τις διαδικασίες αλληλεπίδρασης. Με αυτού του τύπου τους δείκτες, το σύστημα θα περιγράφεται στην κλίμακα του χρόνου με τις ιδιαίτερες τιμές των δεικτών και την τάση τους.

Σ' αυτή την περίπτωση, ο δυναμικός χαρακτήρας των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στο πολύπλοκο σύστημα και τα στοιχεία του μπορεί να γίνει κατανοητός. Πιο συγκεκριμένα, οι κοινωνικές/φυσικές αλληλεπιδράσεις μπορεί να εξετάζονται και στο μέλλον να υποστηριχθούν ανάλογες δράσεις. Όσον αφορά στο ενεργειακό σύστημα, οι δείκτες για ένα πολύπλοκο σύστημα θα καταστήσουν εμφανείς τις κοινωνικές και τις περιβαλλοντικές αλλαγές πριν γίνουν μη αναστρέψιμες. Αυτό σημαίνει ότι ενδεχόμενοι κίνδυνοι θα μπορούν να εντοπιστούν και να γίνουν εγκαίρως διορθωτικές ενέργειες.

Η θεμελιώδης προσέγγιση των δεικτών των ενεργειακών συστημάτων θα περιγράψει ενδεχόμενες επιλογές σ' αυτά τα συστήματα. Σαν παράδειγμα μπορούμε να δούμε το ενεργειακό σύστημα με διαφορετικές πηγές ενέργειας με επιλογές που αντανακλούν δυνητικές καταστάσεις που τίθενται από διαφορετικές πλευρές της βιώσιμης αξιολόγησης. Επίσης οι δείκτες για τη θεμελιώδη προσέγγιση θα χρησιμοποιούν ολοκληρωτικές παραμέτρους, κοινές στα ιδιαίτερα στοιχεία του συστήματος. Η θεμελιώδης προσέγγιση είναι πιο κατάλληλη στην αποτίμηση της βιωσιμότητας του σχεδιασμού των ενεργειακών συστημάτων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποτίμηση της έννοιας της βιωσιμότητας ή και της έννοιας των ενεργειακών συστημάτων. Με σχετικούς δείκτες ο σχεδιασμός ενεργειακών συστημάτων μπορεί να συγκριθεί, λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικές όψεις του σχεδιασμού. Σύμφωνα με την έννοια του «φυσικού κεφαλαίου» οι δείκτες είναι

καθορισμένοι να μετρούν τους φυσικούς πόρους, τη δυνατότητα του περιβάλλοντος, την ποιότητα της κοινωνικής ζωής και τα οικονομικά οφέλη συγκεκριμένων επιλογών. Πρέπει να τονιστεί ότι οι δείκτες δεν είναι απαραίτητα αριθμητικές τιμές. Αυτό υπονοεί την ανάγκη μιας διαδικασίας, η οποία θα συμμορφωθεί με τις διαφορές στις κλίμακες μέτρησης των δεικτών.

Ο αποτελεσματικός δείκτης πρέπει να έχει τα χαρακτηριστικά που απεικονίζουν ένα πρόβλημα και τα κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Σκοπός του είναι να δείξει πόσο καλά λειτουργεί το σύστημα. Στην περίπτωση που υπάρχει κάποιο πρόβλημα, ο δείκτης πρέπει να δείχνει την προέλευση του και την κατεύθυνση που πρέπει ν' ακολουθήσει για να λύσει το πρόβλημα. Οι δείκτες είναι στενά εξαρτώμενοι από τον τύπο του συστήματος που ελέγχουν. Είναι γνωστό ότι οποιοδήποτε αριθμητικό σύμβολο, εννοιολογική έκφραση ή μαθηματικό σύμβολο είναι πληροφορία. Παραδείγματα τέτοιου τύπου πληροφοριών μπορούμε να συναντήσουμε σε κάθε μελέτη της θερμοκρασίας ή, άλλες φορές, σε εξαρτημένες μεταβλητές που περιγράφουν την κατάσταση του συστήματος.

Για να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα για την αξιολόγηση του σχετικού συστήματος, είναι αναγκαίο να τα μετατρέψουμε σε δείκτες. Έτσι οι δείκτες αντικατοπτρίζουν την παράμετρο μέτρησης για τη σύγκριση ανάμεσα σε διαφορετικές καταστάσεις ή δομές του συστήματος. Σαν παράδειγμα η αποδοτικότητα του συστήματος είναι ένας δείκτης για την ποιότητα της χρήσης της ενέργειας στο αντίστοιχο σύστημα. Επίσης μπορούμε ν' αξιολογήσουμε τη διαφορετική δομή συστημάτων από τον δείκτη που αντιπροσωπεύει σχετικές οντότητες του συστήματος. Προς αυτή την κατεύθυνση είναι ο υπολογισμός της χρήσης της ευφυΐας στη βελτίωση της συμβατότητας του συστήματος με το περιβάλλον του που μετράται από τους αντίστοιχους δείκτες.

Για να ποσοτικοποιηθούν τα κριτήρια για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας οποιουδήποτε σχεδιασμού του ενεργειακού συστήματος, καθορίζονται δείκτες ώστε ν' ανταποκριθούν σ' αυτή την απαίτηση. Εν προκειμένω, η αποδοτικότητα της χρήσης των πηγών και της ανάπτυξης της τεχνολογίας είναι θεμελιώδους σημασίας. Είναι προφανές ότι η αποδοτικότητα της χρήσης των πηγών είναι μια βραχυπρόθεσμη προσέγγιση που μπορεί να έχει ωφέλιμο αποτέλεσμα στο εγγύς μέλλον. Όσον αφορά την ανάπτυξη της τεχνολογίας, απαιτούνται μακροπρόθεσμες έρευνες και ανάπτυξη. Σε ορισμένες περιπτώσεις θ' απαιτηθούν ανάλογες κοινωνικές ρυθμίσεις, ώστε ν' ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των νέων ενεργειακών πηγών.

2 Η ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

2.1.1 Εισαγωγή – Βασικοί προβληματισμοί

Η ανάγκη για τη βελτίωση της διαχείρισης των φυσικών πόρων, μετά από αρκετές δεκαετίες επίμονης συζήτησης στη βιβλιογραφία, δεν μπορεί πλέον να αμφισβητηθεί. Αν και υπάρχουν μερικές αισιόδοξες απόψεις [Lomborg (2001)], υπάρχουν στοιχεία ότι οι λειτουργίες του περιβάλλοντος στην οικονομική ανάπτυξη καταχρώνται, με τόσο σοβαρές συνέπειες όπως η απώλεια της βιοποικιλότητας, η εξάντληση των ανανεώσιμων πόρων ως αποτέλεσμα της υπερεκμετάλλευσης, και η καταστροφή του στρώματος του όζοντος. Το γεγονός ότι το πρόβλημα έχει απολύτως αναγνωριστεί, είναι ένα σημαντικό βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση, όπως είναι και η αποδοχή του ότι οι λύσεις δε θα βρεθούν από μόνες τους. Η υπόθεση των περιβαλλοντικών καμπυλών Kuznets (environmental Kuznets curve, EKC) ισχυρίζεται, παραδείγματος χάριν, ότι η σχέση μεταξύ της περιβαλλοντικής ποιότητας και του κατά κεφαλήν εισοδήματος παίρνει τη μορφή του ανάποδου U που είχε προτείνει ο Kuznets για την ανισότητα εισοδήματος. Η EKC διατυπώθηκε αρχικά για τη συγκεκριμένη περίπτωση ορισμένων ρυπογόνων παραγόντων, αλλά έχει αποδειχθεί αληθινή μόνο σε μερικές εξαιρετικά συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπως οι εκπομπές θείου, με τοπικές επιδράσεις και τις χαμηλές δαπάνες μείωσης. Ακόμη και σε αυτές τις περιπτώσεις, αρχικά, η απόδειξη έχει γίνει με μια ορισμένη επιφυλακτικότητα, αφού εξαρτάται από το ποιο μοντέλο εξετάζεται [Stern και Common (2001)]. Μερικοί οικονομολόγοι όπως ο Beckerman (1992), επεξέτειναν την EKC στην περιβαλλοντική ποιότητα γενικά, παρόλο που έχουν υπάρξει σημαντικές κριτικές τέτοιων γενικεύσεων, όπως εκείνες που υποβάλλονται από τους Arrow (1995) ή Common (1995). Άλλοι συγγραφείς όπως οι Martínez – Alier (1994) διερωτώνται εάν το περιβάλλον μπορεί να θεωρηθεί αγαθό πολυτέλειας. Μπορεί να βρεθεί μια πλήρης επισκόπηση της βιβλιογραφίας από τον Pearce (1980) για τη σχέση μεταξύ της περιβαλλοντικής ποιότητας και του εισοδήματος. Διάφορες πρόσφατες εμπειρικές μελέτες συνάγουν το συμπέρασμα ότι, γενικά, η EKC για την περιβαλλοντική ποιότητα φαίνεται σίγουρα ανακριβής. Παραδείγματος χάριν, οι Ekins (1997) και Stern και Common (2001) και Roca (2001) διαπιστώνουν ότι, όταν περιλαμβάνονται άλλες μεταβλητές στην προδιαγραφή EKC, οι συντελεστές χάνουν τη σημασία ή δεν σχηματίζουν μια μορφή ανάποδου U [Pasqual and Souto (2003)].

Ένας μεγάλος αριθμός των προβλημάτων που συνδέονται με το περιβάλλον, και ιδιαίτερα τα σοβαρότερα από αυτά, έχουν το κοινό χαρακτηριστικό ότι η ανθρώπινη ανάπτυξη αρχίζει να αισθάνεται τα δυσμενή αποτελέσματά τους μεσοπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα. Αυτό σημαίνει ότι έχουν επιπτώσεις πιθανότατα στα άτομα που δεν έχουν καμία σχέση ή που έχουν λίγο να κάνουν με τις αποφάσεις που τα προκάλεσαν. Επομένως, η ερώτηση εξετάζει τα εξωτερικά κόστη μεταξύ γενεών, η οποία μπορεί μόνο να απαντηθεί με την ενσωμάτωση των συμφερόντων των μελλοντικών γενεών (Future Generations, FGs) στην ανάλυση. Αυτό είναι, τελικά, το τελικό επιχείρημα

στο οποίο βασίζεται η βιωσιμότητα, η εκτίμηση της ευημερίας των μελλοντικών γενεών. Ο Pezzey (1992) συγκέντρωσε πενήντα διαφορετικούς ορισμούς, και μερικά χρόνια αργότερα ο ίδιος συγγραφέας αναγνώρισε ότι θα μπορούσαν να υπάρξουν πέντε χιλιάδες, και ότι μια οριστική ομοφωνία είναι "ότι δεν είναι πιθανό να βρεθεί ένα ελιξίριο για να παρατείνει τη ζωή κατά τρόπο αόριστο" [Pezzey (1997) p. 48].

Παρόλα αυτά, η αναγνώριση του περιβαλλοντικού προβλήματος γίνεται όλο και περισσότερο γενικευμένη, όπως είναι η ανάγκη να ενσωματωθούν οι μελλοντικές γενιές στην ανάλυση, σε συμμόρφωση με την αρχή της βιωσιμότητας ως ζωτικής σημασίας προϋπόθεση για τη λύση. Εντούτοις, υπάρχουν σημαντικά ζητήματα στη συζήτηση που παραμένει ανοικτή.

2.1.2 Μέθοδοι αξιολόγησης της βιωσιμότητας

Η βιωσιμότητα είναι ο στόχος που πολλές επιχειρήσεις δείχνουν ως βασικό στην καταπολέμηση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης, αν και δεν υπάρχει συμφωνία για το τι ακριβώς σημαίνει αυτός ο όρος. Η προσέγγιση της Ενότητας 2.4.1 του Pasqual, Souto (2003) ορίζει τα περιβαλλοντικά προβλήματα ως εξωτερικά κόστη, που τα περισσότερα των οποίων εμφανίζονται μεταξύ των διαφορετικών γενεών. Αναλύονται οι λόγοι για τους οποίους οι παραδοσιακές λύσεις για τα εξωτερικά κόστη δεν λειτουργούν στο πλαίσιο μεταξύ γενεών. Τα συμπεράσματα είναι, αφ' ενός, ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι για τις δαπάνες και τα κέρδη που έχουν επιπτώσεις στις διαφορετικές γενεές πρέπει να βελτιωθούν, αφετέρου, μια μεταξύ γενεών ανακατανομή των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας των φυσικών πόρων είναι σημαντικό να εγγραφεί την ισότητα των ευκαιριών για όλες τις γενεές, και επομένως να εξασφαλίσει βιωσιμότητα. Η επαρκής ανακατανομή των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας θα εξαρτηθεί από τον τύπο πόρου, καθώς επίσης και από άλλους παράγοντες, όπως ο βαθμός απόδοσης της επένδυσης στην εκμετάλλευσή του και η ροπή των τρεχουσών γενεών προς την κατανάλωση. Σε όλες τις περιπτώσεις, εντούτοις, η παραχώρηση των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας, συνολικά, στο μέλλον βοηθά στην εξασφάλιση της βιωσιμότητας.

Δεκάδες πλαισίων αξιολόγησης της βιωσιμότητας που εστιάζουν στην απόδοση των συστημάτων έχουν προταθεί ήδη. Προτείνουν πολυάριθμους δείκτες βιωσιμότητας, οι οποίοι μετριοούνται γενικά σε πολύ διαφορετικές μονάδες. Ενώ είναι σημαντικό να αξιολογηθεί η βιωσιμότητα με διάφορους δείκτες, μπορεί μερικές φορές να είναι δύσκολο να γίνουν συγκρίσεις μεταξύ των συστημάτων που βασίζονται σε έναν μεγάλο αριθμό μετρήσεων απόδοσης.

Η προσέγγιση της Ενότητας 3 των Krajnc και Glavič (2005) παρουσιάζει ένα μοντέλο για τον σχεδιασμό ενός κριτηρίου βιώσιμης ανάπτυξης (composite sustainable development index, I_{CSD}) που απεικονίζει την απόδοση των επιχειρήσεων και στις τρεις διαστάσεις της βιωσιμότητας - οικονομική, περιβαλλοντική, και κοινωνική. Στο πρώτο μέρος της ενότητας, παρουσιάζεται η διαδικασία υπολογισμού του δείκτη που θα επέτρεπε τις συγκρίσεις των επιχειρήσεων στον συγκεκριμένο τομέα σχετικά με την απόδοση βιωσιμότητας. Εντούτοις, η έμφαση της προσέγγισης δίνεται στο δεύτερο μέρος, όπου παρουσιάζεται η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου μοντέλου με μια περίπτωση μελέτης, στην οποία δύο συστήματα από τον συγκεκριμένο τομέα συγκρίνονται σχετικά με την απόδοση της βιωσιμότητάς τους.

Η προσέγγιση της Ενότητας 2.4.2.1 των Alamansa και Calatrava (2007) αφορά στο γεγονός ότι η ενσωμάτωση του στόχου για μεταξύ των γενεών δικαιοσύνη έχει καταστήσει την παραδοσιακή προσέγγιση ανάλυσης κόστους-οφέλους (Cost-Benefit

Analysis, CBA) ξεπερασμένη για την αξιολόγηση προγραμμάτων που παρουσιάζουν έναν σημαντικό αριθμό περιβαλλοντικών εξωτερικών κοστών και για εκείνους, οι επιδράσεις των οποίων εκτείνονται καθ' όλη τη διάρκεια μιας μακρίας χρονικής περιόδου.

Με βάση την υπόθεση ότι η εφαρμογή ενός επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία (Discount Rate) ανταμείβει την τρέχουσα κατανάλωση και, επομένως, ότι είναι μόνο δυνατό να εισαγάγει μια ορισμένη μεταξύ γενεών δικαιοσύνη σε μια ανάλυση κόστους-οφέλους, σε αυτήν την εργασία προτείνεται μια προσέγγιση στην αναγωγή σε παρούσα αξία βασισμένη σε ένα διαφορετικό σκεπτικό για τα απτά και μη απτά αποτελέσματα. Σχεδιάζονται δύο δείκτες της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας:

α) το μεταξύ γενεών ποσό μεταφοράς (Intergenerational Transfer Amount, ΙΤΑ), το οποίο ποσοτικοποιεί σε νομισματικές μονάδες το τι η παρούσα γενιά είναι πρόθυμη να δώσει τις μελλοντικές γενεές, όταν εκτελείται ένα περιβαλλοντικό πρόγραμμα αποκατάστασης, και β) το κρίσιμο περιβαλλοντικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (Critical Environmental Rate, CER), το οποίο μετρά την υπονοούμενη περιβαλλοντική αποδοτικότητα.

Αυτές οι έννοιες εξετάζονται μέσω μιας εμπειρικής περίπτωσης μελέτης σχετικά με την αξιολόγηση ενός προγράμματος ελέγχου διάβρωσης στη βορειοανατολική Ισπανία. Τα αποτελέσματα παράγουν τους παραδοσιακούς δείκτες αποδοτικότητας που είναι υψηλότεροι - και πιθανώς πιο κοντά - στις πραγματικές τιμές που τίθενται από τη σύγχρονη κοινωνία. Οι πληροφορίες που παρέχονται από τους προτεινόμενους περιβαλλοντικούς δείκτες αποδοτικότητας δίνουν περισσότερη διαφάνεια στην ποσοτικοποίηση των επιπέδων της μεταξύ των γενεών δικαιοσύνης που εφαρμόζεται, με αυτόν τον τρόπο διευκολύνοντας το δύσκολο συμβιβασμό της ανάλυσης κόστους οφέλους με το στόχο της βιωσιμότητας.

2.2 Κατανομή Πόρων Μεταξύ Γενεών

Το κύριο πρόβλημα με την κατανομή των φυσικών πόρων είναι η παρουσία ισχυρών εξωτερικών επιδράσεων, και στο μεταξύ γενεών και στο εντός της ίδιας γενιάς επίπεδο, και επομένως η παρουσία ανεπάρκειας. Στη συνέχεια, τέτοια εξωτερικά κόστη έρχονται ως αποτέλεσμα του περιβάλλοντος (γενικά) ή κάθε φυσικού πόρου (πιο συγκεκριμένα), όντας κτήμα όλων των γενεών. Από την εντός της ίδιας γενιάς άποψη, για το περιβάλλον που αποτελεί κτήμα μπορεί να θεσπιστεί μη ελεύθερη πρόσβαση σε αυτό, η οποία, εν πάση περιπτώσει, θα περιοριζόταν σε ορισμένο αριθμό ατόμων. Εντούτοις, μεταξύ γενεών, το περιβάλλον είναι κτήμα που προσεγγίζεται ελεύθερα από κάθε γενεά, έτσι ώστε "κάθε γενεά είναι μια επιτυχημένη δικτατορία του παρόντος" [Page (1997)]. Όπως σε οποιοδήποτε άλλο τύπο εξωτερικού κόστους, αυτοί που το προκαλούν, σε αυτήν την περίπτωση οι παρούσες γενιές, δεν έχουν κανένα κίνητρο για να συμπεριφερθούν σύμφωνα με το τί είναι καλύτερο για το σύνολο, δεδομένου ότι θα υποστούν μόνο ένα ελάχιστο μέρος του κόστους των ενεργειών τους, ενώ συλλέγουν το πλήρες βραχυπρόθεσμο όφελος. Κάθε ιδιώτης γνωρίζει πιθανώς τις απόλυτες συνέπειες της μεμονωμένης συμπεριφοράς του, και το ποιες πρέπει να είναι οι συνήθειες του όσον αφορά στην επίτευξη του καλύτερου για την κοινωνία. Εντούτοις, κανένας δε θα είναι πρόθυμος να δεχτεί την ευθύνη εάν δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι οι άλλοι θα κάνουν το ίδιο πράγμα. Κάθε ιδιώτης αντιμετωπίζει αποτελεσματικά μια παρόμοια κατάσταση με αυτή που περιγράφεται από το δίλημμα του φυλακισμένου, στο οποίο η χειρότερη

λύση για την κοινωνία συνολικά αποτελεί μια κυρίαρχη στρατηγική για όλους εκείνους που συμμετέχουν στην απόφαση.

Κατά την εξέταση της άφθονης και λεπτομερούς βιβλιογραφίας για τη θεωρία των εξωτερικών κοστών, πιστεύουν οι Pasqual και Souto (2003), τουλάχιστον θεωρητικά, ότι το πρόβλημα έχει βρει ήδη μια λύση. Εντούτοις, όταν περιλαμβάνονται οι μελλοντικές γενιές στην ανάλυση, η διαδικασία εσωτερίκευσης των εξωτερικών αποτελεσμάτων συναντά σοβαρές δυσκολίες. Δεδομένου ότι θα ήταν πολύ δύσκολο για αυτήν την λύση να εφαρμοστεί στην πράξη, κατά την εξέταση των διαφορετικών γενεών (τα άτομα που λαμβάνουν την απόφαση ξέρουν καλά σε ποια γενιά ανήκουν), οι εναλλακτικές μέθοδοι θα ήταν απαραίτητες. Ακολούθως παρουσιάζεται μια ανάλυση των δύο πιο αναγνωρισμένων λύσεων, εκείνων των Pigou (1932) και Coase (1960).

Θα εξετάσει αρχικά τη λύση που προτείνει την εσωτερίκευση των εξωτερικών επιδράσεων μέσω φόρων ή επιχορηγήσεων, γνωστή ως λύση του Pigou (Pigouvian). Η εισαγωγή ενός φόρου που είναι ίσος με το εξωτερικό οριακό κόστος που προκαλείται στις μελλοντικές γενιές απαιτεί μια οικονομική αξιολόγηση ενός τέτοιου κόστους. Όπως θα αναλυθεί λεπτομερώς στην Ενότητα 2.4.1 υπάρχουν προβλήματα με τον υπολογισμό των δαπανών (οφελών) που έχουν επιπτώσεις στις μελλοντικές γενιές. Οι παραδοσιακές μέθοδοι, όπως η καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ, Net Present Value, NPV), υιοθετούν σιωπηρά την “υπόθεση της αθανασίας”. Δηλαδή, ανταμείβουν πάντα τις προοπτικές των παρούσων γενεών, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη το γεγονός ότι οι δαπάνες ή τα κέρδη θα μπορούσαν να έχουν επιπτώσεις σε άλλα άτομα. Είναι επομένως εύκολο να υποτιμήσουν τις υψηλές δαπάνες εάν εμφανίζονται σε αυτό που οι παρούσες γενιές θεωρούν ως απώτερο μέλλον. Εάν το εξωτερικό κόστος δεν αξιολογείται σωστά, τότε θα ήταν δύσκολο πράγματι να σχεδιαστεί ο φόρος του Pigou που διευκολύνει την εσωτερίκευση του.

Αφ' ετέρου, φαίνεται σαφές ότι η εισαγωγή ενός φόρου του Pigou θα προκαλούσε μια αύξηση στις τιμές διάθεσης στην κατανάλωση, και μια επακόλουθη πτώση στη ζήτηση. Αυτή η αύξηση τιμών μπορεί να μην είναι ένα σοβαρό πρόβλημα στις τοπικές αγορές, αλλά η κατάσταση θα ήταν πολύ διαφορετική για τα προϊόντα που ανταγωνίζονται στη διεθνή αγορά. Πολλές χώρες μπορεί να θεωρήσουν ότι ένα μέτριο κέρδος στο μερίδιο αγοράς τους είναι προτιμότερο από μια μεγαλύτερη εσωτερίκευση των εξωτερικών κοστών που προκαλούνται από τους παραγωγούς. Στις όλο και περισσότερο διεθνοποιημένες αγορές, μπορεί να αναμένεται ότι οι φόροι του Pigou δεν θα εφαρμοστούν σε όλα τα προϊόντα και ότι, εν πάση περιπτώσει, θα είναι πολύ χαμηλότεροι από το βέλτιστο. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα σοβαρότερο, όταν εξετάζονται οι εξωτερικές δαπάνες που έχουν επιπτώσεις κυρίως στις μελλοντικές γενιές. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η εφαρμογή της λύσης του Pigou εξαρτάται αποκλειστικά από την προθυμία των κυβερνήσεων να περιλάβουν την ευημερία των μη-παρόντων ατόμων στην κοινωνική λήψη αποφάσεων. Τέτοια προθυμία θα καθοριστεί έντονα από το γεγονός ότι "οι ψήφοι των εκλεκτόρων αυτής της γενιάς είναι πιο πολύτιμες από αυτές της επόμενης γενιάς"[Price (1993)].

Θα εξετάσουμε τώρα τη λύση μέσω της ανακατανομής των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας των πόρων και της κατανομής τους χρησιμοποιώντας το μηχανισμό της αγοράς, γενικά γνωστή ως λύση του Coase (Coasian). Ελλείψει των δαπανών συναλλαγής, η αποδοτική ποσότητα θα παραγόταν ανεξάρτητα από το πώς τα δικαιώματα διανέμονται αρχικά και οι μόνες διαφορές είναι εκείνες που σχετίζονται με τον αντίκτυπο της διανομής. Αυτή η κατανομή θα γινόταν ιδιαίτερα σχετική με την κοινή περίπτωση της συναλλαγής δαπανών που δεν είναι μηδενικές. Εάν οι παρούσες γενιές είχαν όλα τα δικαιώματα ιδιοκτησίας, το μέγεθος του αρνητικού

εξωτερικού κόστους που προκαλείται στις μελλοντικές γενιές θα ήταν υπερβολικά αναποτελεσματικό. Εν τω μεταξύ, το αντίθετο θα εμφανιστεί εάν οι παρούσες γενιές έχουν τα δικαιώματα. Εν πάση περιπτώσει, για να ισχύει η λύση του Coase, θα έπρεπε να υπάρξει μια διαπραγμάτευση μεταξύ των εμπλεκόμενων συμβαλλόμενων μερών, αυτών που προκαλούν τα εξωτερικά κόστη (παρούσες γενιές) και των δεκτών (μελλοντικές γενιές), η οποία θέτει το θέμα της ανάγκης να σχεδιαστεί κάποιος θεσμός που μπορεί να ενεργήσει στην εκπροσώπηση των μελλοντικών γενεών. Στην υποθετική περίπτωση που η διαπραγμάτευση θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με τις ελάχιστες εγγυήσεις, θα παρέμενε να φανεί εάν οποιοδήποτε είδος διανομής των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας μεταξύ των γενεών θα ήταν αποδεκτό.

Ακόμα κι αν η αποδοτικότητα θα μπορούσε να επιτευχθεί, τα αποτελέσματα από την άποψη της δικαιοσύνης διανομής θα ήταν διαφορετικά. Η συζήτηση της μεταξύ γενεών δικαιοσύνης είναι, εντούτοις, ένα θέμα στο οποίο οι καθαρώς αντικειμενικοί ορισμοί απλά δεν υπάρχουν, όπως θα έπρεπε να συμβαίνει στην περίπτωση της βιωσιμότητας. Σύμφωνα με τον ορισμό του WCED, η βιωσιμότητα μπορεί να ερμηνευθεί ως απαραίτητος όρος για τη μεταξύ γενεών δικαιοσύνη. Η Ενότητα 2.3 ασχολείται με αυτό το ζήτημα σε μεγαλύτερο βάθος.

2.3 Η μεταξύ Γενεών Διανομή των Δικαιωμάτων Περιβαλλοντικής Ιδιοκτησίας

2.3.1 Εισαγωγή

Βασικό πρόβλημα κατά την αντιμετώπιση μιας λύσης για τα περιβαλλοντικά εξωτερικά κόστη είναι η ανάγκη να ενσωματωθούν οι εκτιμήσεις της μεταξύ γενεών δικαιοσύνης. Η διανομή των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας μεταξύ των γενεών είναι σχετική με το τελικό αποτέλεσμα, και στόχος είναι να διευκρινιστεί αυτό το γεγονός. Προκειμένου να γίνει αυτό, θα εξετάσουμε τις διαφορετικές δυνατότητες και τις συνέπειές τους όσον αφορά στην επίτευξη της προϋπόθεσης της βιωσιμότητας. Αρχικά, πρέπει να επιστρέψουμε στη συζήτηση σχετικά με την έννοια της "βιωσιμότητας" και "της μεταξύ των γενεών δικαιοσύνης". Ο Howarth (1997) έτεινε να ορίσει τη βιωσιμότητα ως την ισότητα ευκαιριών για όλες τις γενεές, υπό την έννοια ότι η βιωσιμότητα είναι ένας απαραίτητος όρος για την ισότητα μεταξύ γενεών. Η ισότητα των ευκαιριών μπορεί να ερμηνευθεί ως η διατήρηση σταθερών των γήινων πόρων. Πρέπει να συζητήσουμε, επομένως, εάν αναφερόμαστε στο συνολικό απόθεμα πόρων της γης ή στην αξία τους. Η αποκαλούμενη ασθενής βιωσιμότητα (weak sustainability, WS), ένα παράδειγμα βασισμένο στις μελέτες των Solow (1974) και Hartwick (1997) υποθέτει την υποκαταστασιμότητα μεταξύ φυσικού και του παραγομένου από τον άνθρωπο κεφαλαίου. Η WS ορίζεται συχνά ως η απουσία οποιασδήποτε μείωσης της αξίας του συνολικού μετοχικού κεφαλαίου της οικονομίας [Neumayer (1999)]. Ο Cabeza (1996) εν τω μεταξύ, την ορίζει ως απουσία οποιασδήποτε μείωσης της κατανάλωσης ή του πλούτου κατά κεφαλήν. Σε αντίθεση με αυτήν την ιδέα, το παράδειγμα της ισχυρής βιωσιμότητας (strong sustainability, SS) έχει προταθεί από τους Neumayer (1999) και Pearce (1988) και εξετάζει την υποκαταστασιμότητα μεταξύ των δύο τύπων κεφαλαίων.

Ο Howarth (1997) θεωρεί ότι η ισότητα των ευκαιριών μεταξύ των γενεών μπορεί να πάει μέχρι "τη χρηματοδότηση των μελλοντικών γενεών με μια ομάδα κληροδοτημάτων που περιλαμβάνει το αναπαρηγμένο κεφάλαιο, την τεχνολογική δυνατότητα, τους φυσικούς πόρους και την περιβαλλοντική ποιότητα". Η ιδέα του Howarth φαίνεται ελκυστική και λογική. Η δυνατότητα της υποκατάστασης μη ανανεώσιμων πόρων, όπως τα μεταλλεύματα, εξαρτάται από παράγοντες που είναι

κυρίως ελέγξιμοι από τον άνθρωπο, όπως η τεχνολογική πρόοδος. Ακόμη και η χρησιμότητά της θα μπορούσε να μεταβληθεί αρκετά με το χρόνο. Το αλάτι ήταν, στο παρελθόν, ένας πολύ πολυτιμότερος πόρος από ό,τι είναι σήμερα, και χρησιμοποιήθηκε ακόμη και από ορισμένους πολιτισμούς ως νομισματική μονάδα. Εάν εκείνοι οι πολιτισμοί είχαν περιορίσει τη χρήση άλατος με τις παρούσες γενεές στο μυαλό τους, θα είχε υπάρξει σαφώς μια πτώση στη σφαιρική ευημερία. Το αντίθετο θα μπορούσε επίσης να συμβεί, εάν οι προηγούμενες γενεές είχαν εξαντλήσει τα αποθέματα ενός πόρου που είναι τώρα πολύ πιο χρήσιμος.

Τέτοια συναισθήματα σχολιάστηκαν από τον Pliny the Elder από τον 1ο αιώνα μ.Χ. : "όταν κάποιος σκέφτεται κάτι τέτοιο" έγραψαν, "αισθάνεται μεγάλη ντροπή, ακόμη και για τις προηγούμενες γενεές".

Εντούτοις, ορισμένοι τύποι φυσικών κεφαλαίων είναι σαφώς μη αντικαταστάσιμοι, όπως το στρώμα όζοντος, η βιοποικιλότητα και το κλίμα, μεταξύ των άλλων. Είναι σε αυτούς τους τύπους πόρων όπου ο στόχος της SS πρέπει να ληφθεί υπόψη με ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Σε αυτήν την περίπτωση, η SS δεν σημαίνει ότι ο πόρος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, μάλλον σημαίνει τη μη καταστροφή του, η οποία περιλαμβάνει ουσιαστικά την τροποποίηση των βασικών χαρακτηριστικών του.

Το να δοθούν όλα τα δικαιώματα στις μελλοντικές γενιές είναι ένας ικανοποιητικός αλλά μη απαραίτητος όρος για την ισότητα των ευκαιριών μεταξύ των γενεών. Ανάλογα με τον τύπο πόρου, άλλοι παράγοντες όπως ο πιθανός βαθμός απόδοσης της επένδυσης στην εκμετάλλευσή του και τη ροπή των παρούσων γενεών προς την κατανάλωση, θα μπορούσαν επίσης να διαδραματίσουν έναν ρόλο στην επίτευξη της βιώσιμης χρήσης του.

Ας θεωρήσουμε ότι Q_0 να είναι το αρχικό απόθεμα ενός φυσικού πόρου, ο οποίος αξιοποιείται και προσφέρει μια ετήσια απόδοση q . Τότε στο τέλος της περιόδου 1 είναι διαθέσιμη η ποσότητα Q_1 :

$$Q_1 = (1 + q) \cdot Q_0 \quad (2.1)$$

Θα αναλύσουμε τώρα τις διαφορετικές δυνατότητες για τη μεταξύ γενεών διανομή των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας του εν λόγω πόρου, και θα αξιολογήσουμε τους όρους που απαιτούνται για να εγγυηθεί τη βιωσιμότητα σε κάθε περίπτωση.

2.3.2 Περίπτωση I: αποκλειστικά δικαιώματα ιδιοκτησίας στις παρούσες γενιές

"Οι παρελθούσες γενεές δεν υπάρχουν πια, και εκείνες που θα έρθουν ακόμα θα έρθουν επειδή τις θέλουμε. Ο κόσμος, για να το θέσουμε λίγο αδρά, ανήκει σε εκείνους που ζουν τώρα σε αυτόν και σε κανέναν άλλο" [Mas-Colell (1994)].

Οι παρούσες γενιές, ως αποκλειστικοί ιδιοκτήτες, έχουν το δικαίωμα να καταναλώσουν και να εκμεταλλευτούν τον πόρο, προκειμένου να μεγιστοποιήσουν το όφελός τους. Θα καταναλώσουν ποσοστό h της συνολικής απόδοσης που λαμβάνεται από αυτήν την εκμετάλλευση του, και θα αφήσουν το υπόλοιπο για τους απογόνους τους. Δηλαδή, η κατανάλωση των παρούσων γενεών στην περίοδο 1 (C_{PG}) και η διαθέσιμη ποσότητα για τις μελλοντικές γενιές (A_{FG}), αντίστοιχα, θα είναι:

$$C_{GP} = h \cdot Q_1 = h \cdot (1 + q) \cdot Q_0 \quad (2.2)$$

$$A_{GF} = (1 - h) \cdot (1 + q) \cdot Q_0 \quad (2.3)$$

Ειδικότερα, οι παρούσες γενιές έχουν το δικαίωμα να καταναλώσουν όλους τους διαθέσιμους πόρους ($h = 1$). Η βιωσιμότητα, εντούτοις, απαιτεί ότι εκείνος ο διαθέσιμος πόρος στη δεύτερη περίοδο για τις μελλοντικές γενιές πρέπει να είναι ίσος ή υψηλότερος από το αρχικό απόθεμα, δηλαδή:

$$(1-h) \cdot Q_1 \geq Q_0 \quad (2.4)$$

Η ροπή των παρουσών γενεών προς την κατανάλωση σε κάθε περίοδο, παράμετρος h , θα εξαρτηθεί από διαφορετικούς παράγοντες, όπως ο συνολικός διαθέσιμος πλούτος. Αλλά συγχρόνως, αυτό θα απεικονίσει επίσης το μεταξύ γενεών επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (R). Αντικαθιστώντας την Εξ. (2.1) στην Εξ. (2.3), διαπιστώνουμε ότι ένας ικανοποιητικός όρος για να εγγυηθεί την βιωσιμότητα όταν ανήκουν όλα τα δικαιώματα ιδιοκτησίας στις παρούσες γενιές είναι ο εξής:

$$q \geq \frac{h}{1-h} \quad (2.4)$$

Αυτό είναι ο βαθμός απόδοσης της επένδυσης γιατί η εκμετάλλευση των πόρων πρέπει να είναι ίση ή υψηλότερη από τη σχέση μεταξύ της ροπής των παρουσών γενεών προς την κατανάλωση και του ποσοστού του πόρου που μεταφέρουν προς τους απογόνους τους. Όσο υψηλότερη είναι η ροπή των παρουσών γενεών προς την κατανάλωση, τόσο ο βαθμός απόδοσης της επένδυσης που απαιτείται είναι υψηλότερος για να εγγυηθεί τη βιωσιμότητα. Λογικά, εάν το h είναι μηδενικό, η βιωσιμότητα είναι εγγυημένη σε όλες τις περιπτώσεις, ακόμη και με το q να είναι μηδενικό. Αντίθετα, εάν το h είναι ίσο με τη μονάδα, δεν υπάρχει κανένα q που μπορεί να συμμορφωθεί με την απαίτηση της βιωσιμότητας.

2.3.3 Περίπτωση II: αποκλειστικά δικαιώματα ιδιοκτησίας στις μελλοντικές γενιές

"Οι παρούσες γενιές κατέχουν την επικαρπία της γης." T. Jefferson.

Εάν οι ιδιοκτήτες του πόρου είναι οι μελλοντικές γενιές, οι παρούσες γενιές έχουν το δικαίωμα μόνο (μη- καταναλώνοντας) να χρησιμοποιήσουν και να εκμεταλλευτούν τον πόρο. Δηλαδή, οι παρούσες γενιές μπορούν να εκμεταλλευτούν τον πόρο και οι μελλοντικές γενιές να κληρονομήσουν τον αρχικό πλούτο (Q_0) και σε αυτή την περίπτωση, η κληρονομιά των προγόνων τους είναι:

$$C_{GP} = h \cdot q \cdot Q_0 \quad (2.5)$$

$$A_{GF} = Q_0 + (1-h) \cdot q \cdot Q_0 \quad (2.6)$$

Η προϋπόθεση για βιωσιμότητα θα ήταν:

$$Q_0 + (1-h) \cdot q \cdot Q_0 \geq Q_0 \quad (2.7)$$

η οποία πάντα θα ικανοποιούνταν, εφ' όσον ο βαθμός απόδοσης της επένδυσης στην εκμετάλλευση του πόρου δεν είναι αρνητικός:

$$q \geq 0 \quad (2.8)$$

Δηλαδή, η αποδοτικότητα της εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων θα ήταν αρκετή για να εγγυηθεί ίσες ευκαιρίες μεταξύ των γενεών.

2.3.4 Περίπτωση III: διανομή των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας μεταξύ διαφορετικών γενεών

Μια τρίτη δυνατότητα είναι η εκτίμηση κάποιου τύπου διανομής των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας μεταξύ των διαφορετικών γενεών. Ας θεωρήσουμε ότι το p είναι η αναλογία που αντιστοιχεί στις παρούσες γενιές. Σε αυτήν την περίπτωση, στην περίοδο 1, η διανομή των πόρων θα ήταν:

$$C_{GP} = h \cdot p \cdot Q_0 + h \cdot q \cdot Q_0 \quad (2.9)$$

$$A_{GF} = (1 - p) \cdot Q_0 + (1 - h) \cdot (p \cdot Q_0 + q \cdot Q_0) \quad (2.10)$$

Και η προϋπόθεση της βιωσιμότητας σε αυτήν την περίπτωση θα οδηγούσε στην:

$$q \geq p \frac{h}{1-h} \quad (2.11)$$

Το ποσοστό των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας που αντιστοιχεί στις παρούσες γενιές θα έτεινε προς το 0, εάν η διανομή των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας μεταξύ των διαφορετικών γενεών γίνεται σε ίσες μετοχές, και εάν δεν εξετάζουμε την ενδεχόμενη εξαφάνιση του ανθρώπινου είδους. Δηλαδή, η διανομή των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας θα ήταν τελικά ισοδύναμη με το να τα παραχωρήσει όλα στις μελλοντικές γενιές, περίπτωση II ανωτέρω. Συμπερασματικά, θεωρώντας $p = 0$, η Εξ. (2.11) γίνεται Εξ. (2.8). Αντίθετα, εάν όλα τα δικαιώματα ιδιοκτησίας παραχωρούνται στις παρούσες γενιές ($p = 1$), η Εξ. (2.11) θα γινόταν Εξ. (2.4), η προϋπόθεση βιωσιμότητας που λαμβάνεται στην περίπτωση I.

Από αυτήν την ανάλυση, τα αποτελέσματα της οποίας συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1, μπορούμε να συναγάγουμε διάφορα σημαντικά συμπεράσματα. Η επίτευξη της προϋπόθεσης της βιωσιμότητας εξαρτάται, πρώτα, από τη μεταξύ γενεών διανομή των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας των πόρων. Εάν παραχωρούνται αποκλειστικά στις μελλοντικές γενιές, η βιωσιμότητα είναι εγγυημένη μέσω της αποδοτικής εκμετάλλευσης του πόρου, και εφόσον υπάρξουν οι απαραίτητοι μηχανισμοί για τον έλεγχο της συμμόρφωσης των καθιερωμένων δικαιωμάτων ιδιοκτησίας. Εάν τα δικαιώματα ιδιοκτησίας παραχωρούνται αποκλειστικά στις παρούσες γενιές, η βιωσιμότητα μπορεί επίσης να επιτευχθεί. Αυτή η περίπτωση εξαρτάται κυρίως από τη ροπή των παρούσων γενεών προς την κατανάλωση. Προφανώς, εάν είναι $h = 1$, δεν υπάρχει καμία δυνατότητα για επίτευξη της βιωσιμότητας. Εντούτοις, με ένα h που είναι χαμηλότερο από την μονάδα, αυτό μπορεί να επιτευχθεί υπό ορισμένες προϋποθέσεις, δηλαδή, ότι η απόδοση της εκμετάλλευσης είναι τέλεια υποκαταστάσιμη από το αρχικό απόθεμα των πόρων, και ότι είναι αρκετά υψηλή.

Πίνακας 2.1 Όροι βιωσιμότητας για τις διαφορετικές διανομές των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας των φυσικών πόρων μεταξύ των παρούσων και των μελλοντικών γενεών

Περίπτωση	Δικαιώματα Ιδιοκτησίας	Κατανάλωση των Παρούσων Γενεών	Διαθέσιμα για τις Παρούσες Γενιές	Συνθήκη για Βιωσιμότητα
1	Παρούσες Γενιές	$h \cdot (1 + q) \cdot Q_0$	$(1 - h) \cdot (1 + q) \cdot Q_0$	$q \geq \frac{1}{(1 - h)}$
2	Μελλοντικές Γενιές	$h \cdot q \cdot Q_0$	$Q_0 + (1 - h) \cdot q \cdot Q_0$	$q \geq 0$
3	Παρούσες και Μελλοντικές Γενιές	$h \cdot (p \cdot Q_0 + q \cdot Q_0)$	$(1 - p) \cdot Q_0 + (1 - h) \cdot (p \cdot Q_0 + q \cdot Q_0)$	$q \geq p \cdot \left(\frac{h}{(1 - h)} \right)$

Οι φυσικοί ανανεώσιμοι πόροι όπως η αλιεία, οι γεωργικοί ή δασικοί πόροι, είναι τέλεια προσαρμόσιμοι στην μελέτη των Pasqual και Souto (2003). Στην αρχική στιγμή, υπάρχει ένα απόθεμα των πόρων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ληφθεί μια συνολική αποδοτικότητα υπό μορφή αύξησης αποθεμάτων, και επομένως είναι τέλεια υποκαταστάσιμο από τα αρχικά εφόδια. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν να επεκταθούν σε άλλους τύπους πόρων με τη ρύθμιση του καθορισμού της βιωσιμότητας.

Ας υποθέσουμε, παραδείγματος χάριν, ότι το Q_0 είναι το απόθεμα ενός μη ανανεώσιμου πόρου, όπως το πετρέλαιο. Σε αυτήν την περίπτωση ο βαθμός απόδοσης της εκμετάλλευσης (q) δεν πρέπει να ερμηνευθεί ως αύξηση του αποθέματος του πόρου, αλλά μάλλον ως απόδοση με τη μορφή άλλων αγαθών ή υπηρεσιών.

