



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ-ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ  
ΤΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΟΥ



**ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΣΟΥΜΠΑΚΑ ΜΑΡΙΑ**

ΑΕΜ: 0807060

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**ΒΟΛΟΣ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2013**

## **Ευχαριστίες**

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματική εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Βασίλη Κανακούδη, αρχικά για την ανάθεση του θέματος και στη συνέχεια για τη συμβολή, τη βοήθεια, την υποστήριξη και τη καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου, καθώς επίσης και για τη διάθεση των εξισώσεων υπολογισμού της κατανομής ευθύνης ανάληψης του κόστους του αποτυπώματος άνθρακα, που ο ίδιος ανέπτυξε κατά το παρελθόν.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Αντώνιο Λιακόπουλο και τον Λέκτορα Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Θεοφάνη Γραμμένο που δέχτηκαν να παρευρεθούν και να αξιολογήσουν την παρουσίαση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου Βησσαρίων Ζιώβα, Γιαννούλα Χατζοπούλου, Βασίλη Παπαδήμα, Τριανταφυλλιά Αζαριάδη, Γιώργο Μωραΐτη, Βαγγέλη Κολόπτα και Ασημίνα Ρήγου για τη βοήθεια τους και την ψυχολογική στήριξη που μου παρείχαν και φυσικά την οικογένεια μου που με στήριζε σε κάθε βήμα της φοιτητικής μου πορείας και στην προσπάθεια μου να πετυχαίνω τους στόχους μου.

Βόλος, Μάρτιος 2013

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την έρευνα σχετικά με το ανθρακικό αποτύπωμα, τον υπολογισμό του και την κατανομή της ευθύνης ανάληψης του κόστους του και την πρόταση νέων μεθόδων κατανομής της ευθύνης.

Πιο συγκεκριμένα, σε πρώτη φάση γίνεται ανάλυση των περιβαλλοντικών φαινομένων που δημιούργησαν την ανάγκη, αρχικά μέτρησης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και στη συνέχεια συστηματικού ελέγχου και μείωσης των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Συνεπώς, γίνεται αναφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, στην κλιματική αλλαγή και στις ανθρωπογενείς αιτίες των δύο αυτών φαινομένων (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καταστροφή δασών, βιομηχανία κλπ.), όπως επίσης και στις επιπτώσεις τους (λιώσιμο των πάγων, άνοδος της στάθμης της θάλασσας κλπ.).

Στη συνέχεια, παρατίθενται πληροφορίες σχετικά με το θεσμικό πλαίσιο που εφαρμόζεται για τη μείωση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου, και στον τρόπο υπολογισμού των εκπομπών.

Όλα τα παραπάνω δημιούργησαν την ανάγκη δημιουργίας νέων ορολογιών και νέας βιβλιογραφίας σχετικών με τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου με ιδιαίτερη έμφαση στο διοξείδιο του άνθρακα. Έτσι, δημιουργήθηκε η έννοια του ανθρακικού αποτυπώματος.

Ως αποτύπωμα του άνθρακα ορίζεται ένα μέτρο της συνολικής ποσότητας των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται άμεσα και έμμεσα από μια δραστηριότητα ή συσσωρεύεται κατά τη διάρκεια των σταδίων ζωής ενός προϊόντος. Υπάρχουν δύο τρόποι υπολογισμού του συνολικού ανθρακικού αποτυπώματος ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας, η διαδικασία ανάλυσης και η μέθοδος ανάλυσης του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας.

Για τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος ενός προϊόντος, μιας υπηρεσίας, μιας επιχείρησης, μιας πόλης ή μιας χώρας, χρησιμοποιούνται αναλόγως δύο μέθοδοι ανάλυσης, η ανάλυση περιβαλλοντικών εισροών – εκροών και η ανάλυση διαδικασίας του κύκλου ζωής. Στην παρούσα διπλωματική γίνεται αναλυτική αναφορά στα μοντέλα εισροών – εκροών του Leontief και των Miller και Blair και στην ανάλυση διαδικασίας του κύκλου ζωής.

Μετά την ολοκλήρωση της περιγραφής του τρόπου υπολογισμού του αποτυπώματος του άνθρακα, τίθεται το θέμα της κατανομής της ευθύνης ανάληψης του κόστους του μεταξύ των παραγωγών και των καταναλωτών. Αρχικά, γίνεται μια ανασκόπηση των μεθόδων κατανομής που υπάρχουν ήδη στη βιβλιογραφία και στη συνέχεια γίνεται αναλυτική παρουσίασή τους. Το 2005, οι Gallego και Lenzen ανέπτυξαν μια μέθοδο κατανομής, η οποία βασίζεται στην ιδέα ότι η ευθύνη είναι ένα μετρούμενο μέγεθος, και προσπάθησαν να χωρίσουν τις ροές για κάθε συναλλαγή στους παραγωγούς και στους καταναλωτές μέσα από το μοντέλο εισροών – εκροών του Leontief.

Ένα χρόνο μετά, ο Rodrigues προσέγγισε το πρόβλημα της κατανομής της περιβαλλοντικής ευθύνης μέσω ενός περιβαλλοντικού δείκτη, βασιζόμενου στο μοντέλο εισροών – εκροών των Miller και Blair. Ο Rodrigues προσδιόρισε τις έξι ιδιότητες του δείκτη περιβαλλοντικής ευθύνης, την προσθετική ιδιότητα, την κανονικοποίηση συνθηκών, τον συνυπολογισμό των έμμεσων επιπτώσεων, την οικονομική αιτιότητα, την μονοτονία και τη συμμετρία. Χρησιμοποιώντας λοιπόν,

τις παραπάνω ιδιότητες, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ευθύνη υπολογίζεται από τον αριθμητικό μέσο όρο της περιβαλλοντικής πίεσης ανάντη της τελικής ζήτησης και της περιβαλλοντικής πίεσης κατάντη των πρωτογενών εισροών ενός τομέα. Για την κατανόηση των μεθόδων συμπεριλαμβάνονται αναλυτικά παραδείγματα.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά, θεωρητικά αλλά και με παραδείγματα 3 νέες προσεγγίσεις κατανομής της ευθύνης, η εμπροσθοβαρής, η κεντροβαρής και η οπισθοβαρής. Και οι τρεις αυτές προσεγγίσεις βασίζονται στον κύκλο ζωής του προϊόντος (πρώτες ύλες, παραγωγή, μεταφορά – διανομή, πώληση, χρήση).

Στην εμπροσθοβαρή κατανομή κάθε στάδιο επιβαρύνεται με ποσοστό με βάση το κέρδος του CF που παράγεται σε κάθε στάδιο. Ο τελικός χρήστης αναλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού CF, καθώς εκείνος ευθύνεται για το 'αναγκαίο κακό' της παραγωγής του προϊόντος και αντίστοιχα του CF.

Στην κεντροβαρή κατανομή, κάθε στάδιο επιβαρύνεται με ποσοστό με βάση το κέρδος όλου του CF που υπάρχει σε κάθε στάδιο, εκείνου που παράγεται συν εκείνου που μεταφέρεται από προηγούμενα στάδια. Ο τελικός χρήστης επιβαρύνεται με τον ίδιο τρόπο που επιβαρύνονται και τα στάδια της παραγωγής, καθώς θεωρείται πως και οι παραγωγοί αλλά και οι καταναλωτές ευθύνονται για το 'αναγκαίο κακό' της παραγωγικής διαδικασίας.

Η οπισθοβαρής κατανομή τιμωρεί την αισχροκέρδεια. Κάθε στάδιο επιβαρύνεται με ποσοστό του κέρδους ως προς το συνολικό κέρδος όλων των σταδίων, όλου του CF που υπάρχει σε κάθε στάδιο. Όπως και στη κεντροβαρή κατανομή, και οι παραγωγοί και ο τελικός χρήστης θεωρούνται συνυπεύθυνοι για την παραγωγή του προϊόντος.

Τέλος, γίνεται μια σύγκριση μεταξύ των τριών νέων προσεγγίσεων, αλλά και μεταξύ όλων των μεθόδων κατανομής της ευθύνης ανάληψης του κόστους του αποτυπώματος του άνθρακα.

Συνοψίζοντας, στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να δώσει στον αναγνώστη να κατανοήσει αρχικά το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής, στη συνέχεια την έννοια του αποτυπώματος του άνθρακα, τον τρόπο υπολογισμού του, την ανάγκη υπολογισμού και μείωσης του, όπως επίσης και το θεσμικό πλαίσιο που διέπει την Ελλάδα και άλλες Ευρωπαϊκές χώρες για τον υπολογισμό και τη μείωση του. Τέλος, επιδιώκεται μέσα από συγκεκριμένα παραδείγματα, ο αναγνώστης να γνωρίσει τις ήδη υπάρχουσες μεθόδους κατανομής της ευθύνης του αποτυπώματος του άνθρακα, αλλά και να κατανοήσει τις νέες μεθόδους, να εμβαθύνει και να αντιληφθεί την καινοτομία τους.

## **Περιεχόμενα**

Ευχαριστίες .....	2
Περίληψη .....	3
1. Εισαγωγή .....	8
1.1. Φαινόμενο του Θερμοκηπίου .....	8
1.2. Φυσικοχημικές ιδιότητες του CO <sub>2</sub> .....	9
1.3. Κλιματική αλλαγή .....	10
1.4. Ανθρωπογενείς πηγές αερίων του θερμοκηπίου .....	13
1.4.1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .....	13
1.4.2. Εδαφικές εκτάσεις .....	14
1.4.3. Γεωργία – Κτηνοτροφία .....	14
1.4.4. Βιομηχανίες .....	15
1.4.5. Μεταφορές .....	15
1.5. Επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου .....	15
1.5.1. Λιώσιμο των πάγων .....	15
1.5.2. Άνοδος της στάθμης της θάλασσας .....	16
1.5.3. Άλλες επιπτώσεις .....	17
1.6. Το πρωτόκολλο του Κιότο .....	18
1.6.1. Υπολογισμός εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου .....	20
1.6.2. Υπολογισμός συντελεστών εκπομπών σύμφωνα με το ΣΔΑΕ .....	21
2. Αποτύπωμα του άνθρακα (Carbon footprint – CF) .....	24
2.1. Οικολογικό αποτύπωμα .....	24
2.2. Ορισμοί αποτυπώματος του άνθρακα .....	26
2.3. Αποτύπωμα του άνθρακα και αλυσίδα παροχής πόσιμου νερού .....	28
3. Μεθοδολογίες υπολογισμού του αποτυπώματος του άνθρακα .....	30
3.1. Γενικά .....	30
3.2. Ανάλυση περιβαλλοντικών εισροών – εκροών .....	31
3.2.1. Γενικά .....	31
3.2.2. Νομισματικό μοντέλο εισροών – εκροών του Leontief (1985) .....	32
3.2.3. Νομισματικό μοντέλο εισροών – εκροών των Miller και Blair (1985) .....	33
3.3. Ανάλυση διαδικασίας και κύκλου ζωής .....	34
3.4. Κλίμακες ανάλυσης του αποτυπώματος του άνθρακα .....	37
3.4.1. Προϊόντα .....	37

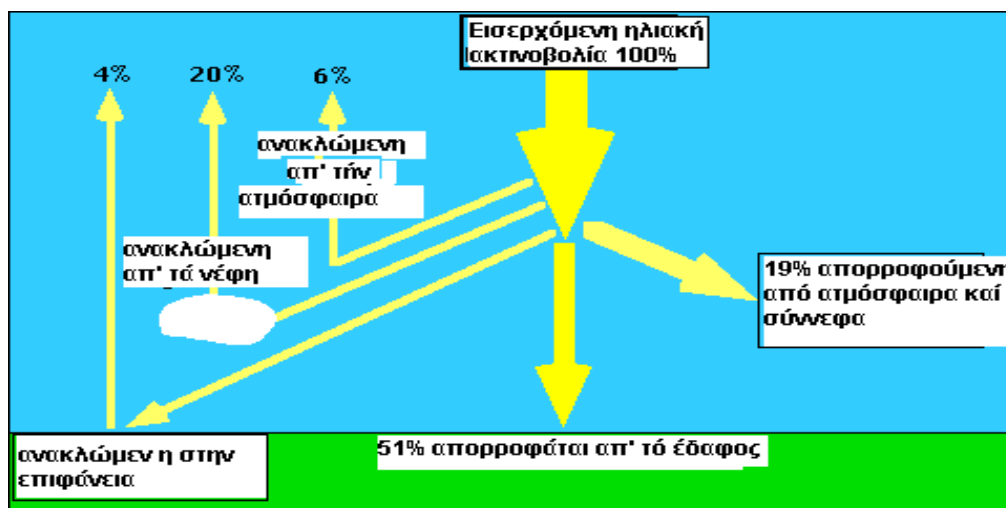
3.4.2.	Νοικοκυριά.....	37
3.4.3.	Επιχειρήσεις .....	37
3.4.4.	Πόλεις και περιφέρειες.....	38
3.4.5.	Χώρες.....	38
4.	Το ζήτημα της κατανομής της ευθύνης του αποτυπώματος του άνθρακα .....	39
4.1.	Γενικά.....	39
4.2.	Ιστορική αναδρομή .....	41
4.3.	Η κατανομή της ευθύνης των Gallego και Lenzen (2005) .....	42
4.3.1.	Γενικά.....	42
4.3.2.	Κατανομή της ευθύνης για την αλυσίδα εφοδιασμού των επιπτώσεων.....	42
4.3.3.	Παράδειγμα της κατανομής της ευθύνης των Gallego και Lenzen .....	47
4.4.	Ο δείκτης περιβαλλοντικής ευθύνης του Rodrigues (2006).....	50
4.4.1.	Το παράδειγμα των δύο χωρών .....	50
4.4.2.	Γενικά.....	51
4.4.3.	Το οικονομικό πλαίσιο του δείκτη του Rodrigues.....	52
4.4.4.	Ιδιότητες του δείκτη περιβαλλοντικής ευθύνης .....	52
4.4.5.	Προσδιορισμός του δείκτη περιβαλλοντικής ευθύνης .....	55
4.4.6.	Παράδειγμα του δείκτη κατανομής του Rodrigues.....	58
5.	Τρεις καινούριες προσεγγίσεις της κατανομής της ευθύνης του αποτυπώματος του άνθρακα .....	60
5.1.	Γενικά.....	60
5.2.	Γενικές εξισώσεις για κάθε στάδιο .....	62
5.3.	Εμπροσθοβαρής κατανομή.....	62
5.4.	Κεντροβαρής κατανομή.....	65
5.5.	Οπισθοβαρής κατανομή .....	66
5.6.	Παραδείγματα.....	69
5.6.1.	Δεδομένα .....	69
5.6.2.	Παράδειγμα Εμπροσθοβαρούς κατανομής .....	72
5.6.3.	Παράδειγμα Κεντροβαρούς κατανομής .....	73
5.6.4.	Παράδειγμα Οπισθοβαρούς κατανομής .....	75
5.6.5.	Σύνοψη και σύγκριση των τριών προσεγγίσεων.....	80
5.7.	Έλεγχος ευαισθησίας των τριών νέων προσεγγίσεων .....	81
5.7.1.	Γενικά.....	81
5.7.2.	Εμπροσθοβαρής κατανομή .....	81

5.7.3. Κεντροβαρής κατανομή .....	84
5.7.4. Οπισθοβαρής κατανομή .....	88
5.8. Σύγκριση των τριών νέων προσεγγίσεων της κατανομής της ευθύνης με την μέθοδο των Gallego και Lenzen και τον δείκτη ευθύνης του Rodrigues .....	91
Παράρτημα: Αναλυτικές εξισώσεις των τριών κατανομών .....	92
Εξισώσεις Εμπροσθοβαρούς κατανομής .....	92
Εξισώσεις Κεντροβαρούς κατανομής .....	93
Εξισώσεις Οπισθοβαρούς κατανομής .....	95
Βιβλιογραφία .....	99

## 1. Εισαγωγή

### 1.1. Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Η θεωρία του Φαινομένου του Θερμοκηπίου (Greenhouse Effect) διατυπώθηκε για πρώτη φορά από το Γάλλο μαθηματικό, αστρολόγο και φυσικό Joseph Fourier το 1824 [1], ενώ διερευνήθηκε συστηματικά από τον Svante August Arrhenius το 1896 [2]. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια φυσική διαδικασία με την οποία διατηρείται η θερμοκρασία της γης στο επίπεδο των 15 °C. Αν δεν υπήρχε αυτό, η γη θα ήταν κρύα (περίπου -18 °C) και δεν θα ήταν δυνατή η ύπαρξη ή η διατήρηση ζωής. Σε απόσταση 25 km από την επιφάνεια της γης, υπάρχει ένα λεπτό στρώμα, αποτελούμενο από αέρια του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases - GHG) και υδρατμούς, το οποίο επιτρέπει την είσοδο της θερμότητας που μεταφέρει η υπεριώδης ακτινοβολία του ήλιου, εμποδίζοντας ταυτόχρονα την έξοδο της θερμότητας προς το διάστημα. Το 70% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από τους ωκεανούς σε ποσοστό 51%, από την ατμόσφαιρα 16% και από τα νέφη 3%. Το υπόλοιπο 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται πίσω στο διάστημα από την ατμόσφαιρα σε ποσοστό 6%, την επιφάνεια της γης 4% και τα νέφη 20%, όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.1. Έτσι, η επιφάνεια της γης συγκρατεί ένα ποσό θερμότητας και διατηρεί σταθερή τη μέση θερμοκρασία της.



**Εικόνα 1.1:** Φαινόμενο του θερμοκηπίου, ποσοστά ανάκλασης και απορρόφησης ηλιακής ενέργειας

Ως αέρια του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases - GHG) ορίζονται όλα τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα αέρια του θερμοκηπίου σύμφωνα με την Οδηγία 2003/87/ΕΚ [3], είναι τα εξής:

- I. Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)
- II. Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>)
- III. Υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O)
- IV. Υδροφθοράνθρακες (HFCs)
- V. Υπερφθοράνθρακες (PFCs)
- VI. Εξαφθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>)



**Πίνακας 1.1:** Τα κυριότερα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου και τα χαρακτηριστικά τους

Κυριότερα αέρια του Φαινομένου του Θερμοκηπίου					
Χημικός τύπος	Όνομασία	Μέσος χρόνος ζωής (έτη)	Συμμετοχή στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου		Δυναμικό Παγκόσμιας Υπερθέρμανσης (GWP <sub>100</sub> )
			1988	2010	
CO <sub>2</sub>	Διοξείδιο του άνθρακα	200	48	61	1
CH <sub>4</sub>	Μεθάνιο	11	17	15	25
N <sub>2</sub> O	Υποξείδιο του αζώτου	120	6	4	298

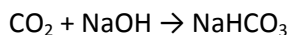
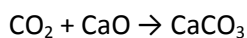
## 1.2. Φυσικοχημικές ιδιότητες του CO<sub>2</sub>

Το διοξείδιο του άνθρακα, με χημικό τύπο CO<sub>2</sub>, είναι χημική ένωση που αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου, ενωμένα με διπλούς ομοιοπολικούς δεσμούς με ένα άτομο άνθρακα σε γραμμική διάταξη (180ο). Είναι ένα μη πολικό μόριο, καθώς οι δεσμοί του CO<sub>2</sub> είναι πολωμένοι, αλλά η γεωμετρία του είναι τέτοια έτσι ώστε η συνισταμένη διπολική ροπή να είναι μηδενική. Η ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση του CO<sub>2</sub> είναι .1606 kJ/mol (803 kJ/mol για κάθε δεσμό άνθρακα – οξυγόνου, C=O). Το άτομο του άνθρακα διαθέτει τέσσερα ηλεκτρόνια και το άτομο του οξυγόνου έξι, με αποτέλεσμα τα συνολικά ηλεκτρόνια του μορίου το διοξειδίου του άνθρακα να είναι δεκαέξι και να κατανέμονται όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2.



**Εικόνα 1.2:** Κατανομή των ηλεκτρονίων του μορίου του διοξειδίου του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι γενικά σταθερή ένωση και σε κατάλληλες συνθήκες ανάγεται σε άνθρακα ή σε μονοξείδιο του άνθρακα, δηλαδή συμπεριφέρεται σαν οξειδωτικό. Αντιδρά με βάσεις και σχηματίζει, ανάλογα με την υπάρχουσα αναλογία mol των αντιδρώντων, δύο σειρές αλάτων, τα όξινα και τα ουδέτερα:



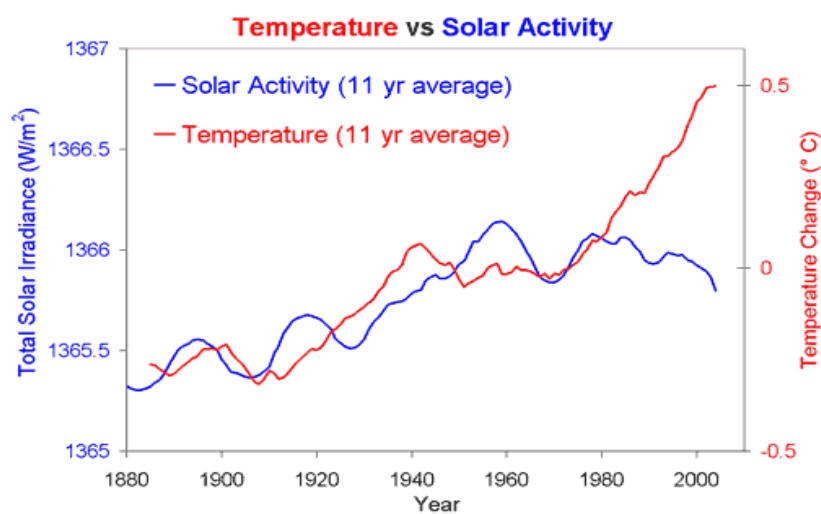
Όσον αφορά στις φυσικές του ιδιότητες, το διοξείδιο του άνθρακα είναι αέριο άχρωμο και σε μικρές συγκεντρώσεις είναι άοσμο. Σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας η πυκνότητά του είναι 1,98 kg/m<sup>3</sup>, είναι δηλαδή 1,5 φορές πυκνότερο του αέρα. Σε πίεση 1 atm (δηλαδή σε πίεση στο επίπεδο της θάλασσας), μετατρέπεται απευθείας σε στερεό. Στη στερεή του κατάσταση είναι γνωστό και ως ξηρός πάγος. Η κρίσιμη θερμοκρασία του είναι 31,1 °C. Είναι λίγο διαλυτό στο νερό, η διαλυτότητά του όμως αυξάνεται, όπως όλων των αέριων, με την πίεση.

Το διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία τροφίμων, τη βιομηχανία πετρελαίου, και τη χημική βιομηχανία. Βρίσκει εφαρμογές σε πολλά καταναλωτικά προϊόντα που απαιτούν πεπιεσμένο αέριο, γιατί είναι φθηνό και άφλεκτο. Πωλείται επίσης, σε μικρές κάψουλες από αλουμίνιο με συμπιεσμένο διοξείδιο του άνθρακα για αεροβόλα όπλα. Η ταχεία εξάτμιση από υγρή

κατάσταση χρησιμοποιείται για ανατινάξεις σε ορυχεία άνθρακα. Χρησιμοποιείται, επίσης, στην πυροπροστασία, στη γεωργία, στην εξόρυξη πετρελαίου και σε πολλούς άλλους τομείς.

### 1.3. Κλιματική αλλαγή

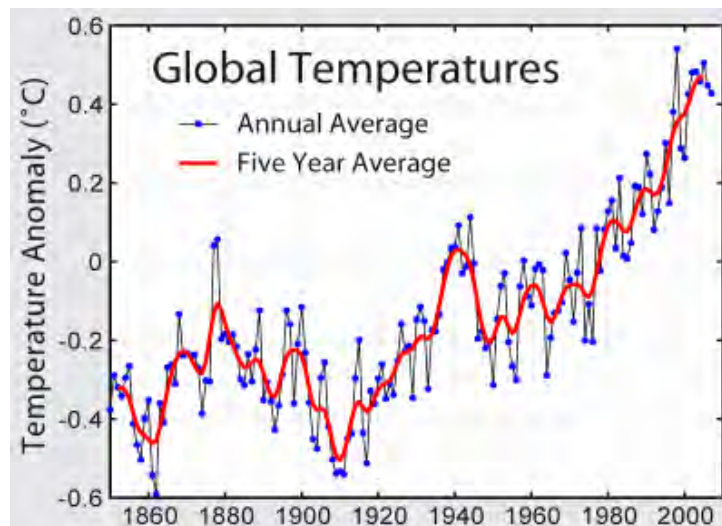
Το κλίμα της γης έχει αλλάξει πολλές φορές κατά τη διάρκεια της ιστορίας του πλανήτη, από περιόδους παγετώνων μέχρι περιόδους μεγάλης ξηρασίας. Φυσικοί παράγοντες, όπως οι ηφαιστειακές εκρήξεις, το ποσό ενέργειας που απελευθερώνεται από τον ήλιο και η αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου έχουν επηρεάσει το κλίμα της γης. Επιπλέον, οι ανθρώπινες δραστηριότητες που ξεκινούν και συνδέονται κυρίως με τη βιομηχανική επανάσταση έχουν αλλάξει τη σύνθεση της ατμόσφαιρας και επομένως έχουν επηρεάσει και αυτές το κλίμα της γης.



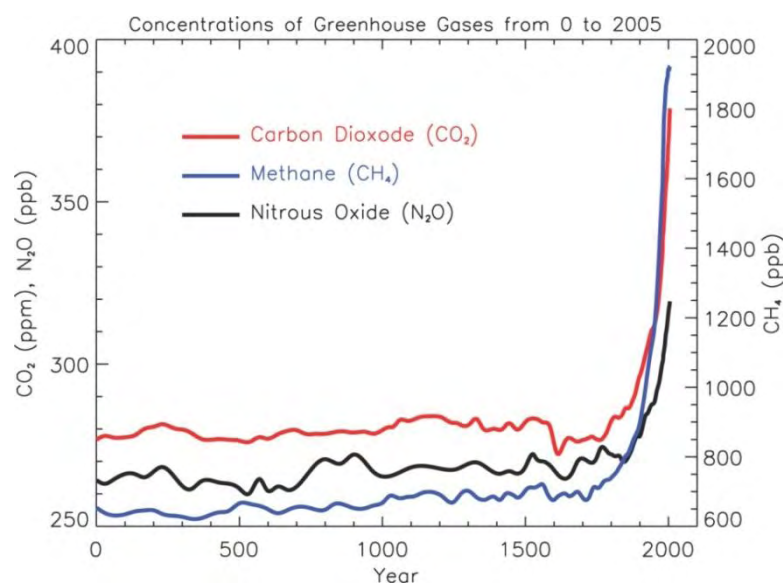
**Διάγραμμα 1.1:** Θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία με τη πάροδο των χρόνων

Σε αυτό το σημείο να επισημάνουμε ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αν και είναι φυσικό, ενισχύεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία προκαλεί την αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου. Συνεπώς, τα τελευταία χρόνια, λέγοντας φαινόμενο του θερμοκηπίου, δεν αναφερόμαστε στη φυσική διεργασία, αλλά στην έξαρση αυτής, λόγω της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Επιπλέον, τα αέρια του θερμοκηπίου δεν προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας μόνο στις περιοχές που εκπέμπονται, αλλά διαχέονται σε όλη την επιφάνεια του πλανήτη.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, μπήκε στο προσκήνιο ο όρος κλιματική αλλαγή, ο οποίος αναφέρεται στη μεταβολή της θερμοκρασίας της γης και τις επερχόμενες επιπτώσεις της στο περιβάλλον. Η διαδικασία αύξησης της θερμοκρασίας της γης αναφέρεται συνήθως και με τον όρο υπερθέρμανση του πλανήτη. Η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας φαίνεται στο διάγραμμα 1.2. Η αναγνώριση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής οδηγεί το 1988 στην ίδρυση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για τις Κλιματικές Αλλαγές (International Panel on Climate Change – IPCC) με σκοπό την αναζήτηση των αιτιών που προκαλούν την κλιματική αυτή αλλαγή και προτάσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος.



**Διάγραμμα 1.2:** Η παγκόσμια θερμοκρασία με την πάροδο του χρόνου

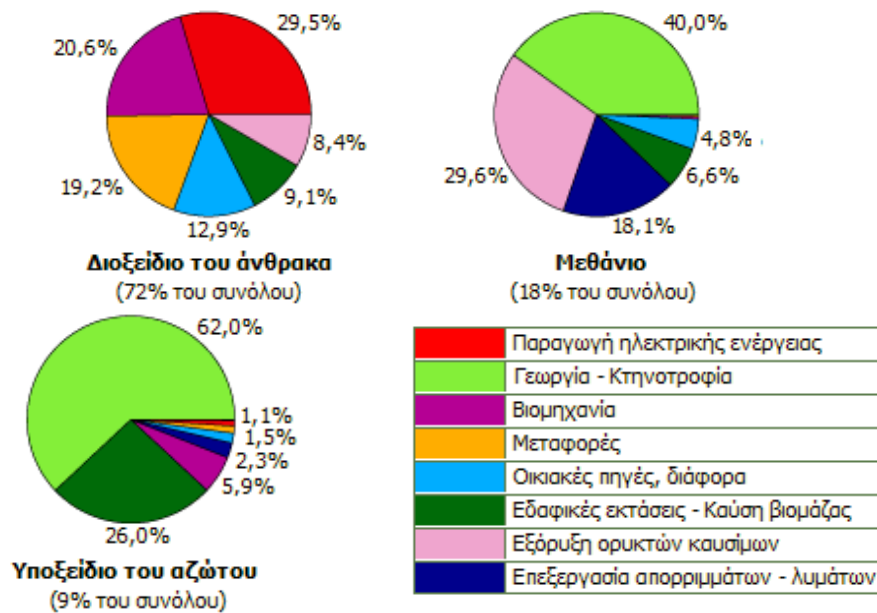


**Διάγραμμα 1.3:** Συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου με τη πάροδο του χρόνου

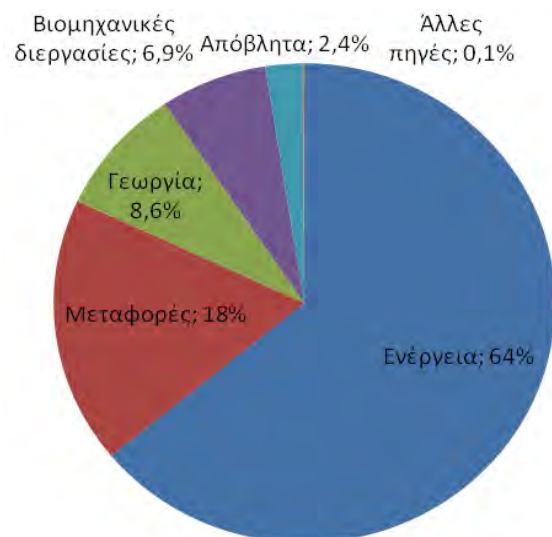
Τα αέρια του θερμοκηπίου και η αύξηση της συγκέντρωσής τους στην ατμόσφαιρα δημιουργούν το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Οι κύριες αιτίες αύξησης της περιεκτικότητας των βασικών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου φαίνονται στον πίνακα 1.2.

**Πίνακας 1.2:** Αιτίες αύξησης της συγκέντρωσης αερίων θερμοκηπίου

Διοξείδιο του άνθρακα	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας Βιομηχανία
Υποξείδιο του αζώτου	Γεωργία – Κτηνοτροφία Χρήση ορυκτών καυσίμων
Όζον	Βιομηχανία – Μεταφορές – Οικιακές πηγές
Χλωροφθοριωμένοι υδρογονάνθρακες	Άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες



**Διάγραμμα 1.4:** Ποσοστά ευθύνης αύξησης της συγκέντρωσης των τριών βασικών αερίων θερμοκηπίου κάθε τομέα.



**Διάγραμμα 1.5:** Συνολικό διάγραμμα ποσοστών ευθύνης των αιτιών αύξησης της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου

Στις αρχές του 2000, η μέση συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> ήταν περίπου 370 ppm, αυξάνοντας τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία κατά 0,74 °C. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για της Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) στην τέταρτη έκθεση αξιολόγησης τονίζει πως οι καταστροφικές αλλαγές στο περιβάλλον θα προκληθούν εάν η παγκόσμια θερμοκρασία αυξηθεί πάνω από 2 °C [4]. Μια αύξηση κατά 2 °C αντιστοιχεί σε συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα περίπου 450 ppm. Στις αρχές του 2007, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα ήταν 380 ppm όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1.6. Με ρυθμό αύξησης κατά μέσο όρο 2-3 ppm ανά έτος, υπολογίζεται ότι η κρίσιμη τιμή της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας θα

επιτευχθεί σε περίπου 20-30 χρόνια. Υπολογιστικά μοντέλα προβλέπουν ότι η παγκόσμια θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί κατά 2-5 °C μέχρι το 2100 [4].



**Διάγραμμα 1.6:** Συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα την περίοδο 1991 – 2007 [5]

## 1.4. Ανθρωπογενείς πηγές αερίων του θερμοκηπίου

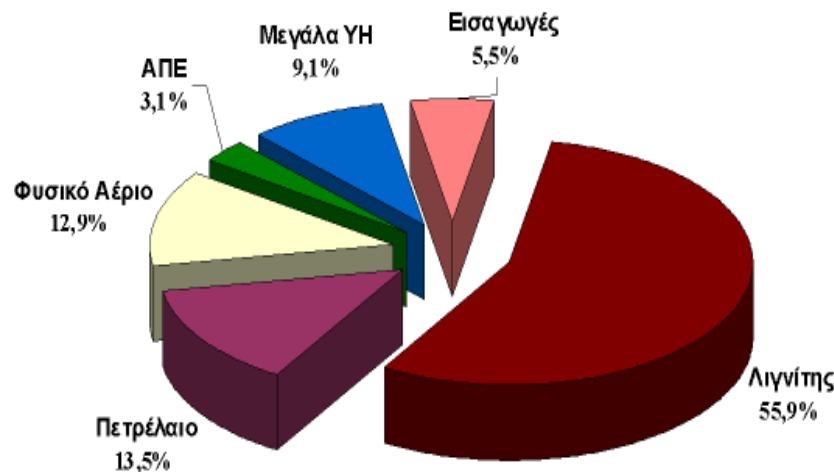
### 1.4.1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Τα ορυκτά καύσιμα είναι καύσιμα που προέρχονται από φυσικές πηγές όπως αναερόβια αποσύνθεση νεκρών θαμμένων οργανισμών. Η ηλικία των νεκρών οργανισμών που με την εναπόθεση τους σχηματίζουν τα ορυκτά καύσιμα κυμαίνεται από μερικά εκατομμύρια μέχρι 650 εκατομμύρια χρόνια. Στα ορυκτά καύσιμα ανήκουν το κάρβουνο, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Τα ορυκτά καύσιμα είναι πολύ καλή ενεργειακή ύλη γιατί με την καύση τους παράγουν μεγάλο ποσό ενέργειας. Η κυριότερη χρήση τους είναι ως καύσιμα στις μηχανές εσωτερικής καύσης και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το 1860, ο Jean - Joseph Lenoir εφεύρε την πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης, η οποία βελτιώθηκε το 1876 από τον Nikolaus August Otto [6]. Τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γιατί χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν και έτσι εξαντλούνται με πολύ ταχύτερο ρυθμό από το ρυθμό με τον οποίο σχηματίζονται. Εκτιμάται πως η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων το 2007 ήταν 36% πετρέλαιο, 27,4% κάρβουνο και 23% φυσικό αέριο και καλύπτουν το 86% των ενεργειακών αναγκών παγκοσμίως. Η κατανάλωση τους όμως ενισχύει το περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Η καύση των ορυκτών καυσίμων παράγει κάθε χρόνο 21,3 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Από αυτή την ποσότητα εκτιμάται πως η μισή απορροφάται από τη βιόσφαιρα της γης και η υπόλοιπη παραμένει στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Στη χώρα μας, η μόνη αξιοσημείωτη εγχώρια πηγή ορυκτών καυσίμων είναι ο λιγνίτης. Τα βιομηχανικά αξιοποιήσιμα κοιτάσματα λιγνίτη υπολογίζονται σε 4 δισεκατομμύρια τόνους ή 550 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. Ο λιγνίτης αποτελεί την κύρια ενεργειακή πηγή της χώρας μας, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1.7, και χρησιμοποιείται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στην παραγωγή ηλεκτρισμού.



**Διάγραμμα 1.7:** Ποσοστά χρήσης ορυκτών καυσίμων στην Ελλάδα

#### **1.4.2. Εδαφικές εκτάσεις**

Η καταστροφή των δασών αποτελεί ένα τεράστιο περιβαλλοντικό πρόβλημα, αφού είναι ένας από τους βασικούς λόγους του φαινομένου του θερμοκηπίου [7]. Ως γνωστόν, τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα, ηλιακή ενέργεια και θρεπτικά συστατικά από το χώμα, για να παράγουν την τροφή τους, και απελευθερώνουν οξυγόνο. Συνεπώς, το πρόβλημα των αερίων του θερμοκηπίου επιδεινώνεται από την καταστροφή μεγάλων δασικών εκτάσεων.

Ο άνθρωπος χρησιμοποίησε αρχικά το δάσος με βιώσιμο τρόπο, για την κατασκευή σπιτιών, όπλων, εργαλείων και για θέρμανση. Η αύξηση, όμως, του πληθυσμού οδήγησε στον πρώτο τρόπο καταστροφής των δασών, την υλοτομία. Από εκείνη την εποχή μέχρι σήμερα, έχει υπάρξει μια τεράστια και ανεπανόρθωτη εκμετάλλευση των δασών εξαιτίας της οικοδόμησης, της γεωργικής και της βιομηχανικής επέκτασης και άλλων παρόμοιων δραστηριοτήτων. Μια εξίσου σημαντική αιτία είναι και οι πυρκαγιές, οι οποίες είτε οφείλονται σε ανθρώπινη απροσεξία, είτε σε οικονομικά συμφέροντα. Με τις πυρκαγιές, όχι μόνο εξαφανίζονται τεράστιες δασικές εκτάσεις αλλά και κατά τη διάρκεια της καύσης εκλύονται διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα. Οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο είναι και το βασικότερο από τα αέρια του θερμοκηπίου, είναι τεράστιες.

#### **1.4.3. Γεωργία – Κτηνοτροφία**

Ο αγροτικός τομέας κατέχει ένα μεγάλο μερίδιο ευθύνης της εκπομπής υποξειδίου του αζώτου, καθώς ευθύνεται για το 58% του παραγόμενου  $N_2O$  [7]. Αντίθετα, όσον αφορά το διοξείδιο του άνθρακα, εκτιμάται πως οι εκπομπές από τη γεωργία είναι ισοσκελισμένες, λόγω της ανταλλαγής μεταξύ του  $CO_2$  που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα από τις γεωργικές πρακτικές και εκείνου που απορροφάται από την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο με την κτηνοτροφία, η οποία αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα αποδάσωσης και επιβαρύνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Συγκεκριμένα, το  $CO_2$  προέρχεται κυρίως από τη μικροβιακή αποσύνθεση της οργανικής ύλης που συμβαίνει στο έδαφος ή από το κάψιμο των φυτικών υπολειμμάτων. Το  $N_2O$  προέρχεται από το μετασχηματισμό του διαθέσιμου αζώτου στο έδαφος και την κοπριά και συχνά εκπέμπεται όταν το



εδαφικό άζωτο ξεπερνά την ικανότητα απορρόφησης των φυτών, ιδιαίτερα σε υγρές συνθήκες. Επιπλέον, εκπέμπεται και αμμωνία, η οποία προέρχεται από την αναερόβια αποσύνθεση οργανικής ουσίας. Για τη γεωργία, επίσης, χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή λιπασμάτων, με επιπλέον εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

#### **1.4.4. Βιομηχανίες**

Η βιομηχανία είναι άλλη μια βασική πηγή αερίων του θερμοκηπίου [7]. Οι βασικές βιομηχανίες που σχετίζονται με την αέρια ρύπανση πριν τη βιομηχανική επανάσταση ήταν η μεταλλουργία, η κεραμοποιία και η συντήρηση των ζωικών προϊόντων. Η βιομηχανική επανάσταση το 18<sup>ο</sup> αιώνα οδήγησε στην εντατική χρήση του κάρβουνου και του πετρελαίου, δημιουργώντας μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα.

#### **1.4.5. Μεταφορές**

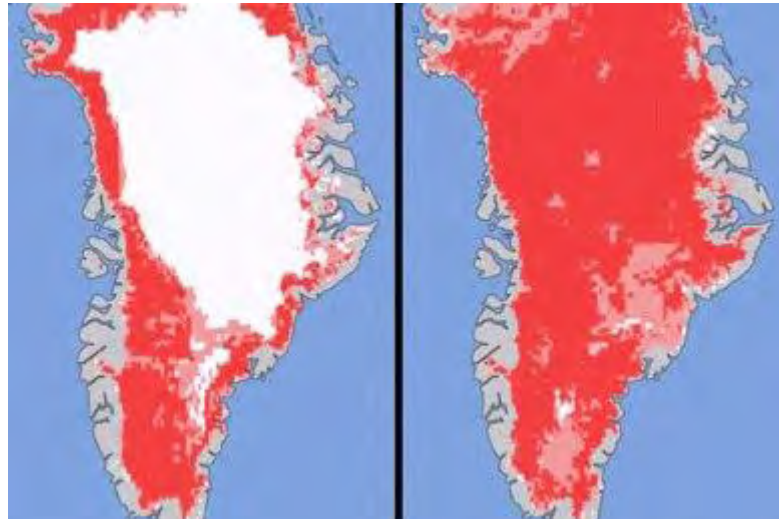
Οι μεταφορές είναι ένας μείζων παράγοντας εκπομπής ρύπων στη φύση με ιδιαίτερα σημαντικές τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από τις οδικές μεταφορές, αν και οι αντίστοιχες εκπομπές από τις εναέριες και θαλάσσιες μεταφορές δεν είναι αμελητέες. Οι σημαντικότερες εκπομπές είναι το οξείδιο του αζώτου, το μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρογονάνθρακες, αέρια τα οποία συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι οι οδικές εμπορευματικές μεταφορές στην Ευρώπη ευθύνονται για την εκπομπή περισσότερων από 420 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα ετησίως [7].

### **1.5. Επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου**

#### **1.5.1. Λιώσιμο των πάγων**

Η ύπαρξη των πάγων είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον περιορισμό της περαιτέρω αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη, λόγω της ιδιότητας τους να ανακλούν το 85-90% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, σε αντίθεση με τους ωκεανούς και το έδαφος τα οποία αντανακλούν το 10-20%. Η άνοδος της θερμοκρασίας, εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου, οδηγεί στην τήξη των πάγων, την αύξηση της επιφάνειας των ωκεανών, μειώνοντας έτσι την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία και αυξάνοντας περαιτέρω τη θερμοκρασία του πλανήτη.

Συγκεκριμένα, ο μεγαλύτερος παγετώνας της δυτικής Ανταρκτικής μειώνεται με ρυθμό 50% ταχύτερο σε σύγκριση με το 1994. Για παράδειγμα, ο όγκος του παγετώνα Pine Island το 1994, μειωνόταν ετησίως κατά 53 km<sup>3</sup>, γεγονός που επηρεάζει την επιφάνεια και τη στάθμη των θαλάσσιων υδάτων. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό της Γροιλανδίας, στην οποία το στρώμα του πάγου μειώθηκε από το 40% του στρώματος πάγου της Γροιλανδίας σε 98% μέσα σε τέσσερις μέρες [8].

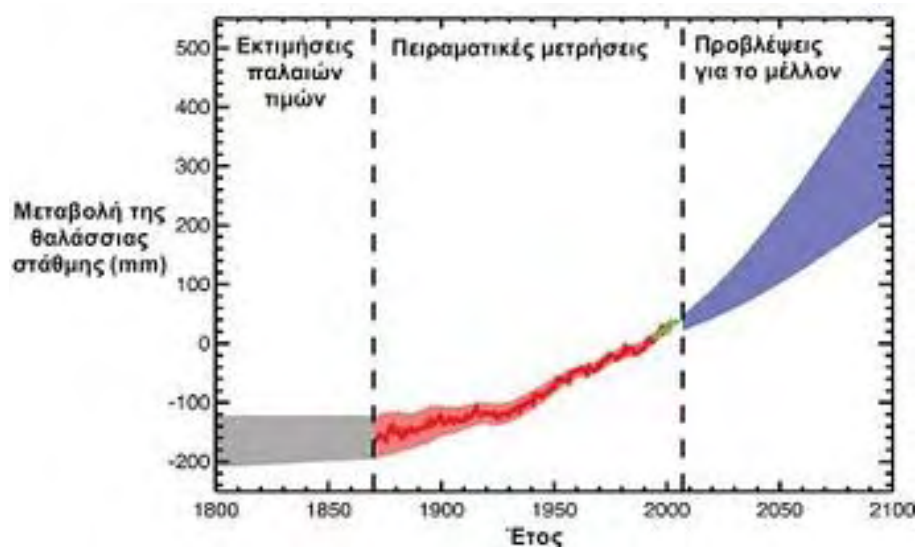


**Εικόνα 1.3:** Λιώσιμο πάγων της Γροιλανδίας

Το λιώσιμο των πάγων επηρεάζει αρνητικά και τη διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού για ύδρευση και άρδευση, του οποίου τα αποθέματα όλο και μειώνονται. Το πρόβλημα θα είναι εντονότερο σε περιόδους ξηρασίας. Ήδη μισό δισεκατομμύριο άνθρωποι ζουν σε περιοχές όπου το νερό είναι σπάνιο. Μέχρι το 2050 υπολογίζεται πως 1,75 δισεκατομμύρια άνθρωποι θα ζουν σε περιοχές με έλλειψη πόσιμου νερού.

