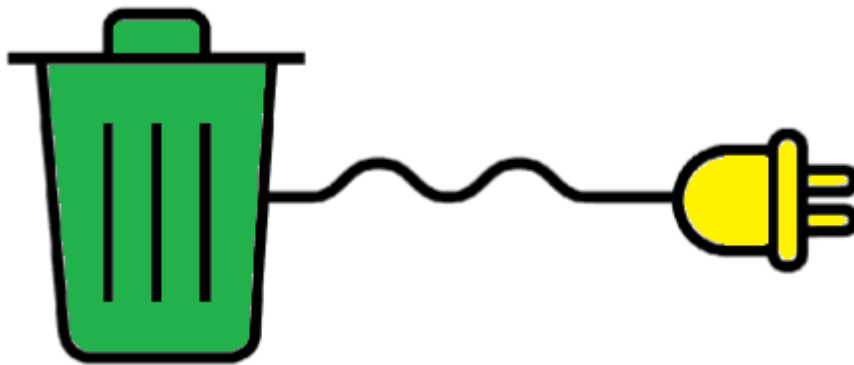




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Μετατροπή υφιστάμενου λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση απορριμματογενούς καυσίμου



Φοιτητής: Κουκόπουλος Βασίλειος
ΑΜ: 483 44200

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος, Καθηγητής

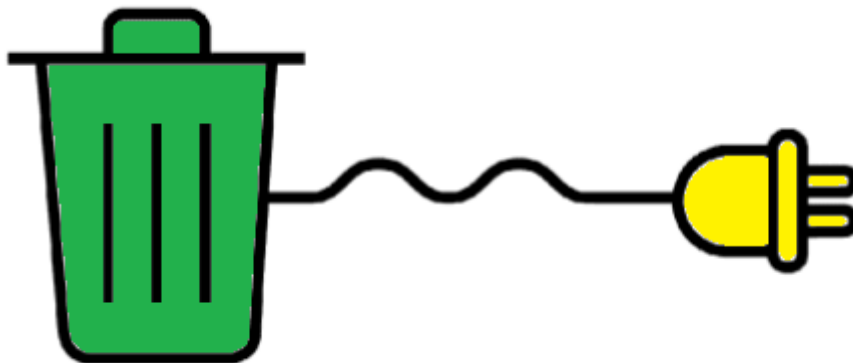
ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, [ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021]



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Conversion of an existing lignite power plant into a power plant using fuel of municipal solid waste



Student: Koukopoulos Vasileios
Registration Number: 483 44200

Supervisor

Dr Psomopoulos Konstantinos, Professor

ATHENS-EGALEO, [October 2021]

Μετατροπή υφιστάμενου λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση απορριμματογενούς καυσίμου

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Κ.Σ. Ψωμόπουλος, Καθηγητής	Ν. Μανουσάκης, Επικ. Καθηγητής	Κ. Καλκάνης, Επικ. Καθηγητής
[Υπογραφή]	[Υπογραφή]	[Υπογραφή]

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Κουκόπουλος Βασίλειος, Οκτώβριος, 2021

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η του....., με αριθμό μητρώου φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος/ουσας καθηγητή/ήτριας.»

Ο/Η Δηλών/ούσα

[Ονοματεπώνυμο φοιτητή]

[Υπογραφή φοιτητή]

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μου, κύριο Κωνσταντίνο Ψωμόπουλο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα, την επιστημονική του καθοδήγηση και τις υποδείξεις του.

Επιπλέον, ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κύριο Στάθη Κυρίακη για την υποστήριξή του και την βοήθειά του κατά την διάρκεια την διαδικασίας.

Τέλος, μέσα από την κάρδια μου εκφράσω την ευγνωμοσύνη στην οικογένειά μου για την συμπαράστασή τους.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στην εξέλιξη του τομέα της ενέργειας και το πως θα επωφεληθεί το περιβάλλον. Στόχος είναι να γίνει παρουσίαση των υφιστάμενων τεχνικών για την διαδικασία της παραγωγής της ενέργειας, τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ευρώπη, από την εκμετάλευση των απορριμματογενών καυσίμων. Επιπροσθέτως η παρούσα εργασία εστιάζει και στον τρόπο που θα επιτευχθεί η χρήση τους μέσω της μετατροπής των υφιστάμενων λιγνιτικών σταθμών σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας με τη χρήση του συγκεκριμένου καυσίμου. Η αρχή γίνεται με την ηλεκτροπαραγωγή της καύσης ενεργού άνθρακα, κυρίως με την μορφή του λιγνίτη, όπου παρουσιάζεται και αναλύεται η σύστασή του, το κόστος του και οι επιπτώσεις που προκαλεί. Αρνητικό ρόλο στο ενεργειακό του αντίκτυπο έχουν οι εκπομπές των αερίων που απελευθερώνονται, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το διοξείδιο του θείου (SO₂) και τα οξειδία του αζώτου (NO_x), ενώ και άλλες εκπομπές που αναφέρονται είναι από τα βαρέα μέταλλα και τις επιπτώσεις κυρίως του υδραργύρου (Hg). Ο λιγνίτης συμβάλλει ενεργά με αρνητικές συνέπειες στην κλιματική αλλαγή με ό,τι αυτό συνεπάγεται. Από το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την συμβολή του για την τρύπα του όζοντος, στην υπερβολική κατανάλωση νερού και γης μέχρι και τις επιπτώσεις στην υγεία κάθε έμβιου οργανισμού. Εκπέμπει στην ατμόσφαιρα τεράστια ποσά αέριων ρύπων από την καύση του, που η φύση αδυνατεί να τα αντιμετωπίσει. Στη συνέχεια της εργασίας γίνεται αναφορά στη διαχείριση των απορριμμάτων και την εκμετάλλευση που δέχονται ως πόρος για την δημιουργία απορριμματογενούς καυσίμου ικανό να αντικαταστήσει τον λιγνίτη κατά την παραγωγή ενέργειας. Παρουσιάζονται οι τεχνικές ανάκτησης, επεξεργασίας και παραγωγής του καυσίμου, καθώς δίνεται και η εικόνα που επικρατεί σε Ελλάδα και Ευρώπη για το εν λόγω καύσιμο. Με το ενεργειακό αντίκτυπο του καυσίμου να έχει ιδιαίτερη σημασία όσον αφορά κυρίως τις εκπομπές των αέριων ρύπων και των βαρέων μετάλλων κατά την καύση του. Τέλος, περιγράφονται οι τεχνολογίες και ο τρόπος με τον οποίο αξιοποιούνται τα καύσιμα, λιγνίτης και απορριμματογενές καύσιμο αντίστοιχα. Καθώς ολοκληρώνεται η αναφορά των υπαρχόντων τεχνικών εκμετάλλευσης, γίνεται σύγκριση και παρουσιάζεται η ανάλυση S.W.O.T. για το καύσιμο που προέρχεται από τα αστικά στερεά απόβλητα. Η παρούσα ανάλυση συγκεντρώνει τα θετικά και τα αρνητικά στοιχεία, τις ευκαιρίες και τις τυχόν απειλές που θα προκύψουν κατά την αξιοποίηση του καυσίμου στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Λέξεις – κλειδιά

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, λιγνίτης, απορριμματογενές καύσιμο, μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων, μονάδες βιολογικής επεξεργασίας, αστικά στερεά απόβλητα, ανάλυση S.W.O.T.

Abstract

The thesis refers to the development of the energy sector and how it will benefit the environment. The aim is to present the existing techniques for the process of energy production, both in Greece and in Europe, from the exploitation of waste fuels. In addition, the present work focuses on how to achieve their use through the conversion of existing lignite power plants into power plants using this fuel. The beginning is made with the electric generation of the combustion of activated carbon, mainly in the form of lignite, where its composition is presented and analyzed, its cost and the effects it causes. Emissions of gases released, such as carbon dioxide (CO₂), sulfur dioxide (SO₂) and nitrogen oxides (NO_x), play a negative role in its energy impact, while other emissions reported are from heavy metals. and the effects mainly of mercury (Hg). Lignite actively contributes to the negative effects of climate change with all that entails. From the greenhouse effect and its contribution to the ozone hole, to the excessive consumption of water and land to the effects on the health of every living organism. It emits huge amounts of gaseous pollutants into the atmosphere from its combustion, which nature is unable to deal with. In the continuation of the work, reference is made to the management of waste and the exploitation that they accept as a resource for the creation of waste fuel capable of replacing lignite during energy production. The techniques of recovery, processing and production of fuel are presented, as well as the picture that prevails in Greece and Europe for this fuel. With the energy impact of the fuel being particularly important in terms of emissions of gaseous pollutants and heavy metals during combustion. Finally, the technologies and the way in which the fuels are used, lignite and waste fuel respectively are described. As the report of the existing exploitation techniques is completed, a comparison is made and the S.W.O.T. analysis for fuel derived from municipal solid waste. The present analysis summarizes the positive and negative elements, opportunities and possible threats that will arise during the utilization of fuel in the production of electricity.

Keywords

Electricity generation, lignite, waste fuel, waste treatment plants, biological treatment plants, municipal solid waste, S.W.O.T. analysis

Κατάλογος Πινάκων.....	9
Κατάλογος Εικόνων.....	10
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 Ιστορική ανασκόπηση της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	11
1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	12
1.3 Μετά-λιγνιτική εποχή.....	13
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Ηλεκτροπαραγωγή από λιγνίτη.....	17
2.1 Υφιστάμενη κατάσταση.....	17
2.1.1 Λιγνίτης: Κοιτάσματα, αποθέματα, ποιότητα.....	17
2.1.2 Ηλεκτροπαραγωγή από καύση άνθρακα σε Ελλάδα & Ευρώπη.....	18
2.1.3 Κόστος ηλεκτροπαραγωγής από καύση άνθρακα σε Ελλάδα & Ευρώπη.....	20
2.1.4 Σχέση λιγνίτη με το περιβάλλον.....	21
2.2 Ενεργειακό αντίκτυπο λιγνίτη.....	24
2.2.1 Γενική αναφορά προβλημάτων.....	24
2.2.1.1 Αέρια θερμοκηπίου.....	26
2.2.1.2 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).....	27
2.2.1.3 Εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x), διοξειδίου του θείου (SO₂) και μικροσωματιδίων (PM).....	30
2.2.1.4 Εκπομπές από βαρέα μέταλλα.....	34
2.2.1.5 Καταναλώσεις νερού.....	37
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Διαχείριση αποβλήτων & απορριμματογενούς καυσίμου.....	38
3.1 Υπάρχουσα κατάσταση σε Ελλάδα & Ευρώπη.....	38
3.2 Αξιοποίηση απορριμμάτων σε Ελλάδα & Ευρώπη.....	42
3.3 Μονάδες παραγωγής απορριμματογενούς καυσίμου.....	45
3.4 Τεχνικές ανάκτησης ενέργειας.....	50
3.5 Ενεργειακό αντίκτυπο απορριμματογενούς καυσίμου.....	54
3.5.1 Επιπτώσεις στο περιβάλλον.....	54
3.5.2 Εκπομπές ρύπων.....	55
3.5.2.1 Εκπομπές αέριων ρύπων.....	57
3.5.2.2 Εκπομπές από βαρέα μέταλλα.....	61
3.5.2.3 Εκπομπές από Χ.Υ.Τ.Α.....	62
3.5.3 Κόστος παραγωγής ενέργειας από απόβλητα.....	63
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Μετατροπή λιγνιτικής μονάδας σε μονάδα καύσης απορριμματογενούς καυσίμου.....	65
4.1 Περιγραφή τεχνολογίας λιγνιτικής μονάδας.....	65
4.2 Περιγραφή τεχνολογίας καύσης απορριμματογενούς καυσίμου.....	69
4.3 Σύγκριση τεχνολογιών.....	75
5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : S.W.O.T ανάλυση απορριμματογενούς καυσίμου.....	77
6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	80
Βιβλιογραφία-Αναφορές-Διαδικτυακές Πηγές.....	83

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1	Παγκόσμια Κατάταξη Εξόρυξης Λιγνίτη (2013) [4].....	11
Πίνακας 1.2	Συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα (ktoe) [7].....	12
Πίνακας 1.3	Ποσοστό παραγωγής καυσίμων στην Ε.Ε.-28 [7].....	14
Πίνακας 1.4	Καύσιμα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε.-28 [7].....	14
Πίνακας 2.1	Εξόρυξη λιγνίτη στην Ελλάδα [4].....	17
Πίνακας 2.2	Καύσιμα στην ηλεκτροπαραγωγή (Ευρώπη, 2017) [14].....	18
Πίνακας 2.3	Κόστος εξόρυξης λιγνίτη [4].....	19
Πίνακας 2.4	Συνολική συνεισφορά εκπομπών [12].....	23
Πίνακας 2.5	Ποσοστό μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με το 1990 στην Ε.Ε.-28 [26].....	26
Πίνακας 2.6	Μέσος ετήσιος όρος εκπομπών CO ₂ των λιγνιτικών μονάδων, 2005-2017 [27].....	27
Πίνακας 2.7	Ετήσιο ποσοστό εκπομπών CO ₂ στην Ε.Ε.-28 [6].....	28
Πίνακας 2.8	Ετήσιες εκπομπές CO ₂ ανά παγκόσμια περιοχή [28].....	29
Πίνακας 2.9	Εκπομπές SO ₂ και NO _x από μονάδες παραγωγής ενέργειας (Εκ. τόνους) [23].....	30
Πίνακας 2.10	Μέση εκπεμπόμενη ποσότητα NO _x των λιγνιτικών μονάδων, 2012-2016 [27].....	31
Πίνακας 2.11	Μέση εκπεμπόμενη ποσότητα SO ₂ των λιγνιτικών μονάδων, 2012-2016 [27].....	32
Πίνακας 2.12	Μέση εκπεμπόμενη ποσότητα σωματιδίων των λιγνιτικών μονάδων, 2012-2016 [27].....	33
Πίνακας 2.13	Μέση εκπεμπόμενη ποσότητα Hg των λιγνιτικών μονάδων, 2007-2016 [27].....	35
Πίνακας 3.1	Μέθοδοι επεξεργασίας MSW στην Ευρωπαϊκή Ένωση πηγή: Confederation of European Waste-to-Energy Plants, Απρίλιος 2019 [36].....	38
Πίνακας 3.2	Συνολική και αποτεφρωμένη ποσότητα MSW σε ευρωπαϊκές χώρες [35].....	39
Πίνακας 3.4	Διαχείριση και επεξεργασία αποβλήτων, Ε.Ε.-27, 2000-2018 (εκατομμύρια τόνοι) [6].....	41
Πίνακας 3.5	Διαχωρισμός τάξεων του καυσίμου τύπου SRF [42].....	42
Πίνακας 3.9	Ροές εισόδου και εξόδου σε μονάδα MBT και η σύνθεση του παραγόμενου RDF [35].....	46
Πίνακας 3.10	Εύρη τιμών για RDF [41].....	48
Πίνακας 3.11	Εύρη τιμών για SRF [41].....	48
Πίνακας 3.12	Παραγωγή SRF από ευρωπαϊκές χώρες [45].....	49
Πίνακας 3.14	Λειτουργικές λεπτομέρειες κατά τη διαδικασία θερμικής μετατροπής [37].....	51
Πίνακας 3.15	Ποσοστά τέφρας (% κ.β.) μετά τη θερμική επεξεργασία των MSW [39].....	51
Πίνακας 3.16	Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στη διαχείριση αποβλήτων, Ε.Ε.-27 (εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου CO ₂) [6].....	55
Πίνακας 3.17	Εκπομπές CO ₂ από την καύση διαφορετικών καυσίμων [50].....	56
Πίνακας 3.18	Εκπομπές αέριων ρύπων [39].....	57
Πίνακας 3.19	Εκπομπές NO _x κατά την καύση βιόμαζας [52].....	59
Πίνακας 3.20	Αποδοτικότητα φίλτρου NO _x [52].....	59
Πίνακας 3.21	Αέριες εκπομπές από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [53].....	60
Πίνακας 3.22	Εκπομπές βαρέων μετάλλων και τέφρας [39].....	61
Πίνακας 3.23	Ενδεικτικές τιμές από κόστη κατά τη λειτουργία της αποτέφρωσης [47].....	63
Πίνακας 6.1	Σύγκριση ορυκτών καυσίμων με Α.Σ.Α. και SRF [35, 41, 48].....	80
Πίνακας 6.2	Τυπικές τιμές εκπομπών αερίων από καύσιμα σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας [59].....	81
Πίνακας 6.3	Απαραίτητες αλλαγές σε μονάδες παραγωγής ενέργειας για χρήση απορριμματογενούς καυσίμου.....	82

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 3.3	Μονάδες WTE στην Ευρώπη (μπλε αριθμοί) και οι ετήσιες ποσότητες MSW (κόκκινοι αριθμοί) που υποβλήθηκαν σε θερμική επεξεργασία (Mt/y) [36].....	40
Εικόνα 3.6	Ιεραρχία Απορριμμάτων σύμφωνα με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης [43].....	43
Εικόνα 3.7	Σχηματικό πίνακας για παραγωγή RDF από MBT μονάδα [34, 41].....	45
Εικόνα 3.8	Σχηματικό πίνακας για παραγωγή SRF μέσω βιολογικής ξήρανσης [41].....	46
Εικόνα 3.13	Τεχνικές ανάκτησης ενέργειας από MSW [37].....	50
Εικόνα 4.1	Σύστημα κινούμενης εσχάρας για καύση άνθρακα [55].....	65
Εικόνα 4.2	Σύστημα επικλινής εσχάρας τροφοδότησης του κλιβάνου [55].	66
Εικόνα 4.3	Μονάδα αποτέφρωσης αποβλήτων με ανάκτηση θερμότητας ή ενέργειας [50].....	69
Εικόνα 4.4	Τυπική μονάδα αποτέφρωσης Α.Σ.Α. με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [39].....	70
Εικόνα 4.5	Μηχανικές κινούμενες εσχάρες για αποτέφρωση αστικών στερεών απορριμμάτων [38].....	70
Εικόνα 4.6	Σχηματικό πίνακας της σταδιακής καύσης Α.Σ.Α σε οριζόντια σχάρα [53].....	71
Εικόνα 4.7	Μονάδα παραγωγής ενέργειας αποκλειστικά με καύση Α.Σ.Α. [45].	72
Εικόνα 4.8	Διαδικασία αποτέφρωσης αστικών στερεών αποβλήτων [43].....	73

1 Εισαγωγή

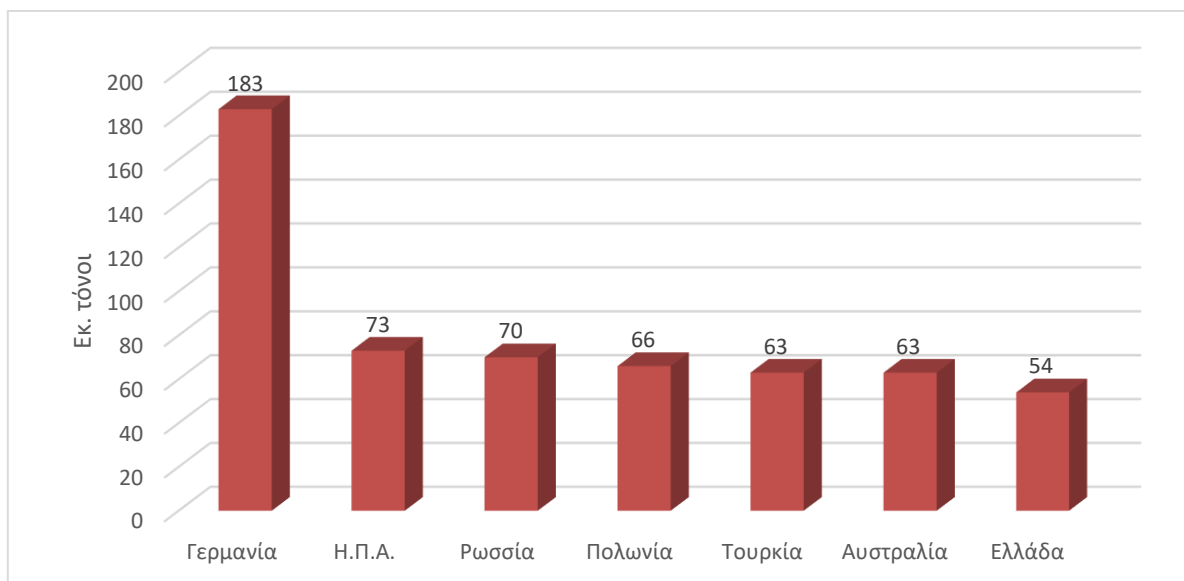
1.1 Ιστορική ανασκόπηση της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

Με τον ηλεκτρισμό να πρωτοεμφανίζεται στην Ελλάδα το 1889, η «Γενική Εταιρεία Εργοληψιών» κατασκεύασε την πρώτη ηλεκτρική μονάδα παραγωγής ενέργειας στη Αθήνα, ενώ την ίδια χρονιά λίγο αργότερα ηλεκτροδοτήθηκε και η Θεσσαλονίκη. Ύστερα από μια δεκαετία οι πρώτες πολυεθνικές εταιρείες που σχετίζονταν με τον ηλεκτρισμό άρχισαν να στρέφονται προς την Ελλάδα και με την υποστήριξη της Εθνικής Τράπεζας ιδρύουν την «Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρεία» [1]. Εκμεταλλευόμενοι την πρώτη ύλη και τα άφθονα λιγνιτικά κοιτάσματα της χώρας μας, η ετήσια παραγωγή ανήλθε στους 23.000 τόνους (1922) και διατηρήθηκε σε αυτά τα επίπεδα έως το 1927, όπου και διακόπηκε για οικονομικούς λόγους [2].

Στις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδας, που ήταν οικονομικά ασύμφορο να κατασκευαστούν μονάδες ενέργειας, την ηλεκτροδότηση είχαν αναλάβει είτε οι ιδιώτες είτε οι δημοτικές αρχές, κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια. Χρησιμοποιούσαν ως πρώτη ύλη για καύσιμα το πετρέλαιο και τον γαιάνθρακα, τα οποία ερχόντουσαν από εισαγωγές του εξωτερικού. Αυτό και σε συνδυασμό με τις 400 μικρές εταιρίες που υπήρχαν έφερε την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο τριπλάσιο μέχρι και πενταπλάσιο των τιμών που ίσχυαν στις άλλες ευρωπαϊκές χώρες εκείνη την εποχή. Ήταν ένα αγαθό πολυτελείας που αντιμετώπιζε βέβαια αρκετά προβλήματα όπως οι συχνές διακοπές και το συγκεκριμένο ωράριο λειτουργίας [1].

Το 1950 ιδρύθηκε η Δ.Ε.Η. Α.Ε., αμέσως στράφηκε προς την αξιοποίηση των εγχώριων πρωτογενών πηγών ενέργειας ενώ ξεκίνησε και την διαδικασία ενοποίησης των δικτύων μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Εκμεταλλεύτηκε τα πλούσια κοιτάσματα λιγνίτη του ελληνικού υπεδάφους, τα οποία με την εξόρυξή τους χρησιμοποιήθηκαν ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες παραγωγής ενέργειας που διατηρούσε η Δ.Ε.Η. Έτσι συγκεντρώθηκαν σ'ένα δημόσιο φόρεα οι δραστηριότητες της παραγωγής, μεταφοράς και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας [1]. Η ανάγκη, όμως για την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών και σε συνάρτηση με το χαμηλό κόστος εξόρυξης του λιγνίτη έγιναν οι αιτίες που η Ελλάδα κατευθύνθηκε ολοκληρωτικά από τη δεκαετία του 1950 στην καύση λιγνίτη ως ραχοκοκαλιά του ηλεκτρικού της συστήματος [3].

Το 1951, ανέλαβε τα ορυχεία στο Αλιβέρι και την υπόγεια εκμετάλλευσή τους, η ετήσια παραγωγή ανήλθε στους 750.000 τόνους το χρόνο και κατάφερε να τροφοδοτήσει μονάδες συνολικής ισχύος 230 MW. Η παραγόμενη ποσότητα λιγνίτη το 1959 βρισκόταν στους 1,3 εκ. τόνους, η αντίστοιχη το 1975 αυξήθηκε στους 11,7 εκ. τόνους, ενώ το 1985 στους 27,3 εκ. τόνους και το 2006 στους 49 εκ. τόνους, συμπεριλαμβανομένων των ορυχείων στη Φλώρινα, στη Πτολεμαΐδα και στη Μεγαλόπολη. Με τα σημερινά δεδομένα η Δ.Ε.Η. παράγει περίπου 63 εκ. τόνους λιγνίτη συνολικά σε ετήσια βάση, πράγμα που της επιτρέπει να βρίσκεται στη τρίτη θέση στην παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση, και για την εγχώρια αξιοποίηση βρίσκεται στην πέμπτη θέση της Ευρώπης και στην έβδομη στον κόσμο (βλ. Πίνακας 1.1) [1,2].



Πίνακας 1.1 Παγκόσμια Κατάταξη Εξόρυξης Λιγνίτη (2013) [4].

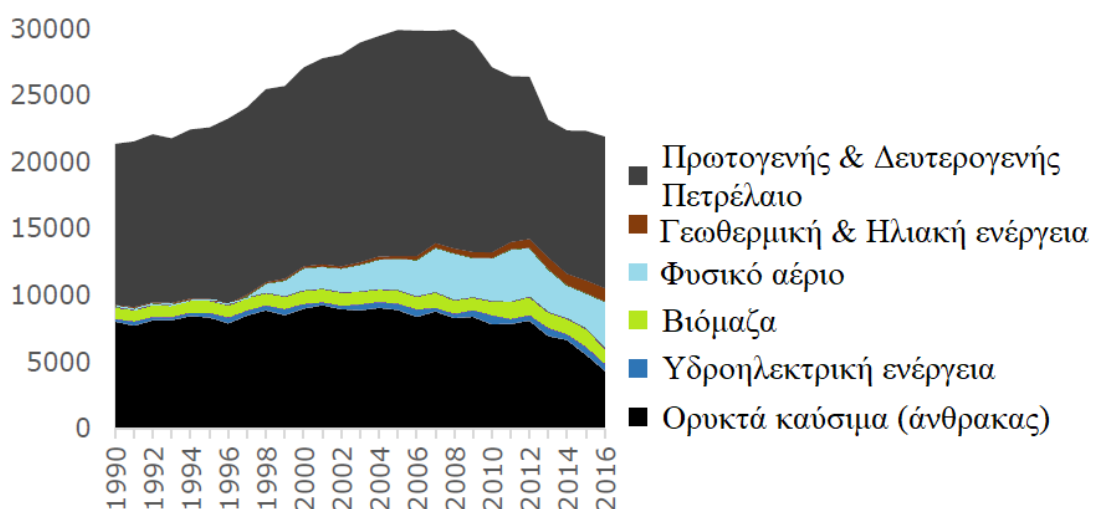
1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Με τον όρο παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας νοείται η εκμετάλλευση των διαφόρων πρωτογενών πηγών/καυσίμων με απώτερο στόχο την ‘γέννηση’ της ενέργειας, βέβαια από χώρα σε χώρα παρουσιάζονται μεγάλες διαφοροποιήσεις, ανάλογα με τους διαθέσιμους εγχώριους ενεργειακούς πόρους, την ενεργειακή πολιτική της εκάστοτε χώρας, τις γεωλογικές, γεωφυσικές και κλιματολογικές ιδιαιτερότητες αυτής. Οι πρωτογενείς πηγές βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα στερεά, υγρά ή αέρια όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας (λιθάνθρακας και λιγνίτης), το φυσικό αέριο, η πυρηνική ενέργεια (ουράνιο) και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) που χρησιμοποιούν ανεξάντλητες πόρους (άνεμος, ήλιος, νερό κ.λπ.) και δεν καταναλώνουν τα περιορισμένα ενεργειακά ορυκτά αποθέματα [2].

Ο άνθρακας παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας και ικανοποιεί το ένα τέταρτο των πρωτογενών ενεργειακών απαιτήσεων στον κόσμο και το ένα έκτο στην Ε.Ε.-25 [4]. Το μερίδιό του ποικίλει, με παραδείγματα όπως της Γαλλίας στο 5%, της Ελλάδας στο 55% και στη Νότια Αφρική και Πολωνία στο 90%. Συγκεκριμένα τα στατιστικά στοιχεία δείχνουν, ότι η χρήση του λιθάνθρακα κυριαρχεί στη Νότια Αφρική και στην Πολωνία με 93 και 92% αντίστοιχα, ενώ διατηρεί υψηλό ποσοστό στη Δανία (54%), στις Ην. Πολιτείες (σχεδόν 50%), στη Μ. Βρετανία (37.5%) και στην Κορέα (38%). Ο λιγνίτης έχει κύριο λόγο στην Ελλάδα (55-60%) και στη Γερμανία (42%) [1,4]. Εξίσου ιδιαίτερα υψηλό, είναι και το ποσοστό συμμετοχής του πετρελαίου, συγκεκριμένα σε κάποιες αραβικές πετρελαιοπαραγωγικές χώρες το ποσοστό ανέρχεται μέχρι το 100% (Υεμένη) στην ηλεκτροπαραγωγή. Ενώ ένα ακόμα ορυκτό καύσιμο που έχει σημαντικό ρόλο στην ενέργεια είναι το φυσικό αέριο, με ποσοστά 50% και 60% σε Ιρλανδία και Ολλανδία αντίστοιχα. Ωστόσο, και η πυρηνική ενέργεια συμβάλλει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως από τις ευρωπαϊκές χώρες με τη Γαλλία να έχει το μεγαλύτερο ποσοστό (78%) και το Βέλγιο (54,5%), την Ουγγαρία (37.5%), τη Σουηδία (47%), τη Νότια Κορέα (37%) και την Ελβετία (43%). Τέλος, όσο αφορά τις

Α.Π.Ε., η αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζει υψηλές τιμές στη Νορβηγία (98,5%), στην Αυστρία (64%), στον Καναδά (58%), στην Ελβετία (51%), καθώς και σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, με χαρακτηριστικότερα παραδείγματα την Γκάνα (67%), τη Βραζιλία (83%), την Κένυα (51%) και τη Βενεζουέλα(72%)[1,4].

Ιστορικά, όσον αφορά την Ελλάδα, η δεκαετία με τους υψηλότερους ρυθμούς εξόρυξης ορυκτών καυσίμων ήταν 2000–2009, με 73 GWe (18% της χωρητικότητας) να εγκαθίστανται κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Μέχρι το 1980 (ξεκινώντας από το 1963 στη βάση δεδομένων) εγκαταστάθηκαν 101 GWe, αυτό αποτελεί το 25% της συνολικής χωρητικότητας ορυκτών καυσίμων. Όμως κατά την περίοδο 1980–1989, αξιοποιήθηκε σημαντικά λιγότερη χωρητικότητα, περίπου το 12% (50 GWe). Την επόμενη δεκαετία (1990–1999) σημειώθηκε εκ νέου μείωση της χωρητικότητας σε 34 GWe (8%). Από τότε, και κατά την περίοδο 2010–2015, εξορύχθηκαν επιπλέον 64 GWe (16% χωρητικότητας) [5]. Η παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα προέρχεται κυρίως από ορυκτά καύσιμα. Ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αντιπροσωπεύουν το 95% των συνολικών αναγκών της πρωτογενούς ενέργειας για την χώρα. Αλλά η κυριότερη κατανάλωση έρχεται από την εγχώρια εξόρυξη λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί ουσιαστικά το μοναδικό αξιοποιήσιμο ορυκτό καύσιμο που διαθέτει η Ελλάδα. Με την εξ'ολοκλήρου εισαγωγή του φυσικού αερίου (100%) και του πετρελαίου (98%) που καταναλώνει η χώρα, η ενεργειακή εξάρτηση της Ελλάδας από τον λιγνίτη κυρίως απο θερμοηλεκτρικούς σταθμούς ανέρχεται (2013) στο 62,1% σε σύγκριση με τον μέσο όρο 53,2% όπου βρίσκεται η Ε.Ε.-28 [3]. Συγκεκριμένα για την Ελλάδα, περίπου το 50% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας. Η συγκέντρωση βέβαια των θερμοηλεκτρικών σταθμών στο Βορρά έχει επιφέρει αυξημένες απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στα κέντρα κατανάλωσης και ανισορροπία στη λειτουργία. Ωστόσο ο σχεδιασμός τους βασίστηκε στην εγγύτητά των περιοχών όπου υπάρχουν πλούσια κοιτάσματα λιγνίτη. Στη χώρα μας υπάρχουν τέσσερις βασικές περιοχές με σημαντικά αποθέματα λιγνίτη, αυτές είναι η Δράμα, η Δυτική Μακεδονία, η Ελασσόνα και η Μεγαλόπολη.



Πίνακας 1.2 Συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα (ktoe) [7].

Σύμφωνα με στοιχεία του 2011 για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα (National Report PAE, 2012), το 66,5% της εγκατεστημένης ισχύος των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων είναι θερμικοί σταθμοί, εκ των οποίων με λιγνίτη η παραγόμενη ισχύς ήταν 4.930 MW, με πετρέλαιο 730 MW και με φυσικό αέριο 4.579 MW. Το 19,6% είναι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί και το 13,9% είναι μονάδες Α.Π.Ε.[1].

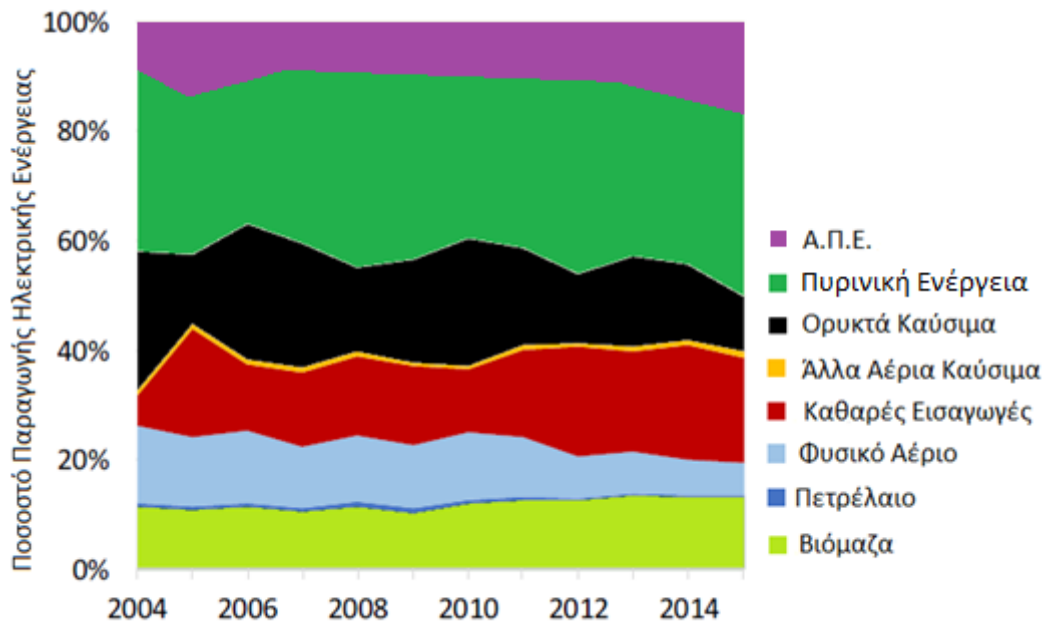
Από τον πίνακα 1.2, βλέπουμε πως τα καύσιμα συνέβαλαν δυσανάλογα στο σύνολο της παροχής της πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, η συμμετοχή του πετρελαίου το 2016 ήταν περίπου στο 50-60%, ενώ αντίστοιχα των ορυκτών καυσίμων στο 20-30%, με το υπόλοιπο ποσοστό να συμπληρώνεται από άλλου είδους καύσιμα. Το 2008 η παροχή πετρελαίου στην Ελλάδα έφτασε στην υψηλότερη τιμή με 16.393 ktoe, έκτοτε και μέχρι και σήμερα μειώνεται διαρκώς, σε σύγκριση με το 2016 όπου είχε 11.357 ktoe η μείωση ήταν στο 30%. Παράλληλα, η παροχή των ορυκτών καυσίμων στην Ελλάδα, κυρίως με την μορφή του λιγνίτη είχε μειωθεί κατά 50% από το 2007 (8.836 ktoe) έως και το 2016 (4.369 ktoe). Από την άλλη, η βιόμαζα, το φυσικό αέριο και η γεωθερμία με την ηλιακή ενέργεια έχουν αυξητικές τάσεις με την μεγαλύτερη να κατέχει το φυσικό αέριο 2.429% κατά το διάστημα 1990-2016.