Επομένως, το Q_1 θα είναι το άθροισμα του υπόλοιπου των αποθεμάτων και των αποκτηθέντων αγαθών. Σε αυτήν την περίπτωση, δεν είναι δυνατό να διατηρηθεί ο καθορισμός της βιωσιμότητας που εφαρμόζεται ανωτέρω, ο οποίος απαιτήσε τη διατήρηση του αρχικού αποθέματος των πόρων. Αυτό ισχύει απλά επειδή μια τέτοια περίπτωση θα σήμαινε ότι καμία γενεά δε θα εκμεταλλευόταν πάντα τον πόρο, ούτε στο παρόν ούτε στο μέλλον: αυτό θα ήταν παράλογο, καθώς επίσης και σαφώς μη αποδοτικό. Στην περίπτωση των μη ανανεώσιμων πόρων, η βιωσιμότητα επιτυγχάνεται όταν η αξία του διαθέσιμου μέρους Q_1 για τις μελλοντικές γενιές είναι ίση με ή υψηλότερη από την αξία του αρχικού αποθέματος Q_0 . Κατά συνέπεια, η δυνατότητα υποκατάστασης των μη ανανεώσιμων πόρων αναγνωρίζεται και, επομένως, είναι η δυνατότητα της αναγνώρισης της αποζημίωσης μεταξύ των γενεών. Ας υποθέσουμε ότι το V_0 είναι η αξία του αρχικού αποθέματος του πόρου Q_0 , το οποίο αξιοποιείται για να ληφθεί ένας ακαθάριστος βαθμός απόδοσης της επένδυσης q σε αντάλλαγμα της καταστροφής ενός ποσοστού k . Η διαθέσιμη συνολική αξία για την επόμενη περίοδο (V_1) επομένως θα είναι:

$$V_1 = V_0 \cdot (1 - k + q) \quad (2.12)$$

Για να επιτευχθεί η βιωσιμότητα, ένα μέρος των αποδόσεων πρέπει να επανεπενδυθεί προς όφελος των μελλοντικών γενεών. Ο Howarth (1997) υποστηρίζει ότι μπορούμε να επιτρέψουμε τη χρήση μη ανανεώσιμων πόρων, εφ' όσον εγγυόμαστε την ύπαρξη των υποκατάστατων μακροπρόθεσμα. Οι όροι είναι οι ίδιοι με εκείνους που προέρχονται από τη γενική περίπτωση. Εάν τα δικαιώματα

ιδιοκτησίας δίνονται στις παρούσες γενιές, η βιωσιμότητα θα εξαρτηθεί από τον καθαρό βαθμό απόδοσης της επένδυσης ($q-k$), ο οποίος καθορίζει την δυνατότητα αποζημίωσης, και από τη ροπή των παρούσων γενεών προς την κατανάλωση (h). Η ικανοποιητική προϋπόθεση για την βιωσιμότητα είναι ότι το μέρος V_1 , που αφήνεται στις μελλοντικές γενιές, είναι ίσο με ή μεγαλύτερο από το V_0 , δηλαδή:

$$(1-h) \cdot [V_0 \cdot (1-h+k)] \geq V_0 \quad (2.13)$$

ο οποίος μπορεί επίσης να εκφραστεί ως:

$$q-k \geq \frac{h}{1-h} \quad (2.14)$$

Αυτός ήταν ο όρος που λήφθηκε στην αρχική μελέτη των Pasqual και Souto (2003) (βλέπε Πίνακα 2.1) αλλά τώρα ενσωματώνει την ύπαρξη ενός ποσοστού “καταστροφής” για τον πόρο (k). Τώρα ας θεωρήσουμε το Q_0 ως απόθεμα ενός πόρου που παρέχει την απαραίτητη βάση για την ανθρώπινη ύπαρξη, όπως ο αέρας ή το στρώμα του όζοντος. Θα αναφερθούμε σε αυτόν τον τύπο πόρων ως “βασικοί πόροι”. Στην ανάλυση της βιωσιμότητας σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η χρήση του βασικού πόρου δεν υπονοεί απαραίτητως την καταστροφή του. Αυτή είναι η κύρια διαφορά με την περίπτωση των μη ανανεώσιμων πόρων που εξετάζονται ανωτέρω. Η απόδοση που λαμβάνεται από τη χρήση ενός βασικού πόρου για άλλη μια φορά δεν σημαίνει το απόθεμα, αλλά μάλλον έναν άλλο τύπο αγαθών ή υπηρεσιών. Το Q_1 επομένως θα αποτελούταν από δύο διαφοροποιημένα μέρη. Αφ’ ενός, έχουμε το υπόλοιπο απόθεμα των πόρων $(1-k) Q_0$ και αφετέρου τη συνολική επιστροφή που λαμβάνεται υπό μορφή άλλων αγαθών και υπηρεσιών (qQ_0). Η ανικανότητα να προστεθούν και τα δύο συστατικά του Q_1 είναι η βασική διαφορά στην περίπτωση των μη ανανεώσιμων πόρων, όπως αυτό δείχνει η αδυναμία υποκατάστασης. Δεδομένου ότι ένας βασικός πόρος παρέχει τη στήριξη της ζωής, η βιωσιμότητα που γίνεται κατανοητή ως ισότητα των ευκαιριών για όλες τις γενεές απαιτεί το απόθεμα των πόρων να μη μειώνεται ($k = 0$), οποιαδήποτε κι αν είναι η απόδοση της εκμετάλλευσής του. Είναι επίσης σημαντικό να τονιστεί ότι η έλλειψη οποιασδήποτε μείωσης στο απόθεμα ενός πόρου αναφέρεται όχι μόνο στην ποσότητα, αλλά και στη διατήρηση των ιδιοτήτων του άθικτων. Πρέπει να σημειώσουμε πάλι, ότι η εκμετάλλευση ενός βασικού πόρου δεν υπονοεί απαραίτητως ότι το k πρέπει να είναι θετικό, αλλά μάλλον ότι είναι ένα σημάδι υπερεκμετάλλευσης. Δηλαδή, ο πόρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να τον εκμεταλλευτούν οι παρούσες γενιές, αλλά δεν πρέπει ποτέ να ξεπεράσει την ικανότητά του για αυτό-αναγέννηση. Κάτω από την αναγωγή σε παρούσα αξία είτε της υποκαταστασιμότητας είτε της δυνατότητας αποζημίωσης, η παραχώρηση όλων των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας στις μελλοντικές γενιές θα ήταν μια ικανοποιητική προϋπόθεση για να εγγυηθεί τη βιωσιμότητα. Εάν, εντούτοις, τα δικαιώματα ιδιοκτησίας παραχωρούνται στις παρούσες γενιές, είτε πλήρως είτε εν μέρει, τότε η βιωσιμότητα είναι εγγυημένη μόνο εάν οι παρούσες γενιές έχουν μηδενική ροπή προς την κατανάλωση.

Η ανάλυση που γίνεται, έχει δείξει ότι η μεταξύ γενεών διανομή των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας είναι ένας βασικός παράγοντας για την επίτευξη ίσων ευκαιριών για όλες τις γενιές. Η μεταξύ γενεών διανομή απαιτεί την αναζήτηση επαρκών μηχανισμών για τις μελλοντικές γενιές για να είναι σε θέση να ελέγξουν το δικαίωμα ιδιοκτησίας τους. Η ιδανική λύση θα ήταν η δημιουργία μιας σειράς θεσμών σε διαφορετικά επίπεδα, τα οποία, μέσα από ένα επαρκές νομοθετικό πλαίσιο, θα επιτρέπουν τη

συμμετοχή των μελλοντικών γενεών στην λήψη αποφάσεων. Οι Howe (1997) και Padilla (2002) έχουν εκφράσει ήδη τη σημασία του ρόλου των θεσμών στην περιβαλλοντική διαχείριση, και στο επίπεδο εντός της ίδιας γενιάς και μεταξύ των διαφορετικών γενεών. Η εισαγωγή των μελλοντικών γενεών στη λήψη αποφάσεων μπορεί μόνο να εμφανιστεί μέσω κάποιου σώματος που να ενεργεί ως αντιπρόσωπός τους, και επομένως να επιτρέπει την παρουσία τους στην αγορά, στη δημόσια διοίκηση και στο πολιτικό σύστημα. Η λειτουργία του θα ήταν να ελέγξει τα συμφέροντα των μελλοντικών γενεών, και να διαχειριστεί όσο το δυνατόν πιο επικερδώς το αντίστοιχο κεφάλαιό τους. Ειδικότερα στις τελευταίες δεκαετίες έχουν ιδρυθεί διάφορα ινστιτούτα με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος προς όφελος των μελλοντικών γενεών. Μερικά από αυτά είναι διακυβερνητικές οργανώσεις, όπως το United Nations Environment Programme (UNEP), το Forest Resources Division του FAO και το World Heritage Centre της UNESCO. Υπάρχουν επίσης διάφορες μη κυβερνητικές οργανώσεις που διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στις πολιτικές για το περιβάλλον όπως η Nature Conservancy, το Biodiversity Action Network (BIONET), η Greenpeace International ή η Friends of the Earth International, μεταξύ άλλων. Εντούτοις, τα αποτελέσματά τους είναι ανεπαρκή μέχρι τώρα, και η συλλογική διαχείριση του περιβάλλοντος απαιτεί βελτίωση.

2.3.5 Συμπεράσματα

Η ανάγκη για τη βελτίωση στην περιβαλλοντική διαχείριση γίνεται όλο και περισσότερο επείγουσα. Η αναζήτηση της βιωσιμότητας έχει γίνει ο κύριος στόχος, αν και δεν υπάρχει ακόμα καμία ομόφωνη συμφωνία για το τι σημαίνει ακριβώς αυτός ο όρος. Η περιβαλλοντική υποβάθμιση αποτελεί μια αυξανόμενη ανησυχία, και οι περισσότεροι ειδικοί αρχίζουν να χάνουν την πίστη στην ιδέα ότι η οικονομική ανάπτυξη από μόνη της μπορεί να επιφέρει καλύτερη περιβαλλοντική ποιότητα. Η σωστή επεξεργασία οποιουδήποτε προβλήματος αρχικά απαιτεί να καθορίζεται επαρκώς. Όπως στη θεραπεία μιας ασθένειας, η πραγματική λύση δεν είναι να ανακουφιστούν τα συμπτώματά της, αλλά να βρεθεί η αιτία της. Η περίπτωση του περιβάλλοντος πρέπει να αρχίσει με τον ίδιο τρόπο. Είναι σαφές ότι τα συμπτώματα μιας σοβαρής ασθένειας, όπως η τρύπα του όζοντος, η κλιματολογική αλλαγή, η εξαφάνιση των ειδών και η εξάντληση των ανανεώσιμων πόρων, οφείλονται όλα στην ίδια αιτία, δηλαδή, μη αποτελεσματική χρήση. Συγχρόνως, η μη αποτελεσματική χρήση προκαλείται από την ελεύθερη πρόσβαση στους περισσότερους φυσικούς πόρους. Οι ιδιώτες έχουν πολύ λίγα κίνητρα για να συμπεριφερθούν κατά τρόπο κοινωνικά αποδοτικό, όταν λαμβάνουν το συνολικό όφελος σε αντάλλαγμα για ένα πολύ μικρό μέρος του κόστους των ενεργειών τους. Όταν οι εξωτερικές δαπάνες αυξάνονται με το πέρασμα του χρόνου, και εκείνοι που θα υποφέρουν είναι αυτοί που δεν έχουν γεννηθεί ακόμα, τα κίνητρα είναι ακόμη λιγότερα. Παραδοσιακές λύσεις για τα περιβαλλοντικά εξωτερικά κόστη, όπως εκείνες του Pigou ή του Coase, είναι αληθινά αμφισβητήσιμες όταν έχουν επιπτώσεις στις μελλοντικές γενιές.

Οι φόροι του Pigou είναι μια περιορισμένη λύση για τα μεταξύ γενεών εξωτερικά κόστη, επειδή δεν υπάρχει κανένα κίνητρο για τις αντίστοιχες κυβερνήσεις ή τους θεσμούς για να τη θέσουν σε εφαρμογή. Αλλά υπάρχει ακόμα ένα δεύτερο πρόβλημα: η αξιολόγηση του εξωτερικού κόστους που προκαλείται με τον υπολογισμό του βέλτιστου φόρου. Παραδοσιακές μέθοδοι οικονομικής αξιολόγησης, όπως NPV, εφαρμόζονται υπό την υπόθεση της αθανασίας, οπότε πάντα ανταμείβουν τις προοπτικές των παρούσων γενεών. Γι' αυτό πρέπει να υιοθετήσουμε ένα νέο μοντέλο

αναγωγής σε παρούσα αξία που να αποτελείται πρώτα από την αναγωγή σε παρούσα αξία των δαπανών και των κερδών σε κάθε γενεά, προσθέτοντάς τους έπειτα λαμβάνοντας υπόψη το μεταξύ γενεών ποσοστό προτίμησης.

Όσον αφορά στη λύση του Coase, είναι σαφές ότι δεν μπορεί να λειτουργήσει στο μεταξύ γενεών περιβάλλον, δεδομένου ότι εκείνοι που επηρεάζονται από την εξωτερική επίδραση δεν είναι αυτήν την περίοδο παρόντες προκειμένου να διαπραγματευτούν. Αυτή η λύση θα ήταν εφικτή, μόνο εάν οι μελλοντικές γενιές είχαν κάποιο αντιπρόσωπο για να συζητήσει τα δικαιώματά τους με παρούσες γενιές. Σύμφωνα με τον Coase, ελλείψει των δαπανών συναλλαγής, το αποτέλεσμα θα ήταν αποδοτικό οποιαδήποτε κι αν ήταν η αρχική διανομή των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας αν και ο αντίκτυπος διανομής θα ήταν διαφορετικός. Η μελέτη των Pasqual και Souto (2003) έχει εξετάσει τις διαφορετικές μορφές διανομής των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας των φυσικών πόρων μεταξύ των γενεών, καθώς επίσης και τις προϋποθέσεις που απαιτούνται για να εγγυηθούν τη βιωσιμότητα. Μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα, ότι υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη, αν και είναι ουσιαστικό ότι διαφοροποιούνται από τους τύπους των πόρων. Για τους βασικούς πόρους, η βιωσιμότητα ορίζεται ως η σταθερή διατήρηση του αποθέματός τους. Σε αυτήν την περίπτωση, η παραχώρηση όλων των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας στις μελλοντικές γενιές μπορεί να εγγυηθεί τη βιώσιμη χρήση τους. Η παραχώρησή τους, γενικά ή εν μέρει, στις παρούσες γενιές θα ήταν μόνο αποδεκτή με την εγγύηση ότι ενσωματώνουν επαρκώς την ευημερία των απογόνων τους στη λήψη αποφάσεων, και ότι επομένως χρησιμοποιούν τους πόρους χωρίς την καταστροφή τους.

Κατά την εξέταση ενός μη ανανεώσιμου πόρου, ο ορισμός της βιωσιμότητας είναι χαλαρός, επειδή, σε αυτήν την περίπτωση, η δυνατότητα της αντικατάστασης μπορεί να γίνει αποδεκτή.

Τελικά, όπως ήταν καλά τεκμηριωμένο από τον Neumayer (1999) κανένας πόρος αυτού του τύπου δεν είναι χρήσιμος έως ότου έχει μετασχηματιστεί από τον άνθρωπο, έτσι ώστε η μη χρήση του να είναι σαφώς μη αποτελεσματική.

Η εκμετάλλευση και η επακόλουθη καταστροφή ενός μη ανανεώσιμου πόρου πρέπει να γίνουν αποδεκτές εφ' όσον αντισταθμίζεται ένα μέρος της επιστροφής στις μελλοντικές γενιές για το γεγονός ότι δεν θα είναι σε θέση να τον χρησιμοποιήσουν. Είτε όλα τα δικαιώματα ιδιοκτησίας παραχωρούνται στις παρούσες γενιές είτε στις μελλοντικές γενιές, η βιωσιμότητα μπορεί να επιτευχθεί εάν υπάρχει επαρκής αποζημίωση.

Τέλος, για έναν ανανεώσιμο πόρο, η βιωσιμότητα ορίζεται ως η διατήρηση του αρχικού αποθέματός του. Σε αυτήν την περίπτωση, δεδομένου ότι η εκμετάλλευση μπορεί να σημάνει μια αύξηση του αρχικού αποθέματος, η βιωσιμότητα όχι μόνο εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο τα δικαιώματα ιδιοκτησίας διανέμονται, αλλά και από το βαθμό απόδοσης της επένδυσης με τη μορφή της αύξησης του αρχικού αποθέματος, και από τη ροπή των παρουσών γενεών προς την κατανάλωση. Λογικά, η παραχώρηση όλων των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας στις μελλοντικές γενιές είναι ένας ικανοποιητικός όρος ώστε η εκμετάλλευση του πόρου να είναι βιώσιμη.

Κάποιος μπαίνει στον πειρασμό να θεωρήσει, ότι το σοβαρότερο πρόβλημα είναι η εξαφάνιση των μη ανανεώσιμων πόρων, η χρήση των οποίων από οποιαδήποτε γενεά υποθέτει μια μείωση στο αρχικό απόθεμα. Εντούτοις, οι πόροι που δεν έχουν πραγματικά κανένα υποκατάστατο είναι βασικοί πόροι, που δεν είναι εξαντλήσιμοι, και είναι ακόμη και σε ένα ορισμένο σημείο ανανεώσιμοι, όπως η βιοποικιλότητα, η ατμόσφαιρα και το στρώμα του όζοντος. Είναι αυτοί οι πόροι για τους οποίους πρέπει να υπάρξει ειδική ανησυχία, σχετικά με τη διαχείρισή τους, με έναν τρόπο που συμμορφώνεται με την προϋπόθεση της βιωσιμότητας. Είναι ακριβώς για αυτούς

τους πόρους, που παρουσιάστηκε σημασία των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας που παραχωρούνται στις μελλοντικές γενιές: και αυτό είναι ένα σενάριο που είναι αρκετά αντίθετο με αυτό που υπάρχει αυτήν την περίοδο.

Εάν γίνεται αποδεκτό ότι η μεταξύ γενεών διανομή των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας των φυσικών πόρων είναι η τελευταία λύση για την επίτευξη της βιωσιμότητας, τότε προκύπτει ένα νέο πρόβλημα. Αυτό είναι το σχέδιο ενός επαρκούς θεσμικού πλαισίου για τις μελλοντικές γενιές για να ελέγξει τα αντίστοιχα δικαιώματά τους. Ανάλογα με τον τύπο του πόρου που εξετάζεται, τα δικαιώματα ιδιοκτησίας των μελλοντικών γενεών μπορούν να είναι ένα μέρος, κανένα ή όλα γι' αυτόν τον πόρο. Αλλά μόνο αυτή η τελική δυνατότητα είναι αρκετή να εγγυηθεί την ισότητα των ευκαιριών μεταξύ των γενεών, ακριβώς όπως δήλωσε ο T. Jefferson.

2.4 Η μεταξύ Γενεών Αναγωγή σε Παρούσα Αξία

2.4.1 Παραλλαγές ορισμών της καθαρής παρούσας αξίας

Η αναγωγή σε παρούσα αξία είναι ένα παραδοσιακό ζήτημα για συζήτηση στη βιβλιογραφία αξιολόγησης προγραμμάτων, και σημαντικοί συγγραφείς έχουν κάνει τις συνεισφορές τους σε αυτό [Eckstein (1957)], [Marglin (1963)], [Arrow (1996)], [Sen (1982)] και [Price (1993)]. Έχει υπάρξει πολλή συζήτηση για τη σχετικότητα και το ρόλο της αναγωγής σε παρούσα αξία στην αξιολόγηση των δαπανών και των κερδών που συνδέονται με το περιβάλλον [βλέπε Markandya και Pearce (1988)]. Αυτό συμβαίνει ακριβώς επειδή τα αποτελέσματά τους τείνουν να παραταθούν σε όλο το χρόνο, και επομένως ένα υψηλότερο ή χαμηλότερο επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (discount rate) μπορεί να αλλάξει σημαντικά τις παρούσες αξιολογήσεις. Είναι αλήθεια ότι η αναγωγή σε παρούσα αξία δεν πρέπει να κατηγορηθεί για όλα τα προβλήματα αυτού του τύπου, ούτε και είναι το βασικό ζήτημα κατά την εξέταση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και της αναζήτησης της βιώσιμης ανάπτυξης [Neumayer (1999)]. Εντούτοις, μπορεί να είναι σημαντικό να αξιολογηθούν σωστά οι δαπάνες (οφέλη) που, σαν συνέπεια της παρούσας συμπεριφοράς, πραγματοποιούνται στο μέλλον. Επομένως, παραδείγματος χάριν, εάν ο στόχος είναι να χρησιμοποιηθεί ένας φόρος του Ρίγου σαν αντιμετώπιση για ένα ορισμένο εξωτερικό κόστος, το εξωτερικό κόστος πρέπει να αξιολογηθεί ακριβώς. Είναι επίσης απαραίτητο να γίνει αναγωγή σε παρούσα αξία για τις περιπτώσεις όπου γίνεται αποδεκτή μια πιθανή αποζημίωση για τις μελλοντικές γενιές, λόγω της παρούσας χρήσης ενός δεδομένου πόρου [Pasqual, Souto (2003)].

Η εκτίμηση των συμφερόντων των μελλοντικών γενεών όχι μόνο πρόκειται να έχει επιπτώσεις στις μεθόδους λήψης αποφάσεων, αλλά και στους τρόπους αξιολόγησης των επιδράσεων. Οι παραδοσιακές μέθοδοι για την αξιολόγηση προγραμμάτων, της NPV και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης της επένδυσης (internal rate of return, IRR) δεν είναι πλήρως σωστές, επειδή δεν λαμβάνουν την ύπαρξη των γενεών υπόψη. Τα NPV και IRR υπολογίζουν τις δαπάνες και τα κέρδη σαν να έχουν επιπτώσεις μόνο στα παρόντα άτομα, αυτά που λαμβάνουν αποφάσεις. Αυτή η συμπεριφορά θα ίσχυε, εάν είχε να κάνει με άτομα που έχουν άπειρη ζωή - υπόθεση αθανασίας - ή εάν ήταν μερικώς ένα βραχυπρόθεσμο πρόγραμμα. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, οι επιδράσεις θα είχαν επίσης επιπτώσεις στα άτομα που δεν έχουν γεννηθεί ακόμα, και τα συμφέροντά τους πρέπει επίσης να εξεταστούν ρητά. Προκειμένου να γίνει αυτό, η NPV πρέπει να υπολογιστεί χωριστά για κάθε γενεά, που θεωρεί την περίοδο στην οποία γεννιούνται τα άτομα της γενιάς ως αρχική

στιγμή, όπως προτείνεται από τον Kula (1988). Αργότερα, εκείνες οι NPV πρέπει να προστεθούν για να ληφθεί η τιμή στην οποία πρέπει να βασιστεί η απόφαση.

Ένα απλό παράδειγμα επεξηγεί πώς η αποδοτικότητα ενός προγράμματος μπορεί να μεταβάλλεται όταν εξετάζεται η ύπαρξη των γενεών. Ας φανταστούμε μια κοινωνία σταθερής κατάστασης που, στην παρούσα περίοδο ($t = 0$), αποτελείται από δύο άτομα (ή δύο γενεές) A και B, που ζουν πάνω από δύο περιόδους. Το A είναι ένα πιο ηλικιωμένο άτομο, γεννημένο τη στιγμή $t = -1$, ενώ το B είναι νεότερο, γεννημένο τη στιγμή $t = 0$. Κάθε άτομο έχει ένα παιδί στη δεύτερη περίοδο της ζωής του, αμέσως πριν πεθάνει. Έτσι, το A' είναι το παιδί του A και γεννιέται τη στιγμή $t = 1$, το B' είναι το παιδί του B και γεννιέται τη στιγμή $t = 2$, A'' είναι το παιδί του A' και γεννιέται τη στιγμή $t = 3$, και τα λοιπά. Η πρόταση είναι να μελετηθεί η αποδοτικότητα ενός προγράμματος επένδυσης σε υποδομή όπως αυτή που ορίζεται στον Πίνακα 2.2. Αυτό απαιτεί μια επένδυση στην αρχική περίοδο ($t = 0$) των 2\$, που παράγει καθαρά κέρδη 2\$ στις τρεις επόμενες περιόδους ($t = 1, 2, 3$). Υποθέτοντας ένα κοινωνικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία 100% ($r = 1$), η NPV αυτού του προγράμματος, που αναφέρεται στην αρχική περίοδο ($t = 0$), προκύπτει ίση με -0,25. Με βάση τα στοιχεία αυτά, επομένως, το πρόγραμμα πρέπει να απορριφθεί.

Πίνακας 2.2 Η καθαρή παρούσα αξία ενός επενδυτικού σχεδίου ($NPV_0(r=1)$ είναι η NPV που αναφέρεται στην περίοδο 0 με ένα επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία 100%).

Περίοδος	0	1	2	3	NPV_0
Καθαρό όφελος	-2	2	2	2	-0,25

Εντούτοις, το έργο έχει επιπτώσεις στις διαφορετικές γενεές και βοηθά να εξεταστεί ο τρόπος με τον οποίο επιδρά σε κάθε άτομο, ανάλογα με την γενιά που ανήκει. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι και οι δαπάνες και τα κέρδη μοιράζονται εξίσου μεταξύ των ατόμων παρόντων σε κάθε περίοδο. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.3, η επίδραση στο άτομο A είναι αρνητική, λόγω της ανάγκης να επωμιστεί το μισό από το αρχικό κόστος του προγράμματος χωρίς να λάβει οποιαδήποτε οφέλη σε αντάλλαγμα. Το άτομο B χάνει επίσης, παρά τη λήψη των οφελών στη δεύτερη περίοδο. Τα άλλα άτομα, στη συνέχεια, οι απόγονοι του A και του B, είναι καθαροί νικητές επειδή λαμβάνουν μόνο τα οφέλη, χωρίς να πρέπει να επωμιστούν οποιοσδήποτε από τις δαπάνες. Εάν η διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι δημοκρατική, το πρόγραμμα θα απορριφθεί από την προοπτική των παρούσων γενεών (εκείνοι που λαμβάνουν την απόφαση), επειδή το ποσό της NPV (A) και της NPV (B) είναι αρνητικό (-1,5). Επιπλέον, ακόμα και λαμβάνοντας τις μελλοντικές γενιές υπόψη, το αποτέλεσμα είναι ακόμα αρνητικό από την άποψη της NPV (-0,25), και επομένως το πρόγραμμα δεν είναι κερδοφόρο.

Πίνακας 2.3 NPV για κάθε γενιά ($NPV_0(A)$ είναι η NPV για τη γενιά A που αναφέρεται στην περίοδο 0. $NPV_i(A)$ είναι η NPV για τη γενιά A που αναφέρεται στην αρχική περίοδο της ζωής της).

Γενιά	Αρχικής περιόδου (i)	0	1	2	3	$NPV_0 (r=1)$	$NPV_i (r=1)$
A	0	-1				$NPV_0 (A)=-1,00$	$NPV_0 (A)=-1,00$
B	0	-1	1			$NPV_0 (B)=-0,50$	$NPV_0 (B)=-0,50$
A'	1		1	1		$NPV_0 (A')=0,75$	$NPV_1 (A')=1,50$
B'	2			1	1	$NPV_0 (B')=0,38$	$NPV_2 (B')=1,50$
A''	3				1	$NPV_0 (A'')=0,12$	$NPV_3 (A'')=1,00$
Σύνολο		-2	2	2	2	$NPV_0 =-0,25$	Μη αθροίσμο

Η προηγούμενη προσέγγιση, εντούτοις, παρά το ότι είναι ο κανόνας, δεν μπορεί να θεωρηθεί σωστή, επειδή η αναγωγή σε παρούσα αξία των ροών αναλαμβάνεται αποκλειστικά από την προοπτική των παρούσων γενεών. Η περίοδος 0 είναι η αρχική περίοδος για τα άτομα A και B, αλλά όχι για τα άλλα, τα οποία δεν έχουν γεννηθεί ακόμα. Η αρχική περίοδος είναι 1 για το A', 2 για το B' και 3 για το A''. Η NPV για κάθε άτομο όσον αφορά την αντίστοιχη αρχική στιγμή τους (NPV_i) λαμβάνεται στην τελευταία στήλη του Πίνακα 2.3. Ο υπολογισμός της NPV για τις παρούσες γενιές (A και B) παραμένει αμετάβλητος. Εντούτοις, για όλες τις επηρεασμένες μελλοντικές γενιές (A', B' και A''), λαμβάνεται μία υψηλότερη NPV από αυτή που λαμβάνεται στις περιπτώσεις της αθανασίας.

Το ερώτημα είναι να επαληθευτεί εάν η κοινωνία συνολικά κερδίζει ή χάνει με το πρόγραμμα. Κατά τους Pasqual και Souto (2003), δεν θα ήταν σωστό να προστεθούν οι δαπάνες και τα κέρδη διαφορετικών γενεών όπως προτείνει ο Kula (1988), επειδή αυτό θα υπονοούσε μια αδιαφορία μεταξύ της κατανάλωσης μιας γενιάς και μιας άλλης, και αυτή θα ήταν μόνο μια ιδιαίτερη περίπτωση. Οι Nijkamp και Rouwendal (1988) προτείνουν έναν σταθμισμένο μέσο όρο με συντελεστές βαρύτητας τους κοινωνικούς συντελεστές που εφαρμόζονται σε καθαρά κέρδη που αποκτώνται από κάθε γενιά τη στιγμή i . Το άθροισμα όλων αυτών των βαρών θα ήταν μονάδα, και στην ιδιαίτερη περίπτωση που αντιστοιχεί σε NPV της πρώτης γενιάς ίση με τη μονάδα (και επομένως όλες οι άλλες θα ήταν μηδενικές), το αποτέλεσμα θα συνέπιπτε με την κλασική NPV.

Αυτό που απαιτείται είναι ένας τρόπος να προστεθούν τα καθαρά κέρδη που ανήκουν στις διαφορετικές γενιές που θα ήταν σύμφωνα με τις προτιμήσεις. Στην πραγματικότητα, τα άτομα όχι μόνο καθορίζουν τις προτιμήσεις από την τρέχουσα και μελλοντική κατανάλωσή τους, αλλά επίσης και την κατανάλωση μεταξύ αυτών και των απογόνων τους.

Ας υποθέσουμε ότι, στο παράδειγμά μας, κάθε άτομο έχει προτιμήσεις για τη δική του κατανάλωση και αυτήν των απογόνων τους, έτσι ώστε το τελευταίο να είναι ανηγμένο σε ένα επιτόκιο R , αναφερόμενο ως το μεταξύ γενεών επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία. Λαμβάνοντας αυτές τις προτιμήσεις υπόψη, το όφελος που ένας απόγονος λαμβάνει πρέπει να προστεθεί σε αυτό που παραλαμβάνεται από τους γονείς του, που ανάγονται σε παρούσα αξία μέσω του R . Ας θεωρήσουμε ότι η GNPV (generational NPV), είναι η NPV για ένα άτομο που ενσωματώνει τις προτιμήσεις του για την κατανάλωση των απογόνων του. Επομένως, η GNPV για το A αναφέρεται στην περίοδο 0, και θα είναι το άθροισμα των NPV που αντιστοιχούν σε εκείνον και το παιδί του A', αναφερόμενη στην περίοδο 1 και αναγόμενη σε παρούσα αξία μέσω του R :

$$GNPV_0(A) = NPV_0(A) + \frac{GNPV_1(A')}{1+R} \quad (2.15)$$

Συγχρόνως, το άτομο A' θα καθορίσει τις προτιμήσεις για την κατανάλωση του παιδιού του A'', το οποίο θα επηρεαστεί επίσης από το πρόγραμμα. Επομένως, πρέπει επίσης να υπολογίσουμε τη GNPV που αντιστοιχεί στο άτομο A', που αναφέρεται στην περίοδο 1:

$$GNPV_1(A') = NPV_1(A') + \frac{NPV_3(A'')}{1+R} \quad (2.16)$$

Αντικαθιστώντας την Εξ. (2.16) στην Εξ. (2.15), λαμβάνουμε τη GNPV του προγράμματος για το άτομο A και όλους εκείνους τους απογόνους που επηρεάζονται από το εν λόγω πρόγραμμα, που καταλήγει στην:

$$GNPV_0(A) = NPV_0(A) + \frac{NPV_1(A')}{1+R} + \frac{NPV_3(A'')}{(1+R)^2} \quad (2.17)$$

Η GNPV για το άτομο B μπορεί να ληφθεί με τον ίδιο τρόπο. Τέλος, η συνολική GNPV, δηλ. η τρέχουσα καθαρή αξία του προγράμματος για τις παρούσες γενιές στη στιγμή 0 που λαμβάνει υπόψη τις προτιμήσεις των απογόνων τους για την κατανάλωση, θα είναι η ακόλουθη:

$$GNPV_0 = GNPV_0(A) + GNPV_0(B) \quad (2.18)$$

η οποία στο παράδειγμά μας οδηγεί στην:

$$GNPV_0 = -1,5 + \frac{3}{1+R} + \frac{1}{(1+R)^2}$$

Επομένως η $GNPV_0$ θα πάρει μια μέγιστη τιμή 2,5 (όταν $R = 0$) και θα συνεχίσει να είναι θετική, ερχόμενη σε αντίθεση με την παραδοσιακή NPV, για οποιοδήποτε R κάτω από 129%. Τώρα, ας υποθέσουμε ότι τα οφέλη του προγράμματος δεν τελειώνουν την περίοδο 3 αλλά διαρκούν στο άπειρο. Σε αυτήν την περίπτωση, η παραδοσιακή NPV ($r = 1$) θα οδηγούσε στην:

$$NPV_0 = -2 + \frac{2}{1} = 0 \quad (2.19)$$

Η συνολική $GNPV_0$ μπορεί να ληφθεί από την Εξ. (2.18), λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η $GNPV$ για κάθε παρούσα γενιά περιλαμβάνει την NPV των απογόνων, που σταθμίζεται από $1/(1+R)^g$, δηλαδή, $g=1$ για τα παιδιά τους, $g=2$, για τα εγγόνια τους, και τα λοιπά. Στο παράδειγμά μας, με το g να τείνει στο άπειρο, αυτό καταλήγει στην:

$$GNPV_0 = -1 + \frac{1,5}{R} - 0,5 + \frac{1,5}{R} = -1,5 + \frac{3}{R} \quad (2.20)$$

η οποία είναι θετική, και επομένως διαφορετική από την NPV_0 , για οποιοδήποτε R κάτω από το 200%. Έτσι, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι, στην αξιολόγηση των δαπανών και των κερδών, είναι ουσιαστικό να ληφθεί υπόψη εάν έχουν επιπτώσεις στις διαφορετικές γενεές. Σε αυτή την περίπτωση, εάν θέλουμε να προσδιορίσουμε την επίδραση στις μελλοντικές γενιές, η παραδοσιακή NPV δεν είναι ένα επαρκές όργανο. Η αναγωγή σε παρούσα αξία πρέπει ρητά να ενσωματώνει την ύπαρξη των διαφορετικών γενεών που επηρεάζονται, χωριστά να υπολογίζει το καθαρό όφελος για κάθε γενεά, και στη συνέχεια να αξιολογεί το σύνολό τους, λαμβάνοντας υπόψη τις προτιμήσεις των παρούσων γενεών στην αρχική στιγμή για την κατανάλωση των απογόνων τους.

2.4.2 Προβληματισμοί και προτάσεις προσδιορισμού του επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία

2.4.2.1 Εισαγωγή

Η ενσωμάτωση του στόχου για μεταξύ των γενεών δικαιοσύνη έχει μετατρέψει την παραδοσιακή προσέγγιση της CBA σε ξεπερασμένο εργαλείο για την αξιολόγηση ορισμένων τύπων προγραμμάτων, ιδιαίτερα εκείνων που παρουσιάζουν πολλά περιβαλλοντικά εξωτερικά κόστη και εκείνων των οποίων τα αποτελέσματα εκτείνονται σε όλη τη διάρκεια μιας μακριάς χρονικής περιόδου. Μια σειρά αλλαγών στην CBA προτείνεται στη βιβλιογραφία, προκειμένου να εφαρμοστεί το αναλυτικό πλαίσιο της απαίτησης για βιωσιμότητα, με συνέπεια αυτό που εναλλακτικά ονομάζεται εκτεταμένη ή περιβαλλοντική ανάλυση κόστους-οφέλους (Extended or Environmental Costs Benefits Analysis, ECBA) [Alamansa και Calatrava (2007)].

Κοιτάζοντας από πιο αναλυτική σκοπιά, οι αλλαγές στην CBA πραγματοποιούνται με διπλό τρόπο: αφενός με την ανάπτυξη νέων εργαλείων για την οικονομική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών εξωτερικών κοστών που έχουν αφαιρεθεί παραδοσιακά από την ανάλυση, αφετέρου, μέσω μιας σε βάθος αναθεώρησης των θεωρητικών θεμελίων που κρύβονται κάτω από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις αναγωγής σε παρούσα αξία, δεδομένου ότι ο αντίκτυπος των αποφάσεων που συζητείται επί του παρόντος θα επεκταθεί στο απώτερο μέλλον (σε μερικές περιπτώσεις για αιώνες), ενώ στην κλασική CBA εξετάζουμε λίγες δεκαετίες στην καλύτερη περίπτωση. Επομένως, πολλοί συντάκτες τονίζουν την ανάγκη για μια τροποποίηση του κοινωνικού επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία (Social Discount Rate, SDR) με την αμφισβήτηση των υποθέσεων που λαμβάνονται παραδοσιακά ως δεδομένες και εφαρμόζονται στον υπολογισμό του.

Η παρούσα εργασία αρχίζει με μερικές θεωρίες για το πρόβλημα αναγωγής σε παρούσα αξία που προέρχεται από μια αναθεώρηση των διαφορετικών προσεγγίσεων που βρίσκονται στη βιβλιογραφία. Στη συνέχεια, προτείνουμε διάφορες μεθοδολογικές προσεγγίσεις και την μελέτη σχετικά με την εφαρμογή τους για την οικονομική αξιολόγηση ενός περιβαλλοντικού προγράμματος βελτίωσης με σκοπό να σταματήσει τις διαδικασίες ερήμωσης σε μια περιοχή της νοτιοανατολικής Ισπανίας: «The Watershed Restoration and Control Erosion Project of Lubrín».

2.4.2.2 Η αναγωγή σε παρούσα αξία στην ανάλυση κόστους-οφέλους: υπόβαθρο

Η αναγωγή σε παρούσα αξία είναι παραδοσιακά ένα αμφισβητούμενο θέμα. Στη δεκαετία του '70, μετά από τη μεγάλη κρίση πετρελαίου του 1973 πολλές χώρες αντιμετώπισαν την ανάγκη να επενδύσουν στην έρευνα για τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Ήταν εκείνη την περίοδο που το θέμα της αναγωγής σε παρούσα αξία άρχισε να εγείρει μεγάλο ενδιαφέρον μεταξύ μιας μικρής ομάδας ερευνητών, αφού ασχολούνταν με επενδύσεις των οποίων τα οφέλη δεν ήταν να πραγματοποιηθούν για πολλά έτη αργότερα. Κατά συνέπεια το 1977, το Resources For the Future (RFF), συγκάλυψε μια διάσκεψη για να συζητηθεί το επαρκές επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (discount rate) για τις δημόσιες επενδύσεις στην ενέργεια και άλλες τεχνολογίες, οι δημιουργικές ιδέες των οποίων παρουσιάζονται στο γνωστό βιβλίο "αναγωγή σε παρούσα αξία για το χρόνο και ο κίνδυνος στην ενεργειακή πολιτική" ("Discounting for Time and Risk in Energy Policy"), δημοσιευμένο από τον Robert C. Lind (1982) το οποίο είχε μια σημαντική συμβολή, και αποτέλεσε τη βάση, κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαπέντε ετών, μιας διαδεδομένης αντίληψης σχετικά με το θέμα της αναγωγής σε παρούσα αξία.

Εντούτοις, μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '90, η προφανής αντίληψη της αναγωγής σε παρούσα αξία αρχίζει να εξασθενίζει. Το 1995, εμφανίζεται μια έκθεση για τις οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες της κλιματολογικής αλλαγής και των πολιτικών που θα έπρεπε να ακολουθηθούν (IPCC, 1995) στην οποία ένα κεφάλαιο αφιερώνεται στα θέματα σχετικά με την αναγωγή σε παρούσα αξία και την μεταξύ γενεών δικαιοσύνη [Arrow (1996)]. Ακόμα και αν υπάρχουν συχνές αναφορές στο βιβλίο του Lind (και αλλού), μια γενική συμφωνία για την αναγωγή σε παρούσα αξία δεν φαίνεται πλέον δυνατή και οι διαφορετικές προσεγγίσεις θα μπορούσαν να δικαιολογήσουν το ότι τα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία (discount rate) κυμαίνονται μέσα σε ένα ευρύ φάσμα τιμών.

Υπό αυτές τις συνθήκες, το Resources For the Future άλλη μια φορά οργάνωσε μια συζήτηση το 1996. Η κλιματική αλλαγή ήταν το παράδειγμα που προκάλεσε τη συζήτηση, αν και τα συμπεράσματα σε σχέση με την αναγωγή σε παρούσα αξία επρόκειτο να γενικευτούν σε όλες τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων που αφορούσαν στη σχέση μεταξύ των γενεών. Μερικά από τα ερωτήματα που τέθηκαν ανοιχτά σε εκείνη την περίπτωση που είναι κεντρικά στην τρέχουσα μελέτη και προς τα οποία θα στρέψουμε την προσοχή μας είναι τα ακόλουθα: (1ον) πρέπει προγράμματα των οποίων τα αποτελέσματα εξαπλώνονται σε εκατοντάδες χρόνια να εξετάζονται απλά σαν "εκτεταμένες εκδόσεις" των προγραμμάτων των οποίων τα κύρια αποτελέσματα δεν διαρκούν περισσότερο από 30 ή 40 χρόνια; (2ον) εάν η απάντηση στην προηγούμενη ερώτηση είναι ναι, ποιο είναι το κατάλληλο επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία και, (3ον) Εάν τα προγράμματα με τα σημαντικά μεταξύ γενεών αποτελέσματα πρόκειται να εκτιμηθούν με έναν διαφορετικό τρόπο, πώς θα έπρεπε να γίνει αυτό;

2.4.2.3 Αξιολόγηση των προσεγγίσεων της αναγωγής σε παρούσα αξία

Πολλά είναι τα ηθικά, φιλοσοφικά και οικονομικά επιχειρήματα υπέρ της αναγωγής σε παρούσα αξία των μελλοντικών δαπανών και των κερδών [Pearce και Turner (1990), Broome (1992) και Lind (1982)]. Εντούτοις, για μερικούς συγγραφείς, (βλέπε, παραδείγματος χάριν [Pearce και Turner (1990)] η χρήση ενός θετικού κοινωνικού επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία (discount rate) είναι ασυμβίβαστη με τον μεταξύ γενεών στόχο δικαιοσύνης. Η παρούσα συζήτηση σχετικά με την αναγωγή σε παρούσα αξία των περιβαλλοντικών κερδών και των δαπανών είναι επικεντρωμένη στην ασυνέπεια της αναγωγής σε παρούσα αξία με τη φιλοσοφία της βιωσιμότητας. Με άλλα λόγια, η αναγωγή σε παρούσα αξία είναι κυρίαρχος στην υποτίμηση του μέλλοντος, το οποίο σημαίνει ότι οι προτιμήσεις των μελλοντικών γενεών μετρούν λιγότερο από τις παρούσες δικές μας. Εμβαθύνοντας, φαίνεται ότι οποιαδήποτε συζήτηση σχετικά με την αναγωγή σε παρούσα αξία αφορά πολύ στις συζητήσεις σχετικά με τις θεωρητικές ιδέες για τη βιωσιμότητα.

Τα συμπεράσματα που προέρχονται από την προαναφερθείσα διάσκεψη RFF (1996), τα οποία έχουν συγκεντρωθεί από τους Portney και Weyant (1999), αποδεικνύουν για άλλη μια φορά την ύπαρξη διαφορών στις απόψεις σχετικά με την αναγωγή σε παρούσα αξία στην επιστημονική κοινότητα και την ύπαρξη διάφορων ηθικών θέσεων που υποστηρίζονται.

Οι συγγραφείς διακρίνουν δύο περιπτώσεις στο θέμα υπό συζήτηση: βραχυπρόθεσμα έως μεσοπρόθεσμα προγράμματα (40 έτη και κάτω) και μακροπρόθεσμα προγράμματα. Ένα ζήτημα για το οποίο όλοι οι συγγραφείς στο βιβλίο συμφωνούν -με μια εξαίρεση- είναι αυτό του να το θεωρείς σωστό - ακόμα και ουσιαστικό - το να ανάγεις σε παρούσα αξία τα μελλοντικά κέρδη και τις δαπάνες με κάποια θετική αναγωγή σε παρούσα αξία. Όσον αφορά στο βραχυπρόθεσμο έως μεσοπρόθεσμο διάστημα, οι περισσότεροι συγγραφείς θεωρούν ότι η αποτυχία να αναχθούν σε παρούσα αξία τα μελλοντικά κέρδη και οι δαπάνες θα ήταν καταστροφική για τις μελλοντικές γενεές, και ότι το κατάλληλο επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία είναι σε αυτήν την περίπτωση το ευκαιριακό κόστος κεφαλαίου.

Άλλοι ειδικοί, αν και μια μειονότητα, είναι υπέρ των χαμηλότερων επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία και σε αυτήν την περίπτωση. Εκεί όμως που οι συγγραφείς διαφωνούν κυρίως είναι τα μακροχρόνια προγράμματα.

Γενικά, στη βιβλιογραφία για την περιβαλλοντική αναγωγή σε παρούσα αξία, όπου τα προγράμματα που φέρουν έναν αντίκτυπο μεταξύ γενεών λαμβάνουν την ιδιαίτερη προσοχή, οι διαφορετικοί συγγραφείς τείνουν να συμφωνήσουν με μια από τις ακόλουθες δυνατότητες:

- Την εξέταση της καταλληλότητας της θεωρίας οικονομικής ευημερίας (Economic Welfare Theory), και συνεπώς την τεχνική της CBA, ως σωστής προσέγγισης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων κατά την εξέταση των πολιτικών για την αλλαγή κλίματος, και γενικότερα κατά τη μελέτη προβλημάτων που σχετίζονται με σημαντικές συνέπειες μεταξύ γενεών.
- Τη θεώρηση ως περιττής ή/και ακατάλληλης οποιασδήποτε μείωσης του παραδοσιακού κοινωνικού επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία (social discount rate, SDR).
- Την ανάγκη χρήσης των επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία (είτε σταθερών είτε μεταβλητών με τον χρόνο), μέσα στο διάστημα (0, SDR).
- Τη διατήρηση του συμβατικού επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία αλλά αύξηση της αξίας του περιβαλλοντικού αγαθού με το χρόνο, όπως προτάθηκε από τους Krutilla και Fisher (1975).

- Τη σχεδίαση διαφορετικών μηχανισμών που να λαμβάνουν τις μελλοντικές γενεές υπόψη στην ανάλυση (προσέγγιση CBA).

Ιδιαίτερα, οι αντιπροσωπευτικότερες θέσεις στην εφαρμογή της αναγωγής σε παρούσα αξία με χρήση της τεχνικής ECBA, και αρχίζοντας με τις πιο ακραίες θέσεις του διαστήματος (0, SDR), ενσωματώνονται στις ακόλουθες απόψεις:

α) *Το μόνο έγκυρο επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία είναι μηδέν*, δεδομένου ότι είναι το μόνο ποσοστό που βρίσκεται σε συμφωνία με ένα σενάριο πλήρους δικαιοσύνης μεταξύ γενεών. Αυτό είναι μια ακραία θέση, που υπερασπίζεται από μία πολύ μικρή μειονότητα, και που πρεσβεύει ευκολότερα - σε μερικές περιπτώσεις - μία κριτική θέση ενάντια στην προσέγγιση CBA στη διαδικασία λήψης αποφάσεων στα προγράμματα με τον μεταξύ γενεών αντίκτυπο παρά μια πρόταση επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία.