### **1.5.2. Άνοδος της στάθμης της θάλασσας**

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας οφείλεται στη διαστολή των ωκεανών λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και στο λιώσιμο των πάγων. Σύμφωνα με έρευνες, για την περίοδο 2005-2010 έχουμε αύξηση της στάθμης έως και 2,3 χιλιοστά, ενώ σήμερα υπολογίζεται αύξηση κατά μέσο όρο 3 χιλιοστά ετησίως [4].

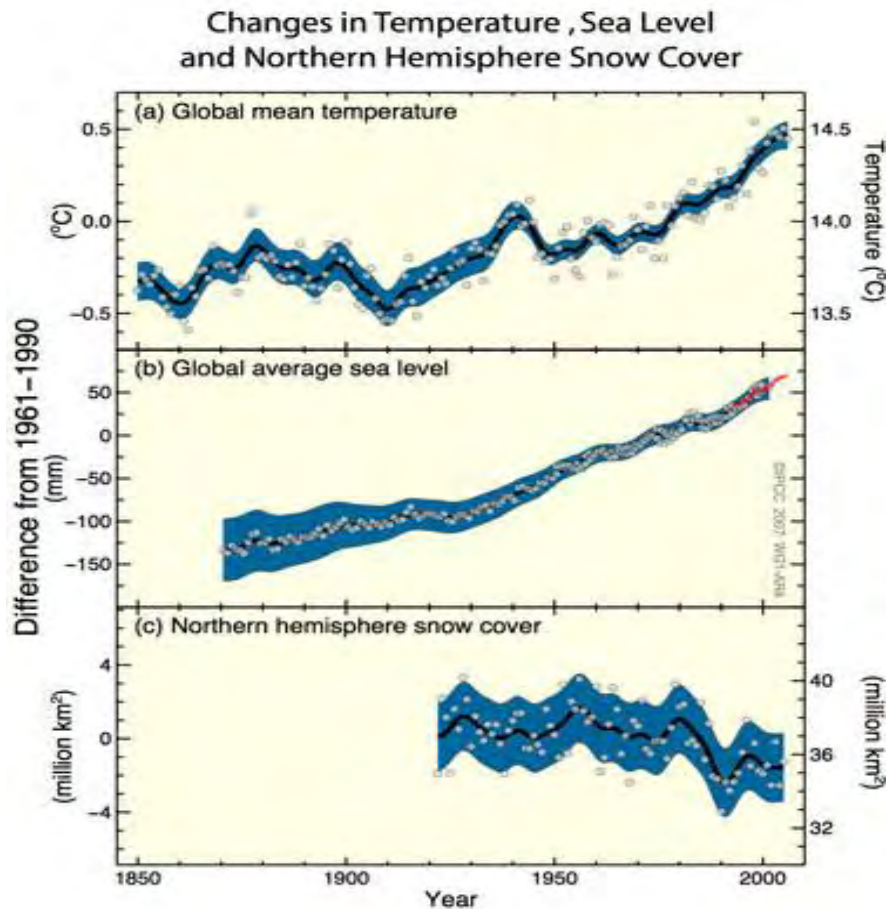


**Διάγραμμα 1.8:** Παγκόσμια μέση στάθμη θάλασσας και μελλοντικές προβλέψεις

Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Γροιλανδίας, στην οποία υπολογίζεται ότι η άνοδος της στάθμης των θαλασσών, εξαιτίας του λιώσιμου των πάγων έως το 2100 θα είναι 10 εκατοστά. Αν συνυπολογιστούν και οι υπόλοιποι παράγοντες που προκαλούν την άνοδο της στάθμης, τότε η



συνολική αύξηση μπορεί να φτάσει τα 90 εκατοστά. Άλλο ένα παράδειγμα είναι η θάλασσα των Φιλιππίνων, της οποίας η στάθμη ανεβαίνει ετησίως κατά 10 χιλιοστά την περίοδο 1991 – 2012 [8].



**Διάγραμμα 1.9:** Μέση θερμοκρασία – μέσος όρος στάθμης της θάλασσας και επιφάνεια πάγων βόρειο ημισφαιρίου με την πάροδο του χρόνου

Η αύξηση της στάθμης των θαλασσών απειλεί περίπου το 1/10 του παγκόσμιου πληθυσμού, που ζει σε παράκτιες περιοχές και νησιά, καθώς ο κίνδυνος πλημμύρων είναι μεγάλος. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει πάνω από 180 χώρες να διαπραγματεύονται για τη συνολολόγηση μιας παγκόσμιας συνθήκης, που θα ισχύει μέχρι το 2020 και θα αναγκάζει όλα τα κράτη να μειώσουν τις εκπομπές τους, ώστε η αύξηση της θερμοκρασίας αυτόν τον αιώνα να μην ξεπεράσει τους 2 °C.

### 1.5.3. Άλλες επιπτώσεις

Επιπλέον συνέπειες μιας αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της γης είναι:

- ✓ Η αλλαγή των ποσοτήτων και των προτύπων βροχόπτωσης, με συνέπεια τη μετατόπιση και τη διεύρυνση των κλιματολογικών γεωγραφικών ζωνών, εντείνοντας τα φαινόμενα ξηρασίας στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη.
- ✓ Η αύξηση της συχνότητας, διάρκειας και έντασης των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι πλημμύρες, ξηρασίες, καύσωνες και ανεμοστρόβιλοι. Η συνολική ετήσια ισχύς, η μέση ένταση και διάρκεια των τυφώνων, έχουν αυξηθεί σημαντικά ήδη από το 1975.
- ✓ Διακυμάνσεις στη γεωργική παραγωγή.

- ✓ Μειωμένες απορροές κατά τη θερινή περίοδο.
- ✓ Εξαφανίσεις ειδών χλωρίδας και πανίδας.
- ✓ Επανεμφάνιση ασθενειών.

## **1.6. Το πρωτόκολλο του Κιότο**

Από τις δεκαετίες του 1960 και 1970 είχε γίνει αντιληπτό ότι οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα αυξάνονταν σημαντικά. Μετά από αρκετά χρόνια, το 1988, δημιουργήθηκε μια Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας και το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών. Αυτή η ομάδα παρουσίασε μια πρώτη έκθεση αξιολόγησης το 1990, σύμφωνα με την οποία το πρόβλημα της αύξησης της θερμοκρασίας ήταν υπαρκτό και όφειλε να αντιμετωπιστεί άμεσα. Τα συμπεράσματα της Διακυβερνητικής Επιτροπής ώθησαν τις κυβερνήσεις να δημιουργήσουν τη Σύμβαση – Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές. Η Σύμβαση αυτή υπογράφηκε το 1992 στο Ρίο ντε Τζανέιρο, επικυρώθηκε από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα επικυρώθηκε το 1993 και τέθηκε σε ισχύ το 1994. Το 1997, ύστερα από πολλές διαπραγματεύσεις, υιοθετήθηκε στη διεθνή διάσκεψη του Κιότο στην Ιαπωνία σχέδιο Πρωτοκόλλου για τις κλιματικές αλλαγές.

Το πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί μια από τις σημαντικότερες διεθνείς νομοθετικές πράξεις καταπολέμησης των κλιματικών μεταβολών. Περιλαμβάνει τις δεσμεύσεις που έχουν αναλάβει οι εκβιομηχανισμένες χώρες για τον περιορισμό των εκπομπών ορισμένων αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο ευθύνεται για την υπερθέρμανση του πλανήτη. Ουσιαστικά το πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί έναν 'οδικό χάρτη' στον οποίο περιλαμβάνονται τα απαραίτητα βήματα για τη μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος που προκαλείται λόγω της αύξησης των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με αυτό, τα κράτη που το έχουν υπογράψει, δεσμεύονται να ελαττώσουν τις εκπομπές των 6 αερίων του θερμοκηπίου την πρώτη περίοδο ανάληψης υποχρεώσεων (2008 – 2012) κατά 5,2% σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 (Πίνακας 1.3) [9].

Η Ελλάδα, όπως και τα υπόλοιπα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, επικύρωσαν το Πρωτόκολλο αυτό τον Μάιο του 2002 [9].

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο, μια χώρα μπορεί να πετύχει τους στόχους της είτε μειώνοντας τις εκπομπές της, είτε εναλλακτικά, χρησιμοποιώντας κάποιους από τους λεγόμενους ευέλικτους μηχανισμούς. Οι τρεις μηχανισμοί είναι:

- I. Εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών: μια βιομηχανικά αναπτυγμένη χώρα, που έχει μειώσει τις εκπομπές της πέραν των αρχικών στόχων που προβλέπονται, μπορεί να πουλήσει αυτή την επιπλέον μείωση σε άλλη χώρα που αντιμετωπίζει δυσκολίες στο να πετύχει το στόχο της
- II. Μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης: ο στόχος αυτού του μηχανισμού είναι οι αναπτυσσόμενες χώρες να αναπτύξουν καθαρές τεχνολογίες για να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ο μηχανισμός αυτός παρέχει κίνητρα, έτσι ώστε οι βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες να χρηματοδοτήσουν προγράμματα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις αναπτυσσόμενες χώρες. Έτσι μια βιομηχανικά αναπτυγμένη χώρα, αντί να μειώσει τις δικές της εκπομπές, μπορεί να βοηθήσει στη μείωση εκπομπών σε κάποια φτωχότερη χώρα, όπου η μείωση αυτή είναι ευκολότερη και φθηνότερη.

III. Κοινή εφαρμογή: είναι παρεμφερείς με τον μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης, σε αντίθεση όμως με αυτόν, δεν αφορά όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες, αλλά μόνο εκείνες που έχουν δεσμευτεί σε μειώσεις μέσω του πρωτοκόλλου του Κιότο.

Όσον αφορά την Ευρωπαϊκή Ένωση, αν και ο συνολικός στόχος είναι η μείωση των εκπομπών κατά 8%, ο καταμερισμός της μείωσης αυτής ανάμεσα στα κράτη μέλη παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις (Πίνακας 1.4).

**Πίνακας 1.3:** Ποσοστά προβλεπόμενης μείωσης των εκπομπών ανά χώρα, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο

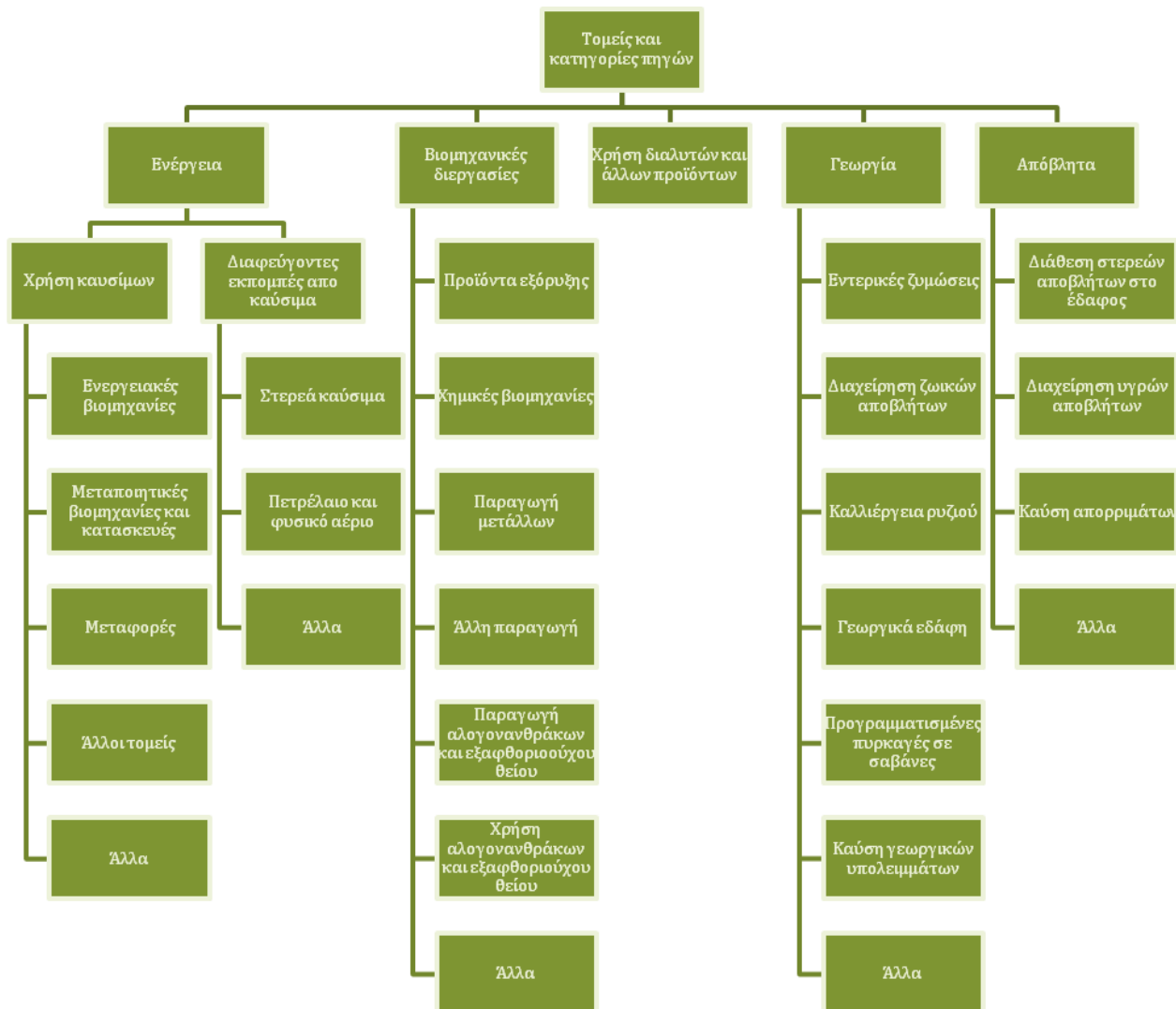
ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2008 - 2012	
Ευρωπαϊκή Ένωση, Βουλγαρία, Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία	-8%
ΗΠΑ	-7%
Καναδάς, Ιαπωνία, Ουγγαρία, Πολωνία	-6%
Κροατία	-5%
Νέα Ζηλανδία, Ουκρανία, Ρωσία	+0%
Νορβηγία	+1%
Αυστραλία	+8%
Ισλανδία	+10%

**Πίνακας 1.4:** Ποσοστά προβλεπόμενης μείωσης των εκπομπών ανά χώρα της ΕΕ, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΕΕ			
Λουξεμβούργο	-28%	Γαλλία, Φιλανδία	0%
Γερμανία, Δανία	-21%	Σουηδία	4%
Αυστρία	-13%	Ιρλανδία	13%
Βρετανία	-12,5%	Ισπανία	15%
Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία	-8%	Ελλάδα	25%
Βέλγιο	-7,5%	Πορτογαλία	27%
Ουγγαρία, Πολωνία, Ολλανδία	-6%		

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.4, στην Ελλάδα έχει επιτραπεί να αυξήσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κατά 25% μέχρι το 2012 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Όμως, σύμφωνα με στοιχεία του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, το οποίο είναι υπεύθυνο για την εκπόνηση του Εθνικού Σχεδίου Κατανομής της Ελλάδας, μέχρι το 2000 οι εκπομπές της χώρας μας είχαν αυξηθεί ήδη κατά 23,4%. Σε περίπτωση μη τήρησης των στόχων προβλέπονται αυστηρά πρόστιμα, γι' αυτό επιβάλλονται μέτρα μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου.

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο, οι τομείς και οι κατηγορίες των πηγών που είναι υπεύθυνοι για τα αέρια του θερμοκηπίου και οι οποίοι συμμετέχουν στους μηχανισμούς του Κιότο φαίνονται στο διάγραμμα 1.11:



**Διάγραμμα 1.11:** Τομείς και κατηγορίες των πηγών που είναι υπεύθυνοι για τα αέρια του θερμοκηπίου και οι οποίοι συμμετέχουν στους μηχανισμούς του Κιότο

### 1.6.1. Υπολογισμός εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή οδηγία 2003/87/ΕΚ, ο υπολογισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα γίνεται με τον παρακάτω τύπο [3]:

$$\text{εκπομπές CO}_2 = \text{δεδομένα δραστηριότητας} \cdot \text{συντελεστή εκπομπών} \cdot \text{συντελεστή οξειδώσεως}$$

Τα δεδομένα δραστηριότητας (χρησιμοποιούμενο καύσιμο, ρυθμός παραγωγής κλπ.) παρακολουθούνται βάση στοιχείων εφοδιασμού ή με μετρήσεις.

Οι συντελεστές εκπομπών που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι αποδεκτοί. Για όλα τα καύσιμα γίνονται δεκτοί ειδικοί κατά δραστηριότητα συντελεστές εκπομπών. Εξ ορισμού συντελεστές είναι αποδεκτοί για όλα τα καύσιμα εκτός από την περίπτωση μη διαθέσιμων στο εμπόριο καυσίμων (π.χ. απόβλητα καύσιμα, όπως ελαστικά και αέρια βιομηχανικών διεργασιών). Πρέπει να εκπονηθούν, για τον άνθρακα μεν, ειδικοί συντελεστές ανά κοίτασμα για το φυσικό αέριο δε, εξ ορισμού οι συντελεστές για την ΕΕ ή κατά χώρα παραγωγής. Για τα προϊόντα διυλίσεως είναι αποδεκτές οι εξ

ορισμού τιμές της διακυβερνητικής ομάδας για τις κλιματικές μεταβολές (IPCC). Ο συντελεστής εκπομπών της βιομάζας είναι μηδέν

Εάν στο συντελεστή εκπομπών δεν λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι μέρος του άνθρακα δεν οξειδώνεται, πρέπει να χρησιμοποιείται ένας πρόσθετος συντελεστής οξειδώσεως. Εάν έχουν υπολογισθεί ειδικοί κατά τη δραστηριότητα συντελεστές εκπομπών στους οποίους έχει ήδη ληφθεί υπόψη η οξείδωση, δεν χρειάζεται να εφαρμοστεί συντελεστής οξειδώσεως. Πρέπει να χρησιμοποιούνται οι εξ ορισμού συντελεστές οξειδώσεως που καθορίζονται βάση της οδηγίας 96/61/ΕΚ, εκτός αν ο φορέας εκμετάλλευσης μπορεί να αποδείξει ότι οι ειδικοί κατά δραστηριότητα συντελεστές είναι ακριβέστεροι.

Για κάθε δραστηριότητα, εγκατάσταση και καύσιμο πρέπει να γίνεται χωριστός υπολογισμός.

### **1.6.2. Υπολογισμός συντελεστών εκπομπών σύμφωνα με το ΣΔΑΕ**

#### 1.6.2.1. Το ΣΔΑΕ και η επιλογή συντελεστών εκπομπών

Το Σύμφωνο των Δημάρχων είναι μια πρωτοβουλία που εμπλέκει Ευρωπαϊκά αστικά κέντρα και πόλεις στον αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής. Οι Δήμαρχοι που υπογράφουν το Σύμφωνο, δεσμεύονται να υπερβούν τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το κλίμα και την ενέργεια για το έτος 2020, μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην επικράτειά τους τουλάχιστον κατά 20%. Για να το πετύχουν αυτό, αναπτύσσουν Σχέδια Δράσης για την Αειφόρο (Βιώσιμη) Ενέργεια (ΣΔΑΕ), εφαρμόζουν δράσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και την αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τόσο σε δημόσιους όσο και ιδιωτικούς τομείς του Δήμου και οργανώνουν Ημέρες Ενέργειας. Αυτές οι προσπάθειες υποστηρίζονται ισχυρά από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το Γραφείο του Συμφώνου των Δημάρχων και τις Δομές Υποστήριξης.

Οι συντελεστές εκπομπών επιτρέπεται να επιλεγθούν ακολουθώντας δύο διαφορετικές προσεγγίσεις [10]:

- ✓ Χρησιμοποιώντας τους πρότυπους συντελεστές εκπομπών σύμφωνα με τις αρχές της IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), οι οποίοι καλύπτουν όλες τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της κατανάλωσης ενέργειας εντός της περιοχής του οργανισμού τοπικής αυτοδιοίκησης, είτε έμμεσα, μέσω της κατανάλωσης καυσίμων για την ηλεκτροπαραγωγή εντός της περιοχής του οργανισμού τοπικής αυτοδιοίκησης. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στην περιεκτικότητα σε άνθρακα κάθε καυσίμου, όπως συμβαίνει στις εθνικές στατιστικές απογραφές των αερίων του θερμοκηπίου βάσει του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Με αυτή τη προσέγγιση, θεωρούνται μηδενικές οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εξάλλου, το CO<sub>2</sub> είναι το σημαντικότερο από τα GHG και δεν απαιτείται υπολογισμός του μεριδίου των εκπομπών CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O. Συνεπώς, από τον οργανισμό της τοπικής αυτοδιοίκησης που αποφασίζει να υιοθετήσει αυτή τη προσέγγιση ζητείται οι εκπομπές να αναφέρονται σε tCO<sub>2</sub>. Ωστόσο επιτρέπεται να συμπεριληφθούν και τα άλλα GHG, σε αυτή τη περίπτωση όμως, οι εκπομπές μετρούνται σε tCO<sub>2</sub>-eq.
- ✓ Χρησιμοποιώντας συντελεστές ανάλυσης κύκλου ζωής (ΑΚΖ) που λαμβάνουν υπόψη τον συνολικό κύκλο ζωής του ενεργειακού φορέα. Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει όχι μόνο τις εκπομπές της τελικής καύσης, αλλά και όλες τις εκπομπές της αλυσίδας εφοδιασμού (όπως τις απώλειες κατά τη μεταφορά, τις εκπομπές διύλισης ή τις απώλειες μετατροπή της

ενέργειας) που προκύπτουν εκτός της περιοχής του οργανισμού τοπική αυτοδιοίκησης. Με αυτή τη προσέγγιση, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θεωρούνται μεγαλύτερες του μηδενός. Εάν υιοθετηθεί αυτή η προσέγγιση, ενδέχεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο άλλα αέρια του θερμοκηπίου, εκτός του CO<sub>2</sub>. Συνεπώς, όταν αποφασίζεται η χρήση της ΑΚΖ, οι εκπομπές αναφέρονται σε τόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub>.

#### 1.6.2.2. Συντελεστές εκπομπών για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Ως γενική αρχή, επιτρέπεται να χρησιμοποιείται είτε εθνικός είτε ευρωπαϊκός συντελεστής εκπομπών. Επιπλέον, εάν ο οργανισμός τοπικής αυτοδιοίκησης έχει αποφασίσει να συμπεριλάβει μέτρα σχετικά με την τοπική ηλεκτροπαραγωγή ή εάν αγοράζει πιστοποιημένη πράσινη ηλεκτρική ενέργεια, θα υπολογίζεται τοπικός συντελεστής εκπομπών, ο οποίος αντικατοπτρίζει τα οφέλη του περιορισμού του CO<sub>2</sub> με αυτά τα μέτρα.

Οι εθνικοί και ευρωπαϊκοί συντελεστές εκπομπών για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας φαίνονται στον Πίνακα 1.5 [4,10].

Οι συντελεστές εκπομπών για τοπική ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ή για πιστοποιημένη πράσινη ηλεκτρική ενέργεια φαίνονται στον Πίνακα 1.6 [4,10].

**Πίνακας 1.5:** Εθνικοί και ευρωπαϊκοί συντελεστές εκπομπών για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Κράτος μέλος	Πρότυπος συντελεστής εκπομπών (tCO <sub>2</sub> /MWh <sub>e</sub> )	Συντελεστής ΑΚΖ (tCO <sub>2eq</sub> /MWh <sub>e</sub> )
Αυστρία	0,209	0,31
Βέλγιο	0,285	0,402
Γερμανία	0,624	0,706
Δανία	0,461	0,76
Ισπανία	0,44	0,639
Φιλανδία	0,216	0,418
Γαλλία	0,056	0,146
Ηνωμένο Βασίλειο	0,543	0,658
<b>Ελλάδα</b>	<b>1,149</b>	<b>1,167</b>
Ιρλανδία	0,732	0,87
Ιταλία	0,483	0,708
Κάτω χώρες	0,435	0,716
Πορτογαλία	0,369	0,75
Σουηδία	0,023	0,079
Βουλγαρία	0,819	0,906
Κύπρος	0,874	1,019
Τσέχικη Δημοκρατία	0,95	0,802
Εσθονία	0,908	1,593
Ουγγαρία	0,566	0,678
Λιθουανία	0,153	0,174
Λεττονία	0,109	0,563
Πολωνία	1,191	1,185
Ρουμανία	0,701	1,084
Σλοβενία	0,557	0,602
Σλοβακία	0,252	0,353
ΕΕ-27	0,46	0,578



**Πίνακας 1.6:** Συντελεστές εκπομπών για τοπική ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ή για πιστοποιημένη πράσινη ηλεκτρική ενέργεια

Πηγή ηλεκτρικής ενέργειας	Πρότυπος συντελεστής εκπομπών (tCO <sub>2</sub> /MWh <sub>e</sub> )	Συντελεστής ΑΚΖ (tCO <sub>2eq</sub> /MWh <sub>e</sub> )
Φωτοβολταϊκά	0	0,020 - 0,050
Αιολική	0	0,007
Υδροηλεκτρική	0	0,024

1.6.2.3. Συντελεστές εκπομπών για την καύση καυσίμων

Ο πίνακας που ακολουθεί περιλαμβάνει τους συντελεστές εκπομπών ανάλογα με το είδος του καυσίμου για καύση. Συμπεριλαμβάνονται και η τοπική παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρικής ενέργειας.

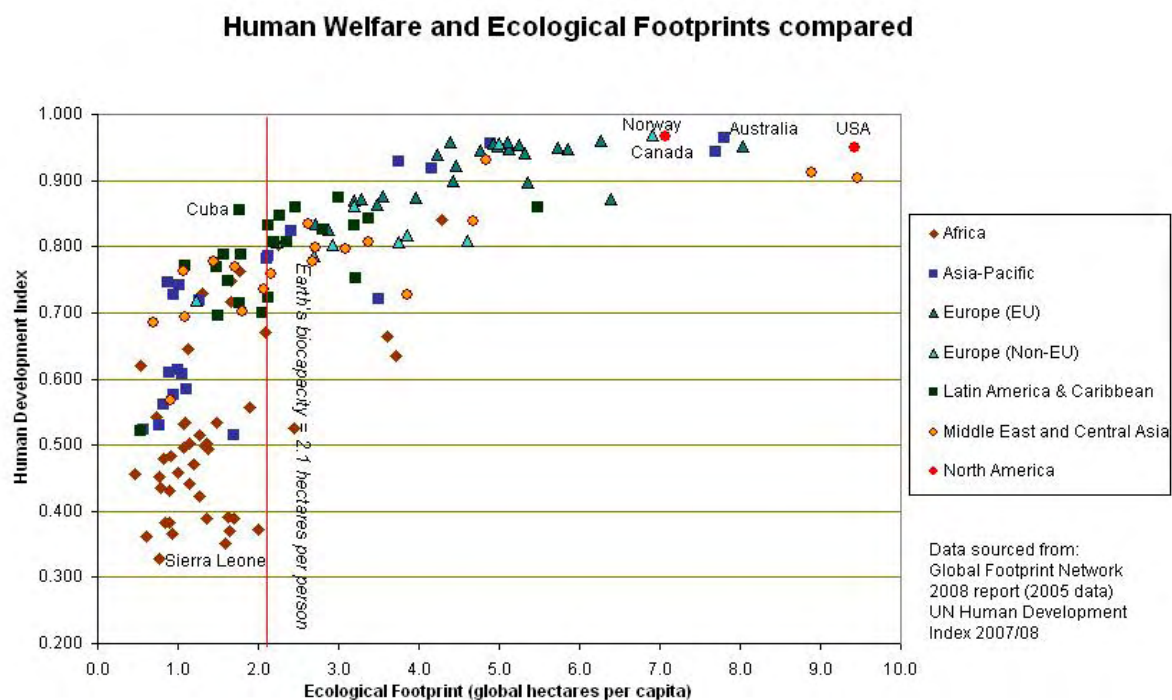
**Πίνακας 1.7:** Συντελεστές εκπομπών ανάλογα με το είδος του καυσίμου για καύση

Είδος	Πρότυπος συντελεστής εκπομπών (tCO <sub>2</sub> /MWh <sub>e</sub> )	Συντελεστής ΑΚΖ (tCO <sub>2eq</sub> /MWh <sub>e</sub> )
Φυσικό αέριο	0,202	0,237
Υπολείμματα μαζούτ	0,279	0,310
Αστικά απορρίμματα (εκτός βιομάζας)	0,330	0,330
Βενζίνη κίνησης	0,249	0,299
Πετρέλαιο εσωτερικής καύσης, ντίζελ	0,267	0,305
Υγροποιημένο φυσικό αέριο	0,231	
Φυτικό έλαιο	0	0,182
Βιοντίζελ	0	0,156
Βιοαιθανόλη	0	0,206
Ανθρακίτης	0,354	0,393
Λοιποί ασφαλτούχοι γαιάνθρακες	0,341	0,38
Υπασφαλτούχοι γαιάνθρακες	0,346	0,385
Λιγνίτης	0,364	0,375

## 2. Αποτύπωμα του άνθρακα (Carbon footprint – CF)

### 2.1. Οικολογικό αποτύπωμα

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, ο William Rees και ο φοιτητής του Mathis Wackernagel συνέλαβαν την έννοια του οικολογικού αποτυπώματος [11]. Ως **οικολογικό αποτύπωμα ορίζεται το εργαλείο υπολογισμού των επιπτώσεων που έχει ο άνθρωπος στον πλανήτη, ανάλογα με τους φυσικούς πόρους που καταναλώνει, με ιδιαίτερη έμφαση στο νερό, την παραγωγή απορριμμάτων, και στη κατανάλωση φυσικών πόρων για την παραγωγή ενέργειας**. Το οικολογικό αποτύπωμα υπολογίζει τις εκτάσεις γης που χρειαζόμαστε για να ικανοποιήσουμε τις ανάγκες μας σε τροφή και πρώτες ύλες, αλλά και τις εκτάσεις γης που απαιτούνται για να αφομοιώσουμε τα απορρίμματα μας και τους ρύπους μας. Πιο απλά, **το οικολογικό αποτύπωμα είναι η συμβολή του καθενός ατόμου στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος**. Το οικολογικό αποτύπωμα δεν είναι μόνο ατομική μέτρηση, μπορεί να υπολογιστεί για έναν οργανισμό ή μία επιχείρηση, για μία πόλη ή μια χώρα, ακόμα και για κάθε ένα προϊόν ξεχωριστά. Μονάδα μέτρησης του οικολογικού αποτυπώματος είναι το εκτάριο γης (1 εκτάριο = 10 στρέμματα).



**Διάγραμμα 2.1:** Σύνδεση του Οικολογικού Αποτυπώματος και του Δείκτη Ανάπτυξης του επιπέδου Διαβίωσης σε κάθε χώρα

Η γη έχει πεπερασμένο εμβαδόν και έτσι το άθροισμα όλων των οικολογικών αποτυπωμάτων, θα πρέπει να είναι μικρότερο από τη συνολική επιφάνεια του πλανήτη. Δυστυχώς όμως συμβαίνει το αντίθετο, ο τρόπος ζωής μας έχει ξεπεράσει κατά πολύ τη δυνατότητα του πλανήτη να μας ικανοποιεί. Αυτό συμβαίνει γιατί οι άνθρωποι έχουν την εντύπωση ότι οι φυσικοί πόροι είναι ανεξάντλητοι. Οι επιπτώσεις της υπερκατανάλωσης είναι πλέον ορατές σε όλους: υποβάθμιση και συρρίκνωση των υδάτινων πόρων, αύξηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, που

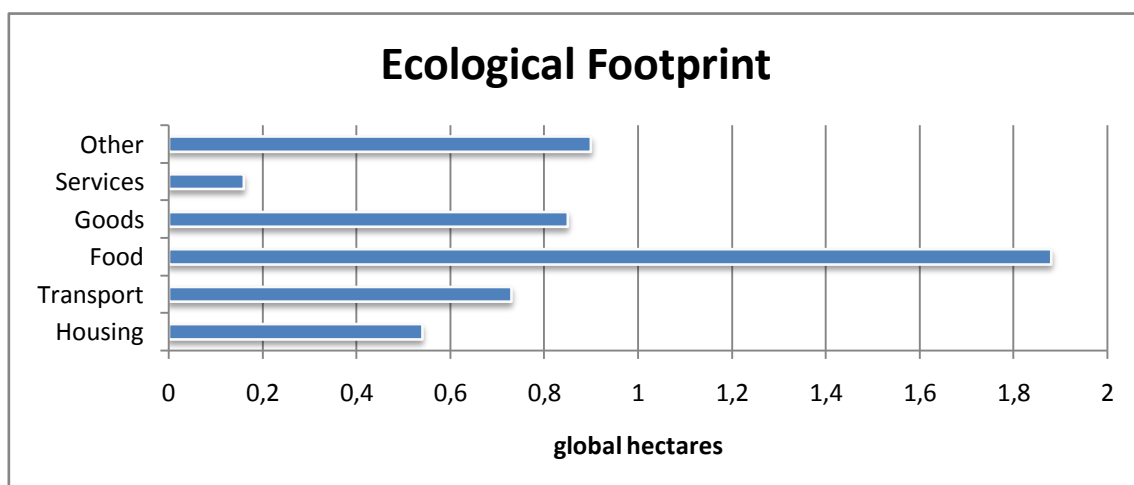


προκαλούν την παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Εάν οι απαιτήσεις μας από τον πλανήτη συνεχιστούν με αυτούς τους ρυθμούς, το 2030 θα χρειαζόμαστε 2 πλανήτες, δηλαδή ο πλανήτης μας θα χρειάζεται 2 χρόνια για να παράγει τους πόρους που χρειάζεται η ανθρωπότητα για ένα χρόνο.

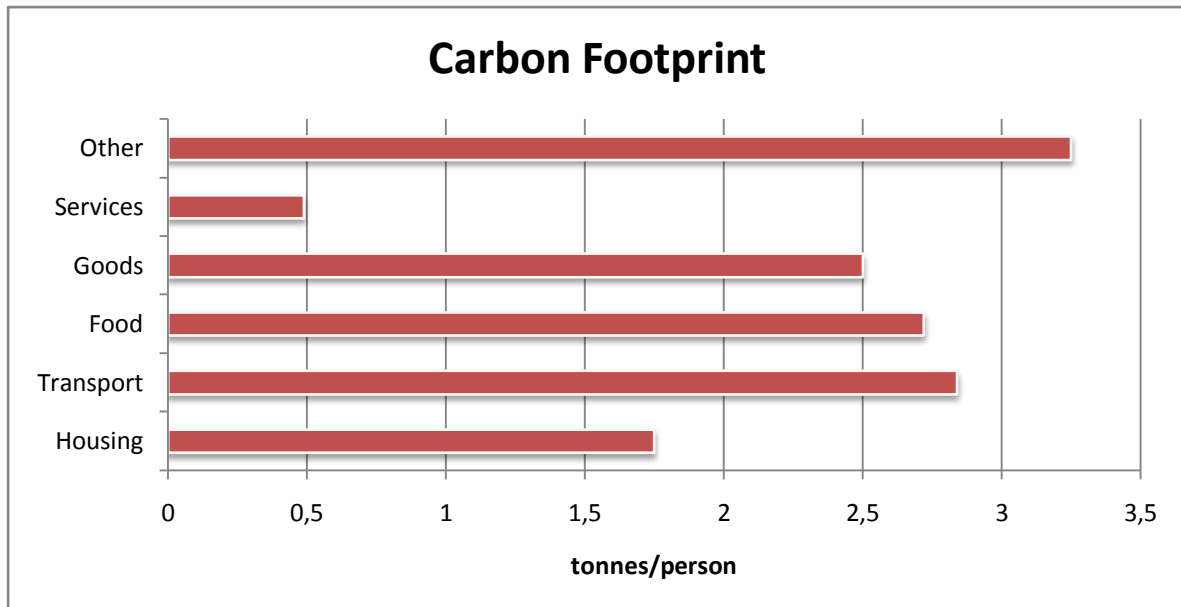
**Το συνολικό οικολογικό αποτύπωμα υπολογίζεται ως το άθροισμα των επιμέρους αποτυπωμάτων, όπως για παράδειγμα το ανθρακικό αποτύπωμα και το υδάτινο αποτύπωμα, που αποτελούν και τα μεγαλύτερα μέρη του οικολογικού αποτυπώματος.** Το υδατικό αποτύπωμα ορίζεται ως ο συνολικός όγκος γλυκού νερού που χρησιμοποιείται άμεσα ή έμμεσα για μια ανθρώπινη δραστηριότητα. Για το αποτύπωμα του άνθρακα δεν υπάρχει σαφής ορισμός για το τι πραγματικά είναι, τι υπολογίζει και ποιές μονάδες μέτρησης χρησιμοποιούνται. Ενώ ο όρος προέρχεται από την έννοια του οικολογικού αποτυπώματος, η μόνη κοινή βασική γραμμή είναι ότι το αποτύπωμα του άνθρακα αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη ποσότητα εκπομπών αερίων που σχετίζεται με την κλιματική αλλαγή και συνδέεται με ανθρωπογενείς δραστηριότητες παραγωγής και κατανάλωσης. Το φάσμα των ορισμών ποικίλλει, περιλαμβάνοντας από τις άμεσες εκπομπές CO<sub>2</sub> έως το συνολικό κύκλο ζωής των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι ο όρος αποτύπωμα παραπέμπει στη χρήση μονάδων μέτρησης βασισμένες σε μονάδες επιφάνειας, ωστόσο, ακόμα και οι μονάδες μέτρησής του δεν είναι σαφώς καθορισμένες.

Ο όρος του αποτυπώματος του άνθρακα χρησιμοποιείται ευρέως στη διεθνή κοινότητα και σχετίζεται με την παγκόσμια κλιματική αλλαγή και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Είναι ένας όρος που τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και πιο γνωστός και χρησιμοποιείται καθημερινά, από όλα τα μέσα ενημέρωσης, τις κυβερνήσεις και τον κόσμο των επιχειρήσεων.

Το ανθρακικό αποτύπωμα του μέσου Έλληνα, τα τελευταία 50 χρόνια έχει ενδεκαπλασιαστεί, το 2004 έφτανε περίπου τους 13.55 tones CO<sub>2</sub>, 10-15% περισσότερο από έναν μέσο Ευρωπαϊκό πολίτη, ενώ το μέσο οικολογικό αποτύπωμα του είναι 5 ha και κατανέμονται όπως φαίνεται στα διαγράμματα 2.2 και 2.3 [12]. Στην Ελλάδα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με καύση πετρελαίου και λιγνίτη και εξαιτίας της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, το αποτύπωμα του άνθρακα είναι πολύ υψηλό. Για τον λόγο αυτό, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως η αιολική ενέργεια και η χρήση φωτοβολταϊκών, μειώνει σημαντικά το ανθρακικό αποτύπωμα.



**Διάγραμμα 2.2:** Οικολογικό αποτύπωμα ανά Έλληνα ανάλογα με την κατηγορία αγαθών 2004



**Διάγραμμα 2.3:** Ανθρακικό αποτύπωμα ανά Έλληνα ανάλογα με την κατηγορία αγαθών 2004

Βασικός στόχος για τη χώρα μας, αλλά και για κάθε χώρα, είναι η μείωση των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια αλλά και η κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους των αναγκών από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η επίτευξη του στόχου αυτού, όχι μόνο είναι περιβαλλοντικά ιδανική, αλλά εξαιτίας του εμπορίου των αέριων ρύπων θα υπάρξει και οικονομικό όφελος.

## 2.2. Ορισμοί αποτυπώματος του άνθρακα

Στο σύνολο της διεθνούς βιβλιογραφίας, ο όρος αποτύπωμα του άνθρακα χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η ποσότητα των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που αποδίδεται σε ένα συγκεκριμένο προϊόν, υπηρεσία, επιχείρηση ή οργάνωση [13]. Ωστόσο δεν παρέχεται κανένας σαφής ορισμός του όρου όπως αναφέρεται και παραπάνω. Στις περισσότερες περιπτώσεις το αποτύπωμα άνθρακα χρησιμοποιείται γενικά ως συνώνυμο των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα ή των αερίων του θερμοκηπίου εκφρασμένες σε ισοδύναμες μονάδες CO<sub>2</sub> (carbon dioxide equivalent, CDE ή CO<sub>2eq</sub>).

Το Παγκόσμιο Δίκτυο Αποτυπώματος (Global Footprint Network, GFN), που συντάσσει σε ετήσια βάση τους υπολογισμούς των Εθνικών Αποτυπωμάτων, θεωρεί το ανθρακικό αποτύπωμα ως τμήμα του οικολογικού αποτυπώματος. Το αποτύπωμα του άνθρακα θα μπορούσε να ονομαστεί και αποτυπώματος ορυκτών καυσίμων (fossil fuel footprint).

Ορισμένοι ορισμοί που έχουν προταθεί από επιχειρήσεις, μη κυβερνητικές οργανώσεις, οργανισμούς και κυβερνήσεις σχετικά με το αποτύπωμα άνθρακα είναι οι παρακάτω:

- ✓ Το ανθρακικό αποτύπωμα είναι η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται λόγω των καθημερινών δραστηριοτήτων (από το πλύσιμο των ρούχων μέχρι την μεταφορά των παιδιών στο σχολείο).

- ✓ Το αποτύπωμα του άνθρακα είναι ένα μέτρο των ισοδύναμων εκπομπών CO<sub>2</sub> από τις εγκαταστάσεις, τα ιδιόκτητα οχήματα, τα επαγγελματικά ταξίδια και τα απόβλητα στους χώρους υγειονομικής ταφής. (Patel 2006)
- ✓ Το αποτύπωμα του άνθρακα είναι η συνολική ποσότητα εκπομπής CO<sub>2</sub> και άλλων αερίων του θερμοκηπίου από ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας, από την παραγωγή των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του μέχρι τη διάθεση του τελικού προϊόντος (εξαιρουμένων των εκπομπών κατά τη χρήση του). Εκφράζεται σε ισοδύναμα γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα ανά κιλοβατώρα παραγωγής (gCO<sub>2e</sub>/kWh) (CarbonTrust 2007)
- ✓ Το ανθρακικό αποτύπωμα είναι μια τεχνική για τον εντοπισμό και τη μέτρηση των επιμέρους εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, από κάθε δραστηριότητα, στο πλαίσιο μιας αλυσίδας εφοδιασμού και το πλαίσιο της απόδοσης αυτών σε κάθε προϊόν εξόδου (αποτύπωμα του άνθρακα ενός προϊόντος) (CarbonTrust 2007)
- ✓ Το αποτύπωμα του άνθρακα είναι οι συνολικές άμεσες και έμμεσες εκπομπές CO<sub>2</sub> που προκαλούνται από τις επιχειρηματικές δραστηριότητες.
- ✓ Το αποτύπωμα άνθρακα είναι ένα μέτρο των επιπτώσεων των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στο περιβάλλον, από την άποψη της ποσότητας των παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου, το οποίο μετράται σε τόνους διοξειδίου του άνθρακα.
- ✓ Η ζήτηση σε βιολογικές ικανότητες που απαιτούνται για την απομόνωση (μέσω της φωτοσύνθεσης), του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από την καύση των ορυκτών καυσίμων. (GFN 2007)
- ✓ Το αποτύπωμα του άνθρακα μιας λειτουργικής μονάδας εκφράζει τις επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή, με μια συγκεκριμένη μονάδα μέτρησης που να εκτιμά όλες τις σχετικές εκπομπές των πηγών, των αποδεκτών και της αποθήκευσης, τόσο στην κατανάλωση όσο και την παραγωγή, καθορίζοντας τα χωρικά και χρονικά όρια της λειτουργικής μονάδας.
- ✓ Το αποτύπωμα άνθρακα είναι ένα μέτρο της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Στην περίπτωση μιας επιχείρησης εκφράζει την ποσότητα CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται άμεσα ή έμμεσα ως αποτέλεσμα των καθημερινών εργασιών της. Επίσης, μπορεί να αντιπροσωπεύει την ενέργεια από ορυκτά καύσιμα που εκπροσωπούν ένα προϊόν ή εμπόρευμα που φτάνει στην αγορά.
- ✓ Το αποτύπωμα άνθρακα είναι το συνολικό ποσό του CO<sub>2</sub> και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου, που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια του πλήρους κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας. Εκφράζεται σε γραμμάρια CO<sub>2</sub> ανά κιλοβατώρα (gCO<sub>2eq</sub>/kWh), το οποίο αντιστοιχεί στις διάφορες παγκόσμιες επιπτώσεις όλων των αερίων του θερμοκηπίου.

Ο ορισμός που προτείνεται από τους Wiedmann και Minx για τον όρο του αποτυπώματος του άνθρακα είναι ο εξής:

- ✓ Το αποτύπωμα άνθρακα εκφράζει αποκλειστικά ένα μέτρο της συνολικής ποσότητας των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που εκλύεται άμεσα και έμμεσα από μια δραστηριότητα ή συσσωρεύεται κατά τη διάρκεια των σταδίων ζωής ενός προϊόντος [13].