1.3 Μετά-λιγνιτική εποχή

Εδώ και αρκετές δεκαετίες υπάρχει παγκοσμίως η τάση για παραγωγή πρωτογενής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, τα ποσοστά εξόρυξης είναι αρκετά μεγάλα στην Ευρώπη, με αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να έχουν γίνει συστάσεις γύρω από τις επιπτώσεις που έχει η παραγωγή ενέργειας με αυτόν τον τρόπο. Η μετάβαση σε μια μεταλιγνιτική εποχή, τόσο για την Ευρώπη όσο και για την Ελλάδα, ήρθε στο προσκύνιο λόγω ενός συνδυασμού παραγόντων που δε μπορούσε να μη παρατηρηθεί από τους αρμόδιους. Οι Ευρωπαϊκές οδηγίες για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και της ρύπανσης από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, η αυξανόμενη ευαισθησία των πολιτών γύρω από περιβαλλοντικά θέματα και δημόσιας υγείας, η σταδιακή εξάντληση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, η εισαγωγή φυσικού αερίου στο ενεργειακό σύστημα της χώρας και η ραγδαία μείωση του κόστους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι σημαντικοί λόγοι για να δούμε το μέλλον της Ελλάδας στην παράγωγη ενέργειας [3].

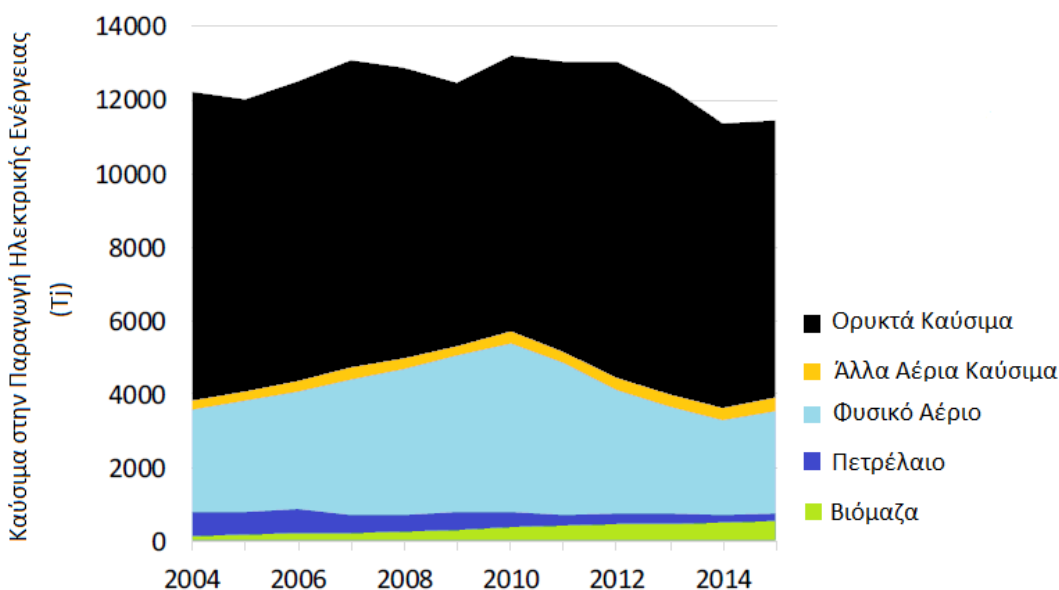
Η Ευρώπη μείωσε εμφανώς τις ενεργειακές της ανάγκες από τα ορυκτά καύσιμα λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του φυσικού αερίου. Στη δεκαετία 2004 - 2015, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην κατανάλωση ενέργειας της Ε.Ε. σχεδόν διπλασιάστηκε, από 9% σε σχεδόν 17%, αντίστοιχα και το μερίδιο της πυρηνικής ενέργειας από 43% αυξήθηκε στο 51%. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται στην Ε.Ε. εξακολουθεί να προέρχεται από ορυκτά καύσιμα (62,6%), αν και το μερίδιό τους στο ενεργειακό μείγμα μειώθηκε σταθερά από 57% στο 49%. Ενώ η βιόμαζα έχει σταθερά ανοδική πορεία στην παρούσα δεκαετία (βλ. Πίνακας 1.3) [7, 8].

Μετατροπή υφιστάμενου λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση απορριμματογενούς καυσίμου



Πίνακας 1.3 Ποσοστό παραγωγής καυσίμων στην Ε.Ε.-28 [7].

Η κύρια διακύμανση στα καύσιμα που καταναλώνονται στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας μεταξύ 2004 και 2015 ήταν η κορύφωση της χρήσης φυσικού αερίου το 2010 (35% των καυσίμων) και η ταυτόχρονη πτώση στη χρήση «ορυκτών καυσίμων». Μέχρι το 2015, ωστόσο, τα μερίδια χρήσης καυσίμων είχαν επιστρέψει σε επίπεδα παρόμοια με το 2004. Αυτό το μοτίβο μπορεί να οφείλεται στις σχετικές τιμές του άνθρακα και του φυσικού αερίου. Η μόνη αξιοσημείωτη γραμμική τάση ήταν η σταθερή μείωση της χρήσης του πετρελαίου (5% το 2004, 2% το 2015) και αύξηση της χρήσης βιόμαζας (1% το 2004, 5% το 2015) (βλ. Πίνακας 1.4)



Πίνακας 1.4 Καύσιμα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε.-28 [7].

Η αύξηση στη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει επιτρέψει στην Ε.Ε. να μειώσει την χρήση των ορυκτών καυσίμων άρα και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Οι περισσότερες πολιτικές για μέτρα αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής στοχεύουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με βάση τα ορυκτά καύσιμα, τις αντίστοιχες μεταφορές τους και τον εφοδιασμό τους [9]. Στην Ε.Ε.-28 υπάρχουν 3.664 μεγάλα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, τα στερεά καύσιμα (άνθρακας, λιγνίτης, τύρφη κ.α. ορυκτά καύσιμα) και το φυσικό αέριο παραμένουν οι κύριες πηγές εισροής καυσίμου στις μονάδες, αλλά η ποσότητα που χρησιμοποιείται μειώνεται συνεχόμενα. Αυτό θα μπορούσε να αντικατοπτρίζει τη μετατόπιση του ενεργειακού συστήματος της Ευρώπης από την εκμετάλλευση του πετρελαίου, του άνθρακα και του φυσικού αερίου στις ανανεώσιμες πηγές [10].

Η παγκόσμια χρήση άνθρακα στην ηλεκτρική ενέργεια δεν προβλέπεται να μειωθεί από τώρα έως το 2040 και μπορεί ακόμη και να αυξηθεί εάν δεν εισαχθούν τα αναμενόμενα μέτρα πολιτικής (επίτευξη των στόχων της συμφωνίας του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή) (Διεθνής Ενέργεια). Οι προβλέψεις για τη μείωση της ζήτησης άνθρακα μεταξύ του 2016 και του 2040 σε περιοχές όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες (- 16%) και η Ευρώπη (- 47%) θα αντισταθμιστούν από τη σημαντική αύξηση της ζήτησης άνθρακα από τα έθνη όπως η Ινδία (+ 114%) και άλλες ασιατικές χώρες (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2017). Η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση μέχρι το 2040 προβλέπεται να αυξηθεί κατά περίπου 30% (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2017). Επομένως, οι τρέχουσες προοπτικές για μειωμένες εκπομπές ρύπων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν φαίνονται θετικές, εκτός εάν γίνουν ουσιαστικές αλλαγές στα καύσιμα και στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας σε αυτές τις χώρες [11]. Στα επόμενα κεφάλαια θα γίνει εκτενής ανάλυση για την καύση άνθρακα από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως με την καύση του λιγνίτη. Όπου γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην σχέση του με το περιβάλλον και ειδικότερα με τις επιπτώσεις που υπάρχουν από την αξιοποίησή τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ευρώπη.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Ηλεκτροπαραγωγή από λιγνίτη

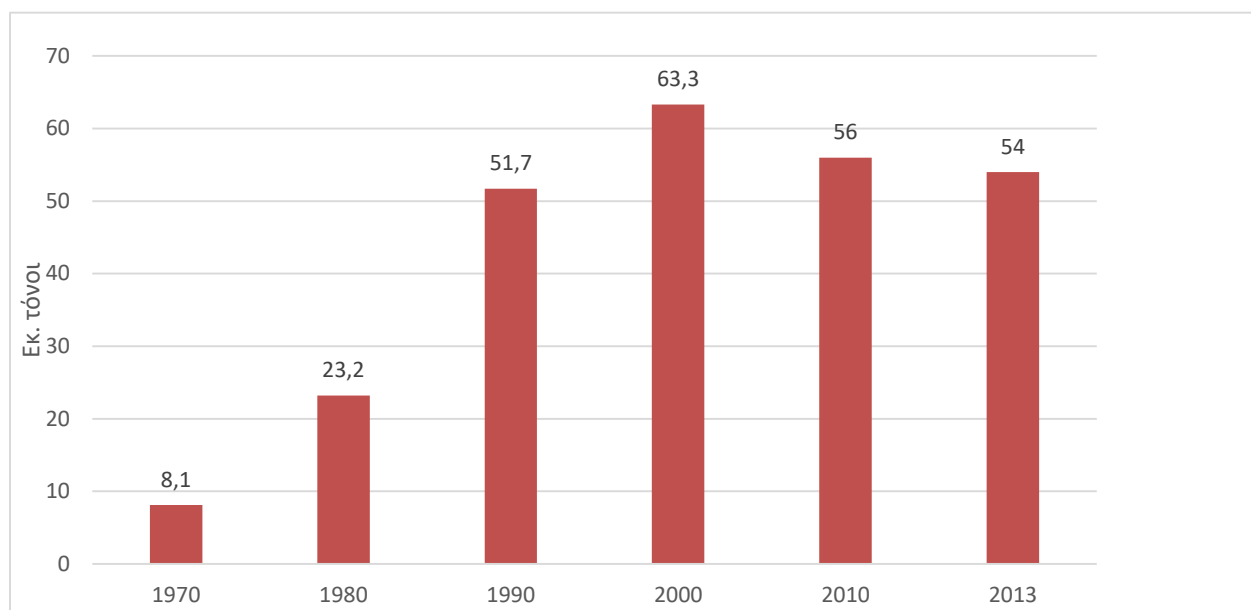
2.1 Υφιστάμενη κατάσταση

2.1.1 Λιγνίτης: Κοιτάσματα, αποθέματα, ποιότητα

Η αφθονία του λιγνίτη στο υπέδαφος της Ελλάδας έκανε την Δ.Ε.Η. να κατέχει οκτώ λιγνιτωρυχεία. Είναι το κυριότερο εγχώριο ορυκτό καύσιμο και το πιο σύνηθες στη βιομηχανία της παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα. Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στις περιοχές της Πτολεμαΐδας, του Αμυνταίου και της Φλώρινας με υπολογισμένο απόθεμα 1,8 δις τόνους, στη Δράμα με απόθεμα 900 εκ. τόνους και στην περιοχή της Ελασσόνας με 169 εκ. τόνους, τα οποία ακόμα δεν έχουν αξιοποιηθεί ενώ, ένα ακόμα λιγνιτικό κοιτάσμα βρίσκεται στην Πελοπόννησο, συγκεκριμένα στην περιοχή της Μεγαλόπολης, με απόθεμα περίπου 223 εκ. τόνους [3].

Τα κοιτάσματα λιγνίτη ανήκουν στην κατηγορία των γαιανθράκων (στερεή ορυκτή καύσιμη ύλη), οι οποίοι προήλθαν από φυτικά υπολείμματα μέσω μιας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης. Το έδαφος εμπλουτίστηκε με φυτικά υπολείμματα από άνθρακα με αποτέλεσμα να σχηματιστεί λιγνίτης κατά τα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης. Έχει υπολογιστεί ότι για το σχηματισμό ενός κυβικού μέτρου λιγνίτη απαιτείται ένα χρονικό διάστημα από 1.000 έως 4.000 έτη [4].

Ως χώρα γνωρίζουμε την αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωσή του, όμως η ποιότητά του έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα χαμηλή. Ο ελληνικός λιγνίτης χαρακτηρίζεται από χαμηλή θερμογόνο αξία και υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με λιγνίτη της Δ.Ε.Η. αποτελούνται από θερμικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν συμβατική τεχνολογία καύσης κονιοποιημένου άνθρακα με συνολική ισχύ 5.783 MW. Ο σταθμός παραγωγής ενέργειας του Αγίου Δημητρίου, στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, είναι ο μεγαλύτερος θερμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα. Η κατανάλωση λιγνίτη στο εργοστάσιο είναι 1.836 t/MWh. Όπως φαίνεται, ο ελληνικός λιγνίτης έχει υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, υγρασία και τέφρα και η τιμή θέρμανσής του είναι σχετικά χαμηλή. Γενικότερα έχουμε 5 δις τόνους κοιτασμάτων με τα 3,2 δις να είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση και με την θερμογόνο δύναμη να κυμαίνεται από 975 - 1.380 kcal/kg στις περιοχές της Μεγαλόπολης, του Αμυνταίου και της Δράμας, από 1.261 - 1.615 kcal/kg στην περιοχή της Πτολεμαΐδας και από 1.927 - 2.257 kcal/kg στις περιοχές της Φλώρινας και της Ελασσόνας. Αυτές οι τιμές δείχνουν πως ο λιγνίτης μας είναι από τα χειρότερα καύσιμα σε σύγκριση με άλλες πηγές ενέργειας, όσο αφορά την ενέργεια που παράγεται και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον [4]. Με βάση τα συνολικά αποθέματα λιγνίτη της χώρας που μπορούν να εκμεταλλευτούν και σε σχέση με τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι επαρκούν για περισσότερο από 35 χρόνια. Οι ποσότητες εξόρυξης μέχρι σήμερα κυμαίνονται περίπου στο 29% των συνολικών αποθεμάτων, με την συνολική ετήσια εξόρυξη λιγνίτη να φτάνει στο μέγιστο το 2004 με 72 εκατομμύρια τόνους για να πέσει το 2013 στους 54 εκ. τόνους (βλ. Πίνακας 2.1) [2, 3].



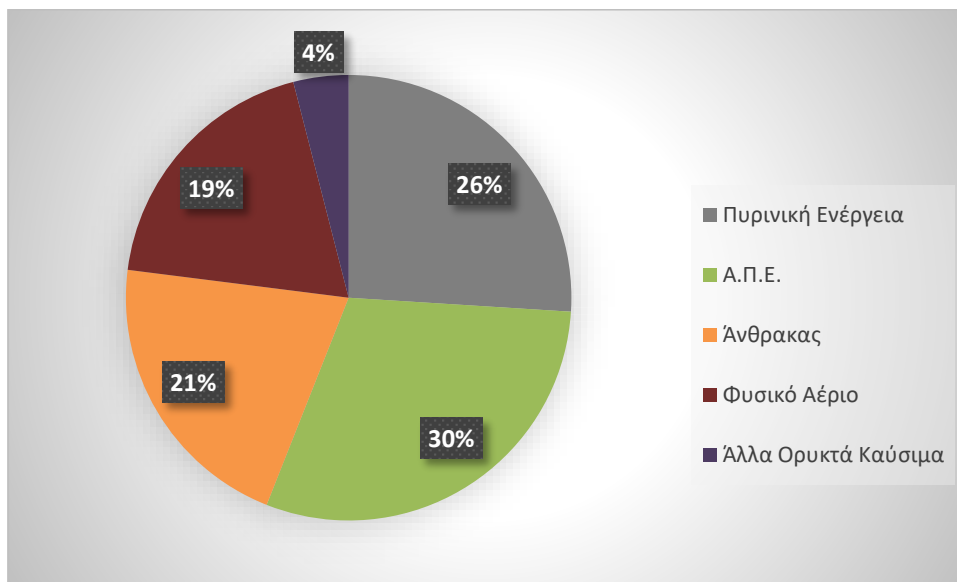
Πίνακας 2.1 Εξόρυξη λιγνίτη στην Ελλάδα [4].

Ο λιγνίτης είναι η σημαντικότερη ενεργειακή πηγή της χώρας μας, συνεισφέροντας το 53,15% της εγχώριας παραγωγής το 2011. Αυτό το γεγονός δε σημαίνει ότι θα πορευτούμε μελλοντικά με τους υπάρχοντες πόρους. Με την ελληνική πολιτεία να θέτει την ανάδειξη της προστασίας του περιβάλλοντος ως στόχο υψηλής προτεραιότητας, η προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι μονόδρομος, μάλιστα έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στη συμμετοχή τους στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο 34% μέχρι το 2020. Η άποψη ότι θα πρέπει να μπουν στο ελληνικό ισοζύγιο ηλεκτρισμού νέα καύσιμα, πηγάζει από τις εκπομπές των σταθμών παραγωγής ενέργειας, διότι εξαρτώνται από τις ιδιότητες επεξεργασίας του άνθρακα και της μηχανικής του καύσης, οι οποίες είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον [12]. Ωστόσο η μελλοντική αξιοποίηση του άνθρακα θα εξαρτηθεί από τη δυνατότητα των μονάδων να υιοθετήσουν με χαμηλό κόστος καθαρές και αποδοτικές τεχνολογίες καύσης, ώστε να προσαρμοστούν στο αυστηρό πλαίσιο των περιβαλλοντικών απαιτήσεων του «Πρωτοκόλλου του Κιότο» και των αυστηρών Ευρωπαϊκών προδιαγραφών [1].

2.1.2 Ηλεκτροπαραγωγή από καύση άνθρακα σε Ελλάδα και Ευρώπη

Στην Αμερική, η καύση άνθρακα έχει μεγαλύτερη απήχηση από την καύση φυσικού αερίου ή πετρελαίου για ηλεκτρική ενέργεια και παρόλο που η χρήση άνθρακα ήταν υπεύθυνη περίπου για το 67,9% των εκπομπών CO₂ στον τομέα, αντιπροσώπευε μόνο το 31,2% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2017. Η χρήση φυσικού αερίου αντιστοιχούσε στο 31,2% και η χρήση πετρελαίου αντιπροσώπευε λιγότερα από ένα τοις εκατό της ηλεκτρικής ενέργειας. Η υπόλοιπη ενέργεια προήλθε από πηγές μη ορυκτών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων των πυρηνικών (21%) και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (16,2%), οι οποίες ήταν η υδροηλεκτρική, η βιομάζα, η αιολική και η ηλιακή ενέργεια [13]. Στην Ευρώπη από την άλλη υπάρχουν 103 εταιρείες που εξακολουθούν να λειτουργούν σταθμούς παραγωγής ενέργειας με άνθρακα. Τέσσερις μονάδες από τις δέκα πιο τοξικές βρίσκονται στη Γερμανία, άλλες τρεις

βρίσκονται στη Πολωνία και από μια έχουν η Τσεχία, η Ισπανία και η Βουλγαρία. Από τις αρχές του 2016, 23 μονάδες έχουν αποσυρθεί στην Ευρώπη, ενώ άλλοι 22 έχουν ανακοινώσει ημερομηνίες συνταξιοδότησης. Η μετάβαση πέρα από τον άνθρακα σε ένα καθαρότερο, πιο πράσινο και δίκαιο ενεργειακό μέλλον θα είναι στο άμεσο μέλλον αναπόφευκτη. Ωστόσο, παρά την επιταχυνόμενη πρόοδο μακριά από τον άνθρακα, 250 μονάδες παραγωγής ενέργειας άνθρακα εξακολουθούν να λειτουργούν σήμερα στην Ε.Ε., μολύνοντας τον αέρα που αναπνέουμε [14].



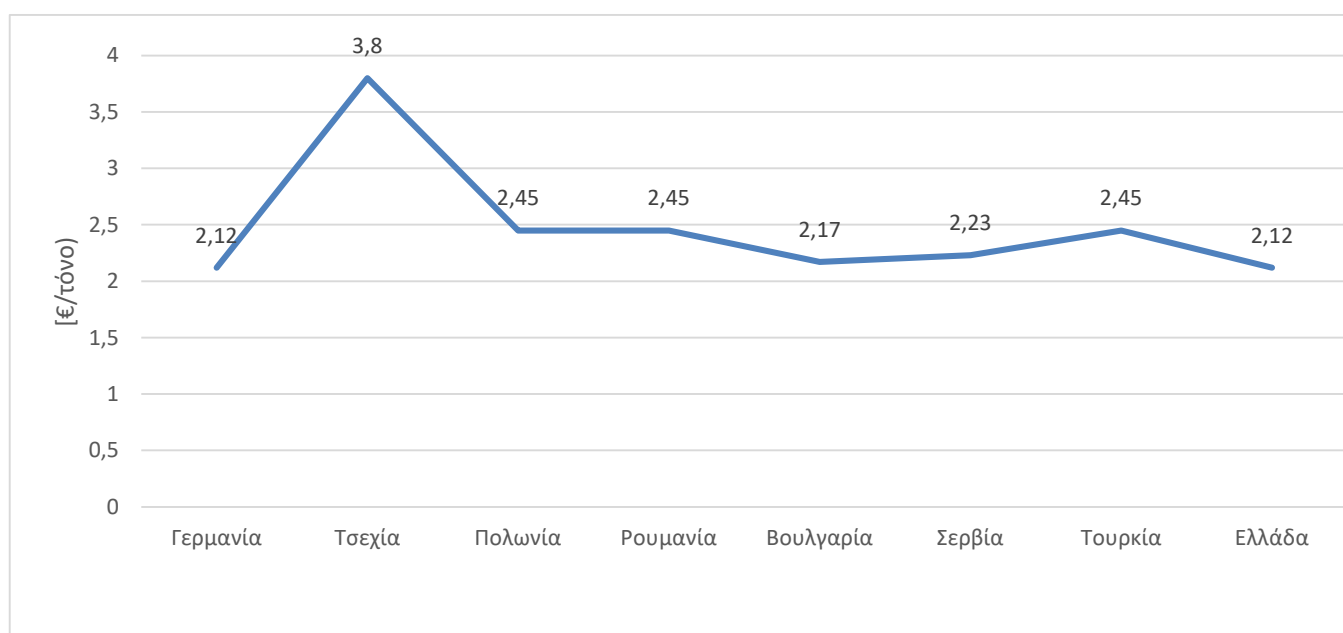
Πίνακας 2.2 Καύσιμα στην ηλεκτροπαραγωγή (Ευρώπη, 2017) [14].

Από τον πίνακα 2.2, είναι γεγονός πως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν ένα σημαντικό ποσοστό, ωστόσο το ένα πέμπτο της ευρωπαϊκής ενέργειας προέρχεται από τον άνθρακα, η οποία κατανέμεται περίπου ομοιόμορφα μεταξύ διαφόρων τύπων άνθρακα (11%) και λιγνίτη (10%) [14].

Όσον αφορά την Ελλάδα, ολόκληρη η συνεισφορά του λιγνίτη καταναλώνεται κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας [4]. Ο ελληνικός τομέας ηλεκτρισμού αποτελείται από το διασυνδεδεμένο ηπειρωτικό σύστημα και από τα μη διασυνδεδεμένα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα, όπου η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται από τις μονάδες πετρελαίου και σε μικρότερο βαθμό από τις εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. (αναλογικά περίπου 85% - 15%). Στο διασυνδεδεμένο σύστημα, τα δέκα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια σαφής υποχώρηση του μεριδίου της συνεισφοράς του λιγνίτη στην κάλυψη ζήτησης, από 63% το 2004 σε 45% το 2014. Η μείωση αυτή αντισταθμίστηκε από την αντίστοιχη αύξηση του μεριδίου των Α.Π.Ε. και των υδροηλεκτρικών (από 11% σε 25%) καθώς και των εισαγόμενων καυσίμων, ενώ από την άλλη το μερίδιο του φυσικού αερίου υποχώρησε από 15,5% σε 12,5% και εκείνο του πετρελαίου μηδενίστηκε από το 5% που βρισκόταν. Σε ό,τι αφορά την εγκατεστημένη ισχύ στην Ελλάδα των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής έχουμε, 3.912 MW από λιγνιτικές μονάδες, 4.906 MW από μονάδες φυσικού αερίου, 1.684 MW από πετρελαϊκές μονάδες σε νησιά, 3.018 MW από υδροηλεκτρικές μονάδες, 1.767 MW από αιολικά στο διασυνδεδεμένο και 317 MW στα νησιά, 2.443 MW από φωτοβολταϊκά στο διασυνδεδεμένο και 136 MW στα νησιά, 224 MW από μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις και τέλος 49 MW από βιοαέριο και βιομάζας (Αυγουστός, 2015) [4].

2.1.3 Κόστος ηλεκτροπαραγωγής από καύση άνθρακα σε Ελλάδα και Ευρώπη

Ο άνθρακας, ως μία από τις πιο οικονομικές και άφθονες πηγές ενέργειας παραμένει το κορυφαίο καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως [15]. Το 2014, έγινε για λογαριασμό της Δ.Ε.Η. μελέτη σύγκρισης του κόστους της ηλεκτροπαραγωγής με λιγνίτη για τις εξής ευρωπαϊκές χώρες, Γερμανία, Πολωνία, Ελλάδα, Τουρκία, Τσεχία, Ρουμανία, Βουλγαρία και Σερβία για την περίοδο του 2012, προκειμένου να καθοριστούν οι βασικές παράμετροι του κόστους καθώς και οι διαφορές που παρουσιάζονται στα ποικίλα λιγνιτικά συστήματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το κόστος εξόρυξης στην Ελλάδα είναι το χαμηλότερο, μαζί με εκείνο της Γερμανίας περίπου στα 2,12 ευρώ ανά τόνο (βλ. Πίνακας 2.3). Αν αναλογιστούμε όμως το εξαιρετικά χαμηλό θερμιδικό περιεχόμενο του ελληνικού λιγνίτη, καθώς και μερικές ακόμα παραμετρούς του μεταβλητού κόστους παραγωγής, αντιλαμβανόμαστε ότι η λιγνιτική ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα αποδεικνύεται πως είναι η ακριβότερη σε ολόκληρη την Ευρώπη με 59,9 €/MWh. Χαρακτηριστικά παραδείγματα άλλων ευρωπαϊκών χωρών είναι η Ρουμανία με 54,2 €/MWh, η Γερμανία με 53,6 €/MWh, η Τουρκία με 52,7 €/MWh, η Σερβία με 40,3 €/MWh, η Τσεχία με 39 €/MWh, η Πολωνία με 38,6 €/MWh και η Βουλγαρία με 31,6 €/MWh [4].



Πίνακας 2.3 Κόστος εξόρυξης λιγνίτη [4].

Η εξόρυξη λιγνίτη έχει επιφέρει στην Ελλάδα σημαντικά οικονομικά έσοδα, σε αντίθεση με το γεγονός ότι έχει αρνητικές επιπτώσεις σε διάφορους τομείς, οι οποίες μεταφράζονται σε εκατομμύρια χαμένα χρήματα. Σε ολόκληρη την Ε.Ε.-28, η οικονομική δραστηριότητα μεταξύ 2004 και 2015 για την

ηλεκτροπαραγωγή αυξήθηκε κατά 13% από 10,7 τρισεκατομμύρια ευρώ σε 12,2 τρισεκατομμύρια ευρώ, η οποία συνέβαλε στην αύξηση των εκπομπών από τα εργοστάσια που παράγουν ηλεκτρισμό μεταξύ 5% - 7%. Για παράδειγμα η συμβολή είναι ελαφρώς υψηλότερη για τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και για το διοξείδιο άνθρακα (CO₂) από ό,τι για άλλους ρύπους, επειδή είδαν μικρότερες συνολικές μειώσεις στα επίπεδα εκπομπών λόγω άλλων παραγόντων. Ταυτόχρονα, υπήρξε μια μικρή μεταβολή στη δομή της οικονομίας των ευρωπαϊκών χωρών με το μερίδιο του τομέα των υπηρεσιών να αυξάνεται από 72% σε 74% του συνολικού GVA, και το μερίδιο του κλάδου να μειώνεται αντίστοιχα από 26% σε 24% του συνολικού GVA. Αυτή η αλλαγή συνέβαλε στην καθαρή μείωση των εκπομπών, καθώς η αύξηση από τον τομέα των υπηρεσιών αντισταθμίστηκε από τη μείωση στον βιομηχανικό τομέα, καθώς ο τελευταίος είναι πολύ πιο ενεργειακός [7].

Για την Ελλάδα, όπως τονίζουν και οι υπάλληλοι των λιγνιτωρυχείων της Δ.Ε.Η. στις περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας τα εργοστάσια έχουν βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό το τόπο. Χιλιάδες είναι οι εργάτες που δουλεύουν για την Δ.Ε.Η για πέντε εργοστάσια σε απόσταση 80 χλμ. Οι ίδιοι γνωρίζουν από πρώτο χέρι τις αρνητικές επιπτώσεις που έχουν δεχτεί, στον τρόπο ζωής, υγείας ακόμα και για τον ίδιο τον τόπο κατοικίας όπου μπορεί να χαρακτηριστούν ως εσωτερικοί μετανάστες, πολλά είναι τα χωριά όπως θα δούμε στην συνέχεια των κεφαλαίων που έχουν είτε καταστράφει είτε εγκαταλειφθεί.

2.1.4 Σχέση λιγνίτη με το περιβάλλον

Η καύση των ορυκτών πόρων και συγκεκριμένα του λιγνίτη κατά την διαδικασία της παραγωγή ενέργειας επιφέρει καταστροφικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Ο τρόπος που αξιοποιείται ο εν λόγω πόρος δημιουργεί υπαρκτά προβλήματα στη ζωή του ανθρώπου. Η κατανάλωση μεγάλου όγκου νερού και οι εκπομπές ρύπων (διοξειδίου του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, μικροσωματίδια, βαρέα μέταλλα) είναι τα κυριότερα θέματα που μας απασχολούν, ενώ ένα ακόμα αξιοσημείωτο γεγονός είναι το οικονομικό κόστος από τις υπερβάσεις των ευρωπαϊκών ορίων, το οποίο αποτιμάται σε πολλά εκατομμύρια ευρώ ανά έτος. Η Ευρώπη εξακολουθεί να βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα ορυκτά καύσιμα ως πηγή, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής παρήγαγαν σχεδόν το ήμισυ της ηλεκτρικής ενέργειας το 2016 ενέργειας, με αποτέλεσμα να έχει μεγάλη συμβολή στις εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂), σκόνης και οξειδίων του αζώτου (NO_x). Τα καύσιμα που καίγονται είναι κυρίως άνθρακας ή λιγνίτης, φυσικό αέριο και, σε μικρότερο βαθμό, υγρά ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο. Οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας απελευθερώνουν ένα ευρύ φάσμα ρύπων ως αποτέλεσμα της καύσης των καυσίμων. Οι εκπομπές από τα εργοστάσια αποτελούν σημαντικό ποσοστό και όλες είναι λόγω του ανθρώπου κατά της φύσης και του ίδιου [16]. Οι εκπομπές της Ευρώπης αναμένεται να μειωθούν τα επόμενα χρόνια λόγω των ρυθμίσεων που υποδεικνύονται για την ορθή λειτουργία των μονάδων. Για παράδειγμα, με τις αντίστοιχες κατευθυντήριες γραμμές η κινεζική κατανάλωση άνθρακα μειώθηκε κατά 2,9% το 2014 σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία που κυκλοφόρησαν το 2015. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας το χρησιμοποίησε για να εκτιμήσει την μείωση κατά 1,5% των κινεζικών εκπομπών ορυκτών CO₂ για το 2014 και μια άνευ προηγουμένου μείωση 0,2% στις παγκόσμιες εκπομπές [17].

Τα ορυκτά καύσιμα προκαλούν ανησυχία λόγω των επιπτώσεών τους στην κλιματική αλλαγή και θεωρούνται η χειρότερη επιλογή καυσίμου για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ωστόσο, ενώ το φυσικό αέριο θεωρείται «καθαρότερη επιλογή» (λιγότερα οξείδια θείου, SO_x και εκπομπή σκόνης), εξακολουθούν να

υπάρχουν ανησυχίες για την συμβολή του στη κλιματική αλλαγή. Όμως, φαίνεται ότι η συνολική τάση στη χρήση στερεών και υγρών καυσίμων μειώνεται πιο γρήγορα από ό,τι για άλλους τύπους καυσίμων. Το 2017, τα στερεά καύσιμα αντιπροσώπευαν το 44% της συνολικής κατανάλωσης καυσίμων, με την επόμενη μεγαλύτερη συνεισφορά από το φυσικό αέριο (35%). Η ποσότητα των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στον τομέα μειώθηκε κατά περίπου 25% μεταξύ 2004 και 2017, με την πτωτική τάση να ξεκινά το 2009. Αυτό αντικατοπτρίζει τη μετατόπιση του ευρωπαϊκού ενεργειακού συστήματος από τον άνθρακα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο στις ανανεώσιμες πηγές. Η χρήση βιομάζας ως καύσιμο υπερδιπλασιάστηκε μεταξύ 2004 και 2017, βέβαια εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει μόνο το 6% της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου. Η χρήση υγρών καυσίμων μειώθηκε την περίοδο αυτή κατά 70%, ενώ γενικότερα η κατανάλωση στερεών καυσίμων (για την οποία ο άνθρακας αντιπροσωπεύει το 57%) παρέμεινε ως ο μεγαλύτερος παράγοντας στη συνολική κατανάλωση καυσίμου ηλεκτροπαραγωγής μεταξύ 2004 και 2017, παρά τη μείωση 38% κατά την ίδια περίοδο [18].

Ο μετριασμός, η αντιμετώπιση και η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή αποτελούν βασικές προκλήσεις του 21ου αιώνα. Ο πυρήνας αυτών των προκλήσεων είναι το ζήτημα της ενέργειας - πιο συγκεκριμένα, η συνολική κατανάλωση ενέργειας και η εξάρτησή μας από τα ορυκτά καύσιμα. Για να επιτύχουμε στον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη, ο άνθρωπος πρέπει επειγόντως να χρησιμοποιεί πιο αποτελεσματικά την ενέργεια ενώ είναι επιτακτική ανάγκη να αγκαλιάσει καθαρές πηγές ενέργειας. Το παγκόσμιο κλίμα αλλάζει και αυτό δημιουργεί ακατάπαυστα περισσότερους κινδύνους για τα οικοσυστήματα, την ανθρώπινη υγεία και την οικονομία. Αντιμετωπίζουμε ήδη τις επιπτώσεις ενός μεταβαλλόμενου κλίματος, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της στάθμης της θάλασσας και των ακραίων καιρικών φαινομένων (πλημμύρες, ξηρασία, καταιγίδες). Αυτές οι αλλαγές συμβαίνουν επειδή μεγάλες ποσότητες αερίων θερμοκηπίου απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα πολλών ανθρώπινων δραστηριοτήτων παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένης κυρίως της καύσης ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η καύση ορυκτών καυσίμων απελευθερώνει επίσης ατμοσφαιρικούς ρύπους που βλάπτουν το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η χρήση ενέργειας αντιπροσωπεύει μακράν τη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από ανθρώπινες δραστηριότητες. Περίπου τα δύο τρίτα των παγκόσμιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου συνδέονται με την καύση ορυκτών καυσίμων για ενέργεια που θα χρησιμοποιηθεί για θέρμανση, ηλεκτρική ενέργεια, διάφορες μεταφορές και χρήση στη βιομηχανία [19].

Στην Ευρώπη οι ενεργειακές διεργασίες αποτελούν τις κυριότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, οι οποίες ευθύνονται για το 78% των συνολικών εκπομπών της Ε.Ε. το 2015. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να αλλάξει το δυναμικό παραγωγής ενέργειας και τις ενεργειακές μας ανάγκες. Για παράδειγμα, οι αλλαγές στον κύκλο νερού επηρεάζουν την υδροηλεκτρική ενέργεια και οι θερμότερες θερμοκρασίες αυξάνουν την ενεργειακή ζήτηση για ψύξη το καλοκαίρι, ενώ μειώνουν τη ζήτηση θέρμανσης το χειμώνα [20]. Στην Ελλάδα οι εκπομπές αερίων ρύπων από τις μονάδες ενέργειας, όπως και η εξόρυξη και η μεταφορά του λιγνίτη από τα ορυχεία στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας δημιουργούν προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή της εκάστοτε μονάδας, με σημαντικότερο θέμα τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων μικροσωματιδίων (PM10). Σύμφωνα με το κέντρο περιβάλλοντος στην περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας, το 2010 σε 9 από τους 15 σταθμούς μέτρησης στους νομούς Κοζάνης και Φλώρινας παρατηρήθηκε υπέρβαση του ορίου που έχει νομοθετηθεί κατά περίπου 20% σε σχέση με τα ευρωπαϊκά όρια [3]. Γενικά, οι πηγές που προκαλούν εκπομπές περιβαλλοντικών ρύπων μπορούν να χωριστούν κατά προσέγγιση σε σταθερές και κινητές πηγές. Παραδείγματα σταθερών πηγών είναι οι εγκαταστάσεις παραγωγής θερμότητας και ενέργειας (όπως συστήματα κεντρικής θέρμανσης και ηλεκτρικοί σταθμοί), ή εγκαταστάσεις όπου πραγματοποιούνται όλα τα είδη βιομηχανικών διεργασιών και κατά την αποθήκευση και τη μεταφόρτωση. Οι κινητές πηγές περιλαμβάνουν διάφορα μέσα μεταφοράς, όπως επιβατικά αυτοκίνητα, φορτηγά, πλοία εσωτερικής ναυσιπλοΐας και αεροσκάφη, καθώς και κινητά μηχανήματα με κινητήρες καύσης [21].