Παραδείγματος χάριν, οι Ciriacy και Wantrup (1942) είχαν προτείνει ένα μηδενικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία ή ακόμα και ένα αρνητικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία για διάφορους κοινωνικούς λόγους όπως η δημόσια υγεία, η άμυνα, ή η παιδεία. Ο Harrod (1948) χρησιμοποίησε το επιχείρημα ότι "ένα μηδενικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία θα εξασφάλιζε μεταξύ των γενεών δικαιοσύνη εμποδίζοντας τις σημερινές γενεές να αγνοήσουν τα μακροπρόθεσμα περιβαλλοντικά ζητήματα" και προχώρησε ένα βήμα περαιτέρω με το να υποστηρίξει ότι η αναγωγή σε παρούσα αξία είναι ηθικά αστήρικτη και είναι, πράγματι, μια "ευγενική έκφραση για την απληστία". Πιο πρόσφατα ο Shue (1999) ερευνά τα δικαιώματα των μελλοντικών γενεών στους πόρους και την περιβαλλοντική πολιτική (το δικαίωμα ιδιοκτησίας και το θεμελιώδες και μη εμπορεύσιμο δικαίωμα της φυσικής ασφάλειας), υποστηρίζοντας ότι τέτοια δικαιώματα δεν πρέπει να μειωθούν με την αναγωγή σε παρούσα αξία, πόσο μάλλον από την εφαρμογή ενός κριτηρίου καθαρής παρούσας αξίας.

β) *Το επιτόκιο κοινωνικής χρονικής προτίμησης (social time preference rate, STPR)* είναι το κατάλληλο και απαραίτητο επιτόκιο για να αξιολογήσει την αποδοτικότητα μεταξύ των γενεών). Ο Lesser (1997) μεταξύ των άλλων, υποστήριξε ότι ένα πρόγραμμα επένδυσης συμμορφώνεται με τον κανόνα της μεταξύ γενεών δικαιοσύνης, εάν οι σημερινές γενιές μπορούν να βελτιώσουν την ευημερία τους - από την άποψη της κατανάλωσης - χωρίς μείωση της ευημερίας των μελλοντικών γενεών. Αντιθέτως, θα είμαστε άδικοι με τις μελλοντικές γενεές εάν τους κληροδοτήσουμε χειρότερη κατάσταση από ό,τι θα μπορούσαμε. Στα θεμέλια αυτού του συλλογισμού βρίσκεται η ιδέα ότι, πρακτικά, ένα θετικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία συνδέεται με τη συσσώρευση κεφαλαίου και την τεχνολογική αλλαγή, η οποία θα επιτρέψει στις μελλοντικές γενεές να κληρονομήσουν κάτι καλύτερο. Κατά την άποψη των Alamansa και Calatrava (2007), αυτός ο συλλογισμός θα μπορούσε να είναι αληθινός μόνο εάν υπήρχε μια τέλεια ικανότητα αντικατάστασης μεταξύ του φυσικού κεφαλαίου και άλλων τύπων κεφαλαίων, κάτι το οποίο χωρίς καμία αμφιβολία είναι πολύ αμφισβητήσιμο, ειδικά όταν θεωρούμε ότι οι αποφάσεις που έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον συνδέονται συχνά με τις μη αναστρέψιμες αλλαγές. Με άλλα λόγια, πίσω από την επιχειρηματολογία αυτών των συγγραφέων βρίσκεται η έννοια της ασθενούς βιωσιμότητας, αποκαλούμενη επίσης "νεοκλασική" βιωσιμότητα, μια έννοια που έχει επικριθεί βαριά, όπως θα σχολιάσουμε και στη συνέχεια. Επιπλέον, θεωρώντας κάποιος ότι η "κατανάλωση" φυσικών αγαθών έχει τοποθετήσει τη σημερινή γενιά σε μια θέση που είναι καλύτερη από αυτή των

προηγούμενων γενεών, δεν μπορεί να εφαρμοστεί τον ίδιο συλλογισμό στις μελλοντικές γενεές. Το φυσικό κεφάλαιο μπορεί να θεωρηθεί αναπληρώσιμο μέχρι ένα σημείο από ένα άλλο είδος κεφαλαίου, εφ' όσον η ανθρωπότητα δεν φθάνει σε ένα ορισμένο επίπεδο "κρίσιμου φυσικού κεφαλαίου" [Faucheux και O'Connor (1998)], πέρα από το οποίο η ζημία προς το περιβάλλον δεν μπορεί να αντισταθμιστεί από οποιοδήποτε ποσό εναλλακτικού αγαθού.

Από αυτή την άποψη ο Solow (1991) δίνει ένα σύντομο ορισμό για τη βιωσιμότητα, υπό τη νεοκλασική έννοια. Βεβαιώνει ότι η υποχρέωσή μας προς τις μελλοντικές γενιές είναι να συμπεριφερθούμε κατά τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν την επιλογή ή τη δυνατότητα να ζήσουν όπως εμείς. Σύμφωνα με τον Solow, η βιωσιμότητα δεν συνεπάγεται οποιοδήποτε συγκεκριμένο στόχο: αυτό που μεταδίδουμε στις μελλοντικές γενεές είναι μια γενική ικανότητα να ζήσουν όπως εμείς. Αυτός ο ορισμός προϋποθέτει την τέλεια αλληλλοαντικατάσταση: το νομισματικό κεφάλαιο, η εργασία και οι φυσικοί πόροι είναι ανταλλάξιμα στοιχεία του κεφαλαίου. Εντούτοις, αυτή η έννοια της βιωσιμότητας έχει υπάρξει αντικείμενο αυστηρής κριτικής. Όπως βεβαιώνει ο Carpenter (1997), το ότι αποκαλείται αδύναμη βιωσιμότητα είναι ό,τι πιο αισιόδοξο μπορεί να ειπωθεί για αυτήν. Κατά την άποψη των Alamansa και Calatrava (2007), και σε συμφωνία με συγγραφείς όπως ο Simón Fernández (1995) το ελάττωμα στην ιδέα της ασθενούς βιωσιμότητας είναι ότι επιτρέπει την ανταλλαγή μεταξύ των διαφορετικών ειδών κεφαλαίου. Οι αλλαγές που συνδέονται με το περιβάλλον συχνά συνεπάγονται μη αναστρεψιμότητα, και αυτό είναι η ακραία μορφή αδυναμίας αντικατάστασης. Επιπλέον, άπαξ και πραγματοποιηθεί ένα μη αναστρέψιμο γεγονός, τις συνέπειες τις υφίστανται η επόμενη γενεά και όλες οι ακόλουθες γενεές.

γ) *Οι μειώσεις των επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία υπέρ του περιβάλλοντος είναι περιττές, εάν λειτουργούμε με έναν αυστηρό περιορισμό μη-μείωσης στην παραχώρηση φυσικού κεφαλαίου.* Αυτή είναι η θέση των συγγραφέων [Pearce και Turner (1990), Pearce (1990) και Barbier (1990)], οι οποίοι θεωρούν ότι η ρύθμιση του STPR αφότου έχουν περιληφθεί τα περιβαλλοντικά εξωτερικά κόστη είναι λανθασμένη, δεδομένου ότι περιλαμβάνει ένα διπλό υπολογισμό. Αναγνωρίζοντας τις ανεπάρκειες της έννοιας της ασθενούς βιωσιμότητας, οι Pearce και Turner (1990), προσπαθούν να καταστήσουν την έννοια της ισχυρής βιωσιμότητας συμβατή με τη διαδικασία αξιολόγησης αποφάσεων, με την επιβολή του εξής περιορισμού: οποιαδήποτε κι αν είναι τα κέρδη και οι δαπάνες που συνδέονται με την απόφαση, το απόθεμα περιβαλλοντικού κεφαλαίου πρέπει να παραμένει σταθερό. Παραδείγματος χάριν, προκειμένου να υποστηριχτεί ένα ορισμένο πρόγραμμα, τα οφέλη πρέπει να είναι μεγαλύτερα από τις δαπάνες, αλλά πρέπει επίσης να υπάρξει μια ρήτρα που να απαιτεί οποιαδήποτε περιβαλλοντική ζημία προκαλείται από αυτό το πρόγραμμα να αποζημιώνεται μέσω της αποκατάστασης και της ανάπλασης. Δεδομένου ότι αυτή η διάταξη θα ήταν πολύ αυστηρή και μετά βίας ενεργή, αυτοί οι συγγραφείς συνέστησαν μια ολόκληρη σειρά αποφάσεων σχετική με τα αναπτυξιακά έργα και επέβαλαν σε αυτά τον όρο της ισχυρής βιωσιμότητας με τον ακόλουθο τρόπο: το συνολικό ποσό της περιβαλλοντικής ζημίας που προκαλείται από μια ολόκληρη ακολουθία προγραμμάτων πρέπει να αντικρουστεί από χωριστά προγράμματα μέσα στο σύνολο των "αποφάσεων που πρέπει να ληφθούν". Αυτά τα διορθωτικά προγράμματα, ή "προγράμματα σκιά", θα ήταν μια απόπειρα να αντισταθμιστεί η μείωση του φυσικού αποθέματος κεφαλαίου μέσω της δημιουργίας και σκόπιμης αύξησης αυτού του αποθέματος. Τα "προγράμματα σκιά" δεν θα απαιτείτο να περάσουν οποιοδήποτε είδους δοκιμή που να αφορά στις δαπάνες με τα οφέλη,

άπαξ και η αιτιολόγηση τους θα βρισκόταν στη συμμόρφωσή τους με την απαίτηση αυτού του τύπου βιωσιμότητας. Η φιλοσοφία της ισχυρής βιωσιμότητας που κρύβεται πίσω από αυτή τη θέση δεν είναι απαλλαγμένη ούτε από αντιρρήσεις ούτε από κριτική. Παρά τη θεωρητική σύλληψη της ισχυρής βιωσιμότητας, το πρόβλημα βρίσκεται στη δυσκολία να καταστεί η έννοια αυτή λειτουργική. Το θέμα είναι ότι μια προσέγγιση CBA στη διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι συμβατή, στην καλύτερη περίπτωση, μόνο με τη φιλοσοφία της ασθενούς βιωσιμότητας, η οποία μας οδηγεί στο να αναγνωρίσουμε διάφορα θεμελιώδη προβλήματα της ανάλυσης κόστους-οφέλους όταν ενσωματώνει την οικονομική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών εξωτερικών κοστών: i) το πολύ αναλυτικό σχέδιο αυτής της τεχνικής υποθέτει ότι όλα τα αγαθά είναι σύμμετρα (έχουν δηλαδή κοινό μέτρο μέτρησης) , ii) ότι, ανεξάρτητα από το πόσο σοβαρή μπορεί να είναι η απώλεια κάποιου αγαθού, οι χαμένοι, θεωρητικά, θα ήταν πρόθυμοι να δεχτούν ένα ορισμένο επίπεδο αποζημίωσης, και ότι δεν είναι απαραίτητως έτσι σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή, και ότι είναι ακόμα λιγότερο αληθινή κατά την εξέταση των διαφορετικών χρονικών διαστημάτων. Ο Neumayer (1999a) υποστηρίζει ότι η CBA θα ήταν σύμφωνη με την "ασθενή βιωσιμότητα" μόνον εάν (η υποθετική) αποζημίωση στην οποία η ανάλυση είναι βασισμένη ήταν αποτελεσματική και όχι μόνο υποθετική, τουλάχιστον στην περίπτωση προγραμμάτων με δαπάνες στο μέλλον. Κατά συνέπεια, το "κριτήριο ασθενούς βιωσιμότητας" αρνείται τα κριτήρια αποζημιώσεων μέσα μεταξύ γενεών πλαίσιο. Προσπάθειες να καταστεί αυτό το εργαλείο συμβατό με την έννοια της ισχυρής βιωσιμότητας είναι επίσης αμφισβητήσιμες, όπως έχουμε δει πιο πάνω. Οι Alamansa και Calatrava (2007) συμφωνούν με τον Neumayer (1999b) στο ότι "δεν είναι η αναγωγή σε παρούσα αξία το ζήτημα αλλά η βιωσιμότητα" δεδομένου ότι η βιωσιμότητα δεν είναι ένα ζήτημα αποδοτικότητας αλλά ηθικής μεταξύ γενεών.

Αυτό επιβάλλει την αποδοχή του περιορισμού ECBA ως προσέγγιση απόφασης "ενός-κριτηρίου". Θεωρούμε ακόμα την CBA ένα χρήσιμο εργαλείο αξιολόγησης αλλά πιστεύουμε ότι αυτό πρέπει να εφαρμοστεί σε ένα ευρύτερο πλαίσιο μαζί με άλλα κριτήρια, παρά το γεγονός ότι αυτό δεν θα ήταν, για να κυριολεκτήσουμε, μια προσέγγιση "πολλών-κριτηρίων".

Πρόσφατες μελέτες όπως εκείνες των Brouwer και Van Ek (2004) και Gulli (2006) επεξηγούν την πρακτική σχετικότητα αυτού του εργαλείου και, στην πραγματικότητα, η ECBA εφαρμόζεται από τις δημόσιες υπηρεσίες, αν και η εφαρμογή της δεν είναι στην πράξη πάντα ξεκάθαρη. Παραδείγματος χάριν, οι νέοι ευρωπαϊκοί κανονισμοί που αναφέρονται στην εφαρμογή των Structural and Cohesion Funds, μεταξύ των άλλων, απαιτούν ρητά μια ανάλυση κόστους-οφέλους για προγράμματα επένδυσης με προϋπολογισμούς που ξεπερνούν ένα δοθέν κατώτατο όριο. Ο οδηγός αξιολόγησης με CBA ρητά υποστηρίζει τη νομισματική αξιολόγηση των βελτιώσεων της περιβαλλοντικής ποιότητας. Για τα κοινωνικά επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία συνιστάται η τιμή 5%, αν και τα προγράμματα με χαμηλότερο εσωτερικό βαθμό απόδοσης της επένδυσης δεν απορρίπτονται αυτόματα. Αυτό σιωπηρά αναγνωρίζει ότι τα παραδοσιακά κριτήρια αποδοτικότητας κερδών δεν επαρκούν για το πεδίο της εφαρμογής της ECBA.

δ) Μετά από το να περιγράψει εν συντομία και να συζητήσει τις ακραίες θέσεις του διαστήματος (0, SDR), μια ομάδα απόψεων που μοιράζονται μια κοινή προτίμηση για τη συνοχή και που υπερασπίζονται την ανάγκη να χρησιμοποιηθούν τα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία που βρίσκονται μέσα σε αυτό το διάστημα, το οποίο μπορεί να είναι σταθερό ή μεταβλητό ανάλογα με την εκάστοτε στιγμή, παρουσιάζονται στη

συνέχεια. Μέσα από αυτήν την ομάδα εξετάζονται τρεις κύριοι προσανατολισμοί (αν και όχι σαφώς ευδιάκριτοι στην πράξη).

δ.1) Σταθερά μειούμενα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία.

Πολλοί συγγραφείς υπερασπίζονται τη μείωση των επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία λόγω των περιβαλλοντικών εκτιμήσεων, που καθιερώνονται κατά τρόπο συμβατικό, ως ένας τρόπος λογικής ρύθμισης των συμβατικών επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία. Κατά συνέπεια, λόγω της δυσκολίας εύρεσης ενός πειστικού επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία για να εκφραστεί στην πράξη, ζητούν μια δήλωση από τις δημόσιες υπηρεσίες σχετικά με το επιτόκιο που πρέπει να εφαρμόζεται στα προγράμματα τα χρηματοδοτούμενα με δημόσιο κεφάλαιο [(Horta (1998), European Commission 1998 και Rabl (1996)]. Υπάρχουν, εντούτοις, διάφοροι συντάκτες που αντιτάσσονται σε αυτήν την πρόταση:

Ο Lind (1997) ρωτά εάν ένα χαμηλότερο επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία εγγυάται μεταξύ γενεών δικαιοσύνη. Άλλοι, όπως ο Neumayer (1999b) προειδοποιούν, πως η συζήτηση για χαμηλότερα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία μπορεί να εκτρέψει τη συζήτηση από το κεντρικό της ζήτημα για σωστή τοποθέτηση του επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία στη διαδικασία λήψης πολιτικών αποφάσεων. Ο Padilla (2001) υποστηρίζει, ότι η αυθαίρετη τροποποίηση της αναγωγής σε παρούσα αξία συνεπάγεται την αγνόηση των προτιμήσεων μεταξύ της παρούσας και μελλοντικής κατανάλωσης, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην αποδοχή των προγραμμάτων με τη χαμηλή κοινωνική αποδοτικότητα και για τον Pilibert (1999) τα περισσότερα από τα επιχειρήματα που προβάλλονται υπέρ των σταθερών, χαμηλών επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία για χάρη των μελλοντικών γενεών είναι σαθρά. Επίσης, οι Pearce και Turner (1990) έχουν υποστηρίξει ότι η ιδέα της μείωσης των επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία λόγω των περιβαλλοντικών περιορισμών είναι μάλλον προβληματική, δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία μοναδική σχέση μεταξύ των επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία και της υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με αυτούς τους συγγραφείς, το να επιτραπεί στο επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία να καθορίσει το επίπεδο επένδυσης θα έχει αρνητική επιρροή, μέσω της επακόλουθης αποκαρδιωτικής επίδρασης στην επένδυση, και στο γενικό ρυθμό ανάπτυξης. Εντούτοις, οι Alamansa και Calatrava (2007) πιστεύουν ότι, όπως αναφέρεται από τον O'Neill (1993) ένας λογικός προγραμματισμός του μέλλοντος δεν μπορεί να βασιστεί στην εφαρμογή των επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία που κυβερνούν όλες τις δραστηριότητες, το πρόγραμμα και τους πόρους. Παραδείγματος χάριν, είναι κοινή πρακτική να εφαρμοστεί ένα ιδιαίτερα χαμηλό ποσοστό στα προγράμματα δασονομίας. Όπως σωστά υποστηρίζεται από τους Martinez-Alier και Roca-Jusmet (2000), και O'Neill (1993) αυτές οι "ειδικές ρυθμίσεις δεν είναι παράλογες αλλά είναι μάλλον μια λογική παραλλαγή μέσα σε μια παράλογη διαδικασία".

δ.2) Εμπειρικός προσδιορισμός του επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία.

Κάποιος μπορεί να βρει στη βιβλιογραφία μερικές απόπειρες να ληφθεί εμπειρικά το επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία που θα ήταν απαραίτητο για να εφαρμοστεί προς την ευημερία των μελλοντικών γενεών. Ακολουθούνται διάφορες διαδρομές. Μία από αυτές αξιολογεί τη γνώμη της παρούσας γενιάς ως προς το επιτόκιο αυτό. Ο Frederick (2002) παρουσιάζει 34 μελέτες που στόχευσαν να λάβουν εμπειρικά τις τιμές του επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία, αλλά οι χρονικοί ορίζοντες που εξετάζονται σε εκείνες τις μελέτες είναι σαφώς ανεπαρκείς για να επιτρέψουν την εξαγωγή συμπερασμάτων σε μεταξύ γενεών κλίμακα. Η χρήση των χρονικών εύρων μερικών ετών ή ακόμα και μηνών συνεπάγεται λογικά τα πολύ υψηλά επιτόκια

αναγωγής σε παρούσα αξία. Όλα αυτά κάνουν αναγκαία την περαιτέρω έρευνα του θέματος.

δ.3) *Μεταβλητά επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία κάθε στιγμή.* Αυτή η ιδέα ενός μεταβλητού επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία κερδίζει την υποστήριξη ενός αυξανόμενου αριθμού μελετών, στον οποίο τα μεμονωμένα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία μπορούν να προκύψουν ή να παρατηρηθούν στην παρούσα συμπεριφορά αγοράς [Hausman (1979)] ή σε απάντηση σε υποθετικά ζητήματα που συνδέονται με τη στάση των ανθρώπων απέναντι στον κίνδυνο [Horowitz (1991)] σε συμπεριφορές αποταμίευσης [Thaler (1981)] ή να βρεθούν σε κυβερνητικά προγράμματα για την αποταμίευση στη ζωή μας [Cropper (1994)]. Ο Weitzman (1994) παρέχει τη θεωρητική βάση για τα χαμηλά και μειούμενα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία σε μακροπρόθεσμο CBA και οι Azar και Sterner (1996) οι οποίοι αναλύουν την αναγωγή σε παρούσα αξία σε σχέση με την υπερθέρμανση του πλανήτη, θεωρούν ότι τα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία που χρησιμοποιούνται στα οικονομικά μοντέλα της κλιματολογικής αλλαγής πρέπει να είναι χαμηλότερα από εκείνα που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά, και ότι τα σταθερά επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία κάθε στιγμή είναι αδικαιολόγητα: αντ' αυτού, το επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία πρέπει να μειώνεται με το χρόνο. Οι Henderson και Bateman (1995) μετά από τις εργασίες του Cropper (1992), λαμβάνουν από την αναγωγή σε παρούσα αξία στις ανθρώπινες ζωές μια μορφή υπερβολικής καμπύλης αναγωγής σε παρούσα αξία που είναι διαφορετική από την καμπύλη που παράγεται από την κλασσική αναγωγή σε παρούσα αξία (εκθετική), και που θεωρούν πιο ρεαλιστική για τα προγράμματα με τις επιπτώσεις μεταξύ γενεών. Στο ίδιο πνεύμα, όλο και περισσότεροι συγγραφείς υπερασπίζονται την εφαρμογή ενός μεταβλητού με τον χρόνο επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία που ακολουθεί μια φθίνουσα υπερβολική συνάρτηση ([Loewenstein και Prelec (1992)], [Sterner (1994)], [Henderson και Bateman (1995)], [Azqueta (1996)] και [Frederick (2002)] μεταξύ άλλων).

Άλλες φθίνουσες συναρτήσεις, οι οποίες δεν είναι υπερβολικές έχουν μελετηθεί, όπως αυτές που προτείνονται από τον Weitzman (2001), ο οποίος καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η κατανομή των επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία ακολουθεί μια κατανομή Γάμμα σε ένα πλαίσιο αβεβαιοτήτων για τις μελλοντικές οικονομικές καταστάσεις. Οι Newell και Pizer (2003) προσπάθησαν να καταστήσουν λειτουργική την εργασία του Weitzman (2001), ενώ η εργασία του Groom (2004) προχωράει περαιτέρω αυτήν την ιδέα.

Η πρόσφατη εργασία του Guo (2006) παρουσιάζει μια πιο εκτενή έκθεση για τις προσεγγίσεις του μειούμενου επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία. Μια λεπτομερής ανάλυση που παρουσιάζεται μέσα σε αυτή την εργασία καταλήγει στο συμπέρασμα, ότι οι πολιτικές για την αλλαγή κλίματος είναι πιθανότερο να περάσουν μια CBA που χρησιμοποιεί τα σχέδια του μειούμενου επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία. Εντούτοις, δεν είναι όλα τα σχέδια του μειούμενου επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία επαρκή και πολύ λίγα από αυτά (τα σχέδια της αναγωγής σε παρούσα αξία Weitzman–Gamma και η χρήση ενός σταθερού STPR 0%) θα επέτρεπαν το πέρασμα μιας CBA. Σχέδια που βασίζονται στην υπερβολική αναγωγή σε παρούσα αξία απομακρύνθηκαν ως μη ρεαλιστικά, επειδή οι παράμετροι στην υπερβολική συνάρτηση που μετρώνται εμπειρικά επιβάλλουν πολύ μεγάλα αρχικά επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία τόσο υψηλά έως 30-40 %.

Τα προβλήματα με τα μειούμενα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία έχουν εξεταστεί από τους Heal (1998) και Hepburn (2005), οι οποίοι δείχνουν ότι τα μειούμενα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία οδηγούν "στη χρονική ασυνέπεια"

(δηλαδή "εάν τα άτομα έχουν την ευκαιρία να αναθεωρήσουν τα σχέδιά τους στο μέλλον, θα παρεκκλίνουν από τις αποφάσεις που έχουν λάβει στο παρελθόν"). Εντούτοις, οι Alamansa και Calatrava (2007) δεν θεωρούν αυτό το επιχείρημα αρκετά ισχυρό ώστε να αποθαρρύνουν την αυξανόμενη υποστήριξη για τα μειούμενα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία.

Επιπλέον, υπάρχει ένα "πολιτικό" επιχείρημα υπέρ της αποδοχής των επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία που αλλάζουν με το χρόνο: μονομιάς αυτό θα βοηθούσε να επιλύσει τη μόνιμη ένταση μεταξύ εκείνων που μελετούν τα θέματα του απώτερου μέλλοντος και εκείνων που θέλουν να συνεχίσουν να μελετούν το μέλλον με τον παραδοσιακό τρόπο, όπως καταλήγει ο Pearce (2003) ο οποίος για αυτόν τον λόγο, προβλέπει μια όλο και περισσότερη δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου στα σχέδια αναγωγής σε παρούσα αξία. Στην πραγματικότητα, η βρετανική κυβέρνηση την έχει επιλέξει ήδη για τις δημόσιες πολιτικές της (HM Treasury, 2003, "The Green Book: Appraisal and evaluation in Central Government" , "Η πράσινη βίβλος: Αξιολόγηση και αξιολόγηση στην κεντρική κυβέρνηση").

Παρακάτω, περιγράφουμε δύο προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση της βασικής σύγκρουσης μεταξύ της CBA και των μακροπρόθεσμων περιβαλλοντικών συνεπειών, οι οποίες διαφέρουν από τις προηγούμενες στο ότι δεν αφορούν άμεσα στην τροποποίηση των επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία:

ε) Η πρώτη προσέγγιση είναι αυτή των Fisher και Krutilla [Krutilla και Fisher (1975), Fisher και Krutilla (1985) και Porter (1982)], η οποία *υιοθετεί το παραδοσιακό κοινωνικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία, αλλά αυξάνει την αξία του περιβαλλοντικού πλεονεκτήματος κάθε χρονική στιγμή*. Το σκεπτικό για αυτό είναι ότι όσο σπανιότεροι γίνονται οι φυσικοί πόροι γίνονται και τόσο ακριβότεροι [Tol (1994), Rabl (1996), Hasselmann (1997), Hasselmann (1999) και Philibert (1999)]. Αν και αυτή η μέθοδος μπορεί να παρερμηνευθεί σαν μέθοδος που θα μπορούσε να εφαρμόσει δύο διαφορετικά επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία όπως επισημαίνεται από τον Padilla (2001), συνεπάγεται μια διαφορετική ελλοχεύουσα αρχή όπως περιγράφεται κατωτέρω. Παραδείγματος χάριν, ο Hasselmann (1999) χρησιμοποιεί ένα επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία 2% για τις δαπάνες μετριασμού και ένα επιτόκιο 0% για τις δαπάνες αλλαγής κλίματος, βασισμένες στην υπόθεση ότι μια κλιματολογική καταστροφή μπορεί να αποφευχθεί μόνο εάν υποτίθεται ότι οι δαπάνες ζημίας κλίματος αυξάνονται σημαντικά μακροπρόθεσμα σχετικά με τις δαπάνες μετριασμού.

στ) Η δεύτερη προσέγγιση είναι αυτή της χρήσης της CBA μεταξύ γενεών, η οποία *συμπεριλαμβάνει τις μελλοντικές γενεές ρητά στην ανάλυση*. Ο [Kula (1988)] ήταν ο πρώτος που εισήγαγε την ιδέα, και οι επόμενες εργασίες εφαρμόζουν μια μεταξύ γενεών βαρύτητα, η οποία λαμβάνει υπόψη την αναμφισβήτητη παρατήρηση ότι τα άτομα δεν εκτιμούν εξίσου το παρόν και το μέλλον ([Nijkamp και Rouwendal (1988) και Bellinger (1991)] μεταξύ άλλων).

Πρόσφατα, οι Padilla (2001) και Padilla και Pascual (2002) έχουν βελτιώσει αυτήν την προσέγγιση με την ανάπτυξη της έννοιας "καθαρής παρούσας αξίας πολλών γενεών" ("Multigenerational Net Present Value"), η οποία ενσωματώνει μια μεταξύ γενεών δομή στο μοντέλο μέσω μιας μεθόδου που επιτρέπει να ληφθεί υπόψη το επίπεδο "αλτρουισμού" μεταξύ γενεών.

Έχουν αναπτυχθεί και διάφορες άλλες προτάσεις με μια διαφορετική μεθοδολογία αλλά με την ίδια λογική της θεώρησης και των μελλοντικών γενεών στην ανάλυση. Αυτές περιλαμβάνουν αυτή του Fearnside (2002) που προτείνει έναν εναλλακτικό

ενοποιημένο δείκτη που ορίζει ρητά τα βάρη στα συμφέροντα των μελλοντικών γενεών, και αυτή των Sumaili και Walters (2005) οι οποίοι ενσωματώνουν τις μελλοντικές γενιές στα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία με τη βοήθεια ενός "παράγοντα αναγωγής σε παρούσα αξία μεταξύ γενεών" ("Intergenerational Discount Factor").

Η χρήση της CBA μεταξύ γενεών είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα ερευνητική γραμμή για μακροχρόνιους ορίζοντες (αιώνες), αν και περικλείει ακόμα την ανάθεση των βαρών (που συνεπάγεται έτσι έναν βαθμό υποκειμενικής κρίσης), που αντιπροσωπεύει τις προτιμήσεις του κοινωνικού αλτρουισμού μεταξύ γενεών όσον αφορά στις μελλοντικές γενεές.

2.4.2.4 Μια πρόταση σχετικά με την περιβαλλοντική αναγωγή σε παρούσα αξία

Η κεντρική ιδέα που προτείνεται για τη μεταξύ γενεών αναγωγή σε παρούσα αξία είναι να υπερασπιστεί η ορθολογιστική ικανότητα να εφαρμόζονται ταυτόχρονα στην ίδια μελέτη CBA επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία για τα μη απτά αποτελέσματα (π.χ. περιβαλλοντικά) που είναι διαφορετικά από εκείνα που χρησιμοποιούνται για τα απτά.

Δεν έχουμε βρει στη βιβλιογραφία ούτε συγκεκριμένες θεωρητικές εξελίξεις που να θέτουν το αίτημα μ' αυτήν την προσέγγιση, ούτε πρακτικές εφαρμογές επ' αυτού, αν και βρήκαμε, όπως αναφέρεται ανωτέρω, μερικές μελέτες που χρησιμοποιούν δύο διαφορετικά επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία.

Εντούτοις, αυτές οι μελέτες [Tol (1994), Rabl (1996), Hasselmann (1997), Hasselmann (1999) και Philibert (1999)] είναι στην πραγματικότητα εκδόσεις μόνο της προσέγγισης των Krutilla και Fisher (βλ. (ε) ανωτέρω). Η μόνη θεωρητική αντίληψη που θεωρείται από τους Alamansa και Calatrava (2007) ότι είναι διαφορετική, είναι αυτή του Yang (2003), η οποία θα συζητηθεί τελευταία.

Κατά συνέπεια, η ιδέα τους - που συζητήθηκε προηγουμένως [Alamansa και Calatrava (2000) και Alamansa και Calatrava (2002a)] - είναι βασισμένη στον ακόλουθο συλλογισμό:

1. *Δεδομένου ότι τα περιβαλλοντικά αγαθά δεν είναι εμπορεύσιμα αγαθά, τα άτομα έχουν διαφορετικές νοοτροπίες και ενεργούν διαφορετικά όταν μεταχειρίζονται "εμπορεύματα" από ό,τι όταν μεταχειρίζονται "περιβαλλοντικά αγαθά".*

Εάν θεωρήσουμε ότι το συνεπέστερο κοινωνικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία που πρέπει να εφαρμοστεί στις επιδράσεις της αγοράς είναι το STPR ($STPR = CE + p$), είναι λογικό να υποθέσει κανείς είναι ότι το επιτόκιο της καθαρής χρονικής προτίμησης (*pure time preference*, p) θα είναι μικρότερο στην περίπτωση των περιβαλλοντικών αγαθών, είτε λόγω ηθικής επιβολής είτε για λόγους δικαιοσύνης μεταξύ των γενεών (1.α) είτε απλά επειδή ορισμένες μελέτες οδηγούν προς ένα τέτοιο συμπέρασμα (1.β).

(1.α) Στην πραγματικότητα, οι κυβερνήσεις εκτελούν τα προγράμματα βελτίωσης του περιβάλλοντος που συχνά δεν θα ικανοποιούσαν τα κριτήρια λήψης αποφάσεων της συμβατικής CBA, και τα οφέλη των οποίων θα τα απολαύσουν οι μελλοντικές γενιές. Το επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία είναι πολύ χαμηλό (και επομένως, πολύ χαμηλό επιτόκιο καθαρής χρονικής προτίμησης - *pure time preference*), όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, με την εφαρμογή ενός χαμηλότερου από το συνηθισμένο επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία στην περίπτωση των προγραμμάτων δασονομίας, ως "επιχορήγηση για τις μελλοντικές γενεές."

(1.β) Οι Kopp και Portney (1999) θεωρούν ότι δεν υπάρχει κανένας λόγος για να θεωρήσουν δεδομένο ότι τα άτομα θα είναι πρόθυμα να ανταλλάσσουν τα χρήματα και το περιβάλλον με την ίδια λογική. Αυτή η ιδέα είναι υπονοούμενη από τον Lumeley (1997) που σχολιάζει τις εμπειρικές μελέτες που συνδέουν τα μεμονωμένα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία με πρακτικές που πραγματοποιούνται στα προγράμματα συντήρησης εδάφους, στα οποία δε φαίνεται να υπάρχει οποιαδήποτε σαφής σχέση μεταξύ του ενός και του άλλου. Ο Gintis (2000) φθάνει στο ίδιο συμπέρασμα. Σε μια προαναφερθείσα μελέτη, οι Luckert και Admowicz (1993) διαπιστώνει διαφορετικές συμπεριφορές κατά την εξέταση της αναγωγής σε παρούσα αξία των δασών και των τίτλων μετοχών.

2. Φαίνεται λογικό να θεωρηθεί ότι η υπόθεση της οριακής μείωσης της κατανάλωσης αγαθών δεν θα ισχύσει για περιβαλλοντικά αγαθά.

Εάν τα περιβαλλοντικά κέρδη ή οι δαπάνες πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια μιας μακριάς χρονικής περιόδου, ο όρος CE του τύπου του STPR μπορεί να μειωθεί για αυτόν τον τύπο αγαθών, δεδομένου ότι η υπόθεση της οριακής μείωσης της κατανάλωσης αγαθών δεν εκπληρώνεται. Παραδείγματος χάριν, εάν σε διακόσια χρόνια οι άνθρωποι είναι σε χειρότερη κατάσταση από την άποψη της "περιβαλλοντικής ευημερίας", η ζημία που προκαλείται στερώντας τους ένα περιβαλλοντικό αγαθό (ένας χώρος στη φύση για ψυχαγωγικούς λόγους, παραδείγματος χάριν) δεν θα είναι μικρότερη από καμιά άποψη από τη ζημία που θα προκαλείτο σε εκείνους που ζουν σήμερα, όπως απαιτείται συνήθως.

Αυτή η πρόταση σχετικά με την αναγωγή σε παρούσα αξία θα μπορούσε να παρασταθεί ως εξής [Alamansa και Calatrava (2007)]:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{F_t}{(1 + STPR)^t} \right) + \sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{N_0}{(1 + EDR)^t} \right) \quad (2.21\alpha)$$

όπου NPV είναι η καθαρή παρούσα αξία, το F_t αντιπροσωπεύει το ετήσιο καθαρό οικονομικό κόστος ή το κέρδος (γενικά, η σκιά της τιμής των απτών αποτελεσμάτων), και N_0 το ετήσιο περιβαλλοντικό κόστος ή το κέρδος το παρόν χρονικό διάστημα για την παρούσα γενιά (ή, γενικότερα, η σκιά της τιμής των μη απτών αποτελεσμάτων). Το επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία είναι η κατάλληλη (κοινωνικό ποσοστό χρονικής προτίμησης) τιμή STPR για να υπολογιστούν τα οικονομικά αποτελέσματα (πρώτος όρος), και ένα χαμηλότερο περιβαλλοντικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (Environmental Discount Rate, EDR), για να υπολογιστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις (δεύτερος όρος).

Οι Krutilla και Fisher (1975) προτείνουν την ακόλουθη σχέση:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{F_t}{(1 + STPR)^t} \right) + \sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{N_t}{(1 + STPR)^t} \right) \quad (2.21\beta)$$

Σε τι διαφέρει αυτή η πρόταση από αυτήν των Alamansa και Calatrava;

Μια σύγκριση των Εξ. (2.21α) και (2.21β) δείχνει σαφώς ότι, παρά τις ομοιότητες, η πρόταση των Alamansa και Calatrava (2007) διαφέρει σημαντικά από

τη μέθοδο *Krutilla και Fisher* (K-F) στο ότι, ενώ η K-F χρησιμοποιεί το N_t (αξία του περιβαλλοντικού αγαθού που αυξάνεται με το χρόνο ως αποτέλεσμα μειούμενων αποθεμάτων του) στον αριθμητή και το ίδιο STPR για τον περιβαλλοντικό και οικονομικό όρο, η προσέγγιση των Alamansa και Calatrava (2007) εξετάζει ρητά δύο διαφορετικά επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία εφαρμόζοντας ένα EDR στον περιβαλλοντικό όρο, ο οποίος συνεπάγεται σαφώς μια διαφορετική αρχή.

Ένας συνδυασμός των δύο εξισώσεων όπως στην Εξ. (2.21γ) (προτάθηκε από τον Yang (2003)) θα ήταν, στην πράξη, δύσκολο να εφαρμοσθεί και, θα οδηγούσε σε διπλό υπολογισμό, δεδομένου ότι η λογική για τη χρήση EDR περιλαμβάνει ήδη την υπόθεση μιας μειούμενης κατανάλωσης οριακής χρησιμότητας για τα περιβαλλοντικά αγαθά.

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{F_t}{(1 + STPR)^t} \right) + \sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{N_t}{(1 + EDR)^t} \right) \quad (2.21\gamma)$$

Αλλά ποια συγκεκριμένη τιμή (σ) θα έπαιρνε το EDR;

Μπορούμε μετά βίας να δώσουμε μόνο μια απάντηση σε αυτήν την γενική ερώτηση, αλλά έχουμε τις ακόλουθες προτάσεις:

(i) Αυτό το περιβαλλοντικό ποσοστό δεν πρέπει να είναι το ίδιο για όλους τους τύπους προγραμμάτων, ούτε για όλους τους πόρους, και θα εξαρτηθεί από τη εξεταζόμενη χρονική έκταση. Ο Weitzman (1998) έπειτα από έρευνα μεταξύ εμπειρογνομόνων σχετικά με την αναγωγή σε παρούσα αξία των προτιμήσεων μεταξύ γενεών, κατέληξε στην ύπαρξη διαφορετικών επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία για ορισμένα χρονικά διαστήματα, τα οποία έχουν προέλθει από τις διαφορετικές γενιές. Τα επιτόκια αυτά φαίνονται αρκετά λογικά στους Alamansa, Calatrava (2007), αν και χρειάζεται προφανώς σκληρότερη εργασία για τον ορισμό αυτών των επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία. Κατά συνέπεια, ο Weitzman (1999) προτείνει τα ακόλουθα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία για τα διαφορετικά χρονικά διαστήματα: 3-4% (τα συνηθισμένα κοινωνικά επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία) για το χρονικό διάστημα περίπου 25 ετών, 2% όταν είναι διάστημα 25-75 ετών, 1% όταν είναι διάστημα 75-300 ετών και 0% για περισσότερα από 300 έτη. Σύμφωνα με την ίδια λογική πορεύεται μια πρόσφατη πρόταση της βρετανικής κυβέρνησης στην επίσημη καθοδήγησή της στα Υπουργεία για την αξιολόγηση των επενδύσεων και των πολιτικών (HM Treasury, 2003) με την εξέταση του επόμενου χρονικά μεταβαλλόμενου σχεδίου: 3,5% για 0-30 έτη, 3% για 31-75 έτη, 2,5% για 76-125 έτη, 2% για 126-200 έτη, 1,5% για 201-300 έτη και 1% για πάνω από 301 έτη.

(ii) Η ιδέα του υπερβολικού παράγοντα αναγωγής σε παρούσα αξία φαίνεται λογική στους Alamansa, Calatrava (2007) στα προγράμματα με τις πολύ μακροχρόνιες χρονικές εκτάσεις (αρκετοί αιώνες). Εντούτοις, πολλά απομένουν να γίνουν για τον καθορισμό των τιμών της συγκεκριμένης παραμέτρου για αυτόν τον τύπο λειτουργιών.

Συνοψίζοντας, το τι επιδιώκουμε στην αναγωγή σε παρούσα αξία, μπορεί, με έναν πολύ γενικό τρόπο, να παρασταθεί στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4 Μια γενική πρόταση διαφορετικών STPR και EDR που εξαρτώνται από το χρονικό διάστημα της μελέτης.

Χρονικό διάστημα	Αναγωγή σε παρούσα αξία
<p>< 25 χρόνια</p> <p>Χρονικό διάστημα που επηρεάζει μόνο τις παρούσες γενιές</p>	<p>$STPR = ce + p^a$ και $EDR = ce + p^1$</p> <p>$p^1 < p$</p> <p>$3\% < STPR < 5\%$ και $2\% < EDR < 3\%$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Λογική χρήση της προσέγγισης ECBA
<p>25–100 χρόνια</p> <p>Λογικά βραχύ χρονικό διάστημα που επηρεάζει τα παιδιά, τα εγγόνια και τα δισέγγονά μας</p>	<p>$STPR = ce + p$ και $EDR = ce^2 + p^2$</p> <p>$p^2 < p$ και $ce^2 < ce$</p> <p>$3\% < STPR < 5\%$ και $1\% < EDR < 2\%$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Χρήση της ECBA μαζί με άλλα εργαλεία και/ή κριτήρια λήψης αποφάσεων •Κύριος αυστηρός και/ή οικολογικός περιορισμός βιωσιμότητας
<p>100–200 χρόνια</p> <p>Χρονικό διάστημα που επηρεάζει λιγότερο άμεσες γενιές, με λογικό βαθμό αβεβαιότητας</p>	<p>$STPR = ce + p$ και $EDR = ce^3 + p^3$</p> <p>$p^3 < p$ και $ce^3 < ce$</p> <p>$3\% < STPR < 5\%$ και $0\% < EDR < 1\%$</p> <ul style="list-style-type: none"> •Εισαγωγή υπερβολικών επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία στην ανάλυση ευαισθησίας • Χρήση της ECBA μαζί με άλλα εργαλεία και/ή κριτήρια λήψης αποφάσεων •Κύριος αυστηρός και/ή οικολογικός περιορισμός βιωσιμότητας
<p>Περισσότερα από 200 χρόνια</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Χρήση υπερβολικών επιτοκίων αναγωγής σε παρούσα αξία • Επαρκής η ECBA προσέγγιση;

2.4.2.5 Δείκτες περιβαλλοντικής αποδοτικότητας

Σαν συμπλήρωμα στην προηγούμενη πρόταση, και σύμφωνα με την καθιερωμένη προσέγγιση, δύο έννοιες έχουν εξεταστεί (Alamansa, 2006) που τις θεωρούμε ενδιαφέρουσες στην εφαρμογή της CBA:

2.4.2.5.1 Ποσό μεταφοράς μεταξύ γενεών (Intergenerational Transfer Amount, ITA)

Το ποσό μεταφοράς μεταξύ γενεών (ITA) είναι ένα κριτήριο για τον προσδιορισμό της ποσότητας της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας σε απόλυτους όρους. Ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) που λαμβάνεται χρησιμοποιώντας το γενικό STPR για τις δημόσιες επενδύσεις, το NPV (STPR%), και το NPV στο οποίο μια ρύθμιση δικαιοσύνης μεταξύ γενεών έχει πραγματοποιηθεί στο επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία που σχετίζεται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το NPV (STPR%, EDR%):

$$\begin{aligned}
 ITA &= NPV(STPR, EDR) - NPV(STPR) \\
 &= \left(\sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{F_t}{(1+STPR)^t} \right) + \sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{N_0}{(1+EDR)^t} \right) \right) \\
 &\quad - \left(\sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{F_t}{(1+STPR)^t} \right) + \sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{N_0}{(1+STPR)^t} \right) \right) \\
 &= \left(\sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{N_0}{(1+EDR)^t} \right) - \sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{N_0}{(1+STPR)^t} \right) \right)
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

Στην Εξ. (2.22) το N αντιπροσωπεύει την περιβαλλοντική ροή, που υπολογίζεται στο έτος 0.

Αυτός ο δείκτης αφορά αυτό που η πραγματική παραγωγή μεταφέρει προς τις μελλοντικές γενεές, ως συνέπεια της ενσωμάτωσης ενός ορισμένου βαθμού της δικαιοσύνης μεταξύ γενεών στην ανάλυση. Επομένως, αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως προσπάθεια για τον προσδιορισμό της ποσότητας του βαθμού βιωσιμότητας που επιλέγεται από την τρέχουσα παραγωγή. Αυτή η αξία, αν και εκφράζεται σε νομισματικές μονάδες, είναι σχετική όχι σε τόσο μεγάλο μέρος με απόλυτους όρους αλλά μάλλον σε σύγκριση με άλλες προτάσεις επένδυσης.

Λογικά, αυτή η τιμή θα είναι υψηλότερη ή ίση με μηδέν, και όταν συγκρίνονται τα εναλλακτικά προγράμματα της περιβαλλοντικής αποκατάστασης, υψηλότερη τιμή ITA θα σημαίνει υψηλότερη περιβαλλοντική αποδοτικότητα του προγράμματος.