Ο ορισμός αυτός περιλαμβάνει τις δραστηριότητες ατόμων, πληθυσμών, κυβερνήσεων, επιχειρήσεων, οργανώσεων, διαδικασιών, τομείς της βιομηχανίας και άλλα. Τα προϊόντα συμπεριλαμβάνουν αγαθά και υπηρεσίες. Σε κάθε περίπτωση, όλες οι άμεσες και έμμεσες εκπομπές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Είναι σημαντικό το ανθρακικό αποτύπωμα να συμπεριλαμβάνει τα πάντα, όλες τις αιτίες που προκαλούν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ένα σαφές πεδίο ορισμού με σαφή όρια είναι απαραίτητα. Επιπλέον, οι μεθοδολογίες που εφαρμόζονται για τον υπολογισμό των έμμεσων εκπομπών θα πρέπει να είναι πλήρεις, να μην υπολογίζουν διπλά τις εκπομπές (αποκλειστικά μέτρο της συνολικής ποσότητας), και να συμπεριλαμβάνουν ολόκληρο το κύκλο ζωής των προϊόντων.

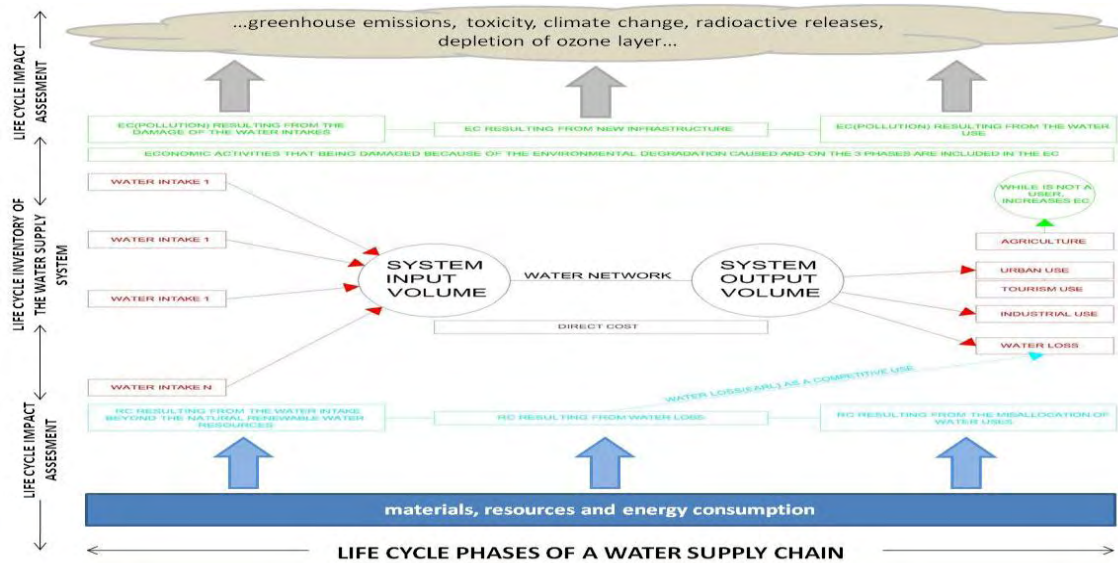
### **2.3. Αποτύπωμα του άνθρακα και αλυσίδα παροχής πόσιμου νερού**

Σύμφωνα με την οδηγία Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ, το πλήρες κόστος νερού μιας οποιαδήποτε ποσότητας, αποτελείται από τρεις συνιστώσες, το άμεσο κόστος (ΑΚ), το περιβαλλοντικό κόστος (ΠΚ) και το κόστος φυσικών πόρων (ΚΦΠ) [14]. Το άμεσο κόστος περιλαμβάνει όλα τα έξοδα μιας επιχείρησης ύδρευσης για την διανομή πόσιμου νερού στον τελικό καταναλωτή, σε επαρκή ποσότητα και κατάλληλη ποιότητα.

Το περιβαλλοντικό κόστος ισοδυναμεί με τις επιπτώσεις που προκαλούνται από τις εργασίες σε ένα δίκτυο ύδρευσης και την αυξημένη χρήση νερού, άμεσα στο περιβάλλον και έμμεσα στον τελικό καταναλωτή. Παρά το γεγονός ότι οι περιβαλλοντικοί φόροι – τέλη που σχετίζονται με την παροχή νερού και την επεξεργασία λυμάτων, που περιλαμβάνονται στους λογαριασμούς ύδρευσης, αποτελούν πολιτικές ανάκαμψης περιβαλλοντικού κόστους που εφαρμόζονται σήμερα, οι οποίες όμως δεν οδηγούν στην πλήρη ανάκτησή του. Όπως αναφέρεται στην οδηγία πλαίσιο, η βασική αρχή είναι ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ισοδυναμούν με το κόστος που απαιτείται για την επαναφορά των χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος στην αρχική τους κατάσταση, με βάση την παραδοχή ότι η χαμηλότερη τιμή ενός περιβαλλοντικού αγαθού ισούται με το αναγκαίο κόστος διατήρησής του. Το ΠΚ πρέπει να ισοδυναμεί τουλάχιστον με το κόστος αποκατάστασης του περιβάλλοντος στις αρχικές συνθήκες.

Όσον αφορά το κόστος φυσικών πόρων, υπάρχουν δύο βασικοί ορισμοί που βασίζονται στην ύπαρξη λειψυδρίας ή πλεονάζων ποσότητας υδατικών πόρων. Σε περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας, το ΚΦΠ ισοδυναμεί με απώλεια κερδών που προκύπτει από την υπερβολική προσπάθεια εκμετάλλευσης υδατικών πόρων, υπερβαίνοντας την ικανότητά του. Σε περιοχές που δεν αντιμετωπίζουν τέτοιου είδους προβλήματα, το ΚΦΠ ισούται με την απώλεια κερδών λόγω της άνισης κατανομής του νερού [15]. Στην περίπτωση λειψυδρίας συνυπάρχουν και οι δύο ορισμοί και το ΚΦΠ περιλαμβάνει και τις δύο συνιστώσες.

Το αποτύπωμα του άνθρακα πρέπει να υπολογίζεται και να λαμβάνεται υπόψη στην αλυσίδα διανομής οικιακού νερού όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



**Διάγραμμα 2.4:** Αλυσίδα διανομής οικιακού νερού από τη πηγή μέχρι τον τελικό προορισμό

Οι διαρροές στα δίκτυα ύδρευσης (25-50% της εισερχόμενης ποσότητας) χαρακτηρίζονται επίσης από σημαντική κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον διαδικασίες, όπως η αφαλάτωση και η επεξεργασία λυμάτων οδηγούν σε ακόμη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας [16]. Για τον υπολογισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη όλες οι φάσεις του κύκλου ζωής ενός δικτύου διανομής νερού. Οι επιχειρήσεις ύδρευσης θα πρέπει να υπολογίσουν σε ποια σημεία ακριβώς του δικτύου εκπέμπονται τα αέρια θερμοκηπίου. Το ανθρακικό αποτύπωμα ανά m<sup>3</sup> νερού πρέπει να υπολογιστεί στο συνολικό μήκος ενός δικτύου ύδρευσης. Η κατασκευή νέων υποδομών, νέων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, καθώς επίσης και η αύξηση της χωρητικότητας ενός δικτύου, πρέπει να ληφθούν επίσης υπόψη.

### **3. Μεθοδολογίες υπολογισμού του αποτυπώματος του άνθρακα**

#### **3.1. Γενικά**

Ο υπολογισμός του αποτυπώματος του άνθρακα προσεγγίζεται μεθοδολογικά από δύο διαφορετικές κατευθύνσεις [13]:

- ✓ Από κάτω προς τα πάνω (bottom – up), η οποία βασίζεται στην ανάλυση διαδικασίας (Process Analysis, PA) και στην ανάλυση του κύκλου ζωής (Life – Cycle Assessment, LCA).
- ✓ Από πάνω προς τα κάτω (top – bottom), η οποία βασίζεται στην ανάλυση των περιβαλλοντικών εισροών – εκροών (Environmental Input – Output analysis, EIO).

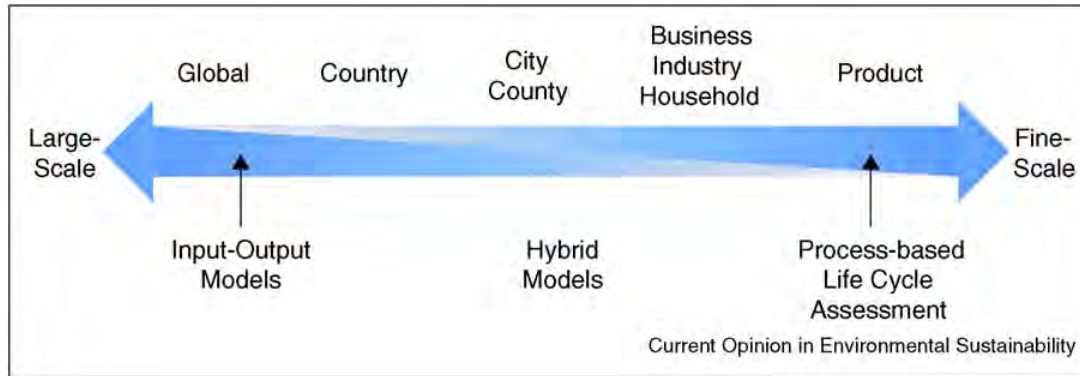
Αυτές οι δύο προσεγγιστικές μέθοδοι πρέπει να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, την αποφυγή του διπλού υπολογισμού των εκπομπών και των εκπομπών του πλήρη κύκλου ζωής ενός προϊόντος.

Η διαδικασία ανάλυσης (PA) είναι μια από κάτω προς τα πάνω μέθοδος, η οποία βοηθάει στην κατανόηση και τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των επιμέρους προϊόντων, από την αρχή μέχρι το τέλος της ζωής τους. Δηλαδή, η μέθοδος αυτή είναι από τη φύση της μια διαδικασία ανάλυσης του πλήρη κύκλου ζωής ενός προϊόντος (PA – LCAs), και υπάρχουν προβλήματα ορισμού ενός συστήματος ορίων. Όσον αφορά τον υπολογισμό του αποτυπώματος του άνθρακα για μεγαλύτερες οντότητες, όπως κυβερνήσεις, νοικοκυριά ή βιομηχανίες, η μέθοδος αυτή αντιμετωπίζει περαιτέρω δυσκολίες [13].

Η ανάλυση των περιβαλλοντικών εισροών – εκροών είναι μια εναλλακτική από πάνω προς τα κάτω προσέγγιση του αποτυπώματος του άνθρακα. Οι εισροές – εκροές είναι οικονομικοί υπολογισμοί που παρέχουν μια εικόνα για τις οικονομικές δραστηριότητες. Σε συνδυασμό με τα περιβαλλοντικά στοιχεία η προσέγγιση αυτή μας δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης του αποτυπώματος του άνθρακα με έναν ολοκληρωμένο και εύρωστο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις επιπτώσεις και καθορίζοντας ένα ολόκληρο οικονομικό όριο συστήματος. Ωστόσο, η πληρότητα αντιτίθεται στην λεπτομέρεια. Η ανάλυση των περιβαλλοντικών εισροών – εκροών είναι κατάλληλη για την εκτίμηση του αποτυπώματος σε ένα μικροσύστημα, όπου τα προϊόντα ή οι διαδικασίες είναι περιορισμένα, καθώς προϋποθέτει ομοιογένεια στις τιμές, στις εκροές, και στις εκπομπές του άνθρακα σε κάθε στάδιο. Παρά το γεγονός ότι οι τομείς μπορούν να διαχωρίζονται για περαιτέρω ανάλυση, δημιουργώντας μικροσυστήματα, ο διαχωρισμός αυτός, σε μεγάλη κλίμακα, είναι περιορισμένος. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι έχει πολύ μικρή απαίτηση σε χρόνο και ανθρώπινο δυναμικό [13].

Η καλύτερη επιλογή για μια λεπτομερή, περιεκτική και αξιόπιστη ανάλυση είναι να γίνει συνδυασμός και των δύο μεθόδων. Μια τέτοια προσέγγιση επιτρέπει τη λεπτομέρεια και την ακρίβεια της από κάτω προς τα πάνω προσέγγισης σε χαμηλά στάδια, ενώ σε ανώτερα στάδια οι απαιτήσεις καλύπτονται από το μοντέλο εισροών – εκροών. Μια τέτοια συνδυαστική μέθοδος, ενσωματώνοντας τις διαδικασίες σε πίνακες εισροών – εκροών, είναι η πιο σύγχρονη μέθοδος στην οικολογική οικονομική μοντελοποίηση.





**Διάγραμμα 3.1:** Εφαρμογή μεθοδολογιών υπολογισμού του ανθρακικού αποτυπώματος με βάση την κλίμακα ανάλυσης

Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από το σκοπό της έρευνας και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και των πόρων. Συγκεκριμένα, θεωρούμε πως η ανάλυση των περιβαλλοντικών εισροών – εκροών (ΕΙΟ) είναι καλύτερη στην εκτίμηση του αποτυπώματος του άνθρακα σε μακροοικονομικά και μεσοοικονομικά συστήματα. Για παράδειγμα, το αποτύπωμα του άνθρακα των βιομηχανιών, των ατομικών επιχειρήσεων, των μεγαλύτερων παραγωγικών μονάδων, των νοικοκυριών, των κυβερνήσεων, ενός μέσου πολίτη ή ενός μέσου μέλους μιας συγκεκριμένης κοινωνικοοικονομικής ομάδας μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί με την ανάλυση εισροών – εκροών. Αντίθετα, η διαδικασία ανάλυσης έχει σαφή πλεονεκτήματα για την εξέταση των μικροοικονομικών συστημάτων: μια συγκεκριμένη διαδικασία, ένα μεμονωμένο προϊόν ή μια σχετικά μικρή ομάδα από επιμέρους προϊόντα.

## **3.2. Ανάλυση περιβαλλοντικών εισροών – εκροών**

### **3.2.1. Γενικά**

Το μοντέλο των εισροών – εκροών για την ανάλυση των περιβαλλοντικών ροών έχει καθιερωθεί στην βιβλιογραφία, καθώς συνδέει τις περιβαλλοντικές πιέσεις απ’ όλους τους τομείς και επιτρέπει την κατανομή τους σε όλες τις ομάδες κατανάλωσης των προϊόντων. Δεν είναι μόνο η πλήρης αποτύπωση των δραστηριοτήτων αλλά και η ικανότητα του μοντέλου να αξιολογεί και να ποσοτικοποιεί τις άμεσες και έμμεσες περιβαλλοντικές ροές που προκαλούνται από μια συγκεκριμένη ζήτηση, έχει προσελκύσει την προσοχή των ερευνητών και επαγγελματιών για δεκαετίες.

Για λόγους απλούστευσης, η γενικευμένη μέθοδος εισροών – εκροών υποθέτει πως τα προϊόντα εγχώριας παραγωγής και τα εισαγόμενα προϊόντα είναι το ίδιο και έτσι η ανάλυση χρησιμοποιεί μόνο πίνακες εθνικών εισροών – εκροών για τους περιβαλλοντικούς υπολογισμούς.

Παρά το ευρύ φάσμα των εφαρμογών που καλύπτει το μοντέλο εισροών – εκροών, χρησιμοποιείται και ένα επιπλέον μοντέλο, αυτό των γενικευμένων εισροών – εκροών από πολλαπλές περιοχές (Multi – Regional Input – Output model, MRIO), το οποίο καταλύει την παραδοχή της ενιαίας περιοχής. Με την αύξηση της διαθεσιμότητας των διεθνών δεδομένων εισροών – εκροών και της περιβαλλοντικής επέκτασης του, η ανάπτυξη τέτοιων μοντέλων έχει γίνει ευκολότερη. Τα μοντέλα MRIO μπορούν να συσταθούν με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τον σκοπό της ανάλυσης και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Για την κατανόηση των μοντέλων πρέπει να αναφερθούν μερικές βασικές έννοιες. Ως θεσμική μονάδα ορίζεται μια οικονομική οντότητα η οποία είναι ικανή από μόνη της, από την ιδιοκτησία περιουσιακών στοιχείων, αναλαμβάνοντας υποχρεώσεις, να επιδίκεται σε οικονομικές δραστηριότητες και σε συναλλαγές με άλλες οντότητες. Οι θεσμικές μονάδες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις θεσμικούς τομείς: τις κυβερνήσεις, τις επιχειρήσεις και τα νοικοκυριά. Ο τομέας των επιχειρήσεων μπορεί να αναλυθεί σε διάφορα επίπεδα (τοπικές μονάδες, εγκαταστάσεις και βιομηχανίες). Θεωρείται, ότι κάθε κλάδος παράγει ένα ομοιογενές προϊόν και τα αγαθά ή οι υπηρεσίες του, που ονομάζονται επίσης προϊόντα, είναι αποτελέσματα παραγωγής.

Ως νομισματική συναλλαγή ορίζεται μια διαδικασία κατά την οποία μια θεσμική μονάδα κάνει ή λαμβάνει μια πληρωμή ή αναλαμβάνει μια υποχρέωση (λαμβάνει ένα περιουσιακό στοιχείο) που αναφέρεται σε νομισματικές μονάδες. Σκοπός είναι ο προσδιορισμός των οικονομικών ροών με τις νομισματικές συναλλαγές.

Ως παραγωγή μπορεί να οριστεί μια δραστηριότητα που πραγματοποιείται υπό τον έλεγχο και την ευθύνη μιας θεσμικής μονάδας, η οποία χρησιμοποιεί εισροές εργασίας, κεφαλαίου και αγαθών ή υπηρεσιών για την παραγωγή εκροών αγαθών ή υπηρεσιών. Η κατανάλωση είναι μια δραστηριότητα στην οποία οι θεσμικές μονάδες καταναλώνουν αγαθά ή υπηρεσίες και μπορεί να είναι ενδιάμεση ή τελική. Η ενδιάμεση κατανάλωση αποτελείται από εισροές σε παραγωγικές διεργασίες.

Οι συμβολισμοί και δείκτες που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των εισροών – εκροών είναι απλοί. Με έντονα γράμματα συμβολίζονται οι πίνακες και τα διανύσματα.

### **3.2.2. Νομισματικό μοντέλο εισροών – εκροών του Leontief (1985)**

Ένας πίνακας εισροών – εκροών, σύμφωνα με τον Leontief [17], περιγράφει τις ροές των αγαθών και των υπηρεσιών ανάμεσα σε κάθε μονάδα παραγωγής μιας εθνικής οικονομίας σε μία συγκεκριμένη περίοδο, για παράδειγμα ενός χρόνου.

Υποθέτουμε ότι η οικονομία περιγράφεται από  $n+1$  τομείς, από τους οποίους οι  $n$  είναι βιομηχανίες και ο  $n+1$  είναι ο τομέας της τελικής ζήτησης (π.χ. τα νοικοκυριά). Η φυσική εκροή του τομέα  $i$  αντιπροσωπεύεται με  $x_i$ , ενώ ο συμβολισμός  $x_{ij}$  δείχνει ότι ένας αριθμός προϊόντων του τομέα  $i$  απορροφάται, ως εισροή στον τομέα  $j$ . Η ποσότητα των προϊόντων του τομέα  $i$  που μεταφέρεται στον τομέα της τελικής ζήτησης είναι  $x_{in+1}$  αλλά συνήθως αναφέρεται και ως  $y_i$ .

Οι ποσότητα της εκροής του τομέα  $i$  απορροφάται από τον τομέα  $j$  για τη δημιουργία μονάδων εκροής του τομέα  $j$  και περιγράφεται από το σύμβολο  $a_{ij}$  και ονομάζεται συντελεστής εισροής προϊόντων από τον τομέα  $i$  στον  $j$ . Ισχύει ότι:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \quad (3.1)$$

Το σύνολο των συντελεστών εισροής όλων των τομέων ονομάζεται διαρθρωτικός πίνακας της οικονομίας. Οι πίνακες των ροών αποτελούν τις πηγές των εμπειρικών πληροφοριών για τις εισροές των προϊόντων όλων των τομέων μιας οικονομίας.

Σε ένα στατικό μοντέλο εισροών – εκροών, η ισορροπία μεταξύ των τελικών εκροών και όλων των εισροών κάθε τομέα περιγράφεται από ένα σύνολο  $n$  εξισώσεων που δίνεται από την παρακάτω σχέση:



$$y = (I - A) \cdot x \quad (3.2)$$

Αν η τελική ζήτηση  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ , δηλαδή οι ποσότητες από όλα τα διαφορετικά είδη αγαθών που απορροφούνται από τα νοικοκυριά και όλους τους άλλους τομείς, των οποίων οι εκροές δεν εκφράζονται από κάποιες μεταβλητές στην αριστερή πλευρά της ισότητας, θεωρηθούν γνωστά, το σύστημα μπορεί να λυθεί για η συνολικές εκροές  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Η γενική λύση των  $x$  με δεδομένα  $y$  είναι η εξής:

$$x = (I - A)^{-1} \cdot y \rightarrow x = L \cdot y \quad (3.3)$$

Το στοιχείο  $l_{ij}$  εκφράζει το πόσο η εκροή  $x_i$  του  $i$  τομέα θα αυξηθεί, αν η  $y_j$ , δηλαδή η ποσότητα των αγαθών του  $j$  τομέα που απορροφούνται από τα νοικοκυριά αυξηθεί κατά μία μονάδα. Μια τέτοια αύξηση επηρεάζει άμεσα τον τομέα  $i$  αν  $i=j$ , αλλά όταν  $i \neq j$  η εκροή  $x_i$  επηρεάζεται μόνο έμμεσα, επειδή ο τομέας  $i$  πρέπει να παρέχει επιπρόσθετες εισροές σε όλους τους άλλους τομείς, οι οποίοι με τη σειρά τους πρέπει να συμβάλλουν στην αύξηση της εκροής  $y_j$  που προέρχονται από τον τομέα  $j$  στην τελική χρήση.

Η σημασία του κάθε στοιχείου  $L$  στη λύση, γενικά εξαρτάται από όλους τους συντελεστές εισροής  $I$  που εμφανίζονται στην αριστερή πλευρά των ισοτήτων του συστήματος. Δηλαδή:

$$L = (I - A)^{-1} \quad (3.4)$$

Στον πίνακα εισροών – εκροών μιας χώρας ή μιας περιφέρειας η οποία εμπορεύεται πέρα από τα όρια της, οι εξαγωγές μπορούν να εισαχθούν στο μοντέλο ως θετικές ποσότητες και οι εισαγωγές ως αρνητική συνιστώσα της τελικής ζήτησης. Οι εισαγωγές μπορούν να εκφραστούν ως αρνητικές εξαγωγές με το σύμβολο  $e$ . Η τελική ζήτηση γίνεται:

$$y' = y + e \quad (3.5)$$

### 3.2.3. Νομισματικό μοντέλο εισροών – εκροών των Miller και Blair (1985)

Σύμφωνα με το Νομισματικό μοντέλο εισροών – εκροών των Miller και Blair (1985) [18], έστω ότι το  $t_{ij}$  δηλώνει το μέγεθος (σε χρηματικές μονάδες) από την οικονομική ροή από τον τομέα  $i$  στον τομέα  $j$ . Αν  $i, j = 1, \dots, S$ ,  $t_{ij}$  είναι ένας εσωτερικός κλάδος ροής της βιομηχανίας. Αν  $i$  και  $j$  ανήκουν σε διαφορετικές περιοχές, η ροή είναι εισροή ή εκροή.

Η τελική δαπάνη αποτελείται από την τελική κατανάλωση (πραγματοποιείται από τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις) και από την διαμόρφωση των κεφαλαίων ακαθάριστων επενδύσεων (πραγματοποιείται μόνο από τις επιχειρήσεις).

Ο όρος  $t_{i0}$  ορίζει την ροή της τελικής δαπάνης του προϊόντος/βιομηχανίας  $i$ . Αυτή η ροή μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω σε κατανάλωση των νοικοκυριών, δημόσια κατανάλωση και επενδύσεις (ακαθάριστες επενδύσεις πάγιου κεφαλαίου). Ο τομέας  $0$  ως εκ τούτου περιλαμβάνει όχι μόνο τα νοικοκυριά και τις κυβερνήσεις αλλά και τις βιομηχανίες  $i$ , στο ρόλο της θεσμικής μονάδας, στην οποία ανήκει το κεφάλαιο που θα συσσωρευτεί.

Στον λογαριασμό της παραγωγής μια βιομηχανίας, η ακαθάριστη προστιθέμενη αξία ορίζεται ως η αξία της παραγωγής μείον την αξία της ενδιάμεσης κατανάλωσης. Η ακαθάριστη προστιθέμενη αξία μπορεί να αναλυθεί σε μισθούς, φόρους, κέρδη και συμφέροντα.

Ως  $t_{oi}$  ορίζεται η ροή της προστιθέμενης αξίας του προϊόντος/βιομηχανίας  $i$ . Αυτή η ροή μπορεί να διασπαστεί στις ροές που αναφέρονται παραπάνω. Οι ροές αυτές, με τη σειρά τους, μπορούν να αναλυθούν σε δευτερεύον εισόδημα (μετά την καταβολή των φόρων), το οποίο μπορεί να ανατεθεί στους θεσμικούς τομείς των νοικοκυριών, της κυβέρνησης και των επιχειρήσεων.

Ένα μοντέλο εισροών- εκροών (Miller και Blair, 1985) ορίζεται από το σύνολο των ροών  $t_{ij}$  με  $i, j=0, 1, \dots, S$  (και οι αποσυνθέσεις των ροών  $t_{oi}$  και  $t_{io}$  που αναφέρονται παραπάνω). Η ροή  $t_{00}$  δεν ορίζεται σε ένα μοντέλο εισροών- εκροών.

Ως  $t_i$  ορίζεται η συνολική εισροής ή εκροή της βιομηχανίας  $i$ . Η βασική παραδοχή του μοντέλου εισροών- εκροών είναι:

$$t_i = \sum_{j=0}^S t_{ij} \text{ και } t_i = \sum_{j=0}^S t_{ji} \quad (3.6)$$

Ο τομέας 0 μπορεί να θεωρηθεί ως ένας εξωτερικός τομέας, λειτουργώντας ως πηγή και ζήτηση για το οικονομικό δίκτυο των εσωτερικών βιομηχανιών. Οι τομείς  $i=1, \dots, S$  είναι βιομηχανίες.

Ως  $T$  ορίζεται ο πίνακας των εμπορίων των εσωτερικών βιομηχανιών (των οποίων η  $ij$ -είσοδος είναι  $t_{ij}$ ),  $x$  ορίζεται το διάνυσμα στήλη της συνολικής εισροής/εκροής (της οποίας η  $i$  – είσοδος είναι  $t_i$ ),  $y$  ορίζεται το διάνυσμα στήλη της εγχώριας τελικής ζήτησης (της οποίας η  $i$  – είσοδος είναι  $t_{io}$ ) και ως  $v$  ορίζεται το διάνυσμα σειράς των πρωτογενών εισροών (των οποίων η  $i$  – είσοδος είναι  $t_{oi}$ ). Αυτή είναι οι συμβολισμοί των δεικτών του μοντέλου εισροών- εκροών των Miller και Blair.

$$x = T\mathbf{1} + y \text{ και } x' = \mathbf{1}'T' + v \quad (3.7)$$

Ο πίνακας Leontief είναι  $A$ , του οποίου η  $ij$  είσοδος είναι  $(t_{ij}/t_j)$  και ο πίνακας του Ghosh είναι  $A'$ , του οποίου  $ij$  – είσοδος είναι  $(t_{ji}/t_j)$ . Ορίζουμε ως  $I$  τον μοναδιαίο πίνακα. Οι πίνακες των Leontief και Ghosh επαληθεύουν τις ταυτότητες:

$$x = (I - A)^{-1} \cdot y \text{ και } x' = v \cdot (I - A')^{-1} \quad (3.8)$$

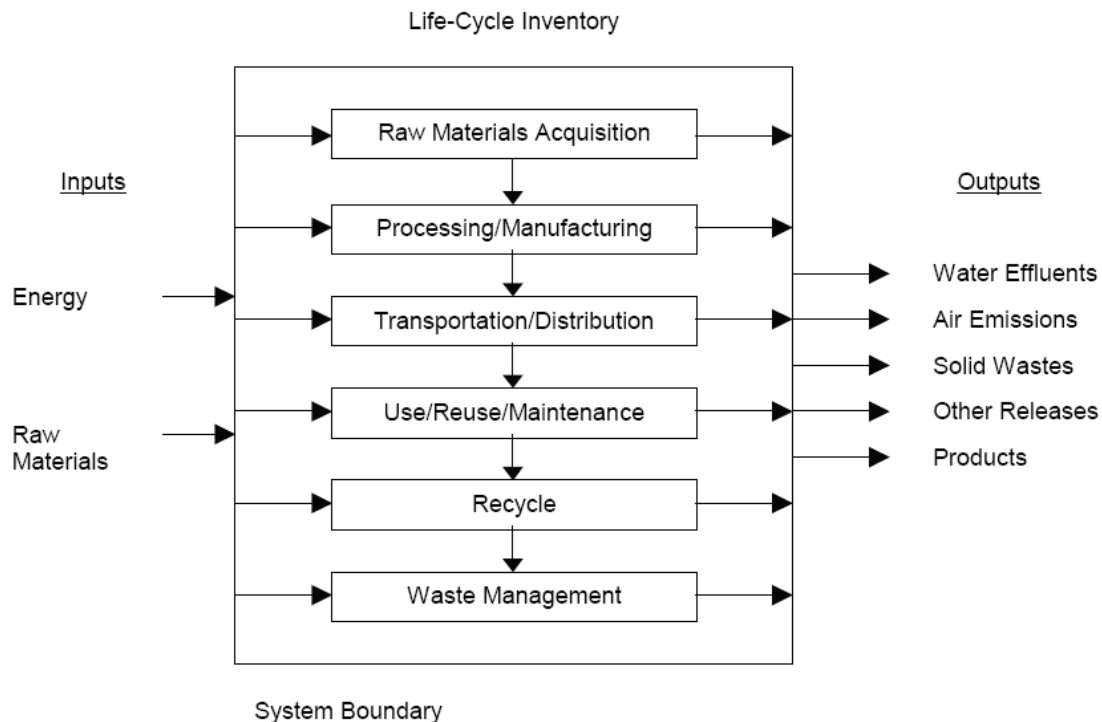
Συνοψίζοντας, η εισαγωγή των δεδομένων ενός ενιαίου ή πολλαπλών περιοχών μοντέλου εισροών – εκροών αποτελείται από τους πίνακες  $T$  και τα διανύσματα  $x$ ,  $y$ ,  $v$ ,  $w$ . Οι έννοιες του βασικού αυτού μοντέλου είναι οι θεσμικές μονάδες (βιομηχανίες, νοικοκυριά και κυβερνήσεις) και οι οικονομικές ροές (μεταξύ των διάφορων κλάδων, η τελική δαπάνη ή η προστιθέμενη αξία).

### 3.3. Ανάλυση διαδικασίας και κύκλου ζωής

Η ανάλυση του κύκλου ζωής είναι μια τυποποιημένη μέθοδος η οποία επιτρέπει την ολοκληρωμένη καταγραφή, ποσοτικοποίηση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με ένα προϊόν, μια διαδικασία ή μια υπηρεσία. Κατά τη διάρκεια της ζωής ενός προϊόντος όλες οι διαδικασίες και οι δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον λόγω της κατανάλωσης πόρων και των εκπομπών στο φυσικό περιβάλλον. Βασική αρχή του μοντέλου είναι ο προσδιορισμός και η περιγραφή όλων των μεμονωμένων σταδίων που αποτελούν τον πλήρη κύκλο ζωής ενός προϊόντος. Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, έχει τα εξής στάδια:

- ✓ Χρήση πρώτων και βοηθητικών υλών

- ✓ Διαδικασία παραγωγής – κατασκευής
- ✓ Μεταφορά και διανομή
- ✓ Χρήση, επαναχρησιμοποίηση και συντήρηση
- ✓ Ανακύκλωση
- ✓ Διαχείριση αποβλήτων



**Διάγραμμα 3.2:** Στάδια κύκλου ζωής

Η ανάλυση του κύκλου ζωής είναι ένα διαγνωστικό εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιείται για τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται κατά τη παραγωγή διαφορετικών προϊόντων ή κατά τη παραγωγική διαδικασία. Σύμφωνα με τη δομή της LCA, αρχικά ορίζεται ο αντικειμενικός σκοπός και η έκταση της μελέτης, στη συνέχεια γίνεται αναλυτική απογραφή και τέλος, μετά την ολοκλήρωση του τεκμηριωμένου ισοζυγίου, γίνεται η αποτίμηση των επιπτώσεων και των βελτιώσεων.

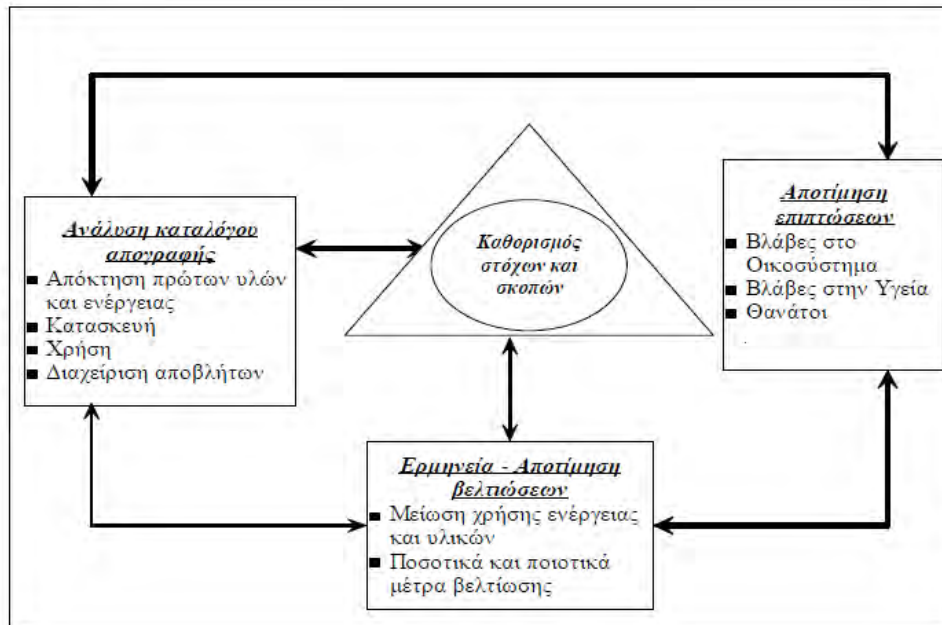
Ο προσδιορισμός του στόχου και της έκτασης της μελέτης καθορίζεται από το σκοπό, το αντικείμενο και τη μελλοντική εφαρμογή της μελέτης που επηρεάζουν την κατεύθυνση, το βάθος της και τις απαιτήσεις της τελικής αναφοράς και της επανεξέτασής της.

Κατά την αναλυτική απογραφή του κύκλου ζωής, συλλέγονται και παρουσιάζονται δεδομένα στοιχείων εισόδου και εξόδου του υπό εξέταση συστήματος. Η ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στις αναλυτικές απογραφές, κατέχει πολύ σημαντικό ρόλο, λόγω της μεγάλης ανομοιομορφίας των πηγών προέλευσης και της ευρύτητας του αντικειμένου.

Η εκτίμηση των επιπτώσεων δίνει μια προοπτική στα δεδομένα και στις πληροφορίες εισόδου και εξόδου. Χωρίς την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, των αποβλήτων και της ελάττωσης

των αποθεμάτων, είναι δύσκολο να γίνει κατανοητή η σχέση των δεδομένων εισόδου και εξόδου του συστήματος, με το περιβάλλον ή το όφελος από την επίτευξη βελτιώσεων στο σύστημα.

Η εκτίμηση των βελτιώσεων βοηθά στο να εξασφαλιστούν οι βέλτιστες δυνατές στρατηγικές μείωσης και τα προγράμματα βελτίωσης, που δεν δημιουργούν επιπρόσθετες απρόβλεπτες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και την υγεία του περιβάλλοντος.



**Διάγραμμα 3.3:** Δομή της ανάλυσης κύκλου ζωής

Ο καθορισμός της λειτουργικής μονάδας αποτελεί ένα θεμελιώδες βήμα για την αποφυγή ασαφειών κατά τη διατύπωση του σκοπού. Η λειτουργική μονάδα συντελεί στη δημιουργία μιας βάσης σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών κύκλων ζωής προϊόντος, και μεταξύ διαφόρων σεναρίων ή υποθέσεων. Επίσης, είναι ένα μέτρο απόδοσης του συστήματος. Θα πρέπει να είναι πλήρως καθορισμένη, μετρήσιμη και σχετική με τα δεδομένα εισόδου και εξόδου.

Σε μια αναλυτική απογραφή κύκλου ζωής που γίνεται με στόχο τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για μελλοντική αξιοποίηση ή βελτίωση του προϊόντος, η μονάδα πάνω στην οποία πραγματοποιείται η ανάλυση μπορεί να είναι σχεδόν οτιδήποτε ανταποκρίνεται με συνέπεια στην παραγωγική διαδικασία. Εάν για παράδειγμα θελήσουμε να κάνουμε LCA στο σαπούνι, μια δυνατή μονάδα χρήσης (λειτουργική μονάδα) θα μπορούσε να είναι μια μεμονωμένη πλάκα σαπουνιού. Εντούτοις, εάν ταυτόχρονα αναλυόταν και η συσκευασία του προϊόντος, θα ήταν σημαντικό για λόγους συνέπειας, να εξεταζόταν η συσκευασία διαφόρων ποσοτήτων, όπως ενός τεμαχίου, πακέτου τριών τεμαχίων κλπ.

Τέλος, εντάσσοντας την LCA στο γενικότερο πλαίσιο της περιβαλλοντικής διαχείρισης, έχει τη δυνατότητα να συμπληρώνει και άλλες τεχνικές όπως την ανάλυση περιβαλλοντικής επίδρασης, την αναγνώριση πηγών κινδύνου, την εκτίμηση κινδύνων, την τεχνολογική ανάλυση, τις μεθοδικές και λεπτομερείς εξετάσεις αποβλήτων και τον περιορισμό των αποβλήτων των διεργασιών με σκοπό τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό, την υπεύθυνη διαχείριση του προϊόντος και τη δημιουργία μέτρων σύγκρισης συστημάτων διαχείρισης. Όλες αυτές οι τεχνικές και τα εργαλεία διαχείρισης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται όπου κρίνεται κατάλληλο.

### **3.4. Κλίμακες ανάλυσης του αποτυπώματος του άνθρακα**

#### **3.4.1. Προϊόντα**

Το ανθρακικό αποτύπωμα είναι ένα υποσύνολο της συνολικής περιβαλλοντικής αξιολόγησης του κύκλου ζωής ενός προϊόντος και γενικά βασίζεται στα μακρόβια αέρια του θερμοκηπίου. Ένα βασικό πρόβλημα στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος είναι η συγκρισιμότητα των μελετών λόγω των διαφορετικών μεθόδων και παραδοχών. Οι μελετητές της αξιολόγησης του κύκλου ζωής ασχολούνται με τη διαδικασία ανάπτυξης και βελτίωσης συγκεκριμένων προτύπων για τον υπολογισμό του αποτυπώματος του άνθρακα των προϊόντων. Ενώ η διαδικασία τυποποίησης μπορεί να βοηθήσει στην άμβλυση των θεμάτων συνοχής, οι παραδοχές που χρησιμοποιούνται μπορεί να καταλήξουν σε χρήση ακατάλληλης μεθοδολογίας. Η LCA εστιάζει σε μια ποικιλία περιβαλλοντικών επιπτώσεων και το γεγονός αυτό επιτρέπει μια πιο ολοκληρωμένη περιβαλλοντική ανάλυση, και για το λόγο αυτό, η χρήση της θα πρέπει να ενθαρρύνεται [19].

#### **3.4.2. Νοικοκυριά**

Οι ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970 υποκίνησε πολλές μελέτες για το αποτύπωμα του άνθρακα των νοικοκυριών. Οι μελέτες αυτές δεν περιορίζονται στην άμεση χρήση ενέργειας από το νοικοκυριό, αλλά περιλαμβάνουν το αποτύπωμα των αγαθών και υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται από ένα νοικοκυριό. Το αποτύπωμα του άνθρακα των νοικοκυριών ποικίλλει ανάλογα με τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά. Ο κυρίαρχος παράγοντας αύξηση του ανθρακικού αποτυπώματος είναι οι δαπάνες των νοικοκυριών. Πολλές μελέτες εξετάζουν κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά όπως το μέγεθος του νοικοκυριού, η τοποθεσία του, ο τρόπος ζωής και οι διατροφικές συνήθειες των μελών του νοικοκυριού.

Μια πρόσφατη μελέτη εξετάζει το εθνικό ανθρακικό αποτύπωμα, βασική συνιστώσα του οποίου είναι το αποτύπωμα των καταναλωτικών νοικοκυριών [19]. Σε μια ευρεία κλίμακα, το συνολικό ανθρακικό αποτύπωμα δεν εξαρτάται από τις δαπάνες. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τις πρώτες ανάγκες, καθώς τα νοικοκυριά αποκτούν μεγαλύτερο εισόδημα δεν ξοδεύουν περισσότερα για τις απαραίτητες ανάγκες, αντίθετα, αυξάνεται η κατανάλωση των βιομηχανοποιημένων προϊόντων, γεγονός που δηλώνει ότι τα νοικοκυριά δαπανούν το περίσσειμα από το εισόδημά τους σε είδη πολυτελείας. Οι διαφορές ανάμεσα στα αποτυπώματα πολλών χωρών προέρχονται από τη χρήση διαφορετικού είδους ενέργειας, διαφορές στην κατανάλωση τους, τις τεχνολογίες παραγωγής τους, τη συμπεριφορά των καταναλωτών, τις κλιματολογικές διαφορές, ακόμα και τις πολιτισμικές. Η ανισότητα αυτή μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο και μπορεί να έχει σημαντικές συνέπειες για τις μελλοντικές συμφωνίες που αφορούν τις κλιματικές αλλαγές.

#### **3.4.3. Επιχειρήσεις**

Εξαιτίας της πιθανής τιμολόγησης του αποτυπώματος του άνθρακα, οι επιχειρήσεις ενδιαφέρονται όλο και περισσότερο για την κατανόηση και τον υπολογισμό του δικού τους αποτυπώματος του άνθρακα. Το πρωτόκολλο των αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Protocol) επικεντρώνεται στις επιχειρήσεις και έχει τρία επίπεδα ανάλυσης [9]:

- I. Τις εκπομπές από πηγές που υπάγονται στη δικαιοδοσία της επιχείρησης
- II. Τις εκπομπές από πηγές εκτός των εγκαταστάσεων, από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

- III. Τις εκπομπές από πηγές εκτός των εγκαταστάσεων, από την αλυσίδα εφοδιασμού της επιχείρησης ή από προϊόντα που πωλούνται από την επιχείρηση.

Στο πρωτόκολλο των αερίων του θερμοκηπίου, αυτά τα 3 επίπεδα ανάλυσης δεν είναι υποχρεωτικά, αν και ένα συνολικό αποτύπωμα του άνθρακα απαιτεί και τις τρεις αναλύσεις. Τα τρία αυτά στάδια ανάλυσης των εκπομπών είναι δύσκολο να εκτιμηθούν από μια επιχείρηση, αλλά όσων αφορά την κατανάλωση των νοικοκυριών, είναι πολύ σημαντικά. Αν δεν συμπεριληφθούν και τα τρία επίπεδα είναι πιθανό η επιχείρηση να οδηγηθεί σε λανθασμένες ενέργειες, όπως την εξωτερική ανάθεση δραστηριοτήτων σε άλλες επιχειρήσεις, δηλαδή μετατόπιση των εκπομπών από την ανάλυση I. στην III.

Ένα πρόβλημα που προκύπτει στα ανθρακικά αποτυπώματα των επιχειρήσεων είναι εκείνο της πολλαπλής καταμέτρησης. Αν μια επιχείρηση περιλαμβάνει ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού στο ανθρακικό αποτύπωμά της, και αν κάνουν το ίδιο και οι υπόλοιπες επιχειρήσεις, τότε θα υπάρξει πολλαπλή καταμέτρηση. Η λύση για το πρόβλημα της πολλαπλής καταμέτρησης είναι η κατανομή της ευθύνης του σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού και θα αναλυθεί περαιτέρω στη συνέχεια.

#### **3.4.4. Πόλεις και περιφέρειες**

Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για το αποτύπωμα του άνθρακα των πόλεων και των γεωγραφικών – πολιτικών περιφερειών. Από πολλές απόψεις, οι πόλεις ή οι περιφέρειες μπορούν να θεωρηθούν ως μεγάλες επιχειρήσεις και να χρησιμοποιήσουν τις ίδιες αρχές υπολογισμού του ανθρακικού τους αποτυπώματος με εκείνες. Πολλές μελέτες για το αποτύπωμα του άνθρακα των πόλεων προσπαθούν να συμπεριλάβουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, που συχνά βρίσκεται εκτός της πόλης. Σπάνια, λόγω έλλειψης δεδομένων και αναλυτικών μεθόδων, συμπεριλαμβάνονται οι εκπομπές λόγω αγαθών και υπηρεσιών που καταναλώνονται εντός της πόλης αλλά παράγονται αλλού. Όπως και στο επίπεδο του προϊόντος, έχουν αναπτυχθεί διάφορα πρότυπα υπολογισμού του αποτυπώματος μιας πόλης. Σημαντικά προβλήματα προκύπτουν καθώς οι πόλεις δεν εξυπηρετούν μόνο τους κατοίκους αλλά και άλλες δραστηριότητες εκτός πόλης, ακόμα και σε άλλες ηπείρους. Αυτό το πρόβλημα έχει επισημανθεί σε πόλεις, στις οποίες το αποτύπωμα άνθρακα είναι μεγαλύτερο από τις εκπομπές εντός της πόλης.