Συγκεκριμένα, η σχέση του λιγνίτη με το περιβάλλον έχει τα εξής περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν. Αρχικά, επιφέρει υψηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), οξειδία θείου (SO_x), οξειδία αζώτου (NO_x), μεθανίου (CH_4), σωματιδίων (PM_{10}), υδρογονανθράκων μη μεθανίου κατά την εξόρυξη λιγνίτη, στη μεταφορά και στη χρήση για παραγωγή της ενέργειας αλλά και βαρέα μέταλλα συμπεριλαμβανομένου, κάδμιου (Cd), μόλυβδου (Pb) και υδράργυρου (Hg) κ.α. Δευτερεύοντα θέματα προκύπτουν από την μεγάλη έκταση γης που εκμεταλεύονται, από τις τέραστιες ποσότητες παραγωγής αποβλήτων, ενώ υπάρχει υψηλός κίνδυνος για πυρκαγιές και για κατάρρευση υπόγειων ορυχείων, όπως συμβαίνει κατά την την εξόρυξη του λιγνίτη όπου και εξαντλούνται τα αποθέματα. Και τέλος, εμπλουτίζει την ατμόσφαιρα και με άλλα απόβλητα, στερεά και υδάτινα, που παράγονται κατά την εξόρυξη του και κατά τη λειτουργία και επεξεργασία των σταθμών παραγωγής [22]. Όλα αυτά τα απόβλητα και οι εκπομπές συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό σε πολλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη και η ανθρώπινη υγεία. Η απελευθέρωση αυτών των ρύπων επηρεάζει την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, βέβαια αυτό καθορίζεται και από το τρόπο που διαλύονται οι ρύποι στην ατμόσφαιρα.

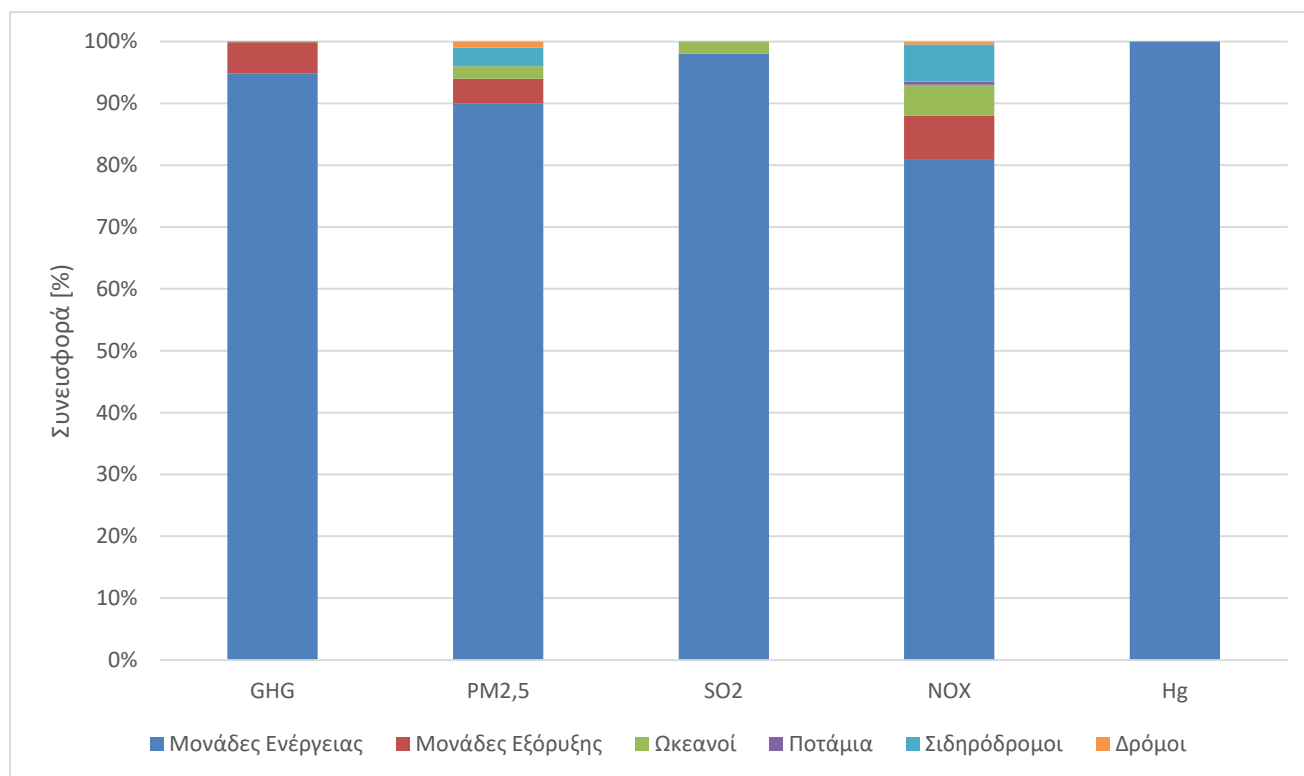
Παρολαυτά, η αντιμετώπιση των μειονεκτημάτων από την καύση άνθρακα σε μαζικές, παρατεταμένες κλίμακες δεν είναι ακατόρθωτη, συμπεριλαμβανομένων τόσο των σοβαρών επιπτώσεων στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία. Ενώ η αντιμετώπιση των αέριων ρύπων του θερμοκηπίου για την κλιματική αλλαγή είναι η πιο σημαντική συνέπεια μακροπρόθεσμα, η πιο σημαντική βραχυπρόθεσμη συνέπεια είναι ότι η καύση άνθρακα συμβάλλει σημαντικά στην ατμοσφαιρική σωματιδιακή ύλη με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από $2,5 \mu\text{m}$ (το λεγόμενο $\text{PM}_{2,5}$), το οποίο είναι γνωστό ότι έχει σημαντική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Η ατμοσφαιρική ρύπανση, από το $\text{PM}_{2,5}$ εκτιμάται ότι οδηγεί σε 3,3 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους ετησίως παγκοσμίως. Μόνο στην Κίνα 1,6 εκατομμύρια πρόωροι θάνατοι υπολογίζονται ετησίως εξαιτίας καρδιαγγειακών και αναπνευστικών βλαβών με την πάροδο του χρόνου. Οι περισσότερες κινεζικές μεγαλουπόλεις υποφέρουν με πάνω από 100 θολές ημέρες κάθε χρόνο με συγκεντρώσεις $\text{PM}_{2,5}$ (δύο έως τέσσερις φορές υψηλότερες από τα όρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, Π.Ο.Υ.). Η καύση άνθρακα είναι ένας από τους σημαντικότερους συντελεστές του $\text{PM}_{2,5}$ στην Κίνα, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στα εξαιρετικά λεπτά σωματίδια PM επειδή τα μικρότερα (νανοκλίμακα) σωματίδια μπορούν να διεισδύσουν στις κυψελίδες των πνευμόνων και στη συνέχεια να μεταφερθούν από την κυκλοφορία του αίματος σε άλλα όργανα, συμπεριλαμβανομένης της καρδιάς, και πολλά είναι επίσης ικανά να περάσουν από το αίμα στο φράγμα εγκεφάλου [15]. Το παγκόσμιο μερίδιο της κατανάλωσης λιγνίτη έχει μειωθεί σταθερά από τη δεκαετία του 1990, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, αλλά σε απόλυτους όρους η κατανάλωσή του παρέμεινε σταθερή [12].

Επομένως, είναι επιτακτική ανάγκη να εκτιμηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την εκμετάλλευση της ενέργειας του λιγνίτη, ώστε να υπάρχει ένα βιώσιμο σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού [4]. Με μια σύντομη αναφορά που έγινε στις επιπτώσεις του λιγνίτη, παρατηρούμε πως η σχέση του με το περιβάλλον είναι καταστροφική. Στο επόμενο και τελευταίο κεφάλαιο για τον λιγνίτη θα αναλύσουμε αυτά τα μειονεκτήματα, δείχνοντας τα μεγάλα νούμερα από τις εκπομπές αερίων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από στατιστικές μελέτες που έχουν γίνει.

2.2 Ενεργειακό αντίκτυπο λιγνίτη

2.2.1 Γενική αναφορά των προβλημάτων

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η βιομηχανία εξακολουθεί να αποτελεί την σημαντικότερη πηγή εκπομπών ρύπων στο περιβάλλον της Ευρώπης, βέβαια η απελευθέρωση ρύπων στον αέρα και το νερό έχει γενικά μειωθεί κατά την τελευταία δεκαετία. Οι περιβαλλοντικές ρυθμίσεις και οι βελτιωμένες τεχνολογίες μείωσης των ρύπων, μεταξύ και άλλων παραγόντων, έχουν οδηγήσει σε μείωση των ρύπων στον αέρα και το νερό. Από την άλλη μεριά, οι δραστηριότητες εξόρυξης συμβάλλουν σημαντικά στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (5%, ποσοτικοποιημένες ως δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη σε 100 έτη) και στις εκπομπές από οξείδια του αζώτου (NO_x) περίπου 9% στη παραγωγή ενέργειας μέσω άνθρακα. Οι εκπομπές μεθανίου (CH₄) από την υπόγεια εξόρυξη άνθρακα βλάπτουν το κλίμα και αντιπροσωπεύουν την σπατάλη ενός πόρου που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για ενεργειακό εφοδιασμό. Για χώρες χωρίς σωστή διαχείριση κατά την εξόρυξη, οι εκπομπές μπορούν να αντιπροσωπεύουν έως και 13% των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά μήκος της αλυσίδας αξίας ισχύος άνθρακα. Οι εκπομπές των οξειδίων αζώτου προκαλούνται κυρίως από τις μονάδες εξόρυξης και, σε μερικές ακραίες περιπτώσεις, ευθύνονται για έως και το 68% των συνολικών εκπομπών NO_x οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα (βλ. Πίνακας 2.4). Πρόσθετες εκπομπές προκαλούνται από ανεξέλεγκτες πυρκαγιές, αλλά δεν υπάρχουν διαθέσιμα αξιόπιστα δεδομένα και, ως εκ τούτου, δεν περιλαμβάνονται [12].



Πίνακας 2.4 Συνολική συνεισφορά εκπομπών [12].

Άλλες εκπομπές που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι τα θειικά οξείδια, τα οξείδια του άνθρακα, τα μικροσωματίδια και ο υδράργυρος. Όλα τα προαναφερθέντα βρίσκονται κάτω από τον ίδιο παρονομαστή και δεν είναι άλλος από τις μονάδες ενέργειας, τα οποία ευθύνονται εξ ολοκλήρου για τις απελευθερώσεις στην ατμόσφαιρα. Αυτό οφείλεται τόσο στα συστατικά του καυσίμου όσο και των πολύπλοκων αντιδράσεων κατά τη διάρκεια της καύσης και τις επεξεργασίας των καυσαερίων [12]. Οι εκπομπές από τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη, στην αιθαλομίχλη του όζοντος, στην όξινη βροχή, στην περιφερειακή ομίχλη, και ίσως το πιο σημαντικό από όλα στην δημόσια υγεία από τη μόλυνση των λεπτών σωματιδίων. Ως αποτέλεσμα να προκαλούν δεκάδες χιλιάδες πρόωρους θανάτους κάθε χρόνο και εκατοντάδες χιλιάδες καρδιακές προσβολές, κρίσεις άσθματος, επισκέψεις σε επείγουσες αίθουσες των νοσοκομείων και χαμένες εργάσιμες ημέρες [23]. Επιπροσθέτως, η καύση του άνθρακα δημιουργεί υποπροϊόντα αποβλήτων γνωστά ως υπολείμματα της καύσης, 60% εκ των οποίων είναι τέφρα άνθρακα. Η τέφρα περιέχει ραδιενεργά στοιχεία και ποικίλες συγκεντρώσεις μετάλλων συμπεριλαμβανομένου του αρσενικού, του καδμίου, του μολύβδου και του υδραργύρου. Περίπου το 80% της τέφρας άνθρακα είναι ιπτάμενη τέφρα, η οποία αποτελείται από υαλώδεις σφαίρες με εύρος αναπνοής σε μέγεθος μεταξύ 1,98 μm και 5,64 μm. Καθώς το μέγεθος των σωματιδίων μειώνεται και η επιφάνεια αυξάνεται, οι συγκεντρώσεις ρύπων στην τέφρα άνθρακα αυξάνονται. Διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση μετάλλων στην ιπτάμενη τέφρα μπορεί να είναι 2 φορές μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση που βρίσκεται στον άνθρακα. Το 2014 εργοστάσια με καύση άνθρακα στις Ηνωμένες Πολιτείες παρήγαγαν περίπου 130 εκατομμύρια τόνους υπολειμμάτων καύσης άνθρακα.

Η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α (Environmental Protection Agency, EPA) εκτιμά ότι η τέφρα άνθρακα αποθηκεύεται σε περισσότερους από 310 ενεργούς χώρους υγειονομικής ταφής και εκτιμάται ότι έχει συμβολή σε 735 επιφανειακές καταστροφές σε 47 πολιτείες. Η ηλικία των εγκαταστάσεων αποθήκευσης ποικίλλει σημαντικά, όμως το 75% είναι άνω των 25 ετών και το 10% είναι άνω των 50 ετών. Ως εκ τούτου, πολλοί δεν διαθέτουν επαρκή προστασία για τη μείωση της περιβαλλοντικής μόλυνσης [24]. Η συνολική απόδοση σχετίζεται με την ηλικία των μονάδων, οι γηραιότερες (που κατασκευάστηκαν πριν από το 1970) παράγουν 11% της καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα και γενικά έχουν υψηλότερες εντάσεις εκπομπών από τις νεότερες. Για τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής άνθρακα που κατασκευάστηκαν μεταξύ 1970 και 2000, η μέση καθαρή ηλεκτρική απόδοση είναι παρόμοια (περίπου 31,4% με βάση τις χαμηλότερες τιμές θέρμανσης). Μια νέα τάση μπορεί να παρατηρηθεί για τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής άνθρακα που κατασκευάστηκαν από το 2000 και μετά. Οι εντάσεις εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μειώνονται συνεχώς, κυρίως λόγω της προσθήκης μεγάλων, εξαιρετικά αποδοτικών σταθμών παραγωγής στην Κίνα και την Ινδία. Ωστόσο, λιγότερα αποδοτικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας άνθρακα εξακολουθούν να αναπτύσσονται σε πολλά μέρη του κόσμου [12].

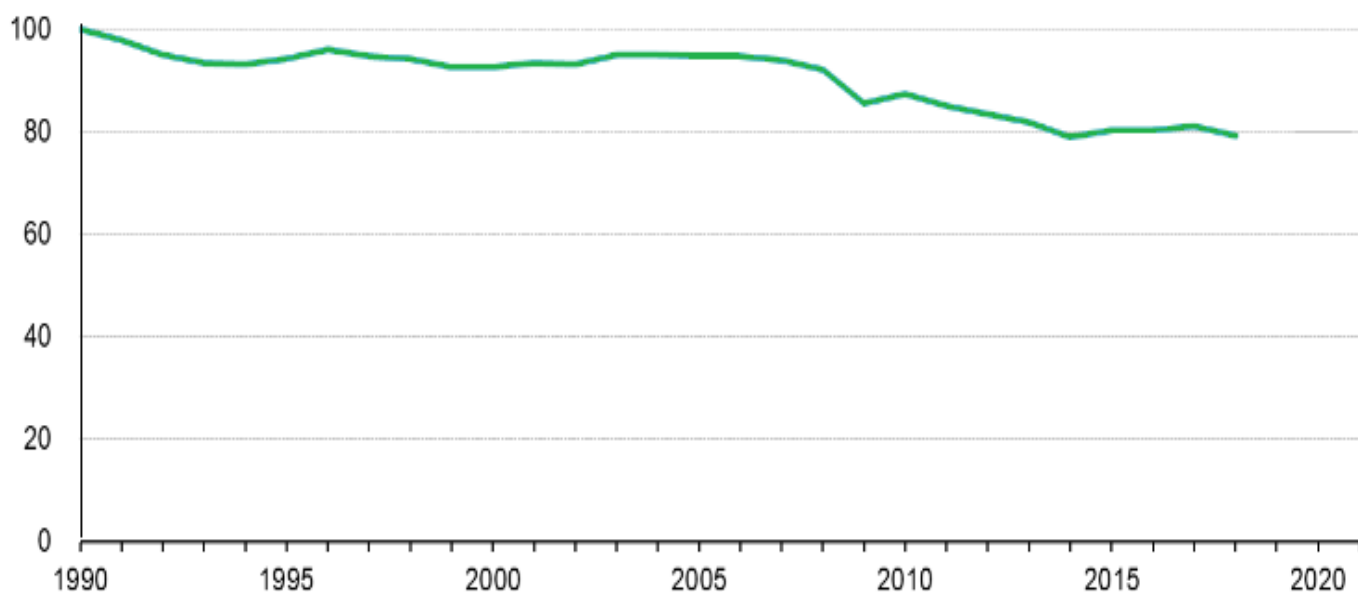
Όπως είναι εύκολα αντιληπτό η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τα ορυκτά καύσιμα όχι μόνο έχει μεγάλες εκπομπές άνθρακα, αλλά έχει επίσης σημαντικές επιπτώσεις στην τοπική ποιότητα του αέρα (λόγω εκπομπών πρωτογενών και αντιδραστικών ατμοσφαιρικών ρύπων) και του νερού. Οι στρατηγικές του τομέα της ενέργειας είναι επομένως επικεντρωμένες για την αντιμετώπιση του κλίματος, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των υδάτων. Για παράδειγμα, η αύξηση της παραγωγής από πηγές χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, όπως η αιολική, η ηλιακή και η πυρηνική ενέργεια, μπορεί να μετριάσει τις εκπομπές άνθρακα, ενώ ταυτόχρονα ωφελεί για την ποιότητα του αέρα και της υγείας μειώνοντας τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από την παραγωγή με βάση τα ορυκτά. Οι επιδράσεις στο νερό, ωστόσο εξαρτώνται από την επιλογή της τεχνολογίας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, διότι ορισμένες τεχνολογίες όπως οι πυρηνικοί σταθμοί και οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από βιοενέργεια μπορούν να καταναλώνουν μεγαλύτερες ποσότητες νερού από τις μονάδες άνθρακα [25]. Η σταδιακή κατάργηση του άνθρακα στην Ε.Ε.

κατευθύνεται από μια σειρά εθνικών και κοινοτικών πολιτικών που αποσκοπούν στον καθαρισμό του αέρα και στη μείωση της κλιματικής αλλαγής. Αυτές περιλαμβάνουν αυστηρότερους στόχους κατά της ρύπανσης της ατμόσφαιρας σε γηράσκοντα εργοστάσια άνθρακα, τιμολόγηση άνθρακα, κατάργηση των επιδοτήσεων άνθρακα και αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Όλα αυτά επηρεάζουν αρνητικά την οικονομία των εγκαταστάσεων άνθρακα, διασφαλίζοντας το ενδεχόμενο κλείσιμo τους [14].

2.2.1.1 Αέρια θερμοκηπίου

Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται στη διαφοροποίηση που λαμβάνει χώρα στα κλιματικά πρότυπα λόγω των ανθρώπινων διεργασιών, που υπερβαίνουν τη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος. Αυτό πραγματεύεται από αέριους ρύπους που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα μας, με τους παράγοντες να είναι η καύση των ορυκτών καυσίμων, η επεξεργασία αποβλήτων, οι βιομηχανικές διεργασίες και η κτηνοτροφία. Οι άμεσες επιπτώσεις που βιώνουμε περιλαμβάνουν την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και τις ακραίες καιρικές συνθήκες. Αυτές οι επιπτώσεις έχουν ως επακόλουθο ευρείες επιπτώσεις στο οικοσύστημα, την οικονομία, την κοινωνία και την ανθρώπινη υγεία. Πρέπει να αντιμετωπίσουμε τις συνέπειες ενώ προσπαθούμε να αντιμετωπίσουμε τις αιτίες της κλιματικής αλλαγής. Οι στατιστικές που σχετίζονται με την αλλαγή του κλίματος μπορούν να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα όλη αυτή τη διαδικασία [26].

Τα αέρια του θερμοκηπίου παγιδεύουν τη θερμότητα εντός της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα ο πλανήτης μας να γίνεται θερμότερος. Κυρίως οι ανθρώπινες παρεμβάσεις είναι υπεύθυνες για την εξ' ολοκλήρου αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στην Γη τα τελευταία 150 χρόνια. Ανά τα χρόνια, οι εκπομπές μπορούν να αυξηθούν και να μειωθούν λόγω αλλαγών στην οικονομία, την τιμή των καυσίμων και άλλους παράγοντες, για παράδειγμα το 2017 οι αέριοι ρύποι μειώθηκαν σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα του 2016. Η μείωση των εκπομπών CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων ήταν αποτέλεσμα πολλών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της συνεχιζόμενης μετάβασης από τον άνθρακα στο φυσικό αέριο, της αυξημένης χρήσης ανανεώσιμων πηγών στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας και του ήπιου καιρού που συνέβαλε στη μείωση συνολικά της ηλεκτρικής ενέργειας [26]. Συγκεκριμένα, στην Ε.Ε.-28 όλοι οι κύριοι τομείς, εκτός από τις μεταφορές έχουν μειώσει τις εκπομπές των αερίων ρύπων σε σύγκριση με το 1990 κατά 22% (βλ. Πίνακας 2.5). Οι κύριες κινητήριες δυνάμεις για τη μείωση των συνολικών εκπομπών των αερίων ρύπων είναι οι τεχνολογικές βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση και στο ενεργειακό μείγμα. Λόγω των τεχνολογικών αλλαγών και καινοτομίας, καταναλώνετε όλο και λιγότερη ενέργεια ενώ παράγονται περισσότερα αγαθά και υπηρεσίες. Επιπλέον, η παραγωγή της βασίζεται περισσότερο σε τεχνολογίες Α.Π.Ε., γεγονός που παρουσιάστηκε το 2009 όπου και σημειώθηκε η μεγαλύτερη μείωση όταν οι εκπομπές των αερίων μειώθηκαν απότομα κατά περισσότερο από 376 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO₂, ή 7,2%. Αυτή η ιδιαίτερα απότομη ποσοστιαία πτώση μπορεί εν μέρει να αποδοθεί και στις επιπτώσεις της οικονομικής κρίσης [26].



Πίνακας 2.5 Ποσοστό μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με το 1990 στην Ε.Ε-28 [26]. © Eurostat, 2019

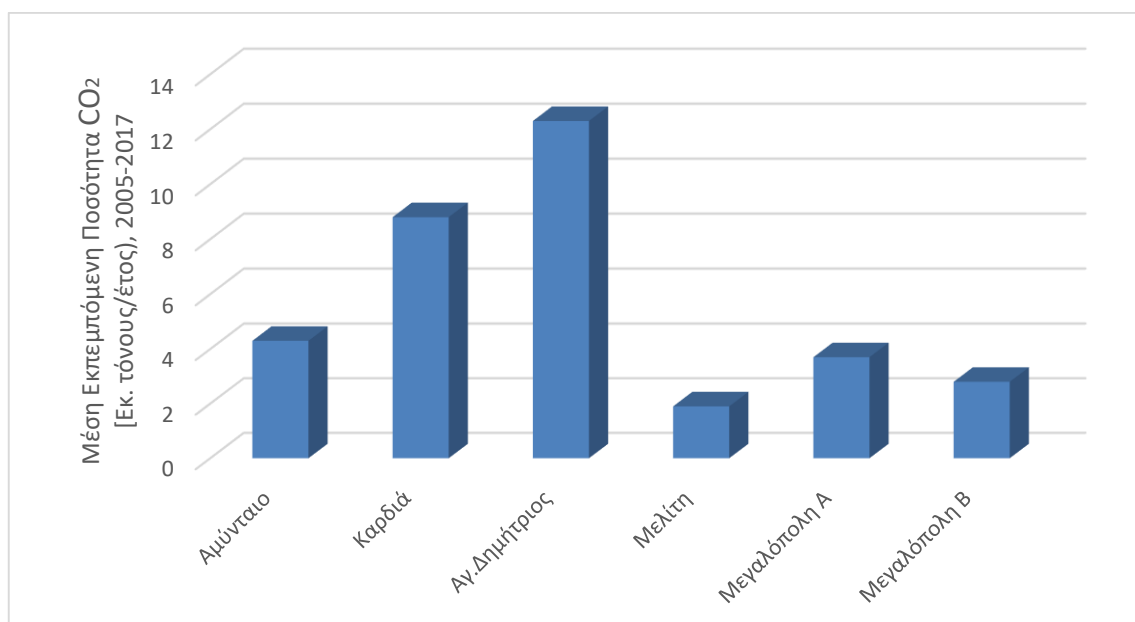
Η πόρεια του μέλλοντος για τις συνολικών εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου βρίσκεται σχετικά σε ένα καλό μονοπάτι. Το 2017, οι εκπομπές των ρύπων του θερμοκηπίου ισοδυναμούσαν με 4,5 δισεκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO₂ σε σύγκριση με τα 5,7 δισεκατομμύρια τόνους το 1990, η μείωση που σημειώθηκε ήταν της τάξης των 1,2 δισεκατομμυρίων τόνων ή 22%. Ωστόσο, ο φιλόδοξος στόχος της Ε.Ε. για το 2030, είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου να εκτοξευτεί κατά τουλάχιστον 40% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Περίπου κάθε πέντε χρόνια υπάρχουν ένα ή δύο έτη όπου οι συνολικές εκπομπές αυξάνονται ελαφρώς σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Η μεγάλη πτώση το 2009 σχετίζεται σαφώς με την οικονομική ύφεση, αυτό όμως δε σημαίνει ότι η οικονομική δραστηριότητα της ενέργειας μειώθηκε. Έτσι, ενώ οι εκπομπές μειώθηκαν ανά άτομο κατά 22% τα τελευταία 22 χρόνια (1995-2017), ο πληθυσμός αυξήθηκε κατά 6%. Οι συνολικές εκπομπές των καυσαερίων από τις ενεργειακές βιομηχανίες μειώθηκαν έντονα από το 1990 έως το 2018 κατά 424 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO₂ ή 29%. Ταυτόχρονα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας αυξήθηκε κατά 19%, με την κινητήρια δύναμη να είναι η αλλαγή στο μείγμα καυσίμου [26].

2.2.1.2 Εκπομπές διοξειδίου άνθρακα (CO₂)

Το διοξείδιο του άνθρακα έχει τεράστια συμβολή στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων, με το ποσοστό του να βρίσκεται περίπου στο 60%. Το συγκεκριμένο αέριο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα με διάφορους τρόπους, ο κυριότερος παράγοντας είναι ο άνθρωπος και οι δραστηριότητές του. Με την καύση των ορυκτών καυσίμων και την αποψίλωση των δασών, οι ποσότητες εκπομπών του CO₂ εκτοξεύτηκαν ενώ παράλληλα

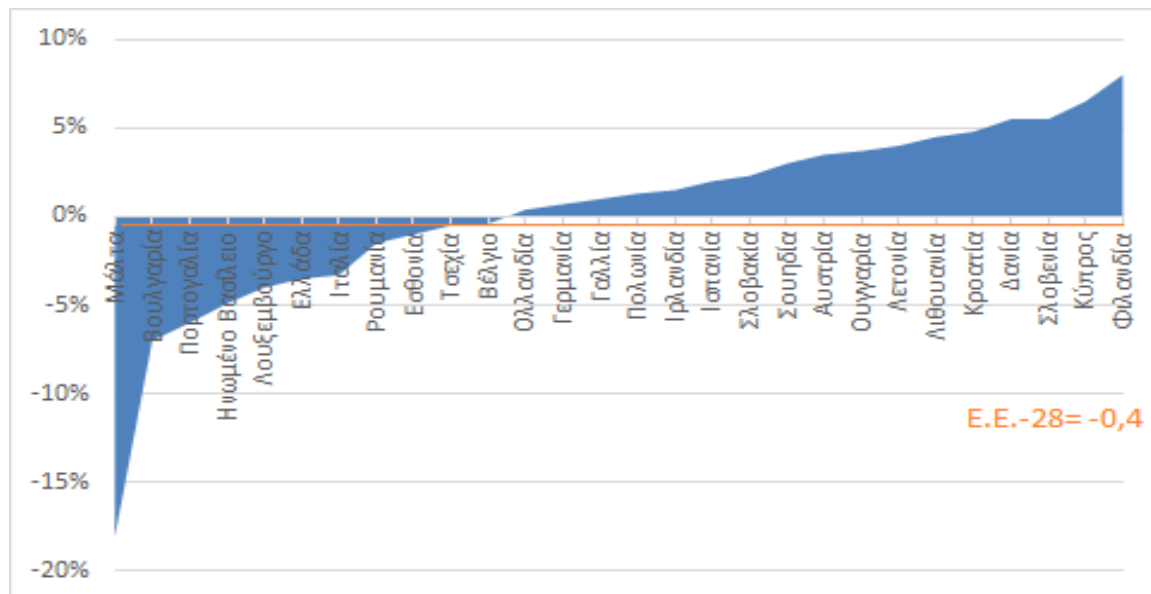
και οι φυσικές διεργασίες του περιβάλλοντος βοήθησαν, όπως η φυσική αναπνοή κάθε έμβιας ζώης και η έκρηξη των ηφαιστείων. Σύμφωνα με τους ειδικούς, μετά από την αρχική απελευθέρωση, το 40% του διοξειδίου του άνθρακα παραμένει στην ατμόσφαιρα για 100 χρόνια περίπου, το 20% για 1.000 χρόνια, και το 10% θα χρειαστεί πάνω από 10.000 χρόνια για να εξαφανιστεί αντίστοιχα.

Στην Ελλάδα, με βάση τα στοιχεία από το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών (ETS, Emissions Trading System), της Eurostat και του Α.Δ.Μ.Η.Ε., ενώ γίνονται προσπάθειες και έχει μειωθεί η λιγνιτική παραγωγή, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τους λιγνιτικούς σταθμούς έχουν συνεισφορά κοντά στο 31% των συνολικών εκπομπών της χώρας. Διαχρονικά ο μεγαλύτερος ρυπαντής είναι το λιγνιτικό συγκρότημα του Αγίου Δημητρίου με μέσο ετήσιο όριο εκπομπών 12,34 Mt CO₂ (βλ. Πίνακας 2.6). Με το λιγνιτικό σταθμό της Μεγαλόπολης Β να έχει τη χειρότερη απόδοση ξεπερνώντας τα τελευταία έτη τους 2 τόνους CO₂/MWh, τη στιγμή όπου ο μέσος όρος βρισκόταν στους 1,89 τόνους CO₂/MWh κατά την περίοδο 2014 - 2017 και με τον αντίστοιχο σταθμό στο Μελίτη να έχει την καλύτερη απόδοση με μέση ένταση εκπομπών 1,24 τόνους CO₂/MWh. Γενικότερα, η μέση ετήσια απόδοση όλων των λιγνιτικών εγκαταστάσεων της χώρας χειροτερεύει, από 1,49 τόνους CO₂/MWh το 2014 έφτασε στους 1,63 τόνους CO₂/MWh το 2017.



Πίνακας 2.6 Μέσος ετήσιος όρος εκπομπών CO₂ των λιγνιτικών μονάδων, 2005-2017 [27].

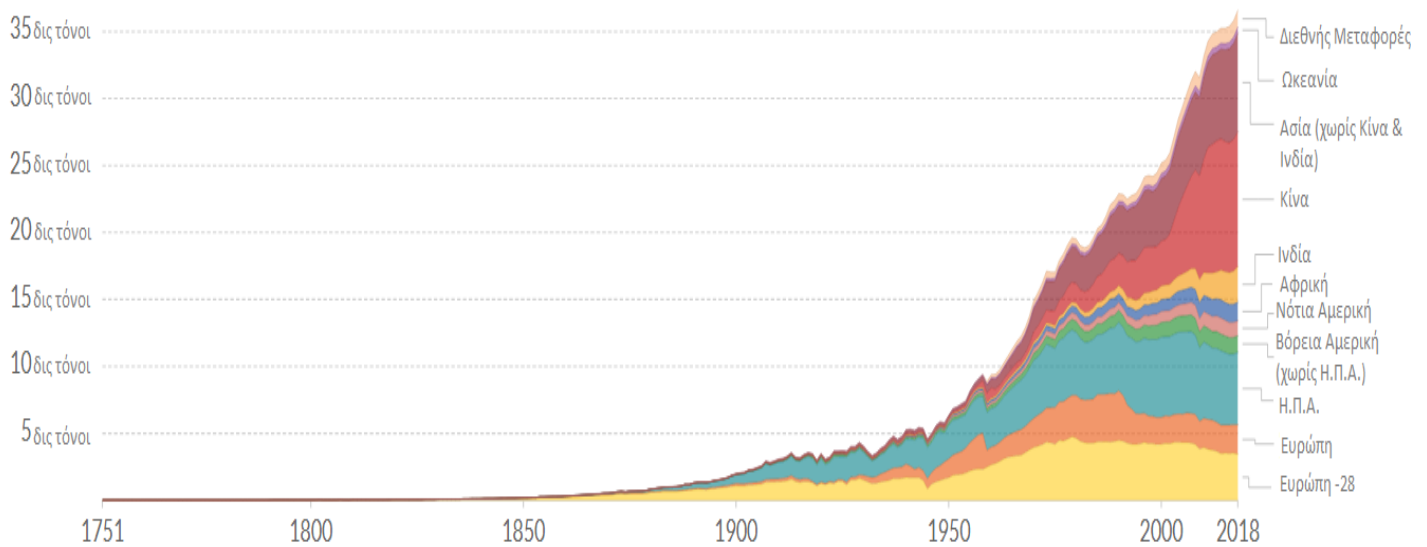
Η Eurostat στο πίνακα 2.7, ανέφερε την μείωση των εκπομπών αερίων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από την καύση των ορυκτών καυσίμων κατά 0,4% στην Ευρωπαϊκή Ένωση, σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος.



Πίνακας 2.7 Ετήσιο ποσοστό εκπομπών CO₂ στην E.E.-28 [6]. © Eurostat, 2017

Οι εκπομπές CO₂ αντιπροσωπεύουν περίπου το 80% των συνολικών αερίων θερμοκηπίου στην E.E. και όπως διαπιστώνουμε συμβάλλουν σημαντικά στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες όπως οι κλιματολογικές συνθήκες, η οικονομική ανάπτυξη ή κρίση, η ποσοτική αυξομείωση του πληθυσμού, οι μεταφορές και οι βιομηχανικές δραστηριότητες. Ταυτόχρονα αρκετές πρωτοβουλίες βελτιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης της E.E. στοχεύουν στη μείωση των αέριων ρύπων CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου, ενώ πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι εισαγωγές και εξαγωγές ενεργειακών προϊόντων έχουν σημαντικό αντίκτυπο στους αέριους ρύπους στη χώρα όπου καίγονται ορυκτά καύσιμα, για παράδειγμα, εάν εισαχθεί άνθρακας, αυτό οδηγεί σε αύξηση των εκπομπών, ενώ εάν εισάγεται ηλεκτρική ενέργεια, δεν έχει άμεση επίδραση στις εκπομπές στη χώρα εισαγωγής, καθώς αυτές θα αναφερθούν στη χώρα εξαγωγής στην οποία παράγεται [6].

Το αντίκτυπο στη χρήση άνθρακα για την αλλαγή του κλίματος είναι αδιαμφισβήτητο, οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από άνθρακα στην E.E. άντλησαν 659 εκατομμύρια τόνους CO₂ στην ατμόσφαιρα το 2017, όπου ισοδυναμούσε με το 66% των εκπομπών CO₂ του τομέα της ενέργειας. Ως εκ τούτου, η απόσυρση των αντίστοιχων μονάδων θεωρείται ευρέως ως «γρήγορη νίκη» για τη μείωση των εκπομπών [14]. Στο πίνακα 2.8 που ακολουθεί, οι εκπομπές που εμφανίζονται σχετίζονται με τη χώρα στην οποία παράγεται το CO₂ και όχι με το που καταναλώνονται τα τελικά αγαθά και οι υπηρεσίες από τις οποίες παράγονται οι εκπομπές, όπως και επίσης δεν αναφέρεται αποκλειστικά για τις εκπομπές στην ηλεκτροπαραγωγή. Μπορούμε να διακρίνουμε με την πάροδο του χρόνου την ραγδαία αύξηση των αέριων ρύπων, με την παρουσία του ανθρώπου να έχει παίξει πρωταγωνιστικό ρόλο. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί παράγωγο των εκπομπών του διοξειδίου άνθρακα και μια από τις χειρότερες συνέπειες είναι η αύξηση της θερμοκρασίας στη Γη. Γεγονός διότι ζούμε στην εποχή με τα υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης CO₂ με εκπομπές άνω των 36 δισεκατομμυρίων τόνων ετησίως, ως εκ τούτου η θερμοκρασία στο περιβάλλον έχει αυξηθεί περισσότερο από 1°C από την προβιομηχανική εποχή [28]. Σε παγκόσμιο επίπεδο, το CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων αντιπροσωπεύει περίπου τα τρία τέταρτα των ετήσιων ανθρωπογενών ρύπων αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με τη διατήρηση της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από τους 2°C και την αποτροπή της επικίνδυνης κλιματικής αλλαγής, οι εκπομπές CO₂ από ορυκτά καύσιμα πρέπει να μειωθούν γρήγορα, σχεδόν να μηδενιστούν κατά το δεύτερο μισό αυτού του αιώνα [29].