2.4.2.5.2 Κρίσιμο περιβαλλοντικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (Critical Environmental Rate, CER)

Το κρίσιμο περιβαλλοντικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (Critical Environmental Rate, CER) ορίζεται ως το επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία που, εφαρμοζόμενο στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αφού τα αποτελέσματα αγοράς

έχουν αναχθεί σε παρούσα αξία από το συνηθισμένο STPR, κάνει την καθαρή παρούσα αξία (NPV) ίση με μηδέν.

Το CER λαμβάνεται από την Εξ. (2.23) όπου το STPR είναι μια προηγουμένως επιλεγμένη αξία, F_t η ετήσια οικονομική ροή και N_0 η περιβαλλοντική ροή στο έτος 0.

$$\sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{F_t}{(1 + STPR)^t} \right) + \sum_{t=0}^{t=n} \left(\frac{N_0}{(1 + CER)^t} \right) = 0 \quad (2.23)$$

Είναι, επομένως, ένα κριτήριο σχετικό με την περιβαλλοντική αποδοτικότητα ενός προγράμματος σε γενικές γραμμές. Προκειμένου να ερμηνευτεί, είναι απαραίτητο να συγκριθεί με το κοινωνικό περιβαλλοντικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (Social Environmental Discount Rate, SEDR) δηλαδή το περιβαλλοντικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία που αντιπροσωπεύει επαρκώς το επίπεδο της δικαιοσύνης μεταξύ γενεών που μια κοινωνία είναι πρόθυμη να υποθέσει. Από αυτήν την μεθοδολογική προοπτική, πρέπει να ικανοποιείται το $CER(STPR\%) > SEDR$. Παραδείγματος χάριν, εάν τα SEDR και STPR είναι 1% και 3%, αντίστοιχα, προγράμματα με $CER(3\%) > 1\%$ θα είναι κερδοφόρα από περιβαλλοντική άποψη (με ρυθμίσεις για τη βιωσιμότητα), αν και δεν θα είναι αναγκαστικά κερδοφόρα από οικονομική άποψη εάν το CER (3%) είναι μικρότερο του 3%.

2.4.2.6 Εφαρμογή των διαφορετικών προσεγγίσεων αναγωγής σε παρούσα αξία στο πρόγραμμα WREC της Almería (Ισπανία)

Το πρόγραμμα Watershed Restoration and Erosion Control of Lubrín (De Simón Navarrete, 1993) καλύπτει μια έκταση 8.830 εκταρίων που αντιμετωπίζει "επιταχυνόμενες" ή "εξαιρετικά επιταχυνόμενες" διαδικασίες διάβρωσης στο 82% του εδάφους της. Υπάρχουν κλιματολογικές και εδαφολογικές συνθήκες που συμβάλλουν στις διαδικασίες ερήμωσης, αλλά χωρίς αμφιβολία, εκείνες με τον μέγιστο αντίκτυπο είναι εκείνες των ανθρώπινων παραγόντων, από την ιστορική (διαδικασίες αποδάσωσης), και την τωρινή χρήση του εδάφους που καθορίζεται από την εγκατάλειψη της καλλιέργειας του εδάφους, σε μια χαρακτηριστική οριακή γεωργική ζώνη βουνών.

Οι κύριες διορθωτικές ενέργειες που εξετάζονται στο πρόγραμμα είναι: α) η διατήρηση του καλλιεργήσιμου εδάφους αλλά και η βελτίωση των αναβαθμίδων, β) η αναδάσωση του 85% των περιοχών που καλύπτονται αυτήν την περίοδο με την υποβιβασμένη Μεσογειακή βλάστηση με τα γηγενή είδη και η αναπαραγωγή του υπολοίπου 15% με Μεσογειακής βλάστησης, και γ) η κατασκευή συγκεκριμένων υποδομών υδραυλικής διόρθωσης.

Το πρόγραμμα καλύπτει μια χρονική διάρκεια 100 ετών. Λογικά, αυτή η περίοδος επιλέχτηκε από σύμβαση για την ανάλυση, λόγω της μεγάλης περιόδου ωρίμανσης των ειδών. Η πραγματοποίηση των διορθωτικών μέτρων (επένδυση) προγραμματίζεται μέσα στα πρώτα έξι έτη (ο πίνακας 2.5 συνοψίζει τις καθαρές οικονομικές δαπάνες της εφαρμογής και της συντήρησης του προγράμματος). Αυτό συνεπάγεται ότι, ενώ οι κύριες οικονομικές δαπάνες υποστηρίζονται από τη σημερινή

γενιά, οι περιβαλλοντικές ανταμοιβές θα φανούν μόνο στο μέσο προς μακροπρόθεσμο μέλλον, έχοντας επιπτώσεις κατά συνέπεια στις μελλοντικές γενεές.

Πίνακας 2.5 Καθαρές Δαπάνες εφαρμογής του Lubrín HFR project (€).

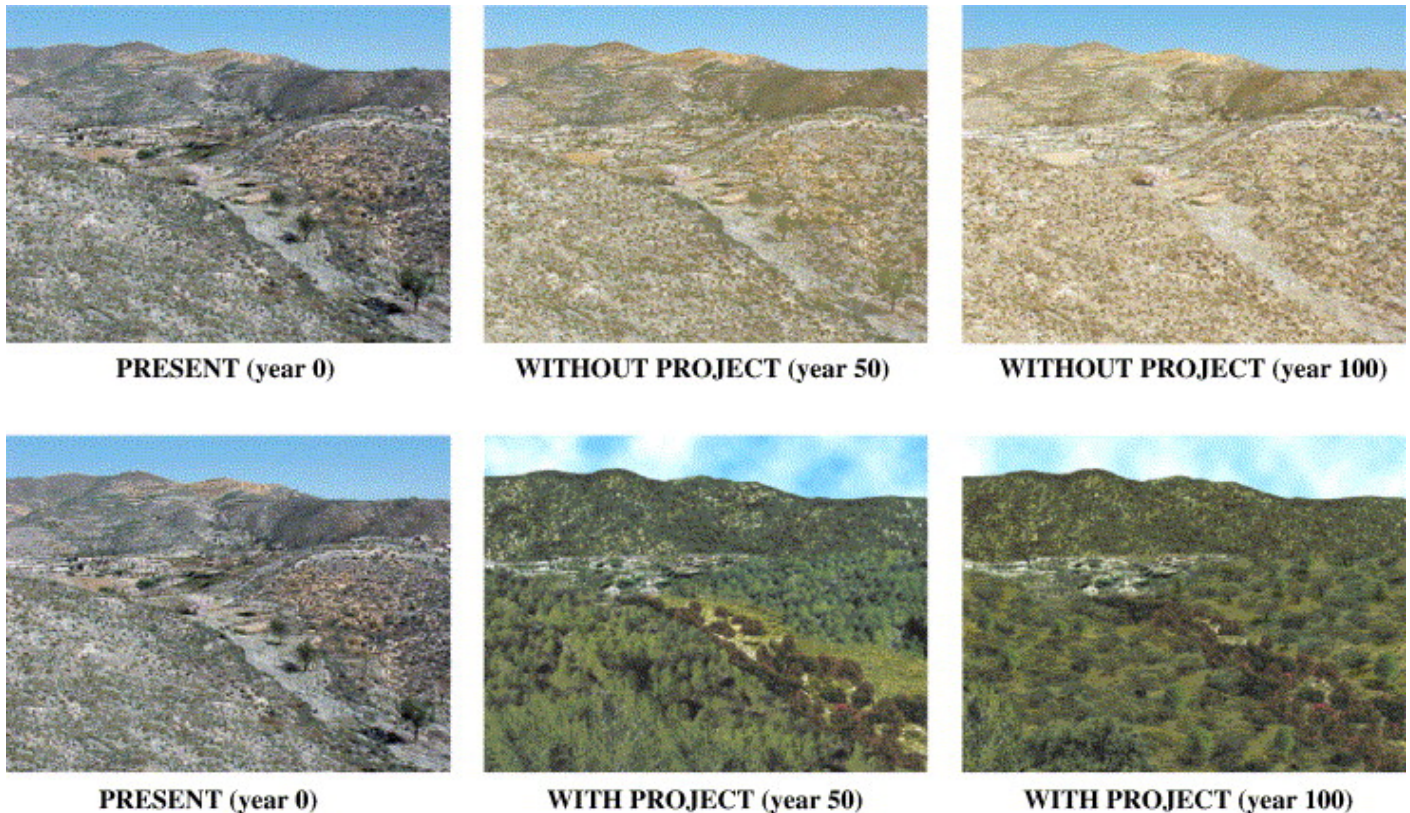
Δαπάνες επένδυσης	
Πλαστές οι προηγούμενες επενδύσεις του προγράμματος (χρόνος 0)	166.786,87
1 ^{ος} χρόνος επένδυσης	1.680.668,05
2 ^{ος} χρόνος επένδυσης	1.222.031,90
3 ^{ος} χρόνος επένδυσης	1.201.681,63
4 ^{ος} χρόνος επένδυσης	2.416.711,74
5 ^{ος} χρόνος επένδυσης	2.554.613,97
6 ^{ος} χρόνος επένδυσης	182.719,70
Δαπάνες συντήρησης	
Συντήρηση και επισκευή της υδροτεχνικής υποδομής (χρόνος 50)	432.794,53
Συντήρηση και επισκευή της υδροτεχνικής υποδομής (χρόνος 100)	433.341,45
Δασολογική αντιμετώπιση (Κόστη καθαρισμού) (χρόνος 20)	449.915,60
Δασολογική αντιμετώπιση (Κόστη καθαρισμού) (χρόνος 40)	518.492,38
Δασολογική αντιμετώπιση (Κόστη καθαρισμού) (χρόνος 60)	2.880.309,51
Οφέλη από πώληση ξυλείας ακολουθώντας δασολογική πολιτική (καθαρισμός)	
Δασολογική αντιμετώπιση (οφέλη από τον καθαρισμό) (χρόνος 20)	284.192,38
Δασολογική αντιμετώπιση (οφέλη από τον καθαρισμό) (χρόνος 40)	378.923,24
Δασολογική αντιμετώπιση (οφέλη από τον καθαρισμό) (χρόνος 60)	4.090.803,91

Προκειμένου να εφαρμοστεί το ECBA στη μελέτη αυτής της περίπτωσης (Alamansa, 2006) πραγματοποιήθηκαν τα ακόλουθα στάδια:

- (1) Προσδιορισμός των θετικών και αρνητικών αποτελεσμάτων (οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών) του προγράμματος.
- (2) Προσδιορισμός και εφαρμογή της καταλληλότερης από τις διαθέσιμες μεθόδους για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού οφέλους.

Το μέγεθος του τυχαίου δείγματος (που στρωματοποιείται από κοινωνικοοικονομικό προφίλ) ήταν συνολικά 334 άτομα. Ο φάκελος πληροφοριών έδειξε μεταξύ άλλων πληροφοριών, την τρέχουσα κατάσταση της ζώνης που επηρεάζεται από το πρόγραμμα και τη μελλοντική κατάσταση της ζώνης στα μελλοντικά σενάρια μέσα σε 50 και 100 έτη, εάν δε ληφθεί κανένα διορθωτικό μέτρο περιβαλλοντικής φύσης (εικ. 2.1).

Το καθαρό ετήσιο όφελος που ελήφθη τελικά ήταν της τάξης του 506.797 €/έτος.



Εικόνα 2.1 Φωτογραφίες τεσσάρων μελλοντικών σεναρίων του WREC Project of Lubrín.

(3) Υπολογισμός των δεικτών οικονομικής αποδοτικότητας του προγράμματος:

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης (Internal Return Rate, IRR) ήταν 5,23%, το οποίο σημαίνει ότι το πρόγραμμα έχει θετική καθαρή παρούσα αξία (NPV > 0) σε όλες τις περιπτώσεις που μελετώνται, δεδομένου ότι το υψηλότερο επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση ευαισθησίας ήταν 5%. Οι διαφορετικές προσεγγίσεις αναγωγής σε παρούσα αξία που εφαρμόστηκαν ήταν οι ακόλουθες:

α) Επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία που συστήνονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (5%), και από αρκετούς εμπειρογνώμονες στη συγκεκριμένη ισπανική περίπτωση (3%), μετά από μια παραδοσιακή προσέγγιση (βλέπε Πινάκα 2.6α).

Πίνακας 2.6α Καθαρή Παρούσα Αξία του Lubrín HFR project με κλασική προσέγγιση αναγωγής σε παρούσα αξία

Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία	Καθαρό οικονομικό κόστος	Καθαρό περιβαλλοντικό όφελος	Καθαρή παρούσα αξία
5%	- 10.258.177 €	10.561.814 €	303.637 €
3%	- 11.704.032 €	16.494.672 €	4.790.643 €

β) Χαμηλότερα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία από τα παραδοσιακά, μετά από τις καλά θεμελιωμένες γραμμές συλλογισμού των διαφόρων συγγραφέων, στη σειρά 1-3% (βλέπε Πινάκα 2.6β).

Πίνακας 2.6β Καθαρή Παρούσα Αξία του Lubrín HFR project με προσέγγιση αναγωγής σε παρούσα αξία "STPR downward adjustment".

Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία	Καθαρό οικονομικό κόστος	Καθαρό περιβαλλοντικό όφελος	Καθαρή παρούσα αξία
3%	- 11.704.032 €	16.494.672 €	4.790.643 €
1%	- 18.474.235 €	32.262.304 €	13.788.068 €

γ) Διαφορετικά επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία για τα απτά και μη απτά αποτελέσματα, μετά από την προτεινόμενη προσέγγιση (βλέπε Πινάκα 2.6γ).

Πίνακας 2.6γ Καθαρή Παρούσα Αξία του Lubrín HFR project με προσέγγιση αναγωγής σε παρούσα αξία "χρησιμοποιώντας διαφορετικά επιτόκια αναγωγής για απτά και μη απτά αποτελέσματα".

Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία	Καθαρό οικονομικό κόστος	Καθαρό περιβαλλοντικό όφελος	Καθαρή παρούσα αξία
C(5%) και B(3%)	- 10.258.177 €	16.494.672 €	6.236.495 €
C(3%) και B(1%)	- 11.704.032 €	32.262.304 €	20.558.271 €
C(5%) και B(1%)	- 10.258.177 €	32.262.304 €	22.004.126 €

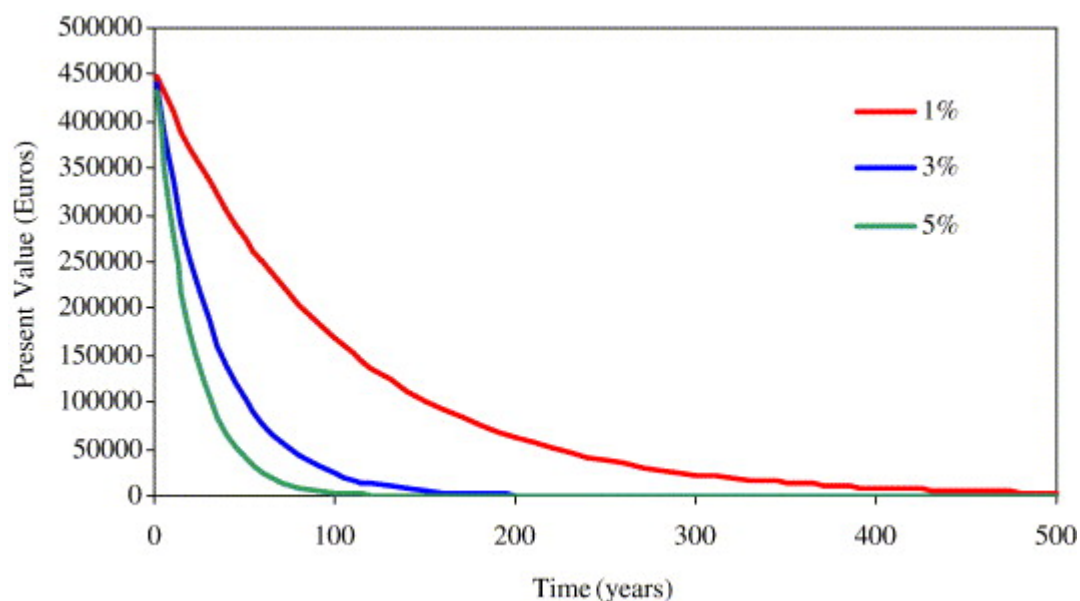
Όπως παρουσιάζουν οι αντίστοιχοι πίνακες, η μεταβλητότητα της NPV του προγράμματος είναι πολύ μεγάλη, ανάλογα με το ποια προσέγγιση της αναγωγής σε παρούσα αξία χρησιμοποιείται, φθάνοντας στη χαμηλότερη τιμή των 303.637 € στην περίπτωση της συμβατικής αναγωγής σε παρούσα αξία, χρησιμοποιώντας ένα SDR 5% και την υψηλότερη τιμή των 22.004.126 €, όταν έγιναν προς τα κάτω ρυθμίσεις

του επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία για την ειδική περίπτωση του καθαρού περιβαλλοντικού οφέλους (SDR 5% και EDR 1%).

Αλλά, τι θα γίνει εάν εξετάσουμε το πρόγραμμα με χρονικό ορίζοντα της τάξεως των αιώνων; Ποια θα είναι η ετήσια παρούσα αξία, παραδείγματος χάριν, σε 200 ή 500 έτη; Στους ακόλουθους πίνακες υπολογίζουμε και συγκρίνουμε την παρούσα αξία των μη απτών αποτελεσμάτων (περιβαλλοντικά οφέλη) μέσα σε 50 ..100 ..200 και 500 έτη που χρησιμοποιούν έναν εκθέτη (βλέπε Πίνακα 2.7 και εικόνα 2.2) και έναν υπερβολικό παράγοντα αναγωγής σε παρούσα αξία (βλέπε Πίνακα 2.8 και εικόνα 2.3).

Πίνακας 2.7 Παρούσα αξία του WREC Project Benefit (506.797 € στον χρόνο 0) χρησιμοποιώντας εκθετικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (συμβατική προσέγγιση της αναγωγής σε παρούσα αξία).

Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία	50 χρόνια	100 χρόνια	200 χρόνια	500 χρόνια
5%	44.220 €	4 €	0 €	0 €
3%	115.604 €	27.161 €	1 €	0 €
1%	308.153 €	189.230 €	69.272 €	4 €



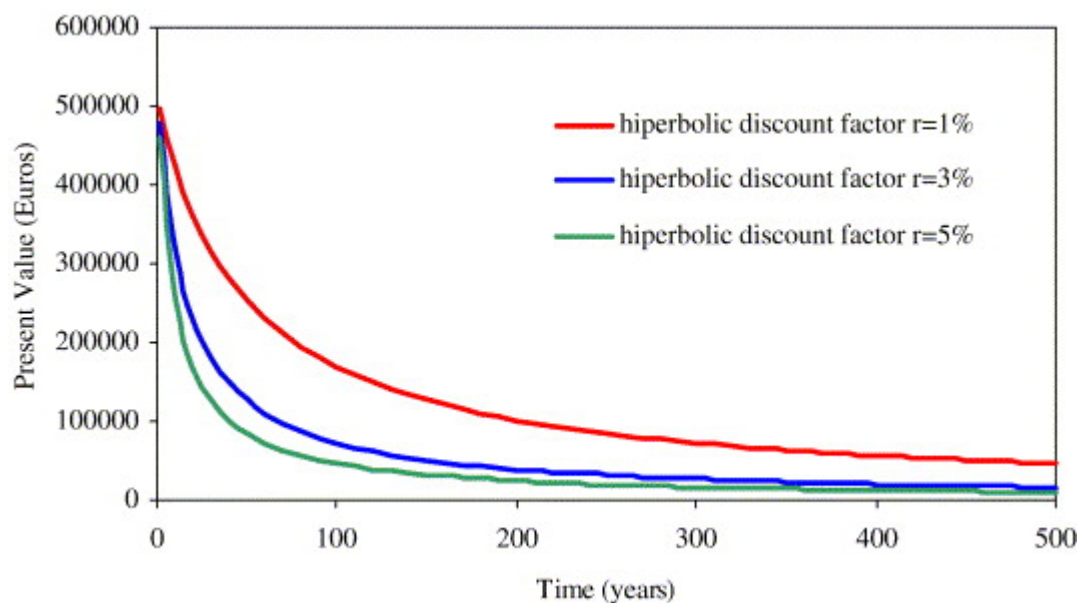
Εικόνα 2.2 Παρούσα αξία του Project Environmental Benefits (χρονικό διάστημα 50 ετών) χρησιμοποιώντας εκθετικό παράγοντα αναγωγής σε παρούσα αξία (κλασική προσέγγιση) [Alamansa και Calatrava (2007)].

Πίνακας 2.8 Παρούσα αξία του WREC Project Benefit (500.787 € το χρόνο 0) χρησιμοποιώντας υπερβολικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (*)

Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία	50 χρόνια	100 χρόνια	200 χρόνια	500 χρόνια
$FD_h, (a = b = 2r) r = 5\%$	84.466 €	46.072 €	24.133 €	9.936 €
$FD_h, (a = b = 2r) r = 3\%$	126.699 €	72.400 €	38.864 €	16.348 €
$FD_h, (a = b = 2r) r = 1\%$	253.399 €	168.932 €	101.359 €	46.012 €

(*) Τα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο, όπου οι παράμετροι a και b έχουν οριστεί ως $a = b = 2r$, από τους Poulos και Whittington (2000).

$$FD_h = \frac{1}{(1 + a \cdot t)^{b/a}} \quad a, b > 0$$



Εικόνα 2.3 Παρούσα αξία του Project Environmental Benefits (χρονικό διάστημα 500 ετών) χρησιμοποιώντας υπερβολικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (βλέπε Πίνακα 2.8) [Alamansa και Calatrava (2007)].

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι μέγιστες τιμές για τα 50 και 100 χρόνια αντιστοιχούν στους εκθετικούς παράγοντες αναγωγής σε παρούσα αξία (Exponential Discount Factors, EDF) με $SDR = 1\%$, ενώ στην περίπτωση των 200 και 500 χρόνων οι μέγιστες τιμές αντιπροσωπεύονται από τους υπερβολικούς παράγοντες αναγωγής σε παρούσα αξία (Hyperbolic Discount Factors, HDF) με τις παραμέτρους $a = b = 2r$ για $r = SDR = 1\%$. Αυτό συμφωνεί με τα συμπεράσματά μας, όπως παρουσιάζονται στο θεωρητικό τμήμα ανωτέρω, όσον αφορά το αν προτείνεται η χρήση υπερβολικών παραγόντων αναγωγής σε παρούσα αξία στην περίπτωση των πολύ μακροπρόθεσμων

σεναρίων. Αυτό είναι σαφές από τις εικόνες 2.2 και 2.3 οι οποίες δείχνουν πώς η εκθετική αναγωγή σε παρούσα αξία μειώνει σε μηδέν την παρούσα αξία του περιβαλλοντικού οφέλους κατά τη διάρκεια του δεύτερου και τρίτου αιώνα για επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία 3% και 5% (φθάνοντας σε μηδέν στα έτη 160 και 260, αντίστοιχα).

(4) Υπολογισμός των περιβαλλοντικών δεικτών αποδοτικότητας του προγράμματος: Το μεταξύ γενεών ποσό μεταφοράς (Intergenerational Transfer Amount, ITA) (3%, 1%) αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ του NPV (3%) και του NPV (3%, 1%) στις οποίες η μεταξύ γενεών ρύθμιση δικαιοσύνης έγινε στο επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία που χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στη μελέτη μας φθάνουμε σε μια τιμή 15.768 εκατομμυρίων € (όπως λαμβάνεται από την Εξ. (2.24)).

$$\begin{aligned} ITA(3\%,1\%) &= NPV(3\%,1\%) - NPV(3\%) = \\ &= 20558271 - 4790643 = 15767628 \end{aligned} \quad (2.24)$$

Η αξία του κρίσιμου περιβαλλοντικού επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία (Critical Environmental Rate, CER) για STPR 3%, δηλαδή το CER (3%) λαμβάνεται με την επίλυση της Εξ. (2.25):

$$NPV(3\%, EDR = ?) = -11.704.032 + \sum_{t=0}^{t=\infty} \left(\frac{N_0}{(1 + CER)^t} \right) = 0 \quad (2.25)$$

Η αποκτηθείσα τιμή CER (3%) 4,47 δείχνει ότι εάν θέταμε το περιβαλλοντικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία που αντιπροσωπεύει επαρκώς το μεταξύ γενεών επίπεδο δικαιοσύνης 1% ή 2%, για παράδειγμα, (για την έκταση αυτής της περιόδου) το πρόγραμμα θα ήταν κερδοφόρο από περιβαλλοντική άποψη (υπό την εξεταζόμενη εδώ μεθοδολογική λογική), ενώ θα ήταν επίσης κοινωνικά κερδοφόρο εάν λαμβάναμε υπόψη την ελάχιστη αξία της κοινωνικής αποδοτικότητας που αντιπροσωπεύεται από ένα STPR 3%.

2.4.2.7 Συμπεράσματα

Επεκτείνοντας την ανάλυση CBA για να συμπεριλάβει τα μη απτά (μη εμπορεύσιμα) αποτελέσματα, ακόμη και εκείνα που εκτείνονται σε πολύ μακριές χρονικές περιόδους, άρα έχουν μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές επιδράσεις, απαιτείται μια επαναξιολόγηση των κλασσικών επιχειρημάτων στην αναγωγή σε παρούσα αξία. Προσπάθειες να δικαιολογηθούν τα σενάρια της πλήρους δικαιοσύνης μεταξύ γενεών στην ανάλυση CBA είναι δύσκολο να γίνουν. Δεν πρέπει να ξεχάσουμε ότι αυτό το εργαλείο είναι βασισμένο στην οικονομική θεωρία της ευημερίας (Economic Theory of Welfare), η οποία είναι βασισμένη στη συνέχεια στη θεωρία της χρησιμότητας (Theory of Utility), μια κατά γενική ομολογία ανθρωποκεντρική προσέγγιση.

Δηλαδή, η CBA επιλέγει, στην καλύτερη περίπτωση, τη μεταξύ γενεών ηθική, εκφράζοντας το τι η σημερινή γενιά είναι πρόθυμη να μεταφέρει προς τις μελλοντικές γενεές, αλλά πιθανότατα δεν θα βρούμε ποτέ έναν τρόπο να περιλάβουμε τις προτιμήσεις των μελλοντικών γενεών στις διατυπώσεις μας.

Η διαμάχη για το εάν πρέπει να ρυθμιστεί το κοινωνικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία για λόγους σχετιζόμενους με τη μεταξύ γενεών δικαιοσύνη προέρχεται

από τις διαφορετικές έννοιες της βιωσιμότητας. Αυτό είναι ο λόγος για τον οποίο οι διάφορες θέσεις είναι σχεδόν αδύνατον να συμφιλιωθούν, κατά συνέπεια το κατώτατο όριο είναι ότι η συζήτηση δεν εξετάζει τεχνικά αλλά μάλλον ηθικά ζητήματα.

Εάν, παρά τους προηγούμενους περιορισμούς, κάποιος θέλει ακόμα να χρησιμοποιήσει την CBA, ο συνυπολογισμός ενός ορισμένου επιπέδου δικαιοσύνης μεταξύ γενεών, ως ένα από τα κριτήρια αξιολόγησης ενός προγράμματος, συνεπάγεται την ανάγκη να χρησιμοποιηθούν τα χαμηλότερα επιτόκια αναγωγής σε παρούσα αξία. Επιπλέον, οι διαφορετικές λογικές που υιοθετούμε για τη διαχείριση των αγαθών με και χωρίς αγορά πρέπει να αντανακλώνται μέσω της χρήσης των διαφορετικών λογικών αναγωγής σε παρούσα αξία.

Για όλους αυτούς τους λόγους, προτείνουμε τη χρήση του κοινού κοινωνικού επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία για τα αγαθά αγοράς και ενός χαμηλότερου επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία (περιβαλλοντικό επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία) για τα μη εμπορεύσιμα αγαθά, που χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα στην ίδια άσκηση CBA.

Με το να ποσοτικοποιηθεί και να δηλωθεί σαφώς ο βαθμός της δικαιοσύνης μεταξύ γενεών ενός περιβαλλοντικού προγράμματος, οι προτεινόμενοι δείκτες της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας αποσπών περισσότερη διαφάνεια, βοηθείται στο συμβιβασμό της τεχνικής CBA με στόχο την βιωσιμότητα και μπορεί να είναι χρήσιμη στη δημόσια λήψη αποφάσεων.

Προφανώς, η πρότασή των Alamansa και Calatrava (2007) δεν υποστηρίζει ότι λύνει όλα τα προβλήματα με την εφαρμογή CBA ιδιαίτερα στα μη αναστρέψιμα προγράμματα και με μεγάλες μεταξύ γενεών επιδράσεις, οι οποίες πρέπει να μελετηθούν και να αποφασιστούν προηγουμένως βάσει των εξωτερικών κριτηρίων της ανάλυσης. Δεν είναι αυτό μια τελική πρόταση δεδομένου ότι υπάρχει αριθμός πτυχών που δεν εξετάστηκαν. Αλλά οι Alamansa και Calatrava (2007) υποστηρίζουν ότι, σε σύγκριση με τις διάφορες αναθεωρημένες εδώ διαθέσιμες επιλογές, αυτή η πρόταση, χωρίς την προσθήκη της πολυπλοκότητας των σύγχρονων μεθοδολογιών, αυξάνει την ορθολογιστική ικανότητα και συμβάλλει στο να συμβιβάσει τη βιωσιμότητα και την αναγωγή σε παρούσα αξία στην CBA.

2.5 Δείκτες Βιωσιμότητας από Πλευράς Πόρων

Για να διευκολυνθεί η αξιολόγηση της βιωσιμότητας χρησιμοποιούνται οι δείκτες ως παράμετροι για τη μέτρηση της βιωσιμότητας. Η προσοχή στρέφεται προς δείκτες σχετικούς με ενεργειακούς πόρους και δείκτες σχετικούς με την κατάσταση του περιβάλλοντος. Κάθε μια από αυτές τις οντότητες πρέπει να καθοριστεί με συγκεκριμένες παραμέτρους, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν τους χαρακτηριστικούς δείκτες για την αξιολόγηση αντίστοιχων οντοτήτων. Παρουσιάζονται στη συνέχεια χαρακτηριστικοί δείκτες όπως αυτοί αναφέρονται στο βιβλίο των Afgan και Carvalho (2000).

α) Δείκτης Δυνατής Μεταβολής

Ο Δείκτης Δυνατής Μεταβολής (Possible Change Indicator, PCI) χαρακτηρίζει τη μεταβολή σε σύγκριση με τη μέγιστη τεχνικά δυνατή μεταβολή. Εάν εφαρμοστεί σε έναν ενεργειακό πόρο, είναι η διαφορά μεταξύ αποθεμάτων δύο χρονικών στιγμών (τα οποία προσδιορίζονται με τη διαθέσιμη κάθε φορά τεχνολογία), την οποία μπορούμε να εκμεταλλευθούμε με τη διαθέσιμη τεχνολογία. Ως παράδειγμα, τα γνωστά αποθέματα άνθρακα το 1980 ήταν 2000 MTOE, ενώ το 1985 ήταν 2300

ΜΤΟΕ. Επομένως, η μέγιστη ποσότητα πόρου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς να μειωθεί το αρχικό απόθεμα, είναι 300 ΜΤΟΕ. Ο Δείκτης Δυνατής Μεταβολής ορίζεται ως το πηλίκο της ποσότητας αυτής προς τη μέση τιμή του αποθέματος κατά την περίοδο της μελέτης:

$$PCI = \frac{300}{(2000 + 2300)/2} = 0,1395 \quad (2.26)$$

Ο Δείκτης Δυνατής Μεταβολής είναι συνάρτηση της ανάπτυξης της τεχνολογίας στην ανακάλυψη των πηγών. Αυτό υποδηλώνει ότι υπάρχουν δύο μέσα για την αύξηση των διαθέσιμων πηγών: επί πλέον επένδυση για μια νέα ανακάλυψη και νέα τεχνολογία για την εξερεύνηση πηγών.

β) Δείκτης Τρέχουσας Μεταβολής

Ο Δείκτης Τρέχουσας Μεταβολής (Current Change Indicator, CCI) ορίζεται ως η μεταβολή της κατανάλωσης ενός πόρου στην χρονική περίοδο αναφοράς. Π.χ., την περίοδο 1980-1982, ο Δείκτης Τρέχουσας Μεταβολής για τον άνθρακα είναι 0,467. Είναι γνωστό ότι η τρέχουσα κατανάλωση των πηγών ενέργειας εξαρτάται έντονα από την αποτελεσματικότητα της ενεργειακής χρήσης. Η δυνατή μεταβολή στην αποτελεσματικότητα της χρήσης της ενέργειας περιλαμβάνει την αποτελεσματικότητα αρχικά της μετατροπής της ενεργειακής πηγής καθώς επίσης και της τελικής ενεργειακής χρήσης.

γ) Δείκτης Πόρου

Ο Δείκτης Πόρου (Resource Index, RI) ορίζεται από τη σχέση $RI = PCI \cdot CCI$. Κατ' ουσίαν είναι ένα μέτρο της εξάντλησης ενός πόρου. Επίσης, μπορεί να ερμηνευτεί ως η μεταβολή της σπανιότητας πόρου λόγω της εξάντλησης του. Στην περίπτωση του άνθρακα, είναι $RI = 0,0652$ είναι 0,065.

δ) Οικονομική Επίδραση της Χρήσης Πόρου (Financial Effect of Resource Use)

Ο δείκτης πόρου (RI) κατά κάποιον τρόπο αναπαριστά το ισοζύγιο μάζας του αντίστοιχου πρωτογενούς ενεργειακού πόρου. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ποιότητας της χρήσης της πρωτογενούς ενέργειας, πρέπει να συσχετισθεί με το οικονομικό αποτέλεσμα που προκύπτει από τη χρήση αυτή.

3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

3.1 Εισαγωγή

Από τότε που η έκθεση Brundtland έχει δημοσιευθεί (WCED, 1987), η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης (sustainable development, SD) έχει γίνει ένας κύριος στόχος των φορέων χάραξης πολιτικής και των ερευνητών. Πολλοί ορισμοί της βιωσιμότητας είναι βασισμένοι στη θεώρηση τριών θεμάτων ("triple bottom line"), που καλύπτει τις τρεις πτυχές, οι οποίες είναι περιβαλλοντική συμπεριφορά, κοινωνική υπευθυνότητα και οικονομική συμβολή [Krajnc και Glavič (2005)].

Σήμερα, πολλές επιχειρήσεις αναγνωρίζουν και ελέγχουν αυτές τις τρεις παράλληλες πτυχές χρησιμοποιώντας τους δείκτες βιωσιμότητας, οι οποίοι παρέχουν πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο η επιχείρηση συμβάλλει στη βιώσιμη ανάπτυξη [Azapagic και Perdan (2000)]. Οι δείκτες μεταφράζουν τα ζητήματα βιωσιμότητας σε ποσοτικά μέτρα που μπορούν να προσδιοριστούν, με απώτερο στόχο να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση θεμάτων βιωσιμότητας [Azapagic (2004)].

Η παρακολούθηση και ο έλεγχος της βιωσιμότητας έχει εξελιχθεί γρήγορα από μια φιλόδοξη έννοια σε μια ευρέως υιοθετημένη πρακτική. Μέχρι σήμερα, περισσότερες από 3000 εταιρικές περιβαλλοντικές, κοινωνικές ή σχετικές με τη βιωσιμότητα εκθέσεις έχουν δημοσιευθεί σε εθελοντική βάση (GRI, 2002a).

Οι εκθέσεις βιωσιμότητας προκύπτουν ως νέα τάση στην εταιρική παρακολούθηση και έλεγχο, ενσωματώνοντας την οικονομική, περιβαλλοντική, και κοινωνική απόδοση της επιχείρησης σε μια έκθεση.

Δεκάδες πλαίσια αξιολόγησης της βιωσιμότητας που εστιάζουν στην απόδοση των επιχειρήσεων έχουν ήδη προταθεί. Οι σημαντικές εξελίξεις στο ζήτημα της παρακολούθησης και ελέγχου της βιωσιμότητας ήταν η βάση του World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 1997), και του Global Reporting Initiative (GRI, 2002b) και η ανάπτυξη των μοντέλων για τα περιβαλλοντικά συστήματα διαχείρισης, όπως τα πρότυπα των ISO και EMAS (OECD, 2002). Μια από τις σημαντικές μελέτες για τους δείκτες βιωσιμότητας υποστηρίχτηκε από το κέντρο για τις τεχνολογίες μείωσης αποβλήτων (Center for Waste Reduction Technologies, CWRT) για την αξιολόγηση των εναλλακτικών διαδικασιών λύσεων. Το Ινστιτούτο Χημικών Μηχανικών (Institution of Chemical Engineers, IChemE, 2002) δημοσίευσε ένα σύνολο δεικτών βιωσιμότητας για να μετρήσει την βιωσιμότητα μέσα στη βιομηχανική διαδικασία. Οι Veleva και Ellenbecker (2001) διερεύνησαν δείκτες βιώσιμης παραγωγής και πρότειναν μια μεθοδολογία προσδιορισμού κύριων και συμπληρωματικών δεικτών για τη μέτρηση της προόδου των επιχειρήσεων προς τη βιώσιμη ανάπτυξη. Ο Azapagic (2004) ανέπτυξε ένα πλαίσιο για τους δείκτες της βιωσιμότητας για την αξιολόγηση της απόδοσης της μεταλλείας και της βιομηχανίας μεταλλευμάτων, η οποία είναι συμβατή με τους γενικούς δείκτες που προτείνονται από το GRI. Οι Krajnc και Glavič (2003) τους συγκέντρωσαν και ανέπτυξαν ένα τυποποιημένο σύνολο δεικτών βιωσιμότητας για επιχειρήσεις, που καλύπτουν όλες τις κύριες πτυχές της βιώσιμης ανάπτυξης. Για να

επιτρέψουν τις συγκρίσεις μεταξύ των επιχειρήσεων, χρησιμοποίησαν το ISO 31 (1993) σαν οδηγό για τους όρους που χρησιμοποιούνται για ονόματα και σύμβολα για (τις φυσικές) ποσότητες.

Τα προαναφερθέντα πλαίσια προτείνουν πολυάριθμους δείκτες βιωσιμότητας, οι οποίοι μετριοούνται γενικά σε πολύ διαφορετικές μονάδες. Ενώ είναι σημαντικό να αξιολογηθεί η βιωσιμότητα με διάφορους δείκτες, μπορεί μερικές φορές να είναι δύσκολο να ληφθούν οι επιχειρησιακές αποφάσεις και οι συγκρίσεις μεταξύ των επιχειρήσεων που βασίζονται σε έναν μεγάλο αριθμό μετρήσεων απόδοσης. Για τη βοήθεια των υπεύθυνων για τη λήψη αποφάσεων από αυτή την άποψη, μπορεί να είναι χρήσιμο να χρησιμοποιηθεί το κριτήριο βιώσιμης ανάπτυξης, που συνδέει πολλά ζητήματα βιωσιμότητας και έτσι μειώνει τον αριθμό κριτηρίων λήψης αποφάσεων που πρέπει να εξεταστούν.

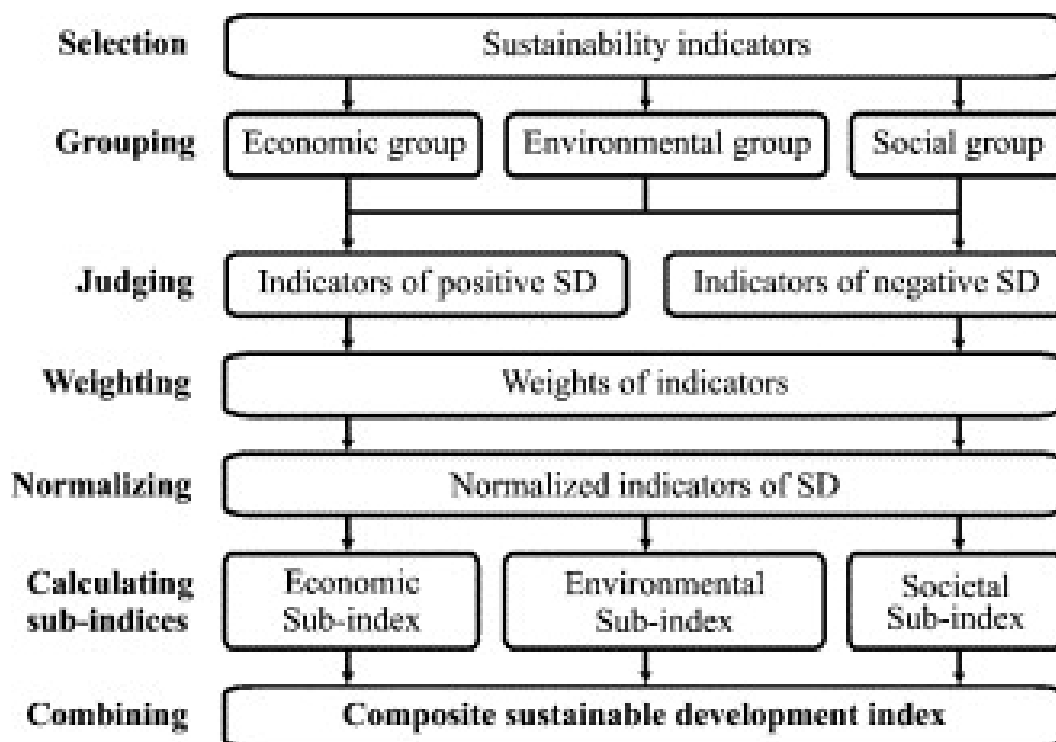
Εντούτοις, ένα σύνθετο πρόβλημα αποτελεί ακόμα η συνάθροιση των διαφορετικών δεικτών σε ένα κατάλληλα κατασκευασμένο κριτήριο βιώσιμης ανάπτυξης, το οποίο θα επέτρεπε τη γρήγορη και αποδοτική αξιολόγηση της βιωσιμότητας της επιχείρησης καθώς επίσης και της αξιολόγησης των επιχειρήσεων στο πλαίσιο ενός ιδιαίτερου τομέα. Τα τελευταία χρόνια, η διεθνής έρευνα έχει εστιασθεί στην ανάπτυξη των κριτηρίων βιώσιμης ανάπτυξης συνήθως για διεθνείς συγκρίσεις οικονομική, κοινωνική, περιβαλλοντική ή/και βιώσιμης προόδου των εθνών με ποσοτικό τρόπο [Krajnc και Glavič (2005)]. Παρά τα κριτήρια βιώσιμης ανάπτυξης που αναπτύσσονται, δεν υπάρχει ακόμα διαθέσιμη καμία χρήσιμη μέθοδος για την ενσωματωμένη αξιολόγηση της βιωσιμότητας στο επίπεδο επιχείρησης. Αν και η κοινή αρχή για να αθροίσει τους δείκτες για την αξιολόγηση της επιχείρησης έχει κερδίσει την αποδοχή, έχει γίνει επίσης εμφανές ότι οι μέθοδοι για τη συνάθροιση των δεικτών είτε δεν έχουν καθιερωθεί καλά ακόμα, είτε είναι υπό ανάπτυξη, είτε δεν είναι διαθέσιμοι λαμβάνοντας υπόψη όλες τις πτυχές της βιωσιμότητας (Statistics Finland, 2003).

Αυτή η μελέτη προτείνει ένα μαθηματικό μοντέλο για τον προσδιορισμό του κριτηρίου βιωσιμότητας που θα επιτρέψει τις συγκρίσεις των επιχειρήσεων στον συγκεκριμένο τομέα σχετικά με την απόδοση της βιωσιμότητας. Στο πρώτο μέρος της μελέτης, θα παρουσιαστεί η διαδικασία υπολογισμού του κριτηρίου βιώσιμης ανάπτυξης. Στο δεύτερο μέρος, θα παρουσιαστεί η δυνατότητα εφαρμογής του προτεινόμενου μοντέλου μέσω μιας περίπτωσης μελέτης. Στην προηγούμενη μελέτη των Krajnc και Glavič (2005), ο υπολογισμός και η ερμηνεία του κριτηρίου βιώσιμης ανάπτυξης διευκρινίστηκαν μόνο για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας μιας επιχείρησης. Η πρόθεση αυτής της μελέτης ήταν να εξετάσει εάν το εδώ προτεινόμενο μοντέλο είναι εφικτό και εφαρμόσιμο όχι μόνο για την αξιολόγηση μιας μεμονωμένης επιχείρησης αλλά και για την αξιολόγηση και τη σύγκριση δύο ή περισσότερων επιχειρήσεων.

3.2 Μαθηματικό Μοντέλο για τον Υπολογισμό του Κριτηρίου Βιώσιμης Ανάπτυξης

Το προτεινόμενο μοντέλο μειώνει τον αριθμό δεικτών με τη συνάθροισή τους σε ένα κριτήριο βιώσιμης ανάπτυξης (Composite Sustainable Development Index, I_{CSD}). Η βασική ιεραρχία της σύνθεσης των δεικτών στο I_{CSD} παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1.

Η διαδικασία υπολογισμού του I_{CSD} διαιρείται σε διάφορα μέρη: επιλογή, ομαδοποίηση, στάθμιση, κρίση, κανονικοποίηση των δεικτών, υπολογισμός των σύνθετων δεικτών και συνδυασμός τους, ώστε να προκύψει το I_{CSD} . Αυτά τα διαδικαστικά μέρη παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.1:



Σχήμα 3.1. Πορεία για τον υπολογισμό του κριτηρίου βιώσιμης ανάπτυξης [Krajnc, Glavič (2005)].

3.2.1 Επιλογή των δεικτών

Πρώτα, επιλέγονται οι κατάλληλοι δείκτες απόδοσης καλύπτοντας τις διάφορες πτυχές της βιωσιμότητας. Ο Azaragic (2003) συμβουλεύει ότι οι δείκτες πρέπει να είναι ποσοτικοί όποτε είναι δυνατόν, εντούτοις, για μερικές πτυχές της βιωσιμότητας, οι ποιοτικές περιγραφές μπορεί να είναι καταλληλότερες (π.χ. κοινωνικές πτυχές). Το πρώτο βήμα στην επιλογή είναι να γίνει κατανοητό ποιά στοιχεία της βιώσιμης ανάπτυξης πρέπει να εξεταστούν. Κάθε δείκτης που επιλέγεται πρέπει να παρακολουθείται περιοδικά και να είναι εφοδιασμένος με σύμβολο και μονάδα μέτρησης. Είναι επιθυμητό, οι όροι που χρησιμοποιούνται στα ονόματα και τα σύμβολα των δεικτών να ακολουθούν το ISO 31 (1993).