#### **3.4.5. Χώρες**

Έχουν γίνει πολλές μελέτες για το ανθρακικό αποτύπωμα των εθνών, αλλά πολύ λίγες περιλαμβάνουν τις αναγκαίες λεπτομέρειες για τον υπολογισμό των εκπομπών που σχετίζονται με τα εισαγόμενα προϊόντα ή υπηρεσίες. Πρόσφατες μελέτες καταλήγουν στο ότι οι πλούσιες χώρες έχουν μεγαλύτερο αποτύπωμα από τις εγχώριες εκπομπές, ενώ το αντίθετο ισχύει για τις φτωχές χώρες. Άλλες μελέτες λαμβάνουν υπόψη και τα εισαγόμενα άλλα και τα εξαγόμενα προϊόντα. [19]

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε επίπεδο χώρα είναι το πώς μεταβάλλεται το εθνικό αποτύπωμα άνθρακα με την πάροδο του χρόνου σε σχέση με τις εγχώριες εκπομπές. Για παράδειγμα, τόσο το εθνικό ανθρακικό αποτύπωμα του Ηνωμένου Βασιλείου όσο και των ΗΠΑ έχει αυξηθεί ταχύτερα απ' ό,τι οι εγχώριες εκπομπές, γεγονός που σημαίνει ότι στις χώρες αυτές, η οικονομία τους έχει στραφεί στην κατεύθυνση της παροχής υπηρεσιών, ενώ εισάγουν όλο και περισσότερα βιομηχανοποιημένα προϊόντα. Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στην Κίνα, επιβεβαιώνουν το παραπάνω γεγονός. Σύμφωνα με στατιστικές μελέτες, μέχρι και το μισό ποσοστό των εκπομπών στις φτωχές χώρες θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα της αύξησης της κατανάλωσης στις πλούσιες χώρες.



## **4. Το ζήτημα της κατανομής της ευθύνης του αποτυπώματος του άνθρακα**

### **4.1. Γενικά**

Κατά τη τελευταία δεκαετία, ένας αυξανόμενος αριθμός μελετητών εξετάζει τη σχέση της ευθύνης των παραγωγών και των καταναλωτών για το αποτύπωμα του άνθρακα ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας, ασχολούνται δηλαδή με το πώς θα αποδοθούν οι ευθύνες των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Πρόσφατα, παρόμοιο πρόβλημα είχε προκύψει για το οικολογικό αποτύπωμα. Ενώ η υπάρχουσα μέθοδος χρησιμοποιεί την ανάλυση του κύκλου ζωής με την πλήρη ευθύνη στους καταναλωτές, ένας μεγάλος αριθμός παραγωγών (επιχειρήσεων και βιομηχανιών) άρχισαν να υπολογίζουν το δικό τους οικολογικό αποτύπωμα.

Το γεγονός ότι ο παραγωγός ήταν υπεύθυνος για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των βιομηχανικών παραγωγών ήταν μια τάση της οικονομικής πολιτικής, ώστε να μην επηρεάζονται οι προτιμήσεις των καταναλωτών. Στατιστικά, οι επιπτώσεις της ενέργειας, οι εκπομπές κλπ. παρουσιάζονται ως ιδιότητες της βιομηχανίας (direct allocation) και όχι ως ιδιότητες της αλυσίδας εφοδιασμού των προϊόντων στους καταναλωτές. Σε μικρότερη κλίμακα, στις επιχειρήσεις, οι εκθέσεις αειφορίας περιλαμβάνουν μόνο τις επιπτώσεις που προκύπτουν από δραστηριότητες που ελέγχονται από την ίδια την επιχείρηση και δεν περιλαμβάνονται οι αλυσιδωτές επιπτώσεις. Έτσι, λοιπόν, όλες οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είχαν κατανεμηθεί στους άμεσους παραγωγούς. Από την άλλη πλευρά, αρκετές μελέτες έδειξαν ότι η τελική κατανάλωση και ευημερία, ιδιαίτερα στις βιομηχανικές χώρες, είναι βασικοί παράγοντες των περιβαλλοντικών πιέσεων.

Γενικά, οι εκπομπές που αναφέρονται στο IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) αναλαμβάνονται από τους παραγωγούς των βιομηχανιών που βρίσκονται σε μία χώρα και συνεπώς δεν ενσωματώνονται στα προϊόντα που καταναλώνονται από ένα συγκεκριμένο πληθυσμό, ανεξαρτήτως της χώρα προέλευσης. Ωστόσο, ειδικά για τις ανοιχτές οικονομίες, λαμβάνοντας υπόψη τα αέρια του θερμοκηπίου που περιλαμβάνονται στο διεθνές εμπόριο βασικών προϊόντων, μπορεί να υπάρξει σημαντική επίδραση στο εθνικό ισοζύγιο αερίων του θερμοκηπίου. Υποθέτοντας ότι η ευθύνη είναι των καταναλωτών, οι εξαγωγές προϊόντων θα πρέπει να αφαιρεθούν και να προστεθούν οι εισαγωγές στο εθνικό ισοζύγιο αερίων θερμοκηπίου. Στη Δανία για παράδειγμα, ένα σημαντικό ποσό ενεργοβόρων προϊόντων διακινούνται στις συνοριακές χώρες, και συνεπώς μεταξύ 1966 και 1994 το δανικό ισοζύγιο εκπομπών CO<sub>2</sub>, λόγω του εξωτερικού εμπορίου, από 7Mt έλλειμμα, το 1994 ήταν 7Mt πλεόνασμα, σε σύγκριση με τις συνολικές εκπομπές που ήταν περίπου 60Mt. Συγκεκριμένα, η ηλεκτρική ενέργεια που αποτελεί αντικείμενο εμπορίου ανάμεσα σε Νορβηγία, Σουηδία και Δανία, υπόκειται σε μεγάλες ετήσιες διακυμάνσεις, λόγω των ποικίλων βροχοπτώσεων στη Νορβηγία και τη Σουηδία. Στα υγρά έτη η Δανία εισάγει υδροηλεκτρική ενέργεια ενώ στα ξηρά έτη εξάγεται ηλεκτρική ενέργεια από τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας και επιβαρύνεται με το διοξείδιο του άνθρακα που είναι ενσωματωμένο στην ηλεκτρική ενέργεια που εξάγεται.

Ομοίως, σε επίπεδο επιχειρήσεων, χρησιμοποιώντας την έννοια της οικολογικής αποδοτικότητας, στην υιοθέτηση ενός συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης που προβλέπεται, για παράδειγμα, στο πρότυπο ISO 14001, δεν αρκεί μόνο η υποβολή έκθεσης, σχετικά με τις εκπομπές διοξειδίου του

άνθρακα, που να περιορίζεται στα σύνορα της επιχείρησης. Οι επιχειρήσεις πρέπει να αναγνωρίζουν την ευρύτερη ευθύνη τους και να διαχειρίζονται ολόκληρο τον κύκλο ζωής των προϊόντων τους, επιμένοντας στην ύπαρξη υψηλών περιβαλλοντικών προτύπων από τους προμηθευτές και εξασφαλίζοντας ότι οι πρώτες ύλες προέρχονται ή επεξεργάζονται με περιβαλλοντικά συνειδητό τρόπο. Σύμφωνα με το πλαίσιο της Εκτεταμένης Ευθύνης του Παραγωγού (Extended Producer Responsibility, EPR), σχετικά με τον κύκλο ζωής, οι παραγωγοί των προϊόντων φέρουν σημαντική ευθύνη όχι μόνο για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προϊόντων κατόπιν της επεξεργασίας και διάθεσης των προϊόντων τους, αλλά και για τις ανάντη δραστηριότητες. Η κύρια ώθηση για την EPR προέρχεται από τη Βόρεια Ευρώπη στα τέλη της δεκαετίας του '80 και στις αρχές της δεκαετίας του '90, καθώς αυτές οι χώρες αντιμετώπιζαν σοβαρές ελλείψεις σε χώρους υγειονομικής ταφής. Απόρροια του γεγονότος αυτού είναι η χρήση της EPR στα μετά την κατανάλωση απόβλητα, τα οποία δημιουργούν απαιτήσεις στη δημόσια διαχείριση αποβλήτων.

Ο McKelvie αναφέρει ότι η έννοια της διαχείρισης του προϊόντος υποδηλώνει ότι όλοι όσοι συσχετίζονται με τον σχεδιασμό, την παραγωγή, την πώληση ή τη χρήση ενός προϊόντος είναι υπεύθυνοι για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τη διάρκεια της ζωής του. Στην πραγματικότητα, αυτή η κοινή ευθύνη επεκτείνεται πέρα από τους παραγωγούς και τους καταναλωτές και συμπεριλαμβάνει τις κυβερνήσεις και γενικά του φορολογούμενους που επιβαρύνονται με το κόστος διαχείρισης των προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής ως οικιακά απόβλητα.

Το 2004, συστάθηκαν 3 επιτροπές από Παγκόσμιο Δίκτυο Αποτυπωμάτων (Global Footprint Network, GFN), με σκοπό τη σύνταξη ενός συνολικού προτύπου για τον υπολογισμό του οικολογικού αποτυπώματος, κυρίως για τον υπολογισμό του εθνικού οικολογικού αποτυπώματος. Αν και το πρότυπο βασιζόταν στην ανάλυση του πλήρη κύκλου ζωής, με την ευθύνη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στον τελικό καταναλωτή, ένας μεγάλος αριθμός παραγωγών άρχισε να υπολογίζει το δικό του οικολογικό αποτύπωμα. Το γεγονός αυτό δημιούργησε την ανάγκη ικανοποίησης των τριών παρακάτω απαιτήσεων:

- A. Να επιβαρύνονται και οι παραγωγοί (επιχειρήσεις, βιομηχανίες) όπως και οι καταναλωτές (νοικοκυριά, περιφέρειες, έθνη, κλπ.)
- B. Να μην υπάρχει πολλαπλός υπολογισμός των οικολογικών αποτυπωμάτων των επιμέρους οντοτήτων. Το οικολογικό αποτύπωμα, αθροιστικά, για τις πόλεις, τις επιχειρήσεις και τις βιομηχανίες ενός έθνους θα πρέπει να ισούται με το εθνικό οικολογικό αποτύπωμα.
- C. Το οικολογικό αποτύπωμα να περιλαμβάνει τον πλήρη κύκλο ζωής των προϊόντων.

Αυτές οι τρεις απαιτήσεις ισχύουν και για το ανθρακικό αποτύπωμα, και μόνο η κατανομή της ευθύνης σε παραγωγούς και καταναλωτές παρέχει έναν τρόπο ικανοποίησης και των τριών.

Με βάση τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, το αποτύπωμα του άνθρακα προσθέτει όλες τις ανάντη εκπομπές και τις ενσωματώνει στα καταναλωτικά αγαθά. Το πρόβλημα της πολλαπλής καταμέτρησης υπάρχει αν σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος προστίθενται όλα τα ανάντη αποτυπώματα του άνθρακα. Συνεπώς, το συνολικό αποτύπωμα του άνθρακα ενός έθνους, θα είναι πολύ μεγαλύτερο από το πραγματικό εθνικό ανθρακικό αποτύπωμα. Το εθνικό ισοζύγιο δεν θα ισορροπεί και αυτό προφανώς δεν είναι σωστό. Αυτή η προσέγγιση πληρεί τα A και C, αλλά όχι το B. Στην εκτίμηση του κύκλου ζωής, για την αποφυγή του πολλαπλού υπολογισμού του



αποτυπώματος, θα πρέπει όλες οι εκπομπές σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής να επιβαρύνουν τους τελικούς καταναλωτές. Δηλαδή, η προσέγγιση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος εκφράζει την πλήρη ευθύνη των καταναλωτών. Σε αυτή τη περίπτωση, πληρούνται τα Β και C, αλλά όχι το Α. Αν την πλήρη ευθύνη την αναλαμβάνει ο παραγωγός, πληρούνται τα Α και Β και όχι το C.

#### **4.2. Ιστορική αναδρομή**

Μια αρχική προσπάθεια για τον προσδιορισμό της ευθύνης των παραγωγών και των καταναλωτών είναι η μέθοδος του Szygmer (1992) [20], η οποία βασίζεται στο μοντέλο συνολικής ροής του Jeong. Η ώθηση δόθηκε από την αδυναμία του μοντέλου του Leontief για τον υπολογισμό των προϊόντων για το σύνολο της βιομηχανικής παραγωγής και όχι για την τελική ζήτηση. Έτσι, σύμφωνα με το μοντέλο του Leontief, η ευθύνη για τις κατάντη επιπτώσεις μιας μεταλλευτικής βιομηχανίας για παράδειγμα, είναι αμελητέα, δεδομένου ότι τα περισσότερα μεταλλεύματα εισέρχονται σε άλλες βιομηχανίες και δεν χρησιμοποιούνται από τους τελικούς καταναλωτές, και συνεπώς όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εξορυκτικών δραστηριοτήτων θα τις αναλάβουν οι βιομηχανίες και οι πελάτες τους. Έτσι, ο Szygmer προσπάθησε να διαμορφώσει μια μέθοδο που θα υπολόγιζε τις συναλλαγές μεταξύ των παραγωγών και των καταναλωτών, δηλαδή και τις ενδιάμεσες και τις τελικές συναλλαγές.

Ο Szygmer επισημαίνει ορθώς ένα σημαντικό μειονέκτημα της έννοιας της συνολικής ροής, η ιδιότητα της μη προσθετικότητας. Στο μοντέλο του Leontief, κάθε μονάδα τελικής ζήτησης έχει το δικό της δίκτυο υποστήριξης, δηλαδή τις δικές της άμεσες και έμμεσες εισροές, που είναι τελείως διαφορετικές από τις άλλες εισροές που απαιτούνται για άλλες τελικές μονάδες ζήτησης. Έτσι, όλο το σύστημα παραγωγής γίνεται ένα σύνολο από αλληλοαναιρούμενες εισροές παραγωγής που απαιτούνται από ένα συγκεκριμένο τελικό προϊόν ζήτησης.

Στο μοντέλο της συνολικής ροής, η αμοιβαιότητα των εισροών δεν ισχύει. Η ίδια ποσότητα εισροής  $i$  μπορεί να απαιτείται ταυτόχρονα για την παραγωγή 2 (ή περισσότερων) προϊόντων διαφορετικών κλάδων  $j$  και  $k$ . Η ιδιότητα της μη προσθετικότητας έχει ως αποτέλεσμα μια σειρά από υπολογιστικές και εννοιολογικές δυσχέρειες. Η συνολική ροή δεν μπορεί να εκφραστεί ως ένα άθροισμα μια άπειρης δυναμοσειράς. Όταν χρησιμοποιείται ένα μοντέλο συνολικής ροής για την ανάλυση των επιπτώσεων, θα πρέπει να εξετάσουμε κάθε κλάδο ξεχωριστά.

Η μη προσθετικότητα έχει ήδη αναγνωριστεί ως πρόβλημα για τον έμμεσο προσδιορισμό των εκπομπών. Η μέθοδος της συνολικής ροής όμως, παρουσιάζει και ένα επιπλέον πρόβλημα, αυτό της διπλής καταμέτρησης. Οι εισροές των διάφορων βιομηχανιών δεν μπορούν να αθροιστούν, εξαιτίας του διπλού υπολογισμού των ενδιάμεσων καταναλώσεων. Στο παρελθόν, είχαν γίνει πολλές προσπάθειες αποφυγής του διπλού υπολογισμού, αλλά είτε δεν ήταν επιτυχείς, είτε κατέληγαν σε άλλων ειδών σφάλματα.

Το 2005, οι Gallego και Lenzen έκαναν μια προσπάθεια προσέγγισης της κατανομής της ευθύνης μεταξύ των παραγωγών και των καταναλωτών. Ανάλογη προσπάθεια πραγματοποιήθηκε και από τον Rodrigues το 2006, ο οποίος καθόρισε έναν δείκτη περιβαλλοντικής ευθύνης, που υπολόγιζε την ευθύνη μεταξύ των χωρών με δίκαιο τρόπο. Οι δύο αυτές προσεγγίσεις θα αναλυθούν παρακάτω.

### **4.3. Η κατανομή της ευθύνης των Gallego και Lenzen (2005)**

#### **4.3.1. Γενικά**

Οι Gallego και Lenzen [21] αντιμετώπισαν το πρόβλημα της κατανομής της ευθύνης των αποτυπωμάτων στους παραγωγούς και τους καταναλωτές βασιζόμενοι στην μέθοδο εισροών – εκροών του Leontief. Τόσο οι παραγωγοί, όσο και οι τελικοί καταναλωτές παίζουν κάποιο σημαντικό ρόλο στα αποτυπώματα, καθώς οι παραγωγοί αποφασίζουν για τις πρώτες ύλες και την ενέργεια που θα χρησιμοποιήσουν και οι καταναλωτές αποφασίζουν να αγοράσουν τα προϊόντα των παραγωγών. Η έννοια της κοινής ευθύνης σημαίνει ότι υπάρχουν πάντα δύο ομάδες ανθρώπων που παίζουν κάποιο ρόλο στα προϊόντα που παράγονται και προκαλούν επιπτώσεις στο περιβάλλον, οι παραγωγοί και οι καταναλωτές. Έτσι η ευθύνη θα πρέπει να κατανεμηθεί μεταξύ των δύο.

Η βασική ιδέα της μεθόδου των Gallego και Lenzen ήταν να παρουσιάζουν την ευθύνη ως ένα μετρούμενο μέγεθος, και να χωρίζουν τις ροές για κάθε συναλλαγή στους παραγωγούς και στους καταναλωτές μέσα από ένα μοντέλο εισροών – εκροών.

#### **4.3.2. Κατανομή της ευθύνης για την αλυσίδα εφοδιασμού των επιπτώσεων**

Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στο μοντέλο εισροών εκροών του Leontief, που αναλύθηκε παραπάνω. Σύμφωνα με μια γενικευμένη ανάλυση εισροών – εκροών, το σύνολο της ευθύνης  $F$  για τις επιπτώσεις μιας παραγωγικής μονάδας μπορεί να υπολογιστεί ως το σύνολο των ευθυνών των παραγωγών λόγω των παραγωγικών δραστηριοτήτων τους:

$$F = \sum_i F_i^{(p)} = \sum_i f_i \cdot x_i = f' \cdot x = x' \cdot f = \sum_i \bar{F}_i^{(p)} \quad (4.1)$$

Εξαιτίας των τελικών καταναλωτών (νοικοκυριά, κυβερνήσεις ως καταναλωτές), λόγω της ζήτησης τους, οι ανάντη τομείς θα έχουν μικρότερη επιρροή:

$$F = \sum_i F_i^{(c)} = \sum_i (\sum_j f_j \cdot l_{ij}) \cdot y_i = f' \cdot L \cdot y \quad (4.2)$$

Στις παραπάνω ισότητες, το  $f_i$  αντιπροσωπεύει τις επιπτώσεις που αφορούν την παραγωγή που συνδέονται με μια μονάδα ακαθάριστου προϊόντος  $x_j$  του τομέα  $j$ . Τα στοιχεία  $l_{ij}$  μπορούν να θεωρηθούν ως οι ποσότητες της ακαθάριστης παραγωγής της βιομηχανίας  $i$  για την ικανοποίηση της ζήτησης από τον τομέα  $j$ .

Οι Gallego και Lenzen εξετάζουν το πρόβλημα κατανομής της ευθύνης για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε μια απλοποιημένη οικονομία μέσα από ένα παράδειγμα τριών βιομηχανικών κλάδων. Με ( $e$ ) συμβολίζεται ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας, με ( $s$ ) η βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα η οποία αγοράζει από τον ( $e$ ) και ο τομέας κατασκευής αυτοκινήτων, ο οποίος συμβολίζεται με ( $c$ ) και αγοράζει και από τον τομέα ( $e$ ) και από τη βιομηχανία ( $s$ ). Στο παραπάνω παράδειγμα θεωρείται πως μόνο ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας και της κατασκευής αυτοκινήτων λαμβάνουν πρωτογενείς εισροές και εκρέουν στους τελικούς καταναλωτές.

Αρχικά, προσδιορίζεται η ευθύνη για τις ανάντη εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Όπως φαίνεται και στην μαθηματική σχέση (4.1), αν επιβαρύνουμε τον παραγωγό, στη συγκεκριμένη περίπτωση τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, θα ισχύει:

$$F = F_e^{(p)} = f_e \cdot x_e \quad (4.3)$$

Στη συνέχεια εφαρμόζεται το γενικευμένο μοντέλο του Leontief, δηλαδή η μαθηματική σχέση (4.2), που αποτελεί την ανακατανομή των εκπομπών της ανάντη ευθύνης στους τελικούς καταναλωτές. Η ευθύνη των εκπομπών CO<sub>2</sub> του τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία θα κατανεμηθεί στους τελικούς καταναλωτές είναι:

$$F_j^{(c)} = f_e \cdot l_{ej} \cdot y_j \quad (4.4)$$

Όπου  $j$  είναι ο κάθε τομέας της τελικής ζήτησης  $y_j$ , για την οποία απαιτούνται εκροές από τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας  $e$ , σε κάθε επίπεδο της παραγωγής. Για παράδειγμα, στους τελικούς καταναλωτές των αυτοκινήτων  $y_c$  θα αποδοθεί  $f_e \cdot l_{ec} \cdot y_c$ , το οποίο χωρίζεται σε  $f_e \cdot a_{ec} \cdot y_c$  για την άμεση χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από την βιομηχανία κατασκευής αυτοκινήτων, καθώς και σε  $f_e \cdot a_{es} \cdot a_{sc} \cdot y_c$  από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από τη βιομηχανία σιδήρου ( $s$ ) η οποία παρέχει το σίδηρο στην βιομηχανία κατασκευής των αυτοκινήτων. Δεδομένου ότι οι κατασκευαστές των αυτοκινήτων δεν παράγουν διοξείδιο του άνθρακα, δεν υπάρχει άμεση ευθύνη CO<sub>2</sub> που να συνδέεται με την αγορά ενός αυτοκινήτου.

Η προσέγγιση της ευθύνης του παραγωγού (μαθηματική σχέση (4.3)) δεν υπολογίζει τις βιομηχανίες που χρησιμοποιούνται και τους τελικούς καταναλωτές, που βρίσκονται κατάντη της ζήτησης και οδηγούν τελικά στην παραγωγή και θα πρέπει να είναι εν μέρει υπεύθυνοι. Από την άλλη πλευρά, η προσέγγιση της ευθύνης των καταναλωτών (μαθηματική σχέση (4.4)) δεν λαμβάνει υπόψη τους βιομηχανικούς τομείς, οι οποίοι παίζουν σημαντικό ρόλο στη παραγωγική διαδικασία αλλά εκρέουν μόνο σε άλλες βιομηχανίες και όχι στους τελικούς καταναλωτές. Επιστρέφοντας στο παράδειγμα, ο τομέας της χαλυβουργίας δεν είναι υπεύθυνος για τις εκπομπές του διοξειδίου το άνθρακα, ούτε ως παραγωγός ούτε ως καταναλωτής, αν και είναι μέρος της παραγωγής και καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια.

Οι Gallero και Lenzen εισάγουν μια προσέγγιση που χωρίζει την ευθύνη των επιπτώσεων μεταξύ όλων των παραγόντων, σε όλη τη ζήτηση και τις αλυσίδες εφοδιασμού, με τέτοιο τρόπο ώστε να αντανακλάται η συμβολή τους στη παραγωγική διαδικασία. Ένας δεδομένος τομέας  $k$  είναι υπεύθυνος για την τελική ζήτηση καθώς και ένα ποσοστό  $(1-\alpha)$  της ενδιάμεσης ζήτησης. Η ευθύνη των εκροών, του ποσοστού  $x_k$  του τομέα είναι:

$$y_k^{(a)} = y_k + (1 - \alpha) \cdot (x_k - y_k) \quad (4.5)$$

Η ευθύνη για το υπόλοιπο ποσοστό  $\alpha$  της ενδιάμεσης παραγωγής του τομέα έχει αποδοθεί σε ενδιάμεσους κατάντη χρήστες. Επιπλέον, η ευθύνη της παραγωγής του τομέα ( $k$ ) περιλαμβάνει το ποσοστό του που σχετίζεται και με την βιομηχανία ( $k$ ) και με την τελική κατανάλωση του τομέα ( $k$ ). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι τελικοί καταναλωτές είναι υπεύθυνοι για ένα ποσοστό  $\beta$  της τελικής ζήτησης  $\beta \cdot y_k$ , ενώ το υπόλοιπο της ευθύνης των προϊόντων αποδίδεται στην βιομηχανία  $k$ . Δηλαδή, η ευθύνη για τα προϊόντα του τομέα ( $k$ ), κατανέμεται ως εξής:

$$x_k \rightarrow \begin{cases} \beta \cdot y_k \rightarrow \text{τελικοί καταναλωτές του τομέα } k \\ (1 - \beta) \cdot y_k + (1 - \alpha) \cdot (x_k - y_k) \rightarrow \text{βιομηχανία } k \\ \alpha \cdot (x_k - y_k) = \alpha \cdot \sum_j a_{kj} \cdot x_j \rightarrow \text{τομείς } j \text{ κατάντη του } k \end{cases} \quad (4.6)$$

Η ίδια κατανομή ευθύνης γίνεται και για τα ακαθάριστα προϊόντα  $x_j$  του τομέα  $j$ . Δηλαδή, κάθε βιομηχανία  $j$  αγοράζει από την  $k$  και είναι υπεύθυνη για τις επιπτώσεις της βιομηχανίας  $k$  για ένα ποσοστό  $\alpha \cdot a_{kj} \cdot [(1 - \beta) \cdot y_j + (1 - \alpha) \cdot (x_j - y_j)]$  του  $x_k$ . Η τελικοί καταναλωτές αγοράζουν από την βιομηχανία  $k$  ποσοστό  $\alpha \cdot a_{kj} \cdot \beta \cdot y_j$  και το υπόλοιπο κατανέμεται στους τομείς που αγοράζουν από τον  $j$ . Δηλαδή:

$$\alpha \cdot a_{kj} \cdot x_j \rightarrow \begin{cases} \alpha \cdot a_{kj} \cdot \beta \cdot y_j \rightarrow \text{τελικοί καταναλωτές του τομέα } j \\ \alpha \cdot a_{kj} \cdot [(1 - \beta) \cdot y_j + (1 - \alpha) \cdot (x_j - y_j)] \rightarrow \text{βιομηχανία } j \\ \alpha \cdot a_{kj} \cdot \alpha \cdot (x_j - y_j) = \alpha^2 \cdot a_{kj} \cdot \sum_i a_{ji} \cdot x_i \rightarrow \text{τομείς } i \text{ κατάντη του } j \end{cases} \quad (4.7)$$

Η ίδια διαδικασία κατανομής επαναλαμβάνεται καθώς προχωράει η αλυσίδα της ζήτησης. Συνεπώς, η ευθύνη ενός τομέα  $i$  για την παραγωγή ανάντη του τομέα  $k$  δίνεται από:

$$(\delta_{ki} + \alpha \cdot a_{ki} + \alpha^2 \cdot \sum_j a_{kj} \cdot a_{ji} + \dots) \cdot y_i^{(a)} = l_{ki}^{(a)} \cdot y_i^{(a)} \quad (4.8)$$

Όπου  $\delta_{ki}=1$  αν  $k=i$ , αλλιώς είναι 0, και  $L^{(a)} = (I - \alpha \cdot A)^{-1}$ . Η ισότητα (9) περιλαμβάνει την ευθύνη που κατανέμεται στην βιομηχανία  $i$ :

$$l_{ki}^{(a)} \cdot [(1 - \beta) \cdot y_i + (1 - \alpha) \cdot (x_i - y_i)] \quad (4.9)$$

Και την κατανομή της τελικής ζήτησης:

$$l_{ki}^{(a)} \cdot \beta \cdot y_i \quad (4.10)$$

Αθροίζοντας όλα τα παραπάνω, η ανάντη ευθύνη του τομέα  $i$  είναι:

$$F_i^{(a)} = \left( \sum_k f_k \cdot l_{ki}^{(a)} \right) \cdot y_i^{(a)} \quad (4.11)$$

Και η συνολική ανάντη ευθύνη των επιπτώσεων της παραγωγής  $F$  είναι:

$$F = \sum_i F_i^{(a)} = \sum_i \left( \sum_j f_j \cdot l_{ji}^{(a)} \right) \cdot y_i^{(a)} = f' \cdot L^{(a)} \cdot y^{(a)} \quad (4.12)$$

Η μορφή της ισότητας (12) είναι όμοια με της (2), αντικαθιστώντας  $L$  και  $y$  με :

$$L^{(a)} = (I - \alpha \cdot A)^{-1} \text{ και } y^{(a)} = \beta \cdot y + (1 - \beta) \cdot y + (1 - \alpha) \cdot (x - y) \quad (4.13)$$

Η παράμετρος  $\alpha$ , της ευθύνης του παραγωγού και η  $\beta$ , της ευθύνης του καταναλωτή, είναι αριθμοί μεταξύ του 0 και 1. Για  $\alpha=0$ ,  $L^{(a)}=I$  και  $y^{(a)}=x$ , η ευθύνη του παραγωγού γίνεται  $F = f' \cdot x$ . Στην άλλη ακραία τιμή του  $\alpha$ , δηλαδή για  $\alpha=1$ ,  $L^{(a)}=L$  και  $y^{(a)}=y$ . Κατανέμοντας την ευθύνη του τομέα μόνο στους τελικούς καταναλωτές θέτοντας  $\beta=1$ , προκύπτει ή πλήρη ευθύνη του καταναλωτή  $F = f' \cdot L \cdot y$ .

Η κατανομή της ευθύνης έχει δύο σημαντικές ιδιότητες, πρώτον, η ανάντη ευθύνη για μια συγκεκριμένη επίπτωση μειώνεται κατά έναν παράγοντα κάθε φορά που κινείται προς τα κατάντη της αλυσίδας της ζήτησης. Αυτό είναι ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό, δεδομένου ότι όσο περισσότερα λαμβάνει ένας τομέας από τον παραγωγό των επιπτώσεων τόσο λιγότερο επηρεάζει

τις επιπτώσεις αυτές. Η δεύτερη ιδιότητα είναι η προσθετική, δηλαδή οι ανάντη ευθύνες για μια συγκεκριμένη επίπτωση μοιράζονται ανάμεσα σε όλους τους κατάντη παράγοντες της αλυσίδας ζήτησης χωρίς να υποστούν πολλαπλό υπολογισμό, το άθροισμα όλων των επιπτώσεων που αναλαμβάνεται η ευθύνη από τους τομείς  $k$  για τις επιπτώσεις μιας βιομηχανίας  $i$  είναι ίσο με τις συνολικές επιπτώσεις της ίδιας βιομηχανίας.

$$\begin{aligned} F_i^{(a)} &= \sum_k f_i \cdot l_{ik}^{(a)} \cdot [y_k + (1 - a) \cdot (x_k - y_k)] = \sum_k f_i \cdot l_{ik}^{(a)} \cdot [x_k - a \cdot (x_k - y_k)] = \\ &= \sum_k f_i \cdot l_{ik}^{(a)} \cdot (x_k - a \cdot \sum_j a_{kj} \cdot x_j) = \sum_k f_i \cdot l_{ik}^{(a)} \cdot \sum_j [I - a \cdot A]_{kj} \cdot x_j & (4.14) \\ &= \sum_j f_i \cdot \delta_{ij} \cdot x_j = f_i \cdot x_i = F_i^{(p)} \end{aligned}$$

Επιστρέφοντας στο παράδειγμα με τους τρεις τομείς, χρησιμοποιώντας την παραπάνω προσέγγιση, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα  $F = f_e \cdot x_e$  από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατανέμονται ανάμεσα στους τομείς ως εξής:

**Πίνακας 4.1:** Κατανομή της περιβαλλοντικής ευθύνης με τη μέθοδο των Gallego και Lenzen

Τομέας ηλεκτρικής ενέργειας e	Βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα s	Βιομηχανία αυτοκινήτων c	Τελική ζήτηση	Επίπεδο κατανομής- Σχόλια
$(1-\alpha)\cdot f_e\cdot(x_e-y_e) + (1-\beta)\cdot f_e\cdot y_e$	$\alpha\cdot f_e\cdot(x_e-y_e)$		$\beta\cdot f_e\cdot y_e$	Επίπεδο κατανομής 1: Συνολικές εκπομπές του τομέα e $f_e\cdot x_e$
	$\alpha\cdot f_e\cdot\alpha_{es}\cdot x_s$	$\alpha\cdot f_e\cdot\alpha_{ec}\cdot x_c$		
	$\alpha^2\cdot f_e\cdot\alpha_{es}\cdot(x_s-y_s) = (1-\alpha)\cdot\alpha\cdot f_e\cdot\alpha_{es}\cdot x_s + (1-\beta)\cdot\alpha\cdot f_e\cdot\alpha_{es}\cdot y_s$	$\alpha^2\cdot f_e\cdot\alpha_{es}\cdot x_s$	$\beta\cdot\alpha\cdot f_e\cdot\alpha_{es}\cdot y_s=0$	Επίπεδο κατανομής 2α: Κατανομή του ποσοστού της βιομηχανίας s εξαιτίας των εισροών από την e
		$(1-\alpha)\cdot\alpha\cdot f_e\cdot\alpha_{ec}\cdot(x_c-y_c) + (1-\beta)\cdot\alpha\cdot f_e\cdot\alpha_{ec}\cdot y_c$	$\beta\cdot\alpha\cdot f_e\cdot\alpha_{ec}\cdot y_c$	Επίπεδο κατανομής 2β: Κατανομή του ποσοστού της βιομηχανίας c εξαιτίας των εισροών από την e
		$(1-\beta)\cdot\alpha^2\cdot f_e\cdot\alpha_{es}\cdot\alpha_{sc}\cdot y_c$	$\beta\cdot\alpha^2\cdot f_e\cdot\alpha_{es}\cdot\alpha_{sc}\cdot y_c$	Επίπεδο κατανομής 3: Κατανομή του ποσοστού της βιομηχανίας c εξαιτίας των εισροών από την s

Η ευθύνη  $F_e(\alpha)$  που αποδίδεται στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ανάλογη με την παραγωγή του:

$$F_e^{(\alpha)} = f_e \cdot l_{ee}^{(\alpha)} \cdot y_e^{(\alpha)} = f_e \cdot [y_e + (1 - \alpha) \cdot (x_e - y_e)] \quad (4.15)$$

Από την ευθύνη αυτή, το  $\beta \cdot f_e \cdot y_e$  αποδίδεται στους τελικούς καταναλωτές και το υπόλοιπο αποδίδεται στις ενδιάμεσες βιομηχανίες.

Η ευθύνη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα  $F_s^{(\alpha)}$  αποδίδεται στη βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα για τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και είναι ανάλογη με ένα ποσοστό  $\alpha \cdot a_{es}$  της παραγωγής του. Σε περίπτωση που η τελική ζήτηση δεν απορροφά όλη τη παραγωγή, το ποσοστό που αναλαμβάνεται είναι  $(1-\alpha)$  της συνολικής παραγωγής:

$$F_s^{(\alpha)} = f_e \cdot l_{es}^{(\alpha)} \cdot y_s^{(\alpha)} = f_e \cdot \alpha \cdot a_{es} \cdot (1 - \alpha) \cdot x_s \quad (4.16)$$

Να σημειωθεί ότι, αφού  $y_s=0$ , η ευθύνη του τομέα αυτού αγνοείται εντελώς, τόσο ως παραγωγός ( $\alpha=0$ ) όσο και ως καταναλωτής ( $\alpha=1$ ). Τέλος, η ευθύνη  $F_c^{(\alpha)}$  που αναλαμβάνεται από την βιομηχανία αυτοκινήτων αποτελείται από δύο μέρη, το ένα μέρος συνδέεται με την άμεση αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας και είναι ανάλογη με ένα ποσοστό  $\alpha \cdot a_{ec}$  της συνολικής παραγωγής. Το άλλο μέρος σχετίζεται με την ηλεκτρική ενέργεια από την βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα, η οποία δίνει σίδηρο και χάλυβα στην βιομηχανία αυτοκινήτων. Επομένως είναι ανάλογη με ένα ποσοστό  $\alpha^2 \cdot a_{es} \cdot a_{sc}$  της συνολικής παραγωγής:

$$F_c^{(\alpha)} = f_e \cdot l_{ec}^{(\alpha)} \cdot y_c^{(\alpha)} = f_e \cdot (\alpha \cdot a_{ec} + \alpha^2 \cdot a_{es} \cdot a_{sc}) \cdot y_c \quad (4.17)$$

Για άλλη μια φορά, τα ποσοστά  $\beta$  της ευθύνης της τελικής ζήτησης  $y_c$  αποδίδονται στους τελικούς καταναλωτές, ενώ το υπόλοιπο στην βιομηχανία αυτοκινήτων.

Με αυτό τον τρόπο η ευθύνη κατανέμεται στις βιομηχανίες, στους ενδιάμεσους καταναλωτές και στους τελικούς καταναλωτές. Στο απλοποιημένο παράδειγμα, η διαδικασία κατανομής σταματάει στο τρίτο επίπεδο, χωρίς να υπάρχει ενδιάμεση κατανάλωση. Οι συνολικές εκπομπές  $f_e \cdot x_e$  κατανέμονται στην παραγωγή και στην τελική κατανάλωση.

#### **4.3.3. Παράδειγμα της κατανομής της ευθύνης των Gallego και Lenzen**

Επιστρέφοντας στο παράδειγμα με της παραγωγής αυτοκινήτων με τους τρεις παραγωγικούς τομείς, στο οποίο έχουμε υποθέσει ότι εκπομπές γίνονται μόνο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέτοντας αριθμητικά δεδομένα και ορίζοντας τα ποσοστά ευθύνης της ενδιάμεσης ζήτησης και της τελικής ζήτησης ισχύουν τα παρακάτω:



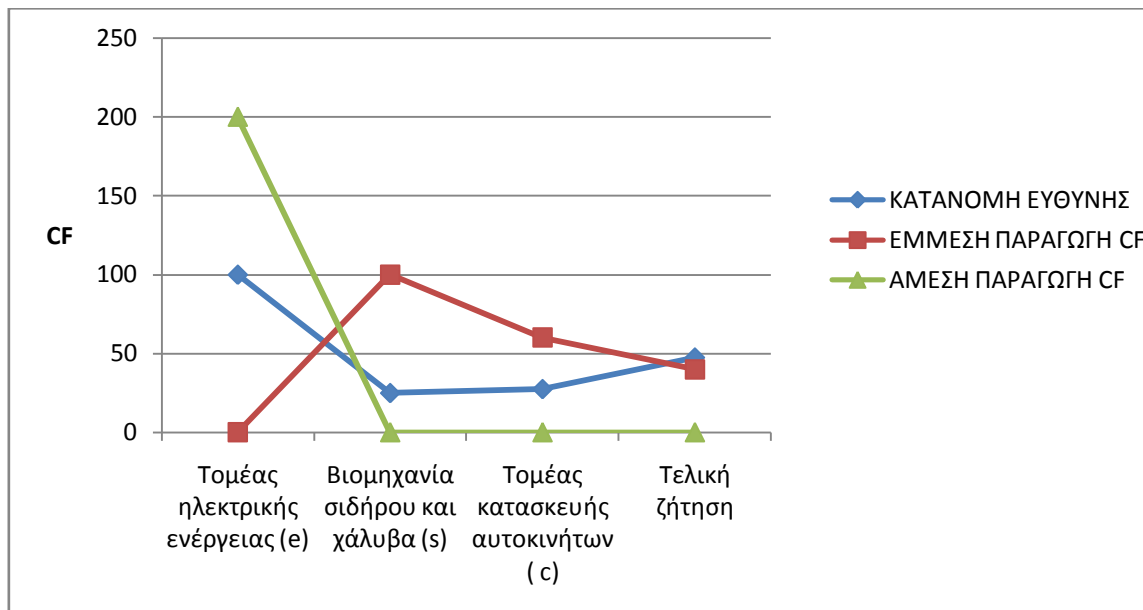
**Πίνακας 4.2: Δεδομένα παραδείγματος**

Τομέας ηλεκτρικής ενέργειας (e)		Βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα (s)		Τομέας κατασκευής αυτοκινήτων (c)		Τελική ζήτηση		
Μονάδες παραγωγής xe	100	Μονάδες ενδιάμεσης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τη βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα tes	50	Μονάδες ενδιάμεσης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τη κατασκευή αυτοκινήτων tec	30	Μονάδες τελικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ye	20	
CF μιας μονάδας fe	2	Συντελεστής εισροής aes	0,625	Συντελεστής εισροής acs	0,3			
		Μονάδες παραγωγής σιδήρου και χάλυβα xs	80	Μονάδες ενδιάμεσης ζήτησης σιδήρου και χάλυβα tsc	80	Μονάδες τελικής ζήτησης σιδήρου χάλυβα ys	0	
				Μονάδες παραγωγής αυτοκινήτων xc	100	Μονάδες τελικής ζήτησης αυτοκινήτων yc	100	
				Συντελεστής εισροής asc	0,8			

Με βάση τον πίνακα 4.1 και τις μαθηματικές σχέσεις (4.6) και (4.7), ορίζοντας ποσοστά ευθύνης 50%-50% όλα τα επίπεδα κατανομής μεταξύ παραγωγών και τελικής ζήτησης φαίνονται στην εικόνα, όπου με όμοιο χρώμα συμβολίζονται το επίπεδο με τις αντίστοιχες εκπομπές που κατανέμονται:

**Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα κατανομής με τη μέθοδο των Gallego και Lenzen**

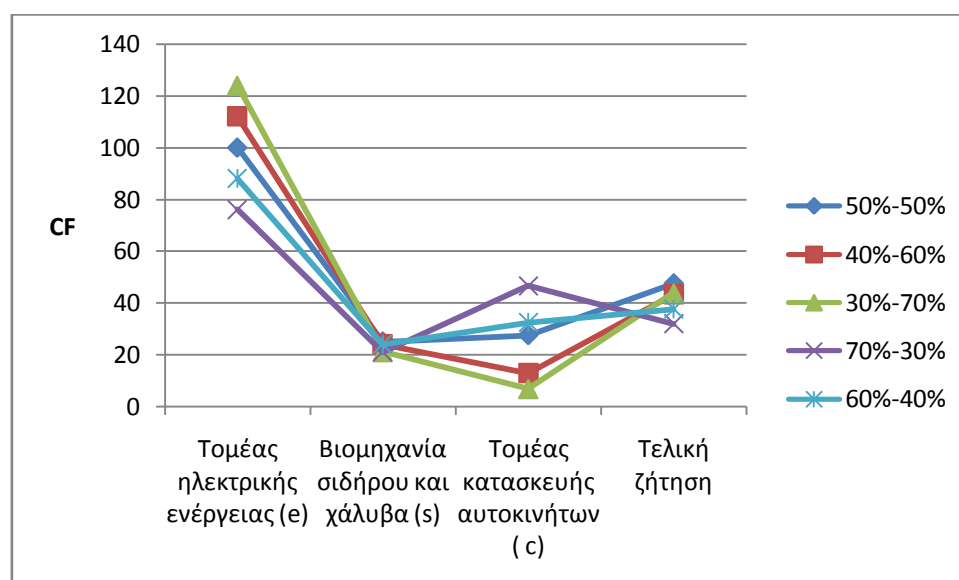
Τομέας ηλεκτρικής ενέργειας (e)	Βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα (s)	Τομέας κατασκευής αυτοκινήτων (c)	Τελική ζήτηση
<b>ΕΠΙΠΕΔΟ 1: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>			
100	80		20
	50	30	
<b>ΕΠΙΠΕΔΟ 2α: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΣΙΔΗΡΟΥ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>			
	25	25	0
<b>ΕΠΙΠΕΔΟ 2β: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>			
		15	15
<b>ΕΠΙΠΕΔΟ 3: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΣΙΔΗΡΟΥ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ</b>			
		12,5	12,5
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ</b>			
100	25	27,5	47,5



**Διάγραμμα 4.1:** Κατανομή της περιβαλλοντικής ευθύνης με τη μέθοδο των Gallego και Lenzen για ποσοστό ενδιάμεσης και τελικής ευθύνης ζήτησης 50%-50%

Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.3, κατά το επίπεδο κατανομής 2α, το ποσοστό ευθύνης της τελικής ζήτησης είναι 0, εξαιτίας της αρχικής υπόθεσης ότι η βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα δεν εκρέει στον τομέα της τελικής ζήτησης. Στα επίπεδα 2α, 2β και 3 φαίνεται πως τα ποσοστά κατανομής είναι 50% - 50%. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.1, επιβαρύνονται περισσότερο ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας και οι τελικοί χρήστες καθώς, στους ενδιάμεσους τομείς δεν υπάρχει παραγωγή CF.