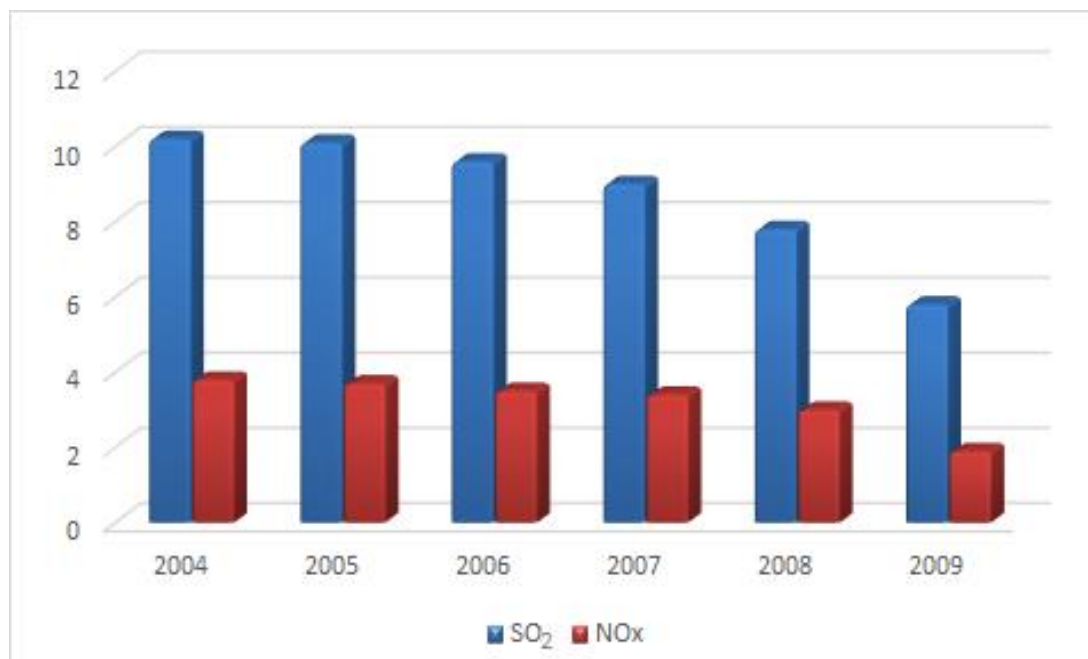


Πίνακας 2.8 Ετήσιες εκπομπές CO₂ ανά παγκόσμια περιοχή [28].

2.2.1.3 Εκπομπές διοξειδίου αζώτου (NO_x), διοξειδίου θείου (SO₂) & μικροσωματιδίων (PM)

Οι εκπομπές άνθρακα των βασικών αέριων ρύπων που σχηματίζουν ρύπους από μικροσωματίδια όπως το διοξείδιο του θείου (SO₂) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x) έχουν μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις παραμένουν μεταξύ των κορυφαίων συντελεστών στη μόλυνση. Ως αποτέλεσμα, οι ρύποι τους συνεχίζουν να έχουν σημαντική επιβάρυνση για την υγεία και τη μακροζωία εκατομμυρίων Αμερικανών. Με την εθνική δέσμευση ώστε να αναπτυχθούν οι πιο προηγμένες τεχνολογίες ελέγχου της ρύπανσης, να εφαρμοστούν βελτιώσεις απόδοσης κόστους και να αυξήσουν σταθερά τη χρήση εγγενώς καθαρότερων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχει η ευκαιρία να σωθούν χιλιάδες ακόμη ζωές και να αποφευχθούν δαπανηρές επιπτώσεις στην υγεία λόγω των εκπομπών του τομέα της ενέργειας. Από το παρακάτω πίνακα 2.9, παρατηρούμε πως κατά τη διάρκεια 2005-2009, οι αέριοι ρύποι μειώθηκαν σημαντικά στις Ηνωμένες Πολιτείες από τις μονάδες παραγωγής ενέργειας.

Τα ανώτατα όρια για τη ρύπανση από SO₂ και NO_x είναι εφικτά και οικονομικά αποδοτικά και αντικατοπτρίζουν τόσο την πρόοδο που σημειώθηκε όσο και την απόδοση του εξοπλισμού ελέγχου της ρύπανσης. Κατά τη περίοδο 2005-2009, ο εξοπλισμός ελέγχου εκπομπών εγκαταστάθηκε σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας σε όλη την Αμερική και βοήθησε τα εργοστάσια με χρήση άνθρακα να μειώσουν τους ρυθμούς των ρύπων, σχεδόν κατά το ήμισυ χωρίς να επηρεάζουν αισθητά τις τιμές ή τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας, τις τιμές φυσικού αερίου ή την αξιοπιστία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.



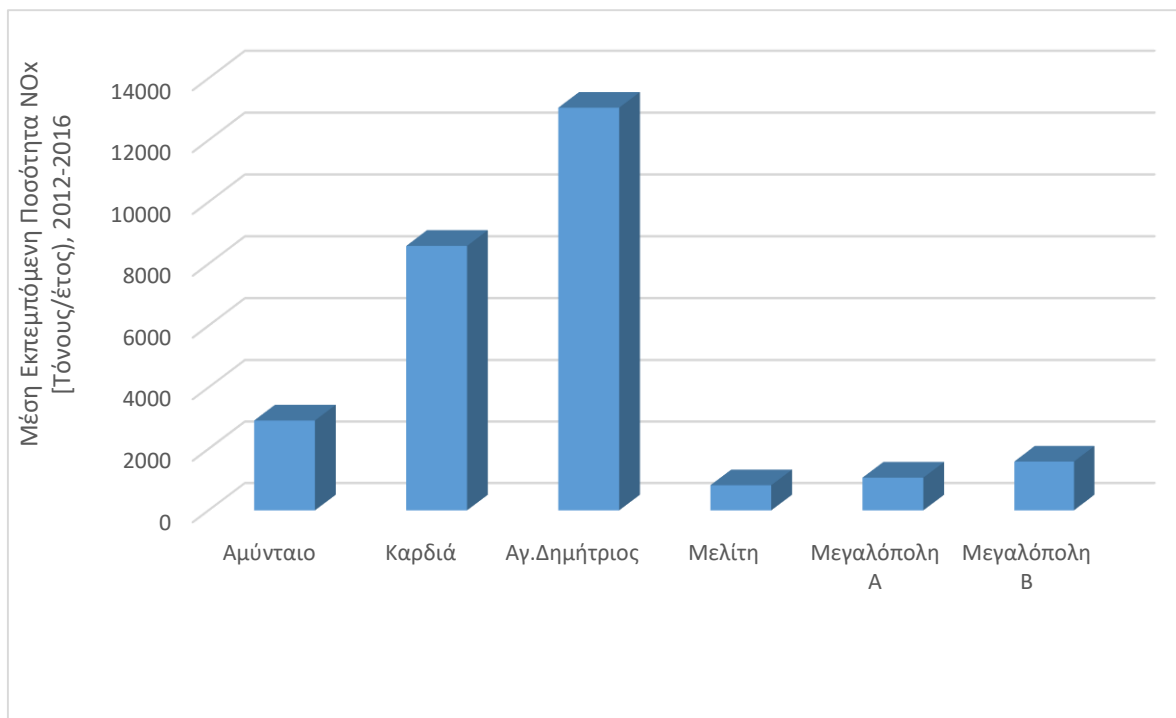
Πίνακας 2.9 Εκπομπές SO₂ και NO_x από μονάδες παραγωγής ενέργειας (Εκ. τόνους) [23].

Το 2008, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής αντιστοιχούσαν στο 66% του εθνικού αποθέματος SO₂ με τη συντριπτική πλειοψηφία αυτής της συνεισφοράς (πάνω από 98%) να προέρχεται από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα. Οι εκπομπές διοξειδίου του θείου από τις μονάδες εμφανίζονται ως ο κύριος μοχλός των δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία σε μεγάλο μέρος της χώρας [23].

Οι εκπομπές NO_x, SO₂ και PM από τον κύκλο ζωής του λιγνίτη, έχουν μεγαλύτερες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, από ό,τι στην κλιματική αλλαγή. Αυτό συμβαίνει παρά το γεγονός ότι οι αντίστοιχες εκπομπές είναι πολύ μικρότερες από τις εκπομπές CO₂ που συμβάλλουν στην κατηγορία των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Το πιο σοβαρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα από την επεξεργασία του λιγνίτη είναι η επίδραση της οξίνισης που προκαλείται από την απελευθέρωση των βασικών αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα (NO_x, SO₂). Σημειώνεται ότι οι εκπομπές διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου αποτελούν τις κύριες αιτίες εναπόθεσης οξέος που μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στην ποιότητα του εδάφους και των υδάτων, σε καταστροφές στα δάση, στις καλλιέργειες και στη βλάστηση και έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στα υδρόβια οικοσυστήματα, ποτάμια και λίμνες. Η οξίνιση βλάπτει επίσης τα οικοδομήματα, όπως τα κτίρια και τα πολιτιστικά μνημεία και ενδεχομένως συνδέεται και με τις ανθρώπινες αναπνευστικές ασθένειες, ενώ και άλλες επιπτώσεις στην υγεία μπορεί να προκύψουν εάν η οξίνιση επηρεάζει τα υπόγεια ύδατα που χρησιμοποιούνται για τη δημόσια παροχή νερού [4]. Όσον αφορά τον σχηματισμό των μικροσωματιδίων, τα θειικά άλατα σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τις εκπομπές του SO₂ αλληλεπιδρώντας με τις αντίστοιχες του NO_x. Τα λεπτά σωματίδια είναι ένα μείγμα επιβλαβών ρύπων (π.χ. αιθάλη, σταγονίδια οξέος, μέταλλα) που προέρχονται κυρίως από πηγές καύσης όπως σταθμούς παραγωγής ενέργειας, πετρελαιοφόρα οχήματα,

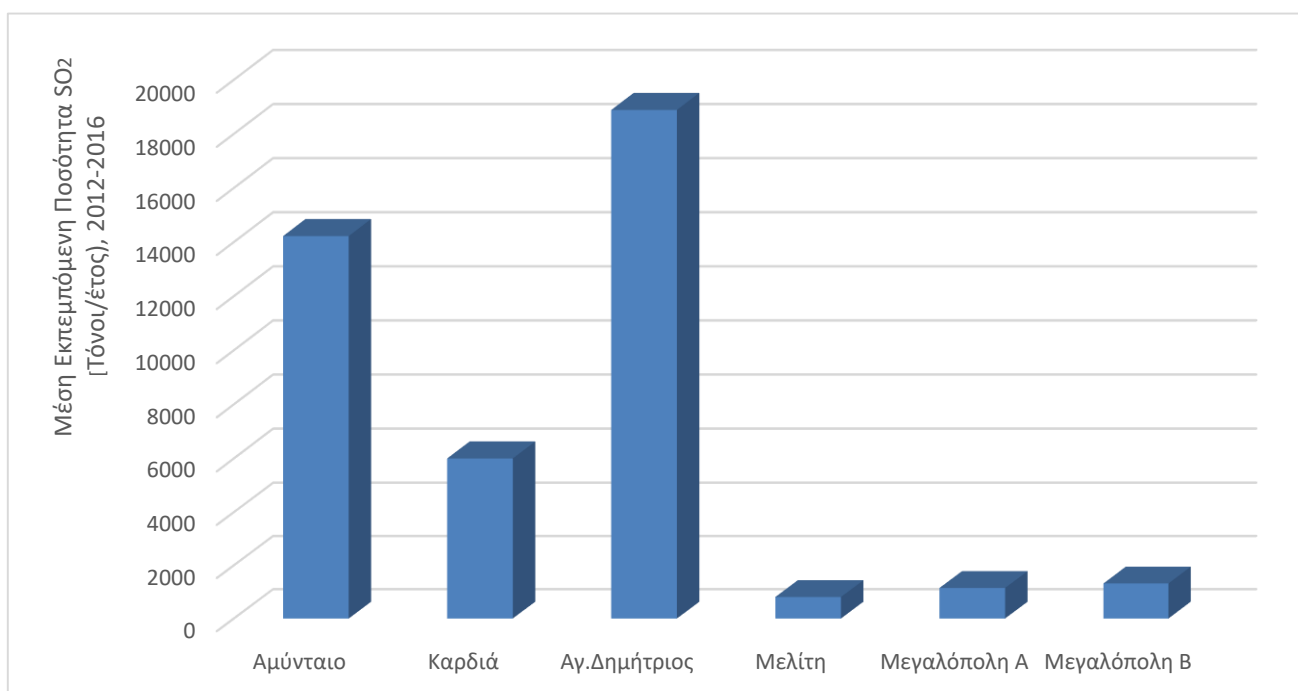
λεωφορεία και αυτοκίνητα. Το 1997 ο Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency, EPA) καθόρισε για πρώτη φορά εθνικά πρότυπα υγείας για τα λεπτά σωματίδια (αναφέρεται ως «PM_{2,5}» ή σωματιδιακή ύλη μικρότερη από 2,5 μικρά ή 2,5 εκατοστά του μέτρου σε διάμετρο ή μικρότερο από το ένα εκατοστό του πλάτους μιας ανθρώπινης τρίχας). Τα λεπτά σωματίδια είτε εκπέμπουν αιθάλη απευθείας από αυτές τις πηγές καύσης ή σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) ή οξειδίων του αζώτου (NO_x). Μεταξύ των αερομεταφερόμενων σωματιδίων, τα μικρότερα (λεπτά) σωματίδια καύσης προκαλούν σοβαρή ανησυχία επειδή είναι τόσο μικροσκοπικά που μπορούν να εισπνευστούν βαθιά και να εισχωρήσουν στην κυκλοφορία του αίματος και να μεταφερθούν σε ζωτικά όργανα, όπως τον πνεύμονα [23].

Η παρούσα κατάσταση στην Ελλάδα προκαλεί έντονο ενδιαφέρον για τις αέριες εκπομπές από τις λιγνιτικές μονάδες, σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος μόνο δυο μονάδες στη χώρα μας συμμορφώνονται με το ευρωπαϊκό όριο μέσης συγκέντρωσης αέριων εκπομπών, αυτές είναι η Μελίτη I και η Μεγαλόπολη Α. Συγκεκριμένα διοχετεύουν στην ατμόσφαιρα ποσότητες NO_x περίπου 175 mg/Nm³, σε αντίθεση με τις τρεις μονάδες του Αγ. Δημητρίου που εκπέμπουν συνολικά κατά μέσο όρο 13.047 τόνους τον χρόνο (βλ. Πίνακας 2.10) ενώ οι αντίστοιχες μέσες συγκεντρώσεις τους σε NO_x κυμαίνονται μεταξύ 252 και 364 mg/Nm³, όπου και βρίσκονται 2 φορές πάνω από το ευρωπαϊκό όριο εκπομπών [27].



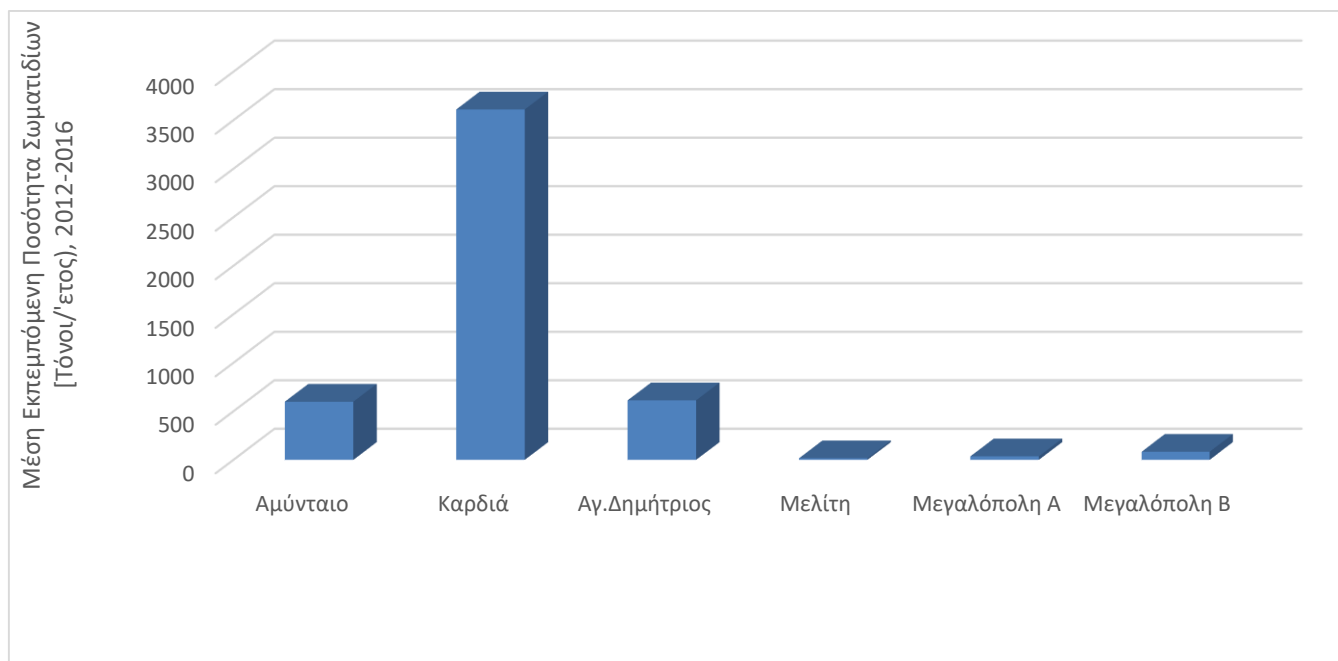
Πίνακας 2.10 Μέση εκπεμπόμενη ποσότητα NO_x των λιγνιτικών μονάδων, 2012-2016 [27].

Όσον αφορά τις εκπομπές από διοξείδιο του θείου, ο μοναδικός σταθμός που βρίσκεται εντός ευρωπαϊκών ορίων στη μέση συγκέντρωση (130 mg/Nm^3) είναι η μονάδα Μελίτη Ι. Με την μονάδα ΑΗΣ Αμυνταίου να είναι με διαφορά πρώτη στην Ελλάδα και στη μέση συγκέντρωση SO_2 και στη μέση εκπεμπόμενη ποσότητα ανά έτος, κατά την περίοδο 2012-2016. Με μέση συγκέντρωση την πενταετία 1.087 mg/Nm^3 και 14.222 τόνους αντίστοιχα, έχει ξεπεράσει το ευρωπαϊκό όριο κατά 8,4 φορές. Οι υπόλοιποι τρεις σταθμοί του συγκροτήματος του Αγ. Δημητρίου συνολικά το έτος εκπέμπουν 18.855 τόνους (βλ. Πίνακας 2.11), ενώ ένας μέσος όρος για τις συγκεντρώσεις τους κυμαίνονται ανάμεσα σε 313 και 668 mg/Nm^3 , με τις οποίες να ξεπερνούν ευρωπαϊκό όριο εκπομπών έως και 5 φορές. Ενώ παρόλο που ο ΑΗΣ Μεγαλόπολης Β έχει σύστημα υγρής αποθείωσης ως ρόλο φίλτρου, ο μέσος όρος εκπομπών κυμαίνεται στα 307 mg/Nm^3 κάτι που υπερβαίνει κατά πολύ το όριο.



Πίνακας 2.11 Μέση εκπεμπόμενη ποσότητα SO_2 των λιγνιτικών μονάδων, 2012-2016 [27].

Τέλος, για τις εκπομπές των μικροσωματιδίων οι λιγνιτικές μονάδες στην Καρδιά υπερβαίνουν κατά μεγάλο βαθμό τα όρια για τη μέση συγκέντρωση, 17 - 19 φορές, κόντα στα 12 mg/Nm^3 , επιβαρύνοντας έτσι την ατμόσφαιρα κατά μέσο όρο με 2.931 τόνους σωματιδίων τον χρόνο (βλ. Πίνακας 2.12).



Πίνακας 2.12 Μέση εκπεμπόμενη ποσότητα σωματιδίων των λιγνιτικών μονάδων, 2012-2016 [27].

2.2.1.4 Εκπομπές βαρέων μετάλλων

Η ηλεκτροπαραγωγή με χρήση άνθρακα έχει συμβολή στους αέριους ρύπους με την απελευθέρωση βαρέων μετάλλων, τα πιο σύνηθες και πιο δραστικά είναι ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), ο υδράργυρος (Hg) και το νικέλιο (Ni). Οι απελευθερώσεις των βαρέων μετάλλων είναι ικανές να δημιουργήσουν προβλήματα στο έδαφος, το νερό μέχρι και στην υγεία του ανθρώπου, μέσω της βιοσυσσώρευσης στη τροφική αλυσίδα. Υπάρχουν μόνο λίγες περιοχές στην Ευρώπη όπου οι συγκεντρώσεις υπερβαίνουν τις τιμές των ορίων ή στόχων. Η έκθεση του ανθρώπου και οι υπερβάσεις των ορίων σε αυτές τις περιοχές είναι κυρίως τοπικό πρόβλημα και προκαλείται συνήθως από τις συγκεκριμένες βιομηχανικές μονάδες.

Οι εκπομπές καδμίου (Cd) μειώθηκαν στην Ευρώπη κατά περίπου 35% από το 1990 έως το 2017. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό λόγω των βελτιώσεων στις τεχνολογίες μείωσης της επεξεργασίας των λυμάτων και των αποτεφρωτήρων, καθώς και στις τεχνολογίες διύλισης και τήξης μετάλλων των εγκαταστάσεων. Οδηγίες και κανονισμοί της Ε.Ε. που επιβάλλουν μειώσεις και όρια στις εκπομπές βαρέων μετάλλων (π.χ. η οδηγία για τις βιομηχανικές εκπομπές) συνέβαλαν σε μεγάλο βαθμό στη μείωση των εκπομπών Cd. Δώδεκα χώρες (που ανέφεραν σχετικά στοιχεία) πέτυχαν μειώσεις εκπομπών για Cd άνω του 66% από το 1990, με την Γερμανία, την Ιταλία και την Πολωνία να αντιπροσωπεύουν σχεδόν το ήμισυ των συνολικών εκπομπών το 2017 [30]. Οι εκπομπές υδραργύρου (Hg) μειώθηκαν κατά περίπου 30% από το 1990. Αυτό οφείλεται κυρίως στις αλλαγές στον βιομηχανικό τομέα, όπου με τις βελτιώσεις στους ελέγχους εκπομπών Hg, στην αποτροπή τους και τη μετάβαση των καυσίμων από άνθρακα σε αέριο και άλλες πηγές ενέργειας στους τομείς παραγωγής ενέργειας και θερμότητας σε πολλές χώρες. Επιπλέον, οι εκπομπές από τα βαρέα μέταλλα μειώθηκαν λόγω των σχετικών οδηγιών και κανονισμών της Ε.Ε. Σχεδόν το ένα τρίτο των ευρωπαϊκών χωρών

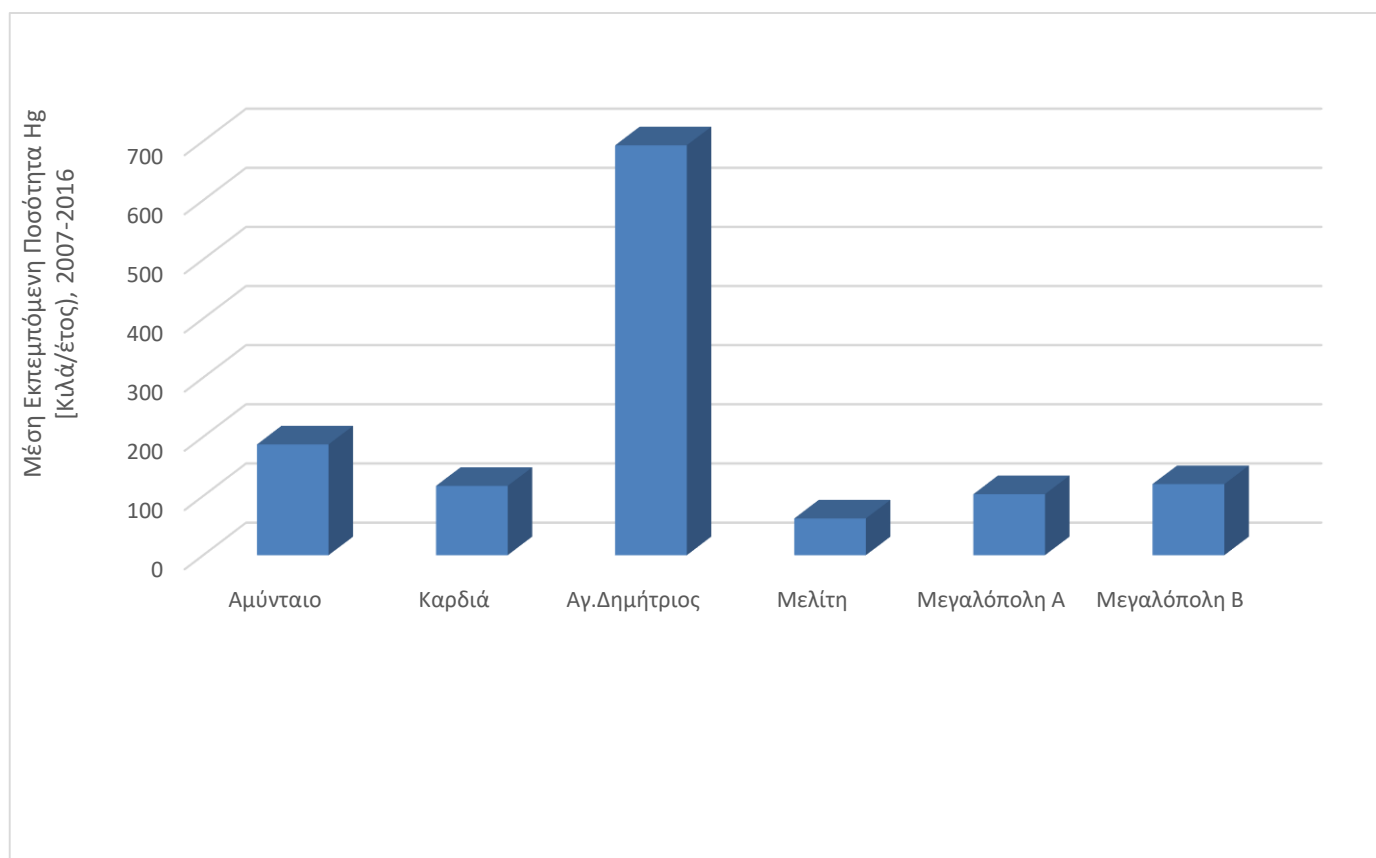
που υπέβαλαν δεδομένα, έχουν αναφέρει μειώσεις εκπομπών άνω του 80%. Από το 1990, η μεγαλύτερη μείωση των εκπομπών Hg επιτεύχθηκε από τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής και της θερμότητας. Οι εκπομπές Hg από τον τομέα της ενέργειας συνδέονται στενά με τη χρήση άνθρακα, ο οποίος περιέχει Hg ως μολυσματικό παράγοντα. Οι αλλαγές στη χρήση καυσίμων από το 1990 ευθύνονται κυρίως για τη μείωση των εκπομπών από αυτόν τον τομέα, ιδίως για τη μετάβαση καυσίμων από άνθρακα σε φυσικό αέριο και άλλες πηγές ενέργειας σε πολλές χώρες. Όπως επίσης και το κλείσιμο παλαιότερων, αναποτελεσματικών εγκαταστάσεων καύσης άνθρακα και βελτιωμένου εξοπλισμού μείωσης της ρύπανσης [30]. Η σημαντικότερη πηγή με ρύπους από τον υδράργυρο αποτελεί η καύση των στερεών καυσίμων τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα. Ο άνθρακας, ο λιγνίτης, η τύρφη και το ξύλο με την επεξεργασία τους εκτονώνουν στην ατμόσφαιρα ποσότητες Hg μέσα από τις βιομηχανικές διεργασίες. Αυτά τα καύσιμα περιέχουν μικρές ποσότητες υδραργύρου και όταν καίγονται το απελευθερώνουν στο περιβάλλον. Αυτές οι απελευθερώσεις είναι η κύρια πηγή εκπομπών υδραργύρου στην Ευρώπη και περιλαμβάνονται κυρίως στις δραστηριότητες της παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, της παραγωγής τσιμέντου και της παραγωγής μετάλλων. Τα επίπεδα υδραργύρου στην ατμόσφαιρα αυτή τη στιγμή είναι έως και 500% πάνω και τα αντίστοιχα στους ωκεανούς 200% πάνω από τα φυσικά επίπεδα. Με δεδομένο ότι η ζήτηση στην Ευρώπη θα εξακολουθεί να μειώνεται τα επόμενα χρόνια, οι εκπομπές υδραργύρου στην Ευρώπη θα κυριαρχούνται από τις εκπομπές καύσης κυρίως από στερεά καύσιμα [31].

Ο υδράργυρος μπορεί να χωριστεί σε πρωτογενείς εκπομπές και εκ νέου εκπομπές. Οι πρωτογενείς εκπομπές αναφέρονται στην πρώτη φορά που ο υδράργυρος απελευθερώνεται στο περιβάλλον είτε από φυσικές πηγές (όπως ηφαίστεια) είτε από ανθρωπογενείς πηγές. Οι εκ νέου εκπομπές, από την άλλη πλευρά, αναφέρονται στον υδράργυρο που εισέρχεται ξανά στον αέρα ή το νερό μετά την προηγούμενη αφαίρεσή του. Για παράδειγμα, ο υδράργυρος στον αέρα εναποτίθεται στον ωκεανό και μετά από μια χρονική περίοδο ο υδράργυρος στον ωκεανό εκπέμπεται εκ νέου στην ατμόσφαιρα και, ως εκ τούτου, δεν εκπέμπεται από μια «πρωταρχική» πηγή όπως μια βιομηχανική δραστηριότητα. Ο υδράργυρος στην ατμόσφαιρα και στο έδαφος δεν είναι άμεσα επικίνδυνος για την υγεία των ανθρώπων και των ζώων. Το υδάτινο περιβάλλον είναι πιο σημαντικό επειδή λειτουργεί ως μακροπρόθεσμη αποθήκευση. Εκτιμάται ότι έως 350.000 τόνοι υδραργύρου αποθηκεύονται σε ωκεανούς παγκοσμίως, περίπου 60 φορές περισσότερο από τη συνολική ποσότητα που αποθηκεύεται στην ατμόσφαιρα. Περίπου τα δύο τρίτα του υδραργύρου στους ωκεανούς είναι το αποτέλεσμα της απελευθέρωσης από ανθρώπινες δραστηριότητες [11].

Γενικότερα, ενώ γνωρίζουμε πως ο Hg εξορύσσεται και χρησιμοποιείται από ανθρώπους για χιλιάδες χρόνια, μόνο τις πρόσφατες δεκαετίες οι κίνδυνοι που θέτει έχουν γίνει πλήρως κατανοητοί. Οι ιδιότητες του υδραργύρου σημαίνουν ότι μόλις απελευθερωθεί στο περιβάλλον μπορεί να παραμείνει σε ισχύ για χιλιάδες χρόνια, περίπου 3.000 έτη. Επιπλέον, στον αέρα μπορεί να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις, πράγμα που σημαίνει ότι οι εκπομπές έχουν παγκόσμιο αντίκτυπο. Αυτή η κίνηση είναι γνωστή ως «παγκόσμιος κύκλος υδραργύρου». Πάνω από εκατοντάδες χρόνια, οι ποσότητες υδραργύρου σε αυτόν τον κύκλο έχουν αυξηθεί ως αποτέλεσμα δραστηριοτήτων όπως η εξόρυξη χρυσού, η καύση ορυκτών καυσίμων και η βιομηχανία. Ο υδράργυρος σε ποτάμια, λίμνες και ωκεανούς παρουσιάζεται ως ο μεγαλύτερος κίνδυνος, καθώς αυτό μετατρέπεται σε μια ιδιαίτερα τοξική μορφή που ονομάζεται μεθυλhydrάργυρος, που απορροφάται εύκολα από τα ζώα και ανεβαίνει την τροφική αλυσίδα μέχρι να φτάσει τον άνθρωπο [11]. Ο υδράργυρος εμφανίζεται και φυσικά στο περιβάλλον, αλλά γενικά περιέχεται με ασφάλεια σε μέταλλα και δεν παρουσιάζει σημαντικό κίνδυνο, το πρόβλημα προκύπτει λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Υπολογίζεται ότι, τα τελευταία 500

χρόνια, η ανθρώπινη δραστηριότητα είχε ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση μεταξύ 1 και 3 εκατομμυρίων τόνων υδραργύρου στο περιβάλλον. Ο παγκόσμιος κύκλος υδραργύρου σημαίνει αποτελεσματικά ότι, ακόμη και αν οι ανθρωπογενείς πηγές σταματήσουν σήμερα, θα χρειαστούν πολλοί αιώνες για να μειωθούν σημαντικά τα επίπεδα υδραργύρου στο περιβάλλον [11, 31].

Σχετικά με την συμπεριφορά της Ελλάδος και των και των λιγνιτικών σταθμών, ότι αφορά στις εκπομπές βαρέων μετάλλων και κυρίως του υδραργύρου ισχύει ότι το λιγνιτικό συγκρότημα του Αγ. Δημητρίου κατέχει με διαφορά την πρωτιά στις εκπομπές, 693 Kg υδραργύρου τον χρόνο (βλ. Πίνακας 2.13). Ενώ ακόμα κατά την περίοδο 2009 - 2012, εναπόθετε ρύπους υδρογόνου 1.000 kg κάθε χρόνο, ανάμεσα σε όλους τους σταθμούς καύσης ορυκτών (λιγνίτης - κάρβουνο) ήταν ο πρώτος στην Ευρώπη και το 2011 και το 2012, 3ος το 2009 και 2ος το 2010.



Πίνακας 2.13 Μέση εκπεμπόμενη ποσότητα Hg των λιγνιτικών μονάδων, 2007-2016 [27].

2.2.1.5 Καταναλώσεις νερού (H₂O)

Ένας σημαντικότερος παράγοντας που αξίζει να αναφερθεί είναι το αποτύπωμα στο υδάτινο δυναμικό από τη λειτουργία των εγκαταστάσεων λιγνιτικής ενέργειας. Στη δυτική Μακεδονία, η Δ.Ε.Η. αντλεί από τον ποταμό Αλιάκμονα και τη λίμνη Πολυφύ, περίπου 72 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού το χρόνο, για μια απόσταση 60 χλμ. και με υψομετρική διαφορά 390 μέτρων. Σε σύγκριση με τις ανάγκες ύδρευσης των 300 χιλιάδων πολιτών της περιφέρειας, όπου και καλύπτονται με 43 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, καταλαβαίνουμε τις τεράστιες ποσότητες κατανάλωσης. Παράλληλα, έχει παρατηρηθεί ποιοτική υποβάθμιση στα νερά της περιοχής λόγω της εκφόρτωσης ρυπαντικών στοιχείων, κυρίως από τα βαρέα μέταλλα, καθώς και δραματική ταπείνωση του υπόγειου υδροφορέα γύρω από τα ορυχεία της Πτολεμαΐδας. Ενώ ακόμα άλλη μια αρνητική επίπτωση κατά την εξόρυξη του λιγνίτη από τη Δ.Ε.Η. στην περιοχή είναι το ότι πολλοί οικισμοί έχουν υποχρεωθεί σε μετεγκατάσταση, με αποτέλεσμα πολίτες να γίνονται εσωτερικοί μετανάστες, αυτό επιφέρει σοβαρές οικονομικές, κοινωνικές, πολιτισμικές, χωροταξικές και τεχνικές συνέπειες [3].