3.2.2 Ομαδοποίηση των επιλεγμένων δεικτών

Η ομαδοποίηση είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την επιλογή των δεικτών. Οι επιλεγμένοι δείκτες ομαδοποιούνται σύμφωνα με τις κύριες πτυχές της βιωσιμότητας (οικονομική, $j = 1$, περιβαλλοντική, $j = 2$, και κοινωνική, $j = 3$ ομάδα δεικτών). Αυτές οι ομάδες έχουν επιλεγεί, επειδή απεικονίζουν ευρύτητα αποδεκτή προσέγγιση στον καθορισμό της βιωσιμότητας (GRI, 2002b).

Η οικονομική ομάδα δεικτών αφορά στις επιδράσεις της επιχείρησης στην οικονομική ευημερία των μετόχων της και στα οικονομικά συστήματα σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο. Καλύπτουν όλες τις πτυχές οικονομικών αλληλεπιδράσεων, συμπεριλαμβανομένων των παραδοσιακών μέτρων που χρησιμοποιούνται στην οικονομική λογιστική (GRI, 2002b). Η περιβαλλοντική

ομάδα δεικτών καλύπτει τις επιδράσεις της επιχείρησης στα φυσικά συστήματα διαβίωσης και μη-διαβίωσης, συμπεριλαμβανομένων των οικοσυστημάτων, του εδάφους, του αέρα και του ύδατος. Η κοινωνική ομάδα δεικτών απεικονίζει τη στάση της επιχείρησης απέναντι στην αντιμετώπιση των υπαλλήλων της, των προμηθευτών της, των αναδόχων της και των πελατών της και επίσης τον αντίκτυπό της στην κοινωνία γενικά (ICChemE, 2002).

3.2.3 Κρίση των δεικτών

Για κάθε ομάδα j , εξετάζονται οι δείκτες i θετικής απόδοσης ($I_{A,ji}^+$) για την προοπτική της βιωσιμότητας (δηλ. δείκτες των οποίων η αυξανόμενη αξία ασκεί θετική επίδραση στη βιώσιμη ανάπτυξη). Οι δείκτες αρνητικής απόδοσης προς τη βιώσιμη ανάπτυξη ($I_{A,ji}^-$) καθορίζονται επίσης σε αυτή τη φάση. Παραδείγματος χάριν, η αυξανόμενη αξία των εκπομπών αερίων ανά μονάδα παραγωγής ασκεί σαφώς αρνητική επίδραση (ο δείκτης είναι τύπου "το λιγότερο είναι καλύτερο") ενώ το αυξανόμενο λειτουργικό κέρδος είναι μια αξία με ένα θετικό αντίκτυπο στην οικονομική επίδοση της επιχείρησης (ο δείκτης είναι τύπου "το περισσότερο είναι καλύτερο").

3.2.4 Στάθμιση των δεικτών

Για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας, υπάρχουν διάφοροι δείκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν την πρόοδο του συστήματος προς τη βιωσιμότητα. Η μεμονωμένη σημασία αυτών των δεικτών είναι πολύ δύσκολο να καθοριστεί με ικανοποιητική ακρίβεια [Afgan και Carvalho (2004)]. Για να καθορίσουν τα βάρη των δεικτών, οι εκτιμητές έρχονται αντιμέτωποι συχνά με μια έλλειψη στοιχείων. Επομένως, η τεχνική σύγκρισης ανά δύο χρησιμοποιείται στο επόμενο διαδικαστικό μέρος του υπολογισμού του ICSD, προκειμένου, ουσιαστικά, να εξαχθούν τα σχετικά βάρη κάθε δείκτη.

Η τεχνική σύγκρισης ανά δύο βασίζεται στη μέθοδο που αναπτύχθηκε από τον Saaty (1995) που λέγεται αναλυτική διαδικασία ιεραρχίας (Analytic Hierarchy Process, AHP). Οι Krajnc και Glavič (2005) περιέγραψαν τις διαδικαστικές λεπτομέρειες της AHP μαζί με μια εφαρμογή στην περίπτωση μελέτης αξιολόγησης της βιωσιμότητας. Παρακάτω, η μέθοδος εισάγεται εν συντομία μόνο για να δώσει έμφαση στη δυνατότητα εφαρμογής της και στην καταλληλότητά της στο πλαίσιο της αξιολόγησης της βιωσιμότητας.

Ας υποθέσουμε ότι οι N δείκτες της βιώσιμης ανάπτυξης εξετάζονται με στόχο την ποσοτικοποίηση του σχετικού βάρους κάθε δείκτη σε σχέση με όλους τους άλλους δείκτες της ομάδας j . Αυτό γίνεται με τις συγκρίσεις ανά δύο μεταξύ κάθε ζευγαριού των δεικτών. Οι συγκρίσεις γίνονται με την ερώτηση του ποιος εκ των δύο δεικτών i και k είναι σημαντικότερος όσον αφορά τη βιώσιμη ανάπτυξη της επιχείρησης.

Η ένταση της προτίμησης εκφράζεται με έναν παράγοντα με κλίμακα από 1 έως 9 [Hafeez (2002)]. Η τιμή 1 δείχνει την ισότητα μεταξύ των δύο δεικτών ενώ η προτίμηση 9 δείχνει ότι ένας δείκτης είναι 9 φορές σημαντικότερος αυτού με τον οποίο συγκρίνεται. Αυτή η κλίμακα επιλέγεται επειδή κατ' αυτό τον τρόπο οι συγκρίσεις γίνονται μέσα σε μια περιορισμένη σειρά, όπου η θεώρηση είναι αρκετά ευαίσθητη για να κάνει μια διάκριση.

Αυτές οι συγκρίσεις ανά δύο οδηγούν σε μια $(N \times N)$ θετική αντίστροφη μήτρα A , όπου $a_{ik} = 1$ για $i = k$ και $a_{ki} = (1/a_{ik})$, $i, k = 1, \dots, n$ υποθέτοντας: ότι εάν ο δείκτης i

είναι " p – φορές " σημαντικότερος του δείκτη k, τότε, αναγκαστικά, ο δείκτης k είναι " 1/p – φορές " σημαντικότερος του δείκτη i.

3.2.5 Κανονικοποίηση των δεικτών

Η κύρια δυσκολία στη συνάθροιση των δεικτών προς το I_{CSD} είναι το γεγονός ότι οι δείκτες μπορεί να εκφράζονται σε διαφορετικές μονάδες. Μια κατάλληλη διαδικασία κανονικοποίησης θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει τις Εξ. (3.1) και (3.2) [Krajnc και Glavič (2005)]:

$$I_{N,ijt}^+ = \frac{I_{A,ijt}^+ - I_{min,jt}^+}{I_{max,jt}^+ - I_{min,jt}^+} \quad (3.1)$$

$$I_{N,ijt}^- = 1 - \frac{I_{A,ijt}^- - I_{min,jt}^-}{I_{max,jt}^- - I_{min,jt}^-} \quad (3.2)$$

όπου ο $I_{N,ijt}^+$ είναι ο κανονικοποιημένος δείκτης i του τύπου "το περισσότερο είναι καλύτερο" για την ομάδα των δεικτών j για τον χρόνο (έτος) t, και $I_{N,ijt}^-$ είναι ο κανονικοποιημένος δείκτης i του τύπου "το λιγότερο είναι καλύτερο" για την ομάδα δεικτών j για τον ίδιο χρόνο (έτος) t.

Με αυτόν τον τρόπο, προσφέρεται η δυνατότητα συνδυασμού ποσοτήτων διαφορετικών ειδών που έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης (δηλ. φυσικές, οικονομικές, κ.λπ.). Ένα από τα πλεονεκτήματα της προτεινόμενης κανονικοποίησης των δεικτών είναι η σαφής συμβατότητα των διαφορετικών δεικτών, δεδομένου ότι όλοι οι δείκτες είναι κανονικοποιημένοι.

3.2.6 Υπολογισμός των σύνθετων δεικτών

Ο υπολογισμός του I_{CSD} είναι μια βαθμιαία διαδικασία ομαδοποίησης διαφόρων βασικών δεικτών στον σύνθετο δείκτη βιωσιμότητας ($I_{S,j}$) για κάθε ομάδα δεικτών βιωσιμότητας j. Οι σύνθετοι δείκτες μπορούν να παραχθούν όπως φαίνεται στη σχέση 3.3:

$$I_{S,jt} = \sum_{jit} W_{jt} \cdot I_{N,jit}^+ + \sum_{jit} W_{ji} \cdot I_{N,jit}^- \quad (3.3)$$

$$\sum_{ji} W_{ji} = 1, W_{ji} \geq 0$$

όπου $I_{S,jt}$ είναι ο σύνθετος δείκτης βιωσιμότητας για μια ομάδα δεικτών j τη στιγμή (έτος) t. Το W_{ji} είναι το βάρος του δείκτη i για την ομάδα δεικτών της βιωσιμότητας j και αντανακλά τη σημασία αυτού του δείκτη στην αξιολόγηση της βιωσιμότητας της επιχείρησης.

3.2.7 Συνδυασμός των σύνθετων δεικτών ώστε να προκύψει ο I_{CSD}

Τέλος, οι σύνθετοι δείκτες βιωσιμότητας συνδυάζονται στο κριτήριο βιώσιμης ανάπτυξης, I_{CSD} (σχέση 3.4):

$$I_{CSD,t} = \sum_{jt}^n W_j \cdot I_{S,jt} \quad (3.4)$$

όπου το W_j δείχνει τον συντελεστή βαρύτητας που δίνεται στην ομάδα j δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης. Αυτοί οι συντελεστές πρέπει να απεικονίσουν τις προτεραιότητες σύμφωνα με τη γνώμη των υπεύθυνων για τη λήψη αποφάσεων. Στον τελικό υπολογισμό του I_{CSD} , μπορούν να χρησιμοποιηθούν συντελεστές βαρύτητας κατ' εκτίμηση. Αυτοί οι συντελεστές βαρύτητας δείχνουν τη σημασία που δίνεται στην οικονομική, περιβαλλοντική και κοινωνική απόδοση της επιχείρησης.

3.3 Παράδειγμα Μελέτης Αξιολόγησης Επιχειρήσεων

Εξετάζοντας τη διαθεσιμότητα αξιόπιστων στοιχείων, έχουν επιλεγεί δύο επιχειρήσεις (Royal Dutch/Shell Group and BP) για να αξιολογηθεί και να συγκριθεί η απόδοσή τους [Krajnc και Glavič (2005)]. Για να επιτευχθεί βιωσιμότητα, το προτεινόμενο μοντέλο εφαρμόστηκε στις επιχειρήσεις που εξετάζουμε στην περίπτωση αυτή και το I_{CSD} με τους σύνθετους δείκτες βιωσιμότητας του υπολογίστηκε για το χρονικό διάστημα 2000-2003.

Η BP είναι μία από τις μεγαλύτερες επιχειρήσεις εκμετάλλευσης πετρελαίου και πετροχημικών, παρέχοντας στους πελάτες της τα καύσιμα για τη μεταφορά, την ενέργεια για τη θέρμανση και τις ελαφριές, λιανικές υπηρεσίες και τα προϊόντα πετροχημικών.

Ομοίως, οι επιχειρήσεις που ανήκουν στον όμιλο Royal Dutch/Shell Group συμμετέχουν στην εξόρυξη και την παραγωγή του φυσικού αερίου, του πετρελαίου, ηλεκτρικής ενέργειας, χημικών ουσιών και σε άλλους βιομηχανικούς τομείς. Είναι επίσης μια από τις κύριες επιχειρήσεις στην ενέργεια και τα πετροχημικά. Παραδίδουν ένα ευρύ φάσμα ενεργειακών λύσεων και πετροχημικών στους πελάτες. Αυτό περιλαμβάνει το πετρέλαιο μεταφορών και εμπορικών συναλλαγών και το φυσικό αέριο, αγορά φυσικού αερίου, την παραγωγή και πώληση καυσίμων για τα σκάφη και τα αεροπλάνα, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την παροχή των συμβουλών ενεργειακής αποδοτικότητας.

Τα αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στη μελέτη των [Krajnc και Glavič (2005)] έχουν ληφθεί από ετήσιες εκθέσεις βιωσιμότητας (BP, 2003 και Shell, 2003) οι οποίες έχουν προετοιμαστεί σύμφωνα με την Global Reporting Initiative, GRI, 2002b. Περιλαμβάνουν έναν δείκτη GRI Content Index, δηλ. έναν πίνακα που προσδιορίζει τη θέση των διευκρινισμένων πληροφοριών, για να επιτρέψει στους χρήστες να καταλάβουν σαφώς τον βαθμό, στον οποίο ο οργανισμός που εξετάζεται έχει καλύψει το περιεχόμενο των οδηγιών GRI.

Η επιλογή των επιχειρήσεων που εξετάζονται σε αυτή την περίπτωση βασίστηκε επίσης στην ποιότητα των εκθέσεων βιωσιμότητας τους. Το 2004, προωθήθηκε το πρώτο σφαιρικό κριτήριο βιώσιμης ανάπτυξης, η "Accountability Rating®", (AccountAbility, 2004), για να αξιολογήσει πόσο καλά οι 100 μεγαλύτερες παγκόσμιες επιχειρήσεις υπολογίζουν τις επιδράσεις τους στην κοινωνία και το περιβάλλον. Σε αυτήν την έρευνα, η BP εκτιμήθηκε ως πιο υπεύθυνη επιχείρηση που μετρά τις επιδράσεις στην κοινωνία και το περιβάλλον. Η Royal Dutch/Shell Group

ταξινομείται επίσης κυρίως στον κατάλογο (μεταξύ των κορυφαίων 10) επιδεικνύοντας τη δέσμευσή της για τις εταιρικές πρακτικές υπευθυνότητας.

Οι επιχειρήσεις που επιλέχθηκαν, αξιολογήθηκαν και συγκρίθηκαν ως προς τη βιωσιμότητα χρησιμοποιώντας τους οικονομικούς, τους περιβαλλοντικούς και τους κοινωνικούς σύνθετους δείκτες, οι οποίοι αποτελούνταν από διάφορους μεμονωμένους δείκτες. Ο στόχος ήταν να καθοριστεί ποιά επιχείρηση είχε την καλύτερη απόδοση στα επιλεγμένα έτη 2000-2003 από την άποψη της βιωσιμότητας.

3.3.1 Υπολογισμός του κριτηρίου βιώσιμης ανάπτυξης των επιχειρήσεων της μελέτης

Στη μελέτη των Krajnc και Glavič (2005), έχει επιλεγεί ένα σύνολο δεικτών βιωσιμότητας. Οι Πίνακες 3.1 - 3.3 παρουσιάζουν καταλόγους δεικτών απόδοσης των επιχειρήσεων. Η χρονική συχνότητα της παρακολούθησής τους και του υπολογισμού ήταν το ημερολογιακό έτος. Κάθε δείκτης εφοδιάστηκε με το σύμβολο και τη μονάδα μέτρησής του. Το ISO 31 χρησιμοποιήθηκε ως οδηγός για τους όρους που χρησιμοποιήθηκαν στα ονόματα και τα σύμβολα για (τις φυσικές) ποσότητες (ISO, 1993).

Πίνακας 3.1 Οικονομικοί δείκτες των εταιριών BP και Royal Dutch/Shell Group από το 2000 έως το 2003 (Για λόγους ακρίβειας, οι όροι αυτοί δεν μεταφράστηκαν στα ελληνικά).

Δείκτης	Σύμβολο	Μονάδα	Royal Dutch/Shell Group				BP			
			2000	2001	2002	2003	2000	2001	2002	2003
Massic ^a cash flow after taxation	C _A	USD/t	71	55	49	64	63	39	39	58
Fraction of R&D expenditure in gross profit	f _{R&D}	%	1,3	1,4	1,7	1,7	1,7	1,5	1,7	1,2
Massic ^a exploration cost	c _{expl}	USD/t	4,59	4,88	5,44	7,59	3,71	2,82	3,68	3,02
Environmental and safety fines and penalties cost	c _{env, fines}	MUSD	3	1	1	17	7	12	28	7

^a Εκφρασμένα αντίστοιχα στη μονάδα παραγωγής (μάζα ισοδύναμου πετρελαίου).

Πίνακας 3.2 Περιβαλλοντικοί δείκτες των εν λόγω εταιριών από το 2000 έως το 2003.

Δείκτης	Σύμβολο	Μονάδα	Royal Dutch/Shell Group				BP			
			2000	2001	2002	2003	2000	2001	2002	2003
Mass flow rate of oil products total production ^a	q_{prod}	kt/d	499,05	511,05	540,25	532,74	442,02	466,44	480,08	491,95
Mass ratio of CO ₂ emissions to UP ^b	ζ_{CO_2}	kg/t	505,07	509,29	507,13	545,12	474,78	431,13	437,71	437,17
Mass ratio of CH ₄ emissions to UP	ζ_{CH_4}	kg/t	2,18	1,69	1,22	1,20	2,05	2,00	1,54	1,34
Mass ratio of SO ₂ emissions to UP	ζ_{SO_2}	kg/t	1,52	1,47	1,37	1,50	1,45	1,32	0,97	0,84
Mass ratio of NO _x emissions to UP	ζ_{NO_x}	kg/t	1,11	1,14	1,08	1,13	1,50	1,56	1,38	1,23
Mass ratio of hazardous waste to UP	$\zeta_{\text{wst, hazard}}$	kg/t	2,20	2,39	2,56	2,85	1,00	1,42	1,72	1,33
Mass ratio of spills to UP	ζ_{spills}	kg/t	0,05	0,10	0,04	0,03	0,05	0,02	0,02	0,02

^a Εκφρασμένα σε μάζα ισοδύναμου πετρελαίου.

^b UP = μονάδα παραγωγής (εκφρασμένα σε μάζα ισοδύναμου πετρελαίου).

Πίνακας 3.3 Κοινωνικοί δείκτες των εν λόγω εταιριών από το 2000 έως το 2003.

Δείκτης	Σύμβολο	Μονάδα	Royal Dutch/Shell Group				BP			
			2000	2001	2002	2003	2000	2001	2002	2003
Number of employees	N_{employ}	1000	90	91	116	119	107	110	115	104
Fraction of societal and community investment in gross profit	$f_{\text{soc and com}}$	%	0,28	0,32	0,34	0,30	0,32	0,37	0,39	0,25
Number fraction of fatalities per employee	$X_{\text{fatalities}}$	%	5,56	3,30	6,90	4,20	9,33	4,54	2,60	4,82
Fatality Accident Rate for employees and contractors ^a	R_{ac}	1/Mh	8,20	5,20	6,30	5,40	5,00	3,20	2,50	3,80
Recordable Injury Frequency (RIF) for employees and contractors ^b	V_{injury}	1/Mh	3,20	2,90	2,60	2,30	6,30	4,75	3,85	3,05

^a Number of fatalities per million hours (Mh) worked.

^b Number of injuries per million hours (Mh) worked.

Πίνακας 3.4 Χαρακτηρισμός των δεικτών σύμφωνα με την ένδειξη θετικής ή αρνητικής απόδοσης των επιχειρήσεων.

Είδος δεικτών βιωσιμότητας	Δείκτες θετικής απόδοσης, $I_{N,ijt}^+$	Δείκτες αρνητικής απόδοσης, $I_{N,ijt}^-$
Οικονομικοί	$C_A, f_{R\&D}$	$C_{\text{expl}}, C_{\text{env.fines}}$
Περιβαλλοντικοί	/	$\zeta_{\text{CO}_2}, \zeta_{\text{CH}_4}, \zeta_{\text{SO}_2}, \zeta_{\text{NO}_x}, \zeta_{\text{wst, hazard}}, \zeta_{\text{spills}}$
Κοινωνικοί	$f_{\text{soc and com}}$	$X_{\text{fatalities}}, R_{\text{ac}}, V_{\text{injury}}$

Οι δείκτες βιωσιμότητας έχουν ομαδοποιηθεί στο πλαίσιο τριών τμημάτων καλύπτοντας οικονομικές (4 δείκτες), περιβαλλοντικές (6 δείκτες), και κοινωνικές (4 δείκτες) διαστάσεις της βιωσιμότητας. Αυτή η ομαδοποίηση βασίστηκε στο συμβατικό πρότυπο της βιώσιμης ανάπτυξης (GRI, 2002b).

Στο στάδιο κρίσης, οι δείκτες της θετικής/αρνητικής απόδοσης με την προοπτική της βιωσιμότητας (δηλ. δείκτες των οποίων αυξανόμενη αξία έχει ένα θετικό/αρνητικό αντίκτυπο στη βιώσιμη ανάπτυξη των συγκεκριμένων επιχειρήσεων) έχουν εξεταστεί για κάθε ομάδα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.4.

Για να καθοριστούν τα βάρη (σημαντικότητα) των επιλεγμένων δεικτών, έχουν εκτελεστεί οι συγκρίσεις των δεικτών ανά δύο, σύμφωνα με τον αντίκτυπό τους στη γενική αξιολόγηση της βιωσιμότητας των επιχειρήσεων. Μια ομάδα 7

εμπειρογνομόνων οργανώθηκε για να χρησιμεύσει ως η ομάδα αξιολόγησης, προκειμένου να καθοριστούν τα σχετικά βάρη των δεικτών. Κάθε μέλος της ομάδας κλήθηκε να υπολογίσει έναν παράγοντα προτίμησης του κάθε δείκτη σχετικά με έναν άλλο δείκτη ακολουθώντας την κλίμακα από 1 έως 9. Η αξία 1 έδειχνε ισότητα μεταξύ των δύο δεικτών ενώ παραδείγματος χάριν μια προτίμηση 7 έδειχνε ότι ένας δείκτης είναι κατά 7 φορές σημαντικότερος εκείνου με τον οποίο συγκρίνεται.

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αξιολόγησης συνοψίζονται στον Πίνακα 3.5. Με βάση αυτήν την σύγκριση ανά δύο, έχουν υπολογιστεί μέσοι παράγοντες προτίμησης. Τελικά τα σχετικά βάρη των δεικτών σε κάθε ομάδα έχουν εκτιμηθεί ακολουθώντας το μοντέλο του AHP. Τα υπολογισθέντα βάρη φαίνονται στον πίνακα 3.6 για την οικονομική ομάδα, στον πίνακα 3.7 για την περιβαλλοντική ομάδα και στον πίνακα 3.8 για την κοινωνική ομάδα των δεικτών.

Πίνακας 3.5 Εκτίμηση των προτιμήσεων για τους δείκτες βιωσιμότητας των εταιριών.

Δείκτης	Δείκτης Σύγκρισης	Παράγοντες προτίμησης που αξιολογούνται από τους συμμετέχοντες							Μέσος παράγοντας	Τυπική Απόκλιση των Συντελεστών
		1	2	3	4	5	6	7		
Οικονομικοί Δείκτες										
$f_{R\&D}$	C_A	9	3	3	9	7	7	1/9	5	3,43
C_{expl}	C_A	5	1/3	1/7	7	7	9	1/9	4	3,82
$C_{env. fines}$	C_A	1/3	1	1/3	1/7	1	3	2	1	1,04
C_{expl}	$f_{R\&D}$	1	1	1/5	7	1	5	1/7	2	2,69
$C_{env. fines}$	$f_{R\&D}$	1/5	1/4	1	1/5	1/5	1	5	1	1,75
$C_{env. fines}$	C_{expl}	1/7	1/2	1	5	1/5	1/3	1/3	1	1,76
Περιβαλλοντικοί Δείκτες										
ζ_{CH4}	ζ_{CO2}	1/3	1/4	2	1/7	1/5	3	1	1	1,11
ζ_{SO2}	ζ_{CO2}	3	3	2	7	1/5	3	3	3	2,03
ζ_{NOx}	ζ_{CO2}	3	1/3	2	1/7	1/3	3	1	1	1,26
$\zeta_{wst, hazard}$	ζ_{CO2}	1	8	5	7	1	5	1	4	3,00
ζ_{spills}	ζ_{CO2}	1	5	7	7	7	7	3	5	2,43
ζ_{SO2}	ζ_{CH4}	1	4	1	7	1	3	2	3	2,21
ζ_{NOx}	ζ_{CH4}	1	3	1	7	1	3	4	3	2,19
$\zeta_{wst, hazard}$	ζ_{CH4}	3	9	3	7	5	5	5	5	2,14
ζ_{spills}	ζ_{CH4}	3	5	2	7	7	7	1/9	4	2,79

Δείκτης	Δείκτης Σύγκρισης	Παράγοντες προτίμησης που αξιολογούνται από τους συμμετέχοντες							Μέσος παράγοντας	Τυπική Απόκλιση των Συντελεστών
		1	2	3	4	5	6	7		
ζ_{NOx}	ζ_{SO2}	1/3	4	1	1/7	1	3	2	2	1,43
$\zeta_{wst, hazard}$	ζ_{SO2}	1	7	2	7	3	5	4	4	2,34
ζ_{spills}	ζ_{SO2}	1	3	3	7	7	7	3	4	2,51
$\zeta_{wst, hazard}$	ζ_{NOx}	3	4	5	7	3	5	4	4	1,40
ζ_{spills}	ζ_{NOx}	3	4	5	7	7	7	5	5	1,62
ζ_{spills}	$\zeta_{wst, hazard}$	1	1	3	7	5	3	5	4	2,23
Κοινωνικοί Δείκτες										
$X_{fatalities}$	$f_{soc and com}$	9	5	3	7	5	1	9	6	2,99
R_{ac}	$f_{soc and com}$	9	5	1/3	7	2	1	1/7	3	3,53
V_{injury}	$f_{soc and com}$	9	5	1/3	7	2	1	1/7	3	3,53
R_{ac}	$X_{fatalities}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0,00
V_{injury}	$X_{fatalities}$	5	1/5	5	1/7	1/3	1	6	3	2,66
V_{injury}	R_{ac}	5	1/5	5	1/7	1/3	1	6	3	2,66

Πίνακας 3.8 Κανονικοποιημένες τιμές των κοινωνικών δεικτών των εταιριών.

I	Δείκτης	Σύμβολο	Βάρος, W_{3i}	Royal Dutch/Shell Group				BP			
				2000	2001	2002	2003	2000	2001	2002	2003
1	Fraction of societal and community investment in gross profit	$f_{\text{soc and com}}$	0,0692	0,16	0,45	0,59	0,33	0,51	0,85	1,00	0,00
2	Number fraction of fatalities per employee	$X_{\text{fatalities}}$	0,2744	0,56	0,90	0,36	0,76	0,00	0,71	1,00	0,67
3	Fatality Accident Rate for employees and contractors	R_{ac}	0,2410	0,00	0,53	0,33	0,49	0,56	0,88	1,00	0,77
4	Recordable Injury Frequency (RIF) for employees and contractors	V_{injury}	0,4154	0,78	0,85	0,93	1,00	0,00	0,39	0,61	0,81
		Σύνολο	1,000								

Από τις σχετικές τιμές των βαρών, είναι σαφές ότι μερικοί δείκτες είναι εκτιμημένοι πολύ χαμηλότεροι από άλλους. Στην οικονομική ομάδα δεικτών, ένας δείκτης του κόστους εξόρυξης βρέθηκε να είναι ο σημαντικότερος, ενώ ο δείκτης των ταμειακών ροών μετά από τη φορολογία ήταν ο ελάχιστος προτιμημένος (Πίνακας 3.6). Στην περιβαλλοντική ομάδα (Πίνακας 3.7) η υψηλότερη σημασία έχει δοθεί στον δείκτη των διαρροών, που ακολουθείται από τους δείκτες των επιβλαβών αποβλήτων, των εκπομπών SO_2 και των εκπομπών NO_x . Τα χαμηλότερα βάρη έχουν υπολογιστεί για τους δείκτες των εκπομπών CH_4 και του CO_2 . Στην κοινωνική ομάδα, η υψηλότερη σημασία δόθηκε στον δείκτη της συχνότητας καταγεγραμμένων τραυματισμών για τους υπαλλήλους και τους αναδόχους, ενώ ο δείκτης του μέρους της κοινωνικής και κοινοτικής επένδυσης έτυχε του χαμηλότερου βάρους (Πίνακας 3.8).

Η προσέγγιση σύγκρισης ανά δύο προσφέρει τη μέγιστη διορατικότητα, ιδιαίτερα από την άποψη της αξιολόγησης της συνέπειας της κρίσης των εμπειρογνομώνων. Σε αυτό το πλαίσιο, αυτή η τεχνική είναι ιδανική για τον καθορισμό ενός συνόλου δεικτών βιωσιμότητας (π.χ. αποφασίζοντας ποιοι δείκτες μπορούν να αποκλειστούν από το σύνολο).

Η μεταβολή της τυπικής απόκλισης απεικονίζει το φάσμα των εκτιμήσεων των εμπειρογνομώνων όσον αφορά στη σημασία των δεικτών. Μια μηδενική τυπική απόκλιση υπονοεί την πλήρη συμφωνία μεταξύ των εμπειρογνομώνων. Όσο υψηλότερη είναι η τυπική απόκλιση, τόσο περισσότερο διαφέρουν οι απόψεις των εμπειρογνομώνων. Οι κρίσεις για τη σημαντικότητα των δεικτών είναι αρκετά ευμετάβλητες, όπως παρουσιάζονται από τις υψηλές τιμές της τυπικής απόκλισης. Η υψηλή τυπική απόκλιση υπονοεί την έλλειψη συναίνεσης μεταξύ των εκτιμητών. Εντούτοις, το AHP παρέχει ένα μέτρο αποκαλούμενο λόγος συνέπειας (Consistency Ratio, R_c) για να ελέγξει τη συνέπεια των κρίσεων. Σε αυτήν την περίπτωση που μελετάται, ένα λόγος συνέπειας 0,1 θεωρήθηκε ως αποδεκτό ανώτερο όριο. Ο λόγος

συνέπειας δεν έχει υπερβεί το ανώτερο όριο σε οποιαδήποτε ομάδα δεικτών. Εάν η αναλογία συνέπειας ήταν μεγαλύτερη από 0,1, θα ήταν απαραίτητο να επαναξιολογηθούν οι κρίσεις ανά δύο στη μήτρα σύγκρισης, έως ότου η αναλογία γίνει μικρότερη από 0,1.

Οι εκθέσεις βιωσιμότητας των επιχειρήσεων που μελετάμε δεν μετρούν όλους τους δείκτες βιωσιμότητας χρησιμοποιώντας κοινές μονάδες και οι απόλυτες τιμές τους είναι πολύ διαφορετικές. Για αυτόν τον λόγο, το επόμενο βήμα της αξιολόγησης της βιωσιμότητας συμπεριέλαβε την κανονικοποίηση των δεικτών χρησιμοποιώντας τις Εξ. (3.1) και (3.2). Με αυτόν τον τρόπο, οι δείκτες έγιναν αδιάστατοι και περιορίστηκαν μεταξύ των τιμών 0 και 1. Κανονικοποιημένα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.6 - 3.8 για την οικονομική, την περιβαλλοντική και την κοινωνική ομάδα δεικτών, αντίστοιχα.

Για να υπολογίσουμε τους σύνθετους δείκτες της βιωσιμότητας το χρόνο t (t (έτη) = 2000, ..., 2003) για την οικονομική, την περιβαλλοντική και την κοινωνική ομάδα δεικτών, η κανονικοποιημένη τιμή κάθε δείκτη πολλαπλασιάστηκε με το υπολογισμένο βάρος του χρησιμοποιώντας την Εξ. (3.3).

Το τελευταίο βήμα του μοντέλου αντιπροσωπεύει τον συνδυασμό των παραγόμενων σύνθετων δεικτών βιωσιμότητας $I_{S, 1t}$, $I_{S, 2t}$, $I_{S, 3t}$, για να προκύψει το κριτήριο βιώσιμης ανάπτυξης (I_{CSD}) για κάθε στιγμή t (έτος) χρησιμοποιώντας την Εξ. (3.4). Στον τελικό υπολογισμό του I_{CSD} , κάθε σύνθετος δείκτης βιωσιμότητας έχει πολλαπλασιαστεί με το βάρος του, το οποίο απεικόνισε τη σημασία που δόθηκε στην οικονομική, περιβαλλοντική, και κοινωνική ομάδα δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης της περίπτωσης που εξετάζουμε.

Τα βάρη που αποδίδονται σε κάθε σύνθετο δείκτη είναι επίσης υπολογισμένα εμπλέκοντας την κρίση των ειδικών (7 εμπειρογνομόνων) που χρησιμοποίησαν τη σύγκριση ανά δύο των σύνθετων δεικτών AHP. Τα αποτελέσματα στον Πίνακα 3.9 δείχνουν την υψηλότερη σημασία του περιβαλλοντικού σύνθετου δείκτη που ακολουθείται από τον οικονομικό και τον κοινωνικό σύνθετο δείκτη. Το αποτέλεσμα είναι συγκρίσιμο παραδείγματος χάριν με μια έρευνα του Tiwari (1999), όπου κριτήρια περιβαλλοντικής βιωσιμότητας του γεωργικού συστήματος έτυχαν υψηλότερης σημασίας όταν συγκρίθηκαν με τα οικονομικής βιωσιμότητας.

Πίνακας 3.9 Πίνακας σύγκρισης ανά δύο για την εκτίμηση των εκτιμημένων βαρών των σύνθετων δεικτών βιωσιμότητας.

Σύνθετος δείκτης	I_{ECN}	I_{ENV}	I_{SOC}	
Οικονομικός Σύνθετος δείκτης, I_{ECN}	1	1/2	2	
Περιβαλλοντικός Σύνθετος δείκτης, I_{ENV}	2	1	1	
Κοινωνικός Σύνθετος δείκτης, I_{SOC}	1/2	1	1	
Άθροισμα	3,50	2,50	4,00	Βαρύτητα
Οικονομικός Σύνθετος δείκτης, I_{ECN}	0,286	0,200	0,500	0,329
Περιβαλλοντικός Σύνθετος δείκτης, I_{ENV}	0,571	0,400	0,250	0,407
Κοινωνικός Σύνθετος δείκτης, I_{SOC}	0,143	0,400	0,250	0,264

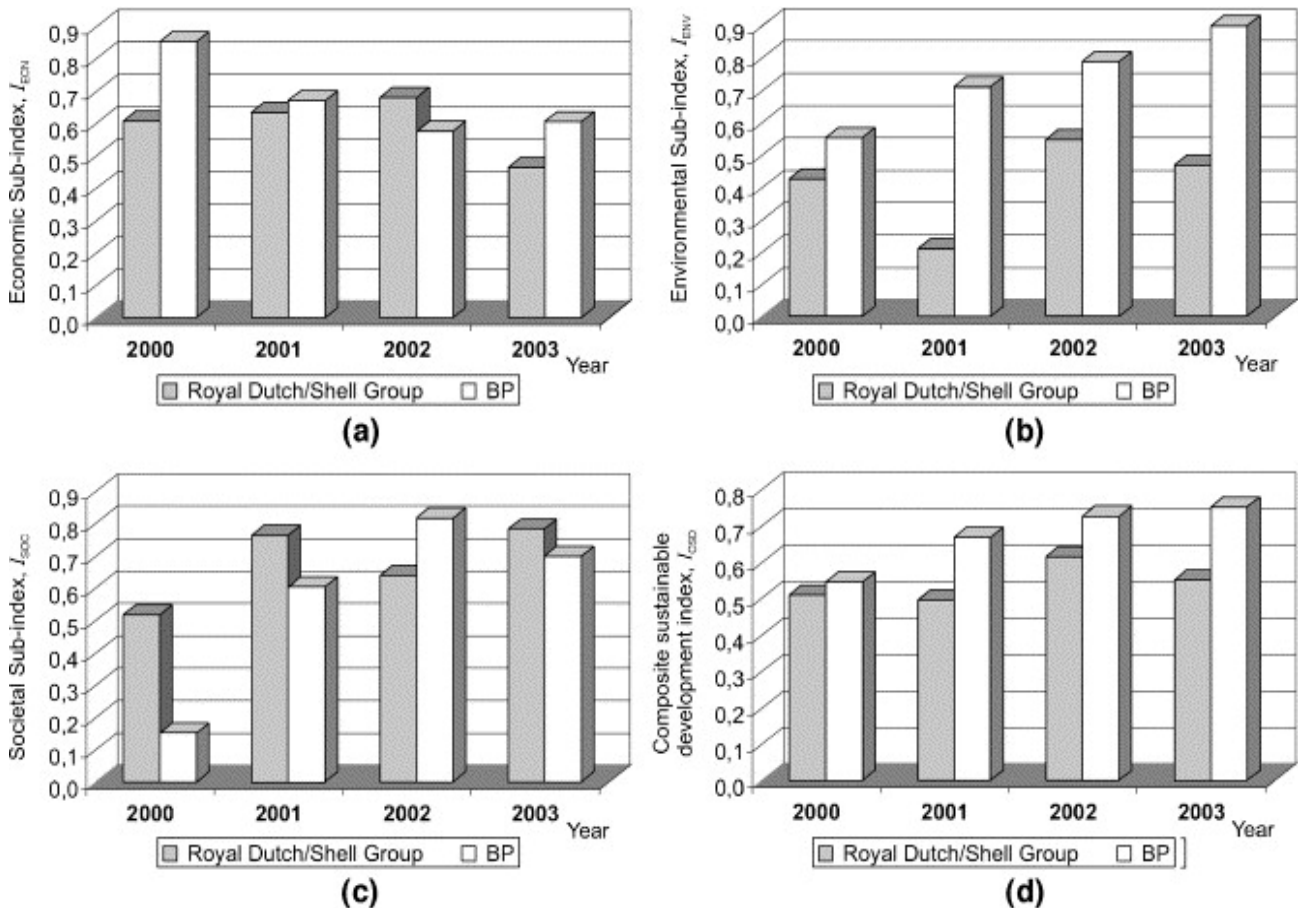
3.3.2 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Τέσσερις οικονομικοί, έξι περιβαλλοντικοί και τέσσερις κοινωνικοί δείκτες συναθροίστηκαν στους σύνθετους δείκτες της βιωσιμότητας για τις επιχειρήσεις της περίπτωσης που μελετάται και τελικά αθροίστηκαν στον I_{CSD} όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.10. Η μεταβολή των σύνθετων δεικτών βιωσιμότητας και του I_{CSD} για τις εν λόγω επιχειρήσεις πέρα από ένα χρονικό διάστημα των ετών 2000-2003 παρουσιάζεται γραφικά στο Σχήμα 3.2.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής επιτρέπουν την εύκολη ερμηνεία της βιώσιμης ανάπτυξης για τις υπό μελέτη επιχειρήσεις. Το I_{CSD} δείχνει την πρόοδο της επιχείρησης προς την βιωσιμότητα. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του I_{CSD} τόσο μεγαλύτερη είναι η βελτίωση της επιχείρησης προς τη βιωσιμότητα. Το ίδιο πράγμα ισχύει για τους σύνθετους δείκτες βιωσιμότητας. Για οποιοδήποτε δεδομένο έτος, το I_{CSD} και οι σύνθετοι δείκτες αποκαλύπτουν την απόδοση της επιχείρησης σε εκείνο το έτος έναντι των άλλων ετών και των επιχειρήσεων, αντίστοιχα. Το σχετικά υψηλό αποτέλεσμα I_{CSD} μπορεί επίσης να ερμηνευθεί ως μέτρο της σχετικής πιθανότητας ότι μια επιχείρηση θα είναι σε θέση να επιτύχει και να στηρίξει τους ευνοϊκούς βιώσιμους όρους για αρκετά έτη στο μέλλον.

Πίνακας 3.10 Ο I_{CSD} και οι σύνθετοι δείκτες βιωσιμότητας για την οικονομική (I_{ECN}), την περιβαλλοντική (I_{ENV}), και την κοινωνική (I_{SOC}) ομάδα δεικτών.

Κριτήριο βιώσιμης ανάπτυξης	Royal Dutch/Shell Group				BP			
	2000	2001	2002	2003	2000	2001	2002	2003
I _{ECN}	0,609	0,637	0,683	0,467	0,856	0,673	0,579	0,607
I _{ENV}	0,427	0,211	0,547	0,470	0,554	0,712	0,790	0,904
I _{SOC}	0,518	0,765	0,640	0,784	0,152	0,604	0,818	0,700
I _{CSD}	0,511	0,497	0,616	0,552	0,547	0,671	0,728	0,753



Σχήμα 3.2 Η μεταβολή των σύνθετων δεικτών βιωσιμότητας και του I_{CSD} των εν λόγω εταιριών το χρονικό διάστημα 2000–2003: (a) οικονομικός σύνθετος δείκτης, (b) περιβαλλοντικός σύνθετος δείκτης, (c) κοινωνικός σύνθετος δείκτης και (d) κριτήριο βιώσιμης ανάπτυξης.

Μέσω των σύνθετων δεικτών που υπολογίζονται, η οικονομική και χρηματική ανάπτυξη, καθώς επίσης και η περιβαλλοντική και κοινωνική απόδοση, οι συγκεκριμένες επιχειρήσεις έχουν αξιολογηθεί στη μελέτη των Krajnc, Glavič (2005). Μέσα σε κάθε σύνθετο δείκτη, οι ευρείες παραλλαγές στην απόδοση των συγκεκριμένων επιχειρήσεων είναι εμφανείς στην περίοδο 2000-2003. Ο οικονομικός σύνθετος δείκτης της BP έχει μειωθεί στην περίοδο 2000-2002 σε αντίθεση με τον σύνθετο δείκτη της Royal Dutch/Shell Group (Σχήμα 3.2α). Εντούτοις, το 2003 η BP βελτίωσε ελαφρώς την απόδοσή της και σημείωσε υψηλότερο οικονομικό σύνθετο δείκτη από την ανταγωνιστική επιχείρηση. Εδώ, πρέπει να επισημανθεί ότι η οικονομική ανάπτυξη έχει επηρεάσει, αλλά όχι καθορίσει τα αποτελέσματα για το I_{CSD} . Αυτό είναι πολύ σημαντικό, αφού σήμερα έχει δοθεί μεγάλη έμφαση στην οικονομική αξιολόγηση και λιγότερη στην κοινωνική και περιβαλλοντική. Η περιβαλλοντική απόδοση της BP έχει αυξηθεί σημαντικά από το 2000, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2β. Κατά συνέπεια, έχει ξεπεράσει τη Royal Dutch/Shell Group στην περιβαλλοντική απόδοση το 2003 κατά 92 %. Εντούτοις, στην κοινωνική απόδοση, η Royal Dutch/Shell Group σημείωσε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με τη BP σε ολόκληρο το χρονικό διάστημα με την εξαίρεση του 2002 (Σχήμα 3.2γ).

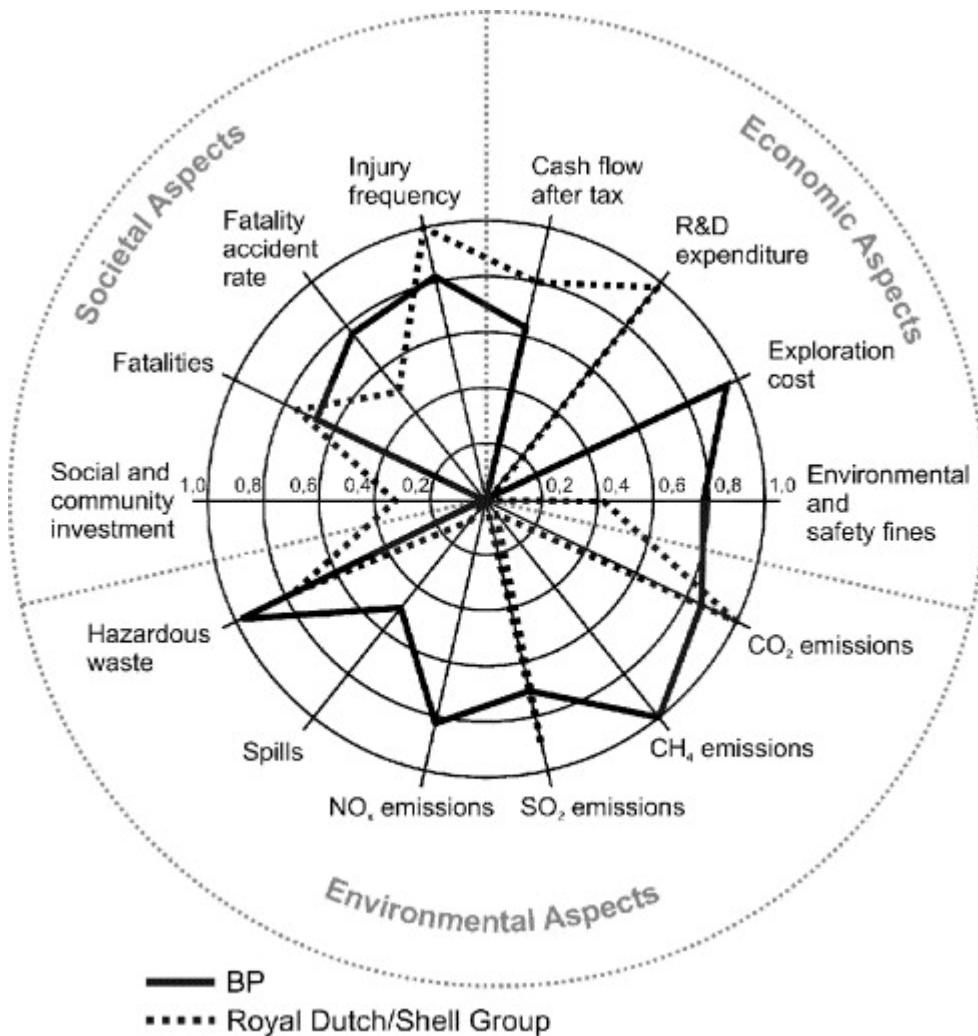
Ακολουθώντας το I_{CSD} των επιχειρήσεων που μελετώνται για το χρονικό διάστημα 2000-2003, δείχνει πώς η επιχείρηση προοδεύει κατά τη διάρκεια του χρόνου σε

σύγκριση με τις άλλες επιχειρήσεις που αξιολογούνται. Εάν το κριτήριο βιώσιμης ανάπτυξης είναι υψηλότερο στο έτος $N + 1$ από ό,τι ήταν στο έτος N , η απόδοση της επιχείρησης έχει βελτιωθεί κατά τη διάρκεια εκείνης της περιόδου. Με τέτοιο τρόπο, οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων μπορούν να καταλάβουν καλύτερα τη θέση των επιχειρήσεών τους όσον αφορά στη βιωσιμότητα.