Αλλάζοντας τα ποσοστά ευθύνης της ενδιάμεσης και της τελικής ζήτησης, η κατανομή μεταβάλλεται ως εξής:



**Διάγραμμα 4.2:** Κατανομή της περιβαλλοντικής ευθύνης με τη μέθοδο των Gallego και Lenzen για διάφορα ποσοστά ενδιάμεσης και τελικής ζήτησης

Με τη μείωση του ποσοστού ευθύνης της ενδιάμεσης ζήτησης και συνεπώς την αύξηση του ποσοστού ευθύνης της τελικής ζήτησης, αυξάνεται η ευθύνη του τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αυτό συμβαίνει εξαιτίας του ότι ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας εκρέει μεγαλύτερη ποσότητα στην ενδιάμεση ζήτηση απ' ό,τι στην τελική ζήτηση. Επιπλέον, μειώνεται η ευθύνη του τομέα της κατασκευής αυτοκινήτων ενώ η ευθύνη της βιομηχανίας σιδήρου και της τελικής ζήτησης παραμένουν σχεδόν σταθερές. Αντίστοιχα, αυξάνοντας το ποσοστό ευθύνης της ενδιάμεσης ζήτησης μειώνεται η ευθύνη του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας και αυξάνεται η ευθύνη του τομέα της κατασκευής αυτοκινήτων. Η ευθύνη της βιομηχανίας σιδήρου και χάλυβα και της τελικής ζήτησης αντίστοιχα μεταβάλλονται ελάχιστα.

#### **4.4. Ο δείκτης περιβαλλοντικής ευθύνης του Rodrigues (2006)**

##### **4.4.1. Το παράδειγμα των δύο χωρών**

Για την κατανόηση της αναγκαιότητας και για την επιλογή του κατάλληλου δείκτη, ο Rodrigues χρησιμοποιεί ως παράδειγμα έναν υποθετικό κόσμο δύο χωρών, που αντιμετωπίζει ένα σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα. Μια μέρα, οι εκπρόσωποι των δύο αυτών χωρών συναντιούνται προκειμένου να συζητήσουν για την αντιμετώπιση του προβλήματος, και αποφασίζουν ότι το μερίδιο του συνολικού κόστους μείωσης του προβλήματος, που θα πραγματοποιηθεί από κάθε χώρα θα πρέπει να είναι ανάλογο με την συνεισφορά κάθε χώρας στη συνολική περιβαλλοντική πίεση. Δεν μπορούν όμως να συμφωνήσουν για το ποιος περιβαλλοντικός δείκτης θα εμφανίσει σωστά τη συμβολή της κάθε χώρας.

Η μία χώρα υποστηρίζει ότι οι άμεσες περιβαλλοντικές πιέσεις θα εμφανίσουν τη συμβολή της κάθε χώρας στη συνολική περιβαλλοντική πίεση. Η άλλη όμως, θεωρεί πως ένα ποσοστό των άμεσων περιβαλλοντικών πιέσεων προκαλούνται για εξαγωγές και θα πρέπει να αποδίδονται στη χώρα εισαγωγής. Οι εκπρόσωποι, συνέχισαν τις προτάσεις, μέχρι που εξάντλησαν όλους τους δείκτες, αλλά δεν είχε επιτευχθεί συναίνεση στο ποιο δείκτη θα χρησιμοποιήσουν.

Στη συνέχεια, οι δύο εκπρόσωποι αποφασίζουν να περιγράψει ο καθένας τους τις ιδιότητες που θεωρούν ότι πρέπει να έχει ο δείκτης της περιβαλλοντικής ευθύνης ώστε να εκφράσουν τη δίκαιη συνεισφορά τους στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μετά την παράθεση αυτών των ιδιοτήτων, θα έλεγχαν αν όντως δεν υπάρχει κάποιος δείκτης που να τις πληρεί όλες, αν υπήρχε θα τον αποδεχόντουσαν.

Δύο ήταν οι ιδιότητες που συμφωνήθηκαν εύκολα. Η πρώτη ήταν ότι η περιβαλλοντική ευθύνη θα πρέπει να επαληθεύει μια κατάσταση κανονικοποίησης, έτσι ώστε το άθροισμα της περιβαλλοντικής ευθύνης όλων των παραγόντων να ισούται με τη συνολική περιβαλλοντική πίεση. Και η δεύτερη, ότι ο δείκτης θα πρέπει να είναι ξεκάθαρος και να μην επιτρέπει την μειωμένη περιβαλλοντική ευθύνη μιας θεσμικής μονάδας. Συμφώνησαν επίσης και σε μία άλλη ιδιότητα, στην προσθετική ιδιότητα του δείκτη, δηλαδή η ευθύνη της κάθε χώρας θα είναι το άθροισμα της ευθύνης της κάθε περιοχής που απαρτίζει τη χώρα. Στη συνέχεια συμφώνησαν στην ιδιότητα του υπολογισμού των έμμεσων επιπτώσεων, η οποία συμπληρώθηκε και με άλλες δύο ιδιότητες. Κατέληξαν στο ότι η ευθύνη των έμμεσων επιπτώσεων θα πρέπει να ακολουθεί την οικονομική αιτιότητα και στη συμμετρίας μεταξύ κατανάλωσης και παραγωγής, καθώς κάθε οικονομικός παράγοντας έχει ταυτόχρονα και τις δύο αυτές ιδιότητες. Προέκυψαν συνολικά έξι ιδιότητες.

Η επόμενη τους κίνηση ήταν να απευθυνθούν σε κάποιον ερευνητή του περιβάλλοντος ώστε να τους πει εάν υπάρχει ένας περιβαλλοντικός δείκτης με τις παραπάνω ιδιότητες. Η απάντηση ήταν θετική, και μάλιστα υπάρχει μόνο ένας δείκτης που να πληρεί όλες τις επιθυμητές ιδιότητες. Η λύση δόθηκε από τον Rodrigues.

#### **4.4.2. Γενικά**

Ο Rodrigues (2006) [22] μελετά το πρόβλημα της περιβαλλοντικής ευθύνης μέσω ενός περιβαλλοντικού δείκτη, βασιζόμενου στο μοντέλο εισροών – εκροών. Ο δείκτης αυτός, θα πρέπει υπολογίζει τη συμβολή των οικονομικών δραστηριοτήτων όλων των παραγόντων που εμπλέκονται σε ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα. Η συμβολή αυτή συχνά αναφέρεται ως άμεση περιβαλλοντική πίεση.

Οι περιβαλλοντικοί δείκτες μπορούν να χωριστούν σε δείκτες κατάστασης και σε πίεσης. Οι δείκτες κατάστασης σχετίζονται με τα αποθέματα που έχουν συσσωρευτεί στο περιβάλλον (π.χ. η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα). Οι δείκτες πίεσης σχετίζονται με τις ροές που διαταράσσουν το περιβάλλον (π.χ. τόνοι CO<sub>2</sub> που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια ενός χρόνου στην ατμόσφαιρα). Οι δείκτες περιβαλλοντικής πίεσης υπερέρχουν έναντι των δεικτών κατάστασης, καθώς επιτρέπουν την αντιμετώπιση ενός στατικού και όχι ενός δυναμικού προβλήματος. Το κέρδος αυτής της απλούστευσης αντισταθμίζει την απώλεια της γενικότητας, και για αυτό το λόγο οι περισσότεροι δείκτες που χρησιμοποιούνται είναι δείκτες πίεσης.

Οι δείκτες πάντα ορίζονται για κάποια διάσταση της περιβαλλοντικής πίεσης, όπως οι εκπομπές του άνθρακα, η ενεργειακή κατανάλωση κτλ. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός δεικτών για κάθε περιβαλλοντική διάσταση της περιβαλλοντικής πίεσης. Για τις περισσότερες διαστάσεις επιλέγεται ο δείκτης άμεσων περιβαλλοντικών πιέσεων ή δείκτες που συνδυάζουν και τις άμεσες αλλά και τις έμμεσες πιέσεις. Το οικολογικό αποτύπωμα για παράδειγμα έχει δείκτες που μεταφράζουν όλες τις απαιτήσεις ενέργειας και υλικών σε ισοδύναμες μονάδες εμβαδού γης. Για τις ροές των υλικών, η EUROSTAT παρέχει μια σειρά από τυποποιημένους δείκτες. Ένας από αυτούς είναι ο δείκτης της συνολικής απαίτησης υλικών (Total Material Requirements, TMR), ο οποίος ισούται με την εγχώρια εξόρυξη συν την εξαγόμενη προς την εισαγόμενη.

Οι δείκτες πίεσης, θα πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες μαθηματικές ιδιότητες, για τον λόγο αυτό η επιλογή του δείκτη δεν είναι εύκολη υπόθεση. Οι ιδιότητες αυτές είναι οι παρακάτω:

- ✓ Η προσθετική
- ✓ Η κανονικοποίηση των συνθηκών
- ✓ Ο συνυπολογισμός των έμμεσων επιπτώσεων
- ✓ Η οικονομική αιτιότητα
- ✓ Η σταθερή μονοτονία
- ✓ Η συμμετρία

Το πρόβλημα της δημιουργία ενός δείκτη περιβαλλοντικής ευθύνης, ο Rodrigues το παρομοιάζει με 2 θεωρίες παιχνιδιών, την θεωρία της συνεργασίας και τη θεωρία της δικαιοσύνης. Η θεωρία της συνεργασίας μελετά το πώς μοιράζονται τα κέρδη μιας συνεργασίας, με τέτοιον τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται ο αριθμός των παραγόντων που θέλουν να συνεργαστούν. Η θεωρία της

δικαιοσύνης μελετά το πώς τα αγαθά κατανέμονται με δίκαιο τρόπο μεταξύ ενός σταθερού αριθμού παραγόντων. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την κατανομή της περιβαλλοντικής πίεσης διαφέρει γιατί τα συστήματα έχουν διαφορετικές ιδιότητες. Όπως για παράδειγμα η προσθετική ιδιότητα, δηλαδή η δυνατότητα ενός παράγοντα να αποτελεί ένα σύνολο πολλών παραγόντων, δηλαδή να είναι και παραγωγός και καταναλωτής, η οποία δεν υπάρχει στις παραπάνω θεωρίες.

#### **4.4.3. Το οικονομικό πλαίσιο του δείκτη του Rodrigues**

Για την εύρεση του κατάλληλου δείκτη περιβαλλοντικής πίεσης γίνεται η υπόθεση ότι οι θεσμικές μονάδες είναι χώρες  $k$  και  $N$  ο συνολικός αριθμός τους. Κάθε χώρα  $k$  αποτελείται από ένα σύνολο από τομείς. Έστω  $S_N$  το σύνολο όλων των τομέων όλων των χωρών και  $S_k$  το σύνολο των τομέων της χώρας  $k$ . Η χώρα  $k$  αποτελείται από τις περιφέρειες  $k'$  και  $k''$ , δηλαδή  $k \equiv k' + k''$ .

Έστω  $w_i \geq 0$  είναι η άμεση περιβαλλοντική πίεση του τομέα  $i$ , δηλαδή η περιβαλλοντική πίεση που προκαλείται άμεσα από τις δραστηριότητες παραγωγής και κατανάλωσης του τομέα  $i$ . Επίσης, έστω ότι η περιβαλλοντική πίεση εντός των ορίων της χώρας  $k$ , είναι η άμεση περιβαλλοντική πίεση της χώρας  $k$  και ορίζεται ως  $W_k$ . Το άθροισμα όλων των περιβαλλοντικών πιέσεων όλων των χωρών, είναι οι περιβαλλοντικές πιέσεις όλου του κόσμου  $W_N$ .  $\mathbf{w}$  είναι το διάνυσμα των άμεσων περιβαλλοντικών πιέσεων, για τον τομέα  $i$  είναι  $w_i$ .

Σύμφωνα με το μοντέλο του Rodrigues, όλες οι χώρες έχουν παραγωγικές και καταναλωτικές δραστηριότητες. Κάθε τομέας οποιασδήποτε χώρας δέχεται ένα σύνολο εισροών και διανέμει ένα σύνολο εκροών. Οι εισροές και οι εκροές είναι αγαθά και υπηρεσίες μετρούμενα σε οικονομικές μονάδες. Οι εισροές γίνονται από τους ίδιους τους τομείς ή από διαφορετικούς της ίδιας χώρας ή από διαφορετικούς, διαφορετικής χώρας (εισαγωγές). Το αντίστοιχο συμβαίνει με τις εκροές ενός τομέα, δηλαδή να γίνονται από τον ίδιο τομέα, από διαφορετικό της ίδιας χώρας ή από διαφορετικό, διαφορετικής χώρας (εξαγωγές). Ο όρος κατανάλωση περιλαμβάνει όλες τις μορφές τελικής ζήτησης.

Με  $z_{ij}$  περιγράφονται οι οικονομικές ροές από τον τομέα  $i$  στον  $j$ . Ως  $0$  ορίζονται τα νοικοκυριά, η ροή της τελικής ζήτησης από τον τομέα  $i$  είναι  $z_{i0}$  και η πρωτογενής ροή του τομέα  $j$  είναι  $z_{0j}$ ,  $z_{00}=0$  εξ ορισμού. Ως  $S_{k0}$  ορίζεται το σύνολο όλων των παραγωγικών τομέων συμπεριλαμβανομένου και των νοικοκυριών. Όλες οι οικονομικές πληροφορίες περιλαμβάνονται στον πίνακα εσωτερικών ροών  $\mathbf{Z}$ , το οποίο για ροή από τον  $i$  στον  $j$  είναι  $z_{ij}$ . Το διάνυσμα των πρωτογενών εισροών ορίζεται ως  $z_p$ , για τον τομέα  $i$  είναι,  $z_{0i}$  και το διάνυσμα της τελικής ζήτησης είναι  $z_c$ , για τον τομέα  $i$  είναι  $z_{i0}$ . Τέλος το διάνυσμα  $z$  περιλαμβάνει το άθροισμα όλων των εισροών και εκροών κάθε τομέα, του τομέα  $i$  είναι  $z_i$  ισχύουν:

$$z_i = \sum_{j \in S_{N0}} z_{ji} = \sum_{j \in S_{N0}} z_{ij} = \sum_{j \in S_N} z_{ji} + z_{0i} = \sum_{j \in S_N} z_{ij} + z_{i0} \quad (4.18)$$

$$z = Z^T \cdot \mathbf{1} + z_p = Z \cdot \mathbf{1} + z_c \quad (4.19)$$

#### **4.4.4. Ιδιότητες του δείκτη περιβαλλοντικής ευθύνης**

##### **Ιδιότητα 1: Προσθετική**

Για τη χώρα  $k$  ισχύει  $k \equiv k' + k''$ , όπου  $k'$  και  $k''$  οι περιφέρειες της χώρας  $k$ . Τότε, για την περιβαλλοντική ευθύνη που εκφράζεται με  $U$  ισχύει:  $U_k = U_{k'} + U_{k''}$

Η πρώτη ιδιότητα επιβάλλει ότι η περιβαλλοντική ευθύνη ενός παράγοντα είναι το άθροισμα της περιβαλλοντικής ευθύνης των επιμέρους παραγόντων.

### **Ιδιότητα 2: Κανονικοποίηση συνθηκών**

Η τιμή του δείκτη περιβαλλοντικής ευθύνης για όλο τον κόσμο  $U_N$  ισούται με τις άμεσες περιβαλλοντικές πιέσεις όλου του κόσμου:  $U_N=W_N$ . Αυτό συνεπάγεται ότι ο δείκτης της περιβαλλοντικής πίεσης έχει τη διάσταση της άμεσης περιβαλλοντικής πίεσης.

Οι δύο πρώτες ιδιότητες οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η περιβαλλοντική ευθύνη μιας δεδομένης χώρας είναι η συμβολή της χώρας αυτής στη συνολική περιβαλλοντική πίεση. Στην περίπτωση των ανοικτών οικονομιών, οι ενέργειες μιας θεσμικής μονάδας πάντα αλληλοεξαρτώνται από ενέργειες άλλων θεσμικών μονάδων. Συγκεκριμένα, μια θεσμική μονάδα συχνά ωφελείται από την περιβαλλοντική πίεση που ενεργοποιείται από άλλες θεσμικές μονάδες. Οι έμμεσες επιπτώσεις από τις περιβαλλοντικές πιέσεις έχουν μεγάλη σημασία και σίγουρα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

### **Ιδιότητα 3: Συνουπολογισμός των έμμεσων επιπτώσεων**

Η ιδιότητα 3 επιβάλλει να λαμβάνονται υπόψη και οι άμεσες και οι έμμεσες περιβαλλοντικές πιέσεις. Δεδομένου ότι αυτή η ιδιότητα είναι κάπως τυπική, θεωρείται ότι η περιβαλλοντική ευθύνη έχει τις ιδιότητες των οικονομικών ροών, και ορίζονται ως ανάντη και κατάντη περιβαλλοντική πίεση, η οποία επαληθεύει την διατήρηση της ιδιότητας αυτής. Η ανάντη περιβαλλοντική πίεση, για παράδειγμα είναι ιδιότητα των οικονομικών ροών, έτσι ώστε η ανάντη περιβαλλοντική πίεση από τις εκροές των τομέων να ισούται με την ανάντη περιβαλλοντική πίεση των εισροών του εν λόγω τομέος συν την άμεση περιβαλλοντική πίεση του. Συνεπώς, η ανάντη περιβαλλοντική πίεση των εκροών ενός τομέος υπολογίζεται ως άμεση περιβαλλοντική πίεση του τομέα συν τις ανάντη έμμεσες περιβαλλοντικές πιέσεις. Αντίστοιχα μπορούν να οριστούν και οι κατάντη περιβαλλοντικές πιέσεις.

Έστω ότι  $u_{ij}$  και  $u'_{ij}$  είναι οι ανάντη και κατάντη περιβαλλοντικές πιέσεις της ροής  $ij$  αντίστοιχα και ορίζονται όπως παρακάτω:

$$\sum_{j \in S_{N0}} u_{ij} = w_i + \sum_{j \in S_N} u_{ji} \quad (4.20)$$

$$\sum_{i \in S_{N0}} u'_{ij} = w_j + \sum_{i \in S_N} u'_{ji} \quad (4.21)$$

$$U_k = U_k \left( \{u_{ij}\}_{(ij) \in F_k}, \{u'_{ij}\}_{(ij) \in F'_k} \right) \text{ και } F_k^T = \{(ij)\} \quad (4.22)$$

Η ιδιότητα 3 δείχνει ότι το  $U_k$  ορίζεται από τις ποσότητες  $u_{ij}$  και  $u'_{ij}$ , όπου το  $ij$  ανήκει στο σύνολο των  $F_k$  και  $F'_k$ , τα οποία είναι υποσύνολα όλων των συνολικών ροών που γίνονται στη χώρα  $k$ , όμως ακόμα δεν έχουν προσδιοριστεί.

### **Ιδιότητα 4: Οικονομική αιτιότητα**

Η ιδιότητα 4 επιβάλλει το κριτήριο της κατανομής των έμμεσων επιπτώσεων να είναι οικονομικό. Από μαθηματική άποψη, η ιδιότητα 4 ορίζει 2 για κάθε τομέα περιβαλλοντικές πιέσεις, την ανάντη και κατάντη, οι οποίες είναι αναλογικά σταθερές μεταξύ των ανάντη και κατάντη περιβαλλοντικών πιέσεων και των οικονομικών ροών με τις οποίες συνδέονται. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική ανάντη περιβαλλοντική πίεση που φτάνει στον τομέα  $i$  μοιράζεται ανάμεσα στις εκροές του ανάλογα με το

ποσοστό των οικονομικών εκροών του τομέα. Το αντίστοιχο συμβαίνει και για τις κατάντη πιέσεις, με βάση τις εισροές.

Η σημασία της τέταρτης ιδιότητας είναι ότι κάθε περιβαλλοντική καταστροφή ως υποπροϊόν των οικονομικών δραστηριοτήτων σχετίζεται με την παραγωγή ή την κατανάλωση αγαθών και υπηρεσιών. Έτσι, το οικονομικό μερίδιο των εκροών ως προς τις συνολικές εκροές είναι ένας αποδεκτός δείκτης κατανομής της περιβαλλοντικής ευθύνης στις εκροές.

Η ανάντη περιβαλλοντική πίεση μιας οποιασδήποτε οικονομικής ροής  $u_{ij}$  είναι:

$$u_{ij} = m_i \cdot z_{ij} \quad (4.23)$$

Όπου  $m_i$  είναι η ανάντη περιβαλλοντική ένταση του τομέα  $i$ .

Η κατάντη περιβαλλοντική πίεση μιας οποιασδήποτε οικονομικής ροής  $u'_{ij}$  είναι:

$$u'_{ij} = m'_j \cdot z_{ij} \quad (4.24)$$

Όπου  $m'_j$  είναι η κατάντη περιβαλλοντική ένταση του τομέα  $j$ .

#### **Ιδιότητα 5: Σταθερή μονοτονία**

Η πέμπτη ιδιότητα επιβάλλει ο δείκτης να μην παρουσιάζει 'λάθος μηνύματα', και να μην εμφανίζει μείωση της περιβαλλοντικής ευθύνης σε περίπτωση αύξησης των άμεσων περιβαλλοντικών πιέσεων. Δεδομένου ότι οι ανάντη και κατάντη περιβαλλοντικές πιέσεις είναι και οι ίδιες μονότονες, είναι και η άμεση περιβαλλοντική πίεση. Δηλαδή:

$$\frac{\partial U_k}{\partial u_{ij}} \geq 0 \text{ και } \frac{\partial U_k}{\partial u'_{ij}} \geq 0 \quad (4.25)$$

#### **Ιδιότητα 6: Συμμετρία**

Η τελευταία και πολύ σημαντική ιδιότητα είναι η συμμετρία της συμπεριφοράς της παραγωγής και της κατανάλωσης στις περιβαλλοντικές πιέσεις. Με άλλα λόγια, η έκτη ιδιότητα επιβάλλει ότι η τιμή του δείκτη μιας θεσμικής μονάδας θα παραμείνει ίδια εάν η περιβαλλοντική πίεση που προκύπτει από την παραγωγή και από την κατανάλωση εναλλάσσονταν. Σύμφωνα με τον τρόπο που ορίζονται τα  $u_{ij}$  και  $u'_{ij}$  από τις ιδιότητες 3 και 4, αν τα  $z_{ij}$  και  $z_{ji}$  εναλλάσσονται η περιβαλλοντική ευθύνη  $U_k$  παραμένει ίδια.

Στην πραγματικότητα, εξετάζοντας τις παγκόσμιες περιβαλλοντικές πιέσεις, οι θεσμικές δομές εξουσίας μπορούν να επιδρούν σημαντικά στις επιλογές μιας θεσμικής μονάδας, για παράδειγμα η Παγκόσμια Τράπεζα και οι πολιτικές του ΔΝΤ είχαν σημαντικές επιρροές στην παγκόσμια δομή της εξόρυξης υλικών με τις πολιτικές τους τις δεκαετίες του 1980 και του 1990, αναγκάζοντας τις νότιες χώρες να ειδικευτούν στην πρωτογενή παραγωγή/εξαγωγή.

Επομένως, υπάρχουν περιπτώσεις ασυμμετρίας, στις οποίες μια χώρα είναι περιορισμένη στις επιλογές των παραγωγικών δραστηριοτήτων και όχι στις επιλογές των καταναλωτικών επιλογών. Ωστόσο, αν κάποιος δεν θεωρήσει συμμετρία, προκύπτουν πολλές πιθανότητες σχετικά με το πώς να σταθμιστούν οι περιβαλλοντικές πιέσεις από την κατανάλωση και από την παραγωγή. Εφόσον κάθε θεσμική μονάδα επιλέξει κάποιον διαφορετικό κανόνα κατανομής, θα είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να βρεθεί κάποιος άλλος κανόνας να ικανοποιεί όλους τις θεσμικές μονάδες.



#### 4.4.5. Προσδιορισμός του δείκτη περιβαλλοντικής ευθύνης

Για την επαλήθευση των ιδιοτήτων 3 και 4, η περιβαλλοντική ευθύνη εκφράζεται μέσα από τις άμεσες περιβαλλοντικές πιέσεις και τα οικονομικά δεδομένα. Η περιβαλλοντική ευθύνη  $U_k$  είναι μια μη αρνητική, πραγματική συνάρτηση, η οποία ορίζεται για το σύνολο των  $u_{ij}$  και  $u'_{ij}$ . Οι ποσότητες των ανάντη και κατάντη περιβαλλοντικών πιέσεων είναι συναρτήσεις των διανυσμάτων  $\mathbf{w}$ ,  $\mathbf{z}_p$ ,  $\mathbf{z}_c$  και  $\mathbf{Z}$ . Θα γίνει διερεύνηση των παραπάνω ποσοτήτων.

Έστω ότι  $S_N$  είναι ο αριθμός των στοιχείων. Η εξίσωση (2) ορίζει  $S_N$  περιορισμούς και η εξίσωση (4) ορίζει  $S_N(S_{N+1})$  περιορισμούς. Υπάρχουν  $S_N$  άγνωστοι  $m_i$  και  $S_N(S_{N+1})$  άγνωστοι  $u_{ij}$ . Οι ανάντη περιβαλλοντικές εντάσεις  $m_i$  ορίζονται για  $j$  με  $z_{ij} \neq 0$ , αντίστοιχα και οι κατάντη περιβαλλοντικές εντάσεις  $m'_i$ . Επίσης ορίζονται:

$$u_i = \sum_{j \in S_{N0}} u_{ij} \text{ και } V_{k0} = \sum_{i \in S_k} u_{i0} \quad (4.26)$$

Όπου το  $\mathbf{V}$  αναφέρεται σε μία χώρα. Επιπλέον, για λόγους απλούστευσης ορίζεται  $u_{0j} = 0$ .

Η τελική ζήτηση κατέχει ένα μέρος της ανάντη περιβαλλοντικής πίεσης, δεδομένου ότι συσσωρεύονται έμμεσες επιδράσεις που προέρχονται από ανάντη, αν και δεν υπάρχει καμία άμεση περιβαλλοντική πίεση. Συνεπώς:

$$V_{k0} = \sum_{i \in S_k} u_{i0} = W_N \quad (4.27)$$

Δηλαδή, η ανάντη περιβαλλοντική πίεση της συνολικής ζήτησης συσσωρεύεται στη συνολική περιβαλλοντική πίεση. Αντίστοιχα ορίζονται:

$$u'_j = \sum_{i \in S_{N0}} u'_{ij} \text{ και } V'_{0k} = \sum_{j \in S_k} u'_{0j} \quad (4.28)$$

$$V'_{0N} = \sum_{j \in S_N} u'_{0j} = W_N \quad (4.29)$$

Δηλαδή, η κατάντη περιβαλλοντική πίεση των συνολικών πρωτογενών εισροών συσσωρεύεται στη συνολική περιβαλλοντική πίεση.

Η συνολική πίεση που ενεργοποιείται από τις οικονομικές ροές ( $ij$ ) καθ' όλο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος είναι το άθροισμα των  $u_{ij}$  και  $u'_{ij}$ , τα οποία αντιστοιχούν στην περιβαλλοντική πίεση που ενεργοποιείται στο παρελθόν και το μέλλον, αντίστοιχα, της οικονομική ζωής του.

Συνεπώς, εφαρμόζοντας όλα τα παραπάνω για τις έμμεσες επιπτώσεις και χρησιμοποιώντας την οικονομική αιτιότητα, ο Rodrigues καταλήγει στο η περιβαλλοντική ευθύνη της χώρας  $k$  προσδιορίζεται από ένα υποσύνολο των ανάντη και κατάντη περιβαλλοντικών πιέσεων των οικονομικών ροών που αφορούν όλους τους τομείς της χώρας αυτής. Τα  $F_k$  και  $F'_k$ , που ορίστηκαν στην ιδιότητα 3 είναι υποσύνολα των συνολικών οικονομικών ροών που αφορούν την χώρα  $k$ .

Με βάση την ιδιότητα της κανονικοποίησης, οι εξισώσεις (4.27, 4.28 και 4.29) γίνονται

$$\left\{ \begin{array}{l} W_N = U_N \left( \{u_{ij}\}_{(ij) \in F_N}, \{u'_{ij}\}_{(ij) \in F'_N} \right) \\ W_N = \sum_{i \in S_N} u_{i0} \\ W_N = \sum_{i \in S_N} u'_{i0} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} dW_N = \sum_{(ij) \in F_N^T} \frac{\partial U_N}{\partial u_{ij}} du_{ij} + \sum_{(ij) \in F_N'^T} \frac{\partial U_N}{\partial u'_{ij}} du'_{ij} \\ dW_N = \sum_{i \in S_N} dU_{i0} \\ dW_N = \sum_{i \in S_N} dU'_{i0} \end{array} \right. \quad (4.30)$$

Συνεπώς, από τις δύο τελευταίες ισότητες προκύπτει:

$$du_{10} = \sum_{i \in S_N} du'_{0i} - \sum_{i \in S_N \setminus \{1\}} du_{i0} \rightarrow \quad (4.31)$$

$$\sum_{i \in S_N \setminus \{1\}} \left( \frac{\partial U_N}{\partial u_{i0}} - \frac{\partial U_N}{\partial u'_{0i}} \right) du_{i0} + \sum_{i \in S_N} \left( \frac{\partial U_N}{\partial u'_{0i}} + \frac{\partial U_N}{\partial u_{10}} - 1 \right) du'_{0i} + \sum_{(ij) \in F_N^T, j \neq 0} \frac{\partial U_N}{\partial u_{ij}} du_{ij} + \sum_{(ij) \in F_N^T, i \neq 0} \frac{\partial U_N}{\partial u'_{ij}} du'_{ij} = 0$$

Στην τελευταία σχέση, όλα τα διαφορικά είναι ανεξάρτητα. Γι' αυτό το λόγο, για να ισχύει η παραπάνω σχέση, πρέπει να ισχύουν όλα τα παρακάτω:

$$\frac{\partial U_N}{\partial u_{i0}} = \frac{\partial U_N}{\partial u'_{0i}}, i \in S_N \setminus \{1\}$$

$$\frac{\partial U_N}{\partial u_{0i}} + \frac{\partial U_N}{\partial u_{10}} = 1, i \in S_N \setminus \{1\}$$

$$\frac{\partial U_N}{\partial u_{01}} + \frac{\partial U_N}{\partial u_{10}} = 1 \quad (4.32)$$

$$\frac{\partial U_N}{\partial u_{ij}} = 0, (ij) \in F_N^T, j \neq 0$$

$$\frac{\partial U_N}{\partial u'_{ij}} = 0, (ij) \in F_N^T, i \neq 0$$

Οι τελευταίες δύο σχέσεις σημαίνουν ότι τα μόνα στοιχεία που υπάρχουν είναι τα  $(i0)$  και  $(0i)$ . Οι δύο πρώτες σχέσεις δείχνουν ότι η μερική παράγωγος του  $U_N$  ως προς οποιαδήποτε στοιχεία που ανήκουν στο  $S_N$  είναι σταθερή, δηλαδή:

$$\frac{\partial U_N}{\partial u_{i0}} = K \text{ και } \frac{\partial U_N}{\partial u'_{0i}} = K', K, K' = ct \quad (4.33)$$

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω προκύπτουν τα εξής:

$$\begin{cases} U_N = K \cdot V_{N0} + K' \cdot V'_{0N} + K'' \\ K + K' = 1 \end{cases} \rightarrow U_N = W_N + K'' = W_N \rightarrow U_N = K \cdot V_{N0} + K' \cdot V'_{0N} \quad (4.34)$$

Όσον αφορά τον υπολογισμό της περιβαλλοντικής ευθύνης της χώρας  $k$ , αρκεί η εφαρμογή της ιδιότητας 1 στη συνολική περιβαλλοντική ευθύνη:

$$U_N = \sum_{k \in N} U_k \rightarrow \quad (4.35)$$

$$\sum_{k \in N} \sum_{i \in S_k} \left( \left( \frac{\partial U_k}{\partial u_{i0}} - \frac{\partial U_N}{\partial u_{i0}} \right) du_{i0} + \left( \frac{\partial U_k}{\partial u'_{0i}} - \frac{\partial U_N}{\partial u'_{0i}} \right) du'_{0i} \right) + \sum_{k, k' \neq k \in N} \sum_{(ij) \in (F_k^T \cap F_{k'}^T) \setminus \{(ij)\}} \sum_{i, j \in (S_{k0} \cup S_{k'0})} \left( \left( \frac{\partial U_k}{\partial u_{ij}} + \frac{\partial U_{k'}}{\partial u_{ij}} \right) du_{ij} + \left( \frac{\partial U_k}{\partial u'_{ij}} + \frac{\partial U_{k'}}{\partial u'_{ij}} \right) du'_{ij} \right) + \sum_{k \in N} \sum_{\{(ij)\}_{i, j \in S_{k0}}} \left( \frac{\partial U_k}{\partial u_{ij}} du_{ij} + \frac{\partial U_k}{\partial u'_{ij}} du'_{ij} \right) = 0$$

Όλα τα  $u_{ij}$  είναι ανεξάρτητα. Έτσι, για να ισχύει η σχέση (4.35) πρέπει να ισχύουν τα εξής:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_k}{\partial u_{i0}} &= \frac{\partial U_N}{\partial u_{i0}}, \quad k \in N, i \in S_k \\ \frac{\partial U_k}{\partial u_{0i}} &= \frac{\partial U_N}{\partial u_{0i}}, \quad k \in N, i \in S_k \\ \frac{\partial U_k}{\partial u_{ij}} &= -\frac{\partial U_{k'}}{\partial u_{ij}}, (ij) \in (F_k^T \cap F_{k'}^T) \setminus \{(ij)\}_{i,j \in (S_{k0} \cup S_{k'0})}, k, k' \in N \\ \frac{\partial U_{k'}}{\partial u_{ij}} &= -\frac{\partial U_k}{\partial u_{ij}}, (ij) \in (F_k^T \cap F_{k'}^T) \setminus \{(ij)\}_{i,j \in (S_{k0} \cup S_{k'0})}, k, k' \in N \\ \frac{\partial U_k}{\partial u_{ij}} &= 0, \{(ij)\}_{i,j \in S_{k0}}, k \in N \\ \frac{\partial U_{k'}}{\partial u_{ij}} &= 0, \{(ij)\}_{i,j \in S_{k'0}}, k' \in N \end{aligned} \quad (4.36)$$

Οι μαθηματικές σχέσεις (4.36), με βάση τις 2 πρώτες ισότητες δείχνει ότι το  $U_k$  έχει γραμμική σχέση με τα  $u_{i0}$  και  $u_{0i}$ , με μερικές παραγώγους ίσες με  $K$  και  $K'$ . Οι δύο τελευταίες εξισώσεις αφορούν τους περιορισμούς των ρών που ανήκουν στην ίδια χώρα, συνεπώς φαίνεται ότι ο δείκτης είναι ανεξάρτητος των εγχώριων ρών. Η τρίτη και η τέταρτη ισότητα εκφράζουν τους περιορισμούς για τις ροές της χώρας  $k$  και της περιφέρειας  $k'$  αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, οι μερικές παράγωγοι της ευθύνης της χώρας  $k$  ως προς τα  $u_{ij}$  και  $u_{ij}'$  είναι συμμετρικές με τις αντίστοιχες μερικές παραγώγους της ευθύνης της περιφέρειας  $k'$ . Επιπλέον, η πέμπτη ιδιότητα επιβάλλει οι  $U_k$  και  $U_{k'}$  να είναι μονότονα σε σχέση με το  $u_{ij}$ . Ωστόσο ο δείκτης πρέπει να έχει παράγωγο 0 εξαιτίας των ρών. Αυτό σημαίνει ότι στις ροές  $(ij)$ , αν τα  $i$  ή  $j$  δεν ανήκουν στο  $S_k$ , τότε δεν γίνεται να είναι στοιχεία των  $F_k$  και  $F_{k'}$ . Από τις μαθηματικές σχέσεις (4.32) προκύπτει η περιβαλλοντική ευθύνη για κάθε χώρα  $k$  ίση με:

$$U_k = K \cdot V_{k0} + K' \cdot V'_{0k} + K_k \quad (4.37)$$

Όπου το  $K_k$  είναι σταθερά ολοκλήρωσης για κάθε χώρα  $k$ . Δεδομένου ότι η περιβαλλοντική ευθύνη πρέπει να παραμείνει ίδια μετά από μια επαναταξινόμηση των χωρών, η σταθερά  $K_k$  είναι ίδια για κάθε χώρα  $k$ .

Εφαρμόζοντας την ιδιότητα 1 για όλες τις χώρες μαζί και την ιδιότητα 2 υπολογίζεται ότι  $K_k=0$ . Τελικά, από την ιδιότητα της συμμετρίας υπολογίζονται οι σταθερές  $K$  και  $K'$ :

$$K \cdot V_{k0} + K' \cdot V'_{0k} = K' \cdot V_{k0} + K \cdot V'_{0k} \rightarrow (K - K') \cdot V_{k0} = (K - K') \cdot V'_{0k} \quad (4.38)$$

Η (4.38) ορίζεται μόνο αν  $K-K'=0$ . Επίσης, ισχύει ότι  $K+K'=1$ . Άρα  $K = K' = \frac{1}{2}$ .

$$\text{Δηλαδή: } U_k = \frac{V_{k0} + V'_{0k}}{2} \quad (4.39)$$

Η (4.39) είναι ο ζητούμενος δείκτης και ορίζει ότι η περιβαλλοντική ευθύνη της χώρας  $k$  είναι ο αριθμητικός μέσος όρος της περιβαλλοντικής πίεσης ανάντη της τελικής ζήτησης και της περιβαλλοντικής πίεσης κατόντη των πρωτογενών εισροών της χώρας  $k$ .

**4.4.6. Παράδειγμα του δείκτη κατανομής του Rodrigues**

Συνεχίζοντας το αρχικό παράδειγμα των δύο χωρών που είχε θέσει ο Rodrigues, θέτοντας τιμές στις οικονομικές ροές μεταξύ των δύο χωρών, των αρχικών εισροών από τα νοικοκυριά και των τελικών καταναλώσεων, γνωρίζοντας επίσης τις άμεσες περιβαλλοντικές πιέσεις των δύο χωρών, μέσω του δείκτη του Rodrigues υπολογίζεται η κατανομή των ευθυνών μεταξύ των χωρών.

**Πίνακας 4.4:** Δεδομένα παραδείγματος με τη χρήση του δείκτη του Rodrigues

Οικονομικές ροές			
	Χώρα 1	Χώρα 2	Τελική ζήτηση 0
Αρχικές εισροές 0	50	20	0
Χώρα 1	10	70	20
Χώρα 2	40	10	50

Άμεσες περιβαλλοντικές πιέσεις			
Χώρα 1	70	Χώρα 2	30

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.8) του μοντέλου εισροών – εκροών των Miller και Blair (1985) υπολογίζονται οι περιβαλλοντικές εντάσεις ανάντη και κατόντη αντίστοιχα, δηλαδή:

$$m = (I - A)^{-1} \cdot b \text{ και } m' = b^T \cdot (I - A')^{-1}$$

**Πίνακας 4.5:** Ανάντη και κατόντη περιβαλλοντικές εντάσεις

Ανάντη περιβαλλοντικές εντάσεις			
m1	1,42	m2	1,43
Κατόντη περιβαλλοντικές εντάσεις			
m1'	1,58	m2'	1,04

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι αντίστοιχες περιβαλλοντικές πιέσεις από τις σχέσεις (4.27) και (4.28):

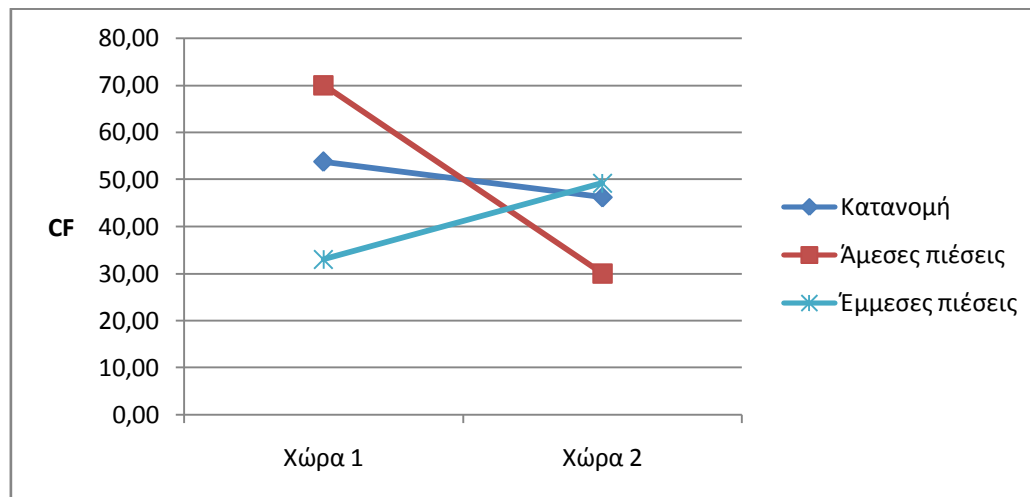
**Πίνακας 4.6:** Ανάντη και κατόντη περιβαλλοντικές πιέσεις

Ανάντη περιβαλλοντικές πιέσεις			
V10	28,30	V20	71,70
Κατόντη περιβαλλοντικές πιέσεις			
V01'	79,25	V02'	20,75

Τέλος, η κατανομή των πιέσεων γίνεται χρησιμοποιώντας τις ανάντη και κατόντη περιβαλλοντικές πιέσεις με βάση των τελικό δείκτη του Rodrigues, όπως φαίνεται στην σχέση (4.39):

**Πίνακας 4.7:** Κατανομή πιέσεων με χρήση του δείκτη περιβαλλοντικής ευθύνης του Rodrigues

Κατανομή των περιβαλλοντικών πιέσεων			
U1	53,77	U2	46,23



**Διάγραμμα 4.3:** Κατανομή περιβαλλοντικών πιέσεων με χρήση του δείκτη ευθύνης του Rodrigues

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.3, η κατανομή των περιβαλλοντικών πιέσεων με χρήση του δείκτη περιβαλλοντικής ευθύνης του Rodrigues, βρίσκεται σχεδόν στη μέση των άμεσων και των έμμεσων πιέσεων των δύο χωρών. Όπως φαίνεται, η χώρα 1 αναλαμβάνει περισσότερες περιβαλλοντικές πιέσεις εξαιτίας των αυξημένων άμεσων πιέσεων, δηλαδή υπερ – επιβαρύνεται διότι διαλέγει να παράγει και να εξάγει ένα προϊόν με μεγαλύτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η χώρα 2 φαίνεται να εποφελείται, καθώς οι περιβαλλοντικές πιέσεις που αναλαμβάνει φαίνονται να είναι ελάχιστα λιγότερες από τις έμμεσες περιβαλλοντικές πιέσεις των αγαθών που καταναλώνει.

## **5. Τρείς καινούριες προσεγγίσεις της κατανομής της ευθύνης του αποτυπώματος του άνθρακα**

### **5.1. Γενικά**

Με βάση την ανάλυση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, το ανθρακικό αποτύπωμα πρέπει να καταναμεηθεί σε όλα τα στάδια. Στις προσεγγίσεις που θα αναλυθούν παρακάτω λαμβάνονται υπόψη μόνο τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας του κύκλου ζωής ενός προϊόντος και είναι τα εξής:

1. Πρώτες ύλες
2. Παραγωγή
3. Μεταφορά – Διανομή
4. Πώληση
5. Χρήση

Σε κάθε ένα από τα παραπάνω στάδια, το αποτύπωμα του άνθρακα χωρίζεται σε:

- ✓  $CF_i$  Imported, το οποίο εκφράζει το αποτύπωμα του άνθρακα που μεταφέρεται στη διαδικασία  $i$ , από τη στιγμή που ένα προϊόν εισέρχεται από τη διαδικασία  $i-1$  στην  $i$
- ✓  $CF_i$  Produced, το οποίο αντιπροσωπεύει το αποτύπωμα του άνθρακα που παράγεται στο στάδιο  $i$  προκειμένου να γίνει επεξεργασία ενός προϊόντος
- ✓  $CF_i$  Exported, το οποίο εκφράζει το αποτύπωμα του άνθρακα το οποίο εκρέει η διαδικασία  $i$  στην  $i+1$ . Ισχύει ότι  $CF_i$  Exported =  $CF_{i+1}$  Imported

Με βάση την κατανομή της ευθύνης του ανθρακικού αποτυπώματος, χωρίζεται σε δύο επιμέρους αποτυπώματα, το  $CF_i^P$  (Paid), το οποίο εκφράζει το αποτύπωμα που 'πληρώνεται και αναλογεί' σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής και το  $CF_i^S$  (Sold) το οποίο αντιπροσωπεύει το αποτύπωμα που 'πωλείται', δηλαδή μεταφέρεται σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής. Πρέπει να ισχύει ότι  $\sum_i CF_i^P = CF_{TOTAL}$ .