Η επεξεργασία του λιγνίτη και η εκμετάλλευσή του ως καύσιμο στη παραγωγή ενέργειας απαιτείται άντληση μεγάλων ποσοτήτων νερού από διάφορες πηγές και για διάφορες χρήσεις, μια από αυτές, ίσως η πιο σημαντική είναι η ψύξη των πύργων των σταθμών παραγωγής που καίνε λιγνίτη. Σύμφωνα με τη Δ.Ε.Η, η συνολική κατανάλωση νερού από όλους τους λιγνιτικούς σταθμούς στην Ελλάδα ήταν 70,8 εκ. κυβικά μέτρα το 2014, 64 εκ. κυβικά μέτρα το 2015 και 51,8 εκ. κυβικά μέτρα νερού το 2016, για να κατανοήσουμε το μέγεθος, σύμφωνα με την Eurostat, αντιστοιχούν κατά μέσο όρο περίπου στις ανάγκες ύδρευσης 642.000 κατοίκων. Ειδικότερα για τα λιγνιτικά συγκροτήματα της χώρας μας ισχύουν ότι εκείνο του Αγ. Δημητρίου καταναλώνει κάθε χρόνο κατά μέσο όρο περίπου 24 εκ. κυβικά μέτρα νερού, το αντίστοιχο στη Καρδιά 16 εκ. κυβικά μέτρα, ενώ του Αμύνταιου απαιτεί περίπου 8 εκ. κυβικά μέτρα τον χρόνο. Ταυτόχρονα παρουσιάζονται και τοπικά προβλήματα, η στάθμη της λίμνης Βεγορίτιδας, την οποία οι λιγνιτικοί σταθμοί της Δ.Ε.Η. χρησιμοποιούσαν μέχρι το 1997, έχει κατέβει 30 μέτρα, αυτό συνεπάγεται με την απώλεια όγκου περίπου κατά 80%, ενώ έχει επιβαρυνθεί με υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων [27].

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Διαχείριση αποβλήτων και απορριμματογενούς καυσίμου

Η διαχείριση αποβλήτων αποκτά νόημα σε μια κυκλική οικονομία, στην περίπτωση που η πρόληψη, η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση, ακόμα και η ανάκτηση ενέργειας από απόβλητα έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο κατά την διαδικασία. Οι πόροι που θα αντληθούν κατά την διαχείριση των αποβλήτων, έχουν θετικά οφέλη τόσο στο περιβάλλον όσο και στην οικονομία. Όμως σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες τα απόβλητα έχουν περιθωριοποιηθεί, με αποτέλεσμα αντί να μετατρέπονται σε πόρους για μια κυκλική οικονομία, να χαρακτηρίζονται ως «ενόχληση» κατά το τρόπο διαχείρισής τους [32]. Με το 37% των αστικών στερεών αποβλήτων (MSW, Municipal Solid Waste) στην Ε.Ε. των 27 να βρίσκεται σε χωματερές, καταλαβαίνει κανείς πως η υγειονομική ταφή αποτελεί μια μεγάλη απώλεια πολύτιμων υλικών, πόρων και ενέργειας. Δεν βοηθά στην οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας, δε δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας και κυριότερο δεν βοηθά στην εκμηδένιση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Γνωρίζουμε πως οι μεγαλύτερες οικονομίες της Ε.Ε. και γενικότερα τα πιο προηγμένα έθνη έχουν καταφέρει και παράγουν ηλεκτρισμό και θερμότητα από την ανάκτηση ενέργειας από απόβλητα εδώ και αρκετά χρόνια. Έχουν εγκαταστήσει τα εργοστάσια σε πόλεις, αναπτύσσοντας με αυτό το τρόπο τις τοπικές οικονομίες [33].

Οι χώρες της ευρωπαϊκής ένωσης επεξεργάζονται πάνω από 50 εκ. τόνους αποβλήτων κάθε χρόνο σε ειδικές εγκαταστάσεις για παραγωγή ενέργειας και έχουν καταφέρει να ηλεκτροδοτούν περισσότερους από 27 εκ. ανθρώπους και σε 13 εκ. παρέχουν θερμότητα [33]. Με τις εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης να είναι ένας ακόμη τομέας που χρησιμοποιεί απορριμματογενή καύσιμα, όπως θα δούμε και παρακάτω το λεγόμενο RDF. Αυτά τα εργοστάσια έχουν σχεδόν την ίδια ενεργειακή αποτελεσματικότητα με τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας ή τις βιομηχανίες τσιμέντου, και διαθέτουν έναν πιο αποτελεσματικό εξοπλισμό καθαρισμού καυσαερίων [34]. Συνοψίζοντας για την διαχείριση των αποβλήτων, η πρώτη προτεραιότητα είναι η μείωση των απορριμμάτων, ακολουθούμενη από την ανακύκλωση και τη λιπασματοποίηση των οργανικών αποβλήτων που διαχωρίζονται από την πηγή (απόβλητα τροφίμων και ναυπηγείων). Έπειτα από την ανακύκλωση, η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) προωθεί την ανάκτηση ενέργειας με θερμική επεξεργασία που παρέχει ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα και ελαχιστοποιεί επίσης τον όγκο των αποβλήτων. Ο στόχος του συνδυασμού αυτών των προσεγγίσεων είναι να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια πόρων από αδρανής χώρες που έχουν ως κύρια τεχνική την υγειονομική ταφή των απορριμμάτων [35].

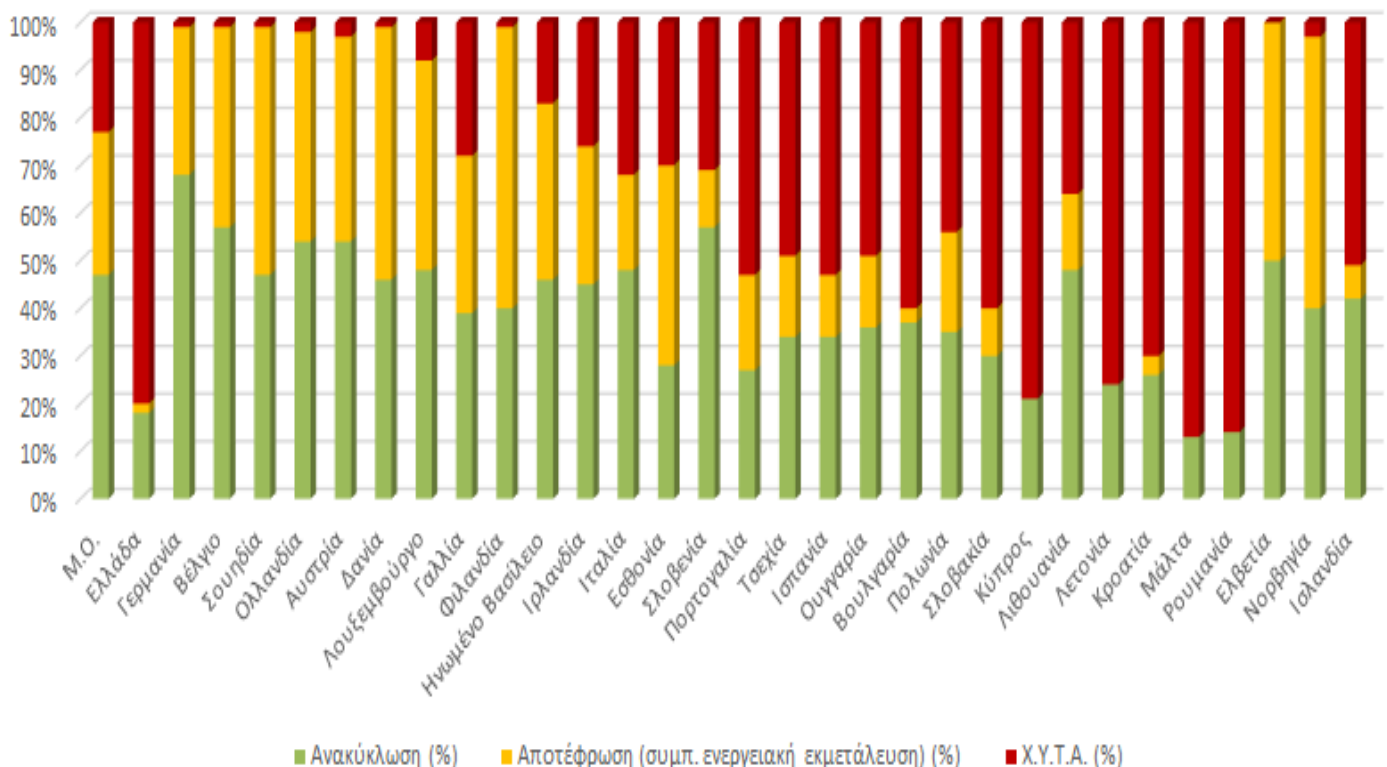
3.1 Υπάρχουσα κατάσταση σε Ελλάδα και Ευρώπη

Η υπάρχων κατάσταση που υφίσταται στην Ελλάδα αλλά και σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης δεν επιφέρει ιδιαίτερα θετικά αντίκτυπα τόσο στο περιβάλλον όσο στην υγεία και την οικονομία. Παρότι υπάρχουν παραδείγματα από χώρες που έχουν αναπτύξει σημαντικά την οικονομία τους μέσω των διαφόρων επιλογών από τη διαχείριση αποβλήτων και έχουν συμβάλει σημαντικά στην καλύτερη κατάσταση του περιβάλλοντος, η Ελλάδα παραμένει μια χώρα με σταθερές διαδικασίες διαχείρισης ανά τα χρόνια μη εξελίξιμες. Πρωταγωνιστικό ρόλο στις μεθοδολογίες διαχείρισης MSW έχουν οι χώροι υγειονομικής ταφής

(82 - 88%) και το υπόλοιπο να είναι από την ανακύκλωση (12 - 18%). Αυτό συμβαίνει διότι η Ελλάδα δεν έχει αναβαθμίσει τις επιλογές διαχείρισής της, για παράδειγμα δεν υπάρχει ακόμα κάποια μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας (WTE, Waste to Energy). Βέβαια ολοένα και περισσότερα βήματα γίνονται, με μονάδες βιολογικής επεξεργασίας (MBT, Mechanical-Biological Treatment) που παράγουν υψηλής θερμογόνου αξίας κλάσμα από MSW, να είναι σε λειτουργία ή να βρίσκονται υπό κατασκευή[35].

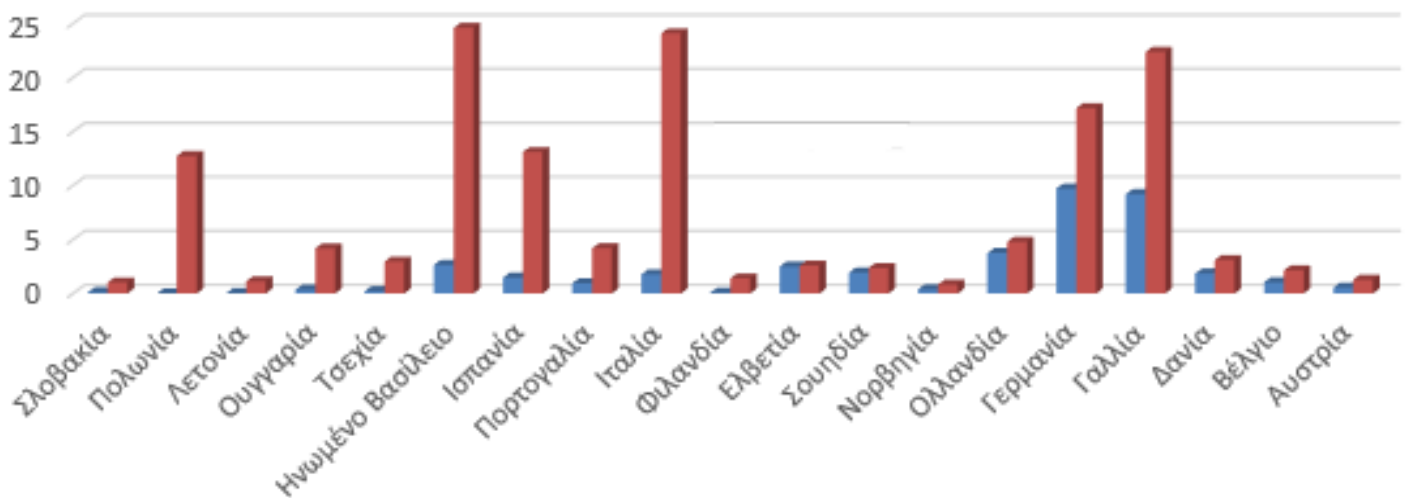
Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της Eurostat, κάθε χρόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση παράγονται 3 δις τόνοι αποβλήτων εκ των οποίων τα 90 εκ.τόνοι είναι επικίνδυνα, ενώ κατά την διάρκεια μιας μέρας παράγονται 6 εκ. τόνοι MSW. Γενικότερα επικρατεί μια συνεχής αύξηση στη παραγωγή στερεών αποβλήτων στην Ευρώπη, με αποτέλεσμα να λειτουργούν 400 μονάδες WTE και άλλες 10 να βρίσκονται υπό κατασκευή ή σε σχεδιασμό.

Όπως γίνεται αντιληπτό η διαχείριση των αποβλήτων, χωρίς να βλάπτεται το περιβάλλον, είναι μείζον ζήτημα για κάθε κράτος μέλος της Ε.Ε. Οι πολιτικές που έχουν εφαρμοστεί για την εκτροπή των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής δεν έχουν αποτέλεσμα και αυτό διότι παραμένει η κυρίαρχη μέθοδος, περίπου το 50% των 243 εκ.τόνων MSW που παράγονται από το 25 κράτη μέλη της Ε.Ε. κάθε χρόνο καταλήγουν σε χωματερές [33].



Πίνακας. 3.1 Μέθοδοι επεξεργασίας MSW στην Ευρωπαϊκή Ένωση.
πηγή: Confederation of European Waste-to-Energy Plants, Απρίλιος 2019 [36].

Βλέπουμε στο πίνακα 3.1 τις μεθόδους διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων από τις χώρες της Ευρώπης, πρωταρχικό λόγο έχουν οι χωματερές, παρόλο που η ανακύκλωση έχει μεγαλύτερο ποσοστό. Για την αποτέφρωση που έχει το μικρότερο ποσοστό χρειάζεται να κοιτάξουμε και το πίνακα 3.2, το οποίο μας δείχνει με κόκκινο χρώμα τα συνολικά παραγόμενα αστικά απόβλητα (Mt/y) και με μπλέ τον όγκο που αποτεφρώνεται (Mt/y).



Πίνακας 3.2 Συνολική και αποτεφρωμένη ποσότητα MSW σε ευρωπαϊκές χώρες [35].

Από τη συνολική ποσότητα MSW που παράγεται, παρατηρούμε χώρες που χρησιμοποιούν εξ'ολοκλήρου την αποτέφρωση. Χώρες όπως η Ελβετία, η Σουηδία, η Ολλανδία, η Δανία με ποσοστά άνω του 50% της συνολικής ποσότητας MSW. Η Διεθνής Ένωση Στερεών Αποβλήτων (ISWA, International Solid Waste Association) ανέφερε ότι, παγκοσμίως περισσότεροι από 130 εκ. τόνοι MSW ετησίως, οι οποίοι αντιστοιχούν στο 10% των συνολικών παραγόμενων αποβλήτων παγκοσμίως, εκμεταλεύονται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [37]. Έτσι, η καύση MSW είναι η κύρια λύση του προβλήματος της υγειονομικής ταφής καθώς μεγάλες πόλεις χρησιμοποιούν την παραγόμενη ενέργεια από απόβλητα είτε με την μορφή ηλεκτρισμού είτε με μορφή θερμότητας. Λόγω της παγκόσμιας αύξησης των απορριμμάτων, η τάση που επικρατεί βρίσκεται στις θερμικές μεθόδους από τις εγκαταστάσεις. Περίπου 2.200 μονάδες για θερμική επεξεργασία MSW λειτουργούν ανά τον κόσμο με συνολική χωρητικότητα 270 εκ. τόνων ετησίως. Ενώ τα επόμενα έτη αναμένεται να αυξηθεί ακόμα περισσότερο ο αριθμός των εγκαταστάσεων, με προβλέψεις που έχουν γίνει πιθανολογούν ότι μέχρι το 2023 ο συνολικός αριθμός εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας MSW θα είναι περίπου 2.500 (λαμβάνοντας υπόψη το κλείσιμο παλαιών εγκαταστάσεων), οι οποίες θα επεξεργάζονται 386 εκ. τόνους αστικών στερεών αποβλήτων ετησίως. Στην Ευρώπη υπάρχουν εγκατεστημένες περισσότερες από 450 μονάδες θερμικής επεξεργασίας MSW, με την Συνομοσπονδία Ευρωπαϊκών εγκαταστάσεων αποβλήτων προς ενέργεια (CEWEP, Confederation of European Waste-to-Energy Plants) να κάνει αναφορά για διαχείριση 78 εκ. τόνων ετησίως MSW με θερμική επεξεργασία, παράγοντας έτσι κάτι παραπάνω από 32 δισ. kWh ηλεκτρικής ενέργειας και περίπου 79 δισ. kWh θερμικής

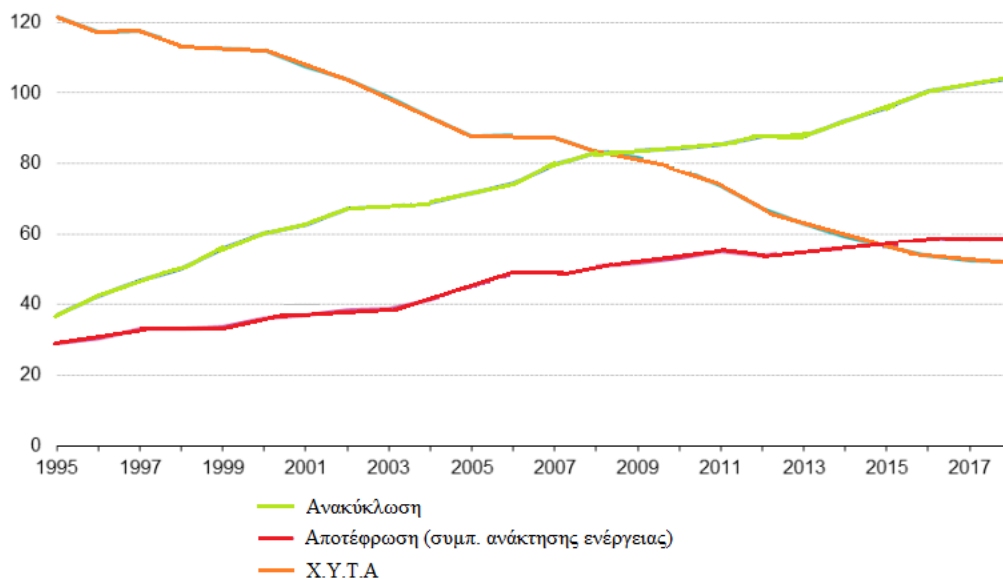
Μετατροπή υφιστάμενου λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση απορριμματογενούς καυσίμου

ενέργειας. Άμεσο θετικό αποτέλεσμα προς το περιβάλλον καθώς γίνεται εξοικονόμηση έως και 44 εκ. τόνων οργανικού καυσίμου (πετρέλαιο, κάρβουνο, φυσικό αέριο κ.α.) αλλά και επιτυγχάνεται μείωση των αερίων του θερμοκηπίου έως και 42 εκ. τόνων ετησίως [38].



Εικόνα 3.3 Μονάδες WTE στην Ευρώπη (μπλε αριθμοί) και οι ετήσιες ποσότητες MSW (κόκκινοι αριθμοί) που υποβλήθηκαν σε θερμική επεξεργασία (Mt/y) [36]. © CONTRIBUTION OF WTE PLANTS IN EU'S TARGETS FOR RENEWABLES, C. S. Psomopoulos, 2014

Οι μονάδες θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων, όπως παρατηρούμε από την εικόνα 3.3, λειτουργούν στις πιο ανεπτυγμένες οικονομίες της Ευρώπης και στα πιο προηγμένα έθνη παράγοντας ηλεκτρισμό και θερμότητα για αρκετά χρόνια. Ενώ και άλλες χώρες ευρωπαϊκές χώρες χρησιμοποιούν αυτόν τον σημαντικό ενεργειακό πόρο, ο οποίος σε πολλές δεν χρησιμοποιείται, καθώς τα απόβλητα μεταφέρονται απευθείας σε χώρους υγειονομικής ταφής με αποτέλεσμα τη σπατάλη πολύτιμων πόρων [36]. Μια ακόμα παρατήρηση από την εικόνα 3.3 είναι πως χώρες όπως η Γαλλία, η Ιταλία και το Ηνωμένο Βασίλειο παρόλο που έχουν ακρέτες μονάδες WTE, οι ετήσιες ποσότητες επεξεργασίας MSW συγκρίνονται με χώρες που έχουν λιγότερες μονάδες, όπως η Γερμανία και η Ολλανδία. Αυτό οφείλεται αποκλειστικά και μόνο πως υπάρχουν αρκετές μικρές εγκαταστάσεις με χωρητικότητες περίπου 50 kt/y, ενώ αλλού είναι σε λειτουργία μονάδες με 500 kt/y χωρητικότητα[35].



Πίνακας 3.4 Διαχείριση και επεξεργασία αποβλήτων, Ε.Ε.-27, 2000-2018 (εκατομμύρια τόνοι) [6]. © Eurostat, 2019

Με στοιχεία που δίνει η Eurostat για την διαχείριση των απορριμμάτων στην Ε.Ε. στο πίνακα 3.4, φαίνεται πως η πρακτική εναπόθεσης των απορριμμάτων σε χώρους ταφής μειώθηκε κατά περισσότερο από το ήμισυ σε διάστημα 15 ετών. Υπάρχουν δύο κύριοι λόγοι για αυτήν τη μείωση πρώτον, η ανακύκλωση στερεών αποβλήτων που πλησιάζει τώρα το τριπλάσιο της διαχείρισης του 1995 και δεύτερον, η αποτέφρωση με ανάκτηση ενέργειας. Το ποσοστό αύξησης της ανακύκλωσης κατά τη χρονική περίοδο 1995-2017 ήταν περίπου 65%, ενώ αντίστοιχα για την αποτέφρωση την ίδια περίοδο ήταν 50%. Η ισχυρή μείωση της υγειονομικής ταφής ως επεξεργασία αποβλήτων είναι συνδυασμένο αποτέλεσμα της οδηγίας πλαισίου που βασίζεται για τα απόβλητα (οδηγία 2008/98 / ΕΚ) και της οδηγίας για την υγειονομική ταφή (οδηγία 1999/31 / ΕΚ του Συμβουλίου). Ο στόχος της οδηγίας για την υγειονομική ταφή είναι να αποτρέψει, να μειώσει και να εκμηδενίσει όσο το δυνατόν περισσότερο τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία από την ταφή των αποβλήτων.

3.2 Αξιοποίηση απορριμμάτων σε Ελλάδα και Ευρώπη

Αναφέροντας την λέξη της αξιοποίησης των απορριμμάτων, εννοούμε την ενεργειακή αξιοποίηση και όχι την απλή αποτέφρωση ή την τοποθέτησή τους σε Χ.Υ.Τ.Α. Από την προηγούμενη παράγραφο έχει γίνει σαφές το γεγονός πως τα απόβλητα μπορούν να χαρακτηριστούν ως ενεργειακός πόρος. Με την μετατροπή τους σε απορριμματογενή καύσιμο δίνεται η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας μέσω διαφόρων εγκαταστάσεων.

Η Ελλάδα σε μικρό βαθμό χρησιμοποιεί τις εξής τεχνικές για τα απορρίμματα, εκτός της υγειονομικής

ταφής. Έχει επιλέξει την αποτέφρωση των αστικών στερεών αποβλήτων (Α.Σ.Α.) και την παραγωγή απορριμματογενών καυσίμων, γνωστά ως RDF (Refuse Derived Fuels) και SRF (Solid Recovered Fuels) [39].

Τα καύσιμα από απορρίμματα προέρχονται από μια μεγάλη ποικιλία αποβλήτων, τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία για να πληρούν τις κατευθυντήριες γραμμές από την Ε.Ε. έτσι ώστε να επιτύχουν υψηλή θερμοδική αξία. Προέρχονται από απόβλητα που περιλαμβάνουν υπολείμματα από ανακύκλωση MSW, βιομηχανικά ή εμπορικά απόβλητα, λάσπη λυμάτων, βιομηχανικά επικίνδυνα απόβλητα, απόβλητα βιομάζας κ.λπ. [34]. Ο όρος RDF χρησιμοποιείται για το απορριμματογενές επεξεργασμένο καύσιμο που παράγεται κατά τη φάση της μηχανικής διεργασίας, και αποτελείται κυρίως από πλαστικά, χαρτί, ξύλα και άλλα καύσιμα υλικά [39]. Ενώ ο όρος SRF είναι το στερεό καύσιμο που παρασκευάζεται (μεταποιείται, ομογενοποιείται και αναβαθμίζεται σε ποιότητα που μπορεί να ανταλλαχθεί μεταξύ παραγωγών και χρηστών) από μη επικίνδυνα για το περιβάλλον απόβλητα που θα χρησιμοποιηθούν για ανάκτηση ενέργειας σε μονάδες αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης [40]. Παρόλο που αναφέρεται ότι οι όροι RDF και SRF χρησιμοποιούνται συχνά για να περιγράψουν το ίδιο καύσιμο που προέρχεται από απόβλητα, το SRF πρέπει να διακρίνεται από τα άλλα καύσιμα που προέρχονται από απόβλητα [41]. Υπήρχαν δύο τάξεις RDF, ανάλογα κυρίως με τη θερμοδική τιμή (> 15 και 20 MJ / kg RDF αντίστοιχα), την υγρασία (< 25% και 18% αντίστοιχα) και την περιεκτικότητα σε τέφρα (< 20% και 15% αντίστοιχα, αναφέρεται σε ξηρά ύλη). Ωστόσο, υπάρχουν 125 κλάσεις SRF, όπου με βάση τις οριακές τιμές διαχωρίζονται σε τρεις ιδιότητες καυσίμου, τη μέση τιμή για την καθαρή θερμογόνο δύναμη (NCV), τη μέση τιμή για την περιεκτικότητα σε χλώριο (ξηρή βάση) και τις μέσες τιμές για την περιεκτικότητα σε υδράργυρο [40, 41].

Για λόγους τυποποίησης, το SRF έχει αντιστοιχιστεί σε 5 χαρακτηριστικές τάξεις, όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 3.5.

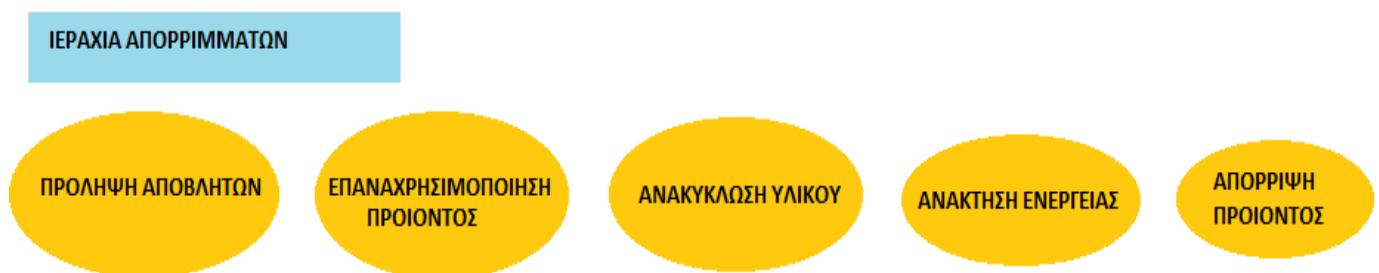
Τάξη	1	2	3	4	5
Μέση τιμή της καθακής θερμογόνου αξίας, NCV (MJ/KG)	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
Μέση τιμή περιεκτικότητας σε χλώριο, Cl (dry wt%)	≤0.2	≤0.6	≤1.0	≤1.5	≤3.0
Μέση τιμή περιεκτικότητας σε υδρογόνο, Hg (mg/MJ)	≤0.02	≤0.03	≤0.08	≤0.15	≤0.50

Πίνακας 3.5 Διαχωρισμός τάξεων του καυσίμου τύπου SRF [42].

Σε γενικότερες γραμμές τα παραγόμενα απορριμματογενή καύσιμα παρουσιάζουν μια μη αμελητέα θερμογόνο δύναμη και με την προσέγγιση της Ε.Ε. για την αποδοτικότητα των πόρων και την επερχόμενη εμπειρία σε απόβλητα στις ενεργειακές εγκαταστάσεις καθιστούν τα αστικά στερεά απόβλητα ως μια πηγή ενέργειας. Η παραγωγή τους για ενέργεια αντί της υγειονομικής ταφής αποφέρει μείωσεις στο αέριο μεθάνιο 25 φορές και οδηγεί σε περαιτέρω μείωση των ορυκτών καυσίμων. Επιπροσθέτως σε συνδυασμό με τα όρια ενεργειακής απόδοσης που ορίζονται από την οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα, αυτό θα μπορούσε να

αποτρέψει έως και 45 εκ. τόνους διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ετησίως. Αυτό αντιστοιχεί στις ετήσιες εκπομπές άνω των 20 εκ. αυτοκινήτων [33]. Η καύση RDF/SRF για ανάκτηση ενέργειας θα οδηγήσει επίσης σε μείωση κατά 90% του όγκου των αποβλήτων προς ταφή, στην απίθανη περίπτωση που δεν αναπτύσσονται όγκοι τέφρας κατά την διαδικασία. Το όφελος θα είναι αρκετά υψηλό, τόσο όσον αφορά την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και την ποιότητα του περιβάλλοντος σε περιοχές που αντιμετωπίζουν μείζονα προβλήματα στη διαχείριση των αποβλήτων τους [35]. Η Γερμανία είναι ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα που υποστηρίζει τα παραπάνω. Επί του παρόντος, διατίθενται συνολικά 6,15 εκ. τόνοι ετησίως αποβλήτων υψηλής θερμιδικής αξίας (δηλαδή θερμογόνο δύναμη > 11 MJ/kg). Τα οποία μετατρέπονται σε καύσιμα από μονάδες MBT. Σχεδόν 1,9 εκ. τόνοι ετησίως με θερμογόνο δύναμη άνω των 18 MJ/kg χρησιμοποιούνται με την ταυτόχρονη καύση σε τσιμεντοβιομηχανίες και 750.000 τόνοι σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα. Επιπλέον 3,5 εκ. τόνοι ετησίως, με θερμογόνου τιμή μεταξύ 11 και 15 MJ/kg, υποβάλλονται σε επεξεργασία σε μονάδες που παράγουν θερμότητα και ηλεκτρισμό [41].

Η οδηγία που αναφέρεται στην υγειονομική ταφή των αποβλήτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (1999/31 ΕΚ) προωθεί περισσότερο στο περιβάλλον φιλικές επιλογές διαχείρισης αποβλήτων, μειώνοντας την ποσότητα των αποβλήτων και πιο συγκεκριμένα των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων, που απορρίπτονται στους ειδικούς αυτούς χώρους ταφής. Με την οδηγία αυτή τα κράτη μέλη υιοθετούν τη διαδικασία μηχανικής-βιολογικής επεξεργασίας (MBT) αστικών στερεών αποβλήτων και μη επικίνδυνων βιομηχανικών αποβλήτων για να συμμορφωθούν με τους στόχους της Ε.Ε. και να παράγουν καύσιμα από MSW. Έτσι εισαγάγουν είτε διαχωρισμό πηγών είτε να εφαρμόζουν εγκαταστάσεις διαλογής αποβλήτων για να διαχωρίσουν το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα από MSW ή εναλλακτικά να μετατρέψουν τα απόβλητα σε άλλες μεθόδους επεξεργασίας [34]. Φυσικοί πόροι όπως το χαρτί, τα μέταλλα, το γυαλί, τα πλαστικά προστατεύονται και ανακτώνται στις γραμμές παραγωγής. Στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια πόρων στις χωματερές, γι' αυτό έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στα συστήματα διαχείρισης που αυξάνουν και βελτιστοποιούν την ανάκτηση πόρων από απόβλητα [41].



Εικόνα 3.6 Ιεραρχία Απορριμμάτων σύμφωνα με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης [43].

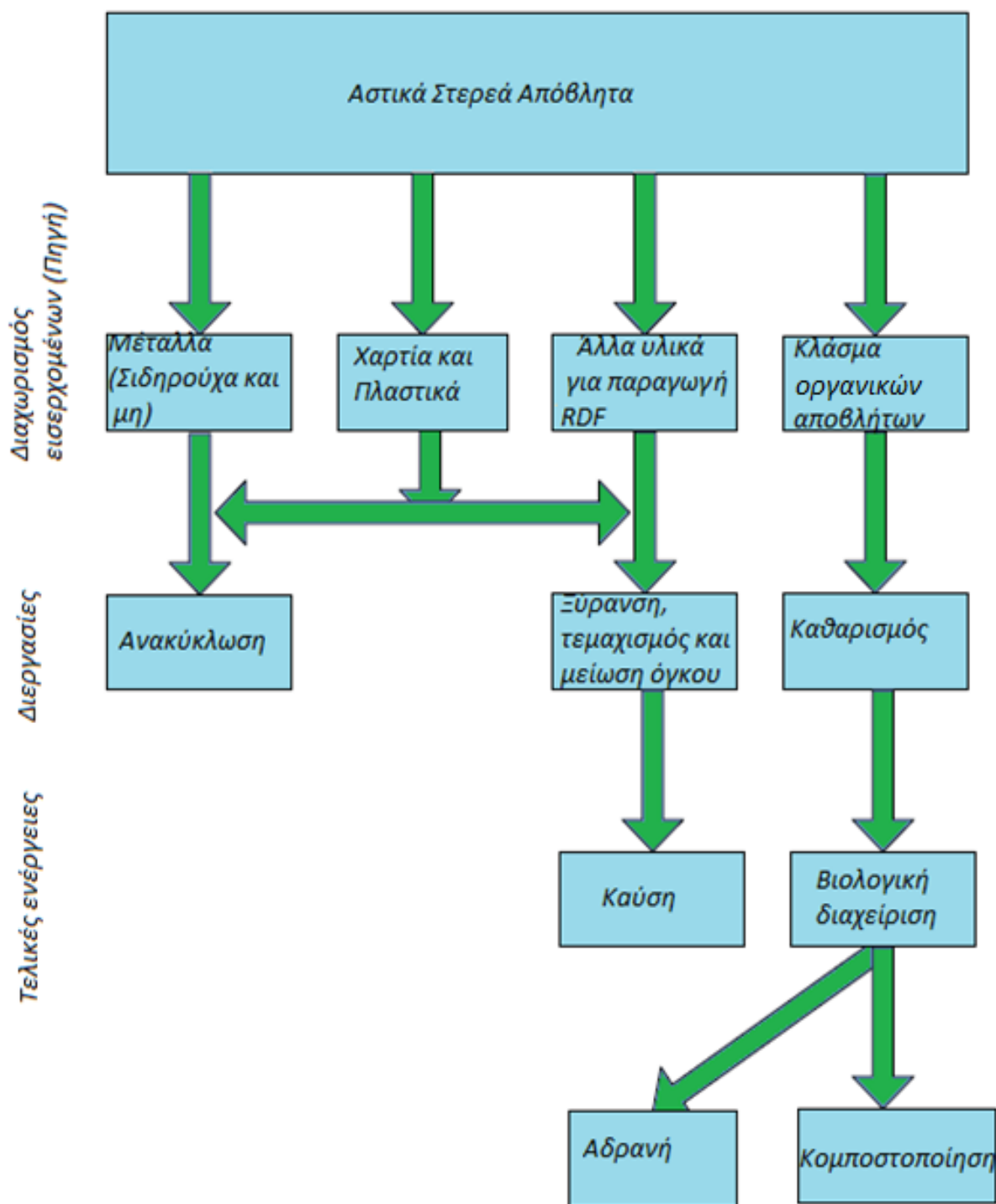
Στην εικόνα 3.6 το αριστερό άκρο θεωρείται ως η καλύτερη δυνατή επιλογή διαχείρισης σύμφωνα με την Ε.Ε. και καθώς ολισθαίνουμε προς τα δεξιά είναι η αποτρόπαια μέθοδος. Εκτιμάται ότι θα μπορούσε να επιτευχθεί μείωση κατά 10 - 15% περίπου στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μέσω της βελτιωμένης διαχείρισης στερεών αποβλήτων (ανακύκλωση, εκτροπή απορριμμάτων από χώρους υγειονομικής ταφής και ανάκτηση ενέργειας από απόβλητα). Με την νομοθεσία της Ε.Ε. και τους στόχους που έχουν τεθεί, θα μειωθούν σε σημαντικό ποσοστό οι επιπτώσεις στην υγεία και στο περιβάλλον [32].