Είναι εμφανές από τα αποτελέσματα της μελέτης ότι το I_{CSD} διαφέρει για τις επιχειρήσεις που αξιολογούνται στο επιλεγμένο χρονικό διάστημα. Συγκρίνοντας την Royal Dutch/Shell Group και τη BP, το I_{CSD} αποκαλύπτει καλύτερα αποτελέσματα για τη BP. Μπορεί να φανεί ότι το I_{CSD} για τη Royal Dutch/Shell Group είναι συγκριτικά χαμηλότερο απ' ό,τι για τη BP για όλη τη χρονική περίοδο που μετρείται (σχήμα 3.2δ). Το 2003, το I_{CSD} της BP είναι υψηλότερο κατά 36%. Αυτό ταιριάζει με τις μετρήσεις του κριτηρίου βιωσιμότητας Dow Jones που αναγνώρισε τη BP ως ηγέτη βιωσιμότητας μέσα στη βιομηχανική ομάδα "επιχειρήσεις πετρελαίου, αερίου και άνθρακα" ("Oil, Gas and Coal Companies") το 2003 σε σφαιρική βάση (DJSI, 2003). Εντούτοις, η Royal Dutch/Shell Group ήταν μεταξύ των καλύτερων επιχειρήσεων, επίσης.

Κάποιος θα μπορούσε να υποστηρίξει ότι το I_{CSD} αποτυγχάνει να καταδείξει τη βιωσιμότητα της επιχείρησης από την άποψη των μεμονωμένων δεικτών βιωσιμότητας. Λόγω αυτού, το I_{CSD} απεικονίστηκε από την τεχνική παρουσίασης του δείκτη της αμοιβάδας [Ten Brink (1991)]. Η λέξη "ΑΜΟΙΒΑΔΑ", στην ολλανδική γλώσσα, αντιπροσωπεύει τη γενική μέθοδο "περιγραφής και αξιολόγησης του οικοσυστήματος". Στην μελέτη των Krajnc, Glavič (2005), έγινε μια προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος για την ποσοτική και γραφική περιγραφή του I_{CSD}.

Για να συγκριθεί η απόδοση βιωσιμότητας και των δύο επιχειρήσεων στο έτος 2003, οι κανονικοποιημένες τιμές όλων των δεικτών έχουν απεικονιστεί όπως μπορεί να φανεί στο σχήμα 3.3. Κάθε δείκτης απεικονίζεται πάνω σε μια ακτίνα του κύκλου με κλίμακα (πιο συγκεκριμένα, με την κανονικοποιημένη του τιμή). Συνδέοντας αυτά τα σημεία σχηματίζεται η αμοιβάδα. Όσο μεγαλύτερο είναι το εμβαδόν της αμοιβάδας τόσο πιο καλή είναι η εταιρία από πλευράς βιώσιμης ανάπτυξης.



Σχήμα 3.3 Απεικόνιση του I_{CSD} για το έτος 2003 χρησιμοποιώντας κανονικοποιημένες τιμές των δεικτών.

3.4 Συμπεράσματα

Υπάρχουν, βασικά, τρεις διαφορετικές ομάδες-στόχοι, των οποίων η στάση απέναντι στη σαφήνεια της αξιολόγησης της βιωσιμότητας διαφέρει: επιστήμονες, υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων και πολίτες [Blaat (1991)]. Οι επιστήμονες ενδιαφέρονται πρώτιστα για τα στατιστικά χρησιμοποιήσιμα και ενδεχομένως μη συγκεντρωτικά στοιχεία, ενώ οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων ζητούν τα συγκεντρωτικά στοιχεία, καθώς επίσης και τα στοιχεία που αφορούν τους στόχους και τα κριτήρια. Οι μεμονωμένοι χρήστες (το κοινό) προτιμούν τη συνάθροιση των στοιχείων σε μια αξία (δηλ. ένα κριτήριο βιώσιμης ανάπτυξης).

Η μελέτη των Krajnc, Glavič (2005) παρουσιάζει ένα σχεδιασμό ενός σύνθετου κριτηρίου βιώσιμης ανάπτυξης (I_{CSD}) που απεικονίζει την απόδοση των επιχειρήσεων στο εύρος και των τριών πτυχών βιωσιμότητας -οικονομική, περιβαλλοντική, και κοινωνική- προκειμένου να παρασχεθούν καλές οδηγίες για τη λήψη αποφάσεων. Συζητά πώς οι δείκτες βιωσιμότητας μπορούν να οδηγήσουν στους σύνθετους δείκτες βιωσιμότητας και τελικά σε έναν συνολικό δείκτη απόδοσης μιας επιχείρησης.

Ο σκοπός του I_{CSD} είναι να δοθεί και μια απλουστευμένη και ποσοτική έκφραση για μια πιο σύνθετη σύνθεση διάφορων δεικτών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να

ενημερώσει τους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων και τα άτομα για τις τάσεις στην ανάπτυξη της επιχείρησης. Εντούτοις, μπορεί επίσης να περιληφθεί σε ένα πιο στοχοθετημένο πλαίσιο, όπως η απεικόνιση του νομικού καθεστώτος μιας επιχείρησης σχετικά με την βιωσιμότητα, η παροχή των πληροφοριών στις κρίσιμες διαδικασίες απόφασης, ή ενδεχομένως να αποτελέσει τη βάση για μια επιχείρηση για να κινηθεί προς μια ορισμένη κατεύθυνση. Ο ICSD βοηθά να δοθεί έμφαση στις ευκαιρίες για τη βελτίωση και να αποκριθεί στα αναδυόμενα ζητήματα και τις πιέσεις. Παρέχει πληροφορίες έγκαιρης προειδοποίησης και ακολουθεί την ανάπτυξη βιωσιμότητας της επιχείρησης. Οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων μπορούν εύκολα να ερμηνεύσουν τον ICSD και τους αντίστοιχους σύνθετους δείκτες του, παρά την προσπάθεια να βρεθεί μια τομή πολλών χωριστών δεικτών της βιώσιμης ανάπτυξης. Εάν περιλαμβάνεται στην ετήσια έκθεση βιωσιμότητας, ο ICSD μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να παρουσιάσει την πρόοδο της επιχείρησης στα διάφορα ενδιαφερόμενα συμβαλλόμενα μέρη στη βιώσιμη ανάπτυξη της επιχείρησης.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα του ICSD είναι η δυνατότητα να συγκρίνει και να ταξινομεί τις επιχειρήσεις στον συγκεκριμένο τομέα από την άποψη της βιώσιμης ανάπτυξης, όπως φαίνεται στην μελέτη μας. Επομένως, ο ICSD θα μπορούσε να προσφέρει τη συνεπή και εύκαμπτη αξιολόγηση για τους ιδιωτικούς και θεσμικούς επενδυτές. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο από το οποίο οι επιχειρήσεις θα μπορούσαν να προσδιοριστούν και να ταξινομηθούν σύμφωνα με την απόδοση βιωσιμότητάς τους. Το κριτήριο βιώσιμης ανάπτυξης θα μπορούσε να υποστηρίξει τους επενδυτές για να επενδύσουν στις επιχειρήσεις που συμμορφώνονται με την έννοια της εταιρικής βιωσιμότητας.

Το πιθανό μειονέκτημα του προτύπου μπορεί να είναι ο τρόπος με τον οποίο καθορίζονται τα βάρη των δεικτών. Κάποιος θα μπορούσε να υποστηρίξει ότι τα χρησιμοποιούμενα βάρη απεικονίζουν τις ιεραρχίες ή/και τις προτεραιότητες σύμφωνα με την άποψη του εκτιμητή και μπορεί επομένως να πάσχουν από έναν υψηλό βαθμό υποκειμενικότητας. Εντούτοις, στην περίπτωση μιας διαφορετικής άποψης σχετικά με τη σημασία ενός δείκτη, δεν απαιτείται να αναδιατυπωθεί το προτεινόμενο μοντέλο, αλλά μόνο να επαναξιολογηθούν τα βάρη. Η δεύτερη πιθανή αδυναμία του μοντέλου θα μπορούσε να είναι μια επιλογή των δεικτών.

4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εφαρμογής κριτηρίων βιωσιμότητας σε τρεις εναλλακτικούς τρόπους (τρία εναλλακτικά συστήματα) κάλυψης ενεργειακών αναγκών μιας βιομηχανίας.

4.1 Κριτήρια Βιωσιμότητας Ενεργειακών Συστημάτων

4.1.1 Αναζήτηση κριτηρίων της βιωσιμότητας

Τα κριτήρια για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των ενεργειακών συστημάτων πρέπει να εκφράζουν τους επόμενους τομείς: τομείς πόρων, τομείς περιβάλλοντος, κοινωνικοί και οικονομικοί τομείς. Από αυτή τη σκοπιά, η αξιολόγηση της βιωσιμότητας των ενεργειακών συστημάτων περιλαμβάνει την εξέλιξη αυτών των παραμέτρων, οι οποίες εκφράζουν ολόκληρη την ιδέα της βιωσιμότητας. Όπως κάθε άλλο πολύπλοκο σύστημα, το ενεργειακό σύστημα ορίζεται με περιορισμούς που υποδεικνύουν τη λειτουργία, την τεχνολογία, τη γεωγραφία, την κυριότητα και τις δυνατότητές του.

Η πιθανή βελτίωση της διαδικασίας της ενεργειακής μετατροπής αποτελεί κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξή της. Στην αξιολόγηση της διαδικασίας, ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο είναι η εξεργειακή ανάλυση του ενεργειακού συστήματος. Η εξεργειακή ανάλυση βασίζεται στη μέγιστη δυνατή διαθεσιμότητα στη χρήση της για την αξιολόγηση της διαδικασίας μετατροπής. Εξ ορισμού η εξεργεια είναι μια παράμετρος για την εγκυρότητα της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας της μετατροπής της ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη τους νόμους της θερμοδυναμικής, η βελτίωση της τεχνολογίας εμφανίζεται σαν ένας σπουδαίος παράγοντας υπεύθυνος για μια μεταβολή της εντροπίας στο ενεργειακό σύστημα. Η εφαρμογή της αρχής του Carnot επιτρέπει να οριστεί ένα απόλυτο όριο σε οποιαδήποτε μετατροπή αποθεμάτων ελεύθερης ενέργειας.

4.1.2 Ορισμός των δεικτών

Οι δείκτες βιωσιμότητας ενός ενεργειακού συστήματος είναι παράμετροι που ορίζονται με βάση ορισμένες ιδιότητες του συστήματος έτσι, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση του συστήματος από πλευράς βιωσιμότητας. Οι Afgan και Carvalho (2000) διακρίνουν τις ακόλουθες ομάδες δεικτών:

- Δείκτες πόρων (Resource Indicators) – RI
- Περιβαλλοντικοί δείκτες (Environment Indicators) – EI
- Κοινωνικοί δείκτες (Social Indicators) – SI
- Δείκτες αποδοτικότητας (Efficiency Indicators) – FI

4.1.2.1 Δείκτες πόρων

Οι δείκτες πόρων για τα ενεργειακά συστήματα φαίνονται στον Πίνακα 4.1.2.1.1. Αυτοί οι δείκτες υλικών ορίζονται ως το συνολικό ποσό του αντίστοιχου υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του συστήματος διαιρούμενο με τη συνολική ετήσια ενεργειακή παραγωγή. Ο δείκτης καυσίμου αποτελεί το σύνολο των οργανικών καυσίμων που χρειάζονται για την ετήσια ενεργειακή παραγωγή και την ενέργεια που χρειάζεται για την παραγωγή των αντίστοιχων υλικών.

Πίνακας 4.1.2.1.1 Δείκτες πόρων.

	Όνομα	Ορισμός	Μονάδα
RI_{fuel}	Δείκτης Καυσίμου	Το ποσό του καυσίμου που καταναλώθηκε διαιρούμενο με τη χρήσιμη ενέργεια που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος	kg/kWh
RI_{CS}	Δείκτης Χάλυβα	Το ποσό του χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή της εγκατάστασης διαιρούμενο με τη χρήσιμη ενέργεια που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος	kg/kWh
RI_{Cop}	Δείκτης Χαλκού	Το ποσό του χαλκού που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή της εγκατάστασης διαιρούμενο με τη χρήσιμη ενέργεια που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος	kg/kWh
RI_{Al}	Δείκτης Αλουμινίου	Το ποσό του αλουμινίου που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή της εγκατάστασης διαιρούμενο με τη χρήσιμη ενέργεια που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος	kg/kWh

4.1.2.2 Περιβαλλοντικοί δείκτες

Οι περιβαλλοντικοί δείκτες ορίζονται με όμοιο τρόπο όπως οι προηγούμενοι, και φαίνονται στον Πίνακα 4.1.2.2.1.

Πίνακας 4.1.2.2.1 Περιβαλλοντικοί δείκτες.

	Όνομα	Ορισμός	Μονάδα
El _{CO2}	Περιβαλλοντικός Δείκτης Διοξειδίου του Ανθρακα	Το ποσό του Διοξειδίου του Ανθρακα που παρήχθη από την εγκατάσταση διαιρούμενο με τη χρήσιμη ενέργεια που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος	kg/kWh
El _{NOx}	Περιβαλλοντικός Δείκτης Οξειδίου του Αζώτου	Το ποσό του Οξειδίου του Αζώτου που παρήχθη από την εγκατάσταση διαιρούμενο με τη χρήσιμη ενέργεια που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος	kg/kWh
El _{SO2}	Περιβαλλοντικός Δείκτης Διοξειδίου του Θείου	Το ποσό του Διοξειδίου του Θείου που παρήχθη από την εγκατάσταση διαιρούμενο με τη χρήσιμη ενέργεια που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος	kg/kWh
El _{waste}	Περιβαλλοντικός Δείκτης Αποβλήτων	Το ποσό των αποβλήτων που παρήχθη από την εγκατάσταση διαιρούμενο με τη χρήσιμη ενέργεια που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος	kg/kWh

4.1.2.3 Κοινωνικοί δείκτες

Οι δείκτες φαίνονται στον Πίνακα 4.1.2.3.1.

Πίνακας 4.1.2.3.1 Κοινωνικοί δείκτες.

	Όνομα	Ορισμός	Μονάδα
SI _{job}	Δείκτης Νέων Θέσεων Εργασίας	Αριθμός πληρωμένων ωρών ανά kWh που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος	hours/kWh
SI _{Inv}	Δείκτης Κεφαλαίου	Το ποσό του κεφαλαίου ανά kWh που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος	N.M./kWh
SI _{Div}	Δείκτης Βιοποικιλότητας και Ζωτικότητας	Αριθμός της αντίστοιχης οντότητας ανά kWh που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος	Number/kWh
N.M.: Νομισματικές μονάδες (USD, €, κ.λπ.)			

4.1.2.4 Οικονομικοί δείκτες

Οι δείκτες φαίνονται στον Πίνακα 4.1.2.4.1.

Πίνακας 4.1.2.4.1 Οικονομικοί δείκτες.

	Όνομα	Ορισμός	Μονάδα
EcI_{Effic}	Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης	Το πηλίκο του ενεργειακού βαθμού απόδοσης του συστήματος προς την παραγωγή χρήσιμης ενέργειας	1/ kWh
EcI_{inv}	Δείκτης Επενδεδυμένου Κεφαλαίου	Το πηλίκο του ποσού χρημάτων που επενδύθηκε στην αντίστοιχη περίπτωση προς την ενέργεια που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος	N.M./ kWh
EcI_{com}	Κοινωνικός Οικονομικός Δείκτης	Κέρδος του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος για την κοινωνία ανά kWh	N.M./ kWh
N.M.: Νομισματικές μονάδες (USD, €, κ.λ.π.)			

4.2 Τεχνικά και Οικονομικά Χαρακτηριστικά των Συστημάτων

4.2.1 Περιγραφή των ενεργειακών αναγκών και γενικά δεδομένα

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς από τη βιομηχανία είναι $\dot{W} = 30 \text{ MW}_e$, η οποία για λόγους απλούστευσης θεωρείται σταθερή.

Διάρκεια λειτουργίας: $H = 7480 \text{ h} / \text{έτος}$.

Για ευκολία στους υπολογισμούς θεωρείται ότι οι ώρες αυτές ισοκατανέμονται σε 11 μήνες, ενώ ένας μήνας διατίθεται για τη συντήρηση. Ωστε:

$$\text{Μηνιαία διάρκεια λειτουργίας: } \frac{7480 \text{ h} / \text{έτος}}{11 \text{ μήνες} / \text{έτος}} = 680 \text{ h}$$

Μηνιαία ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας:

$$E_{\eta} = 680 \text{ h} \cdot 30 \text{ MW} = 20,4 \cdot 10^6 \text{ kWh} \quad (4.2.1.1)$$

Οι θερμικές ανάγκες καλύπτονται με κορεσμένο ατμό πίεσης 20 bar και παροχής $\dot{m} = 14 \text{ kg} / \text{s}$, που θεωρείται ότι επιστρέφει από τη βιομηχανία προς τον λέβητα ως συμπύκνωμα με την ίδια πίεση και θερμοκρασία 25 °C. Τα μεγέθη αυτά θεωρούνται επίσης σταθερά.

Με χρήση των δεδομένων και πινάκων ιδιοτήτων νερού-ατμού προσδιορίζονται τα ακόλουθα μεγέθη:

$$\text{Θερμοκρασία ατμού: } T_s = T_{\text{sat}}(20 \text{ bar}) = 212,37^\circ \text{C} = 485,52 \text{ K}$$

$$\text{Ενθαλπία ατμού: } h_s = h_{\text{sat. steam}}(20 \text{ bar}) = 2797,2 \text{ kJ} / \text{kg}$$

Ενθαλπία νερού: $h_w = h(20 \text{ bar}, 25^\circ \text{ C}) = 106,6 \text{ kJ} / \text{kg}$

Χρήσιμη θερμορροή:

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_s (h_s - h_w) = 14 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (2797,2 - 106,6) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 37668 \text{ kW} \quad (4.2.1.2)$$

Μελετάται η κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων της βιομηχανίας, με τους εξής δυνατούς τρόπους:

- A. Αγορά ηλεκτρικού ρεύματος από το δίκτυο και παραγωγή θερμότητας από λέβητα φυσικού αερίου.
- B. Εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής αεριοστροβίλου με καύση φυσικού αερίου.
- Γ. Εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής κινητήρα διπλού καυσίμου (κινητήρας Δ.Κ.) και λέβητα φυσικού αερίου.

Τα συστήματα A και B χρησιμοποιούν ως καύσιμο φυσικό αέριο με $H_{u,ng} = 36400 \text{ kJ} / \text{Nm}^3$, ενώ το σύστημα Γ χρησιμοποιεί κατά 90% φυσικό αέριο και κατά 10% πετρέλαιο Diesel για βιομηχανική χρήση με $H_{u,do} = 42700 \text{ kJ} / \text{kg}$.

Οι τιμές οικονομικών παραμέτρων που είναι κοινές για τα εναλλακτικά συστήματα δίνονται στον Πίνακα 4.2.1.1.

Πίνακας 4.2.1.1 Γενικά οικονομικά στοιχεία συστημάτων [Φραγκόπουλος (2005)].

Αξία εκποίησης στο τέλος της τεχνικής διάρκειας ζωής:	$V_{s,N} = 0$
Τρόπος πληρωμής:	50% στην αρχή της περιόδου κατασκευής από ίδια κεφάλαια. 50% στο τέλος κατασκευής (αρχή λειτουργίας).
Τεχνική διάρκεια ζωής του συστήματος:	$N_\tau = 20 \text{ έτη}$
Επιτόκιο αγοράς:	$i = 0,10$
Γενικός δείκτης πληθωρισμού:	$f = 0,03$
Δείκτης πληθωρισμού του καυσίμου:	$f_f = 0,04$
Κόστος φυσικού αερίου:	$c_{fng} = 0,2 \text{ €/Nm}^3$
Κόστος πετρελαίου:	$c_{fdo} = 1 \text{ €/lt}$
Πυκνότητα:	$\rho = 0,83 \text{ kg/lt}$
Ετήσια ασφάλιστρα:	$\Delta_\alpha = 0,5\% \text{ του κόστους επένδυσης, } C_0$

Σημειώνεται ότι σε καμία από τις τρεις περιπτώσεις δεν υπάρχει περίσσεια ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας προς πώληση σε τρίτους.

4.2.2 Δεδομένα και προκαταρκτικοί υπολογισμοί για το Σύστημα Α

Η περίπτωση Α αφορά στην αγορά ηλεκτρικού ρεύματος από το δίκτυο και παραγωγή θερμότητας από λέβητα φυσικού αερίου, για την κάλυψη των αναγκών της βιομηχανίας.

Πίνακας 4.2.2.1 Δεδομένα για την περίπτωση αγοράς ηλεκτρικού ρεύματος από το δίκτυο και παραγωγή θερμότητας από λέβητα φυσικού αερίου (Σύστημα Α).

Τεχνικά Στοιχεία	
Ηλεκτρική ισχύς από το δίκτυο:	$\dot{W} = 30 MW_e$
Χρήσιμη θερμική ισχύς από λέβητα φυσικού αερίου:	$\dot{Q}_b = 37668 kW_{th}$
Βαθμός απόδοσης λέβητα φυσικού αερίου:	$\eta_b = 0,90$
Βαθμός απόδοσης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο:	$\eta_\delta = 0,38$
Οικονομικά Στοιχεία	
Κόστος λέβητα φυσικού αερίου πλήρως εγκατεστημένου: (ειδικό κόστος: $c_{ob} = 25 \text{ €/kW}_{th}$, τιμή που προήλθε από έρευνα αγοράς.)	$C_{ob} = 941700 \text{ €}$
Περίοδος κατασκευής λέβητα:	1 έτος.
Τιμολόγιο ηλεκτρισμού (πώληση από το δίκτυο προς τη βιομηχανία):	
Χρέωση ισχύος (χρεωστέα ζήτηση):	$XZ = 2,1581 \text{ €/kW}$
Χρέωση ενέργειας:	$c_e = 0,10039 \text{ €/kWh}$
Ετήσιες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης του λέβητα φυσικού αερίου:	$\delta = 2 \text{ €/MWh}_{th}$

Κατανάλωση φυσικού αερίου από τον λέβητα:

$$\dot{V}_{fb} = \frac{\dot{Q}_b}{\eta_b \cdot H_u} = 1,1498 Nm^3 / s \quad (4.2.2.3)$$

Υπολογισμός των βαθμών απόδοσης του συστήματος:

Ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης του συστήματος:

$$\eta_{tot} = \frac{\dot{W} + \dot{Q}}{\frac{\dot{W}}{\eta_\delta} + \frac{\dot{Q}}{\eta_b}} = 0,56 \quad (4.2.2.4)$$

Εξέργεια ροής χρήσιμης θερμότητας του λέβητα:

$$\dot{E}^o = (h_2 - h_1) - T_0 \cdot (s_2 - s_1) = 12747,5 kW \quad (4.2.2.5)$$

Εξέργεια ροής καυσίμου:

$$\dot{E}_{fb} = \dot{V}_{fb} \cdot H_u \cdot \phi_{ng} = 43527 kW \quad (4.2.2.6)$$

όπου για το φυσικό αέριο είναι $\phi_{ng} = 1,04$, συντελεστής που προσδιορίζεται από ημιεμπειρικές σχέσεις ή πίνακες τιμών [Φραγκόπουλος (2005)].

Εξεργειακός βαθμός απόδοσης λέβητα:

$$\zeta_b = \frac{\dot{E}_O}{\dot{E}_{fb}} = 0,293 \quad (4.2.2.7)$$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή ϕ_δ του δικτύου χρησιμοποιούνται τα δεδομένα του Πίνακα 4.2.2.2 σχετικά τα τρία βασικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή από το δίκτυο [Υπ. Αν. (2008)].

Πίνακας 4.2.2.2 Καθαρή ετήσια ηλεκτροπαραγωγή από τα τρία βασικά καύσιμα.

Καύσιμα	Ηλεκτροπαραγωγή (GWh)	ϕ
Φυσικό Αέριο	A = 10124	$\phi_{ng} = 1,04$
Προϊόντα Πετρελαίου	B = 8042	$\phi_{do} = 1,06$
Λιγνήτης	Γ = 29165	$\phi_\Lambda = 1,09$

Συντελεστής ϕ_δ του δικτύου:

$$\phi_\delta = \frac{\phi_{ng} \cdot A + \phi_{do} \cdot B + \phi_\Lambda \cdot \Gamma}{A + B + \Gamma} = 1,07 \quad (4.2.2.8)$$

Εξεργειακός βαθμός απόδοσης δικτύου:

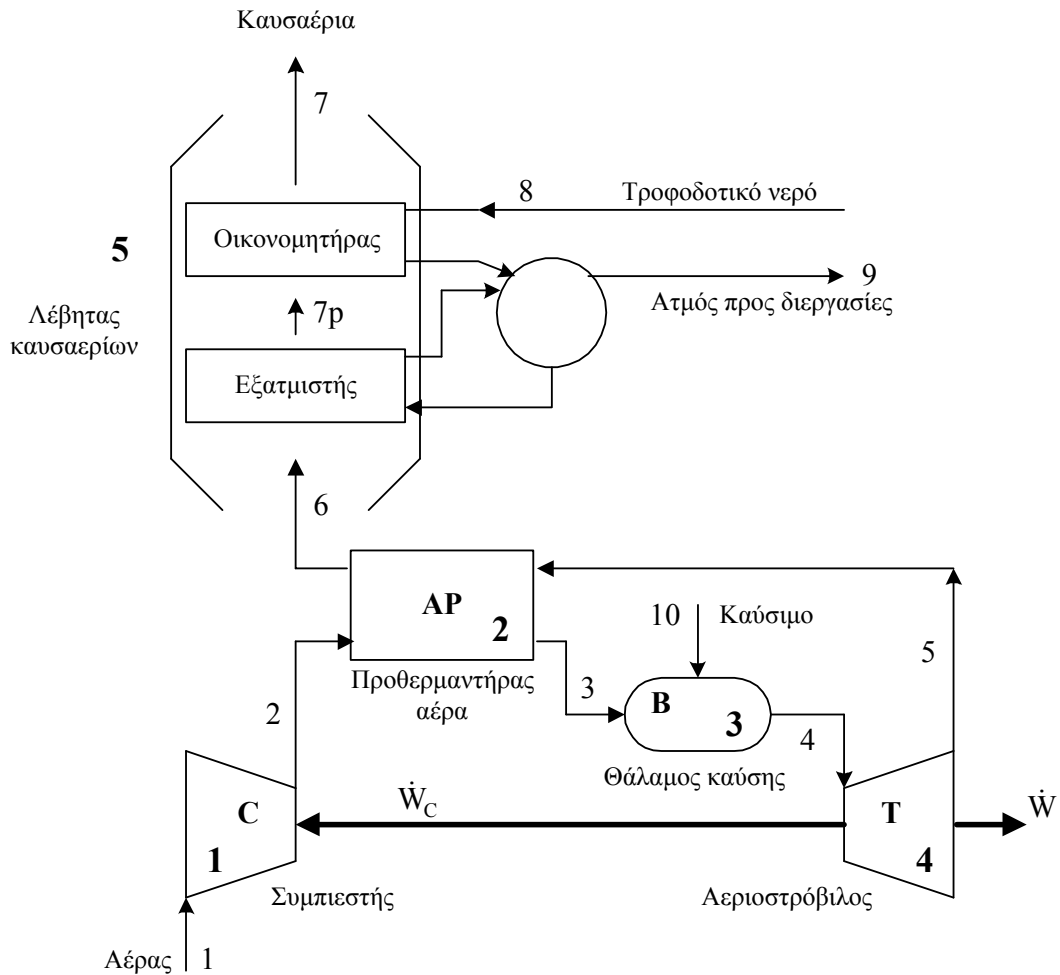
$$\zeta_\delta = \frac{\dot{W}}{\dot{E}_{f\delta}} = \frac{\eta_\delta \cdot \dot{H}_f}{\dot{E}_{f\delta}} = \frac{\eta_\delta}{\phi_\delta} = \frac{0,38}{1,07} = 0,36 \quad (4.2.2.9)$$

Ολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης του συστήματος:

$$\zeta_{tot} = \frac{\dot{W} + \dot{E}^Q}{\frac{\dot{W}}{\zeta_\delta} + \dot{E}_{fb}} = 0,337 \quad (4.2.2.10)$$

4.2.3 Δεδομένα και προκαταρκτικοί υπολογισμοί για το Σύστημα Β

Τα δεδομένα για το σύστημα αυτό προέρχονται από τη βιβλιογραφία [Φραγκόπουλος (2005) και Velavan and Frangoroulos (2008)]. Σημειώνεται ότι το σύστημα αυτό είναι έτσι διαστασιολογημένο, ώστε να καλύπτει πλήρως τα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία της βιομηχανίας.



Σχήμα 4.2.3.1. Σύστημα συμπαραγωγής αεριοστρόβιλου.

Πίνακας 4.2.3.1 Δεδομένα για την περίπτωση του συστήματος συμπαραγωγής αεριοστρόβιλου (Σύστημα Β).

Τεχνικά Στοιχεία	
Ηλεκτρική ισχύς:	$\dot{W} = 30 MW_e$
Χρήσιμη θερμική ισχύς:	$\dot{Q}_{GT} = 37668 kW_{th}$
Ηλεκτρικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης:	$\eta_e = 0,3761$
Θερμικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης:	$\eta_h = 0,4722$
Ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{tot} = 0,8483$
Ηλεκτρικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης:	$\zeta_e = 0,36$
Θερμικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης:	$\zeta_h = 0,153$
Ολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης:	$\zeta_{tot} = 0,513$
Οικονομικά Στοιχεία	
Κόστος εγκατεστημένου συστήματος: (ειδικό κόστος: $c_0 = 1000 \text{ €/kW}_e$.)	$C_0 = 30 \cdot 10^6 \text{ €}$
Περίοδος κατασκευής:	2 έτη.
Ετήσιες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος:	$\delta = 6 \text{ €/MWh}$

Κατανάλωση φυσικού αερίου:

$$\dot{V}_{fGT} = \frac{\dot{W}}{\eta_e \cdot H_u} = 2,1915 \text{ Nm}^3 / \text{s} \quad (4.2.3.1)$$

4.2.4 Δεδομένα και προκαταρκτικοί υπολογισμοί για το Σύστημα Γ

Οι τιμές των μεγεθών του πίνακα 4.2.4.1 προέκυψαν έπειτα από έρευνα αγοράς για συστήματα συμπαραγωγής κινητήρα Δ.Κ.. Επειδή η χρήσιμη θερμική ισχύς από το σύστημα συμπαραγωγής δεν επαρκεί για την κάλυψη όλων των θερμικών φορτίων που απαιτούνται από τη βιομηχανία (λόγω του σχετικά υψηλού λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα των κινητήρων αυτών), χρησιμοποιείται λέβητας φυσικού αερίου για την κάλυψη των υπολοίπων θερμικών αναγκών.

Πίνακας 4.2.4.1 Δεδομένα για την περίπτωση του συστήματος συμπαραγωγής κινητήρα Δ.Κ. (Σύστημα Γ).

Τεχνικά Στοιχεία	
Ηλεκτρική ισχύς:	$\dot{W} = 30 \text{ MW}_e$
Ηλεκτρικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης:	$\eta_e = 0,47$
Θερμικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης:	$\eta_h = 0,38$
Ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{tot} = 0,85$
Βαθμός απόδοσης λέβητα φυσικού αερίου:	$\eta_{sb} = 0,90$
Οικονομικά Στοιχεία	
Κόστος του εγκατεστημένου συστήματος του κινητήρα Δ.Κ.: (ειδικό κόστος: $c_{0GE} = 900 \text{ €/kW}_e$)	$C_{0GE} = 27 \cdot 10^6 \text{ €}$
Κόστος λέβητα φυσικού αερίου πλήρως εγκατεστημένου: (ειδικό κόστος : $c_{0sb} = 25 \text{ €/kW}_{th}$, τιμή που προήλθε από έρευνα αγοράς.)	$C_{0sb} = 335325 \text{ €}$
Περίοδος κατασκευής:	2 έτη.
Ετήσιες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος κινητήρα Δ.Κ.:	$\delta_{GE} = 10 \text{ €/MWh}_{th}$
Ετήσιες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης του λέβητα:	$\delta_{sb} = 2 \text{ €/MWh}_{th}$

Χρήσιμη θερμική ισχύς συστήματος:

$$\dot{Q}_{GE} = \frac{\dot{W}}{\eta_e} \cdot \eta_h = 24255 \text{ kW}_{th} \quad (4.2.4.1)$$

Χρήσιμη θερμική ισχύς από λέβητα φυσικού αερίου:

$$\dot{Q}_{sb} = \dot{Q}_s - \dot{Q}_{GE} = 13413 \text{ kW}_{th} \quad (4.2.4.2)$$

Κατανάλωση φυσικού αερίου του συστήματος:

$$\dot{V}_{fGE,ng} = 0,9 \cdot \frac{\dot{W}}{\eta_e \cdot H_{u,ng}} = 1,5782 \text{ Nm}^3 / \text{s} \quad (4.2.4.3)$$

Κατανάλωση πετρελαίου του συστήματος:

$$\dot{m}_{fGE,do} = 0,1 \cdot \frac{\dot{W}}{\eta_e \cdot H_{u,do}} = 0,14948 \text{ kg} / \text{s} \quad (4.2.4.4)$$

$$\dot{V}_{fGE,do} = \frac{\dot{m}_{fGE,do}}{\rho} = 0,1801 \text{ lt} / \text{s} \quad (4.2.4.5)$$

Κατανάλωση φυσικού αερίου του λέβητα:

$$\dot{V}_{fsb} = \frac{\dot{Q}_{sb}}{\eta_{sb} \cdot H_u} = 0,4094 \text{ Nm}^3 / \text{s} \quad (4.2.4.6)$$

Υπολογισμός των βαθμών απόδοσης του συστήματος:

Ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης του συστήματος:

$$\eta_{tot} = \frac{\dot{W}_{GE} + \dot{Q}_{GE} + \dot{Q}_{sb}}{\frac{\dot{W}_{GE}}{\eta_e} + \frac{\dot{Q}_{sb}}{\eta_{sb}}} = 0,86 \quad (4.2.4.7)$$

Εξέργεια ροής χρήσιμης θερμότητας της συμπαραγωγής:

$$\dot{E}_{GE}^Q = \frac{\dot{Q}_{GE}}{\dot{Q}_S} \cdot \dot{E}^Q = 8207,2 \text{ kW} \quad (4.2.4.8)$$

Εξέργεια ροής καυσίμου της συμπαραγωγής:

$$\dot{E}_{fGE} = \dot{V}_{fGE,ng} \cdot H_{u,ng} \cdot \phi_{ng} + \dot{m}_{fGE,do} \cdot H_{u,do} \cdot \phi_{do} = 66510 \text{ kW} \quad (4.2.4.9)$$

Εξέργεια ροής χρήσιμης θερμότητας του λέβητα:

$$\dot{E}_b^Q = \dot{E}^Q - \dot{E}_{GE}^Q = 4538,5 \text{ kW} \quad (4.2.4.10)$$

Εξέργεια ροής καυσίμου του λέβητα:

$$\dot{E}_{fsb} = \dot{V}_{fsb} \cdot H_u \cdot \phi = 15370 \text{ kW} \quad (4.2.4.11)$$

Εξεργειακός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της συμπαραγωγής:

$$\zeta_e = \frac{\dot{W}}{\dot{E}_{fGE}} = 0,451 \quad (4.2.4.12)$$

Εξεργειακός θερμικός βαθμός απόδοσης της συμπαραγωγής:

$$\zeta_h = \frac{\dot{E}_{GE}^Q}{\dot{E}_{fGE}} = 0,1234 \quad (4.2.4.13)$$

Ολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης συμπαραγωγής:

$$\zeta_{tot} = \zeta_e + \zeta_h = 0,5744 \quad (4.2.4.14)$$

Εξεργειακός βαθμός απόδοσης λέβητα:

$$\zeta_b = \frac{\dot{E}_b^Q}{\dot{E}_{fsb}} = 0,295 \quad (4.2.4.15)$$

Ολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης συστήματος:

$$\zeta_{tot} = \frac{\dot{W}_{GE} + \dot{E}_{GE}^Q + \dot{E}_b^Q}{\dot{E}_{fGE} + \dot{E}_{fsb}} = 0,522 \quad (4.2.4.16)$$

4.3 Δεδομένα Υπολογισμού του Εξωτερικού Περιβαλλοντικού Κόστους

Για τον υπολογισμό του εξωτερικού περιβαλλοντικού κόστους χρησιμοποιούνται οι τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.1 για τις εκπομπές ρύπων από κάθε σύστημα και για το ειδικό εξωτερικό περιβαλλοντικό κόστος [Φραγκόπουλος κ.ά. (1994)] και [Velavan and Frangoroulos (2008)]. Τα στοιχεία αυτά αναφέρονται σε σύστημα ηλεκτροπαραγωγής με αεριοστρόβιλο χαμηλού NO_x, βαθμού απόδοσης 38%, σε λέβητα παραγωγής θερμότητας με καύση φυσικού αερίου, βαθμού απόδοσης 80%, σε σύστημα συμπαραγωγής αεριοστροβίλου με καύση φυσικού αερίου και ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 25% και σε σύστημα συμπαραγωγής κινητήρα Δ.Κ. με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου και ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35%.

Πίνακας 4.3.1 Ειδικές εκπομπές ρύπων, μ, και εξωτερικό περιβαλλοντικό κόστος.

Ρύπος	Εκπομπές Δικτύου (g/kWh)	Εκπομπές Λέβητα (g/kWh)	Εκπομπές Σ. Αεριοστροβίλου (g/kWh)	Εκπομπές Κινητήρα Δ.Κ. (g/kWh)	Ειδικό Εξωτερικό Περιβαλλοντικό κόστος (€/kg)
NO _x	0,5	0,39	2,14	2,68	3,4384
CO	0,3	0,03	0,13	6,71	1,1600
UHC	0	0	0,1	4,03	0,1608
PM ₁₀	0,04	0,02	0,07	0,04	15,1114
CO ₂	531,68	252,55	808,16	577	0,0190
SO _x	0	0	0	0,09	1

Οι ειδικές εκπομπές ρύπων προσαρμόζονται σύμφωνα με τους βαθμούς απόδοσης των συστημάτων στις αντίστοιχες ενότητες.

4.4 Οικονομική Ανάλυση του Συστήματος Α

4.4.1 Συμβατική οικονομική ανάλυση του Συστήματος Α.

Η βιομηχανία καλύπτει όλα τα ηλεκτρικά φορτία αγοράζοντας ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο και τα θερμικά φορτία από λέβητα φυσικού αερίου. Για το σύστημα αυτό είναι γνωστά τα στοιχεία που δίνονται στους Πίνακες 4.2.1.1 και 4.2.2.1.

Ακολουθεί η διαδικασία υπολογισμού των ετήσιων δαπανών καθώς και ορισμένων άλλων μεγεθών που χρειάζονται.

Ίδια κεφάλαια:

$$K = 0,941700 \cdot 10^6 \text{ €} \quad (4.4.1.1)$$

Τα ίδια κεφάλαια (K) καταβάλλονται κατά το ήμισυ κατά την έναρξη της περιόδου κατασκευής (N=-1) και κατά το υπόλοιπο κατά την έναρξη λειτουργίας (N=0). Η αναγωγή αυτών σε χρόνο μηδέν (τέλος της περιόδου κατασκευής γίνεται ως εξής:

$$C_0 = 0,5 \cdot K \cdot (1+i) + 0,5 \cdot K = 0,988785 \cdot 10^6 \text{ €} \quad (4.4.1.2)$$

Το ποσό C_0 αποτελεί δαπάνη ανηγμένη στην έναρξη της περιόδου λειτουργίας του συστήματος.

Κόστος καυσίμου πρώτου έτους του λέβητα φυσικού αερίου:

$$\begin{aligned} C_{fb1} = c_{fng} \dot{V}_{fb} H &= 0,2 \frac{\text{ευρώ}}{\text{Nm}^3} \cdot 1,1498 \frac{\text{Nm}^3}{\text{s}} \cdot 7480 \text{h} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = \\ &= 6,192363 \cdot 10^6 \text{ €} \end{aligned} \quad (4.4.1.3)$$

Κόστος λειτουργίας, συντήρησης και ασφαλίσεων πρώτου έτους του λέβητα φυσικού αερίου (εκτός του κόστους καυσίμου):

$$\begin{aligned} C_{OMb1} = \Delta_{\lambda\sigma} + \Delta_{\alpha} &= 0,002 \cdot 37668 \cdot 7480 + 0,005 \cdot 941700 = \\ &= 0,568222 \cdot 10^6 \text{ €} \end{aligned} \quad (4.4.1.4)$$

Το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται από το σύστημα υπολογίζεται ως εξής:

Μηνιαίο κόστος ηλεκτρισμού:

$$C_{e\mu} = XZ \cdot \dot{W} + E_{\eta} \cdot c_e = 2,112699 \cdot 10^6 \text{ €} \quad (4.4.1.5)$$

Κόστος ηλεκτρισμού πρώτου έτους:

$$C_{e1} = 11 \cdot C_{e\mu} = 23,239689 \cdot 10^6 \text{ €} \quad (4.4.1.6)$$

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του συστήματος ορίζεται από τη σχέση:

$$C_t = (C_e + C_{fb} + C_{OMb})_t \quad (4.4.1.7)$$

όπου C_e κόστος αγοράς ηλεκτρισμού από το δίκτυο, C_{fb} , C_{OMb} κόστος καυσίμου και κόστος λειτουργίας, συντήρησης και ασφαλίσεων, αντίστοιχα, του λέβητα για την κάλυψη των θερμικών φορτίων .

Για $t = 1$ είναι:

$$C_1 = C_{e1} + C_{fb1} + C_{OMb1} = \\ = (23,239689 + 6,192363 + 0,568222) \cdot 10^6 = 30,000274 \cdot 10^6 \text{ €}$$

Το C_t μεταβάλλεται από έτος σε έτος λόγω πληθωρισμού.

Η καθαρή παρούσα αξία του ολικού κόστους C_t είναι:

$$NPV = \sum_t \frac{C_t}{(1+i_t)^t} \quad (4.4.1.8)$$

Πίνακας 4.4.1.1 Χρηματοροές για το σύστημα Α χωρίς περιβαλλοντικό κόστος (τιμές σε €).

t	C_e	C_{OMb}	C_{fb}	C_t	$C_t/(1+i)^t$	$\Sigma C_t/(1+i)^t$
0				988785	988785	988785
1	23239689	568222	6192363	30000274	27272976	28261761,36
2	23936880	585268,66	6440058	30962206	25588600	53850361,24
3	24654986	602826,72	6697660	31955473	24008620	77858980,77
4	25394636	620911,52	6965566	32981113	22526544	100385525
5	26156475	639538,87	7244189	34040202	21136288	121521812,5
6	26941169	658725,03	7533956	35133850	19832143	141353955,1
7	27749404	678486,78	7835315	36263205	18608758	159962713,4
8	28581886	698841,39	8148727	37429455	17461117	177423830,3
9	29439343	719806,63	8474676	38633826	16384513	193808343,8
10	30322523	741400,83	8813663	39877587	15374536	209182879,9
11	31232199	763642,85	9166210	41162051	14427048	223609927,9
12	32169165	786552,14	9532858	42488575	13538169	237148097,3
13	33134240	810148,7	9914173	43858561	12704263	249852360,2
14	34128267	834453,16	10310740	45273460	11921917	261774277,1
15	35152115	859486,76	10723169	46734771	11187933	272962209,6
16	36206678	885271,36	11152096	48244046	10499310	283461519,5
17	37292879	911829,5	11598180	49802888	9853235,9	293314755,4
18	38411665	939184,39	12062107	51412956	9247072,1	302561827,5
19	39564015	967359,92	12544591	53075966	8678344,6	311240172,1
20	40750935	996380,72	13046375	54793691	8144733	319384905,1

Η καθαρή παρούσα αξία του κόστους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των 20 ετών, από τους υπολογισμούς που φαίνονται στον Πίνακα 4.4.1.1 προκύπτει:

$$NPC = 319.384.905,1 \text{ €}.$$

4.4.2 Συνεκτίμηση του εξωτερικού περιβαλλοντικού κόστους του συστήματος Α.

Οι εκπομπές ρύπων του κεντρικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής υπολογίζονται με χρήση των στοιχείων του Πίνακα 4.3.1 και της Εξ. 4.2.1.1 ως εξής:

$$m_{NO_x} = \mu_{NO_x} \cdot E_{\eta} \cdot 11 \mu\eta νες = 112200 \text{ kg} / \acute{\epsilon}τος \quad (4.4.2.1\alpha)$$

$$m_{CO} = \mu_{CO} \cdot E_{\eta} \cdot 11 \mu\eta νες = 67320 \text{ kg} / \acute{\epsilon}τος \quad (4.4.2.1\beta)$$

$$m_{UHC} = \mu_{UHC} \cdot E_{\eta} \cdot 11 \mu\eta νες = 0 \text{ kg} / \acute{\epsilon}τος \quad (4.4.2.1\gamma)$$

$$m_{PM_{10}} = \mu_{PM_{10}} \cdot E_{\eta} \cdot 11 \mu\eta νες = 8976 \text{ kg} / \acute{\epsilon}τος \quad (4.4.2.1\delta)$$

$$m_{CO_2} = \mu_{CO_2} \cdot E_{\eta} \cdot 11 \mu\eta νες = 119308992 \text{ kg} / \acute{\epsilon}τος \quad (4.4.2.1\epsilon)$$

$$m_{SO_x} = \mu_{SO_x} \cdot E_{\eta} \cdot 11 \mu\eta νες = 0 \text{ kg} / \acute{\epsilon}τος \quad (4.4.2.1\sigma\tau)$$

Για τον υπολογισμό του εξωτερικού περιβαλλοντικού κόστους που σχετίζεται με τους εκπεμπόμενους ρύπους από τον λέβητα φυσικού αερίου χρησιμοποιούνται τιμές από τον Πίνακα 4.3.1.