Οι τρεις προσεγγίσεις που θα αναλυθούν για την κατανομή της ευθύνης ανάληψης του κόστους του αποτυπώματος του άνθρακα είναι οι παρακάτω:

- ✓ Η **εμπροσθοβαρής κατανομή** ή χρηστοκεντρική κατανομή ή κατανομή λόγω ζήτησης
- ✓ Η **κεντροβαρής κατανομή** ή κατανομή με βάση την παραγωγή CF
- ✓ Η **οπισθοβαρής κατανομή** ή κερδοβαρής κατανομή ή κατανομή με βάση το κέρδος

Όσον αφορά του συμβολισμούς που θα ακολουθήσουν, με  $i$  συμβολίζεται το κάθε στάδιο του κύκλου ζωής, όπως ορίστηκαν παραπάνω, με  $i=1,2,3,4$ . Ως  $P_i$  ορίζεται η τιμή πώλησης που διαμορφώνεται σε κάθε στάδιο. Με  $C_{i,j}$  συμβολίζεται το κόστος, με  $j=1,2$  το κόστος αγοράς και επεξεργασίας αντίστοιχα για κάθε διαδικασία. Με  $NB_i$  συμβολίζεται το καθαρό κέρδος της κάθε διαδικασίας και  $NB_i = a_i \cdot \sum_j C_{i,j}$ , όπου  $a_i$  το ποσοστό κέρδους κάθε σταδίου. Ως  $CF_{i,j}$  ορίζεται το αποτύπωμα του άνθρακα σε κάθε διαδικασία, με  $j=1,2,3,4$  τα επιμέρους CF του κάθε σταδίου.

**Πίνακας 5.1:** Στάδια κύκλου ζωής του προϊόντος και δεδομένα για την εφαρμογή των νέων μεθόδων κατανομής

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ			ΠΑΡΑΓΩΓΗ			ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ			ΠΩΛΗΣΗ			ΧΡΗΣΗ				
ΠΩΛΗΣΗ	ΚΟΣΤΟΣ	CF	ΠΩΛΗΣΗ	ΚΟΣΤΟΣ	CF	ΠΩΛΗΣΗ	ΚΟΣΤΟΣ	CF	ΠΩΛΗΣΗ	ΚΟΣΤΟΣ	CF					
P1	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ C1.1	CF1.1	P2	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C2.1=P1	CF2.1	P3	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C3.1=P2	CF3.1	P4	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C4.1=P3	CF4.1	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ P4				
	ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ C1.2	CF1.2											ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ C2.2	CF2.2	ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ C3.2	CF3.2
	ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB1			ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB2									ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB3		ΚΟΣΤΟΣ ΠΩΛΗΣΗΣ C4.2	CF4.3
						ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB4	CF4.4									



## 5.2. Γενικές εξισώσεις για κάθε στάδιο

Έτσι, για το στάδιο των πρώτων υλών, σύμφωνα με το διάγραμμα 5.1, για το κόστος ισχύει:

$$C1 = C1.1 + C1.2. \quad (5.1)$$

Το καθαρό κέρδος, είναι ποσοστό του κόστους, δηλαδή:

$$NB1 = a1 \cdot C1 \quad (5.2)$$

Οπότε η τιμή διαμορφώνεται ως εξής:

$$P1 = C1.1 + C1.2 + NB1 = C1 + a1 C1 = (1 + a1) \cdot C1 \quad (5.3)$$

Αναλόγως προκύπτουν οι εξισώσεις για τα στάδια 2, 3 και 4. Για το στάδιο της παραγωγής ισχύουν:

$$C2 = C2.1 + C2.2 = P1 + C2.2 \quad (5.4)$$

$$NB2 = a2 \cdot C2 = a2 \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a2 \cdot C2.2 \quad (5.5)$$

$$P2 = P1 + C2.2 + NB2 = (1 + a1) \cdot C1 + C2.2 + a2 \cdot [(1 + a1) \cdot C1 + C2.2] \Leftrightarrow$$

$$P2 = (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + (1 + a2) \cdot C2.2 \quad (5.6)$$

Για το τρίτο στάδιο της μεταφοράς – διανομής ισχύουν:

$$C3 = C3.1 + C3.2 = P2 + C3.2 \quad (5.7)$$

$$NB3 = a3 \cdot C3 = a3 \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a3 \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + a3 \cdot C3.2 \quad (5.8)$$

$$P3 = P2 + C3.2 + NB3 = (a3 + 1)[(1 + a2)[(1 + a1)C1 + C2.2] + C3.2] \quad (5.9)$$

Όσον αφορά το στάδιο της πώλησης ισχύουν:

$$C4 = C4.1 + C4.2 = P3 + C4.2 \quad (5.10)$$

$$NB4 = a4 \cdot C4 = a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot C3.2 + a4 \cdot C4.2 \quad (5.11)$$

$$P4 = P3 + C4.2 + NB4 = (a4 + 1)[(1 + a3)(1 + a2)(1 + a1)C1 + (1 + a3)(1 + a2)C2.2 + 1 + a3C3.2 + C4.2] \quad (5.12)$$

## 5.3. Εμπροσθοβαρής κατανομή

Η εμπροσθοβαρής κατανομή ή κατανομή λόγω ζήτησης θεωρεί πως το αποτύπωμα του άνθρακα σε κάθε διαδικασία παράγεται εξαιτίας της ζήτησης του τελικού προϊόντος. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν επιβαρύνει τη παραγωγή CF, αλλά υπέρ – επιβαρύνει τον τελικό χρήστη. Οι βασικές αρχές είναι οι εξής:

1. Η κατανομή του CF γίνεται με βάση του ποσοστού του κέρδους σε κάθε στάδιο
2. Κάθε στάδιο επιβαρύνεται μόνο με το μέρος του CF που παράγεται σε αυτό
3. Ο συντελεστής επιβάρυνσης ισούται με το καθαρό κέρδος κάθε σταδίου προς τη διαφορά της τιμής που προκαλείται από την παραγωγική – μεταποιητική διαδικασία και το κέρδος σε κάθε στάδιο
4. Το CF που δεν επιβαρύνει κάθε στάδιο μεταφέρεται αναλλοίωτο μέχρι τον τελικό χρήστη
5. Ο τελικός χρήστης ευθύνεται για το ‘αναγκαίο κακό’ της παραγωγής CF
6. Δεν τιμωρείται η ‘αδυναμία’ των επιμέρους σταδίων μείωσης της παραγωγής CF
7. Εναλλακτικά κάθε στάδιο μπορεί να επιβαρύνεται και με τη διαφορά του πραγματικά παραγόμενου CF σε αυτό και του ελάχιστου τεχνικά εφικτού (αναπόφευκτου) CF βάσει προδιαγραφών

Το συνολικό CF που υπάρχει στο πρώτο στάδιο των πρώτων υλών είναι:

$$CF1 = CF1.1 + CF1.2.$$

Να σημειωθεί ότι επειδή το στάδιο των πρώτων υλών είναι το αρχικό, θεωρούμε όλο το  $CF1$  ως  $CF_1$  *Produced* και αντίστοιχα θεωρούμε ως κόστος επεξεργασίας και το αρχικό κόστος. Από το  $CF1$ , στο στάδιο 1 αναλαμβάνεται το  $CF1^P$  το οποίο είναι το ποσοστό του καθαρού κέρδους προς την τιμή πώλησης του συνολικού  $CF1$  και υπολογίζεται όπως παρακάτω:

$$CF1^P = CF1 \cdot \frac{NB1}{P1} \quad (5.13)$$

Το υπόλοιπο,  $CF1^S$  εκφράζεται από το ποσοστό του κόστους επεξεργασίας προς τη τιμή πώλησης του συνολικού  $CF1$  και υπολογίζεται ως εξής:

$$CF1^S = CF1 \cdot \frac{C1}{P1} = CF1 \cdot \left(1 - \frac{NB1}{P1}\right) \quad (5.14)$$

Αναλόγως προκύπτει η κατανομή του CF και στα υπόλοιπα στάδια 2, 3 και 4, δηλαδή στα στάδια της παραγωγής, της μεταφορά – διανομής και της πώλησης, θεωρώντας ως  $CF_i$  *Produced* το  $CF_i.i$  σε κάθε περίπτωση. Δηλαδή, για το στάδιο της παραγωγής ισχύουν:

$$CF2.1 = CF1^S$$

$$CF2 = CF2.1 + CF2.2 = CF1^S + CF2.2$$

$$CF2^P = CF2.2 \cdot \frac{NB2}{P2-P1} = CF2.2 \cdot \frac{NB2}{P2-P1} \quad (5.15)$$

$$CF2^S = CF2.2 \cdot \frac{C2.2}{P2-P1} = CF2.2 \cdot \left(1 - \frac{NB2}{P2-P1}\right) \quad (5.16)$$

Για το τρίτο στάδιο της μεταφοράς – διανομής ισχύουν:

$$CF3.1 = CF1^S$$

$$CF3.2 = CF2^S$$

$$CF3 = CF1^S + CF2^S + CF3.3 \quad (5.17)$$

$$CF3^P = CF3.3 \cdot \frac{NB3}{P3-P2} \quad (5.18)$$

$$CF3^S = CF3.3 \cdot \frac{C3.2}{P3-P2} \quad (5.19)$$

Οι ανάλογες εξισώσεις για το στάδιο της πώλησης ακολουθούν παρακάτω:

$$CF4.1 = CF1^S$$

$$CF4.2 = CF2^S$$

$$CF4.3 = CF3^S$$

$$CF4 = CF1^S + CF2^S + CF3^S + CF4.4 \quad (5.20)$$

$$CF4^P = CF4.4 \cdot \frac{NB4}{P4-P3} \quad (5.21)$$

$$CF4^S = CF4.4 \cdot \frac{C4.2}{P4-P3} \quad (5.22)$$

Όσον αφορά το  $CF_{\chi\rho\eta\sigma\eta\varsigma}$ , αποτελείται από το άθροισμα των  $CFi^S$ , καθώς αυτά δεν αναλαμβάνονται από κανένα άλλο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας και καταλήγουν στον τελικό καταναλωτή, γι' αυτό το λόγο και η κατανομή αυτή ονομάζεται κατανομή λόγω της ζήτησης, δηλαδή:

$$CF_{\chi\rho\eta\sigma\eta\varsigma} = CF1^S + CF2^S + CF3^S + CF4^S \quad (5.23)$$

Οι γενικές εξισώσεις για την εμπροσθοβαρή κατανομή είναι:

$$CF_i^P = \begin{cases} CFi \cdot \frac{\alpha i \cdot Ci + \alpha i \cdot \sum_{j=1}^{i-1} [\prod_{z=j}^{i-1} (1+\alpha z) \cdot Cj]}{(1+\alpha i) \cdot Ci + \alpha i \cdot \sum_{j=1}^{i-1} [\prod_{z=j}^{i-1} (1+\alpha z) \cdot Cj]}, \text{ για } i = 1 \\ CFi, i \cdot \frac{\alpha i \cdot Ci,2 + \alpha i \cdot \sum_{j=1}^{i-1} [\prod_{z=j}^{i-1} (1+\alpha z) \cdot Cj,2]}{(1+\alpha i) \cdot Ci,2 + \alpha i \cdot \sum_{j=1}^{i-1} [\prod_{z=j}^{i-1} (1+\alpha z) \cdot Cj,2]}, \text{ για } i = 2 \div 5 \end{cases} \quad (5.24)$$

$$CF_i^S = \begin{cases} CFi \cdot \frac{Ci}{(1+\alpha i) \cdot Ci + \alpha i \cdot \sum_{j=1}^{i-1} [\prod_{z=j}^{i-1} (1+\alpha z) \cdot Cj]}, \text{ για } i = 1 \\ CFi, i \cdot \frac{Ci,2}{(1+\alpha i) \cdot Ci,2 + \alpha i \cdot \sum_{j=1}^{i-1} [\prod_{z=j}^{i-1} (1+\alpha z) \cdot Cj,2]}, \text{ για } i = 2 \div 5 \end{cases} \quad (5.25)$$

$$CF_{\chi\rho\eta\sigma\eta\varsigma} = \sum_{i=1}^4 CFi^S = CF1 \cdot \frac{1}{1+\alpha 1} + \sum_{i=2}^4 CFi, i \cdot \frac{Ci,2}{(1+\alpha i) \cdot Ci,2 + \alpha i \cdot \sum_{j=1}^{i-1} [\prod_{z=j}^{i-1} (1+\alpha z) \cdot Cj,2]} \quad (5.26)$$

#### **5.4. Κεντροβαρής κατανομή**

Η κεντροβαρής κατανομή ή κατανομή με βάση τη παραγωγή CF θεωρεί ότι το CF παράγεται λόγω ζήτησης του προϊόντος και λόγω των παραγωγικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται. Σημαντικό μειονέκτημα της κατανομής αυτής είναι ότι δεν επιβαρύνει την παραγωγή CF λόγω ζήτησης – υπερκατανάλωσης. Οι βασικές αρχές της κατανομής αυτής είναι:

1. Η κατανομή του CF γίνεται με βάση του ποσοστού του κέρδους σε κάθε στάδιο
2. Κάθε στάδιο επιβαρύνεται με όλο το CF που μεταφέρεται και παράγεται σε αυτό
3. Το CF που δεν επιβαρύνει κάθε στάδιο μεταφέρεται στο επόμενο
4. Ο τελικό χρήστης και οι παραγωγικές διαδικασίες συνευθύνονται για το ‘αναγκαίο κακό’ της παραγωγικής διαδικασίας
5. Τιμωρείται η αδυναμία των επιμέρους σταδίων για μείωση της παραγωγής CF
6. Δεν ‘τιμωρείται’ η υπέρ – κατανάλωση
7. Εναλλακτικά κάθε στάδιο μπορεί να επιβαρύνεται και με τη διαφορά μεταξύ του πραγματικά παραγόμενου CF σε αυτό και του ελάχιστου τεχνικά εφικτού (αναπόφευκτο) CF βάση προτύπων

Από το συνολικό CF που υπάρχει σε κάθε στάδιο συμπεριλαμβανομένου και του  $CF_i Imported$  και του  $CF_i Produced$ , από κάθε στάδιο αναλαμβάνεται ποσοστό ίσο με το καθαρό κέρδος του προς τη διαφορά της τιμής του κάθε σταδίου με τη τιμή του προηγούμενου. Το ποσοστό του CF που μεταφέρεται είναι το συμπληρωματικό του ποσοστού που αναλαμβάνεται, δηλαδή είναι ίσο με το συνολικό κόστος του σταδίου προς την τιμή πώλησής του στο επόμενο στάδιο. Το συνολικό CF που υπάρχει στο πρώτο στάδιο των πρώτων υλών είναι:

$$CF1 = CF1.1 + CF1.2.$$

Οπότε στο στάδιο αυτό, των πρώτων υλών αναλαμβάνει το παρακάτω  $CF1^P$ :

$$CF1^P = CF1 \cdot \frac{NB1}{P1} \quad (5.27)$$

Το  $CF_1 Exported$  που μεταφέρεται στο επόμενο στάδιο είναι το παρακάτω:

$$CF1^S = CF1 \cdot \frac{C1}{P1} = CF1 \cdot \left(1 - \frac{NB1}{P1}\right) \quad (5.28)$$

Για το επόμενο στάδιο, της παραγωγής ισχύει ότι:

$$CF2.1 = CF1^S$$

$$CF2 = CF2.1 + CF2.2 = CF1^S + CF2.2 \quad (5.29)$$

Έτσι το CF που αναλαμβάνεται από αυτό το στάδιο και εκείνο που μεταφέρεται στο επόμενο είναι αντιστοίχως:

$$CF2^P = CF1^S \cdot \frac{NB2}{P2} + CF2.2 \cdot \frac{NB2}{P2-P1} = CF1 \cdot \left(1 - \frac{NB1}{P1}\right) \cdot \frac{NB2}{P2} + CF2.2 \cdot \frac{NB2}{P2-P1} \quad (5.30)$$

$$CF2^S = CF1^S \cdot \frac{P2-NB2}{P2} + CF2.2 \cdot \frac{C2.2}{P2-P1} = CF1 \cdot \left(1 - \frac{NB1}{P1}\right) \cdot \left(1 - \frac{NB2}{P2}\right) + CF2.2 \cdot \left(1 - \frac{NB2}{P2-P1}\right) \quad (5.31)$$

Για το τρίτο στάδιο, της μεταφοράς – διανομής αντίστοιχα με τα δύο παραπάνω στάδια ισχύουν:

$$CF3.1 + CF3.2 = CF2^S$$

$$CF3 = CF2^S + CF3.3 \quad (5.32)$$

$$CF3^P = CF2^S \cdot \frac{NB3}{P3} + CF3.3 \cdot \frac{NB3}{P3-P2} \quad (5.33)$$

$$CF3^S = CF2^S \cdot \frac{P3-NB3}{P3} + CF3.3 \cdot \frac{C3.2}{P3-P2} \quad (5.34)$$

Για το τέταρτο στάδιο της πώλησης και για το CF που αναλαμβάνεται από αυτό ισχύει:

$$CF4.1 + CF4.2 + CF4.3 = CF3^S$$

$$CF4 = CF3^S + CF4.4 \quad (5.35)$$

$$CF4^P = CF3^S \cdot \frac{NB4}{P4} + CF4.4 \cdot \frac{NB4}{P4-P3} \quad (5.36)$$

Όσον αφορά το  $CF_4$  Exported, το οποίο μεταφέρεται στο πέμπτο στάδιο της χρήσης και αποτελεί το CF που αναλαμβάνεται από τους χρήστες ισχύει:

$$CF4^S = CF3^S \cdot \frac{P4-NB4}{P4} + CF4.4 \cdot \frac{C4.2}{P4-P3} = CF_{\chi\rho\eta\sigma\eta\varsigma} \quad (5.37)$$

Συνεπώς, οι γενικές εξισώσεις για αυτού του είδους την κατανομή είναι:

$$CF_i^P = CF_i \cdot \frac{1}{1 + ai} \quad \text{για } i = 1$$

$$CF_i^P = CF1 \cdot \frac{1}{1+ai} \cdot \prod_{j=2}^i \left(\frac{aj}{aj+1}\right) + \sum_{j=2}^{i-1} CFj,j \cdot \frac{Cj,2}{(1+\alpha j) \cdot Cj,2+aj \cdot \sum_{z=1}^{j-1} [\prod_{k=z}^{j-1} (1+\alpha k) \cdot Cz,2]} \cdot \prod_{n=j+1}^i \left(\frac{an}{an+1}\right) + CFi,i \cdot \frac{ai \cdot Ci,2+ai \cdot \sum_{z=1}^{i-1} [\prod_{k=z}^{i-1} (1+\alpha k) \cdot Cz,2]}{(1+\alpha i) \cdot Ci,2+ai \cdot \sum_{z=1}^{i-1} [\prod_{k=z}^{i-1} (1+\alpha k) \cdot Cz,2]} \quad \text{για } i = 2 \div 4 \quad (5.38)$$

$$CF_i^S = CF1 \cdot \prod_{j=1}^i \left(\frac{1}{an+1}\right) + \sum_{j=2}^i CFj,j \cdot \frac{Cj,2}{(1+\alpha j) \cdot Cj,2+aj \cdot \sum_{z=1}^{j-1} [\prod_{k=z}^{j-1} (1+\alpha k) \cdot Cz,2]} \cdot \prod_{n=j+1}^i \left(\frac{1}{an+1}\right) \quad (5.39)$$

$$CF_{\chi\rho\eta\sigma\eta\varsigma} = CF_4^S \quad (5.40)$$

## 5.5. Οπισθοβαρής κατανομή

Η οπισθοβαρής ή κερδοβαρής κατανομή ή κατανομή με βάση το κέρδος θεωρεί ότι το CF παράγεται εξαιτίας της ζήτησης του προϊόντος και κατανέμεται με βάση το κέρδος. Το βασικό μειονέκτημα αυτού του είδους κατανομής είναι ότι δεν επιβαρύνει για την παραγωγή CF λόγω ζήτησης –

υπερκατανάλωσης. Επίσης, σε αυτού του είδους την κατανομή CF, θα πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί όλα τα στάδια της παραγωγής και το τελικό προϊόν να έχει καταλήξει στους τελικούς καταναλωτές. Οι βασικές αρχές της κατανομής αυτής είναι:

1. Η κατανομή του CF γίνεται με βάση το ποσοστό του κέρδους σε κάθε στάδιο προς το συνολικό κέρδος όλων των σταδίων
2. Κάθε στάδιο επιβαρύνεται με όλο το CF που μεταφέρεται και παράγεται σε αυτό
3. Ο συντελεστής επιβάρυνσης ισούται με το κέρδος κάθε σταδίου προς το συνολικό κέρδος όλων των σταδίων
4. Το CF που δεν επιβαρύνει κάθε στάδιο μεταφέρεται στο επόμενο
5. Ο τελικός χρήστης και οι παραγωγικές διαδικασίες συνευθύνονται για το 'αναγκαίο κακό' της παραγωγής CF
6. Τιμωρείται η αισχροκέρδεια των επιμέρους σταδίων
7. Εναλλακτικά κάθε στάδιο μπορεί να επιβαρύνεται και με τη διαφορά μεταξύ του πραγματικά παραγόμενου CF σε αυτό και του ελάχιστου τεχνικά εφικτού (αναπόφευκτο) CF βάσει προτύπων

Στην κατανομή αυτή, σημαντικό ρόλο παίζουν το συνολικό καθαρό κέρδος όλων των διαδικασιών, όπως και του κάθε σταδίου μεμονωμένα, στα οποία βασίζονται τα ποσοστά κατανομής. Στο αρχικό στάδιο των πρώτων υλών, το συνολικό CF είναι:

$$CF1 = CF1.1 + CF1.2.$$

Συνεπώς, με βάση λοιπόν, τα καθαρά κέρδη σε κάθε στάδιο ισχύουν:

$$CF1^P = CF1 \cdot \frac{NB1}{NB1+NB2+NB3+NB4} \quad (5.41)$$

$$CF1^S = CF1 \cdot \frac{NB2+NB3+NB4}{NB1+NB2+NB3+NB4} \quad (5.42)$$

Για το δεύτερο στάδιο, της παραγωγής ισχύουν:

$$CF2^P = CF2 \cdot \frac{NB2}{NB1+NB2+NB3+NB4} \quad (5.43)$$

$$CF2^S = CF2 \cdot \frac{NB1+NB3+NB4}{NB1+NB2+NB3+NB4} \quad (5.44)$$

Για τη μεταφορά – διανομή αντίστοιχα ισχύουν:

$$CF3^P = CF3 \cdot \frac{NB3}{NB1+NB2+NB3+NB4} \quad (5.45)$$

$$CF3^S = CF3 \cdot \frac{NB1+NB2+NB4}{NB1+NB2+NB3+NB4} \quad (5.46)$$

Στο στάδιο της πώλησης, για το CF που αναλαμβάνεται και εκείνο που μεταφέρεται στους τελικούς χρήστες ισχύει:

$$CF4^P = CF4 \cdot \frac{NB4}{NB1+NB2+NB3+NB4} \quad (5.47)$$

$$CF4^S = CF4 \cdot \frac{NB1+NB2+NB3}{NB1+NB2+NB3+NB4} = CF_{\chi\rho\eta\sigma\eta\varsigma} \quad (5.48)$$

Οι γενικές εξισώσεις για την κερδοβαρή κατανομή είναι οι εξής:

$$CF_i^P = \sum_{j=1}^i CF_{j,j} \cdot \frac{\left[ \prod_{z=j}^{i-1} \left[ \sum_{k=1}^4 [\alpha k \cdot Ck,2 + \alpha k \cdot \sum_{n=1}^{k-1} [\prod_{m=n}^{k-1} (1+am) \cdot Cn,2]] - [\alpha z \cdot Cz,2 + \alpha z \cdot \sum_{k=1}^{z-1} [\prod_{n=k}^{z-1} (1+an) \cdot Ck,2]] \right] \right]}{\left[ \sum_{z=1}^4 \left[ \sum_{k=z}^4 [ak \cdot \prod_{n=z}^{k-1} (1+an)] \right] \cdot Cz,2 \right]^{i+1-j}} \cdot \alpha i \cdot Ci,2 + \alpha i \cdot k = 1i - 1n = ki - 11 + an \cdot Ck,2 \quad (5.49)$$

$$CF_i^S = \sum_{j=1}^i CF_{j,j} \cdot \frac{\prod_{z=j}^i \left[ \sum_{k=1}^4 [\alpha k \cdot Ck,2 + \alpha k \cdot \sum_{n=1}^{k-1} [\prod_{m=n}^{k-1} (1+am) \cdot Cn,2]] - [\alpha z \cdot Cz,2 + \alpha z \cdot \sum_{k=1}^{z-1} [\prod_{n=k}^{z-1} (1+an) \cdot Ck,2]] \right]}{\left[ \sum_{z=1}^4 \left[ \sum_{k=z}^4 [ak \cdot \prod_{n=z}^{k-1} (1+an)] \right] \right]^{i+1-j}} \quad (5.50)$$

$$CF_{\chi\rho\eta\sigma\eta\varsigma} = CF_4^S \quad (5.51)$$



## 5.6. Παραδείγματα

### 5.6.1. Δεδομένα

Θεωρώντας τυχαία δεδομένα, θα γίνει η εφαρμογή της εμπροσθοβαρούς κατανομής. Αρχικά, ορίζονται τα χρηματοοικονομικά δεδομένα, τα κόστη  $C_{i,j}$  και τα ποσοστά κέρδους  $a_i$ , όπως φαίνεται στην εικόνα. Επιλέγουμε το ποσοστό κέρδους να είναι αυξανόμενο κατά 10% για κάθε στάδιο.

**Πίνακας 5.2:** Χρηματοοικονομικά δεδομένα για την εφαρμογή των νέων κατανομών

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ		ΠΑΡΑΓΩΓΗ		ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ		ΠΩΛΗΣΗ	
ΚΟΣΤΟΣ		ΚΟΣΤΟΣ		ΚΟΣΤΟΣ		ΚΟΣΤΟΣ	
ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ C1.1	5						
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ C1.2	5	ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ C2.2	3	ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ C3.2	6	ΚΟΣΤΟΣ ΠΩΛΗΣΗΣ C4.2	8
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	20%	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	30%	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	40%	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	50%

Στη συνέχεια υπολογίζονται τα καθαρά κέρδη  $NB_i$  μέσα από τις εξισώσεις (5.2), (5.4), (5.8) και (5.11) και οι τιμές  $P_i$  για κάθε στάδιο από τις εξισώσεις (5.3), (5.6), (5.9) και (5.12) καθώς και τα κόστη αγοράς από το ένα στάδιο στο άλλο, όπως απεικονίζεται στον πίνακα 5.3. Επιπλέον υπολογίζεται η κερδοφορία, δηλαδή το ποσοστό του κέρδους ως προς τη τιμή, καθώς επίσης διαμορφώνεται και η τελική τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος.

**Πίνακας 5.3:** Υπολογισμός των απαραίτητων οικονομικών δεδομένων για την εφαρμογή των νέων κατανομών

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ				ΠΑΡΑΓΩΓΗ				ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ				ΠΩΛΗΣΗ				ΧΡΗΣΗ							
ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ									
P1	12	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ C1.1	5	P2	19,5	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C2.1=P1	12	P3	35,7	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C3.1=P2	19,5	P4	65,55	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C4.1=P3	35,7	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ P4	65,55						
		ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ C1.2	5															ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ C2.2	3	ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ C3.2	6	ΚΟΣΤΟΣ ΠΩΛΗΣΗΣ C4.2	8
		ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB1	2															ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB2	4,5	ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB3	10,2	ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB4	21,85
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	20%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	30%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	40%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	50%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ									
ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	16,67%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	23,08%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	28,57%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	33,33%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ									

Στη συνέχεια ορίζουμε τα CF για κάθε στάδιο, όπως φαίνεται στην εικόνα. Κάθε στάδιο αντιπροσωπεύεται από ένα χρώμα, και με το αντίστοιχο χρώμα αντιπροσωπεύεται το CF που παράγεται στο στάδιο αυτό.

**Πίνακας 5.4:** Συνολικά δεδομένα, χρηματοοικονομικά και ανθρακικού αποτυπώματος για την εφαρμογή των νέων κατανομών

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ					ΠΑΡΑΓΩΓΗ					ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ			ΠΩΛΗΣΗ			ΧΡΗΣΗ															
ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF	ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF	ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF	ΧΡΗΣΗ																
P1	12	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ C1.1	5	CF1.1	17	P2	19,5	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C2.1=P1	12	P3	35,7	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C3.1=P2	19,5	P4	65,55	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C4.1=P3	35,7	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ P4	65,55												
		ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ C1.2	5	CF1.2	7															ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ C2.2	3	CF2.2	11	ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ C3.2	6	CF3.3	13	ΚΟΣΤΟΣ ΠΩΛΗΣΗΣ C4.2	8	CF4.4	3
		ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB1	2																	ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB2	4,5			ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB3	10,2			ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB4	21,85		
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	20%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	30%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	40%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	50%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	20%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ													
ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	16,67%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	23,08%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	28,57%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	33,33%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	16,67%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ													

**5.6.2. Παράδειγμα Εμπροσθοβαρούς κατανομής**

Με βάση τους τύπους (5.13), (5.15), (5.18) και (5.21) υπολογίζονται τα  $CF_i^P$  και αντίστοιχα τα  $CF_i^S$  από τις εξισώσεις (5.14), (5.16), (5.19) και (5.22). Το  $CF_{\text{ΧΡΗΣΗΣ}}$  υπολογίζεται από την εξίσωση (5.23). Προκύπτουν συνολικά τα παρακάτω αποτελέσματα (πίνακας 5.5):

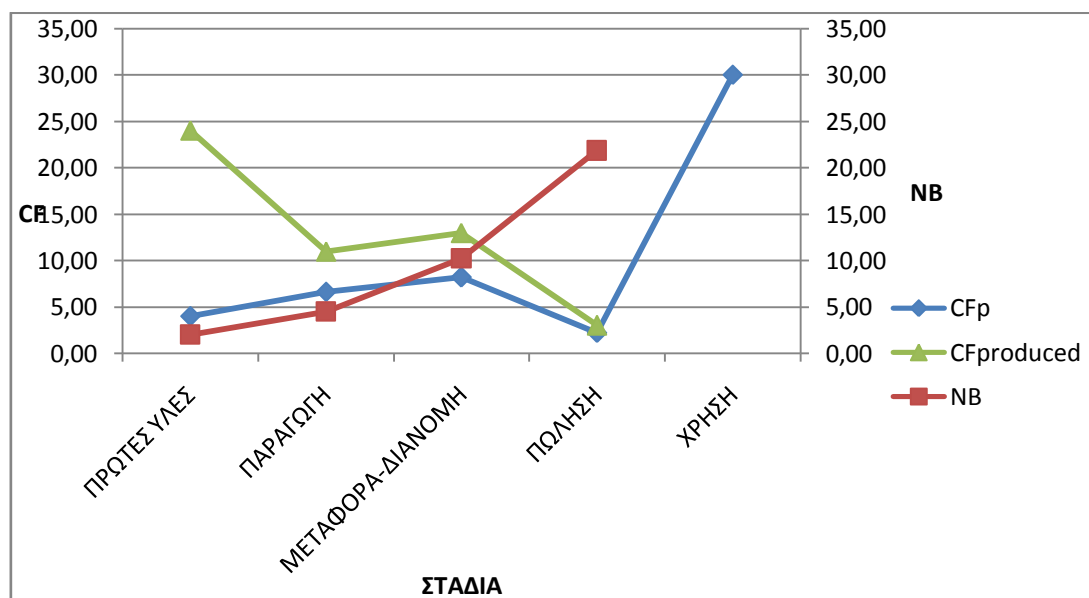
**Πίνακας 5.5:** Συνολικά δεδομένα και αποτελέσματα εφαρμογής της Εμπροσθοβαρούς κατανομής

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ				ΠΑΡΑΓΩΓΗ				ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ				ΠΩΛΗΣΗ				ΧΡΗΣΗ					
ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF		ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF		ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF		ΧΡΗΣΗ			
P1	12	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ C1.1	5	CF1.1	17	P2	19,5	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C2.1=P1	12	CF2.1	20	P3	35,7	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C3.1=P2	19,5	P4	65,55	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C4.1=P3	35,7	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ P4	65,55
		ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ C1.2	5	CF1.2	7			ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ C2.2	3	CF2.2	11			ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C4.2	8			CF4.2	4,40		
		ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB1	2					ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB2	5					ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB3	10,2						
$CF_{\text{present}}$	24	ποσοστό προς το συνολικό		$CF_{\text{present}}$	35	ποσοστό προς το συνολικό		$CF_{\text{present}}$	48	ποσοστό προς το συνολικό		$CF_{\text{present}}$	51	ποσοστό προς το συνολικό		$CF_{\text{present}}$	51	ποσοστό προς το συνολικό			
$CF_1^P$	4,00	7,84%		$CF_2^P$	6,60	12,94%		$CF_3^P$	8,19	16,05%		$CF_4^P$	2,20	4,31%		$CF_5^P$	30,02	58,86%			
$CF_1^S$	20,00	39,22%		$CF_2^S$	4,40	8,63%		$CF_3^S$	4,81	9,44%		$CF_4^S$	0,80	1,58%		$CF_{\text{tot}}$	51				
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	20%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	30%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	40%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	50%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΣCF <sup>P</sup>	20,98				
ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	16,67%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	23,08%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	28,57%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ	33,33%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΣCF <sup>S</sup>	30,02				

Η κατανομή του CF με τη χρήση της εμπροσθοβαρούς κατανομής φαίνεται στον πίνακα 5.6 , το  $CF_{present}$  δείχνει το CF που έχει παραχθεί μέχρι και το στάδιο το οποίο εξετάζεται. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα  $CF_i^S$  αναλαμβάνονται από τον τελικό χρήστη.

**Πίνακας 5.6:** Κατανομή του CF με τη χρήση της Εμπροσθοβαρούς κατανομής

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ			ΠΑΡΑΓΩΓΗ			ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ			ΠΩΛΗΣΗ			ΧΡΗΣΗ		
$CF_{present}$	24	ποσοστό προς το συνολικό	$CF_{present}$	35	ποσοστό προς το συνολικό	$CF_{present}$	48	ποσοστό προς το συνολικό	$CF_{present}$	51	ποσοστό προς το συνολικό	$CF_{present}$	51	ποσοστό προς το συνολικό
$CF_1^P$	4,00	7,84%	$CF_2^P$	6,60	12,94%	$CF_3^P$	8,19	16,05%	$CF_4^P$	2,20	4,31%	$CF_5^P$	30,01	58,86%
$CF_1^S$	20,00	39,22%	$CF_2^S$	4,40	8,63%	$CF_3^S$	4,81	9,44%	$CF_4^S$	0,80	1,58%			



**Διάγραμμα 5.1:** Κατανομή του CF με τη χρήση της Εμπροσθοβαρούς κατανομής και σύγκριση με το  $CF_{produced}$  και το καθαρό κέρδος

Από το διάγραμμα 5.1 επαληθεύεται ότι υπέρ – επιβαρύνεται ο τελικός χρήσης, καθώς το  $CF_{ΧΡΗΣΗΣ}$  είναι κατά πολύ μεγαλύτερο. Όπως φαίνεται και από τα ποσοστά του πίνακα 5.6, ο χρήστης αναλαμβάνει πάνω από το μισό του συνολικού CF που παράγεται. Η αύξηση που παρουσιάζεται από το στάδιο των πρώτων υλών στο στάδιο της παραγωγής οφείλεται στα χρηματοοικονομικά δεδομένα, καθώς έχει θεωρηθεί αυξανόμενο ποσοστό κέρδους. Έτσι, παρόλο που το παραγόμενο CF του δεύτερου σταδίου είναι μικρότερο από αυτό του πρώτου σταδίου, παρουσιάζεται αυτή η αύξηση. Στον ίδιο λόγο οφείλεται και η αύξηση του CF που αναλαμβάνει το τρίτο στάδιο. Η μείωση στο στάδιο της πώλησης οφείλεται στη πολύ μικρή παραγωγή CF στο στάδιο αυτό, παρόλο που είναι δεδομένη η αύξηση του καθαρού κέρδους. Επιπλέον, παρατηρείται μεγάλο  $CF_{produced}$  κατά το στάδιο των πρώτων υλών, ενώ το  $CF_p$  είναι πολύ μικρότερο, αυτό οφείλεται στο χαμηλό κέρδος του σταδίου αυτού.

### 5.6.3. Παράδειγμα Κεντροβαρούς κατανομής

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η κατανομή του CF σε κάθε στάδιο γίνεται με βάση το συνολικό CF που υπάρχει σε αυτό, δεδομένου ότι τα  $CF_i^S$  κάθε σταδίου, μεταφέρονται στο επόμενο στάδιο και συμπεριλαμβάνονται στο συνολικό CF του σταδίου, όπως φαίνεται στις σχέσεις (5.29), (5.32) και (5.35), δηλαδή  $CF_i = CF_{i-1}^S + CF_{i,i}$  για  $i=2 \div 4$ . Τα  $CF_i^P$  υπολογίζονται από τις εξισώσεις (5.27), (5.30),

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑ**

(5.33) και (5.36) ενώ τα  $CF_i^S$  από τις (5.28), (5.31), (5.34) και (5.37). Το  $CF_{\text{ΧΡΗΣΗΣ}}$  ισούται με το  $CF_4^S$ . Τα συνολικά αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 5.7.

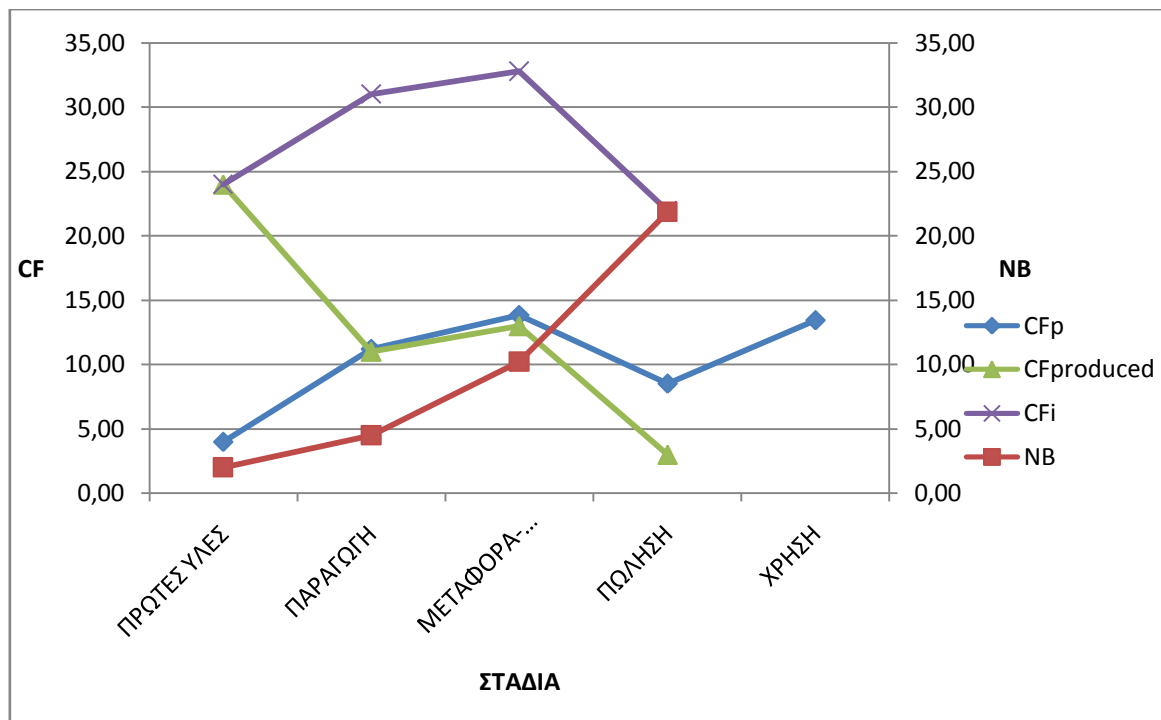
**Πίνακας 5.7:** Συνολικά δεδομένα και αποτελέσματα εφαρμογής της Κεντροβαρούς κατανομής

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ						ΠΑΡΑΓΩΓΗ						ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ						ΠΩΛΗΣΗ						ΧΡΗΣΗ						
ΠΩΛΗΣΗ			ΚΟΣΤΟΣ			CF			ΠΩΛΗΣΗ			ΚΟΣΤΟΣ			CF			ΠΩΛΗΣΗ			ΚΟΣΤΟΣ			CF						
P1	12,00	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ C1.1	5,00	CF1.1	17	P2	19,50	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C2.1=P1	12,00	CF2.1	20	P3	35,70	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C3.1=P2	19,50	CF3.1	19,78	P4	65,55	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C4.1=P3	35,70	CF4.1	18,95	P4	65,55	CF present	51,00	ποσοστό προς το συνολικό	51,00	ποσοστό προς το συνολικό
		ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ C1.2	5,00	CF1.2	7			ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ C2.2	3,00	CF2.2	11			ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ C3.2	6,00	CF3.2	13,00			ΚΟΣΤΟΣ ΠΩΛΗΣΗΣ C4.2	8,00	CF4.2	3,00				CF <sub>5</sub> <sup>P</sup>	13,44	26,34%	
		ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB1	2,00					ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB2	4,50					ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB3	10,20					ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB4	21,85						CFtot	51,00	100,00%	
CF <sub>present</sub>	24,00	ποσοστό προς το συνολικό		CF <sub>present</sub>	35,00	ποσοστό προς το συνολικό		CF <sub>present</sub>	48,00	ποσοστό προς το συνολικό		CF <sub>present</sub>	51,00	ποσοστό προς το συνολικό		CF <sub>present</sub>	51,00	ποσοστό προς το συνολικό		CF <sub>present</sub>	51,00	ποσοστό προς το συνολικό		CF <sub>present</sub>	51,00	ποσοστό προς το συνολικό				
CF <sub>1</sub> <sup>P</sup>	4,00	7,84%		CF <sub>2</sub> <sup>P</sup>	11,22	21,99%		CF <sub>3</sub> <sup>P</sup>	13,84	27,13%		CF <sub>4</sub> <sup>P</sup>	8,51	16,69%		CF <sub>5</sub> <sup>P</sup>	13,44	26,34%		CF <sub>5</sub> <sup>P</sup>	13,44	26,34%		CF <sub>5</sub> <sup>P</sup>	13,44	26,34%				
CF <sub>1</sub> <sup>S</sup>	20,00	39,22%		CF <sub>2</sub> <sup>S</sup>	19,78	38,79%		CF <sub>3</sub> <sup>S</sup>	18,95	37,15%		CF <sub>4</sub> <sup>S</sup>	13,44	26,34%		CF <sub>4</sub> <sup>S</sup>	13,44	26,34%		CF <sub>4</sub> <sup>S</sup>	13,44	26,34%		CF <sub>4</sub> <sup>S</sup>	13,44	26,34%				
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	20%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	30%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	40%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	50%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	50%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	50%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ		ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	50%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ				
ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	16,67%	ΚΕΡΑΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	23,08%	ΚΕΡΑΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	28,57%	ΚΕΡΑΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	33,33%	ΚΕΡΑΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	33,33%	ΚΕΡΑΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	33,33%	ΚΕΡΑΔΟΣ/ΤΙΜΗ		ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	33,33%	ΚΕΡΑΔΟΣ/ΤΙΜΗ				
				</																										

Εστιάζοντας στα  $CF_i^P$  και  $CF_i^S$  προκύπτει ο πίνακας 5.8:

**Πίνακας 5.8:** Κατανομή του CF με τη χρήση της Κεντροβαρούς κατανομής

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ			ΠΑΡΑΓΩΓΗ			ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ			ΠΩΛΗΣΗ			ΧΡΗΣΗ		
$CF_{present}$	24	ποσοστό προς το συνολικό	$CF_{present}$	35	ποσοστό προς το συνολικό	$CF_{present}$	48	ποσοστό προς το συνολικό	$CF_{present}$	51	ποσοστό προς το συνολικό	$CF_{present}$	51	ποσοστό προς το συνολικό
$CF_1^P$	4	7,84%	$CF_2^P$	11,22	21,99%	$CF_3^P$	13,84	27,13%	$CF_4^P$	8,51	16,69%	$CF_5^P$	13,44	26,34%
$CF_1^S$	20	39,22%	$CF_2^S$	19,78	38,79%	$CF_3^S$	18,95	37,15%	$CF_4^S$	13,44	26,34%			



**Διάγραμμα 5.2:** Κατανομή του CF με τη χρήση της Κεντροβαρούς κατανομής και σύγκριση με το  $CF_{produced}$ , το συνολικό CF κάθε σταδίου και το καθαρό κέρδος

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.2, και επιβεβαιώνοντας τα παραπάνω, στη κεντροβαρή κατανομή δεν υπέρ – επιβαρύνεται ο χρήστης, αντίθετα φαίνεται πως το CF που αναλαμβάνει το κάθε στάδιο είναι ανάλογο του συνολικού CF που υπάρχει σε αυτό το στάδιο, δηλαδή εκείνου που μεταφέρεται από προηγούμενα στάδια και εκείνου που παράγεται στο στάδιο αυτό. Η πτώση που παρατηρείται στο τέταρτο στάδιο οφείλεται στη χαμηλή παραγωγή CF. Επίσης, στο πρώτο στάδιο των πρώτων υλών αν και υπάρχει μεγάλο CF, αναλαμβάνεται πολύ μικρό, αυτό οφείλεται στο χαμηλό καθαρό κέρδος και στη χαμηλή κερδοφορία, δηλαδή του κέρδους σε σχέση με τη τιμή πώλησης.

#### 5.6.4. Παράδειγμα Οπισθοβαρούς κατανομής

Στην περίπτωση αυτή, η κατανομή γίνεται με βάση το καθαρό κέρδος σε κάθε στάδιο προς το συνολικό κέρδος όλων των σταδίων. Συνεπώς, το  $CF_i^P$  υπολογίζεται από τις εξισώσεις (5.41), (5.43), (5.45) και (5.47) για κάθε στάδιο αντίστοιχα, ενώ το  $CF_i^S$  από τις (5.42), (5.44), (5.46) και (5.48). Το  $CF_{ΧΡΗΣΗΣ}$  ισούται με το  $CF_4^S$ . Τα συνολικά αποτελέσματα φαίνονται στο πίνακα 5.9.