3.3 Μονάδες παραγωγής απορριμματογενούς καυσίμου

Για να καταφέρουμε να αντλήσουμε από απόβλητα ενέργεια, προϋποθέτει μια ιδιαίτερη μεταχείριση. Οι τεχνολογίες προετοιμασίας στερεών καυσίμων ποικίλλουν σημαντικά ανάλογα με την πηγή, τον τύπο των απορριμμάτων, τις απαιτήσεις του πελάτη, την εγκατάσταση και τις ιδιαιτερότητες της καύσης. Πολύ σημαντικό να αντιληφθούμε πως τα απόβλητα είναι ένα ετερογενές μείγμα υλικών, κυρίως στερεών αστικών αποβλήτων. Ως εκ τούτου, κατά την παραγωγή του καυσίμου, ο παραγωγός κάνει ένα καύσιμο πιο ομοιογενές χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές προετοιμασίας. Οι μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την παραγωγή απορριμματογενούς καυσίμου, κυρίως RDF ή SRF ανάλογα με την ποιότητα, είναι αρχικά από εργοστάσια μηχανικής-βιολογικής επεξεργασίας (MBT) και από την διαδικασία βιολογικής ξήρανσης [41]. Με διαφορετικά λόγια οι τεχνολογίες είναι είτε η μηχανική είτε η βιολογική επεξεργασία των αστικών στερεών αποβλήτων. Η πιο σύνηθες επιλογή είναι η μηχανική επεξεργασία με τις ενέργειες που χρησιμοποιούνται να περιλαμβάνουν τη μείωση του όγκου, το κοσκίνισμα, και το διαχωρισμό είτε με αέρα είτε με μαγνητικά. Οι διεργασίες βασίζονται σημαντικά στην ποιότητα και τη φύση των εισερχόμενων απορριμμάτων, καθώς ακόμα κύριο ρόλο έχει και η διαθεσιμότητα, η ταξινόμηση που θα υποβληθούν και οι προδιαγραφές που έχει ορίσει η αγορά για τα ανακτώμενα υλικά. Επιπρόσθετες ενέργειες είναι ο διαχωρισμός που γίνεται με το χέρι, ο διαχωρισμός με την τεχνολογία από τα επαγωγικά ρεύματα για ανάκτηση μη σιδηρούχων υλικών και η αύξηση της πυκνότητας του προϊόντος. Όλα έχουν ως αποτέλεσμα την ανάκτηση υλικών για την παραγωγή RDF ή SRF [39].

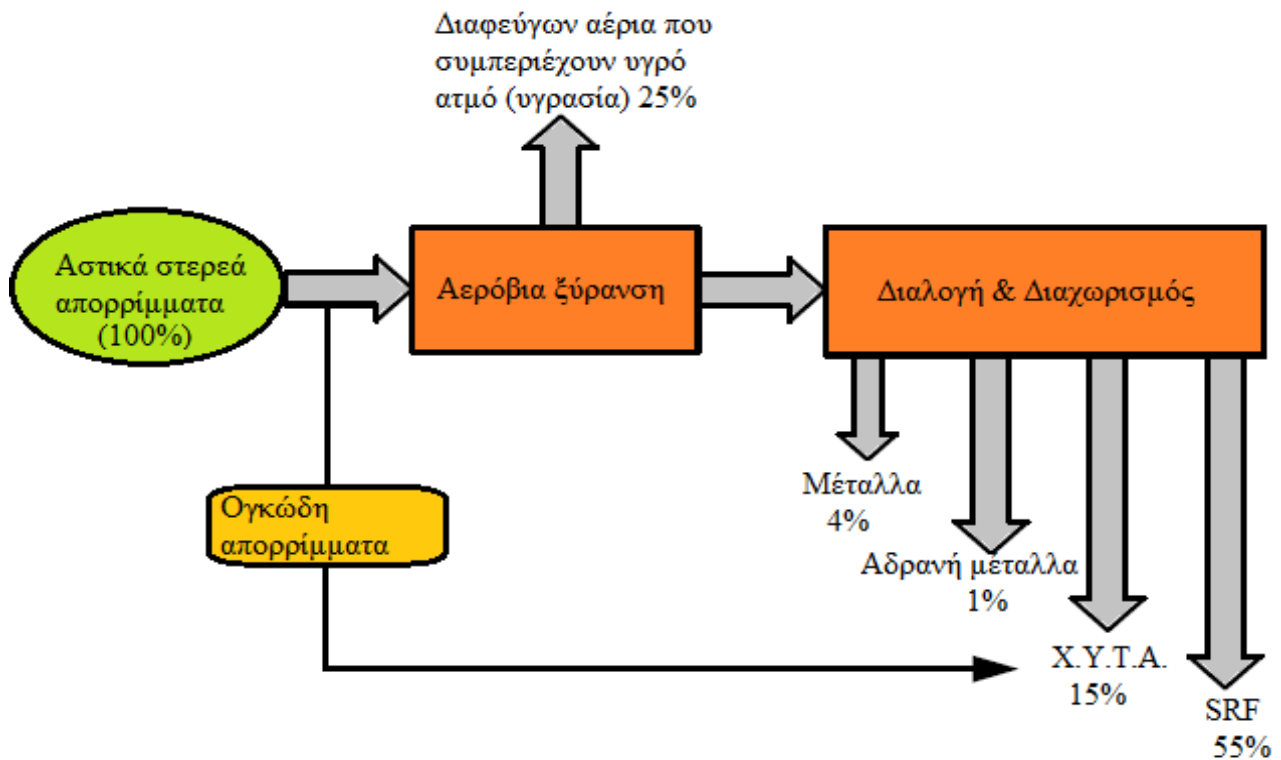
Το παρακάτω σχήμα δείχνει τα τυπικά βήματα αυτής της διαδικασίας. Όπως προαναφέρθηκε σε μια μονάδα MBT διαχωρίζονται τα μέταλλα και τα αδρανή υλικά, με τα οργανικά κλάσματα να υποβάλλονται σε διαλογή για περαιτέρω σταθεροποίηση (βλ. Εικόνα 3.7). Τα RDF και SRF μπορούν επίσης να παραχθούν μέσω μιας βιολογικής διαδικασίας αερόβιας ξήρανσης, στην οποία απομένουν, ξεραίνονται αποτελεσματικά και σταθεροποιούνται μέσω της κομποστοποίησης, αφήνοντας την υπολειμματική μάζα με υψηλότερη θερμογόνο αξία η οποία κατάλληλη για καύση. Τα αδρανή και τα μέταλλα αφαιρούνται μέσω της μηχανικής διεργασίας πριν ή μετά τη βιο-ξήρανση ανάλογα με την τεχνολογία που εφαρμόζεται (βλ. Εικόνα 3.8) [41].

Μετατροπή υφιστάμενου λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση απορριμματογενούς καυσίμου



Εικόνα 3.7 Σχηματικό πίνακας για παραγωγή RDF από MBT μονάδα [34, 41].

Μετατροπή υφιστάμενου λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση απορριμματογενούς καυσίμου



Εικόνα 3.8 Σχηματικό πίνακας για παραγωγή SRF μέσω βιολογικής ζήρανσης [41].

Το αποτέλεσμα αυτών των διεργασιών είναι η παραγωγή ενός υπολειμματικού κλάσματος με υψηλή θερμιδική αξία (RDF/SRF) καθώς αποτελείται από ξηρά υπολείμματα χαρτιού, πλαστικών και υφασμάτων αλλά και από μη επικίνδυνα απόβλητα, όπως βιομηχανικά απόβλητα, εμπορικά απόβλητα, απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις ή λάσπη λυμάτων (βλ. Πίνακας 3.9) [40, 41].

Ροή Εισερχομένων		Ροή Εξερχομένων		Σύνθεση RDF	
Υλικά	Ποσότητα, t/day	Υλικά	Ποσότητα, t/day	Υλικά	%
					37.8
MSW	1.2	Κομποστοποίηση	300	Εκτυπωμένο χαρτί	4.9
Λάσπη Λυμάτων	300	RDF	360	Άλλα χαρτιά	16.5
Ανακυκλώσιμα	130	Μεταλλικά Απόβλητα	40	Συσκευασίες από χαρτί	26.2
		X.Y.T.A.	330	Συσκευασίες από πλαστικό	1.3
		Νερό/CO ₂	500	Άλλα πλαστικά	11
		Πηκτικά	100	Υφάσματα	0.4
Σύνολο	1.630	Σύνολο	1.630	Ξύλο	0.8

Πίνακας 3.9 Ροές εισόδου και εξόδου σε μονάδα MBT και η σύνθεση του παραγόμενου RDF [35].

Μεγάλη έμφαση δίνεται στο καλό διαχωρισμό των αποβλήτων, διότι 7 στα 10 στοιχεία που εμφανίζονται στις πηγές είναι βαρέα μέταλλα. Ο λόγος έχει να κάνει με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ένας καλός διαχωρισμός θα μειώσει τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που καταλήγουν σε παραγωγή RDF και ως εκ τούτου θα αυξήσει τις πιθανότητες ότι η παραγόμενη τέφρα και άνθρακας κατά τη διάρκεια της παραγωγής θα περιλαμβάνει λιγότερες προσμίξεις που τις καθιστούν κατάλληλες για υγειονομική ταφή σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα [44].

Όσον αφορά τη διαδικασία της βιολογικής ξήρανσης για την παραγωγή καυσίμου, τα υπολείμματα αποβλήτων, δίχως τα αδρανή και τα μέταλλα, ξεραίνονται αποτελεσματικά και σταθεροποιούνται μέσω μιας διαδικασίας λιπασματοποίησης, αφήνοντας την υπολειμματική μάζα με υψηλότερη θερμογόνο δύναμη και κατάλληλη για καύση. Η υψηλή θερμοδική αξία αυτής της διαδικασίας που αναπτύχθηκε στη Γερμανία έχει την εμπορική ονομασία «Trockenstabilat». Το καύσιμο που προέρχεται είναι συνήθως υψηλότερης ποιότητας από το RDF, καθώς είναι ένα επεξεργασμένο ξηρό καύσιμο κλάσμα διαχωρισμένο από τη πηγή που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανακύκλωση [34].

Σε γενικές γραμμές, οι μονάδες MBT διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στις εγκαταστάσεις διαχωρισμού, δηλαδή σε αυτές που επιδιώκουν να χωρίσουν τα υπολείμματα σε βιοαποικοδομήσιμα και κλάσματα υψηλής θερμοδικής αξίας, και στις εγκαταστάσεις διαδικασίας ξηρής σταθεροποίησης, οι οποίες στοχεύουν στην αύξηση της θερμογόνου αξίας τους [45].

Ως αποτέλεσμα τα επεξεργασμένα απορριμματογενή καύσιμα κατά μέσο όρο έχουν υψηλότερη τιμή θερμογόνου δύναμης, χαμηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα και χαμηλότερη πυκνότητα όγκου σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα απόβλητα. Σημειώστε ότι η πλειονότητα των ρύπων όπως το χλώριο, το θείο και τα βαρέα μέταλλα δεν επηρεάζονται από την προεπεξεργασία, παρόλο που τα συστήματα αφαίρεσης μετάλλων ελαχιστοποιούν την παρουσία μετάλλου στο παραγόμενο καύσιμο. Το πιθανό πρόβλημα των τοξικών εκπομπών από την καύση μπορεί να εξλειφθεί με τη χρήση κατάλληλων συστημάτων ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (APC, Advanced Process Control) στα υπάρχοντα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας που καίνε λιγνίτη ή άλλου τύπου άνθρακα. Εδώ, πρέπει να τονιστεί ότι η συναποτέφρωση αποβλήτων σε εγκαταστάσεις που δεν είχαν σχεδιαστεί για την αποτέφρωση αποβλήτων δεν πρέπει να επιτρέπεται να προκαλεί υψηλότερες εκπομπές ρυπογόνων ουσιών στο σωρό των αερίων τέτοιων εργασιών από αυτές που επιτρέπονται για ειδικές μονάδες αποτέφρωσης. Με βάση τη σύνθεση του RDF/SRF, αυτά τα καύσιμα περιέχουν ρύπους και βαρέα μέταλλα που είναι πολύ σπάνια, επομένως η χρήση σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα ή λιγνίτη μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερες εκπομπές και, επομένως, οι σταθμοί πρέπει να είναι εξοπλισμένα με επαρκή συστήματα ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (APC) ικανά να ελαχιστοποιούν αυτούς τους ρύπους [41].

Όπως αναφέραμε οι συγκεκριμένες μονάδες έχουν την δυνατότητα να παράγουν προς χρήση ένα διαχωρισμένο καύσιμο, το οποίο είναι υψηλής θερμογόνου δύναμης και παρέχεται ως ομογενοποιημένο κλάσμα που περιλαμβάνει χαρτί, πλαστικό και άλλα καύσιμα υλικά. Το απορριμματογενές καύσιμο πέρα από τις σύνηθες ονομασίες RDF ή SRF, μπορεί να χαρακτηριστεί και με άλλους όρους, όπως REF (Recovered Fuel), PPF (Paper and Plastic Fraction), PEF (Processed Engineered Fuel), TDF (Tire Derived Fuel). Ενώ ακόμα υπάρχουν και το PDF (Packaging Derived Fuel), το οποίο είναι συνήθως υψηλότερης ποιότητας σε σύγκριση με το RDF [39]. Στους παρακάτω πίνακες 3.10 - 3.11 δίνονται τα τυπικά εύρη τιμών για τα καύσιμα τύπου RDF-SRF.

Μετατροπή υφιστάμενου λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση απορριμματογενούς καυσίμου

	Χημικές ιδιότητες		Μηχανικές ιδιότητες	
Θερμιδική αξία	11-18 Mj/kg	Μέγεθος σωματιδίων	10-300 mm	
Υγρασία	10-30 % wt			
Τέφρα	10-20 % wt	Πυκνότητα	120-300 kg/m ³	
Cl	1.0-1.8 % wt			
S	0.3-0.8 % wt			

Πίνακα 3.10 Εύρη τιμών για RDF [41].

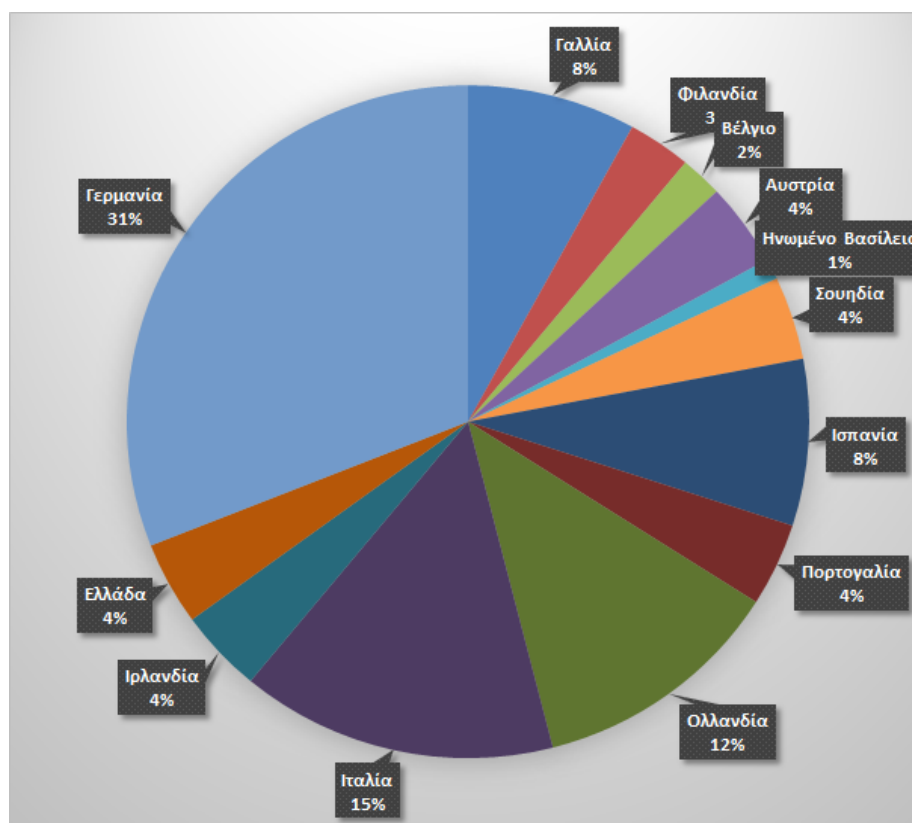
	Χημικές ιδιότητες		Μηχανικές ιδιότητες	
Θερμιδική αξία *	3-45 Mj/kg	Μέγεθος σωματιδίων	10-300 mm	
Υγρασία	<25 % wt			
Τέφρα	<20 % wt	Πυκνότητα	120-300 kg/m ³	
Cl	<1.5 % wt			
S	<0.5 % wt			

* Εξαρτάται από τις ιδιότητες του SRF, καθώς οι τυπικές τιμές είναι 12-25 Mj/kg

Πίνακα 3.11 Εύρη τιμών για SRF [41].

Μέσα από αναλύσεις και αποτελέσματα που έχουν προκύψει, τα συμπεράσματα είναι αρκετά ικανά για να γνωρίζουμε πως αν τα όρια των τιμών ξεπεραστούν, από τους προηγούμενους πίνακες, στο τελικό προϊόν θα υπάρξουν απώλειες στην θερμική του απόδοση κατά τη χρήση. Το χλώριο είναι ένας τεχνολογικός δείκτης που μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργική συμπεριφορά μέσω πιθανών προβλημάτων διάβρωσης. Η υγρασία επηρεάζει την παραγόμενη ποιότητα κατά την κατανάλωση θερμικής ενέργειας για τη διαδικασία και μπορεί να επηρεάσει τη συμπεριφορά του RDF στο σύστημα τροφοδοσίας. Η υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα του RDF, μπορεί να δημιουργήσει μειονεκτήματα, όπως οι υψηλότερες απώλειες ενέργειας, λόγω της αφαίρεσης της προθερμασμένης τέφρας και λειτουργικά προβλήματα λόγω τήξης της τέφρας, που θα οδηγήσουν σε συσσωματώσεις με αδρανές υλικά και πιθανές αποφράξεις [46].

Στην Ελλάδα λειτουργούν 5 μονάδες MBT και παράγουν σε ποσότητα κοντά στις 500 ktn/y από RDF/SRF. Είναι εγκατεστημένες στις εξής περιοχές, Άνω Λιόσια, Χανιά, Ηράκλειο, Κεφαλονιά και Καλαμάτα. Το MBT στα Άνω Λιόσια έχει τη δυνατότητα να παράγει 450 tRDF ανά ημέρα, το οποίο είναι 113.400 τόνους το έτος. Το MBT των Χανίων παράγει 10.000 τόνους RDF ανά έτος, με το αντίστοιχο στο Ηράκλειο να παράγει 50.000 τόνους το χρόνο [47]. Στο ακόλουθο γράφημα 3.12, εμφανίζεται το ποσοστό παραγωγής SRF κάθε χώρας στην Ευρώπη. Είναι σαφές ότι ορισμένες ανεπτυγμένες χώρες διαθέτουν προηγμένο μοντέλο διαχείρισης αποβλήτων. Είναι ενθαρρυντικό το γεγονός ότι υπάρχουν πολλές χώρες που αρχίζουν να δίνουν προσοχή στην κρίση των αποβλήτων [45].



Πίνακας 3.12 Παραγωγή SRF από ευρωπαϊκές χώρες [45].

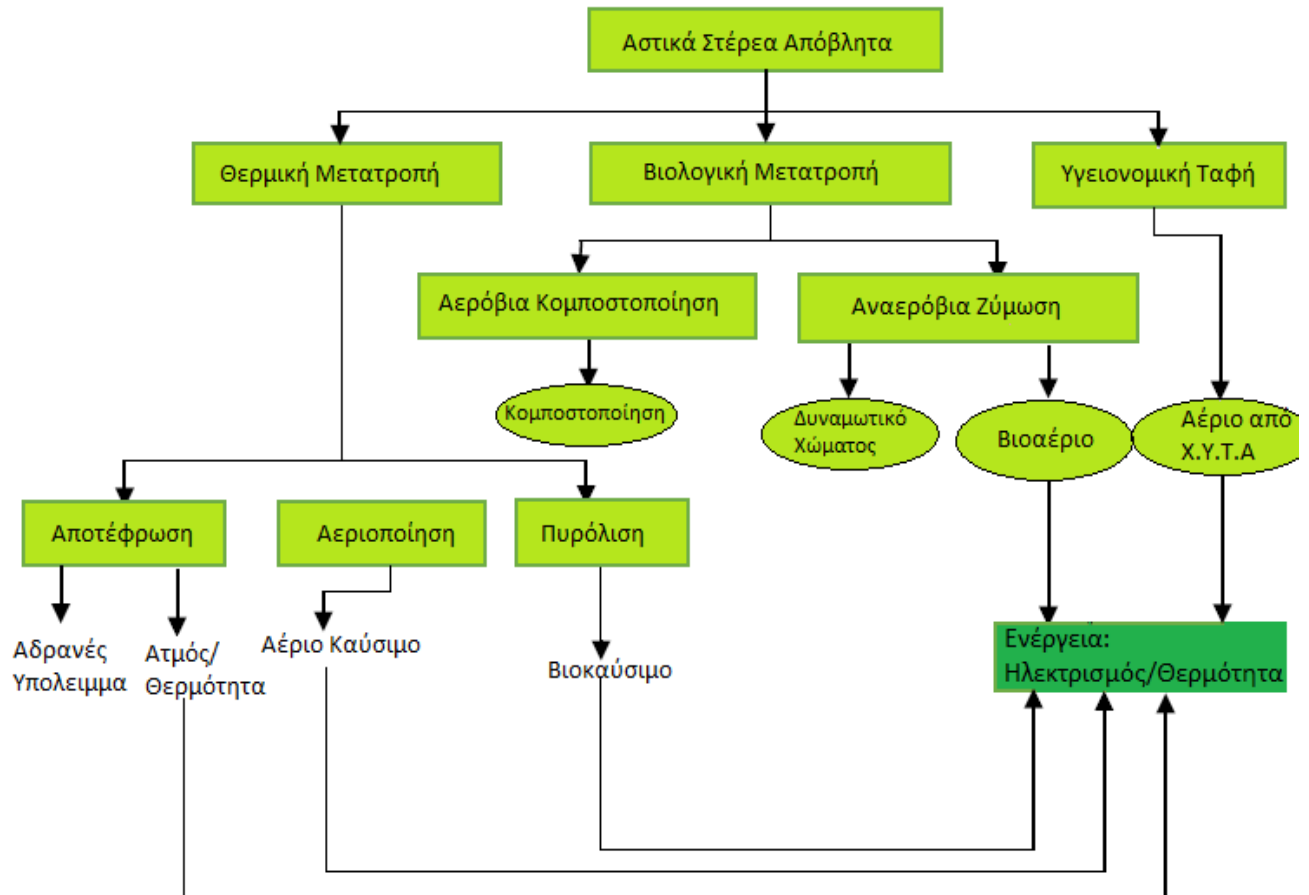
Η χρήση MSW και η παραγωγή ενέργειας από RDF/SRF θα προσφέρει σημαντικά οφέλη όχι μόνο στην υγεία του περιβάλλοντος αλλά και στην οικονομία και στον ενεργειακό τομέα της Ελλάδος. Περισσότερα από 128 kt λιγνίτη θα εξοικονομούνται ετησίως και οι εκπομπές CO₂ των λιγνιτικών σταθμών θα μειωθούν κατά τουλάχιστον 128 kt. Η χρήση MSW σε εγκαταστάσεις μαζικής καύσης WTE ή με τη μορφή SRF/RDF σε ειδικές εγκαταστάσεις καύσης ή ως υποκατάστατο ορυκτών καυσίμων σε λιγνίτη θα οδηγήσει σε ενεργειακή ασφάλεια και περιβαλλοντικά οφέλη. Λόγω της μειωμένης ανάγκης για ορυκτά καύσιμα, τη μείωση της εξάρτησης από τα εισαγόμενα καύσιμα, τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα κατά την παραγωγή της ενέργειας και τη διατήρηση της γης. Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη [35, 45].

3.4 Τεχνικές ανάκτησης ενέργειας

Η ανάκτηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί είτε με την απευθείας καύση των αποβλήτων (άμεση) είτε με την επεξεργασία τους για παραγωγή απορριμματογενούς καυσίμου (έμμεση). Με αυτό τον τρόπο προστατεύονται οι φυσικοί πόροι, δεδομένου ότι το χαρτί, το γυαλί, τα πλαστικά και τα μέταλλα ανακτώνται από τις πηγές των αποβλήτων, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο όγκος προς τους χώρους ταφής [41].

Γενικά διατίθενται διάφορες τεχνικές ανάκτησης ενέργειας από αστικά στερεά απόβλητα, με τρεις να είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες (βλ. Εικόνα 3.13).

Μετατροπή υφιστάμενου λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση απορριμματογενούς καυσίμου



Εικόνα 3.13 Τεχνικές ανάκτησης ενέργειας από MSW [37].

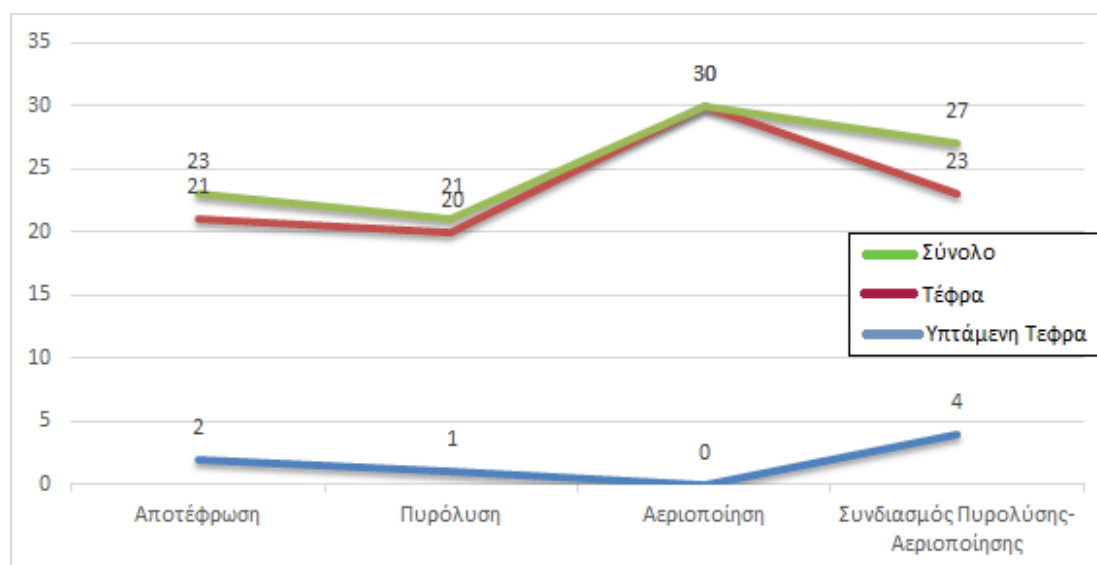
Αρχικά είναι η θερμική μετατροπή, με την αποτέφρωση, την πυρόλυση και την αεριοποίηση ως επιλογές (βλ. Πίνακα 3.14). Μετά συναντάμε την βιολογική μετατροπή, με αερόβια κομποστοποίηση και αναερόβια ζύμωση ως επιλογές. Και τέλος, την υγειονομική ταφή. Από τις παραπάνω τεχνικές αντλούμε διαφορετικά καύσιμα, όμως όλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας. Η θερμική μετατροπή βασίζεται κυρίως στην θερμική επεξεργασία της οργανικής ύλης, η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε χαμηλές περιεκτικότητες σε υγρασία και σε υψηλά ποσοστά μη βιοαποικοδομήσιμων οργανικών υλών, με τα ξηρά απόβλητα να αποτελούν την ιδανική επιλογή [37]. Γενικότερα, γίνονται συγκεκριμένες διαδικασίες και τα απορρίμματα μετατρέπονται ανάλογα με τις ανάγκες σε υγρά στερεά ή αέρια προϊόντα με σκοπό την έκλυση θερμικής ενέργειας [39].

Μετατροπή υφιστάμενου λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση απορριμματογενούς καυσίμου

Τεχνικές	Αποτέφρωση	Πυρόλυση	Αεριοποίηση
Τρόποι	Πλήρης Καύση (Οξειδοτική)	Θερμική Αποικοδόμιση (Απουσία Οξυγόνου)	Μερική Οξείδωση
Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	850-1200	400-800	800-1600
Ατμόσφαιρα	Παρουσία επαρκούς οξυγόνου	Απουσία οξυγόνου	Ελεγχόμενη παροχή οξυγόνου
Προϊόντα αντίδρασης			
	Στερεά	Τέφρα, ιπτάμενη τέφρα, σκωρία, μη καύσιμες ουσίες (μέταλλα και γυαλί)	Τέφρα, σκωρία
	Υγρά		Συμπύκνωμα αερίου πυρόλυσης (λάδι πυρόλυσης, κεριά, πίσσα)
	Αέρια	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	Αέριο πυρόλυσης (H ₂ , CO, υδρογονάνθρακες, H ₂ O, N ₂) (H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂)
Προεργασία	Όχι αναγκαία	Απαραίτητη	Απαραίτητη
Ακατέργαστα MSW	Προτιμούνται	Δεν προτιμούνται	Δεν προτιμούνται

Πίνακας 3.14 Λειτουργικές λεπτομέρειες κατά τη διαδικασία θερμικής μετατροπής [37].

Άλλα προϊόντα που παράγονται, όπως παρατηρείται από τον πίνακα 3.14, είναι τα προϊόντα αντίδρασης. Και οι τρεις τεχνικές της θερμικής μετατροπής έχουν ως παράγωγα την τέφρα ή την ιπτάμενη τέφρα, τα οποία αποτελούν πρόβλημα στη διαχείριση αποβλήτων. Στο πίνακα 3.15, φαίνονται σε ποσοστά τα επίπεδα της τέφρας για κάθε τεχνική.



Πίνακας 3.15 Ποσοστά τέφρας (% κ.β.) μετά τη θερμική επεξεργασία των MSW [39].

Μέσω της αεριοποίησης, η ενεργειακή περιεκτικότητα των απορριμμάτων μετατρέπεται σε συνθετικό αέριο (syngas), το οποίο επαναχρησιμοποιείται είτε ως χημική πρώτη ύλη είτε για την παραγωγή ενέργειας. Με την τεχνική της πυρόλυσης παράγεται βιοκαύσιμο, αντίστοιχα έχει τις ίδιες χρησιμότητες. Ωστόσο, ο αρνητικός παράγοντας αυτών των δύο τεχνικών βρίσκεται στο ότι είναι λιγότερο αποδεδειγμένες σε λειτουργία [34]. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι η αποτέφρωση στην Ευρώπη, στην οποία γίνεται ελεγχόμενη καύση σε υψηλή θερμοκρασία και ορίζεται ως η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε θερμική, υπό συνθήκες περίσσειας οξυγόνου, με ταχεία οξειδωση της οργανικής ύλης των αποβλήτων [37, 39]. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, λόγω του ότι η αποτέφρωση αποβλήτων, επικίνδυνων και μη, μπορεί να προκαλέσει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις μέσω των εκπομπών αέριων ρύπων τόσο στον αέρα, όσο και το νερό και το έδαφος, οι οποίες μπορεί να είναι επιβλαβείς στην ανθρώπινη υγεία, επιβάλλει όρους λειτουργίας και τεχνικές απαιτήσεις στις μονάδες αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης αποβλήτων. Άξιο αναφοράς, από την εικόνα 3.13, είναι και η διαδικασία της κομποστοποίησης, η οποία περιλαμβάνει κάποια βακτήρια που έχουν ως κύριο ρόλο την αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων [43].

Σκοπός της θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων είναι πολλαπλός, αρχικά βοηθάει στην εκτροπή τους από τους χώρους υγειονομικής ταφής, δεύτερον μετατρέπονται υλικά σε μη επιβλαβή για την υγεία, και τέλος δύναται η εκμετάλλευσή τους με την παραγωγή ενέργειας. Η ανακτώμενη ηλεκτρική ενέργεια από την άμεση επεξεργασία των MSW είναι 2 με 2,5 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της έμμεσης επεξεργασίας, καθώς περίπου το ίδιο συμβαίνει και με την θερμική ενέργεια, όπου η άμεση είναι 5 με 6 φορές μεγαλύτερη από την έμμεση [39].

Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας MSW στην πραγματικότητα, είναι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής των οποίων το κύριο καύσιμο είναι τα επεξεργασμένα αστικά στερεά απόβλητα. Τα εργοστάσια αυτά θεωρούνται περιβαλλοντικά ασφαλείς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [38]. Σε γενικές γραμμές, οι βασικές αρχές λειτουργίας και οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται είναι πανομοιότητες στις μονάδες. Χρειάζονται σταθερές συνθήκες λειτουργίας, ευχέρεια και ευελιξία προσαρμογής σε απότομες αλλαγές της σύστασης και της ποσότητας τροφοδοσίας, πλήρη έλεγχο στις εκπομπές ρύπων, και τέλος και πιο σημαντικές είναι η ολική αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας, με τις λιγότερες απώλειες κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η συνεχής μείωση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας [39].

Επί του παρόντος, τα περιβαλλοντικά προβλήματα της λειτουργίας των θερμοηλεκτρικών σταθμών που τροφοδοτούνται με MSW έχουν επιλυθεί και η αναζήτηση τρόπων βελτίωσης της ενεργειακής τους απόδοσης γίνεται προτεραιότητα στο εξωτερικό. Είναι δυνατόν να βελτιωθεί η αποδοτικότητα αυτών των μονάδων, κυρίως με την αύξηση της χωρητικότητάς τους. Η ξένη εμπειρία κατασκευής και λειτουργίας τέτοιων θερμοηλεκτρικών σταθμών δείχνει ότι η βελτίωση της παραγωγικότητας της καύσης απορριμματογενούς καυσίμου, για παράδειγμα, από 6 σε 35 t/h, μειώνει το κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας κατά περίπου 40 και 50%, αντίστοιχα. Μια άλλη μέθοδος βελτίωσης της απόδοσης των μονάδων είναι η βέλτιστη επιλογή των τύπων ενέργειας που παράγονται και παρέχονται. Οι χρήσεις του δυναμικού ενέργειας MSW σε εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων είναι πάρα πολλές: από καθαρή ηλεκτρική ενέργεια ή παραγωγή θερμικής ενέργειας έως τη συνδυασμένη παραγωγή τους. Όμως, η επιλογή του βέλτιστου παραγόμενου ενεργειακού τύπου εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες κατανάλωσης θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, τη χωρητικότητα των εγκαταστάσεων και την καθιερωμένη τροφοδοσία. Ωστόσο, κατά

κανόνα, η χωρητικότητα των μονάδων που τροφοδοτούνται με MSW εξαρτάται από την ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται σε μια περιοχή [38].

Κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο, ένα γενικό συμπέρασμα είναι πως η χρήση του RDF στις μονάδες θερμικής επεξεργασίας προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία από την απλή αποτέφρωση των αστικών στερεών αποβλήτων. Δίνει περισσότερες ευκαιρίες για μελλοντικά προγράμματα ανακύκλωσης και ανοίγει την πόρτα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στο επόμενο κεφάλαιο θα μελετηθεί το ενεργειακό αντίκτυπο των απορριμματογενών καυσίμων στο περιβάλλον.