Οι ειδικές εκπομπές του λέβητα, λόγω του βαθμού απόδοσής του, τροποποιούνται ως εξής (οι τιμές των ειδικών εκπομπών αυξάνονται ή μειώνονται ανάλογα με το λόγο του βαθμού απόδοσης του λέβητα του οποίου οι τιμές των ρύπων υπάρχουν στη βιβλιογραφία (Πίνακας 4.3.1) προς τον βαθμό απόδοσης του λέβητα του συστήματος που εξετάζεται):

$$\mu_{NO_x} = \frac{0,8}{0,9} \cdot 0,39 = 0,3466 \text{ g} / kWh \quad (4.4.2.2\alpha)$$

$$\mu_{CO} = \frac{0,8}{0,9} \cdot 0,03 = 0,0266 \text{ g} / kWh \quad (4.4.2.2\beta)$$

$$\mu_{UHC} = 0 \text{ g} / kWh \quad (4.4.2.2\gamma)$$

$$\mu_{PM_{10}} = \frac{0,8}{0,9} \cdot 0,02 = 0,0177 \text{ g} / kWh \quad (4.4.2.2\delta)$$

$$\mu_{CO_2} = \frac{0,8}{0,9} \cdot 252,55 = 224,488 \text{ g} / kWh \quad (4.4.2.2\epsilon)$$

$$\mu_{SO_x} = 0 \text{ g} / kWh \quad (4.4.2.2\sigma\tau)$$

Η θερμική ενέργεια που παράγεται από το λέβητα σε ένα μήνα είναι:

$$E_{\theta} = 37668kW \cdot 680h = 25614240 kWh \quad (4.4.2.3)$$

Οι ετήσιες εκπομπές ρύπων του λέβητα ατμού υπολογίζονται ως εξής:

$$m_{NO_x} = \mu_{NO_x} \cdot E_{\theta} \cdot 11 \muήνεζ = 97656,8 kg / έτος \quad (4.4.2.4α)$$

$$m_{CO} = \mu_{CO} \cdot E_{\theta} \cdot 11 \muήνεζ = 7494,7 kg / έτος \quad (4.4.2.4β)$$

$$m_{UHC} = \mu_{UHC} \cdot E_{\theta} \cdot 11 \muήνεζ = 0 kg / έτος \quad (4.4.2.4γ)$$

$$m_{PM_{10}} = \mu_{PM_{10}} \cdot E_{\theta} \cdot 11 \muήνεζ = 4987 kg / έτος \quad (4.4.2.4δ)$$

$$m_{CO_2} = \mu_{CO_2} \cdot E_{\theta} \cdot 11 \muήνεζ = 63250984,6 kg / έτος \quad (4.4.2.4ε)$$

$$m_{SO_x} = \mu_{SO_x} \cdot E_{\theta} \cdot 11 \muήνεζ = 0 kg / έτος \quad (4.4.2.4στ)$$

Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον Πίνακα 4.4.2.1, όπου υπολογίζεται και το ετήσιο εξωτερικό περιβαλλοντικό κόστος.

Πίνακας 4.4.2.1 Εκπομπές ρύπων κεντρικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής και λέβητα και ετήσιο εξωτερικό περιβαλλοντικό κόστος.

Ρύπος	Εκπομπές Δικτύου (kg/έτος)	Εκπομπές Λέβητα (kg/έτος)	Εξωτερικό Περιβαλλοντικό Κόστος Δικτύου (€/έτος)	Εξωτερικό Περιβαλλοντικό Κόστος Λέβητα (€/έτος)
NO _x	112200	97656,8	385788,5	335783
CO	67320	7494,7	78091,2	8693,9
UHC	0	0	0	0
PM ₁₀	8976	4987	135639,9	75360,6
CO ₂	119308992	63250984,6	2266870,8	1201768,7
SO ₂	0	0	0	0
		Σύνολο:	2866390	1621606

Το ετήσιο περιβαλλοντικό κόστος του δικτύου ηλεκτροπαραγωγής είναι:

$$C_{env,\delta} = 2.866.390 \text{ €/έτος} \quad (4.4.2.5)$$

Το ετήσιο περιβαλλοντικό κόστος του λέβητα παραγωγής θερμότητας είναι:

$$C_{env,b} = 1.621.606 \text{ €/έτος} \quad (4.4.2.6)$$

Ακολουθεί η διαδικασία υπολογισμού των ετήσιων δαπανών, σύμφωνα με τις σχέσεις της ενότητας 4.4.1 και του Πίνακα 4.4.2.1:

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του συστήματος ορίζεται από τη σχέση:

$$C_t = (C_e + C_{fb} + C_{OMb} + C_{env,b} + C_{env,\delta})_t \quad (4.4.2.7)$$

όπου C_e κόστος αγοράς ηλεκτρισμού από το δίκτυο, C_{fb} , C_{OMb} κόστος καυσίμου και κόστος λειτουργίας, συντήρησης και ασφαλιστρών, αντίστοιχα, του λέβητα και $C_{env,b}$, $C_{env,\delta}$ εξωτερικό περιβαλλοντικό κόστος λέβητα και δικτύου, αντίστοιχα.

Για $t = 1$ είναι:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_{e1} + C_{fb1} + C_{OMb1} + C_{env,b1} + C_{env,\delta 1} = \\ &= (23,239689 + 6,192363 + 0,568222 + 1,621606 + 2,86639) \cdot 10^6 = \\ &= 34,488270 \cdot 10^6 \text{ €} \end{aligned}$$

Η καθαρή παρούσα αξία του ολικού κόστους C_t δίνεται από τη Εξ.(4.4.1.8).

Πίνακας 4.4.2.2 Χρηματοροές για το σύστημα Α συμπεριλαμβανομένου του περιβαλλοντικού κόστους (τιμές σε €).

t	C_e	C_{OMb}	C_{fb}	C_t	$C_t/(1+i)^t$	$\Sigma C_t/(1+i)^t$
0				988785	988785	988785
1	23239689	568222	6192363	34488270	31352972,73	32341757,73
2	23936879,67	585268,66	6440058	35450202	29297687,48	61639445,21
3	24654986,06	602826,72	6697660	36443469	27380517,36	89019962,56
4	25394635,64	620911,52	6965566	37469109	25591905,86	114611868,4
5	26156474,71	639538,87	7244189	38528198	23922979,95	138534848,4
6	26941168,95	658725,03	7533956	39621846	22365499,35	160900347,7
7	27749404,02	678486,78	7835315	40751201	20911809,87	181812157,6
8	28581886,14	698841,39	8148727	41917451	19554800,15	201366957,8
9	29439342,73	719806,63	8474676	43121822	18287861,89	219654819,6
10	30322523,01	741400,83	8813663	44365583	17104852,9	236759672,5
11	31232198,7	763642,85	9166210	45650047	16000063,16	252759735,7
12	32169164,66	786552,14	9532858	46976571	14968183,27	267727919
13	33134239,6	810148,7	9914173	48346557	14004275,44	281732194,4
14	34128266,79	834453,16	10310740	49761456	13103746,5	294835940,9
15	35152114,79	859486,76	10723169	51222767	12262323,1	307098264
16	36206678,23	885271,36	11152096	52732042	11476028,63	318574292,6
17	37292878,58	911829,5	11598180	54290884	10741161,94	329315454,6
18	38411664,94	939184,39	12062107	55900952	10054277,63	339369732,2
19	39564014,89	967359,92	12544591	57563962	9412167,777	348781900
20	40750935,33	996380,72	13046375	59281687	8811845,021	357593745

Η καθαρή παρούσα αξία του κόστους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των 20 ετών, από τους υπολογισμούς που φαίνονται στον Πίνακα 4.4.2.2 προκύπτει:

$$NPC_{env} = 357.593.745 \text{ €}.$$

4.5 Οικονομική Ανάλυση του Συστήματος Β

4.5.1 Συμβατική οικονομική ανάλυση του Συστήματος Β.

Ακολουθεί η διαδικασία υπολογισμού των ετήσιων δαπανών καθώς και ορισμένων άλλων μεγεθών που χρειάζονται:

Ίδια κεφάλαια:

$$K = 30 \cdot 10^6 \text{ €} \quad (4.5.1.1)$$

Θεωρείται ότι τα ίδια κεφάλαια (K) καταβάλλονται κατά το ήμισυ κατά την έναρξη της περιόδου κατασκευής (N=-2) και κατά το υπόλοιπο κατά την έναρξη λειτουργίας (N=0). Η αναγωγή αυτών σε χρόνο μηδέν (τέλος της περιόδου κατασκευής δηλαδή έναρξη της περιόδου λειτουργίας) γίνεται ως εξής:

$$C_0 = 0,5 \cdot K \cdot (1+i)^2 + 0,5 \cdot K = 33,15 \cdot 10^6 \text{ €} \quad (4.5.1.2)$$

Κόστος καυσίμου πρώτου έτους του συστήματος συμπαραγωγής:

$$\begin{aligned} C_{fGT1} = c_{fng} \dot{V}_f H &= 0,2 \frac{\text{ευρώ}}{\text{Nm}^3} \cdot 2,1915 \frac{\text{Nm}^3}{\text{s}} \cdot 7480 \text{h} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = \\ &= 11,802542 \cdot 10^6 \text{ €} \end{aligned} \quad (4.5.1.3)$$

Κόστος λειτουργίας, συντήρησης και ασφαλίσεων πρώτου έτους του συστήματος συμπαραγωγής (εκτός του κόστους καυσίμου):

$$\begin{aligned} C_{OMGT1} = \Delta_{\lambda\sigma} + \Delta_{\alpha} &= 0,006 \cdot 30000 \cdot 7480 + 0,005 \cdot 30 \cdot 10^6 = \\ &= 1,4964 \cdot 10^6 \text{ €} \end{aligned} \quad (4.5.1.4)$$

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του συστήματος ορίζεται από τη σχέση:

$$C_t = (C_{fGT} + C_{OMGT})_t \quad (4.5.1.5)$$

Για t = 1 είναι:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_{fGT1} + C_{OMGT1} = \\ &= (11,802542 + 1,4964) \cdot 10^6 = 13,298942 \cdot 10^6 \text{ €} \end{aligned}$$

Η καθαρή παρούσα αξία του ολικού κόστους C_t δίνεται από την Εξ. (4.4.1.8).

Πίνακας 4.5.1.1 Χρηματοροές για το σύστημα Β χωρίς περιβαλλοντικό κόστος (τιμές σε €).

t	C _{OMGT}	C _{FGT}	C _t	C _t /(1+i) ^t	ΣC _t /(1+i) ^t
0			33150000	33150000	33150000
1	1496400	11802542	13298942	12089947,27	45239947,27
2	1541292	12274644	13815936	11418128,66	56658075,93
3	1587530,8	12765629	14353160	10783741,69	67441817,62
4	1635156,7	13276255	14911411	10184694,55	77626512,17
5	1684211,4	13807305	15491516	9619012,718	87245524,89
6	1734737,7	14359597	16094335	9084832,362	96330357,25
7	1786779,9	14933981	16720761	8580394,104	104910751,4
8	1840383,3	15531340	17371723	8104037,148	113014788,5
9	1895594,7	16152594	18048188	7654193,736	120668982,2
10	1952462,6	16798697	18751160	7229383,921	127898366,2
11	2011036,5	17470645	19481682	6828210,627	134726576,8
12	2071367,6	18169471	20240839	6449354,993	141175931,8
13	2133508,6	18896250	21029759	6091571,979	147267503,8
14	2197513,8	19652100	21849614	5753686,222	153021190
15	2263439,3	20438184	22701623	5434588,118	158455778,1
16	2331342,4	21255711	23587054	5133230,136	163589008,2
17	2401282,7	22105940	24507223	4848623,328	168437631,6
18	2473321,2	22990177	25463499	4579834,046	173017465,6
19	2547520,8	23909785	26457305	4325980,839	177343446,4
20	2623946,5	24866176	27490122	4086231,52	181429678

Η καθαρή παρούσα αξία του κόστους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των 20 ετών, από τους υπολογισμούς που φαίνονται στον Πίνακα 4.5.1.1 προκύπτει:

$$NPC = 181.429.678 \text{ €}.$$

4.5.2 Συνεκτίμηση του εξωτερικού περιβαλλοντικού κόστους του Συστήματος Β.

Για τον υπολογισμό του εξωτερικού περιβαλλοντικού κόστους που σχετίζεται με τους εκπεμπόμενους ρύπους από τον αεριοστρόβιλο χρησιμοποιούνται τιμές από τον Πίνακα 4.3.1 και η Εξ. 4.2.1.1.

Οι ειδικές εκπομπές του αεριοστροβίλου, λόγω του βαθμού απόδοσής του, τροποποιούνται ως εξής:

$$\mu_{\text{NO}_x} = \frac{0,25}{0,3761} \cdot 2,14 = 1,4225 \text{ g / kWh} \quad (4.5.2.1\alpha)$$

$$\mu_{\text{CO}} = \frac{0,25}{0,3761} \cdot 0,13 = 0,0864 \text{ g / kWh} \quad (4.5.2.1\beta)$$

$$\mu_{UHC} = \frac{0,25}{0,3761} \cdot 0,1 = 0,0665 \text{ g / kWh} \quad (4.5.2.1\gamma)$$

$$\mu_{PM_{10}} = \frac{0,25}{0,3761} \cdot 0,07 = 0,04653 \text{ g / kWh} \quad (4.5.2.1\delta)$$

$$\mu_{CO_2} = \frac{0,25}{0,3761} \cdot 808,16 = 537,198 \text{ g / kWh} \quad (4.5.2.1\epsilon)$$

$$\mu_{SO_x} = 0 \text{ g / kWh} \quad (4.5.2.1\sigma\tau)$$

Οι ετήσιες εκπομπές ρύπων του συστήματος συμπαραγωγής υπολογίζονται ως εξής:

$$m_{NO_x} = \mu_{NO_x} \cdot E_{\eta} \cdot 11 \text{ μήνες} = 319209 \text{ kg / έτος} \quad (4.5.2.2\alpha)$$

$$m_{CO} = \mu_{CO} \cdot E_{\eta} \cdot 11 \text{ μήνες} = 19388 \text{ kg / έτος} \quad (4.5.2.2\beta)$$

$$m_{UHC} = \mu_{UHC} \cdot E_{\eta} \cdot 11 \text{ μήνες} = 14923 \text{ kg / έτος} \quad (4.5.2.2\gamma)$$

$$m_{PM_{10}} = \mu_{PM_{10}} \cdot E_{\eta} \cdot 11 \text{ μήνες} = 10441 \text{ kg / έτος} \quad (4.5.2.2\delta)$$

$$m_{CO_2} = \mu_{CO_2} \cdot E_{\eta} \cdot 11 \text{ μήνες} = 120547231 \text{ kg / έτος} \quad (4.5.2.2\epsilon)$$

$$m_{SO_x} = \mu_{SO_x} \cdot E_{\eta} \cdot 11 \text{ μήνες} = 0 \text{ kg / έτος} \quad (4.5.2.2\sigma\tau)$$

Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον Πίνακα 4.5.2.1, όπου υπολογίζεται και το ετήσιο εξωτερικό περιβαλλοντικό κόστος.

Πίνακας 4.5.2.1 Εκπομπές ρύπων συμπαραγωγής και ετήσιο εξωτερικό περιβαλλοντικό κόστος.

Ρύπος	Εκπομπές Αεριοστροβίλου (kg/έτος)	Εξωτερικό Περιβαλλοντικό κόστος Αεριοστροβίλου (€/έτος)
NO _x	319209	1097568
CO	19388	22490,08
UHC	14923	2399,618
PM ₁₀	10441	157778,1
CO ₂	120547231	2290397
SO ₂	0	0
Σύνολο:		3570633

Το περιβαλλοντικό κόστος του συστήματος συμπαραγωγής είναι:

$$C_{env,GT} = 3.570.633 \text{ €/έτος} \quad (4.5.2.3)$$

Ακολουθεί διαδικασία υπολογισμού των ετήσιων δαπανών, σύμφωνα με τις σχέσεις της ενότητας 4.5.2 και του Πίνακα 4.5.2.1:

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του συστήματος ορίζεται από τη σχέση:

$$C_t = (C_{fGT} + C_{OMGT} + C_{env,GT})_t \quad (4.5.2.4)$$

Για $t = 1$ είναι:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_{fGT1} + C_{OMGT1} + C_{env,GT1} = \\ &= (1,4964 + 11,802542 + 3,570633) \cdot 10^6 = \\ &= 16,869575 \cdot 10^6 \text{ €} \end{aligned}$$

Η καθαρή παρούσα αξία του ολικού κόστους C_t δίνεται από την Εξ. (4.4.1.8).

Πίνακας 4.5.2.2 Χρηματοροές για το σύστημα Β συμπεριλαμβανομένου του περιβαλλοντικού κόστους (τιμές σε €).

t	C_{OMGT}	C_{fGT}	C_t	$C_t/(1+i)^t$	$\Sigma C_t/(1+i)^t$
0			33150000	33150000	33150000
1	1496400	11802542	16869575	15335977,27	48485977,27
2	1541292	12274644	17386569	14369065,02	62855042,3
3	1587530,8	12765629	17923793	13466411,11	76321453,41
4	1635156,7	13276255	18482044	12623484,93	88944938,34
5	1684211,4	13807305	19062149	11836094,88	100781033,2
6	1734737,7	14359597	19664968	11100361,6	111881394,8
7	1786779,9	14933981	20291394	10412693,42	122294088,2
8	1840383,3	15531340	20942356	9769763,794	132063852
9	1895594,7	16152594	21618821	9168490,688	141232342,7
10	1952462,6	16798697	22321793	8606017,514	149838360,2
11	2011036,5	17470645	23052315	8079695,711	157918055,9
12	2071367,6	18169471	23811472	7587068,705	165505124,7
13	2133508,6	18896250	24600392	7125857,172	172630981,8
14	2197513,8	19652100	25420247	6693945,488	179324927,3
15	2263439,3	20438184	26272256	6289369,269	185614296,6
16	2331342,4	21255711	27157687	5910303,91	191524600,5
17	2401282,7	22105940	28077856	5555054,031	197079654,5
18	2473321,2	22990177	29034132	5222043,777	202301698,3
19	2547520,8	23909785	30027938	4909807,867	207211506,2
20	2623946,5	24866176	31060755	4616983,364	211828489,5

Η καθαρή παρούσα αξία του κόστους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των 20 ετών, από τους υπολογισμούς που φαίνονται στον Πίνακα 4.5.2.2 προκύπτει:

$$NPC_{env} = 211.828.489,5 \text{ €}.$$

4.6 Οικονομική Ανάλυση του Συστήματος Γ

4.6.1 Συμβατική οικονομική ανάλυση του Συστήματος Γ.

Ακολουθεί η διαδικασία υπολογισμού των ετήσιων δαπανών καθώς και ορισμένων άλλων μεγεθών που χρειάζονται.

Ίδια κεφάλαια:

$$K = C_{0GE} + C_{0sb} = 27 \cdot 10^6 + 0,335325 \cdot 10^6 = 27,335325 \cdot 10^6 \text{ €} \quad (4.6.1.1)$$

Θεωρείται ότι τα ίδια κεφάλαια (K) καταβάλλονται κατά το ήμισυ κατά την έναρξη της περιόδου κατασκευής (N=-2) και κατά το υπόλοιπο κατά την έναρξη λειτουργίας (N=0). Η αναγωγή αυτών σε χρόνο μηδέν (τέλος της περιόδου κατασκευής δηλαδή έναρξη της περιόδου λειτουργίας) γίνεται ως εξής:

$$C_0 = 0,5 \cdot K \cdot (1+i)^2 + 0,5 \cdot K = 30,205534 \cdot 10^6 \text{ €} \quad (4.6.1.2)$$

Κόστος καυσίμου πρώτου έτους του συστήματος:

$$\begin{aligned} C_{fGE1} &= (c_{fng} \dot{V}_{f,ngGE} + c_{fdo} \cdot \dot{V}_{f,doGE}) \cdot H = \\ &= (0,2 \frac{\text{ευρώ}}{\text{Nm}^3} \cdot 1,5782 \frac{\text{Nm}^3}{\text{s}} + 1 \frac{\text{ευρώ}}{\text{lt}} \cdot 0,1801 \frac{\text{lt}}{\text{s}}) \cdot 7480 \text{h} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = \\ &= 13,351441 \cdot 10^6 \text{ €} \end{aligned} \quad (4.6.1.3)$$

Κόστος καυσίμου πρώτου έτους του λέβητα φυσικού αερίου:

$$\begin{aligned} C_{fsb1} &= c_{fng} \dot{V}_{f,fb} H = 0,2 \frac{\text{ευρώ}}{\text{Nm}^3} \cdot 0,4094 \frac{\text{Nm}^3}{\text{s}} \cdot 7480 \text{h} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = \\ &= 2,204865 \cdot 10^6 \text{ €} \end{aligned} \quad (4.6.1.4)$$

Κόστος λειτουργίας, συντήρησης και ασφαλίσεων πρώτου έτους του συστήματος (εκτός του κόστους καυσίμου):

$$\begin{aligned} C_{OMGE1} &= \Delta_{\lambda\sigma} + \Delta_{\alpha} = 0,01 \cdot 30000 \cdot 7480 + 0,005 \cdot 27 \cdot 10^6 = \\ &= 2,379 \cdot 10^6 \text{ €} \end{aligned} \quad (4.6.1.5)$$

Κόστος λειτουργίας, συντήρησης και ασφαλίσεων πρώτου έτους του λέβητα φυσικού αερίου (εκτός του κόστους καυσίμου):

$$C_{OMsb1} = \Delta_{\lambda\sigma} + \Delta_{\alpha} = 0,002 \cdot 13413 \cdot 7480 + 0,005 \cdot 335325 = \quad (4.6.1.6)$$

$$= 0,202335 \cdot 10^6 \text{ €}$$

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του συστήματος ορίζεται από τη σχέση:

$$C_t = (C_{fGE} + C_{OMGE} + C_{fsb} + C_{OMsb})_t \quad (4.6.1.7)$$

Για $t = 1$ είναι:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_{fGE1} + C_{OMGE1} + C_{fsb1} + C_{OMsb1} = \\ &= (13,351441 + 2,379 + 2,204865 + 0,202335) \cdot 10^6 = 18,137641 \cdot 10^6 \text{ €} \end{aligned}$$

Η καθαρή παρούσα αξία του ολικού κόστους C_t δίνεται από την Εξ. (4.4.1.8).

Πίνακας 4.6.1.1 Χρηματοροές για το σύστημα Γ χωρίς περιβαλλοντικό κόστος (τιμές σε €).

t	C_{OMGE}	C_{fGE}	C_{OMsb}	C_{fsb}	C_t	$C_t/(1+i)^t$	$\Sigma C_t/(1+i)^t$
0					30205534	30205534	30205534
1	2379000	13351441	202335	2204865	18137641	16488764,55	46694298,55
2	2450370	13885499	208405,1	2293060	18837333	15568044,04	62262342,59
3	2523881,1	14440919	214657,2	2384782	19564239	14698902,23	76961244,82
4	2599597,5	15018555	221096,9	2480173	20319423	13878439,34	90839684,16
5	2677585,5	15619298	227729,8	2579380	21103993	13103919,27	103943603,4
6	2757913	16244069	234561,7	2682555	21919100	12372760,29	116316363,7
7	2840650,4	16893832	241598,6	2789858	22765939	11682526,33	127998890
8	2925869,9	17569586	248846,5	2901452	23645754	11030918,7	139029808,7
9	3013646	18272369	256311,9	3017510	24559837	10415768,33	149445577,1
10	3104055,4	19003264	264001,3	3138210	25509531	9835028,406	159280605,5
11	3197177,1	19763394	271921,3	3263739	26496231	9286767,478	168567373
12	3293092,4	20553930	280079	3394288	27521390	8769162,908	177336535,9
13	3391885,1	21376087	288481,3	3530060	28586514	8280494,727	185617030,6
14	3493641,7	22231131	297135,8	3671262	29693170	7819139,823	193436170,4
15	3598451	23120376	306049,8	3818113	30842990	7383566,467	200819736,9
16	3706404,5	24045191	315231,3	3970837	32037664	6972329,147	207792066
17	3817596,6	25006999	324688,3	4129671	33278954	6584063,692	214376129,7
18	3932124,5	26007279	334428,9	4294858	34568690	6217482,682	220593612,4
19	4050088,3	27047570	344461,8	4466652	35908772	5871371,107	226464983,5
20	4171590,9	28129472	354795,6	4645318	37301177	5544582,283	232009565,8

Η καθαρή παρούσα αξία του κόστους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των 20 ετών, από τους υπολογισμούς που φαίνονται στον Πίνακα 4.6.1.1 προκύπτει:

$$NPC = 232.009.565,8 \text{ €.}$$

4.6.2 Συνεκτίμηση του εξωτερικού περιβαλλοντικού κόστους του Συστήματος Γ.

Για τον υπολογισμό του εξωτερικού περιβαλλοντικού κόστους που σχετίζεται με τους εκπεμπόμενους ρύπους από τον κινητήρα Δ.Κ. και το λέβητα φυσικού αερίου χρησιμοποιούνται τιμές από τον Πίνακα 4.3.1 και η Εξ. 4.2.1.1.

Οι ειδικές εκπομπές του λέβητα φυσικού αερίου, λόγω του βαθμού απόδοσής του, τροποποιούνται ως εξής:

$$\mu_{NO_x} = \frac{0,8}{0,9} \cdot 0,39 = 0,3466 \text{ g / kWh} \quad (4.6.2.1\alpha)$$

$$\mu_{CO} = \frac{0,8}{0,9} \cdot 0,03 = 0,0266 \text{ g / kWh} \quad (4.6.2.1\beta)$$

$$\mu_{UHC} = 0 \text{ g / kWh} \quad (4.6.2.1\gamma)$$

$$\mu_{PM_{10}} = \frac{0,8}{0,9} \cdot 0,02 = 0,0177 \text{ g / kWh} \quad (4.6.2.1\delta)$$

$$\mu_{CO_2} = \frac{0,8}{0,9} \cdot 252,55 = 224,488 \text{ g / kWh} \quad (4.6.2.1\epsilon)$$

$$\mu_{SO_x} = 0 \text{ g / kWh} \quad (4.6.2.1\sigma\tau)$$

Η θερμική ενέργεια που παράγεται από το λέβητα σε ένα μήνα είναι:

$$\dot{Q}_{sb} = 13413kW \cdot 680h = 9120840 \text{ kWh} \quad (4.6.2.2)$$

Οι ετήσιες εκπομπές ρύπων του λέβητα φυσικού αερίου υπολογίζονται ως εξής:

$$m_{NO_x} = \mu_{NO_x} \cdot \dot{Q}_{sb} \cdot 11 \text{ μήνες} = 34774,1 \text{ kg / έτος} \quad (4.6.2.3\alpha)$$

$$m_{CO} = \mu_{CO} \cdot \dot{Q}_{sb} \cdot 11 \text{ μήνες} = 2668,8 \text{ kg / έτος} \quad (4.6.2.3\beta)$$

$$m_{UHC} = \mu_{UHC} \cdot \dot{Q}_{sb} \cdot 11 \text{ μήνες} = 0 \text{ kg / έτος} \quad (4.6.2.3\gamma)$$

$$m_{PM_{10}} = \mu_{PM_{10}} \cdot \dot{Q}_{sb} \cdot 11 \text{ μήνες} = 1775,8 \text{ kg / έτος} \quad (4.6.2.3\delta)$$

$$m_{CO_2} = \mu_{CO_2} \cdot \dot{Q}_{sb} \cdot 11 \text{ μήνες} = 22522710 \text{ kg / έτος} \quad (4.6.2.3\epsilon)$$

$$m_{SO_x} = \mu_{SO_x} \cdot \dot{Q}_{sb} \cdot 11 \text{ μήνες} = 0 \text{ kg / έτος} \quad (4.6.2.3\sigma\tau)$$

Για τον υπολογισμό του εξωτερικού περιβαλλοντικού κόστους που σχετίζεται με τους εκπεμπόμενους ρύπους από το σύστημα συμπαραγωγής χρησιμοποιούνται τιμές από τον Πίνακα 4.3.1 και η Εξ. 4.2.1.1.

Οι ειδικές εκπομπές του κινητήρα Δ.Κ., λόγω του βαθμού απόδοσής του, τροποποιούνται ως εξής:

$$\mu_{NO_x} = \frac{0,35}{0,47} \cdot 2,68 = 2 \text{ g / kWh} \quad (4.6.2.4\alpha)$$

$$\mu_{CO} = \frac{0,35}{0,47} \cdot 6,71 = 5 \text{ g / kWh} \quad (4.6.2.4\beta)$$

$$\mu_{UHC} = \frac{0,35}{0,47} \cdot 4,03 = 3 \text{ g / kWh} \quad (4.6.2.4\gamma)$$

$$\mu_{PM_{10}} = \frac{0,35}{0,47} \cdot 0,04 = 0,0299 \text{ g / kWh} \quad (4.6.2.4\delta)$$

$$\mu_{CO_2} = \frac{0,35}{0,47} \cdot 577 = 429 \text{ g / kWh} \quad (4.6.2.4\epsilon)$$

$$\mu_{SO_x} = \frac{0,35}{0,47} \cdot 0,09 = 0,067 \text{ g / kWh} \quad (4.6.2.4\sigma\tau)$$

Οι ετήσιες εκπομπές ρύπων του συστήματος συμπαραγωγής υπολογίζονται ως εξής:

$$m_{NO_x} = \mu_{NO_x} \cdot E_\eta \cdot 11 \text{ μήνες} = 448800 \text{ kg / έτος} \quad (4.6.2.5\alpha)$$

$$m_{CO} = \mu_{CO} \cdot E_\eta \cdot 11 \text{ μήνες} = 1122000 \text{ kg / έτος} \quad (4.6.2.6\beta)$$

$$m_{UHC} = \mu_{UHC} \cdot E_\eta \cdot 11 \text{ μήνες} = 673200 \text{ kg / έτος} \quad (4.6.2.6\gamma)$$

$$m_{PM_{10}} = \mu_{PM_{10}} \cdot E_\eta \cdot 11 \text{ μήνες} = 6710 \text{ kg / έτος} \quad (4.6.2.6\delta)$$

$$m_{CO_2} = \mu_{CO_2} \cdot E_\eta \cdot 11 \text{ μήνες} = 96267600 \text{ kg / έτος} \quad (4.6.2.6\epsilon)$$

$$m_{SO_x} = \mu_{SO_x} \cdot E_\eta \cdot 11 \text{ μήνες} = 15035 \text{ kg / έτος} \quad (4.6.2.6\sigma\tau)$$

Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον Πίνακα 4.6.2.1, όπου υπολογίζεται και το ετήσιο εξωτερικό περιβαλλοντικό κόστος.

Πίνακας 4.6.2.1 Εκπομπές ρύπων συμπαραγωγής και λέβητα και εξωτερικό περιβαλλοντικό κόστος.

Ρύπος	Εκπομπές Κινητήρα Δ.Κ. (kg/έτος)	Εκπομπές Λέβητα (kg/έτος)	Εξωτερικό Περιβαλλοντικό κόστος Κινητήρα Δ.Κ. (€/έτος)	Εξωτερικό Περιβαλλοντικό Κόστος Λέβητα (€/έτος)
NO _x	448800	34774,1	1543154	119567,3
CO	1122000	2668,8	1301520	3095,808
UHC	673199	0	108250	0
PM ₁₀	6710	1775,8	101397,5	26834,82
CO ₂	96267600	22522710	1829084	427931,5
SO ₂	15035	0	15035	0
Σύνολο:			4.898.440	577.429,4

Το περιβαλλοντικό κόστος του λέβητα είναι:

$$C_{env, sb} = 577.429,4 \text{ €/έτος} \quad (4.6.2.7)$$

Το περιβαλλοντικό κόστος του κινητήρα Δ.Κ. είναι:

$$C_{env, GE} = 4.898.440 \text{ €/έτος} \quad (4.6.2.8)$$

Ακολουθεί διαδικασία υπολογισμού των ετήσιων δαπανών, σύμφωνα με τις σχέσεις της ενότητας 4.6.1 και του Πίνακα 4.6.2.1:

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του συστήματος ορίζεται από τη σχέση:

$$C_t = (C_{fGE} + C_{OMGE} + C_{env, GE} + C_{f sb} + C_{OMsb} + C_{env, sb})_t \quad (4.6.2.9)$$

Για $t = 1$ είναι:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_{fGE1} + C_{OMGE1} + C_{env, GE1} + C_{f b1} + C_{OMb1} + C_{env, b1} = \\ &= (13,351441 + 2,379 + 4,898440 + 2,204865 + 0,202335 + 0,5774294) \cdot 10^6 = \\ &= 23,613510 \cdot 10^6 \text{ €} \end{aligned}$$

Η καθαρή παρούσα αξία του ολικού κόστους C_t δίνεται από την Εξ. (4.4.1.8).

Πίνακας 4.6.2.2 Χρηματοροές για το σύστημα Γ συμπεριλαμβανομένου του περιβαλλοντικού κόστους (τιμές σε €).

t	C_{OMGE}	C_{fGE}	C_{OMsb}	C_{fsb}	C_t	$C_t/(1+i)^t$	$\Sigma C_t/(1+i)^t$
0					30205534	30205534	30205534
1	2379000	13351441	202335	2204865	23613510	21466827,27	51672361,27
2	2450370	13885499	208405,1	2293060	24313203	20093555,94	71765917,21
3	2523881,1	14440919	214657,2	2384782	25040108	18813003,96	90578921,18
4	2599597,5	15018555	221096,9	2480173	25795292	17618531,82	108197453
5	2677585,5	15619298	227729,8	2579380	26579862	16504003,34	124701456,3
6	2757913	16244069	234561,7	2682555	27394969	15463745,81	140165202,1
7	2840650,4	16893832	241598,6	2789858	28241808	14492513,16	154657715,3
8	2925869,9	17569586	248846,5	2901452	29121623	13585452,19	168243167,5
9	3013646	18272369	256311,9	3017510	30035706	12738071,5	180981239
10	3104055,4	19003264	264001,3	3138210	30985400	11946213,11	192927452,1
11	3197177,1	19763394	271921,3	3263739	31972101	11206026,3	204133478,4
12	3293092,4	20553930	280079	3394288	32997259	10513943,65	214647422,1
13	3391885,1	21376087	288481,3	3530060	34062383	9866659,04	224514081,1
14	3493641,7	22231131	297135,8	3671262	35169040	9261107,381	233775188,5
15	3598451	23120376	306049,8	3818113	36318859	8694446,065	242469634,5
16	3706404,5	24045191	315231,3	3970837	37513533	8164037,872	250633672,4
17	3817596,6	25006999	324688,3	4129671	38754824	7667435,261	258301107,7
18	3932124,5	26007279	334428,9	4294858	40044559	7202365,926	265503473,6
19	4050088,3	27047570	344461,8	4466652	41384641	6766719,511	272270193,1
20	4171590,9	28129472	354795,6	4645318	42777046	6358535,377	278628728,5

Η καθαρή παρούσα αξία του κόστους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των 20 ετών, από τους υπολογισμούς που φαίνονται στον Πίνακα 4.6.2.2 προκύπτει:

$$NPC_{env} = 278.628.728,5 \text{ €}.$$

4.7 Δείκτες Βιωσιμότητας Ενεργειακών Συστημάτων

4.7.1 Επιλογή των δεικτών βιωσιμότητας και απόλυτες τιμές αυτών

Για το κάθε ένα από τα τρία εναλλακτικά συστήματα που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες θεωρούνται τρεις κατηγορίες δεικτών: θερμοδυναμικοί (ενεργειακοί και εξεργειακοί), περιβαλλοντικοί και οικονομικοί (έγινε προσπάθεια θεώρησης και κοινωνικών δεικτών, η οποία δεν ευοδώθηκε ελλείψει πηγών με σχετικά δεδομένα).

Θερμοδυναμικοί δείκτες:

Οι θερμοδυναμικοί δείκτες οι οποίοι εντάσσονται σε δύο κατηγορίες, τους ενεργειακούς και τους εξεργειακούς, είναι οι εξής: ηλεκτρικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης η_e , ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης η_{tot} , ηλεκτρικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης ζ_e , ολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης ζ_{tot} . Οι τιμές τους έχουν υπολογιστεί στις προηγούμενες ενότητες.

Περιβαλλοντικοί δείκτες:

Ορίζεται ένας περιβαλλοντικός δείκτης για κάθε ρύπο. Για τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών δεικτών εφαρμόζεται η σχέση:

$$EI_i = (EI)_\delta + (EI)_b + (EI)_\Sigma \quad (4.7.1.1)$$

όπου EI_i ο περιβαλλοντικός δείκτης (EI: Environmental Index) για κάθε ρύπο σε καθεμία από τις τρεις περιπτώσεις, EI_δ οι εκπομπές ρύπων του δικτύου, EI_b οι εκπομπές ρύπων του λέβητα και EI_Σ οι εκπομπές ρύπων του συστήματος συμπαραγωγής.

Πίνακας 4.7.1.1 Ποσότητα ρύπων στις τρεις περιπτώσεις (σε kg/έτος).

	Περίπτωση Α	Περίπτωση Β	Περίπτωση Γ
NO _x	209856,8	319209	483574,1
CO	74814,7	19388	1124668,8
UHC	0	14923	673199
PM ₁₀	13963	10441	8485,8
CO ₂	182559976,6	120547231	118790310
SO _x	0	0	15035

Οικονομικοί δείκτες:

Η παρούσα αξία του κόστους για ανάλυση χωρίς το περιβαλλοντικό κόστος, NPC, και η παρούσα αξία του κόστους για ανάλυση συμπεριλαμβανομένου του περιβαλλοντικού κόστους, NPC_{env}, οι οποίες αποτελούν τους οικονομικούς δείκτες, έχουν υπολογιστεί στις προηγούμενες ενότητες.

Οι τιμές των διαφόρων δεικτών παρουσιάζονται συγκεντρωμένες στον Πίνακα 4.7.1.2.

Πίνακας 4.7.1.2 Οι δείκτες για τις τρεις περιπτώσεις.

<i>i</i>	Δείκτες	Περίπτωση Α	Περίπτωση Β	Περίπτωση Γ
1	η_e	0,38	0,3761	0,47
2	η_{tot}	0,56	0,8483	0,86
3	ζ_e	0,36	0,36	0,451
4	ζ_{tot}	0,337	0,513	0,522
5	EI_{NO_x} (kg/έτος)	209.856,8	319.209	483.574,1
6	EI_{CO} (kg/ έτος)	74.814,7	19.388	1.124.668,8
7	EI_{UHC} (kg/ έτος)	0	14.923	673.199
8	$EI_{PM_{10}}$ (kg/ έτος)	13.963	10.441	8.485,8
9	EI_{CO_2} (kg/ έτος)	182.559.976,6	120.547.231	118.790.310
10	EI_{SO_x} (kg/ έτος)	0	0	15.035
11	NPC (€)	319.384.905,1	181.429.678	232.009.565,8
12	NPC_{env} (€)	357.593.745	211.828.489,5	278.628.728,5

4.7.2 Κανονικοποιημένες τιμές των δεικτών και σύνθετοι δείκτες βιωσιμότητας (μεθόδου ASPID)

Στο σημείο αυτό, εφαρμόζεται η μέθοδος Aspid [Afgan and Carvalho (2000)], από την οποία προκύπτει το γενικό κριτήριο βιωσιμότητας. Συμβολίζεται με \tilde{x} το διάνυσμα των δεικτών:

$$\tilde{x} = x_1, \dots, x_i, \dots, x_I$$

Για τις περιπτώσεις του Πίνακα 4.7.1.2 είναι $I = 12$.

Στη συνέχεια ακολουθεί κανονικοποίηση των δεικτών, οπότε προκύπτει το διάνυσμα $q = (q_1, \dots, q_I)$, $0 \leq q_i \leq 1$, όπου $q_i = q_i(x_i)$, $i = 1, \dots, I$, με τον ακόλουθο τρόπο.

Τα q_1, q_2, q_3, q_4 υπολογίζονται με τη σχέση:

$$q_i(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{if } x_i \leq MIN_i, \\ \left(\frac{x_i - MIN_i}{MAX_i - MIN_i} \right) & \text{if } MIN_i < x_i \leq MAX_i, \\ 1 & \text{if } x_i > MAX_i. \end{cases} \quad (4.7.2.1)$$

επειδή το προτιμητέο από την άποψη του κριτηρίου i αυξάνεται με αυξανόμενο το x_i .

Για τα $q_5, q_6, q_7, q_8, q_9, q_{10}, q_{11}, q_{12}$ χρησιμοποιείται η σχέση:

$$q_i(x_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_i \leq MIN_i, \\ \left(\frac{MAX_i - x_i}{MAX_i - MIN_i} \right) & \text{if } MIN_i < x_i \leq MAX_i, \\ 0 & \text{if } x_i > MAX_i. \end{cases} \quad (4.7.2.2)$$

επειδή το προτιμητέο από την άποψη του κριτηρίου i μειώνεται με αυξανόμενο το x_i .

Ορίζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές που αναμένεται να πάρουν οι δείκτες, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός των κανονικοποιημένων δεικτών. Για τον ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης θεωρείται μέγιστη τιμή ο βαθμός απόδοσης του κύκλου Carnot με μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία αυτές του συστήματος συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο [Φραγκόπουλος (2005)]:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_y}{T_\theta} = 1 - \frac{298,15}{1486,7} = 0,80 \quad (4.7.2.3)$$

Η τιμή αυτή υιοθετείται και για τα υπόλοιπα συστήματα. Για τους υπόλοιπους ενεργειακούς βαθμούς απόδοσης και για τους εξεργειακούς βαθμούς απόδοσης θεωρείται μέγιστη τιμή η μονάδα, και για όλους τους θερμοδυναμικούς βαθμούς απόδοσης, ενεργειακούς και εξεργειακούς, θεωρείται ελάχιστη τιμή το μηδέν. Για τους περιβαλλοντικούς και τον οικονομικό δείκτη συγκρίνονται οι τιμές δεικτών των τριών περιπτώσεων μεταξύ τους και με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές.

Πίνακας 4.7.2.1 Συγκεντρωτικός πίνακας μέγιστων και ελάχιστων τιμών των δεικτών.

i		Περίπτωση Α		Περίπτωση Β		Περίπτωση Γ	
		MIN_i	MAX_i	MIN_i	MAX_i	MIN_i	MAX_i
1	η_e	0	0,80	0	0,80	0	0,80
2	η_{tot}	0	1	0	1	0	1
3	ζ_e	0	1	0	1	0	1
4	ζ_{tot}	0	1	0	1	0	1
5	EI_{NO_x} (kg/έτος)	209.856,8	483.574,1	209.856,8	483.574,1	209.856,8	483.574,1
6	EI_{CO} (kg/έτος)	19.388	1.124.668,8	19.388	1.124.668,8	19.388	1.124.668,8
7	EI_{UHC} (kg/έτος)	0	673.199	0	673.199	0	673.199
8	$EI_{PM_{10}}$ (kg/έτος)	8.485,8	13.963	8.485,8	13.963	8.485,8	13.963
9	EI_{CO_2} (kg/έτος)	118.790.310	182.559.976,6	118.790.310	182.559.976,6	118.790.310	182.559.976,6
10	EI_{SO_x} (kg/έτος)	0	15.035	0	15.035	0	15.035
11	NPC (€)	181.429.678	319.384.905,1	181.429.678	319.384.905,1	181.429.678	319.384.905,1
12	NPC_{env} (€)	211.828.489,5	357.593.745	211.828.489,5	357.593.745	211.828.489,5	357.593.745

Τελικά, από τις εξισώσεις (4.7.2.1) και (4.7.2.2) προκύπτουν οι τιμές των κανονικοποιημένων δεικτών, οι οποίες δίνονται στον Πίνακα 4.7.2.2.

Πίνακας 4.7.2.2 Κανονικοποιημένοι δείκτες.

		Περίπτωση Α	Περίπτωση Β	Περίπτωση Γ
q ₁	η_e	0,475	0,4701	0,5875
q ₂	η_{tot}	0,56	0,8483	0,86
q ₃	ζ_e	0,36	0,36	0,451
q ₄	ζ_{tot}	0,337	0,513	0,522
q ₅	EI_{NO_x}	1	0,6005	0
q ₆	EI_{CO}	0,9498	1	0
q ₇	EI_{UHC}	1	0,9778	0
q ₈	$EI_{PM_{10}}$	0	0,6430	1
q ₉	EI_{CO_2}	0	0,9724	1
q ₁₀	EI_{SO_x}	1	1	0
q ₁₁	NPC	0	1	0,6327
q ₁₂	NPC_{env}	0	1	0,5417

Οι κανονικοποιημένοι δείκτες ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες και έτσι προκύπτουν τρεις σύνθετοι δείκτες βιωσιμότητας:

$$\text{Σύνθετος θερμοδυναμικός δείκτης: } CI_{th} = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_4}{4} \quad (4.7.2.4)$$

$$\text{Σύνθετος περιβαλλοντικός δείκτης: } CI_{env} = \frac{q_5 + q_6 + q_7 + q_8 + q_9 + q_{10}}{6} \quad (4.7.2.5)$$

$$\text{Σύνθετος οικονομικός δείκτης: } CI_{ec} = \frac{q_{11} + q_{12}}{2} \quad (4.7.2.6)$$

Πίνακας 4.7.2.3 Σύνθετοι δείκτες βιωσιμότητας.

j		Περίπτωση Α	Περίπτωση Β	Περίπτωση Γ
1	CI_{th}	0,433	0,548	0,605
2	CI_{env}	0,658	0,866	0,333
3	CI_{ec}	0	1	0,587

$$\text{Το κριτήριο βιωσιμότητας δίνεται από τη σχέση: } Q(CI, w) = \sum_{j=1}^J w_j \cdot CI_j \quad (4.7.2.7)$$

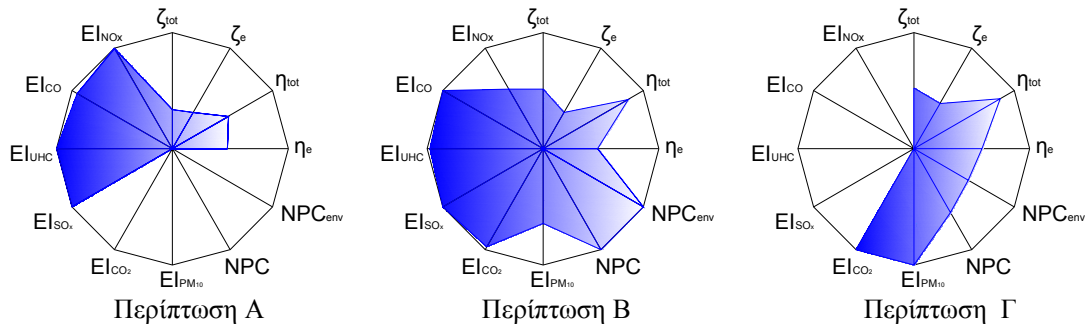
όπου w_i είναι οι συντελεστές βαρύτητας των σύνθετων δεικτών βιωσιμότητας. Ο καθορισμός των τιμών των w_i είναι υποκειμενικός και εξαρτάται από τον εκάστοτε μελετητή.