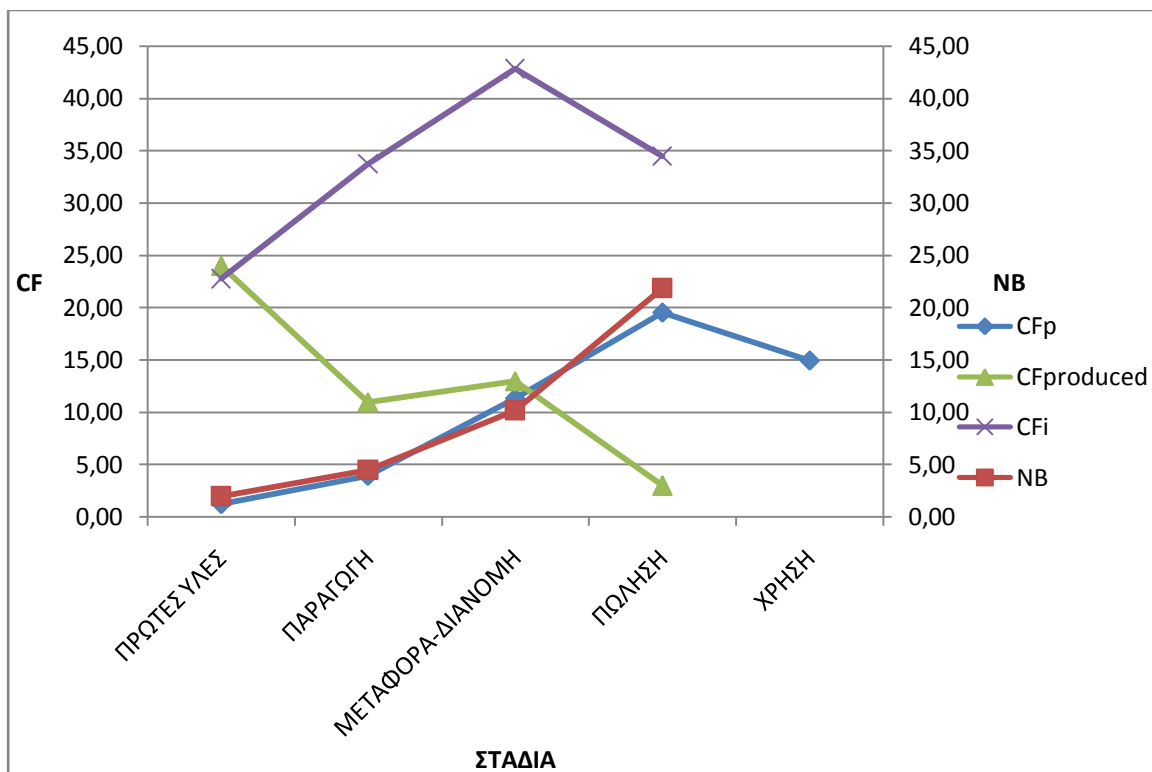
**Πίνακας 5.9:** Συνολικά δεδομένα και αποτελέσματα εφαρμογής της Οπισθοβαρους κατανομής

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ					ΠΑΡΑΓΩΓΗ					ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ					ΠΩΛΗΣΗ					ΧΡΗΣΗ																	
ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF	ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF	ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF	ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF	ΧΡΗΣΗ																	
P1	12,00	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ C1.1	5	CF1.1	17	P2	19,50	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C2.1=P1	12	CF2.1	22,75	P3	35,70	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C3.1=P2	19,50	CF3.1	29,81	P4	65,55	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C4.1=P3	35,70	CF4.1	31,49	P4	65,55												
		ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ C1.2	5	CF1.2	7																					ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ C2.2	3	CF2.2	11,00	ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ C3.2	6,00	CF3.2	13,00	ΚΟΣΤΟΣ ΠΩΛΗΣΗΣ C4.2	8,00	CF4.2	3,00
		ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB1	2																							ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB2	4,50			ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB3	10,20			ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB4	21,85		
CF <sub>present</sub>	24,00	ποσοστό προς το συνολικό			CF <sub>present</sub>	35,00	ποσοστό προς το συνολικό			CF <sub>present</sub>	48,00	ποσοστό προς το συνολικό			CF <sub>present</sub>	51,00	ποσοστό προς το συνολικό			CF <sub>present</sub>	51,00	ποσοστό προς το συνολικό															
CF <sub>1</sub> <sup>P</sup>	1,25	2,44%			CF <sub>2</sub> <sup>P</sup>	3,94	7,73%			CF <sub>3</sub> <sup>P</sup>	11,33	22,21%			CF <sub>4</sub> <sup>P</sup>	19,55	38,33%			CF <sub>5</sub> <sup>P</sup>	14,94	29,29%															
CF <sub>1</sub> <sup>S</sup>	22,75	44,62%			CF <sub>2</sub> <sup>S</sup>	29,81	58,46%			CF <sub>3</sub> <sup>S</sup>	31,49	61,74%			CF <sub>4</sub> <sup>S</sup>	14,94	29,29%			CF <sub>tot</sub>	51	100,00%															
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	20%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ			ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	30%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ			ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	40%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ			ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	50%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ			ΣCF <sup>P</sup>	36,06																
ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	16,67%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ			ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	23,08%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ			ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	28,57%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ			ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	33,33%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ			ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ	38,55																

Συγκεκριμένα οι τιμές των  $CF_1^P$  και  $CF_1^S$  φαίνονται στον πίνακα 5.10.

**Πίνακας 5.10:** Κατανομή του CF με τη χρήση της Οπισθοβαρούς κατανομής

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ			ΠΑΡΑΓΩΓΗ			ΜΕΤΑΦΟΡΑ-			ΠΩΛΗΣΗ			ΧΡΗΣΗ		
$CF_{present}$	24	ποσοστό προς το συνολικό	$CF_{present}$	35	ποσοστό προς το συνολικό	$CF_{present}$	48	ποσοστό προς το συνολικό	$CF_{present}$	51	ποσοστό προς το συνολικό	$CF_{present}$	51	ποσοστό προς το συνολικό
$CF_1^P$	1,25	2,44%	$CF_2^P$	3,94	7,73%	$CF_3^P$	11,33	22,21%	$CF_4^P$	19,55	38,33%	$CF_5^P$	14,94	29,29%
$CF_1^S$	22,75	44,62%	$CF_2^S$	29,81	58,46%	$CF_3^S$	31,49	61,74%	$CF_4^S$	14,94	29,29%			



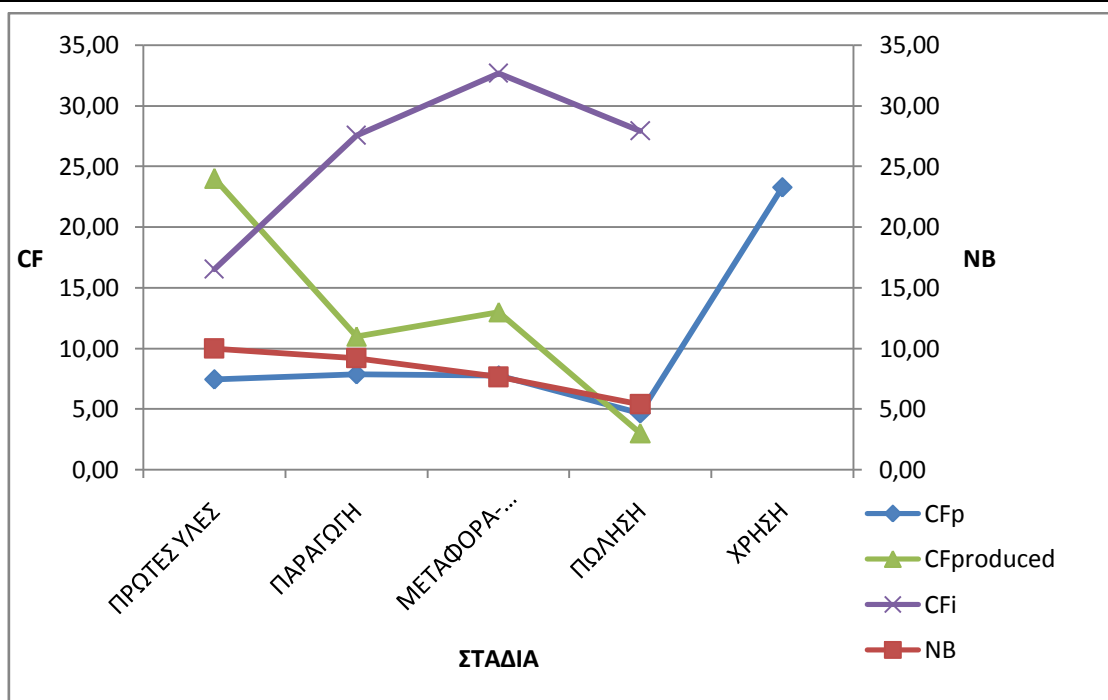
**Διάγραμμα 5.3:** Κατανομή του CF με τη χρήση της Οπισθοβαρούς κατανομής και σύγκριση με το  $CF_{produced}$ , το συνολικό CF κάθε σταδίου και το καθαρό κέρδος

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.3, το CF που αναλαμβάνεται από κάθε στάδιο ακολουθεί απόλυτα το αντίστοιχο καθαρό κέρδος, και δεν επηρεάζεται από το CF που υπάρχει και που παράγεται σε κάθε στάδιο. Να σημειωθεί ότι τα ποσοστά κέρδους είναι δεδομένα και στο συγκεκριμένο παράδειγμα σε κάθε στάδιο αυξάνονται κατά 10%.

Για την επαλήθευση της κερδοβαρούς κατανομής, εφαρμόζουμε όλες τις παραπάνω εξισώσεις αλλάζοντας τα ποσοστά κέρδους, εφαρμόζονται μειούμενα ποσοστά κέρδους, τέτοια ώστε να μειώνεται και το καθαρό κέρδος σε κάθε στάδιο. Συγκεκριμένα, θεωρούνται ποσοστά κερδών 100%, 40%, 20% και 10% σε κάθε στάδιο αντίστοιχα, των πρώτων υλών, της παραγωγής, της μεταφοράς – διανομής και της πώλησης. Τα αριθμητικά αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 5.11.

**Πίνακας 5.11:** Συνολικά δεδομένα και αποτελέσματα εφαρμογής της Οπισθοβαρους κατανομής για μειούμενο κέρδος

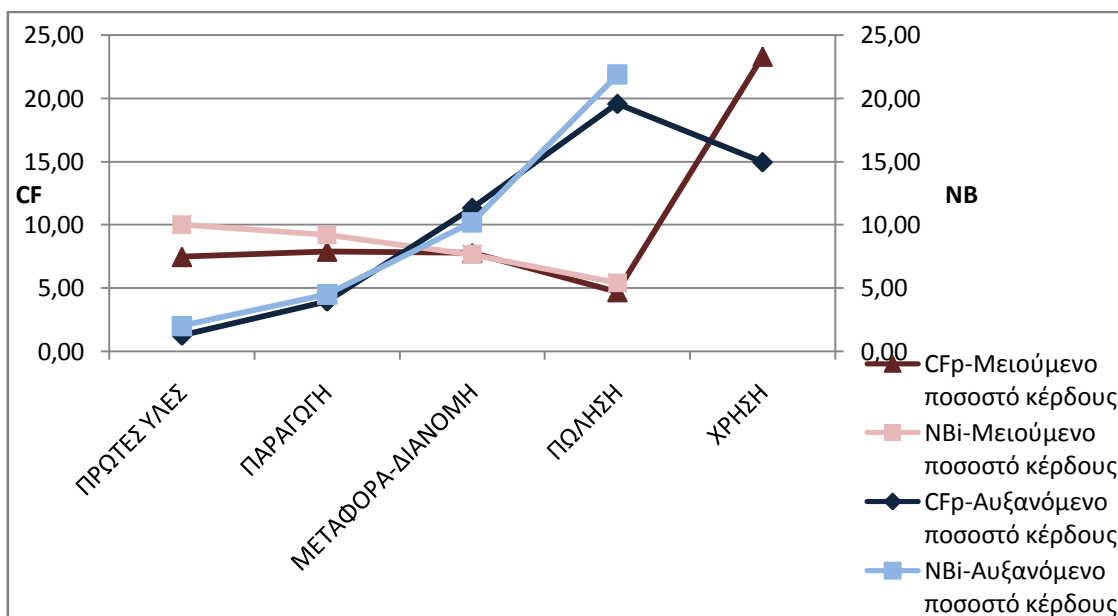
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ				ΠΑΡΑΓΩΓΗ				ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ				ΠΩΛΗΣΗ			ΧΡΗΣΗ																						
ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF		ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF		ΠΩΛΗΣΗ		ΚΟΣΤΟΣ		CF		ΧΡΗΣΗ																			
P1	20,00	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ C1.1	5	CF1.1	17,00	P2	32,20	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C2.1=P1	20,00	CF2.1	16,55	P3	45,84	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C3.1=P2	32,20	CF3.1	19,69	P4	59,22	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ C4.1=P3	45,84	CF4.1	24,94	P4	59,22												
		ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ C1.2	5	CF1.2	7,00																					ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ C2.2	3,00	CF2.2	11,00	ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ C3.2	6,00	CF3.2	13,00	ΚΟΣΤΟΣ ΠΩΛΗΣΗΣ C4.2	8,00	CF4.2	3,00
		ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB1	10																							ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB2	9,20			ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB3	7,64			ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ NB4	5,38		
CF <sub>present</sub>	24,00	ποσοστό προς το συνολικό				CF <sub>present</sub>	35,00	ποσοστό προς το συνολικό				CF <sub>present</sub>	48,00	ποσοστό προς το συνολικό				CF <sub>present</sub>	51,00	ποσοστό προς το συνολικό				CF <sub>present</sub>	51,00	ποσοστό προς το συνολικό											
CF <sub>1</sub> <sup>P</sup>	7,45	14,60%				CF <sub>2</sub> <sup>P</sup>	7,87	15,42%				CF <sub>3</sub> <sup>P</sup>	7,75	15,20%				CF <sub>4</sub> <sup>P</sup>	4,67	9,15%				CF <sub>5</sub> <sup>P</sup>	23,27	45,63%											
CF <sub>1</sub> <sup>S</sup>	16,55	32,46%				CF <sub>2</sub> <sup>S</sup>	19,69	38,60%				CF <sub>3</sub> <sup>S</sup>	24,94	48,89%				CF <sub>4</sub> <sup>S</sup>	23,27	45,63%				CF <sub>tot</sub>	51												
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	100%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ				ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	40%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ				ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	20%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ				ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΡΔΟΥΣ	10%	ΚΕΡΔΟΣ/ΚΟΣΤΟΣ				ΣCF <sup>P</sup>	27,73												
ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	50,00%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ				ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	28,57%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ				ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	16,67%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ				ΚΕΡΑΔΟΦΟΡΙΑ	9,09%	ΚΕΡΔΟΣ/ΤΙΜΗ				ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ	32,22												



**Διάγραμμα 5.4:** Κατανομή του CF με τη χρήση της Οπισθοβαρούς κατανομής και σύγκριση με το CFproduced, το συνολικό CF κάθε σταδίου και το καθαρό κέρδος για μειούμενο κέρδος

Στο διάγραμμα 5.4 παρατηρείται μια αποκλείση του CF που αναλαμβάνεται από το κάθε στάδιο και του αντίστοιχου καθαρού κέρδους εξαιτίας της έντονης αύξησης του συνολικού CF των δύο σταδίων.

Συγκρίνοντας τις δύο περιπτώσεις κερδοβαρούς κατανομής, τη πρώτη με αυξανόμενα ποσοστά κέρδους και το αυξανόμενο κέρδος και τη δεύτερη με μειούμενα ποσοστά και το μειούμενο κέρδος, παρατηρείται ότι το CF που αναλαμβάνεται από κάθε στάδιο ακολουθεί το αντίστοιχο καθαρό κέρδος.



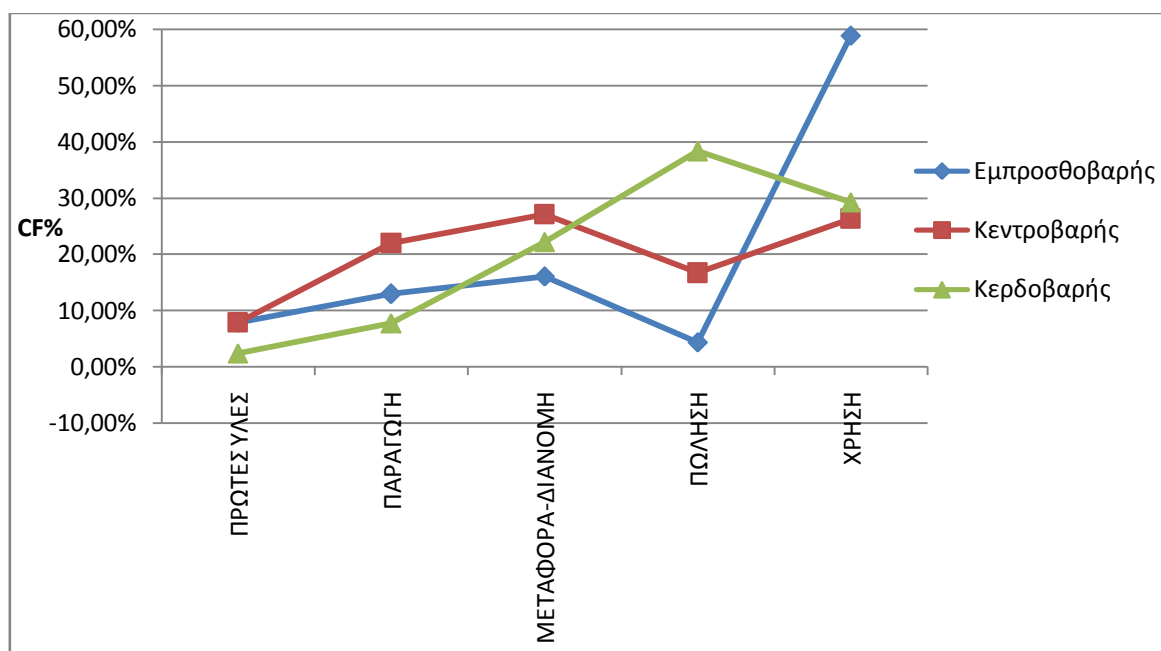
**Διάγραμμα 5.5:** Σύγκρισή αποτελεσμάτων Οπισθοβαρούς κατανομής για αυξανόμενο και για μειούμενο κέρδος

### 5.6.5. Σύνοψη και σύγκριση των τριών προσεγγίσεων

Για να είναι συγκρίσιμες οι τρεις προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται τα ποσοστά των CF που αναλαμβάνονται σε κάθε στάδιο ως προς το συνολικό CF.

**Πίνακας 5.12:** Ποσοστά ευθύνης CF για κάθε στάδιο και για τις τρεις νέες προσεγγίσεις

	Εμπροσθοβαρής	Κεντροβαρής	Κερδοβαρής
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	7,84%	7,84%	2,44%
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	12,94%	21,99%	7,73%
ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ	16,05%	27,13%	22,21%
ΠΩΛΗΣΗ	4,31%	16,69%	38,33%
ΧΡΗΣΗ	58,86%	26,34%	29,29%



**Διάγραμμα 5.6:** Ποσοστά κατανομής ευθύνης CF όλων των σταδίων για τις τρεις νέες κατανομές

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 5.12 με τα ποσοστά των CF που αναλαμβάνονται σε κάθε στάδιο αλλά και από το διάγραμμα 5.6, η εμπροσθοβαρής και η κεντροβαρής κατανομή ακολουθούν την ίδια πορεία απόδοσης της ευθύνης του CF, με τη διαφορά ότι η πρώτη υπέρ – επιβαρύνει το χρήστη. Επιπλέον, η εμπροσθοβαρής εμφανίζει μικρότερα ποσοστά στα στάδια της παραγωγής καθώς επιβαρύνονται μόνο από ποσοστό του CF που παράγουν και όχι και από εκείνο που μεταφέρεται από στάδιο σε στάδιο. Και οι δύο αυτές κατανομές χρησιμοποιούν τον ίδιο τρόπο απόδοσης της ευθύνης του CF, με τη μόνη διαφορά ότι η πρώτη αναφέρεται σε εκείνο που παράγεται σε κάθε στάδιο, ενώ η δεύτερη αναφέρεται στο συνολικό CF που μεταφέρεται από το προηγούμενο στάδιο προσθέτοντας εκείνο που παράγεται σε αυτό. Αντίθετα, στη οπισθοβαρή κατανομή δίνεται βαρύτητα στην οικονομική εκμετάλλευση του προϊόντος, και για το λόγο αυτό διαφέρει από τις άλλες δύο. Ένα κοινό σημείο υπάρχει μεταξύ της κεντροβαρούς και της οπισθοβαρούς κατανομής, ότι και οι δύο χρησιμοποιούν το συνολικό CF κάθε σταδίου. Συνεπώς, συγκρίνοντας την κεντροβαρή και τη οπισθοβαρή κατανομή, παρατηρείται ότι κατανέμουν περίπου ίδια ποσοστά στον τελικό καταναλωτή, αλλά έχουν έντονη διαφορά στη διαδικασία της πώλησης,

όπου το ποσοστό του κέρδους είναι μεγάλο και παρουσιάζεται η μικρότερη παραγωγή CF σύμφωνα με τα δεδομένα του παραδείγματος.

## 5.7. Έλεγχος ευαισθησίας των τριών νέων προσεγγίσεων

### 5.7.1. Γενικά

Για τον έλεγχο της ευαισθησίας των τριών νέων προσεγγίσεων της κατανομής της ευθύνης του κόστους του αποτυπώματος του άνθρακα θα γίνουν τρεις δοκιμές, από τις οποίες οι δύο θα αφορούν το παραγόμενο CF και η τρίτη το ποσοστό κέρδους σε κάθε στάδιο. Με βάση, λοιπόν, τα παραπάνω παραδείγματα, θα εξεταστεί το πώς μεταβάλλεται το αποτύπωμα του άνθρακα που αναλαμβάνεται από κάθε στάδιο σε μία ανακατανομή του συνολικού CF ανάμεσα στα στάδια της παραγωγής, σε μεταβολή του παραγόμενου CF κάθε σταδίου κατά 10% και σε μεταβολή του ποσοστού του κέρδους κάθε σταδίου κατά 10% και για τις τρεις κατανομές.

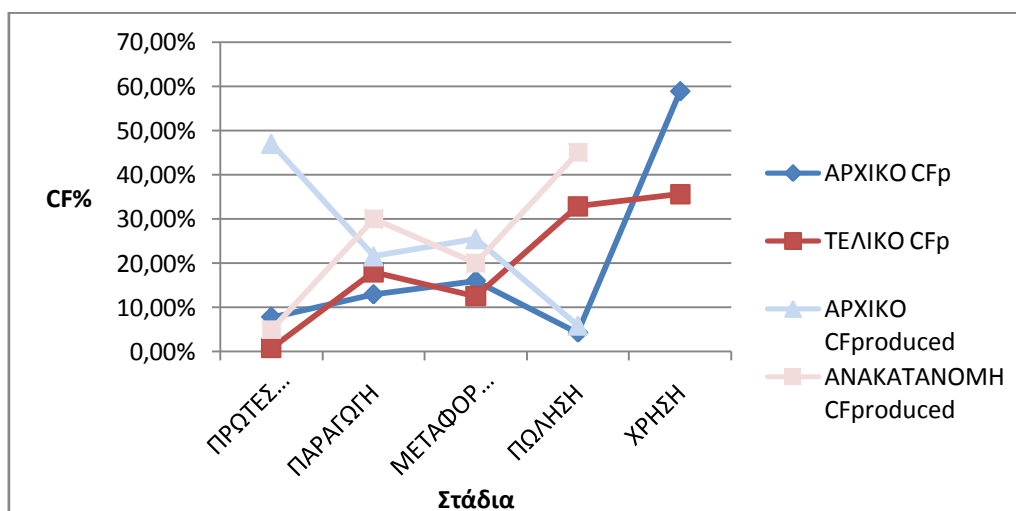
### 5.7.2. Εμπροσθοβαρής κατανομή

#### 5.7.2.1. Ανακατανομή παραγόμενου CF ως προς το συνολικό CF

Με βάση το προηγούμενο παράδειγμα της εμπροσθοβαρούς κατανομής, διατηρούμε το συνολικό CF σταθερό μεταβάλλοντας το CF που παράγεται σε κάθε στάδιο. Τα αποτελέσματα για την εμπροσθοβαρή κατανομή φαίνονται παρακάτω:

**Πίνακας 5.13:** Ποσοστά ανακατανομή του CFproduced και ποσοστά CF που αναλαμβάνονται τελικά από κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Εμπροσθοβαρούς κατανομής

	ΑΡΧΙΚΟ CFproduced	ΑΡΧΙΚΟ CFp	ΑΝΑΚΑΤΑΝΟΜΗ CFproduced	ΤΕΛΙΚΟ CFp
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	47,06%	7,84%	5,00%	0,83%
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	21,57%	12,94%	30,00%	18,00%
ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ	25,49%	16,05%	20,00%	12,59%
ΠΩΛΗΣΗ	5,88%	4,31%	45,00%	32,94%
ΧΡΗΣΗ		58,86%		35,63%



**Διάγραμμα 5.7:** Ποσοστά CFproduced και CFp πριν και μετά την ανακατομή με τη χρήση της Εμπροσθοβαρούς κατανομής

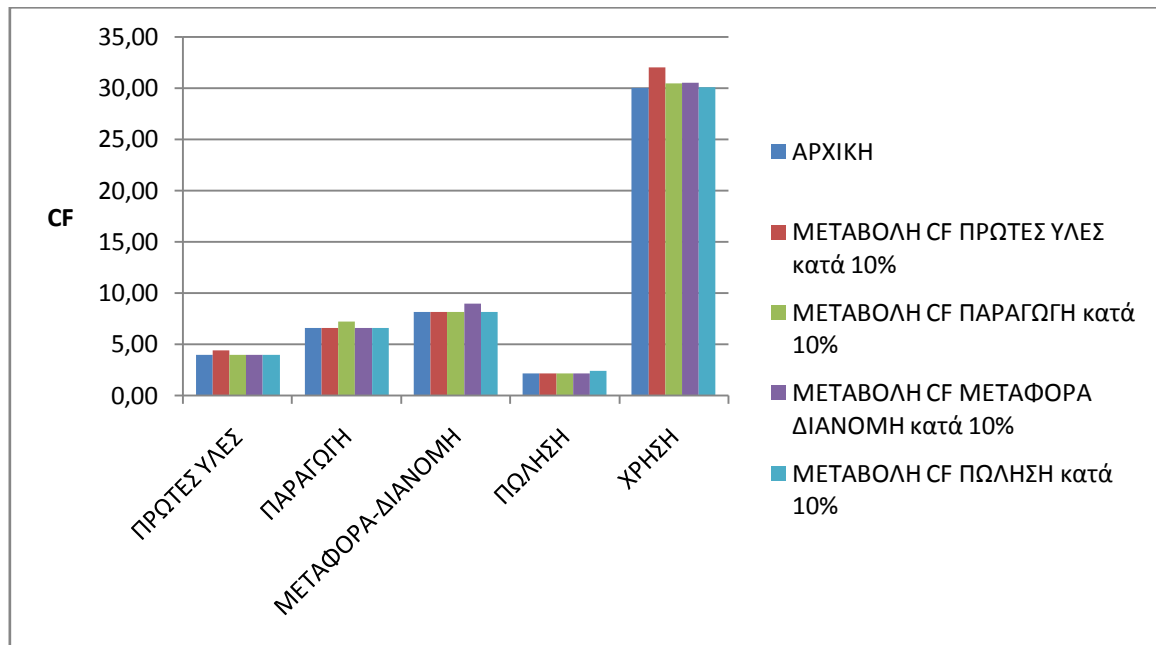
Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.13 αλλά και στο διάγραμμα 5.7, αρχικά στο στάδιο των πρώτων υλών το παραγόμενο CF είναι μεγάλο και το CF που αναλαμβάνεται είναι μικρό, ενώ μετά την ανακατανομή τα ποσοστά του CF<sub>produced</sub> και CF<sub>p</sub> δεν έχουν σημαντική διαφορά. Αυτό οφείλεται όπως αναφέρεται και παραπάνω, στο χαμηλό κέρδος του σταδίου των πρώτων υλών. Εκτός του πρώτου σταδίου, στις υπόλοιπες διαδικασίες, τα διαγράμματα αρχικού και ανακατανεμημένου CF<sub>produced</sub> είναι ανάλογα με τα αρχικά και τα τελικά ποσοστά CF<sub>p</sub>. Τέλος, αξιοσημείωτο είναι το CF<sub>ΧΡΗΣΗΣ</sub>, το οποίο με τα νέα ανακατανεμημένα ποσοστά του CF<sub>produced</sub> είναι κατά πολύ μικρότερο από το αρχικό CF<sub>ΧΡΗΣΗΣ</sub>. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του ότι στην διαδικασία πώλησης, όπου εμφανίζεται το μεγαλύτερο ποσοστό παραγόμενου CF με βάση την ανακατανομή, υπάρχει και το μεγαλύτερο ποσοστό κέρδους και η μεγαλύτερη κερδοφορία, έτσι κατά την κατανομή του CF του σταδίου αυτού, η διαδικασία της πώλησης αναλαμβάνει μεγαλύτερο μέρος του CF από αυτό που μεταβιβάζεται στον χρήστη.

#### 5.7.2.2. Μεταβολή παραγόμενου CF κατά 10%

Βασιζόμενοι στο προηγούμενο παράδειγμα, αυξάνουμε κάθε φορά το CF<sub>produced</sub> του κάθε σταδίου κατά 10% και εξετάζουμε τις μεταβολές που δημιουργούνται στο CF που αναλαμβάνεται από κάθε στάδιο. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν με τη χρήση της εμπροσθοβαρούς κατανομής απεικονίζονται στον πίνακα 5.14 και το διάγραμμα 5.8.

**Πίνακας 5.14:** Αρχικό CF<sub>p</sub> και αποτελέσματα για αύξηση CF<sub>produced</sub> κατά 10% σε κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Εμπροσθοβαρούς κατανομής

	ΑΡΧΙΚΗ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΠΑΡΑΓΩΓΗ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΙΑΝΟΜΗ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΠΩΛΗΣΗ κατά 10%
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	4,00	4,40	4,00	4,00	4,00
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	6,60	6,60	7,26	6,60	6,60
ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ	8,19	8,19	8,19	9,00	8,19
ΠΩΛΗΣΗ	2,20	2,20	2,20	2,20	2,42
ΧΡΗΣΗ	30,02	32,02	30,46	30,50	30,10



**Διάγραμμα 5.8:** Αρχικό CF<sub>r</sub> και αποτελέσματα για αύξηση CF<sub>r</sub>produced κατά 10% σε κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Εμπροσθοβαρούς κατανομής

Κατά της αύξηση κατά 10% του CF<sub>r</sub>produced του σταδίου των πρώτων υλών παρατηρούμε ότι το CF<sub>r</sub> σε όλα τα στάδια εκτός του πρώτου σταδίου και της χρήσης είναι σταθερό, γεγονός που είναι λογικό καθώς τα ποσοστά των παραγόμενων CF που δεν αναλαμβάνονται από το αντίστοιχο στάδιο, μεταφέρονται απευθείας στον τελικό χρήστη και έτσι δεν επηρεάζουν τα CF που αναλαμβάνονται από τα υπόλοιπα στάδια. Ανάλογα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις αυξήσεις του παραγόμενου CF των επόμενων σταδίων.

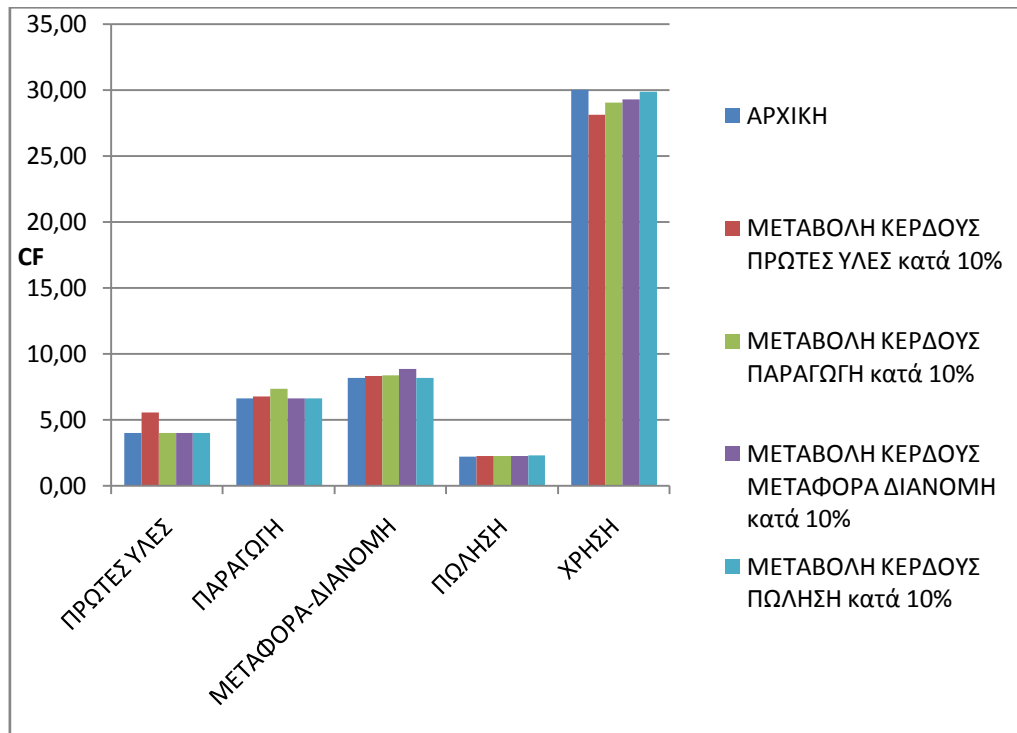
#### 5.7.2.3. Μεταβολή ποσοστού κέρδους κατά 10%

Με βάση το παράδειγμα της ενότητας 5.6.2. μεταβάλλουμε το ποσοστό του κέρδους *ai* κατά 10% κάθε σταδίου ξεχωριστά και εξετάζουμε πως μεταβάλλεται το CF που αναλαμβάνεται από κάθε στάδιο. Χρησιμοποιώντας την εμπροσθοβαρή κατανομή τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

**Πίνακας 5.15:** Αρχικό CF<sub>r</sub> και αποτελέσματα για αύξηση του ποσοστού κέρδους κατά 10% σε κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Εμπροσθοβαρούς κατανομής

	ΑΡΧΙΚΗ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΡΔΟΥΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΡΔΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΡΔΟΥΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΙΑΝΟΜΗ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΡΔΟΥΣ ΠΩΛΗΣΗ κατά 10%
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	4,00	5,54	4,00	4,00	4,00
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	6,60	6,77	7,33	6,60	6,60
ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ	8,19	8,33	8,36	8,84	8,19
ΠΩΛΗΣΗ	2,20	2,22	2,22	2,23	2,30
ΧΡΗΣΗ	30,02	28,14	29,09	29,33	29,92





**Διάγραμμα 5.9:** Αρχικό CFr και αποτελέσματα για αύξηση του ποσοστού κέρδους κατά 10% σε κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Εμπροσθοβαρούς κατανομής

Όπως διακρίνεται από τον πίνακα 5.15 και το διάγραμμα 5.9, μια αύξηση του ποσοστού του κέρδους κατά 10% στο στάδιο των πρώτων υλών, αυξάνει αισθητά το CF που αναλαμβάνεται από το ίδιο το στάδιο αλλά επιπλέον αυξάνει και το CFr όλων των υπόλοιπων σταδίων της παραγωγής. Αυτό ισχύει καθώς η αύξηση του ποσοστού του κέρδους στο στάδιο των πρώτων υλών σημαίνει μεγαλύτερη τιμή πώλησης για τα επόμενα στάδια, συνεπώς μεγαλύτερο κέρδος, καθώς το κέρδος είναι ποσοστό του κόστους. Αυτή η αύξηση του κέρδους μειώνεται από στάδιο σε στάδιο, μέχρι το στάδιο της πώλησης που η αύξηση του CFr είναι πλέον πολύ μικρή. Όσον αφορά τη χρήση, παρατηρείται μείωση του CF που αναλαμβάνεται, γεγονός που εξηγείται από την αύξηση του κέρδους κάθε σταδίου και επομένως την αύξηση των ποσοστών ευθύνης τους. Ανάλογα αποτελέσματα παρατηρούνται και στις αυξήσεις του ποσοστού του κέρδους και στα υπόλοιπα στάδια. Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι με την αύξηση του ποσοστού κέρδους ενός σταδίου επηρεάζεται μόνο το CFr των επόμενων σταδίων, ενώ των προηγούμενων σταδίων παραμένει σταθερό.

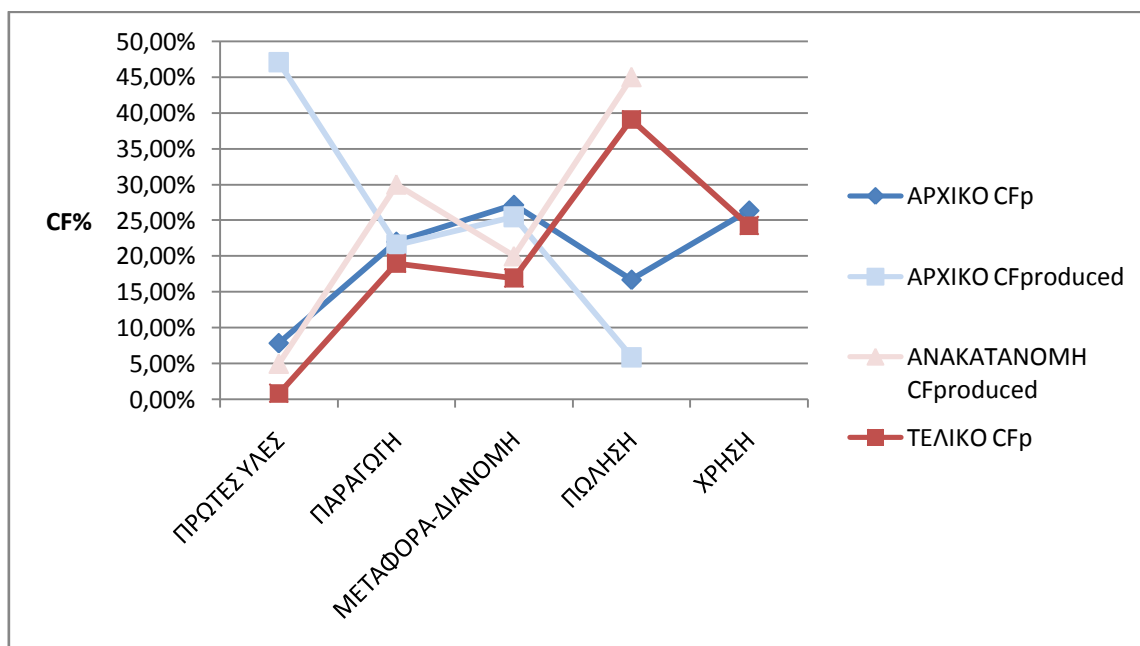
### 5.7.3. Κεντροβαρής κατανομή

#### 5.7.3.1. Ανακατανομή παραγόμενου CF ως προς το συνολικό CF

Αναλόγως με την ενότητα 5.7.2.1. ανακατανέμουμε το συνολικό CF, διατηρώντας το σταθερό, σε όλα τα στάδια και εφαρμόζουμε την κεντροβαρή κατανομή.

**Πίνακας 5.16:** Ποσοστά ανακατανομή του CFproduced και ποσοστά CF που αναλαμβάνονται τελικά από κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Κεντροβαρούς κατανομής

	ΑΡΧΙΚΟ CFproduced	ΑΡΧΙΚΟ CFp	ΑΝΑΚΑΤΑΝΟΜΗ CFproduced	ΤΕΛΙΚΟ CFp
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	47,06%	7,84%	5,00%	0,83%
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	21,57%	21,99%	30,00%	18,96%
ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ	25,49%	27,13%	20,00%	16,94%
ΠΩΛΗΣΗ	5,88%	16,69%	45,00%	39,03%
ΧΡΗΣΗ		26,34%		24,24%



**Διάγραμμα 5.10:** Ποσοστά CFproduced και CFp πριν και μετά την ανακατομή με τη χρήση της Κεντροβαρούς κατανομής

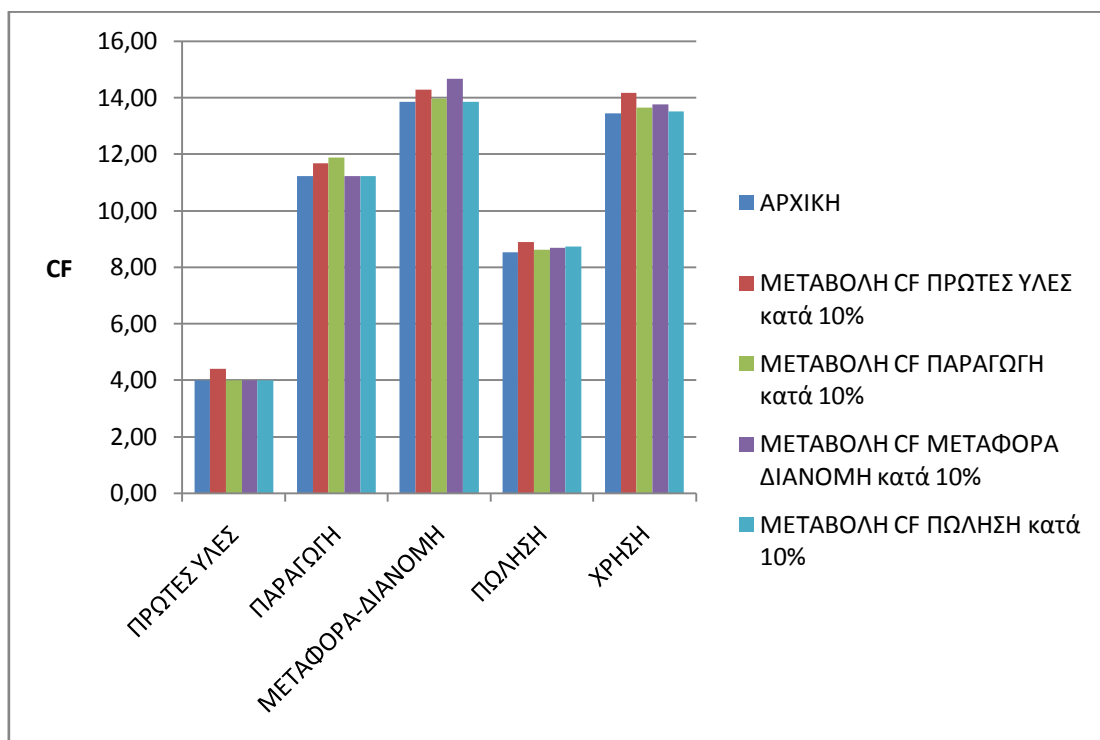
Όπως και στην εμπροσθοβαρή κατανομή, στο στάδιο των πρώτων υλών το παραγόμενο CF είναι μεγάλο και το CF που αναλαμβάνεται είναι μικρό, ενώ μετά την ανακατανομή τα ποσοστά του CFproduced και CFp δεν έχουν σημαντική διαφορά. Αυτό οφείλεται όπως αναφέρεται και παραπάνω, στο χαμηλό κέρδος του σταδίου των πρώτων υλών. Στο στάδιο της παραγωγής, ενώ βάση της ανακατανομής το ποσοστό του CFproduced είναι μεγαλύτερο από το αρχικό, το ποσοστό του CF που αναλαμβάνεται δεν είναι μεγαλύτερο από το αρχικό, αυτό ισχύει καθώς το ποσοστό του CF που δεν αναλαμβάνεται στο πρώτο στάδιο των πρώτων υλών μεταβιβάζεται στο στάδιο της παραγωγής. Συνεπώς, στην αρχική κατανομή του παραγόμενου CF, το CF που μεταφέρεται είναι πολύ μεγαλύτερο από το εκείνο με την ανακατανομή. Το CF που προκύπτει για τον τελικό χρήστη δεν έχει έντονη διαφορά, δηλαδή συνολικά τα στάδια της παραγωγής και ο τελικός χρήστης, στην κεντροβαρή κατανομή, αναλαμβάνουν ποσοστό CF ανεξάρτητος από το πώς κατανέμεται εντός της παραγωγικής αλυσίδας.

5.7.3.2. Μεταβολή παραγόμενου CF κατά 10%

Όπως και στην ενότητα 5.7.2.2., σε κάθε στάδιο αυξάνουμε το CF<sub>produced</sub> κατά 10% για ένα στάδιο κάθε φορά και εξετάζουμε πως μεταβάλλεται το CF<sub>r</sub> εφαρμόζοντας κεντροβαρή κατανομή.