3.5 Ενεργειακό αντίκτυπο απορριμματογενούς καύσιμου

3.5.1 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα προς επίλυση του 21^{ου} αιώνα είναι οι παγκόσμιες εκπομπές ρύπων προς την ατμόσφαιρα από ανθρώπινους παράγοντες. Σύμφωνα με εκτιμήσεις θα μπορούσε να επιτευχθεί μείωση περίπου 10 - 15% στις παγκόσμιες εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου μέσω της βελτιωμένης διαχείρισης αποβλήτων, όπως είναι η ανακύκλωση, η εκτροπή από Χ.Υ.Τ.Α. και η ανάκτηση ενέργειας [32]. Παρόλα αυτά όμως, είναι εφικτή η πιθανότητα τοξικών εκπομπών από την καύση των αποβλήτων. Αν και τα περισσότερα απόβλητα με πτητικά μέταλλα ή άλλες ουσίες θα απομακρυνθούν κατά τη διαδικασία προετοιμασίας του RDF. Κάποιες μικρές συγκεντρώσεις θα παραμείνουν. Όλα τα σύγχρονα εργοστάσια WTE είναι εξοπλισμένα με έγχυση ενεργού άνθρακα (ACI, activated carbon injection) έτσι ώστε τυχόν πτητικά μέταλλα να ενώνονται με τα σωματίδια άνθρακα και στη συνέχεια να απομακρύνονται [41]. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με την μεθόδους διαχείρισης των οργανικών αποβλήτων είναι γνωστά σε όλο τον κόσμο. Συμβάλλουν στην αλλαγή του κλίματος, στη μείωση της ανθρώπινης αναπνευστικής υγείας από σωματίδια, στη μείωση της ανθρώπινης υγείας από τοξικές ουσίες, στη μείωση της ανθρώπινης υγείας από καρκινογόνες ουσίες, στην οξίνωση, τον ευτροφισμό, στην τοξικότητα του οικοσυστήματος, στην εξάντληση του όζοντος, στο σχηματισμός αιθαλομίχλης, στην αλλοίωση οικοτόπων, στη μείωση βιοποικιλότητας, στην εξάντληση πόρων, στην κατανάλωση νερού και χρήση γης [48]. Η απαίτηση γης για εγκαταστάσεις WTE είναι πολύ μικρότερη από εκείνη των εγκαταστάσεων υγειονομικής ταφής για το χειρισμό της ίδιας ποσότητας αποβλήτων. Η μονάδα WTE που επεξεργάζεται 1 εκ. τόνους αποβλήτων ετησίως έχει μέση διάρκεια ζωής άνω των 30 ετών και απαιτεί λιγότερο από 100.000 m² γης, ενώ ένας χώρος υγειονομικής ταφής για 30 εκ. τόνους MSW απαιτεί έκταση 300.000 m² [37]. Ωστόσο, δε σημαίνει ότι έχουν καταστροφικές συνέπειες, τα ποσοστά της συμβολής τους είναι αρκετά μικρότερα σε σχέση με άλλες διαδικασίες και εφαρμογές. Τα προαναφερθέντα παραδείγματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων καλύπτονται από την ανάλυση κύκλου ζωής (LCA, life cycle assessment). Μπορεί να οριστεί ως μια μέθοδος που μελετά τις πτυχές από το περιβάλλον και τις πιθανές επιπτώσεις ενός προϊόντος ή συστήματος από την εξαγωγή πρώτων υλών μέσω της παραγωγής, της χρήσης και της διάθεσης. Οι επιπτώσεις που λαμβάνονται υπόψη περιλαμβάνουν τη διάθεση και τη χρήση των πόρων, την ανθρώπινη υγεία και τις οικολογικές συνέπειες. Οι στρατηγικές διαχείρισης αποβλήτων που πραγματοποιούνται στην LCA θα πρέπει να στοχεύουν στη μεγιστοποίηση της ανάκτησης ενέργειας και υλικών, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την τελική

ποσότητα αποβλήτων που παραδίδονται στην υγειονομική ταφή και τη ρύπανση που σχετίζεται με όλα τα στάδια επεξεργασίας και συλλογής [48].

Σε γενικότερα πλαίσια, οι εκπομπές μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες: εξοικονόμηση, αποφυγή και άμεσες εκπομπές. Η εξοικονόμηση CO₂ αναφέρεται στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που αποφεύγονται από την επεξεργασία των ανακτηθέντων υλικών. Η αποφυγή αναφέρεται στις εκπομπές CO₂, αν είχε πραγματοποιηθεί άλλη μέθοδος επεξεργασίας. Ενώ τέλος, οι άμεσες εκπομπές είναι αυτές που εκπέμπονται απευθείας στο περιβάλλον από τις διαδικασίες που πραγματοποιούνται [48]. Οι οδηγίες για τις βιομηχανικές εκπομπές ρύπων (IED, Industrial Emissions Directive), που έχουν δοθεί από τους ευρωπαϊκούς φορείς στοχεύουν στη μείωση τους στον αέρα, το έδαφος, το νερό, τη γη και κυρίως στην αποτροπή δημιουργίας αποβλήτων, έτσι ώστε να επιτευχθεί ένα υψηλό επίπεδο προστασίας για το οικοσύστημα. Για παράδειγμα, στις μονάδες αποτέφρωσης έχει καθορίσει απαιτήσεις για βασικές λειτουργίες, όπως η ελάχιστη θερμοκρασία της καύσης και ο χρόνος παραμονής των προϊόντων κατά τη διάρκεια της καύσης (ελάχιστη απαίτηση 850 °C για 2 δευτερόλεπτα με MSW), ενώ έχει επιβάλλει και ειδικά όρια για τους εκπεμπόμενους αέριους ρύπους, κυρίως από το διοξείδιο του θείου (SO₂) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x) [32].

3.5.2 Εκπομπές ρύπων

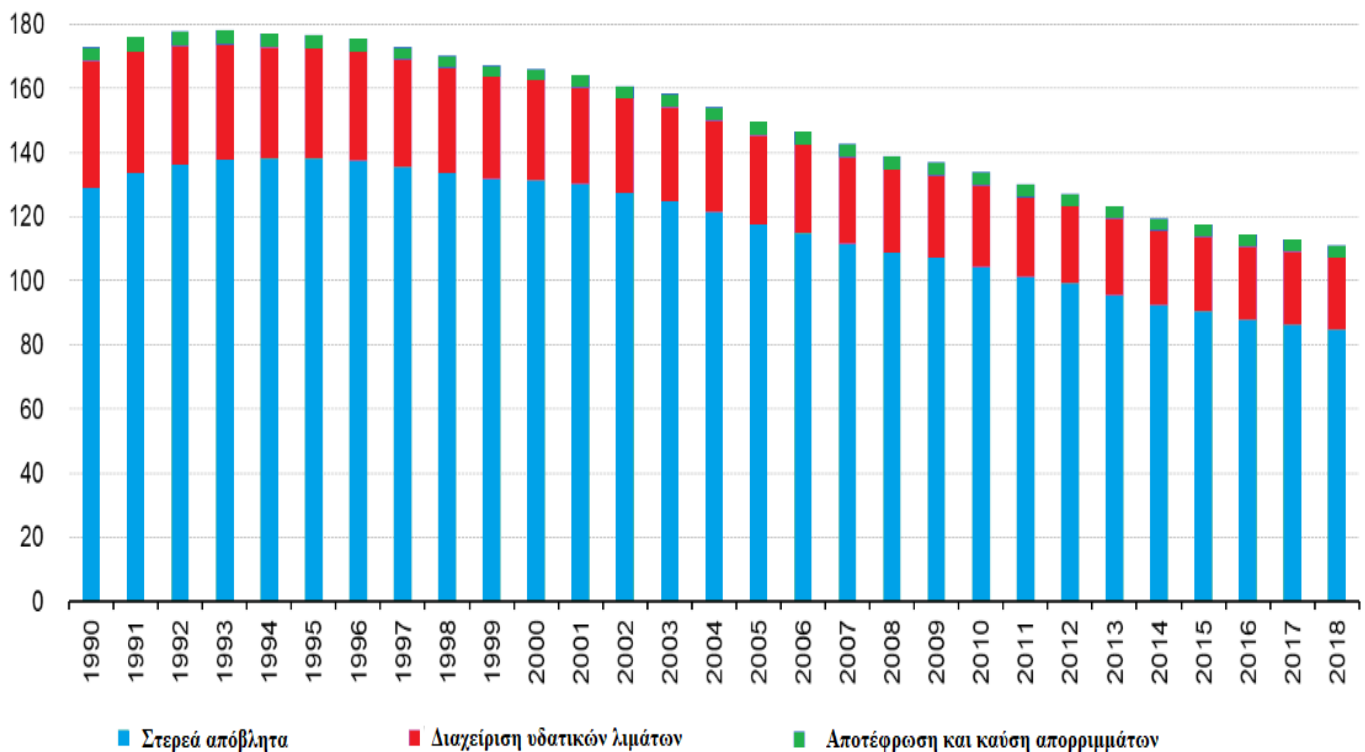
Σε αυτή την υποενότητα θα αναφερθεί ένα παράδειγμα για ένα εργοστάσιο που χρησιμοποιεί απορριμματογενή καύσιμο για ανάκτηση ενέργειας. Είναι μια μικρή εισαγωγή για τις παρακάτω υποενότητες, όπου θα υπάρξει περαιτέρω ανάλυση των εκπομπών από τέτοιες μονάδες. Σημαντικό για αυτή την ενότητα είναι το γεγονός πως για να εκτιμηθούν οι αποφευχθείσες εκπομπές από την αποτέφρωση, πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η ποσότητα ενέργειας που παράγεται σε αυτές τις μονάδες [49].

Συγκεκριμένα, μια μονάδα επεξεργασίας απορριμμάτων με ανάκτηση θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP, Combined of Heat & Power) κατασκευάστηκε στη Φινλανδία και λειτούργησε το 2012. Η μονάδα χρησιμοποιεί 250.000 τόνους ετησίως στερεού ανακτημένου καυσίμου, που αποτελείται κυρίως από πλαστικό, προϊόντα ξύλου και χαρτιού ακατάλληλα για ανακύκλωση, μπορεί να μην έχουν όσο θερμογόνο δύναμη έχουν το RDF ή το SRF, όμως τα αποτελέσματά του είναι ενθαρρυντικά. Η εγκατεστημένη ισχύς της μονάδας είναι περίπου 50 MW ηλεκτρικής ενέργειας και 90 MW θερμότητας. Το εργοστάσιο τροφοδοτεί 87.000 πελάτες κυρίως στην περιοχή την οποία εδρεύει. Η τηλεθέρμανση παρέχεται σε 7.600 πελάτες κυρίως σε πολυκατοικίες και στη βιομηχανία. Το εργοστάσιο με 160 MW_{chp} δουλεύει με την τεχνική της αεριοποίησης, το καύσιμο που προέρχεται από απόβλητα αεριοποιείται, το αέριο ψύχεται και καθαρίζεται και το καθαρό αέριο καίγεται στη συνέχεια στο λέβητα. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις τις μονάδας ήταν θετικές. Με λίγο περισσότερο από ένα χρόνο λειτουργίας, μείωσε σημαντικά την ανάγκη άνθρακα στην παραγωγή της. Παρατηρήθηκε ότι οι εκπομπές CO₂ στο πλαίσιο του συστήματος εμπορίας εκπομπών της Ε.Ε. μειώθηκαν κατά 26% από το 2012 έως το 2013 [47].

Η συγκεκριμένη περίπτωση παρουσιάζεται ώστε να επισημανθεί η συνεισφορά των μονάδων τόσο προς στους ανθρώπους (θέσεις εργασίας, βελτίωση της τοπικής οικονομίας) αλλά και κυρίως προς το περιβάλλον. Ωστόσο, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα των εγκαταστάσεων WTE είναι οι διαμαρτυρίες από τοπικές κοινότητες, ειδικά σε αναπτυσσόμενες χώρες με υψηλή πυκνότητα πληθυσμού. Έτσι, για την επιτυχή εφαρμογή οποιασδήποτε εγκατάστασης WTE, η αποδοχή της από την τοπική κοινότητα είναι σημαντική. Οι

ανεπτυγμένες χώρες έχουν συνειδητοποιήσει το δυναμικό των επιλογών WTE και έχουν αρχίσει να την εφαρμόζουν για αποτελεσματική διαχείριση αποβλήτων. Το πρόβλημα της διάθεσης τεράστιων ποσοτήτων παραγόμενων MSW και η απαίτηση αξιόπιστης πηγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι κοινά σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες. Εάν 1 τόνο MSW αποτεφρώνεται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αντί για υγειονομική ταφή (χωρίς ανάκτηση αερίου), τότε 1,3 τόνοι εκπομπών ισοδύναμου CO₂ μπορούν να αποφευχθούν εάν οι ισοδύναμες εκπομπές CO₂ από τις μονάδες ενέργειας που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα παράγουν την ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας [37].

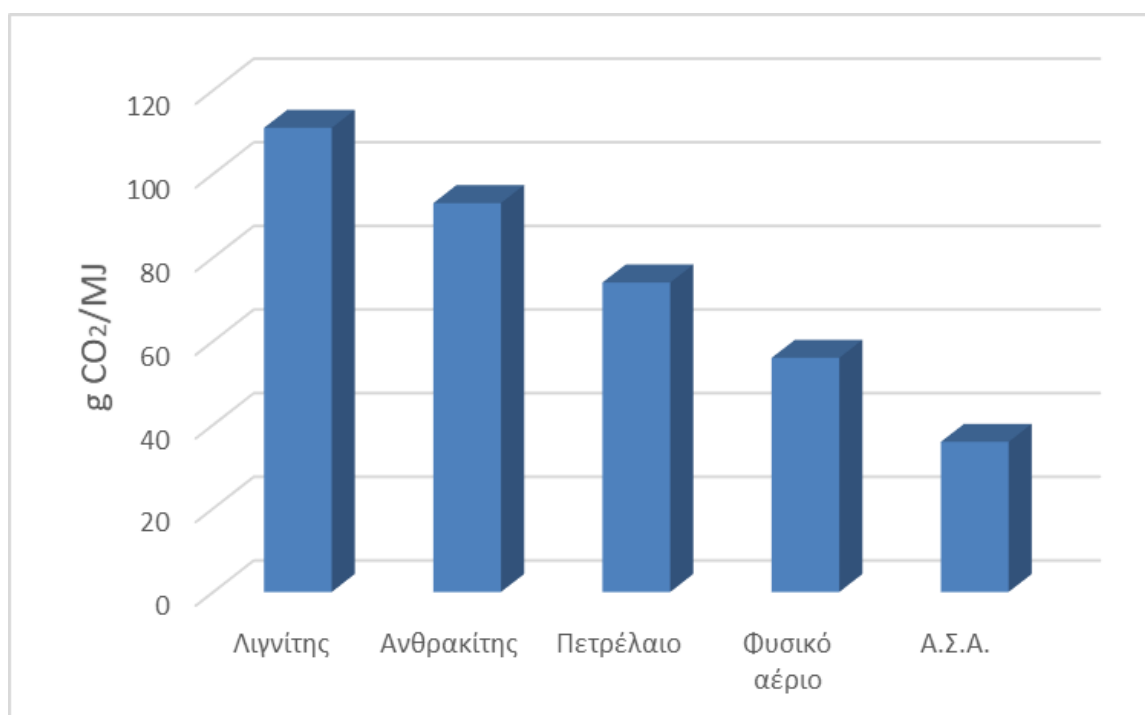
Γενικότερα στην Ευρώπη οι εκπομπές από απόβλητα μειώθηκαν σημαντικά σε σχέση με τις αντίστοιχες εκπομπές το 1990 και το 2000, κυρίως λόγω της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου από τη διάθεση των στερεών αποβλήτων. Η διαχείριση των αποβλήτων έφερε σημαντική μείωση της ποσότητας εναπόθεσής τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Το 2018, το μερίδιο της διαχείρισης των αποβλήτων στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ήταν μόλις 3%, όπως αποκαλύπτει η Eurostat. Αν και σε απόλυτους όρους, αυτός ο τομέας έχει τη μικρότερη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου, κατάφερε να τις μειώσει κατά 57 εκ. τόνους ισοδύναμου CO₂, δηλαδή περίπου 33% κατά τη διάρκεια των 28 ετών (1990-2018). Το πίνακα 3.16 δείχνει ότι οι εκπομπές διαχείρισης αποβλήτων παρέμειναν σχετικά σταθερές τα πρώτα δέκα χρόνια. Ωστόσο, από τα μέσα της δεκαετίας και έπειτα δεύτερο μισό της δεκαετίας του 1990, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου άρχισαν να μειώνονται και συνέχισαν να το κάνουν με πολύ σταθερό τρόπο. Η επεξεργασία υδατικών λυμάτων μείωσε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 43%, αλλά λόγω του μικρότερου μεριδίου στο σύνολο, αυτό ανέρχεται μόνο σε 17 εκ. τόνους, ενώ η αντίστοιχη μείωση των στερεών αποβλήτων ήταν περίπου 34% με 44 εκ. τόνους.



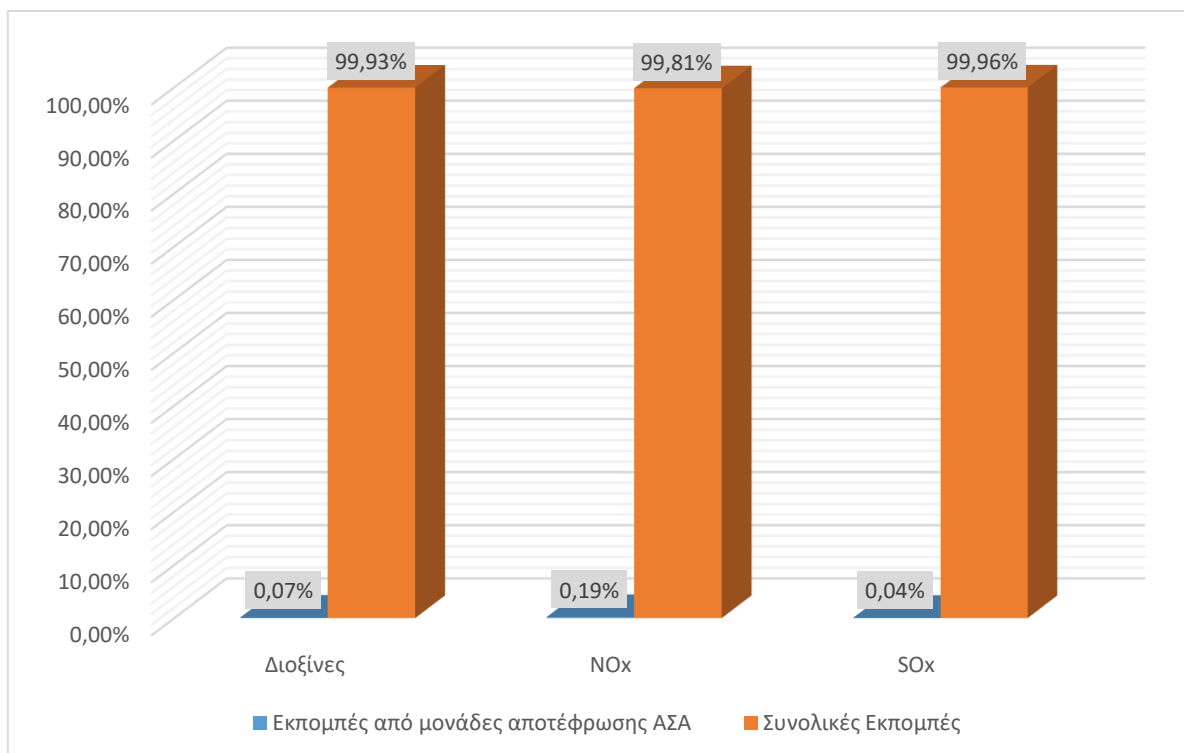
Πίνακας 3.16 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στη διαχείριση αποβλήτων, Ε.Ε.-27 (εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου CO₂) [6].

3.5.2.1 Εκπομπές αέριων ρύπων

Η επιδείνωση των επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου έχει προσελκύσει όλο και περισσότερη προσοχή και έχουν προταθεί πολλές τεχνικές προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ (βλ. Πίνακας 3.17). Γνωρίζουμε πως η αποτέφρωση των αστικών στερεών αποβλήτων μπορεί να οδηγήσει σε ατμοσφαιρική ρύπανση, κυρίως με τις εκπομπές αέριων ρύπων (SO_x, NO_x, CO_x). Όπως ακόμα μπορεί να έχει επιπτώσεις και στη ρύπανση του εδάφους και των υδάτων, με την παρουσία βαρέων μετάλλων στην παραγόμενη τέφρα. Ωστόσο, με την εξέλιξη στις τεχνολογίες ελέγχου της ρύπανσης και στα συστήματα ανάκτησης ενέργειας, τα ποσοστά αερίων ρύπων (σωματιδίων, οξειδία αζώτου, οξειδία θείου) έχουν ελαχιστοποιηθεί σε σχέση με τα αντίστοιχα που παράγονται στις μονάδες παραγωγής ενέργειας από άνθρακα (βλ. Πίνακας 3.18) [37].



Πίνακας 3.17 Εκπομπές CO₂ από την καύση διαφορετικών καυσίμων [50].



Πίνακας 3.18 Εκπομπές αέριων ρύπων [39].

Πολλές μελέτες έχουν κάνει αναφορά για τον κίνδυνο στην υγεία που προκαλούν οι μονάδες αποτέφρωσης αποβλήτων. Λόγω του ότι οι αποτεφρωτήρες εκπέμπουν δυνητικά ένα μεγάλο αριθμό ρύπων, όπως και επίσης ότι με την καύση παράγουν ως κατάλοιπα κάποιες οργανικές ενώσεις που είναι γνωστές ως διοξίνες. Ο Διεθνής Οργανισμός Έρευνας για τον καρκίνο κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι διοξίνες είναι εξαιρετικά καρκινογόνες με βάση τα εργαστηριακά πειράματα στις ομάδες που ζουν κοντά σε βιομηχανικές περιοχές. Ωστόσο, πολλές μελέτες (World Energy Resources, 2016) ανέφεραν μη πειστικά αποτελέσματα των επιπτώσεων των αποτεφρωτών στη δημόσια υγεία. Ένα καλά αναπτυγμένο και ελεγχόμενο σύστημα είναι απαραίτητο για ένα επιτυχημένο και αποτελεσματικό έργο αποτέφρωσης αποβλήτων. Η κλιματική αλλαγή είναι παγκόσμιο φαινόμενο που απαιτεί συλλογικές προσπάθειες από όλα τα έθνη για τον μετριασμό της. Είναι ζωτικής σημασίας να εφαρμοστούν τεχνολογίες που μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG, greenhouse gas) και να μετριάσουν την κλιματική αλλαγή που δημιουργείται από την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας που παράγεται από συμβατικά μέσα [37].

Πιο συγκεκριμένα ο στόχος της Ε.Ε. είναι η μείωση των διοξινών και των οξέων αερίων όπως τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα διοξείδια του θείου (SO_2) και τα υδροχλώρια (HCl), τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία. Η επίτευξη του στρατηγικού ενεργειακού στόχου που προαναφέρθηκε σημαίνει μεταμόρφωση της Ευρώπης σε υψηλό βαθμό ενεργειακά αποδοτική και χαμηλή ενεργειακή σε παραγωγή CO_2 . Έτσι, μια εφικτή επιλογή είναι να χρησιμοποιηθούν τα απόβλητα για την παραγωγή ενέργειας χωρίς να επιβαρύνουν τις συνολικές εκπομπές CO_2 , καθώς η περιεκτικότητα σε βιολογικά απόβλητα δεν θεωρείται ως προσθήκη στα συνολικά επίπεδα CO_2 σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι οριακές τιμές για τις εκπομπές των εγκαταστάσεων αποτέφρωσης στον αέρα αφορούν βαρέα μέταλλα, διοξίνες, μονοξείδιο του άνθρακα (CO), σκόνη ή τέφρα, ολικό οργανικό άνθρακα (TOC), υδροχλώριο (HCl), υδροφθόριο (HF), διοξείδιο του θείου

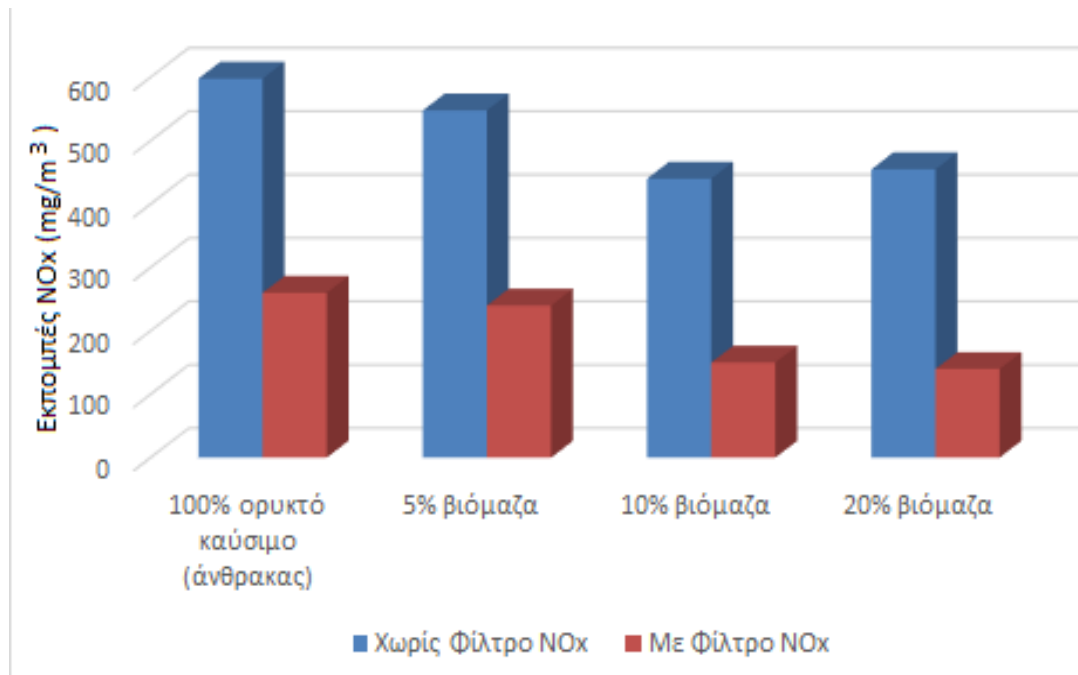
(SO₂) και τα οξείδια του αζώτου (NO και NO₂). Τα απόβλητα με υψηλή επικινδυνότητα πρέπει να αποθηκεύονται και να υποβάλλονται σε επεξεργασία υπό συνθήκες που γίνεται διασφάλιση της προστασίας της υγείας και του περιβάλλοντος. Ενώ σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να αναμιγνύονται με άλλα επικίνδυνα απόβλητα, τότε πρέπει να συσκευάζονται ή να επισημαίνονται σύμφωνα με τους διεθνείς ή κοινοτικούς κανονισμούς [43].

Η αύξηση του CO κατά τη διάρκεια της καύσης μπορεί να εξηγηθεί από τη μεγαλύτερη διάσταση των σωματιδίων RDF σε σύγκριση με τον κονιοποιημένο άνθρακα, γεγονός που οδηγεί σε ελαφρά μείωση της απόδοσης κατά την καύσης. Η χαμηλότερη περιεκτικότητα σε σκόνη κατά τη διάρκεια της καύσης μπορεί να σχετίζεται με τη συμπεριφορά μιας ηλεκτροστατικής διαδικασίας όπου παράγεται ίζημα. Στην πραγματικότητα κατά τη διάρκεια της συν-καύσης η περιεκτικότητα σε νερό των καυσαερίων αυξάνεται σημαντικά (από περίπου 7% έως περίπου 11% με 13%) λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε νερό και υδρογόνο του RDF σε σύγκριση με τον άνθρακα. Αυτό μειώνει την αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας, η οποία, με τη σειρά της, αυξάνει την απόδοση διαχωρισμού του ηλεκτροστατικού ιζηματοποιητή [51].

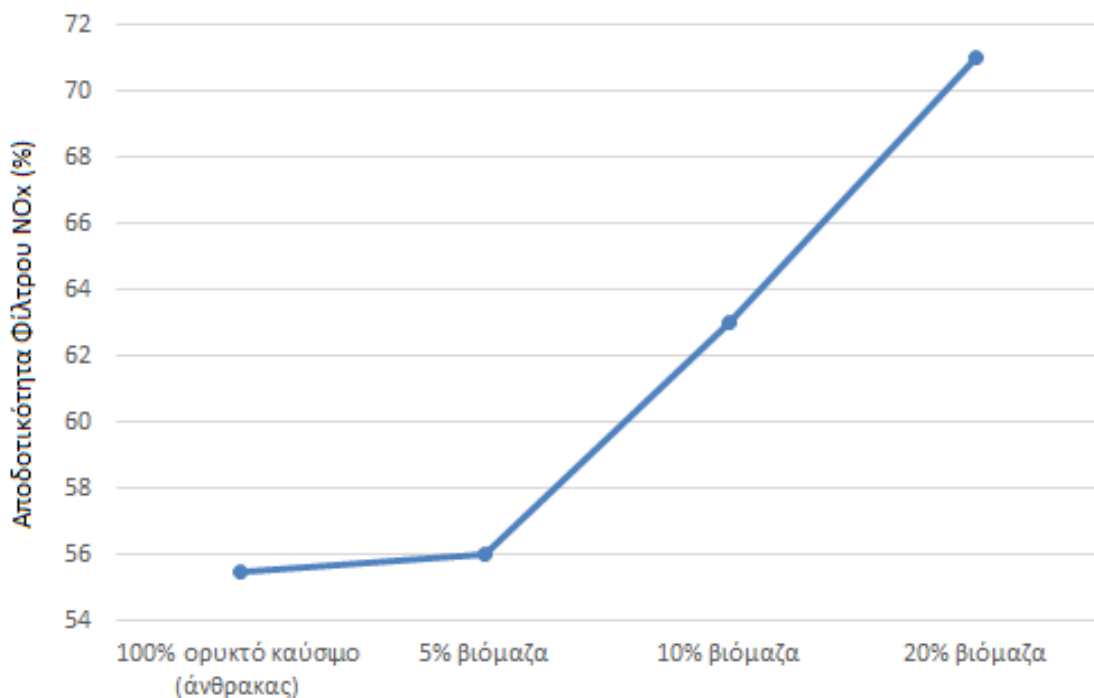
Έχουν υπάρξει αρκετές αναφορές για την Ελλάδα, με υποθέσεις για λειτουργία εγκαταστάσεων επεξεργασίας απορριμματογενούς καυσίμου με ανάκτηση ενέργειας. Γνωρίζοντας πως 1t SRF παρέχει στο δίκτυο 700 kWh, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι τουλάχιστον 238 GWh και 92,4 GWh, για μονάδες στην Αττική και την Κεντρική Μακεδονία αντίστοιχα. Και με βάση το γεγονός της μικρής απόστασης που θα έχουν αυτοί οι σταθμοί παραγωγής από τους καταναλωτές, το όφελος είναι ακόμη μεγαλύτερο λόγω των χαμηλότερων απωλειών του δικτύου. Επιπλέον ένας σημαντικός όγκος αποβλήτων θα επεξεργαστεί και θα βοηθήσει την διαχείριση στους χώρους υγειονομικής ταφής, το όφελος γενικά είναι αρκετά υψηλό τόσο στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος όσο και στο περιβάλλον. Αυτό βασίζεται και στο γεγονός πως οι μονάδες μπορούν να αποφεύγουν περίπου 0,603 kg εκπομπών CO₂/kg SRF, έτσι θα καταφέρουν να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον τομέα της παραγωγής ενέργειας σε βαθμό της τάξης του MtCO₂ και ακόμα θα μειωθεί η εξάρτηση από τα εισαγόμενα (φυσικό αέριο και πετρέλαιο) και μη ορυκτά καύσιμα υποστηρίζοντας τις προσπάθειες για οικονομική ανάπτυξη στην Ελλάδα [41].

Άλλο ένα σενάριο που μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των αέριων ρύπων είναι η ταυτόχρονη καύση με άνθρακα για παραγωγή ενέργειας. Υποστηρίζει πως σε μια υπάρχων μονάδα ενέργειας και αν το διαθέσιμο ποσοστό απορριμματογενούς καυσίμου βρίσκεται στο 10% κατά την καύση, οι αποφευχθείσες εκπομπές CO₂ είναι μεταξύ 94 - 100 Mt/y, ενώ οι αντίστοιχες ποσότητες ορυκτών καυσίμων που θα σωθούν βρίσκονται μεταξύ 27 - 29 Mt/y [45]. Θεωρείται ως μια η οικονομικότερη λύση από άλλες μεθόδους αξιοποίησης των απορριμματογενών καυσίμων. Η από κοινού χρήση βιομάζας με άνθρακα έχει αναγνωριστεί ευρέως ως ένας εφικτός και οικονομικός τρόπος για τη μείωση των εκπομπών CO₂. Η βιομάζα θεωρείται ως ουδέτερο καύσιμο, καθώς καταναλώνει την ίδια ποσότητα CO₂ από την ατμόσφαιρα κατά την ανάπτυξή της με αυτήν που απελευθερώνεται κατά την καύση της, καθώς επίσης και η περιεκτικότητα του θείου και του αζώτου στη βιομάζα είναι πολύ χαμηλότερη και οι εκπομπές από SO₂ και NO_x μπορούν επίσης να μειωθούν κατά μεγάλο ποσοστό. Από το πίνακα 3.19, διακρίνουμε πως στην αναλογία 20% βιομάζας σε σχέση με το 100% της καύσης άνθρακα, υπάρχει μείωση της τάξης του 24,5% στις εκπομπές NO_x χωρίς την βοήθεια του φίλτρου. Ενώ ενδιαφέρον είναι επίσης από το πίνακα 3.20 το γεγονός πως κατά την αύξηση της βιομάζας στη διαδικασία της καύσης η αποδοτικότητα, του φίλτρου που μειώνει τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου, αυξάνεται από 56% σε 71%.

Μετατροπή υφιστάμενου λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση απορριμματογενούς καυσίμου



Πίνακας 3.19 Εκπομπές NOx κατά την καύση βιόμαζας [52].



Πίνακας 3.20 Αποδοτικότητα φίλτρου NOx [52].

Σε γενικές γραμμές τα απορριμματογενή καύσιμα είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον από το ορυκτά καύσιμα. Τα βιοκαύσιμα που παράγονται από MSW (μη ανακυκλώσιμα) θα έχουν θετικό αντίκτυπο στην κλιματική αλλαγή. Και με την ολοκληρωμένη διαχείρισή τους, δηλαδή την μείωση τους από τα Χ.Υ.Τ.Α., την επεξεργασία τους για ανάκτηση ενέργειας και την ανακύκλωση μπορεί να μειώσει τις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 15 - 20% [37]. Τέλος, ο πίνακας 3.21 συγκεντρώνει έπειτα από αναλύσεις που έχουν γίνει σε μονάδες που χρησιμοποιούν τα αντίστοιχα καύσιμα τις αντίστοιχες εκπομπές αερίων ρύπων.

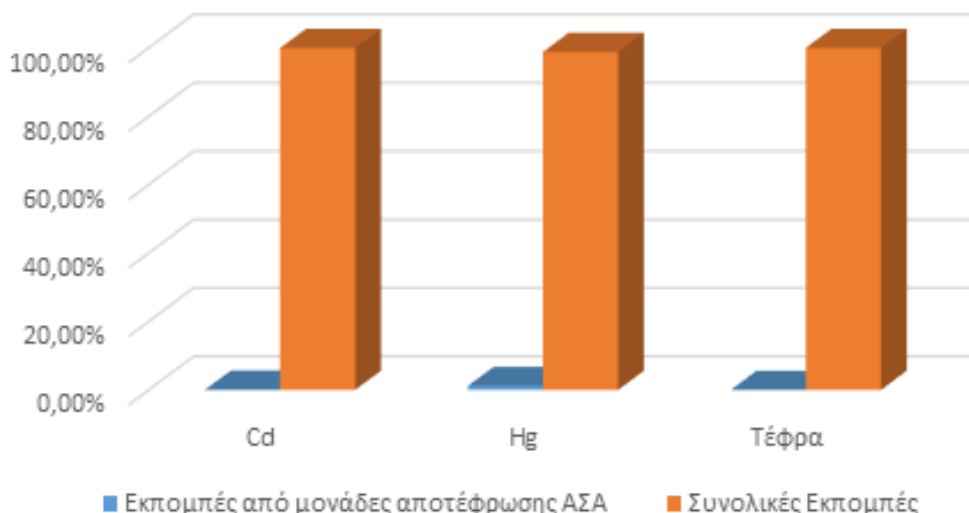
Καύσιμα	Αέριες εκπομπές (kg/MWh)		
	CO ₂	SO ₂	NO _x
MSW	379,66	0,36	2,45
Άνθρακας	1020,13	5,9	2,72
Πετρέλαιο	758,41	5,44	1,81
Φυσικό αέριο	514,83	0,04	0,77

Πίνακας 3.21 Αέριες εκπομπές από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [53].

3.5.2.2 Εκπομπές από βαρέα μέταλλα

Στις μονάδες αποτέφρωσης γνωρίζουμε πως ανάλογα με την ποιότητα των ΑΣΑ, παράγονται εκτός από τα προϊόντα, όπως ο ατμός, το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου και τα σωματίδια, και μια σειρά άλλων ενώσεων όπως το υδροχλώριο, το υδροφθόριο, οι διοξίνες, οι υδρογονάνθρακες, τα βαρέα μέταλλα κ.τ.λ. Έχουν θεσπιστεί για τον έλεγχο των εκπομπών αυστηρά όρια των οποίων απαιτείται η χρήση προηγμένων συστημάτων ελέγχου. Στο παρακάτω πίνακα 3.22 φαίνονται οι εκπομπές από βαρέα μέταλλα σε σύγκριση με τις παραγόμενες από αποτέφρωση MSW και με τις συνολικές μιας χώρας, συγκεκριμένα είναι η Αυστρία [39].

Παρατηρούμαι από το παρακάτω συγκριτικό πίνακα πως η επιβάρυνση που δέχεται η ατμόσφαιρα από την αποτέφρωση των ΑΣΑ είναι μηδαμίνη σε σχέση με τις άλλες πηγές ρύπανσης και έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια [39]. Ωστόσο, οι εκπομπές υδραργύρου ενδέχεται να είναι προβληματικές όταν το RDF συναποτεφρώνεται σε βιομηχανικές διεργασίες και πρέπει να αναπτυχθούν ειδικά μέτρα, όπως ειδικές άδειες και πρότυπα ποιότητας για το RDF. Η συναποτέφρωση σε τσιμεντοβιομηχανίες προκαλεί αύξηση των επιπτώσεων βαρέων μετάλλων όπως μόλυβδος, κάδμιο, χαλκός και ψευδάργυρος [34].