Στη συνέχεια, θεωρούνται ορισμένες περιπτώσεις-παραδείγματα.

- Ίση βαρύτητα των τριών σύνθετων δεικτών: $w_1 = w_2 = w_3 = 0,333$.
 - Περίπτωση Α: $Q = 0,333 \cdot 0,433 + 0,333 \cdot 0,658 + 0,333 \cdot 0 = 0,364$
 - Περίπτωση Β: $Q = 0,333 \cdot 0,548 + 0,333 \cdot 0,866 + 0,333 \cdot 1 = 0,805$
 - Περίπτωση Γ: $Q = 0,333 \cdot 0,605 + 0,333 \cdot 0,333 + 0,333 \cdot 0,587 = 0,508$
- Μηδενική βαρύτητα του σύνθετου θερμοδυναμικού δείκτη και ίση των υπόλοιπων δύο: $w_1 = 0$ και $w_2 = w_3 = 0,5$.
 - Περίπτωση Α: $Q = 0 \cdot 0,433 + 0,5 \cdot 0,658 + 0,5 \cdot 0 = 0,329$
 - Περίπτωση Β: $Q = 0 \cdot 0,548 + 0,5 \cdot 0,866 + 0,5 \cdot 1 = 0,933$
 - Περίπτωση Γ: $Q = 0 \cdot 0,605 + 0,5 \cdot 0,333 + 0,5 \cdot 0,587 = 0,4605$
- Μηδενική βαρύτητα του σύνθετου περιβαλλοντικού δείκτη και ίση των υπόλοιπων δύο: $w_1 = w_3 = 0,5$ και $w_2 = 0$.
 - Περίπτωση Α: $Q = 0,5 \cdot 0,433 + 0 \cdot 0,658 + 0,5 \cdot 0 = 0,217$
 - Περίπτωση Β: $Q = 0,5 \cdot 0,548 + 0 \cdot 0,866 + 0,5 \cdot 1 = 0,774$
 - Περίπτωση Γ: $Q = 0,5 \cdot 0,605 + 0 \cdot 0,333 + 0,5 \cdot 0,587 = 0,596$
- Μηδενική βαρύτητα του σύνθετου οικονομικού δείκτη και ίση των υπόλοιπων δύο: $w_1 = w_2 = 0,5$ και $w_3 = 0$.
 - Περίπτωση Α: $Q = 0,5 \cdot 0,433 + 0,5 \cdot 0,658 + 0 \cdot 0 = 0,546$
 - Περίπτωση Β: $Q = 0,5 \cdot 0,548 + 0,5 \cdot 0,866 + 0 \cdot 1 = 0,707$
 - Περίπτωση Γ: $Q = 0,5 \cdot 0,605 + 0,5 \cdot 0,333 + 0 \cdot 0,587 = 0,469$

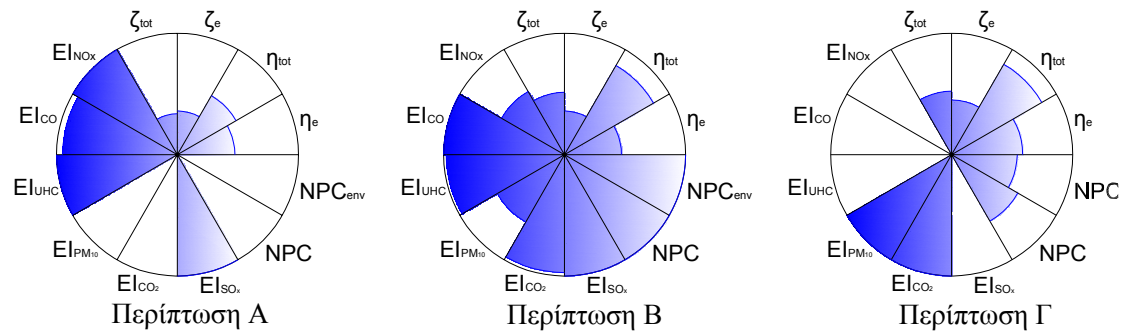
4.7.3 Σχηματική απεικόνιση των δεικτών βιωσιμότητας (Μέθοδος των Κυκλικών Τομέων)

Με το σχήμα της αμοιβάδας [Krajnc και Glavič (2005)] απεικονίζονται οι δείκτες βιωσιμότητας μέσω ενός πολυγώνου το οποίο σχηματίζεται ως εξής: Σχεδιάζεται κύκλος ακτίνας ίσης με 1, στον οποίο φέρονται τόσες ακτίνες όσοι είναι και οι δείκτες, σε ίσες γωνιακές αποστάσεις μεταξύ των. Σε κάθε σημείο σημειώνεται το σημείο του οποίου η απόσταση από το κέντρο είναι ίση με την κανονικοποιημένη τιμή του αντίστοιχου δείκτη. Τα σημεία αυτά αποτελούν τις κορυφές του πολυγώνου.



Σχήμα 4.7.3.1 Το σχήμα της αμοιβάδας για τις περιπτώσεις A, B και Γ.

Για την εφαρμογή της μεθόδου των κυκλικών τομέων, για κάθε περίπτωση, αρχικά, σχεδιάζεται κύκλος με ακτίνα ίση με τη μονάδα. Επιπλέον, σε αυτόν τον κύκλο σχεδιάζονται κυκλικοί τομείς, τόσοι όσοι οι δείκτες, με ακτίνα την κανονικοποιημένη τιμή κάθε δείκτη. Με τη μέθοδο αυτή, λοιπόν, υπολογίζεται το κριτήριο βιωσιμότητας για κάθε περίπτωση ως ο λόγος των εμβαδών του σχήματος που σχηματίζεται από τους κυκλικούς τομείς με ακτίνα την κανονικοποιημένη τιμή κάθε δείκτη και του κύκλου με ακτίνα ίση με τη μονάδα.



Σχήμα 4.7.3.2 Σχηματική απεικόνιση των κριτηρίων βιωσιμότητας για τις περιπτώσεις A, B και Γ με τη μέθοδο των κυκλικών τομέων.

Ακολουθεί υπολογισμός του κριτηρίου βιωσιμότητας με χρήση των κανονικοποιημένων δεικτών βιωσιμότητας οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7.2.2.

$$\text{Εμβαδόν κύκλου με ακτίνα } r = 1: E_{\max} = \pi \cdot r^2 = \pi \quad (4.7.3.1)$$

$$\text{Εμβαδόν κυκλικού τομέα με ακτίνα } q_i: E_i = \frac{\pi \cdot q_i^2}{N}, N = 12 \quad (4.7.3.2)$$

$$\text{Άθροισμα των εμβαδών των } N \text{ κυκλικών τομέων: } E = \sum_i E_i = \frac{\pi}{N} \cdot \sum_i q_i^2 \quad (4.7.3.3)$$

Πίνακας 4.7.3.1 Εμβαδά κυκλικών τομέων με ακτίνα q_i .

		Περίπτωση Α	Περίπτωση Β	Περίπτωση Γ
E ₁	η_e	0,050604	0,049566	0,077414
E ₂	η_{tot}	0,070336	0,161399	0,165882
E ₃	ζ_e	0,029067	0,029067	0,045620
E ₄	ζ_{tot}	0,02547	0,059025	0,06111
E ₅	EI_{NO_x}	0,224285	0,080878	0
E ₆	EI_{CO}	0,202333	0,22144	0
E ₇	EI_{UHC}	0,224285	0	0
E ₈	$EI_{PM_{10}}$	0	0,092731	0,224285
E ₉	EI_{CO_2}	0	0,212076	0,224285
E ₁₀	EI_{SO_x}	0,224285	0,224285	0
E ₁₁	NPC	0	0,224	0,089784
E ₁₂	NPC_{env}	0	0,224	0,065814
Άθροισμα:		1,048182	1,57847	0,959463

$$\text{Κριτήριο βιωσιμότητας: } Q \equiv \frac{E}{E_{\max}} = \frac{1}{N} \cdot \sum_i q_i^2 \quad (4.7.3.4)$$

Πίνακας 4.7.3.2 Κριτήρια βιωσιμότητας για τις τρεις περιπτώσεις.

	Q
Περίπτωση Α	0,3338
Περίπτωση Β	0,502697
Περίπτωση Γ	0,305562

Αξίζει να σημειωθεί ότι το σχήμα της αμοιβάδας καθώς και το σχήμα που παράγεται με τη μέθοδο των κυκλικών τομέων βοηθούν στην κατάδειξη της συμβολής στη βιωσιμότητα του κάθε δείκτη ξεχωριστά. Επιπλέον, η εικόνα του σχήματος της αμοιβάδας μεταβάλλεται ανάλογα με τη σειρά με την οποία τοποθετούνται οι δείκτες πάνω στο σχήμα.

Τέλος, με τη μέθοδο των κυκλικών τομέων μπορούν να απεικονιστούν σχηματικά και οι σύνθετοι δείκτες βιωσιμότητας, των οποίων οι τιμές φαίνονται στον Πίνακα 4.7.2.3.

Σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόζονται οι εξής εξισώσεις:

$$\text{Εμβαδόν κυκλικού τομέα με ακτίνα } CI_j: E_j = \frac{\pi \cdot CI_j^2}{N}, N = 3 \quad (4.7.3.5)$$

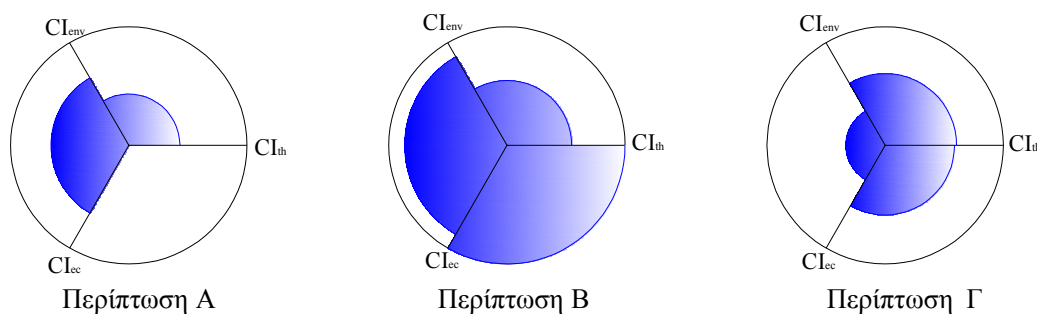
$$\text{Άθροισμα των εμβαδών των } N \text{ κυκλικών τομέων: } E = \sum_j E_j = \frac{\pi}{N} \cdot \sum_j CI_j^2 \quad (4.7.3.6)$$

Τα αποτελέσματα για κάθε σύστημα είναι τα εξής:

$$E_1 = 0,2068$$

$$E_2 = 0,6834$$

$$E_3 = 0,2739$$



Σχήμα 4.7.3.3 Σχηματική απεικόνιση των σύνθετων δεικτών βιωσιμότητας για τις περιπτώσεις Α, Β και Γ με τη μέθοδο των κυκλικών τομέων.

4.8 Σύγκριση Μεταξύ Συστημάτων και Συμπεράσματα

Στις Ενότητες 4.6.2 και 4.6.3 χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές μέθοδοι, η μέθοδος ASPID και η μέθοδος των κυκλικών τομέων, για την εξαγωγή του κριτηρίου βιωσιμότητας.

Πίνακας 4.8.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων (για τη μέθοδο ASPID θεωρούμε την περίπτωση ίσης βαρύτητας των σύνθετων δεικτών) και του μέσου όρου των κανονικοποιημένων τιμών των δεικτών.

	Q		
	Μέθοδος ASPID	Μέθοδος Κυκλικών Τομέων	Μέσος Όρος Κανονικοποιημένων Δεικτών
Περίπτωση Α	0,364	0,334	0,473
Περίπτωση Β	0,805	0,503	0,782
Περίπτωση Γ	0,508	0,306	0,466

Παρατηρούμε ότι και από τις δύο μεθόδους προκύπτει ως βιωσιμότερη λύση αυτή της περίπτωσης Β, δηλαδή το σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο. Αντίθετα, οι δύο μέθοδοι δεν συμφωνούν στην λιγότερο βιώσιμη λύση. Από τη μέθοδο ASPID λιγότερο βιώσιμη προκύπτει η λύση της περίπτωσης Α, ενώ από τη μέθοδο των κυκλικών τομέων αυτή της περίπτωσης Γ. Η σχέση των μέσων όρων των κανονικοποιημένων τιμών των δεικτών συμφωνεί με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μέθοδο των κυκλικών τομέων. Η μέθοδος ASPID δίνει τέτοια αποτελέσματα γιατί ανάμεσα στους δείκτες και το κριτήριο βιωσιμότητας μεσολαβεί ο υπολογισμός των σύνθετων δεικτών βιωσιμότητας. Κατά συνέπεια, μειώνεται η βαρύτητα της επίδρασης των δεικτών βιωσιμότητας στο κριτήριο βιωσιμότητας σε σχέση με την επίδρασή τους στο κριτήριο αυτό στην εφαρμογή της μεθόδου των εμβαδών. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει, το γεγονός ότι η μείωση αυτή της βαρύτητας δεν είναι ισότιμη σε όλους τους δείκτες, αφού τα σύνολα στα οποία

ομαδοποιούνται για να προκύψουν οι σύνθετοι δείκτες βιωσιμότητας δεν είναι ίσου πλήθους επιμέρους δεικτών.

5 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Μέσα από αυτή την εργασία, προκύπτει τελικά σα γενικό συμπέρασμα το γεγονός ότι μια τέτοια αντιμετώπιση δίνει πλήρη εικόνα για το πώς συμπεριφέρεται ένα σύστημα και το πώς συγκρίνονται διαφορετικά συστήματα μεταξύ τους.

Κατά τη συλλογή δεδομένων για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, υπήρξαν δυσκολίες στην κοινωνική προσέγγιση των ενεργειακών συστημάτων, οπότε κατέστη αδύνατος ο ορισμός κοινωνικών δεικτών. Για παράδειγμα, δεν μπόρεσαν να βρεθούν πληροφορίες όπως ο αριθμός πληρωμένων ωρών ανά kWh που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος, το ποσό του κεφαλαίου ανά kWh που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος, ο αριθμός της αντίστοιχης οντότητας ανά kWh που παράγεται στη διάρκεια ζωής του συστήματος και γενικά τη στάση μιας επιχείρησης απέναντι στους υπαλλήλους της, τους προμηθευτές της, τους πελάτες της και τον αντίκτυπό της στην κοινωνία. Θα ήταν ενδιαφέρουσα η συλλογή αυτών των δεδομένων για να μπορέσουν να οριστούν κοινωνικοί δείκτες σε επόμενη πληρέστερη εργασία. Γενικότερα, ανάλογα με τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα για κάθε ενεργειακό σύστημα που εξετάζεται, ο αριθμός των δεικτών κάθε κατηγορίας (θερμοδυναμικοί, περιβαλλοντικοί, οικονομικοί) μπορεί να μεταβάλλεται.

Επιπλέον θα μπορούσαν να εφαρμοστούν οι μέθοδοι που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία σε διάφορα συστήματα, για την εξαγωγή κριτηρίου βιωσιμότητας για το καθένα από αυτά και τη μεταξύ τους σύγκριση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Φραγκόπουλος Χ. Α. (2005), "Ανάλυση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.

Φραγκόπουλος Χ. Α., Καρυδογιάννης Η. Π., Καραλής Γ. Κ. (1994), "Συμπαραγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού", Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας.

Υπ. Αν. (2008), "Εκτίμηση του Δυναμικού Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας στην Ελλάδα", Υπουργείο Ανάπτυξης.

Ξένη Βιβλιογραφία

AccountAbility, (2004), The Accountability Rating 2004-Encoding Accountability.

Afgan N. H., Carvalho M. (2000), "*Sustainable Assessment Method for Energy Systems*", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Agee M.D. and T.D. Crocker (1996), "Parents' Discount Rates for Child Quality". *Southern Economic Journal* Vol.63 1, pp. 36–50.

Agee M.D and T.D. Crocker., "Parents' Discount Rate and the Intergenerational Transmission of Cognitive Skills", *Economica* Vol. 69 273 (2002), pp. 143–154.

AIChE, 2004, Center for Waste Reduction Technologies (CWRT), Focus Area Sustainability Metrics.

Alamansa S. C., Calatrava R. J. (2007), "Reconciling Sustainability and Discounting in Cost-Benefit Analysis: A Methodological Proposal", *Ecological Economics*, Vol. 60, pp. 712-725.

Almansa, C. (2006), "Valoración Económica del Impacto Ambiental en el Contexto del Análisis Coste-Beneficio: Aplicación al Proyecto de Restauración Hidrológico Forestal de Lubrin (Almeria)", PhD Thesis, Universidad Politécnica de Valencia (Spain).

Almansa C. and Calatrava J. (2000), "Ethical and Methodological Flaws of the Inclusion of Environmental Effects in Cost–Benefit Analysis: Reflections on the Hydrologic–Forestry Restoration Project of the Basin of Lubrín (Almería) Spain", *3er International Conference of the European Society for Ecological Economics*, May 3–6, Vienna.

Almansa C. and Calatrava J. (2002), "Discounting Environmental Effects in Cost–Benefit Analysis: Reflections on Various Methodological Alternatives", *Xth European Association of Agricultural Economists (EAAE) Congress*, August 28–31, Zaragoza, Spain.

- Almansa C. and Calatrava J. (2002), "Do Many People Really Understand the Hypothetical Market of Contingent Valuation Surveys? An Analysis of the Validity of WTP Responses", *7rd Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics, Sousse (Tunisia)*.
- Arrow K.J. (1966), "Discounting and Public Investment Criteria". In: A.V. Kneese and S.C. Smith, Editors, *Water Research*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp. 13–32.
- Arrow K., B. Boling, R. Costanza, P. Dasgupta, C. Folke, S. Holling, B.O. Jansson, S. Levin, K.G. Mäler, C. Perrings and D. Pimentel (1995), "Economic Growth, Carrying Capacity and the Environment", *Science* Vol. 268, pp. 520–521.
- Arrow K.J., Cline W.R., Maeler K.G., Munasinghe M., Squitieri R. and Stiglitz J.E. (1996), "Intertemporal Equity, Discounting and Economic Efficiency", In: J.P. Bruce, L. Hoesung and E.F. Haites, Editors, *Second Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge.
- ASCE (2004), "*Sustainable Engineering Practice. An Introduction*", sponsored by Committee on Sustainability of Technical Activities, Baltimore.
- Azapagic A. (2003), "Systems Approach to Corporate Sustainability—a General Management Framework", *Trans. IChemE* Vol. 81, Part B, pp. 303–316.
- Azapagic A. (2004), "Developing a Framework for Sustainable Development Indicators for the Mining and Minerals Industry", *J. Clean. Prod.* Vol.12, pp.639–662.
- Azapagic and Perdan (2000), "Indicators of Sustainable Development for Industry: a General Framework", *Trans. IChemE (Proc. Safety Envir. Prot.) Part B* Vol. 78 (B4), pp. 243–261.
- Azar C. and Sterner T. (1996), "Discounting and Distributional Considerations in the Context of Global Warming", *Ecological Economics* Vol.19, pp. 169–184.
- Azqueta D. (1996), "Valoración Económica de la Calidad Ambiental", McGraw Hill, Madrid.
- Barbier E.B., Markandya A. and Pearce D.W. (1990), "Environmental Sustainability and Cost–Benefit Analysis", *Environment and Planning* Vol. 22, pp. 1259–1266.
- Beckerman W. (1974), "*In Defence of Economic Growth*", Jonathan Cape, London.
- Beckerman W. (1992), "Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment?", *World Development* Vol. 20, pp. 481–496.
- Bellinger W.K. (1991), "Multigenerational Value: Modifying the Modified Discount Method", *Project Appraisal* Vol. 6, pp. 101–108.

- Benzion U., Rapoport A. and Yagil J. (1989), "Discount rates inferred from decisions: an experimental study", *Management Science* Vol. 35, pp. 270–284.
- BP, (2003), "Defining our Path—Sustainability Report 2003".
- Braat L. (1991), "The Predictive Meaning of Sustainability Indicators", In: Kuik O. and Verbruggen H., Editors, *In search of indicators of sustainable development*, Kluwer, Dordrecht, pp. 57–70.
- Bromley D. (1990), "The Ideology of Efficiency: Searching for a Theory of Policy Analysis", *Journal of Environmental and Economics Management* Vol. 19, pp. 86–107.
- Broome J. (1992), "Counting the Cost of Global Warming", White Horse Press, Cambridge.
- Brouwer R. and Van Ek R. (2004), "Integrated Ecological, Economic and Social Impact Assessment of Alternative Flood Control Policies in The Netherlands", *Ecological Economics* Vol. 50 (1–2), pp. 1–2.
- Cabeza M. (1996), "The Concept of Weak Sustainability", *Ecological Economics* Vol. 17, pp. 147–156.
- Carpenter, S., (1997), "Desarrollo y Sostenibilidad fuerte", In: Universitat Politècnica de Catalunya (Editors), *Tecnología, Desarrollo Sostenible y Desequilibrios*. Icaria, Barcelona.
- Center for Waste Reduction Technologies (CWRT), Focus Area Sustainability Metrics.
- Ciriacy-Wantrup S.V. (1942), "Private Enterprise and Conservation", *Journal of Farm Economy*, pp. 24.
- Coase R.H. (1960), "The Problem of Social Cost", *Journal of Law and Economics* Vol. 3, pp. 7–44.
- Common M. (1995), "Economists Don't Read Science", *Ecological Economics* Vol. 15, pp. 101–103.
- Cropper M.L., Aydede S.K. and Portney P.R. (1992), "Rates of Time Preference for Saving Lives", *American Economic Review* Vol. 82 (2), pp. 469–473.
- Cropper M.L., Aydade S.K. and Portner P.R. (1994), "Preferences for Live-Saving Programs: How the Public Discount Time and Age", *Journal of Risk and Uncertainty* Vol. 8 (3), pp. 243–246.
- Dasgupta P., Mäler K.G. and Barrett S. (1999), "Intergenerational equity, social discount rates, and global warming". In: P.R. Portney and J.P. Weyant,

Editors, *Discounting and Intergenerational Equity*, Resources for the Future, Washington.

De Marchi B., Funtowicz S.O., Cascio S. Lo and Munda G. (2000), "Combining Participative and Institutional Approaches with Multicriteria Evaluation: an Empirical Study for Water Issues for Troina, Sicily", *Ecological Economics* Vol. 34, pp. 267–282

De Simón Navarrete E. (1993), "La Restauración Hidrológico–Forestal en las Cuencas Hidrográficas de la Vertiente Mediterránea". *Informaciones Técnicas* 22/93, *Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, Sevilla*.

Declaration of the Council of Academies of Engineering and Technological Science.

DJSI — Dow Jones Sustainability Indexes, (2003), Corporate Sustainability Sector Overview—DJSI Industry Group Oil, Gas and Coal Companies.

Eckstein O. (1957), "Investment Criteria for Economic Development and the Theory of Intertemporal Welfare Economics", *Quarterly Journal of Economics* Vol. 71, pp. 56–85.

Ekins P. (1997), "The Kuznets Curve for the Environment and Economic Growth: Examining the Evidence", *Environment and Planning A* Vol. 29, pp. 805–830.

European Commission, DGXII, (Joule Programme), "Externalities of Energy", "ExternE" Project, Report on Climate Change Damage Assessment (1998).

Faucheux S. and O'Connor (1998), "Valuation for Sustainable Development, Methods and Policy Indicators", *Advances in Ecological Economics*, Edward Elgar .

Fearnside P.M. (2002), "Time Preference in Global Warming Calculations: a Proposal for a Unified Index", *Ecological Economics* Vol. 41, pp. 21–32.

Fisher A.C. and Krutilla J.V. (1985), "Economics of Nature Preservation". In: A.V. Kneese and W.D. Sweeney, Editors, *Handbook of Natural Resources and Energy Economics, vol. 1. North Holland Handbook in Economics, Amsterdam*.

Frangopoulos C. A. (1994), "Application of the Thermo-economic Functional Approach to the CGAM Problem" *Energy*, Vol. 19, No. 3, pp. 323-342.

Frederick S., Loewenstein G. and O'Donoghue T. (2002), "Time Discounting and Time Preference: a Critical Review", *Journal of Economic Literature* Vol. 40 (2), pp. 351–401.

Funtowicz S.O. and Ravetz J.R. (1994), "The Worth of a Songbird: Ecological Economics as a Post-normal Science", *Ecological Economics* Vol.10, pp. 197–207.

- Gintis H. (2000), "Beyond Homo Economicus: Evidence from Experimental Economics", *Ecological Economics* Vol. 35, pp. 311–322.
- Goulder L.H. and Kennedy D. (1997), "Valuing Ecosystem Services: Philosophical Bases and Empirical Methods". In: G.C. Daily, Editor, *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Island Press, Washington, DC, pp. 23–47.
- GRI — Global Reporting Initiative, (2002a), "The Global Reporting Initiative—An Overview", Global Reporting Initiative, Boston, USA.
- GRI — Global Reporting Initiative, (2002b), "Sustainability Reporting Guidelines 2002 on Economic, Environmental and Social Performance", Global Reporting Initiative, Boston, USA.
- Groom B., Koundour P., Panopoulou E. and Pantalidis T. (2004), "Model Selection for Estimating Certainty Equivalent Discount Rates", University College London Discussion Paper 04-02.
- Gulli F. (2006), "Social Choice, Uncertainty about External Costs and Trade-off Between Intergenerational Environmental Impacts: the Emblematic Case of Gas-based Energy Supply Decentralization", *Ecological Economics* Vol.57 (2), pp. 282–305.
- Guo J., Hepburn C.J., Tol R.S.J. and Antoff D. (2006), "Discounting and the social Cost of Carbon: a Closer Look at Uncertainty", *Environmental Science and Policy* Vol. 9, pp. 205–216.
- Hafeez K., Zhang Y. and Malak N. (2002), "Determining Key Capabilities of a Firm Using Analytic Hierarchy Process", *Int. J. Prod. Econ.* Vol. 76, pp. 39–51.
- Hanemann W.M. (1994), "Valuing the environment through contingent valuation", *Journal of Economics Perspectives* Vol. 8, pp. 19–43.
- Harrod R., "Towards a Dynamic Economy", St. Martin 's Press, London, UK (1948).
- Hasselmann K. (1999), "Intertemporal accounting of Climate Change: Harmonizing Economic Efficiency and Climate Stewardship", *Climate Change* Vol. 41, pp. 333–350.
- Hasselmann K., Hasselmann S., Giering R., Ocana V. y and Storch H. (1997), "Sensitivity Study of Optimal CO₂ Emissions Using a Simplified Structural Integrated Assessment Model (SIAM) ", *Climate Change* Vol. 37, pp. 345–386.
- Hausman J.A. (1979), "Individual Discount Rates and the Purchase and Utilisation of Energy-Using Durables", *The Bell Journal of Economics* Vol. 10, pp. 33–54.
- Hartwick J.M. (1977), "Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources". *American Economic Review* Vol. 67 5, pp. 972–974.

- Heal G. (1998), "Valuing the Future: Economic Theory and Sustainability", Columbia University Press, New York.
- Henderson N. and Bateman I., "Empirical and Public Choice Evidence for Hyperbolic Social Discount Rates and the Implications for Intergenerational Discounting", *Environmental and Resource Economics* Vol. 5 (1995), pp. 413–423.
- Hepburn, C., (2005), "Concerning the future: declining discount rates and intergenerational equity". Doctoral Thesis, Oxford University.
- HM Treasury, "The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government", HM Treasury, London (2003).
- Horowitz J. (1991), "Discounting Monetary Payoffs: an Experimental Analysis". In: S. Kaish, B. Gilad and Greenwich, Editors, *Handbook of Behavioural Economics*, JAI Press, Connecticut.
- Horta M.A. (1998), "Sobre el Interés General de Itoiz y el Canal de Navarra", *Ingeniería del Agua* Vol. 5 (2), pp. 63–74.
- Howarth R.B. (1997), "Sustainability as Opportunity", *Land Economics* Vol. 73 4, pp. 569–579.
- Howe C.W. (1997), "Dimensions of Sustainability: Geographical, Temporal, Institutional and Psychological". *Land Economics* Vol. 73 4, pp. 597–607.
- IChemE, (2002), Sustainable Development Progress Metrics Recommended for use in the Process Industries.
- IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change), "Economic and Social Dimensions of Climate Change", Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge (1995).
- ISO, ISO Standards Handbook ISO 31—quantities and units, International Organization for Standardization, Genève (1993).
- Jenkinson, C.S. (1978), "The Quality of Thomas' Jefferson's Soul", White House Library.
- Johannesson M. and Johannesson P.-O. (1997), "Quality of Life and the WTP for an Increased Life Expectancy at an Advanced Age", *Journal of Public Economic* Vol. 65, pp. 219–228.
- Joubert A.R., Leiman A., de Klerk H.M., Katua S. and Aggenbach J.C. (1997), "Fynbos (fine bush) Vegetation and the Supply of Water: a Comparison of Multi-criteria Decision Analysis", *Ecological Economics* Vol. 22, pp. 123–140.

- Kaufmann R., Davidsdottir B., Garnham S. and Pauly P. (1998), "The Determinants of Atmospheric SO₂ Concentrations: Reconsidering the Environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics* Vol. 25, pp. 209–220.
- Kopp R.J. and Portney P.R. (1999), "Mock Referenda for Intergenerational Decision Making". In: P.R. Portney and J.P. Weyant, Editors, *Discounting and Intergenerational Equity*, Resources for the future, Washington.
- Krajnc D., Glavič P. (2005), "How to Compare Companies on Relevant Dimensions of Sustainability", *Ecological Economics*, Vol. 55, pp. 551-563.
- Krajnc D. and Glavič P. (2003), "Indicators of Sustainable Production", *Clean Technol. Environ. Policy* Vol. 5, pp. 279–288.
- Krajnc D. and Glavič P. (2005), "A Model for Integrated Assessment of Sustainable Development", *Resour. Conserv. Recycl.* Vol. 43, pp. 189–208.
- Kristöm B. and Riera P. (1996), "Is the Income Elasticity of Environmental Improvements Less Than One? ", *Environmental and Resource Economics* Vol. 7, pp. 45–55.
- Krutilla J.V. and Fisher A.C. (1975), "The Economics of Natural Environments", Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Kula E. (1988), *The Economics of Forestry: Modern Theory and Practice*, Croom Helm, London.
- Kula E. (1988), "Future Generations: the Modified Discounting Method", *Project Appraisal* Vol. 3 , pp. 85–88.
- Kuznets S. (1955), "Economic Growth and Income Inequality", *American Economic Review* Vol. 45, pp. 1–28.
- Lesser J.A., D.E. Dodds and R.O. Zerbe (1997), "Environmental Economics and Policy", Addison-Wesley, Reading.
- Lind R.C. (1982), "Discounting for Time and Risk in Energy Policy", John Hopkins University Press, Baltimore.
- Lind R.C. (1997), "Intertemporal Equity, Discounting, and Economic Efficiency in Water Policy Evaluation", *Climate Change* Vol. 37, pp. 41–62.
- Loewenstein G. and Prelec D. (1992), "Anomalies in Intertemporal Choice: Evidence and Interpretation", *Quarterly Journal of Economics* Vol. 107, pp. 573–597.
- Lomborg B. (2001), *The Skeptical Environmentalist*, Cambridge University Press, Cambridge.

- Luckert M.K. and Admowicz W.L., "Empirical Measures of Factors Affecting Social Rates of Discount", *Environmental and Resource Economics* Vol. 3 (1993), pp. 1–21.
- Lumeley S. (1997), "The Environment and the Ethics of Discounting: an Empirical Analysis", *Ecological Economics* Vol. 20, pp. 71–82.
- Marglin S. (1963), "The Social Rate of Discount and the Optimal Rate of Investment", *Quarterly Journal of Economics* Vol. 77 2, pp. 95–111.
- Markandya A. and Pearce D.W. (1988), "Sustainable Future. Natural Environment and the Social Rate of Discount", *Project Appraisal* Vol. 3, pp. 2–12.
- Martínez-Alier J. (1994), "The Environment as a Luxury Good or 'Too Poor To Be Green'", *Ecological Economics* Vol. 13, pp. 1–10.
- Mas-Colell A. (1994), "Elogio del Crecimiento Económico", In: J. Nadal, Editor, *El Mundo que Viene*, Alianza Ed, Madrid.
- Martínez-Alier, J., Roca-Jusmet, J., 2000. "Economía Ecológica y Política Ambiental", PNUMA. Fondo de Cultura Económica, México.
- Martínez-Alier J., Munda G. and O'Neill J. (1998), "Weak Comparability of Values as a Foundation for Ecological Economics", *Ecological Economics* Vol. 2 (3), pp. 277–286.
- Munda G. (1995), Multicriteria "Evaluation in a Fuzzy Environment: Theory and Applications in Ecological Economics", PhysicaVerlag, Heidelberg.
- Munda G. (1996), "Cost Benefit Analysis in Integrated Environmental Assessment: Some Methodological Issues", *Ecological Economics* Vol. 19 (2), pp. 157–168.
- Munda G. (2000), "Multicriteria Methods and Process for Integrated Environmental Assessment". In: E. Oñate *et al.*, Editors, *En: Métodos Numéricos en Ciencias Sociales (MENCIS 2000)*, CIMNE-UPCE, Barcelona.
- Navrud S. (1992), "Pricing the European Environment", Scandinavian University Press, Oslo.
- Neumayer E. (1999), "*Weak versus Strong Sustainability. Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms*", Edward Elgar, Cheltenham.
- Neumayer E. (1999), "Weak Versus Strong Sustainability: Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms", Edward Elgar publishing, Cheltenham.
- Neumayer E. (1999), "Global Warming: Discounting Is Not The Issue But Substitutability Is", *Energy Policy* Vol. 27, pp. 33–43.

- Newell R.G and Pizer W.A. (2003), "Discounting the Distant Future: How Much do Uncertain Rates Increase Valuations? ", *Journal of Environmental Economics and Management* Vol. 46, pp. 52–71.
- Nijkamp P. and Rouwendal J. (1988), "Intergenerational Discount Rates in Long-term Plan Evaluation", *Public Finance* Vol. 43, pp. 195–211.
- Nijkamp P. and Rouwendal J. (1988), "Intergenerational Discount Rates in Long-term Plan Evaluation", *Public Finance* 43 2, pp. 195–211.
- O'Conner M., Faucheux G., Froger, Funtowicz S. and Munda G. (1996), "Emergent Complexity and Procedural Rationality: Postnormal Science for Sustainability". In: R. Costanza, O. Segura and J. Martinez-Alier, Editors, *Getting Down to Earth. Practical Applications of Ecological Economics*, International Society for Ecological Economics and Island Press, Washington D.C. and Covelo, CA, pp. 223–248.
- OECD (1997), "*Environmental policies and employment*".
- OECD — Organization for Economic Co-operation and Development, 2002. An Update of the OECD Composite Leading Indicators, Short-term Economic Statistics Division, Statistics Directorate/OECD.
- O'Neill (1993), "Ecology, Policy and Politics". Human Well-Being and the Natural World, Environmental Philosophies, Routledge.
- Padilla, E., (2001), "Equidad Intergeneracional y Sostenibilidad. Las Generaciones Futuras en la Evaluación de Políticas y Proyectos. PhD Thesis", Universidad Autónoma de Barcelona (Spain).
- Padilla E. and Pascual J. (2002), "La Agregación de Costes y Beneficios en la Evaluación de Proyectos Intergeneracionales: El Valor Actual Neto Multigeneracional", *Hacienda Pública Española/Revista de Economía Pública* Vol. 163 (4), pp. 9–34.
- Padilla E. (2002), "Intergenerational Equity and Sustainability", *Ecological Economics* Vol. 41, pp. 69–83.
- Page T. (1997), "On the Problem of Achieving Efficiency and Equity, Intergenerationally", *Land Economics* Vol. 73 4, pp. 580–596.
- Pasqual J., Souto G. (2003), "Sustainability in Natural Resource Management", *Ecological Economics*, Vol. 46, pp. 47-59.
- Pearce D.W. (1980), "The Social Evidence of Environmental Costs and Benefits", In: T. O'Riordan and K. Turner, Editors, *Progress in Resource Management and Environmental Planning 2*, Wiley, London.
- Pearce D.W., Markandya A. and Barbier E. (1989), "*Blueprint for a Green Economy*", Earthscan, London.

- Pearce D. and Turner R.K. (1990), "Economics of Natural Resources and the Environment", Harvester Weats Leaf, Hertfordshire .
- Pearce D. (1990), Markandya A. and Barbier E.B., "Blueprint for a Green Economy", Earthscan, London.
- Pearce D.W., Groom B., Hepburn C. and Koundouri P. (2003), "Valuing the Future: Recent Advances in Social Discounting", *World Economics* Vol. 4 (2), pp. 121–139.
- Pezzey, J. (1992), "Sustainable Development Concepts: an Economic Analysis", Environment Working Paper No. 2. World Bank, Washington, DC.
- Pezzey J. (1997), "Sustainability Constraints Versus 'Optimality' Versus Intertemporal Concern, and Axioms Versus Data", *Land Economics* Vol. 73 , pp. 448–466.
- Philibert C. (1999), "The Economics of Climate Change and the Theory of Discounting", *Energy Policy* Vol. 27, pp. 913–929.
- Pigou A.C. (1932), "*The Economics of Welfare*", Macmillan, London.
- Pliny the Elder, (1st Century). Natural History XXXVI [4].
- Poper C.A. and Perry G. (1989), "Individual Versus Social Discount Rates in Allocating Depletable Natural Resources Over Time", *Economics Letters* Vol. 29, pp. 257–264.
- Porter R.C. (1982), "The New Approach to Wilderness Preservation Through Benefit–Cost Analysis", *Journal of Environmental Economics and Management* Vol. 9, pp. 63–80.
- Portney P.R. and Weyant J.P. (1999), Editors, "*Discounting and Intergenerational Equity*", Resources for the future, Washington.
- Poulos C. and Whittington D. (2000), "Time Preferences for Life-Saving Programs: Evidence from Six Less Developed Countries", *Environmental Science and Technology* Vol. 34, pp. 1445–1455.
- Price C. (1993), "*Time, Discount and Value*", Blackwell, Oxford.
- Prato T. (1999), "Multiple Attribute Decision Analysis for Ecosystem Management", *Ecological Economics* Vol. 30 (2), pp. 207–222.
- Rabl A. (1996), "Discounting of Long Term Cost: What would Future Generations Prefer Us To Do? ", *Ecological Economics* Vol. 17, pp. 137–145.
- Ramsey F.P. (1928), "A Mathematical Theory of saving", *Economic Journal* Vol. 38, pp. 543–559.

- Rawls J. (1971), "*A Theory of Justice*", Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Report of the United Nation Conference on Environment and Development, (June 1992), Vol. 1, Chapter 7.
- Roca J., Padilla E., Farré M. and Galleto V. (2001), "Economic Growth and Atmospheric Pollution in Spain: Discussing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis", *Ecological Economics* Vol. 39, pp. 85–99.
- Rothman D. (1998), "Environmental Kuznets Curves—Real Progress or Passing the Buck?", *Ecological Economics* Vol. 25, pp. 177–194.
- Saaty T.L. (1995), "Decision Making for Leaders: the Analytic Hierarchy Process in a Complex World", RWS Publications, Pittsburgh.
- Sagoff M., "The Economy of the Earth", Cambridge University Press, Cambridge (1988).
- Sen A.K. (1982), "The Choice of Discount Rates for Social Benefit-Cost Analysis", In: R.C. Lind, Editor, *Discounting for Time and Risk in Energy Policy*, Resources for the Future, Washington, DC, pp. 325–352.
- Shell, (2003), Royal Dutch/Shell Group of Companies Annual Reports 2003.
- Shue H. (1999), "Bequeathing Hazards: Security Rights and Property Rights of Future Humans ". In: M.H.I. Dore and T.D. Mount, Editors, *Global Environmental Economics: Equity and the Limits to Markets*, Blackwell, Oxford.
- Simón Fernández, X.,(1995) "A Sustentabilidade nos Modelos de Desenvolvimento Rural. Umha análise aplicada a Agroecossistemas", Universidad de Vigo (Spain). PhD Thesis.
- Solow R. (1991), "Sustainability: an Economists Perspective". In: R. Dorfman and N.S. Dorfman, Editors, *Economics of the Environment*, W.W Norton and Co, New York (3a edition).
- Solow, R.M. (1974), "Intergenerational Equity and Exhaustible Resources", *Review of Economic Studies*, Symposium, pp. 29–45.
- Statistics Finland, (2003), Index of Environmental Friendliness.
- Stern D.I. and Common M.S. (2001), "Is There an Environmental Kuznets Curve for Sulfur?", *Journal of Environmental Economics and Management* Vol. 41, pp. 162–178.
- Stern T. (1994), "Discounting in a World of Limited Growth ", *Environmental and Resource Economics* Vol. 4, pp. 527–534.

- Strassert G. and Prato T. (2002), "Selecting Farming Systems Using a New Multiple Criteria Decision Model: the Balancing and Ranking Method", *Ecological Economics* Vol. 40, pp. 269–277.
- Sumaila U.R. and Walters C. (2005), "Intergenerational Discounting: a New Intuitive Approach", *Ecological Economics* Vol. 52, pp. 135–142.
- Szargut J. (2005), "Exergy Method. Technical and Ecological Applications", Southampton, Boston.
- Taylor C.M., W.L. Adamowicz and M.K. Luckert (2003), "Preferences Over the Timing of Forest Resource Use", *Journal of Forest Economic* Vol. 9, pp. 223–240.
- Ten Brink B.J.E., Hosper S.H. and Colijn F. (1991), "A Quantitative Method for Description and Assessment of Ecosystems: the AMOEBA-Approach", *Mar. Pollut. Bull.* Vol. 23, pp. 265–270.
- The Earth Chapter: A Contribution Towards its Realization, Franciscan Centre of Environment Studies (1995), Roma.
- Thaler R. (1981), "Some Empirical Evidence on Dynamic Inconsistency", *Economics Letters* Vol. 8, pp. 201–207.
- Tiwari D.N., Loof R. and Paudyal G.N. (1999), "Environmental-Economic Decision-Making in Lowland Irrigated Agriculture Using Multi-Criteria Analysis Techniques", *Agric. Syst.* Vol. 60, pp. 99–112.
- Tol R.S.J. (1994), "The Damage Costs of Climate Change: a Note on Tangibles and Intangibles", applied to DICE, *Energy Policy* Vol. 22, pp. 436–438.
- Torras M. and Boyce J. (1998), "Income, Inequality, and Pollution: A Reassessment of the Environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics* Vol. 25, pp. 147–160.
- Turner R.K. (1993), "Sustainability: principles and practice". In: R.K. Turner, Editor, *Sustainable Environmental Economics and Management*, Belhaven Press, London.
- United Nation Conference in Environment and Development (1992), Science for Sustainable Development, Agenda 21, Chapter 35.
- Valero A., Lozano M. A., Serra L., Tsatsaronis G., Pisa J., Frangopoulos C. A., Von Spakovsky M. R. (1994), "CGAM Problem: Definition and Conventional Solution" *Energy*, Vol. 19, No. 3, pp. 279-286.
- Vatn A. and Bromley D.W (1994), "Choices Without Prices Without Apologies", *Journal of Environmental Economics and Management* Vol. 26, pp. 129–148.

- Velavan D. S., Frangopoulos C. A. (2008), "Estimation of Environmental Externalities and their Effect on the Optimization of a Cogeneration System", Proceedings of the 21st International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS 2008, Cracow, Poland June 24-27, pp. 1419-1428.
- Veleva V. and Ellenbecke M. (2001), "Indicators of Sustainable Production Framework and Methodology", *J. Clean. Prod.* Vol. 9, pp. 519–549.
- WBCSD — World Business Council for Sustainable Development, (1997), "Signals of Change: Business Progress Toward Sustainable Development", Genève, Switzerland.
- WCED. *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford (1987).
- WCED — World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford Univ. Press, Oxford (1987).
- Weitzman M. (1998), "Gamma Discounting for Global Warming". Discussion Paper, Department of Economics, Harvard University.
- Weitzman M. (1999), "Just Keep Discounting, But...." In: P.R. Portney and J.P. Weyant, Editors, *Discounting and Intergenerational Equity*, Resources for the future, Washington.
- Weitzman M. (2001), "Gamma Discounting", *American Economic Review* Vol. 91 (1), pp. 261–271.
- Weitzman M. (1994), "On the “Environmental” Discount Rate", *Journal of Environmental Economics and Management* Vol. 26, pp. 200–209.
- Yang Z. (2003), "Dual-Rate Discounting in Dynamic Economic–Environmental Modelling", *Economic Modelling* Vol. 20, pp. 941–957.