**Πίνακας 5.17:** Αρχικό CF<sub>r</sub> και αποτελέσματα για αύξηση CF<sub>produced</sub> κατά 10% σε κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Κεντροβαρους κατανομής

	ΑΡΧΙΚΗ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΠΑΡΑΓΩΓΗ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΙΑΝΟΜΗ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΠΩΛΗΣΗ κατά 10%
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	4,00	4,40	4,00	4,00	4,00
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	11,22	11,68	11,88	11,22	11,22
ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ	13,84	14,28	13,96	14,66	13,84
ΠΩΛΗΣΗ	8,51	8,88	8,62	8,67	8,73
ΧΡΗΣΗ	13,44	14,17	13,64	13,76	13,52



**Διάγραμμα 5.11:** Αρχικό CF<sub>r</sub> και αποτελέσματα για αύξηση του CF<sub>produced</sub> κατά 10% σε κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Κεντροβαρους κατανομής

Στην κεντροβαρή κατανομή, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 5.17 αλλά και από το διάγραμμα 5.11, μια αύξηση του CF<sub>produced</sub> σε κάποιο στάδιο, δημιουργεί αύξηση στο CF<sub>r</sub> στον εν λόγω στάδιο αλλά επίσης επηρεάζει και όλα τα επόμενα, σε αντίθεση με την εμπροσθοβαρή κατανομή. Αυτό οφείλεται στο ότι κάθε στάδιο αναλαμβάνει ποσοστό του συνολικού CF που υπάρχει σε αυτό, δηλαδή και εκείνου που μεταφέρεται και εκείνου που παράγεται. Ας τονίσουμε όμως ότι

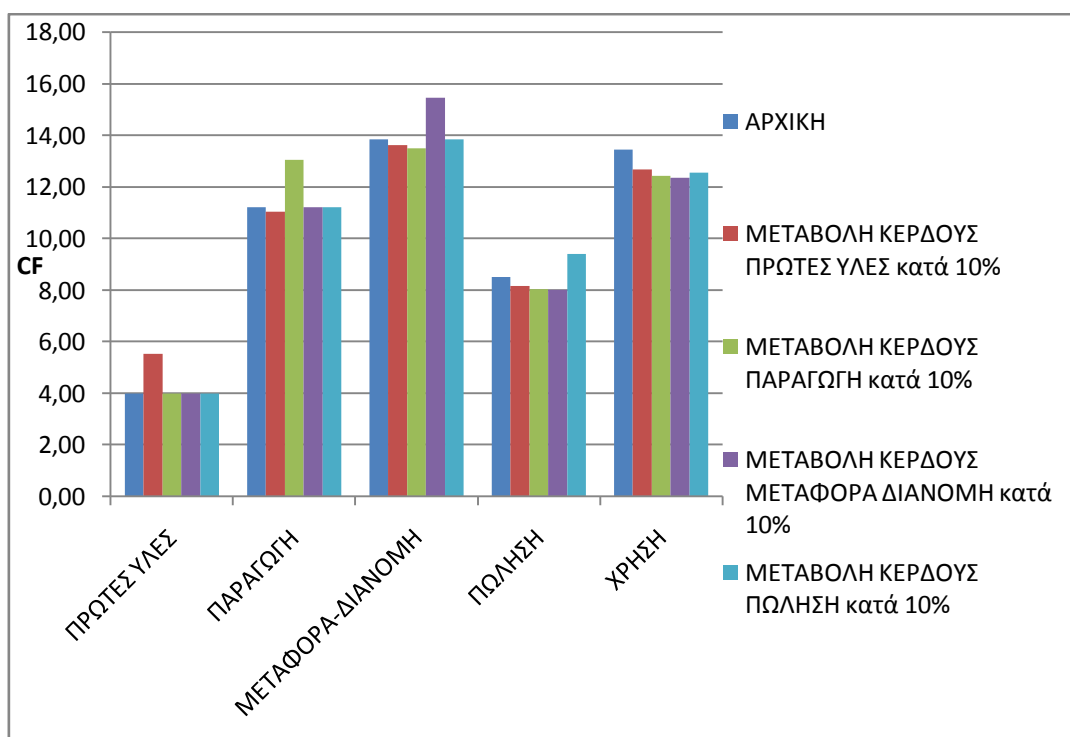
επηρεάζονται μόνο τα επόμενα στάδια. Το  $CF_{\text{ΧΡΗΣΗΣ}}$  αυξάνεται και αυτό, καθώς αυξάνεται το συνολικό CF που παράγεται κατά την παραγωγική διαδικασία.

5.7.3.3. Μεταβολή ποσοστού κέρδους κατά 10%

Ομοίως με την ενότητα 5.7.2.3., μεταβάλλουμε τα ποσοστά κέρδους κάθε σταδίου κατά 10% ξεχωριστά για κάθε στάδιο, και μελετάμε πώς κατανέμεται το CF με την κεντροβαρή μέθοδο.

**Πίνακας 5.18:** Αρχικό CF<sub>r</sub> και αποτελέσματα για αύξηση του ποσοστού κέρδους κατά 10% σε κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Κεντροβαρούς κατανομής

	ΑΡΧΙΚΗ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΡΔΟΥΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΡΔΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΡΔΟΥΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΙΑΝΟΜΗ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΡΔΟΥΣ ΠΩΛΗΣΗ κατά 10%
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	4,00	5,54	4,00	4,00	4,00
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	11,22	11,03	13,05	11,22	11,22
ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ	13,84	13,60	13,49	15,43	13,84
ΠΩΛΗΣΗ	8,51	8,16	8,05	8,01	9,40
ΧΡΗΣΗ	13,44	12,67	12,42	12,34	12,54



**Διάγραμμα 5.12:** Αρχικό CF<sub>r</sub> και αποτελέσματα για αύξηση του ποσοστού κέρδους κατά 10% σε κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Κεντροβαρούς κατανομής

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.12, κάθε αύξηση του ποσοστού του κέρδους σε κάποιο στάδιο, δημιουργεί, φυσικά, αύξηση του CF που αναλαμβάνεται στο στάδιο αυτό και μείωση σε εκείνο που αναλαμβάνεται από τα επόμενα στάδια. Αυτό συμβαίνει γιατί, σε αντίθεση με την εμπροσθοβαρή κατανομή, στην κεντροβαρή το ποσοστό του CF που δεν αναλαμβάνεται από κάθε στάδιο

μεταβιβάζεται στο επόμενο στάδιο. Συνεπώς, μεγαλύτερο ποσοστό κέρδους σε κάποιο στάδιο σημαίνει μεγαλύτερο ποσοστό ευθύνης CF και μεταφορά μικρότερου ποσοστού στο επόμενο στάδιο. Το CFp των προηγούμενων σταδίων από εκείνου που γίνεται η μεταβολή του ποσοστού κέρδους δεν επηρεάζεται. Το CF που αναλαμβάνεται από την τελική χρήση μειώνεται με κάθε αύξηση κάποιου ποσοστού κέρδους εξαιτίας της αύξησης του κέρδους και των ευθυνών των σταδίων της παραγωγής.

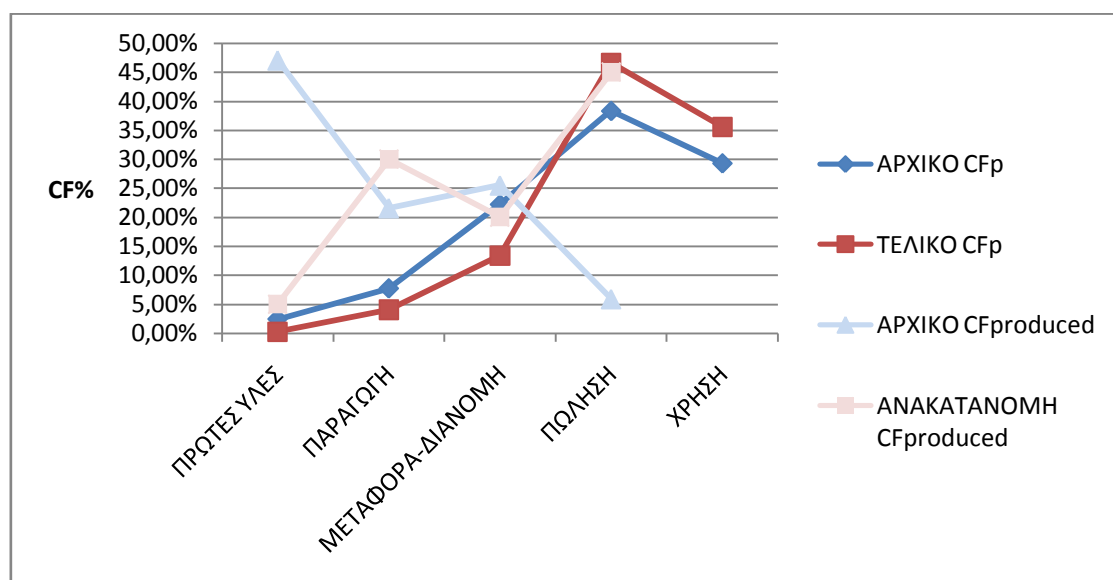
#### 5.7.4. Οπισθοβαρής κατανομή

##### 5.7.4.1. Ανακατανομή παραγόμενου CF ως προς το συνολικό CF

Όπως και στις αντίστοιχες ενότητες της εμπροσθοβαρούς και της κεντροβαρούς κατανομής, εφαρμόζουμε αντίστοιχη ανακατανομή του παραγόμενου CF και εφαρμόζουμε την οπισθοβαρή κατανομή.

**Πίνακας 5.19:** Ποσοστά ανακατανομή του CFproduced και ποσοστά CF που αναλαμβάνονται τελικά από κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Οπισθοβαρούς κατανομής

	ΑΡΧΙΚΟ CFproduced	ΑΡΧΙΚΟ CFp	ΑΝΑΚΑΤΑΝΟΜΗ CFproduced	ΤΕΛΙΚΟ CFp
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	47,06%	2,44%	5,00%	0,26%
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	21,57%	7,73%	30,00%	4,06%
ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ	25,49%	22,21%	20,00%	13,41%
ΠΩΛΗΣΗ	5,88%	38,33%	45,00%	46,63%
ΧΡΗΣΗ		29,29%		35,64%



**Διάγραμμα 5.13:** Ποσοστά CFproduced και CFp πριν και μετά την ανακατομή με τη χρήση της Οπισθοβαρούς κατανομής

Όπως και στις δύο άλλες προσεγγίσεις, έτσι και στην οπισθοβαρή, στο στάδιο των πρώτων υλών το παραγόμενο CF είναι μεγάλο και το CF που αναλαμβάνεται είναι μικρό, ενώ μετά την ανακατανομή τα ποσοστά του CFproduced και CFp δεν έχουν σημαντική διαφορά. Αυτό οφείλεται όπως

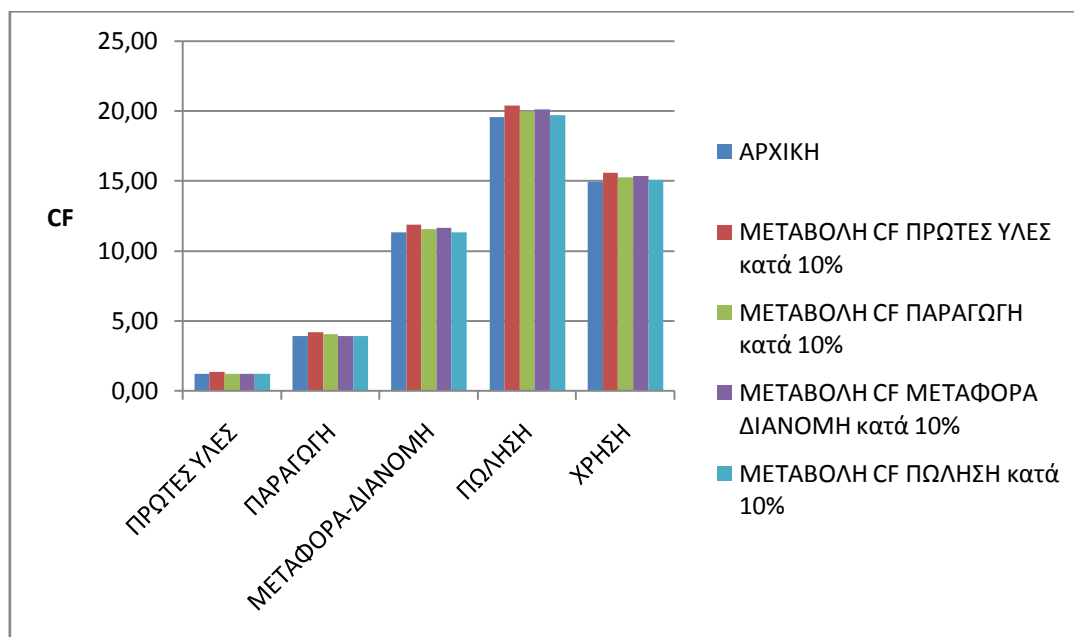
αναφέρεται και παραπάνω, στο χαμηλό κέρδος του σταδίου των πρώτων υλών. Στο στάδιο της παραγωγής, ενώ βάση της ανακατανομής το ποσοστό του CF<sub>produced</sub> είναι μεγαλύτερο από το αρχικό, το ποσοστό του CF που αναλαμβάνεται δεν είναι μεγαλύτερο από το αρχικό, αυτό ισχύει καθώς το ποσοστό του CF που δεν αναλαμβάνεται στο πρώτο στάδιο των πρώτων υλών μεταφέρεται στο στάδιο της παραγωγής. Συνεπώς, στην αρχική κατανομή του παραγόμενου CF, το CF που μεταφέρεται είναι πολύ μεγαλύτερο από το εκείνο με την ανακατανομή. Στο CF<sub>ΧΡΗΣΗΣ</sub> υπάρχει μια διαφορά του αρχικού και του τελικού, η οποία οφείλεται στο μεγάλο CF<sub>produced</sub> του σταδίου της πώλησης.

#### 5.7.4.2. Μεταβολή παραγόμενου CF κατά 10%

Όπως και στις ενότητες 5.7.2.2. και 5.7.3.2., μεταβάλλουμε το CF<sub>produced</sub> κατά 10% για κάθε στάδιο ξεχωριστά και εφαρμόζοντας την οπισθοβαρή κατανομή, εξετάζουμε το CF που αναλαμβάνεται από κάθε στάδιο.

**Πίνακας 5.20:** Αρχικό CF<sub>r</sub> και αποτελέσματα για αύξηση CF<sub>produced</sub> κατά 10% σε κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Οπισθοβαρούς κατανομής

	ΑΡΧΙΚΗ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΠΑΡΑΓΩΓΗ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΙΑΝΟΜΗ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ CF ΠΩΛΗΣΗ κατά 10%
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	1,25	1,37	1,25	1,25	1,25
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	3,94	4,21	4,07	3,94	3,94
ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ	11,33	11,86	11,59	11,67	11,33
ΠΩΛΗΣΗ	19,55	20,38	19,95	20,09	19,72
ΧΡΗΣΗ	14,94	15,58	15,25	15,35	15,07



**Διάγραμμα 5.14:** Αρχικό CF<sub>r</sub> και αποτελέσματα για αύξηση του CF<sub>produced</sub> κατά 10% σε κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Οπισθοβαρούς κατανομής

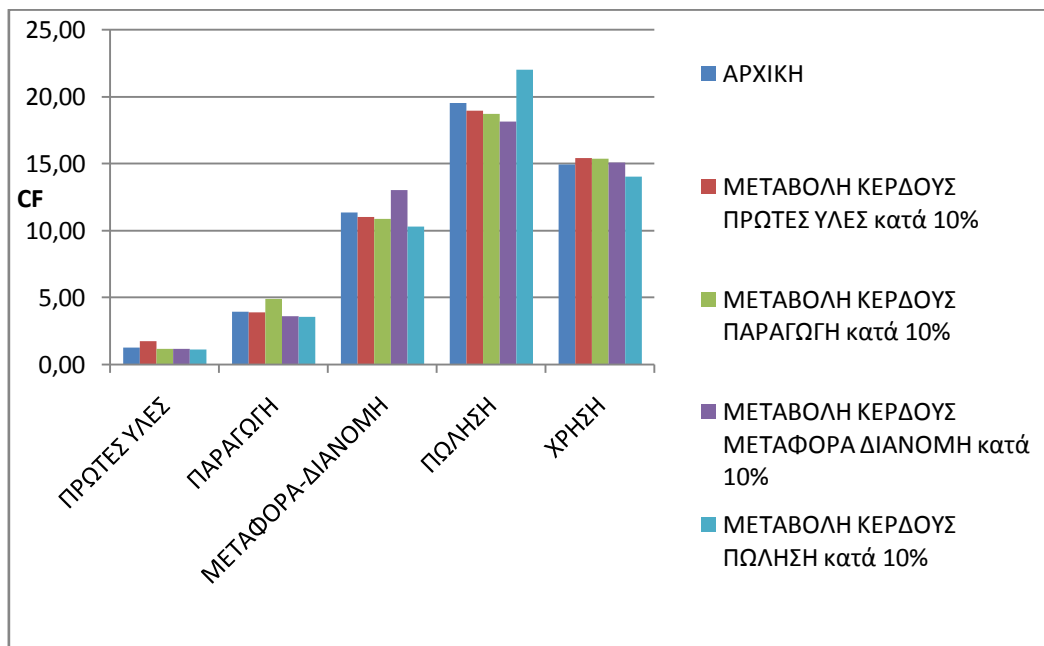
Ομοίως με την κεντροβαρή κατανομή, έτσι και στην οπισθοβαρή, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 5.20 αλλά και από το διάγραμμα 5.14 μια αύξηση του CF<sub>produced</sub> σε κάποιο στάδιο, δημιουργεί αύξηση στο CF<sub>r</sub> στον εν λόγω στάδιο αλλά επίσης επηρεάζει και όλα τα επόμενα στάδια, σε αντίθεση με την εμπροσθοβαρή κατανομή. Αυτό οφείλεται στο ότι κάθε στάδιο αναλαμβάνει ποσοστό του συνολικού CF που υπάρχει σε αυτό, δηλαδή και εκείνου που μεταφέρεται και εκείνου που παράγεται. Ας τονίσουμε όμως ότι επηρεάζονται μόνο τα επόμενα στάδια. Το CF<sub>ΧΡΗΣΗΣ</sub> αυξάνεται και αυτό, καθώς αυξάνεται το συνολικό CF που παράγεται κατά την παραγωγική διαδικασία.

5.7.4.3. Μεταβολή ποσοστού κέρδους κατά 10%

Εφαρμόζοντας μια μεταβολή στο ποσοστό του κέρδους κατά 10% για κάθε στάδιο ξεχωριστά και εφαρμόζοντας την οπισθοβαρή κατανομή, τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον πίνακα 5.21 και το διάγραμμα 5.15.

**Πίνακας 5.21:** Αρχικό CF<sub>r</sub> και αποτελέσματα για αύξηση του ποσοστού κέρδους κατά 10% σε κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Οπισθοβαρούς κατανομής

	ΑΡΧΙΚΗ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΡΔΟΥΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΡΔΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΡΔΟΥΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΙΑΝΟΜΗ κατά 10%	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΡΔΟΥΣ ΠΩΛΗΣΗ κατά 10%
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	1,25	1,74	1,15	1,13	1,12
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	3,94	3,87	4,87	3,60	3,55
ΜΕΤΑΦΟΡΑ-ΔΙΑΝΟΜΗ	11,33	11,01	10,87	13,02	10,30
ΠΩΛΗΣΗ	19,55	18,96	18,73	18,15	22,01
ΧΡΗΣΗ	14,94	15,42	15,38	15,11	14,02



**Διάγραμμα 5.15:** Αρχικό CF<sub>r</sub> και αποτελέσματα για αύξηση του ποσοστού κέρδους κατά 10% σε κάθε στάδιο με την εφαρμογή της Οπισθοβαρούς κατανομής

Στην οπισθοβαρή κατανομή, η μεταβολή του κέρδους είναι πολύ σημαντική, καθώς τα ποσοστά της κατανομής αυτής είναι σχετικά μόνο με το κέρδος του κάθε σταδίου και του συνολικού κέρδους της παραγωγικής διαδικασίας. Όπως παρατηρείται, η αύξηση του ποσοστού του κέρδους ενός σταδίου επιφέρει αύξηση του CF που αναλαμβάνεται από το στάδιο αυτό και μείωση του CF όλων των υπόλοιπων σταδίων της παραγωγικής διαδικασίας, και όχι μόνο των επόμενων όπως συνέβαινε στην κεντροβαρή κατανομή. Στο CF που αναλαμβάνεται από τη χρήση, ενώ γενικά με την αύξηση των ποσοστών του κέρδους αυξάνεται και εκείνο, παρατηρούμε ότι, η αύξηση του ποσοστού κέρδους της πώλησης, η οποία έχει και το μεγαλύτερο ποσοστό, επιφέρει μείωση του ποσοστού ευθύνης της χρήσης. Αυτό ισχύει καθώς η πώληση αναλαμβάνει πάρα πολύ μεγάλο ποσοστό ευθύνης, εξαιτίας του υψηλού κέρδους και επειδή είναι το τελευταίο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας το CF που μεταφέρεται στη χρήση είναι πολύ μικρό.

### **5.8. Σύγκριση των τριών νέων προσεγγίσεων της κατανομής της ευθύνης με τη μέθοδο των Gallego και Lenzen και τον δείκτη ευθύνης του Rodrigues**

Σύμφωνα με την θεωρητική προσέγγιση όλων των κατανομών, η προσέγγιση των Gallego και Lenzen και ο δείκτης περιβαλλοντικής ευθύνης του Rodrigues χρησιμοποιούν κυρίως την ανάλυση περιβαλλοντικών εισροών – εκροών, χρησιμοποιώντας τα μοντέλα του Leontief (1985) και των Miller και Blair (1985) αντίστοιχα, ενώ στις τρεις νέες προσεγγίσεις χρησιμοποιείται η ανάλυση διαδικασίας και του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Όπως αναφέρεται και παραπάνω, από τη χρήση των παραπάνω μεθόδων ανάλυσης κρίνεται το εύρος της κάθε προσέγγισης. Επομένως, συμπεραίνεται ότι ο δείκτης του Rodrigues χρησιμοποιείται για συστήματα μεγάλης κλίμακας, όπως για παράδειγμα χωρών, περιφερειών ή πόλεων, η μέθοδος των Gallego και Lenzen είναι προτιμότερη για κατανομή περιβαλλοντικής ευθύνης μεταξύ πόλεων ή επιχειρήσεων, ενώ οι τρεις νέες προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται για την κατανομή της ευθύνης για ένα προϊόν ή μιας υπηρεσίας.

Συνεχίζοντας με τη πρακτική χρήση όλων των παραπάνω κατανομών, παρατηρούνται κάποιες δυσχέρειες. Η μέθοδος των Gallego και Lenzen μειονεκτεί στο γεγονός ότι πρέπει να γίνει η επιλογή των ποσοστών ευθύνης της ενδιάμεσης ζήτησης και της τελικής ζήτησης. Θέτοντας κάποιο ισοκατανεμημένο ποσοστό ευθύνης της ενδιάμεσης και τελικής ζήτησης, παρατηρείται πως υπέρ-επιβαρύνεται ο αρχικός τομέας, σε περίπτωση που παράγει τις περισσότερες περιβαλλοντικές πιέσεις. Ο περιβαλλοντικός δείκτης του Rodrigues, πέρα από την πολυπλοκότητα της διαδικασίας υπολογισμού της κατανομής της ευθύνης, υπέρ – επιβαρύνει την παραγωγή αγαθών με πολλές περιβαλλοντικές πιέσεις, παρόλο που εξαγονται, ενώ αντίστοιχα ευνοεί τις χώρες που εισάγουν βιομηχανοποιημένα αγαθά. Αντίθετα, οι τρεις νέες προσεγγίσεις, είναι εύκολες σε χρήση, κατανέμουν ‘δίκαια’ τις ευθύνες των περιβαλλοντικών πιέσεων και επιπλέον η κάθε μία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάποιες ιδιαίζουσες περιπτώσεις. Για παράδειγμα, η κερδοβαρής κατανομή θα είναι ιδανική για να επιβαρύνει τους τομείς της παραγωγής σε κάποια κατάσταση αισχροκέρδειας ενάντια του καταναλωτή.



## Παράρτημα: Αναλυτικές εξισώσεις των τριών κατανομών

### Εξισώσεις Εμπροσθοβαρούς κατανομής

#### 1. Πρώτες ύλες:

$$P1 = C1.1 + C1.2 + NB1 = C1 + a1 \cdot C1 = (1 + a1) \cdot C1$$

$$CF1 \begin{cases} CF1^P = CF1 \cdot \frac{NB1}{P1} = CF1 \cdot \frac{a1 \cdot C1}{(1 + a1) \cdot C1} = CF1 \cdot \frac{a1}{1 + a1} \\ CF1^S = CF1 \cdot \frac{C1}{P1} = CF1 \cdot \left(1 - \frac{NB1}{P1}\right) = CF1 \cdot \frac{1}{1 + a1} \end{cases}$$

#### 2. Παραγωγή:

$$NB2 = a2 \cdot C2 = a2 \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a2 \cdot C2.2$$

$$P2 = P1 + C2.2 + NB2 = (1 + a1) \cdot C1 + C2.2 + a2 \cdot [(1 + a1) \cdot C1 + C2.2] \Leftrightarrow$$

$$P2 = (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + (1 + a2) \cdot C2.2$$

$$CF2.1 = CF1^S$$

$$CF2 = CF2.1 + CF2.2 = CF1^S + CF2.2$$

$$CF2 \begin{cases} CF2^P = CF2.2 \cdot \frac{NB2}{P2 - P1} = CF2.2 \cdot \frac{NB2}{P2 - P1} \\ CF2^S = CF2.2 \cdot \frac{C2.2}{P2 - P1} = CF2.2 \cdot \left(1 - \frac{NB2}{P2 - P1}\right) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} CF2^P = CF2.2 \cdot \frac{a2 \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a2 \cdot C2.2}{a2 \cdot (1 + a1) \cdot C1 + (1 + a2) \cdot C2.2} \\ CF2^S = CF2.2 \cdot \frac{C2.2}{a2 \cdot (1 + a1) \cdot C1 + (1 + a2) \cdot C2.2} \end{cases}$$

#### 3. Μεταφορά- Διανομή:

$$NB3 = a3 \cdot C3 = a3 \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a3 \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + a3 \cdot C3.2$$

$$P3 = P2 + C3.2 + NB3 = (a3 + 1)[(1 + a2)[(1 + a1)C1 + C2.2] + C3.2]$$

$$CF3 \begin{cases} CF3^P = CF3.3 \cdot \frac{NB3}{P3 - P2} \\ CF3^S = CF3.3 \cdot \frac{C3.2}{P3 - P2} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} CF3^P = CF3.3 \cdot \frac{a3 \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a3 \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + a3 \cdot C3.2}{a3 \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a3 \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + (1 + a3) \cdot C3.2} \\ CF3^S = CF3.3 \cdot \frac{C3.2}{a3 \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a3 \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + (1 + a3) \cdot C3.2} \end{cases}$$

#### 4. Πώληση:

$$C4 = C4.1 + C4.2 = P3 + C4.2$$

$$NB4 = a4 \cdot C4 = a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot C3.2 + a4 \cdot C4.2$$

$$P4 = P3 + C4.2 + NB4 = (a4 + 1)[(1 + a3)(1 + a2)(1 + a1)C1 + (1 + a3)(1 + a2)C2.2 + (1 + a3)C3.2 + C4.2]$$

$$CF4 \begin{cases} CF4^P = CF4.4 \cdot \frac{NB4}{P4 - P3} \\ CF4^S = CF4.4 \cdot \frac{C4.2}{P4 - P3} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$CF4^P = CF4.4 \cdot \frac{a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot C3.2 + a4 \cdot C4.2}{a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot C3.2 + (1 + a4) \cdot C4.2}$$

$$CF4^S = CF4.4 \cdot \frac{C4.2}{a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot C3.2 + (1 + a4) \cdot C4.2}$$

### 5. Χρήση:

$$CF_{\chi\rho\eta\sigma\eta\varsigma} = CF1 \cdot \frac{1}{1 + a1} + CF2.2 \cdot \frac{C2.2}{a2 \cdot (1 + a1) \cdot C1 + (1 + a2) \cdot C2.2} + CF3.3 \cdot \frac{C3.2}{a3 \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a3 \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + (1 + a3) \cdot C3.2} + CF4.4 \cdot \frac{C4.2}{a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot C3.2 + (1 + a4) \cdot C4.2}$$

## Εξισώσεις Κεντροβαρούς κατανομής

### 1. Πρώτες ύλες

$$CF1 \begin{cases} CF1^P = CF1 \cdot \frac{NB1}{P1} = CF1 \cdot \frac{a1 \cdot C1}{(1 + a1) \cdot C1} = CF1 \cdot \frac{a1}{1 + a1} \\ CF1^S = CF1 \cdot \frac{C1}{P1} = CF1 \cdot \left(1 - \frac{NB1}{P1}\right) = CF1 \cdot \frac{1}{1 + a1} \end{cases}$$

### 2. Παραγωγή

$$\frac{NB2}{P2} = \frac{a2 \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a2 \cdot C2.2}{(1 + a2)[(1 + a1) \cdot C1 + C2.2]} = \frac{a2}{1 + a2}$$

$$\frac{NB2}{P2 - P1} = \frac{a2 \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a2 \cdot C2.2}{a2 \cdot (1 + a1) \cdot C1 + (1 + a2) \cdot C2.2}$$

$$CF2.1 = CF1^S$$

$$CF2 = CF2.1 + CF2.2 = CF1^S + CF2.2$$

$$CF2 \begin{cases} CF2^P = CF1^S \cdot \frac{NB2}{P2} + CF2.2 \cdot \frac{NB2}{P2-P1} = CF1 \cdot \left(1 - \frac{NB1}{P1}\right) \cdot \frac{NB2}{P2} + CF2.2 \cdot \frac{NB2}{P2-P1} \\ CF2^S = CF1^S \cdot \frac{P2-NB2}{P2} + CF2.2 \cdot \frac{C2.2}{P2-P1} = CF1 \cdot \left(1 - \frac{NB1}{P1}\right) \cdot \left(1 - \frac{NB2}{P2}\right) + CF2.2 \cdot \left(1 - \frac{NB2}{P2-P1}\right) \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} CF2^P = CF1 \cdot \frac{1}{1+a1} \cdot \frac{a2}{1+a2} + CF2.2 \cdot \frac{a2 \cdot (1+a1) \cdot C1 + a2 \cdot C2.2}{a2 \cdot (1+a1) \cdot C1 + (1+a2) \cdot C2.2} \\ CF2^S = CF1 \cdot \frac{1}{1+a1} \cdot \frac{1}{1+a2} + CF2.2 \cdot \frac{C2.2}{a2 \cdot (1+a1) \cdot C1 + (1+a2) \cdot C2.2} \end{cases}$$

### 3. Μεταφορά – Διανομή

$$NB3 = a3 \cdot C3 = a3 \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a3 \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + a3 \cdot C3.2$$

$$P3 = P2 + C3.2 + NB3 = (a3 + 1)[(1 + a2)(1 + a1)C1 + C2.2] + C3.2$$

$$CF3 \begin{cases} CF3^P = CF2^S \cdot \frac{NB3}{P3} + CF3.3 \cdot \frac{NB3}{P3-P2} \\ CF3^S = CF2^S \cdot \frac{P3-NB3}{P3} + CF3.3 \cdot \frac{C3.2}{P3-P2} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} CF3^P = \left[CF1 \cdot \frac{1}{1+a1} \cdot \frac{a2}{1+a2} + CF2.2 \cdot \frac{C2.2}{a2 \cdot (1+a1) \cdot C1 + (1+a2) \cdot C2.2}\right] \cdot \frac{a3}{1+a3} + CF3.3 \cdot \frac{a3 \cdot (1+a2) \cdot (1+a1) \cdot C1 + a3 \cdot (1+a2) \cdot C2.2 + a3 \cdot C3.2}{a3 \cdot (1+a2) \cdot (1+a1) \cdot C1 + a3 \cdot (1+a2) \cdot C2.2 + (1+a3) \cdot C3.2} \\ CF3^S = \left[CF1 \cdot \frac{1}{1+a1} \cdot \frac{1}{1+a2} + CF2.2 \cdot \frac{C2.2}{a2 \cdot (1+a1) \cdot C1 + (1+a2) \cdot C2.2}\right] \cdot \frac{1}{1+a3} + CF3.3 \cdot \frac{C3.2}{a3 \cdot (1+a2) \cdot (1+a1) \cdot C1 + a3 \cdot (1+a2) \cdot C2.2 + (1+a3) \cdot C3.2} \end{cases}$$

### 4. Πώληση

$$NB4 = a4 \cdot C4 = a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot (1 + a1) \cdot C1 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot (1 + a2) \cdot C2.2 + a4 \cdot (1 + a3) \cdot C3.2 + a4 \cdot C4.2$$

$$P4 = P3 + C4.2 + NB4 = (a4 + 1)[(1 + a3)(1 + a2)(1 + a1)C1 + (1 + a3)(1 + a2)C2.2 + (1 + a3)C3.2 + C4.2]$$

$$CF4 \begin{cases} CF4^P = CF3^S \cdot \frac{NB4}{P4} + CF4.4 \cdot \frac{NB4}{P4-P3} \\ CF4^S = CF3^S \cdot \frac{P4-NB4}{P4} + CF4.4 \cdot \frac{C4.2}{P4-P3} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$CF4^P = \left\{ \left[CF1 \cdot \frac{1}{1+a1} \cdot \frac{a2}{1+a2} + CF2.2 \cdot \frac{a2 \cdot (1+a1) \cdot C1 + a2 \cdot C2.2}{a2 \cdot (1+a1) \cdot C1 + (1+a2) \cdot C2.2}\right] \cdot \frac{a3}{1+a3} + CF3.3 \cdot \frac{a3 \cdot (1+a2) \cdot (1+a1) \cdot C1 + a3 \cdot (1+a2) \cdot C2.2 + a3 \cdot C3.2}{a3 \cdot (1+a2) \cdot (1+a1) \cdot C1 + a3 \cdot (1+a2) \cdot C2.2 + (1+a3) \cdot C3.2} \right\} \cdot \frac{a4}{1+a4} + CF4.4 \cdot \frac{a4 \cdot (1+a3) \cdot (1+a2) \cdot (1+a1) \cdot C1 + a4 \cdot (1+a3) \cdot (1+a2) \cdot C2.2 + a4 \cdot (1+a3) \cdot C3.2 + a4 \cdot C4.2}{a4 \cdot (1+a3) \cdot (1+a2) \cdot (1+a1) \cdot C1 + a4 \cdot (1+a3) \cdot (1+a2) \cdot C2.2 + a4 \cdot (1+a3) \cdot C3.2 + (1+a4) \cdot C4.2}$$

$$CF4^S = \left\{ \left[ CF1 \cdot \frac{1}{1+\alpha_1} \cdot \frac{1}{1+\alpha_2} + CF2.2 \cdot \frac{C2.2}{\alpha_2 \cdot (1+\alpha_1) \cdot C1 + (1+\alpha_2) \cdot C2.2} \right] \cdot \frac{1}{1+\alpha_3} + CF3.3 \cdot \frac{C3.2}{\alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1) \cdot C1 + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) \cdot C2.2 + (1+\alpha_3) \cdot C3.2} \right\} \cdot \frac{1}{1+\alpha_4} + CF4.4 \cdot \frac{1}{1+\alpha_4}$$

$$\frac{1}{\alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1) \cdot C1 + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2) \cdot C2.2 + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot C3.2 + (1+\alpha_4) \cdot C4.2} = CF_{\text{ΧΡΗΣΗΣ}}$$

## Εξισώσεις Οπισθοβαρούς κατανομής

### 1. Πρώτες ύλες

$$CF1^P = CF1 \cdot \frac{NB1}{NB1+NB2+NB3+NB4} \leftrightarrow$$

$$CF1^P = (CF1.1 + CF1.2) \cdot \frac{\alpha_1 \cdot C1}{[\alpha_1 + \alpha_2 \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1)] \cdot C1 + [\alpha_2 + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2)] \cdot C2.2 + [\alpha_3 + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3)] \cdot C3.2 + \alpha_4 \cdot C4.2}$$

$$CF1^S = CF1 \cdot \frac{NB2 + NB3 + NB4}{NB1 + NB2 + NB3 + NB4} \leftrightarrow$$

$$CF1^S = (CF1.1 + CF1.2) \cdot \frac{[\alpha_2 \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1)] \cdot C1 + [\alpha_2 + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2)] \cdot C2.2 + [\alpha_3 + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3)] \cdot C3.2 + \alpha_4 \cdot C4.2}{[\alpha_1 + \alpha_2 \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1)] \cdot C1 + [\alpha_2 + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2)] \cdot C2.2 + [\alpha_3 + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3)] \cdot C3.2 + \alpha_4 \cdot C4.2}$$

### 2. Παραγωγή

$$CF2^P = CF2 \cdot \frac{NB2}{NB1+NB2+NB3+NB4} \leftrightarrow$$

$$CF2^P = (CF1^S + CF2.2) \cdot \frac{\alpha_2 \cdot (1+\alpha_1) \cdot C1 + \alpha_2 \cdot C2.2}{[\alpha_1 + \alpha_2 \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1)] \cdot C1 + [\alpha_2 + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2)] \cdot C2.2 + [\alpha_3 + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3)] \cdot C3.2 + \alpha_4 \cdot C4.2} \leftrightarrow$$

$$CF2^P = (CF1.1 + CF1.2) \cdot \frac{[\alpha_2 \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1)] \cdot C1 + [\alpha_2 + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2)] \cdot C2.2 + [\alpha_3 + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3)] \cdot C3.2 + \alpha_4 \cdot C4.2}{[\alpha_1 + \alpha_2 \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1)] \cdot C1 + [\alpha_2 + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2)] \cdot C2.2 + [\alpha_3 + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3)] \cdot C3.2 + \alpha_4 \cdot C4.2} + CF2.2 \cdot \frac{\alpha_2 \cdot (1+\alpha_1) \cdot C1 + \alpha_2 \cdot C2.2}{[\alpha_1 + \alpha_2 \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2) \cdot (1+\alpha_1)] \cdot C1 + [\alpha_2 + \alpha_3 \cdot (1+\alpha_2) + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3) \cdot (1+\alpha_2)] \cdot C2.2 + [\alpha_3 + \alpha_4 \cdot (1+\alpha_3)] \cdot C3.2 + \alpha_4 \cdot C4.2}$$

$$CF2^S = CF2 \cdot \frac{NB1+NB3+NB4}{NB1+NB2+NB3+NB4} \leftrightarrow$$

$$CF2^S = (CF1^S + CF2.2) \cdot \frac{[\alpha1+\alpha3 \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1)] \cdot C1 + [\alpha3 \cdot (1+\alpha2) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot (1+\alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2}{[\alpha1 + \alpha2 \cdot (1+\alpha1) + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1)] \cdot C1 + [\alpha2 + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot (1+\alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2} \leftrightarrow$$

$$CF2^S = (CF1.1 + CF1.2) \cdot \frac{[\alpha2 \cdot (1+\alpha1) + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1)] \cdot C1 + [\alpha2 + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot (1+\alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2}{[[\alpha1 + \alpha2 \cdot (1+\alpha1) + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1)] \cdot C1 + [\alpha2 + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot (1+\alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2]^2} \cdot$$

$$[[\alpha1 + \alpha3 \cdot (1 + \alpha2) \cdot (1 + \alpha1) + \alpha4 \cdot (1 + \alpha3) \cdot (1 + \alpha2) \cdot (1 + \alpha1)] \cdot C1 + [\alpha3 \cdot (1 + \alpha2) + \alpha4 \cdot (1 + \alpha3) \cdot (1 + \alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot (1 + \alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2 +$$

$$CF2.2 \cdot \frac{[\alpha1 + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1)] \cdot C1 + [\alpha3 \cdot (1+\alpha2) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot (1+\alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2}{[\alpha1 + \alpha2 \cdot (1+\alpha1) + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1)] \cdot C1 + [\alpha2 + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot (1+\alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2}$$

**3. Μεταφορά - Διανομή**

$$CF3^P = CF3 \cdot \frac{NB3}{NB1+NB2+NB3+NB4} \leftrightarrow$$

$$CF3^P = (CF2^S + CF3.3) \cdot \frac{\alpha3 \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1) \cdot C1 + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) \cdot C2.2 + \alpha3 \cdot C3.2}{[\alpha1 + \alpha2 \cdot (1+\alpha1) + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1)] \cdot C1 + [\alpha2 + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot (1+\alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2} \leftrightarrow$$

$$CF3^P = (CF1.1 + CF1.2) \cdot \frac{[\alpha2 \cdot (1+\alpha1) + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1)] \cdot C1 + [\alpha2 + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot (1+\alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2}{[[\alpha1 + \alpha2 \cdot (1+\alpha1) + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1)] \cdot C1 + [\alpha2 + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot (1+\alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2]^3} \cdot$$

$$[[\alpha1 + \alpha3 \cdot (1 + \alpha2) \cdot (1 + \alpha1) + \alpha4 \cdot (1 + \alpha3) \cdot (1 + \alpha2) \cdot (1 + \alpha1)] \cdot C1 + [\alpha3 \cdot (1 + \alpha2) + \alpha4 \cdot (1 + \alpha3) \cdot (1 + \alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot (1 + \alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2 \cdot \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot 1 + \alpha1 \cdot C1 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot C2.2 + \alpha3 \cdot C3.2 + CF2.2 \cdot \alpha1 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot 1 + \alpha1 + \alpha4 \cdot 1 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot 1 + \alpha1 \cdot C1 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 + \alpha4 \cdot 1 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot 1 + \alpha3] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2 \cdot \alpha1 + \alpha2 \cdot 1 + \alpha1 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot 1 + \alpha1 + \alpha4 \cdot 1 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot 1 + \alpha1 \cdot C1 + \alpha2 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 + \alpha4 \cdot 1 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot C2.2 + \alpha3 + \alpha4 \cdot 1 + \alpha3 \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2 \cdot \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot 1 + \alpha1 \cdot C1 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot C2.2 + \alpha3 \cdot C3.2 + CF3.3 \cdot \alpha3 \cdot (1 + \alpha2) \cdot (1 + \alpha1) \cdot C1 + \alpha3 \cdot (1 + \alpha2) \cdot C2.2 + \alpha3 \cdot C3.2 \cdot \alpha1 + \alpha2 \cdot 1 + \alpha1 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot 1 + \alpha1 + \alpha4 \cdot 1 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot 1 + \alpha1 \cdot C1 + \alpha2 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 + \alpha4 \cdot 1 + \alpha3 \cdot 1 + \alpha2 \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot 1 + \alpha3] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2$$

$$CF3^S = CF3 \cdot \frac{NB1+NB2+NB4}{NB1+NB2+NB3+NB4} \leftrightarrow$$

$$CF3^S = (CF2^S + CF3.3) \cdot \frac{[\alpha1 + \alpha2 \cdot (1+\alpha1) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1)] \cdot C1 + [\alpha2 + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha4 \cdot (1+\alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2}{[\alpha1 + \alpha2 \cdot (1+\alpha1) + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2) \cdot (1+\alpha1)] \cdot C1 + [\alpha2 + \alpha3 \cdot (1+\alpha2) + \alpha4 \cdot (1+\alpha3) \cdot (1+\alpha2)] \cdot C2.2 + [\alpha3 + \alpha4 \cdot (1+\alpha3)] \cdot C3.2 + \alpha4 \cdot C4.2} \leftrightarrow$$





## Βιβλιογραφία

1. James R. Fleming (1999), "Joseph Fourier, the 'greenhouse effect', and the quest for a universal theory of terrestrial temperatures", *Elsevier Science*
2. Crawford E. (1997), "Arrhenius' 1896 Model of the greenhouse effect in context", *Allen Press*
3. Οδηγία 2003/87/ΕΚ, "Θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας και τροποποίηση της οδηγίας 96/61/ΕΚ"
4. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
5. [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
6. Roldan V. (2011), "Design a four – cylinder internal combustion engine"
7. Reay D., Hewitt C.N., Smith K., Grace J. (2007), "Greenhouse gas sinks"
8. [www.econews.gr](http://www.econews.gr)
9. Kyoto protocol to the United Nation Framework Convention on Climate Change
10. [www.energyformayors.eu](http://www.energyformayors.eu)
11. Wackernagel M., Rees W. (1996), "Our ecological footprint"
12. [www.eureapa.net](http://www.eureapa.net)
13. Wiedmann T., Minx J. (2008), "A Definition of 'Carbon Footprint'", *Ecological Economics Research Trends*
14. Οδηγία 2000/60/ΕΚ, "Θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων"
15. CIS-WG2. B (2004), Drafting group eco 1, information sheet on assessment of the recovery of costs for water services for the 2004 river basin characterization report
16. Cabrera E.M., Pardo M.A., Cobacho R., Cabrera E.Jr. (2010), "Energy audit of water networks", *Journal of water resources planning and management*
17. Leontief W. (1985), "Input – output economics", *Oxford University Press*
18. Miller R.E, Blair P.D. (1985), "Input – output analysis: foundations and extensions", *Prentice – Hall*
19. Peters G. (2010), "Carbon footprints and embodied carbon at multiple scales", *ScienceDirect*
20. Szyrmer J. (1992), "Input–output coefficients and multipliers from a total-flow perspective", *Environment and Planning*
21. Gallego B., Lenzen M. (2005), "A consistent input-output formulation of shared producer & consumer responsibility", *Economic Systems Research*
22. Rodrigues J., Domingosa T., Giljum S., Schneider F. (2006), "Designing an indicator of environmental responsibility", *Ecological Economic*



23. Ferng J. (2009), “Applying input – output analysis of ecological footprints”, *Ecological Economic*
24. Rodrigues J., Domingos T., (2007), “Consumer and producer environmental responsibility”, *Ecological Economic*
25. Lenzen M., Murray J., Fabian S., Wiedmann T., (2006), “Shared producer and consumer responsibility – Theory”, *Ecological Economic*