Πίνακας 3.22 Εκπομπές βαρέων μετάλλων και τέφρας [39].

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της τέφρας είναι αποτέλεσμα της έκλυσης των βαρέων μετάλλων που περιλαμβάνονται στην τέφρα, λόγω των βροχοπτώσεων. Αυτές οι επιπτώσεις αντιστοιχούν στην αύξηση της τοξικότητας στο νερό και το έδαφος και μπορούν να επηρεάσουν το οικοσύστημα και την ανθρώπινη υγεία αντίστοιχα. Ο χαλκός (Cu) και το αρσενικό (As) είναι τα κύρια στοιχεία της τέφρας που αντιστοιχούν στις προαναφερθείσες κατηγορίες αντίστοιχα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο δυνητικός αντίκτυπος της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι ο σημαντικότερος περιβαλλοντικός αντίκτυπος για τη διαδικασία καύσης του RDF, δεδομένου ότι το ποσοστό του RDF επηρεάζει τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την άποψη του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη [48].

3.5.2.3 Εκπομπές από Χ.Υ.Τ.Α.

Τα αστικά στερεά απόβλητα έχουν θεωρηθεί ως η τρίτη μεγαλύτερη πηγή ανθρωπογενών αερίων μεθανίου στο περιβάλλον, το οποίο είναι σχεδόν το 3–4% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και οι συνολικοί τομείς αποβλήτων ευθύνονται για περίπου 18% των παγκόσμιων εκπομπών μεθανίου. Το μεθάνιο έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ενέργεια και χρειάζεται έναν μηχανισμό για να το συλλάβει με σύνεση για να το χρησιμοποιήσει ως πηγή ενέργειας και για να προστατεύσει το περιβάλλον από υψηλές τιμές των GHG. Η ελαχιστοποίηση και η ανακύκλωση των αποβλήτων μπορούν να μειώσουν αποτελεσματικά τον κόσμο των εκπομπών GHG [37]. Η παραγωγή ενέργειας από απόβλητα αντί της υγειονομικής ταφής αποφεύγει τις επιπτώσεις του αερίου μεθανίου που ισούται με 25 φορές CO₂ σε μάζα και ταυτόχρονα οδηγεί στη μείωση ορυκτών καυσίμων, οδηγώντας σε λιγότερο οικονομική εξάρτηση. Η υγειονομική ταφή καταλαμβάνει όχι μόνο περισσότερη γη, αλλά επίσης προκαλεί ρύπανση του αέρα, του νερού και του εδάφους, απελευθερώνοντας διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και μεθάνιο (CH₄) στην ατμόσφαιρα και χημικά στη γη και τα υπόγεια ύδατα [33]. Συγκεκριμένα, αυτός ο τύπος αξιοποίησης δείχνει ότι τα απόβλητα υψηλής θερμιδικής αξίας κυριολεκτικά σπαταλούνται κατά την υγειονομική ταφή. Η εφαρμογή της

υγειονομικής ταφής για πιθανή ροή απορριμμάτων RDF θα πρέπει να εξεταστεί μόνο για απόβλητα υλικά για τα οποία η ανάκτηση ενέργειας ενδέχεται να προκαλέσει υψηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις [34].

Το μεθάνιο είναι η κύρια εκπομπή από χώρους υγειονομικής ταφής που προκαλείται από την υποβάθμιση της οργανικής ύλης. Η περιεκτικότητα σε οργανικά απόβλητα είναι σημαντική και υποβάθμιση των αποβλήτων μπορεί να λαμβάνει χώρα για μεγάλες περιόδους, που κυμαίνονται από μερικά χρόνια έως δεκαετίες για τις περισσότερες βιοαποικοδομήσιμες ενώσεις έως περισσότερο από έναν αιώνα για τα λιγότερο αποικοδομήσιμα υλικά. Το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη υπολογίζεται σχετικά με την περιεκτικότητα σε άνθρακα των υγρών αποβλήτων και τον τύπο των αποβλήτων. Αναφέρεται ότι τα οργανικά απορρίμματα έχουν υψηλό βαθμό αποικοδομησιμότητας, ενώ το χαρτί έχει χαμηλότερο βαθμό [48].

Ένας χώρος υγειονομικής ταφής στερεών αποβλήτων μπορεί να θεωρηθεί ως βιοχημικός αντιδραστήρας, με τα στερεά απόβλητα και το νερό ως τις κύριες εισόδους, και με το αέριο της υγειονομικής ταφής ως κύρια έξοδο. Όπως προαναφέρθηκε, το υλικό που αποθηκεύεται στον χώρο υγειονομικής ταφής περιλαμβάνει μερικώς βιοαποικοδομημένα οργανικά και άλλα ανόργανα απόβλητα. Εκεί χρησιμοποιούνται συστήματα ελέγχου αερίων για την αποτροπή της μεταφοράς επικίνδυνων αερίων στην ατμόσφαιρα, όπου το ανακτώμενο αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας [43].

Για να παραχθούν τα αέρια της υγειονομικής ταφής χρειάζεται να συμβούν κάποιες διαδικασίες, οι οποίες αποτελούνται από πέντε φάσεις. Η αρχική φάση I, όπου τα οργανικά βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα δέχονται βακτηριακή αποσύνθεση. Στη συνέχεια στη φάση II, η οποία είναι η φάση μετάβασης, εξαντλείται το οξυγόνο και αναπτύσσονται αναερόβιες συνθήκες. Η φάση III, φάση οξέος, είναι αρκετά σημαντική διότι έκει παράγεται το CO₂ και μικροποσότητες από αέριο υδρογόνο. Στη πρωτελευταία φάση IV, φάση ζύμωσης μεθανίου, μια δεύτερη ομάδα μικροοργανισμών μετατρέπει το οξικό οξύ και το αέριο υδρογόνο που σχηματίζονται στην όξινη φάση σε μεθάνιο (CH₄) και CO₂. Τέλος, η φάση V, φάση ωρίμανσης, όπου υπάρχει η ολοκλήρωση της παραγωγής των αερίων [43].

3.5.3 Κόστος παραγωγής ενέργειας από απόβλητα

Το κόστος παραγωγής ενέργειας από απόβλητα επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες, μερικοί από αυτούς είναι το κόστος της αποτέφρωσης, το κόστος από την παραγωγή του απορριμματογενούς καυσίμου και η θερμιδική του αξία. Το κόστος της αποτέφρωσης των Α.Σ.Α. με τη σειρά του, έχει τους δικούς του παράγοντες. Αποτελούνται από τη δυναμικότητα και το βαθμό απόδοσης της μονάδας, τη σύσταση και την αναγκαία επεξεργασία των παραγόμενων απορριμμάτων, τις γενικότερες οικονομικές παραμέτρους (κόστος γης, εργατικό κόστος, κόστος πρώτων υλών κ.α), το κόστος πώλησης της παραγόμενης ενέργειας, τη δυνατότητα ανάκτησης και πώλησης των υλικών και τέλος, από τους περιορισμούς και τους στόχους που θέτει η εκάστοτε ευρωπαϊκή νομοθεσία [39].

Όπως καταλαβαίνουμε ο όρος κόστος για την παραγωγή ενέργειας από απορρίμματα, είναι αρκετά πολύπλοκος με πολλούς παράγοντες να συμβάλλουν στην ανάλυσή του. Σύμφωνα λοιπόν με δεδομένα, το λειτουργικό κόστος της αποτέφρωσης Α.Σ.Α. με ανάκτηση ενέργειας, σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, κυμαίνεται μεταξύ 21 και 326 €/t, ενώ οι συνηθέστερες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 70 – 100 €/t. Αν και το 21€/t είναι αρκετά χαμηλή τιμή, η μεγάλη διακύμανση στην τιμή, οφείλεται κυρίως στον όγκο των απορριμμάτων που οδηγούνται προς αποτέφρωση και από τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της κάθε μονάδας.

Για παράδειγμα, στη Γερμανία το κόστος κυμαίνεται ανάμεσα στα 100-200 €/t, ενώ για την Ελλάδα και στην περίπτωση κατασκευής παρόμοιας μονάδας, η τιμή θα βρίσκεται κοντά στα 40 €/t [39]. Ακόμα, το μέσο κόστος αποτέφρωσης για τις Ε.Ε.-28 ανέρχεται περίπου στα 88 €/t [49]. Τα κόστη προκύπτουν κατά τη λειτουργία μιας μονάδας αποτέφρωσης, και μπορούν να διακριθούν σε κατηγορίες, όπως το κόστος συντήρησης, το λειτουργικό κόστος, το κόστος διαχείρισης αποβλήτων και οι διάφορες άλλες ετήσιες δαπάνες τις μονάδας [47].

Τα κόστη για την διαχείριση των αποβλήτων από τις συγκεκριμένες μονάδες, αναφέρονται κυρίως στα απόβλητα που παράγονται κατά τη λειτουργία του. Η τέφρα για παράδειγμα, που διαχωρίζεται σε δύο τύπους (ιπτάμενη και πυθμένα), έχει διαφορετική αντιμετώπιση, δηλαδή η ιπτάμενη τέφρα μπορεί μερικές φορές να θεωρηθεί ως ειδική ροή απορριμμάτων και επομένως η τιμή για το χειρισμό της είναι υψηλότερη από την τέφρα πυθμένα (βλ. Πίνακας 3.23) [47].

Παράμετροι	Τιμές
Ποσοστό τέφρας που καταλήγει σε ιπτάμενη τέφρα	8%
Κόστος χειρισμού ιπτάμενης τέφρας	300€/tn
Κόστος χειρισμού τέφρας πυθμένα	15€/tn
Χρόνος Απόσβεσης	10 έτη
Άλλες ετήσιες δαπάνες	40.000 €

Πίνακας 3.23 Ενδεικτικές τιμές από κόστη κατά τη λειτουργία της αποτέφρωσης [47].

Στις αναπτυσσόμενες χώρες, η ανάκτηση ενέργειας από την αποτέφρωση των επεξεργασμένων απορριμμάτων είναι η πιο αξιόπιστη και οικονομική λύση. Βέβαια, έχει δυνατότητες να βελτιστοποιήσει το λειτουργικό του κόστος, όπως τη θερμογόνο δύναμη των εισερχομένων αποβλήτων, τις χαμηλές τιμές ενέργειας και την γενικότερη εμπειρία πάνω στη μονάδα [37]. Δεδομένου πως η κύρια μέθοδος στις ευρωπαϊκές χώρες παραμένει η ταφή των απορριμμάτων, όπου το κόστος της κυμαίνεται από 9 έως 164 €/t και συγκεκριμένα για την Ε.Ε.-28 βρίσκεται στα 73,5 €/t, με την κομποστοποίηση, να είναι από 16 έως 189 €/t, με συνήθεις τιμές περίπου τα 50 €/t. Ενώ στην Ελλάδα το συνολικό κόστος της υγειονομικής ταφής εκτιμάται ότι κυμαίνεται μεταξύ 40 – 50 €/t [39].

Το παραγόμενα απορριμματογενή καύσιμα, τύπου SRF/RDF παρέχουν το χαμηλότερο κόστος παραγωγής μεταξύ των Α.Π.Ε. και μειώνουν το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα σε ένα σύστημα μιας χώρας που παράγει το χρόνο 6,4 εκ. τόνους SRF από MSW, θα έχει εξοικονομήσει περίπου 260 εκ. € το έτος στους λογαριασμούς ενέργειας και ταυτόχρονα θα είχε συμβάλει στη μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 7,9 εκ. τόνους το χρόνο [54].

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Μετατροπή λιγνιτικής μονάδας σε μονάδα καύσης απορριμματογενούς καυσίμου

4.1 Περιγραφή τεχνολογίας λιγνιτικής μονάδας

Οι ανάγκες του ανθρώπου για κατανάλωση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, δημιούργησαν τις κατάλληλες μονάδες από τις οποίες λαμβάνουμε το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας. Οι εγκαταστάσεις βασίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το καύσιμο που χρησιμοποιούν, έτσι διαχωρίζονται στα εργοστάσια λιγνίτη, πετρελαίου ή φυσικού αερίου, κύριως δηλαδή από ορυκτά καύσιμα, στα πυρηνικά, και στα υδροηλεκτρικά. Οι εγκαταστάσεις με καύση ορυκτών καυσίμων λειτουργούν με την εξής τεχνική, αρχικά παράγουν θερμότητα, έτσι ώστε να ατμοποιήσουν το νερό, στη συνέχεια ο παραγόμενος ατμός περιστρέφει το στρόβιλο και αυτός με τη σειρά του τη γεννήτρια. Είδαμε και στα προηγούμενα κεφάλαια πως κατά την λειτουργία των συγκεκριμένων μονάδων παράγονται ρυπογόνα αέρια επιβλαβή για το περιβάλλον, βλέπε διοξείδιο του άνθρακα.

Ο λιγνίτης χρησιμοποιείται στις περισσότερες θερμοηλεκτρικές μονάδες ως καύσιμο επειδή είναι «άφθονος» και οικονομικός στην εξόρυξή του. Σε μια θερμοηλεκτρική εγκατάσταση όπου χρησιμοποιείτε η θερμότητα για την παραγωγή ενέργειας, οι χημικές ενώσεις όπως το πετρέλαιο, το κάρβουνο ή ο λιγνίτης καίγονται, αντιδρούν με το οξυγόνο και έτσι απελευθερώνεται η παραγόμενη θερμότητα. Το μεγαλύτερο μέρος της αξιοποιείται στη θέρμανση του νερού, το οποίο κυκλοφορεί γύρω από το δοχείο της καύσης. Εκεί μετατρέπεται στη μορφή του ατμού υπό πίεση και όταν απελευθερώνεται στους σωλήνες, οι τουρμπίνες αποκτούν κινητική ενέργεια. Έτσι με τη σειρά τους ενεργοποιούνται οι ηλεκτρογεννήτριες που παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια. Ο εξαντλημένος ατμός συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή μέσω κυκλοφορίας κρύου νερού. Εδώ, ο ατμός χάνει την πίεση και την θερμοκρασία και μετατρέπεται ξανά στο νερό. Η συμπύκνωση είναι απαραίτητη καθώς αυξάνει την αποτελεσματικότητα του. Με την συμπίεση ενός υγρού που είναι σε αέρια κατάσταση απαιτεί τεράστια ποσότητα ενέργειας σε σχέση με την ενέργεια που απαιτείται για τη συμπίεση του υγρού. Η θερμοκρασία του νερού παραμένει σε υψηλά επίπεδα αφού χρησιμοποιηθεί στη λειτουργία για τις τουρμπίνες, όμως δεν είναι αρκετή για περαιτέρω αξιοποίηση σε νέα τουρμπίνα. Σε αρκετές χώρες χρησιμοποιείται μέσω της τηλεθέρμανσης στις κοινότητες της περιοχής με τη μορφή κεντρικής θέρμανσης και παροχής ζεστού νερού. Αν δεν υπάρχει αυτή η επιλογή, ένα μεγάλο ποσοστό του νερού καταλήγει στα ποτάμια ενώ το υπόλοιπο εξατμίζεται. Γενικά σε ένα θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο μόνο ένα ποσοστό 30 - 50% της αρχικής χημικής ενέργειας θα μετατραπεί σε ηλεκτρική με το εναπομείναν 50 - 70% θα μετατραπεί σε θερμική ενέργεια και θα διαφύγει στον αέρα [55].

Ο λέβητας, ένα από τα σημαντικότερα συστήματα της μονάδας, απαιτεί μεγάλα ποσά θερμότητας για την παραγωγή ατμού. Τα καύσιμα, όταν χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ατμού, καίγονται είτε στον κλίβανο είτε στο θάλαμο καύσης του λέβητα. Η καύση μπορεί να οριστεί ως ο γρήγορος χημικός συνδυασμός του οξυγόνου με το καύσιμο, όπου ο αέρας αποτελεί την συνήθως πηγή οξυγόνου για τους κλιβάνους λέβητα. Αυτές οι αντιδράσεις της καύσης χαρακτηρίζονται ως εξώθερμες και η θερμότητα που απελευθερώνεται είναι περίπου 32.800 kJ/kg καμένου άνθρακα και 142.700 kJ/kg καμένο υδρογόνο. Ο στόχος της καλής καύσης είναι να απελευθερώσει όλη αυτή τη θερμότητα, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τις απώλειες από ημιτελής καύση και περιττές ροές αέρα. Η σωστή καύση απαιτεί θερμοκρασία αρκετά υψηλή για να αναφλέξει τα συστατικά, καλή ανάμιξη ή αναταραχή και αρκετό χρόνο. Η τέφρα, τα μονοξείδια του άνθρακα (CO) και οι πτητικές ενώσεις (VOC) αποτελούν τις απώλειες ενέργειας του καυσίμου κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της καύσης.

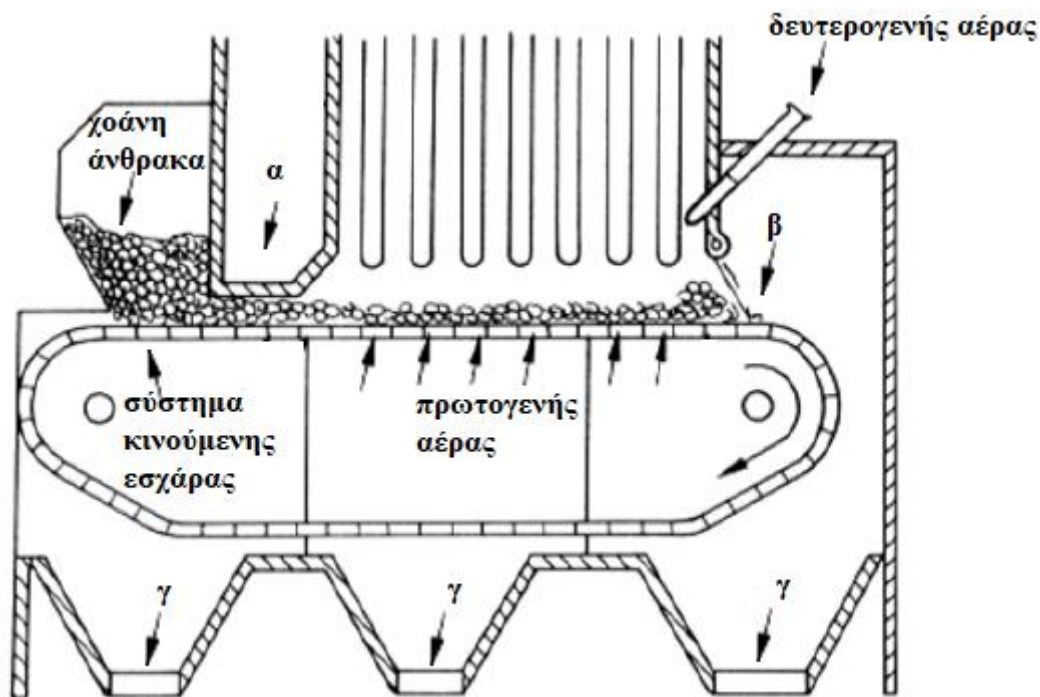
Οι λέβητες των μονάδων που παράγουν ενέργεια από ορυκτά καύσιμα και συγκεκριμένα από λιγνίτη και άλλου είδους άνθρακα, αποτελούνται από δύο κατηγορίες, τους λέβητες ξηρού πυθμένα (DBB, dry bottom boiler) και τους λέβητες υγρού πυθμένα (WBB, wet bottom boiler). Η πρώτη περίπτωση είναι ο τύπος λέβητα που λειτουργεί σε θερμοκρασίες πολύ κάτω από το σημείο τήξης της τέφρας. Για την αποφυγή συγκέντρωσης σκωρίας, η θερμοκρασία της τέφρας είναι αρκετά χαμηλή για να μην κολλήσει στους τοίχους και αυτή που συλλέγεται στο κάτω μέρος να παραμείνει στερεή. Στο κέντρο της φλόγας, οι θερμοκρασίες είναι συχνά υψηλότερες από το σημείο τήξης, τα σωματίδια τέφρας και η θερμοκρασία στις εξόδους του κλιβάνου είναι πολύ χαμηλότερες σε σύγκριση με τη θερμοκρασία της φλόγας, εξασφαλίζοντας μια στερεά, μη κολλώδη κατάσταση των σωματιδίων. Από 0% έως 20% η τέφρα μεταφέρεται στον ξηρό πυθμένα του λέβητα και εξάγεται ως τέφρα πυθμένα, ενώ το υπόλοιπο 80 - 100% της τέφρας μεταφέρεται με τα καυσαέρια και στη συνέχεια αφαιρείται ως ιπτάμενη τέφρα. Η δεύτερη περίπτωση λέβητα λειτουργεί σε θερμοκρασίες πάνω από το σημείο τήξης της τέφρας για να εξασφαλιστεί μια υγρή τέφρα με επαρκή ρευστότητα να ρέει κάτω από τα προστατευμένα τοιχώματα. Αυτοί οι κλιβανοί χρειάζονται ειδική κεραμική επένδυση για να αντέχουν τη λιωμένη τέφρα. Μεταφέρεται μεγάλη ποσότητα τέφρας στους τοίχους και ρέει σε υγρή μορφή κάτω από αυτούς και μέσω των κάτω εξόδων [55].

Οι κύριες τεχνικές τροφοδότησης καυσίμου στο λέβητα είναι δύο, αποτελείται από το σύστημα ρευστοποιημένης κλίνης και το σύστημα κινούμενων εσχάρων. Η καύση ρευστοποιημένης κλίνης λαμβάνει χώρα με την έγχυση καυσίμου σε μια θερμή κλίνη αδρανούς υλικού και τέφρας, όπου έχει επίσης εγχυθεί πρωτογενής αέρας καύσης από τον πυθμένα του λέβητα για ρευστοποίηση του χώρου. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών καύσης, περίπου 850 °C, και του μεγάλου χρόνου παραμονής, η εξάντληση του καυσίμου είναι πολύ υψηλή και, επομένως, οι εκπομπές των προϊόντων της καύσης είναι σχετικά χαμηλές. Για αυτόν τον τύπο λέβητα (FBC, Fluidised bed combustion), το στερεό καύσιμο πρέπει γενικά να αλέθεται χονδροειδώς, ως λεπτά σωματίδια (κονιοποίηση). Η καύση ρευστοποιημένης κλίνης χρησιμοποιείται για εφαρμογές στη βιομηχανία και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπου υπάρχουν διαφορετικά καύσιμα όπως ο άνθρακας, ο λιγνίτης, η τύρφη αλλά και η βιόμαζα. Η θερμοκρασία μιας ρευστοποιημένης κλίνης είναι συνήθως 750 - 950 °C, το κατώτερο όριο προέρχεται από την αντίδραση της καύσης των καυσίμων και το ανώτερο όριο από το σημείο εκκίνησης σύντηξης της τέφρας. Το καύσιμο δεν χρειάζεται να κονιοποιηθεί ή να στεγνώσει, μπορούν να αντέξουν υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία λόγω της σταθεροποιητικής επίδρασης της κλίνης [55].

Όσον αφορά το σύστημα εσχάρων, είναι η παλαιότερη αρχή ανάφλεξης καυσίμου που χρησιμοποιείται στους λέβητες. Σήμερα τα συστήματα με σχάρα είναι εξαιρετικά βελτιωμένα, με τις κινούμενες σχάρες να είναι ευρέως χρησιμοποιημένες. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του καυσίμου, οι κινούμενες σχάρες είναι διατεταγμένες σε οριζόντια θέση ή σε κεκλιμένη θέση (π.χ. συστήματα σχάρας τύπου ώθησης ή δονούμενες σχάρες). Καθώς κινούνται τα συστήματα σχάρας καίνε στερεά καύσιμα με τη βοήθεια του αέρα που διέρχεται από το δάπεδο του συστήματος. Κανονικά απαιτείται μια περιορισμένη προετοιμασία για το καύσιμο, όπου τυχόν μεγάλα κομμάτια στερεού καυσίμου μειώνονται σε μέγεθος προκειμένου να παρέχεται μια περισσότερο ομοιογενής κατανομή μεγέθους σωματιδίων για καύση στη σχάρα. Το μέγιστο μέγεθος των σωματιδίων του καυσίμου καθορίζεται συχνά από τα συστήματα τροφοδοσίας για το θάλαμο καύσης και ανάλογα με τις τεχνικές συνθήκες της σχάρας. Σε μια σχάρα μαζικής καύσης, το καύσιμο αρχικά ξηραίνεται και μετά πυρολύεται καθώς κινείται κατά μήκος της σχάρας, τέλος η τέφρα καίγεται και αποβάλλεται στο τελείωμα της σχάρας.

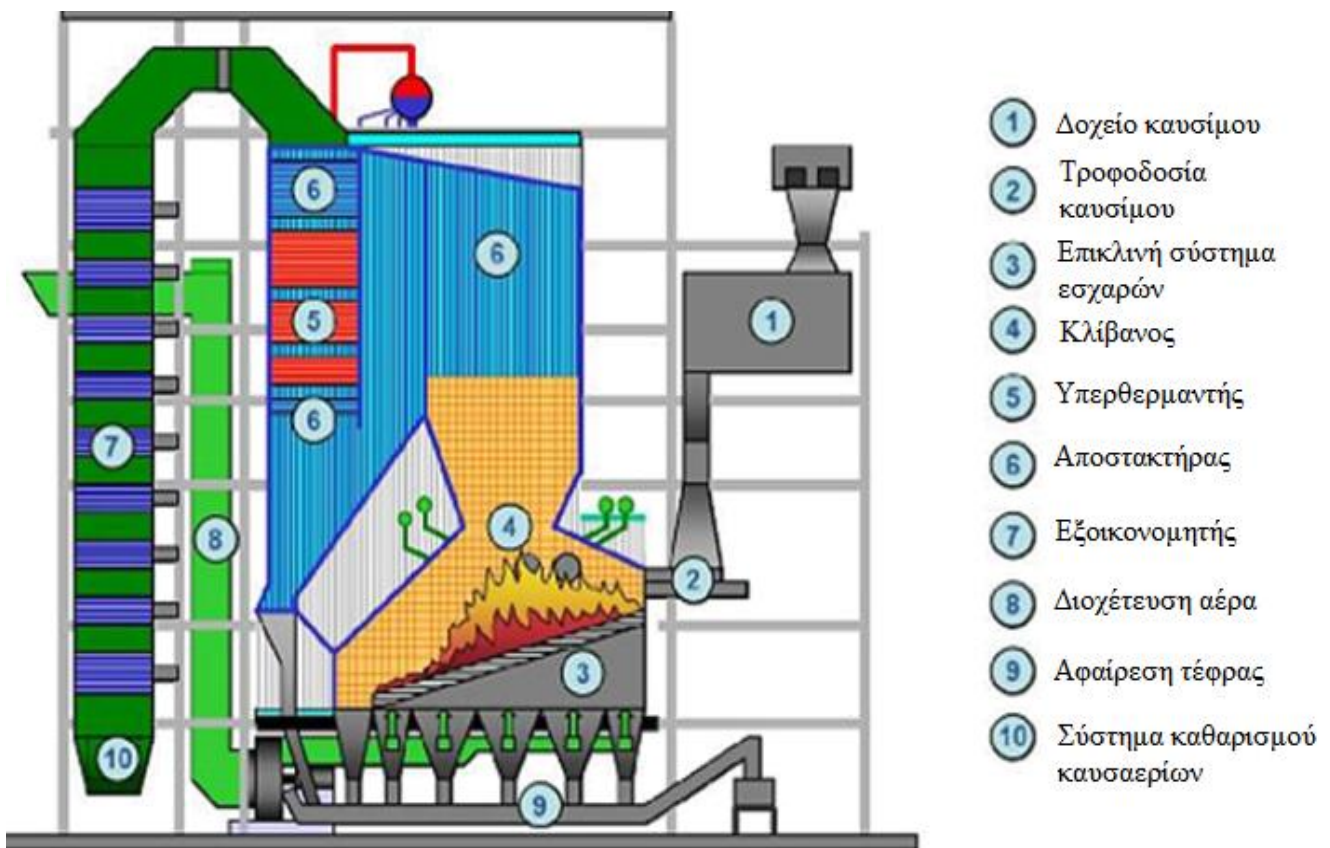
Η διαδικασία κατά την καύση στις εσχάρες δεν ελέγχεται τόσο καλά όσο γίνεται με τις άλλες τεχνικές. Η χημεία της καύσης και η θερμοκρασία μπορεί να διαφέρουν ακόμη και για το ίδιο είδος σωματιδίων καυσίμου, ανάλογα με τη θέση τους στη σχάρα. Ο σύγχρονος έλεγχος κατά την καύση στη σχάρα επιτρέπει την ιδανική παροχή αέρα και, συνεπώς, παρέχει χαμηλή περιεκτικότητα άκαυστων ενώσεων στα καυσαέρια. Η πρακτική δείχνει ότι το καύσιμο μπορεί να τροφοδοτηθεί ως μικτή διαβάθμιση, συνήθως από 30 mm προς τα κάτω,

συμπεριλαμβανομένων των πολύ λεπτών σωματιδίων. Τα συστήματα εσχάρων λειτουργούν με σταθερή δεξαμενή καυσίμου για τροφοδότηση του θαλάμου καύσης, βέβαια το καύσιμο μπορεί να παραμείνει στη σχάρα όταν δεν υπάρχει μεγάλη ανάγκη και μπορεί να αναζωπυρωθεί γρήγορα σε περίπτωση ξαφνικής ζήτησης ατμού. Εάν προκύψουν προβλήματα με την προμήθεια του αέρα, είναι απαραίτητη μια λειτουργία παράκαμψης. Η εσχάρα είναι μια τεχνολογία που εφαρμόζεται για καύση άνθρακα και βιόμαζας για είσοδο θερμότητας έως 150 MW, που χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές και τοπικές εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης [55].



Εικόνα 4.1 Σύστημα κινούμενης εσχάρας για καύση άνθρακα [55]. © Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants, Thierry Lecomte, 2017

Στην παραπάνω εικόνα 4.1, απεικονίζεται ο τρόπος λειτουργίας ενός συστήματος εσχάρων για καύση άνθρακα. Όπως παρατηρούμε, βλέπουμε πως αν δεν επαρκεί ο αρχικός αέρας, συνήθως το οξυγόνο, τότε υπάρχει λειτουργία διοχέτευσης επιπρόσθετου αέρα. Στο σημείο (α), υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της εισροής του καυσίμου στη σχάρα, ενώ αντίστοιχα στο σημείο (β) λειτουργεί κατάλληλο σύστημα που συσσωρεύει επάνω στην σχάρα το καύσιμο όποτε κρίνεται η ανάγκη αύξησης του ατμού. Τελος στα σημεία (γ) αποθηκεύεται η τέφρα έπειτα από την πλήρη καύση που έχει δεχτεί το καύσιμο.



Εικόνα 4.2 Σύστημα επικλινής εσχάρας τροφοδότησης του κλίβανου [55]. © Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants, Thierry Lecomte, 2017

Στην εικόνα 4.2, γίνεται αναφορά σε μερικά συστήματα όπως ο υπερθερμαντής, ο αποστακτήρας ή εξατμιστής, ο εξοικονομητής κ.α. τα οποία αφορούν κυρίως τη λειτουργία του κλίβανου και της γεννήτριας ατμού. Συγκεκριμένα η λειτουργία του υπερθερμαντή είναι να χρησιμοποιεί την υψηλότερη θερμοκρασία των καυσαερίων από το λέβητα για να παράγει ατμό σε πολύ υψηλότερη θερμοκρασία, δημιουργεί δηλαδή μια υπερθέρμανση στον ατμό, συνήθως το στάδιο της υπερθέρμανσης αποτελείται από διάφορους εναλλάκτες θερμότητας. Ο υπερθερμαινόμενος ατμός είναι εξαρτώμενος από την πίεση της θερμοκρασίας συμπίκνωσης. Τέτοιες θερμοκρασίες είναι απαραίτητες για τη διευκόλυνση της πτώσης υψηλής πίεσης στον αμοστρόβιλο και έτσι αποφεύγεται η συμπίκνωση κατά τη διαστολή του ατμού. Μέρος αυτού του διογκωμένου ατμού εκκενώνεται και ετσι παρέχεται μεταφορά θερμότητας στο νερό. Στη συνέχεια το νερό εξατμίζεται κορεσμένο στον εξατμιστή του λέβητα, ενώ η λειτουργία του εξοικονομητή είναι να θερμαίνει το νερό σε θερμοκρασία 10°C παρακάτω από το σημείο κορεσμού. Θεωρείται ως ο πρώτος εναλλάκτης θερμότητας του λέβητα [55].

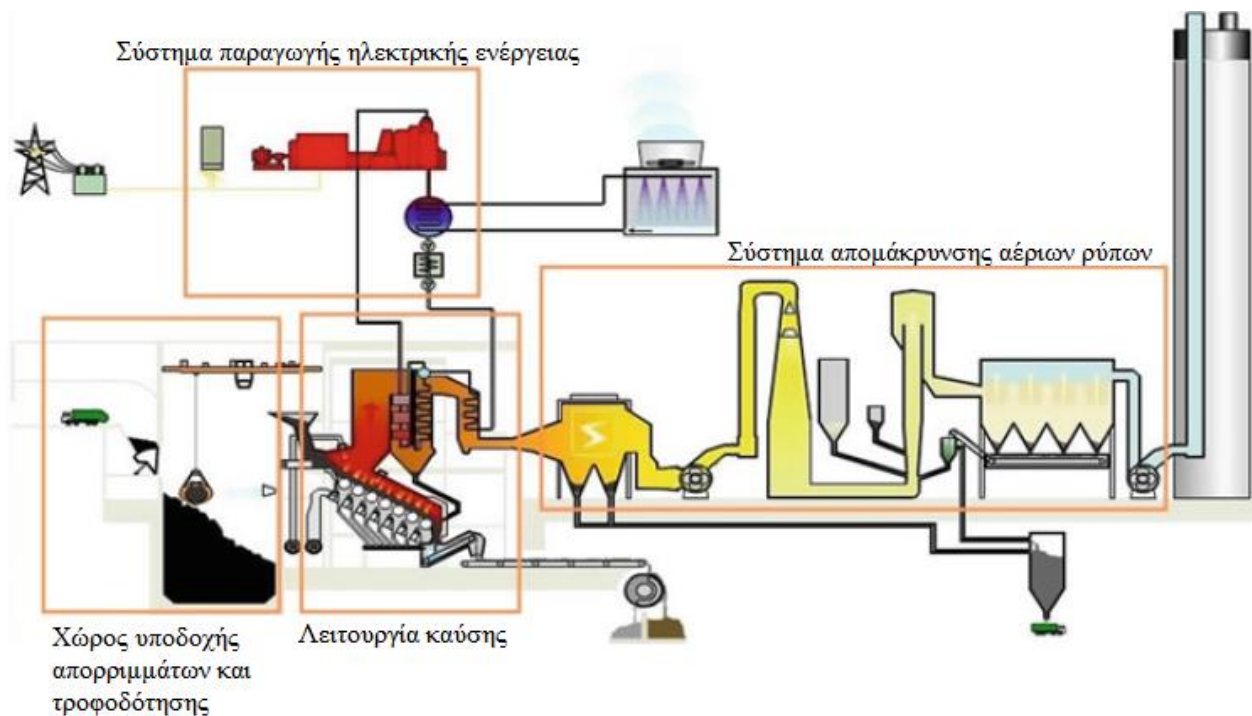
Όσον αφορά τα συστήματα καθαρισμού των αέριων ρύπων λειτουργούν διάφορες τεχνικές στις μονάδες. Αρχικά, έχουν εφαρμοστεί ειδικά φίλτρα κατά των εκπομπών των οξειδίων του θείου και του αζώτου. Οι τεχνικές απομάκρυνσης των οξειδίων έχουν ως στόχο την μετατροπή των αέριων ρύπων όταν βρίσκονται εντός του λέβητα και πριν την απελευθέρωσή τους. Ο ενεργός άνθρακας, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως

παράγοντας καθαρισμού και επεξεργασίας λυμάτων από τον 19ο αιώνα. Ενώ επίσης είναι γνωστό ότι ο ενεργός άνθρακας προσροφά διοξείδιο του θείου, οξυγόνο και νερό για την παραγωγή θεικού οξέος και η ταυτόχρονη αφαίρεση SO₂ και NO_x καθίσταται δυνατή με την προσθήκη αμμωνίας. Έτσι λειτουργούν ως καταλύτες στην απομάκρυνση των αέριων εκπομπών. Έχει γίνει αποδεκτό ότι η σωστή διαχείριση των καταλοίπων της καύσης του άνθρακα μπορεί να αποφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη με μειωμένες εκπομπές SO₂, NO_x, σωματιδίων και CO₂.

4.2 Περιγραφή τεχνολογίας καύσης απορριμματογενούς καυσίμου

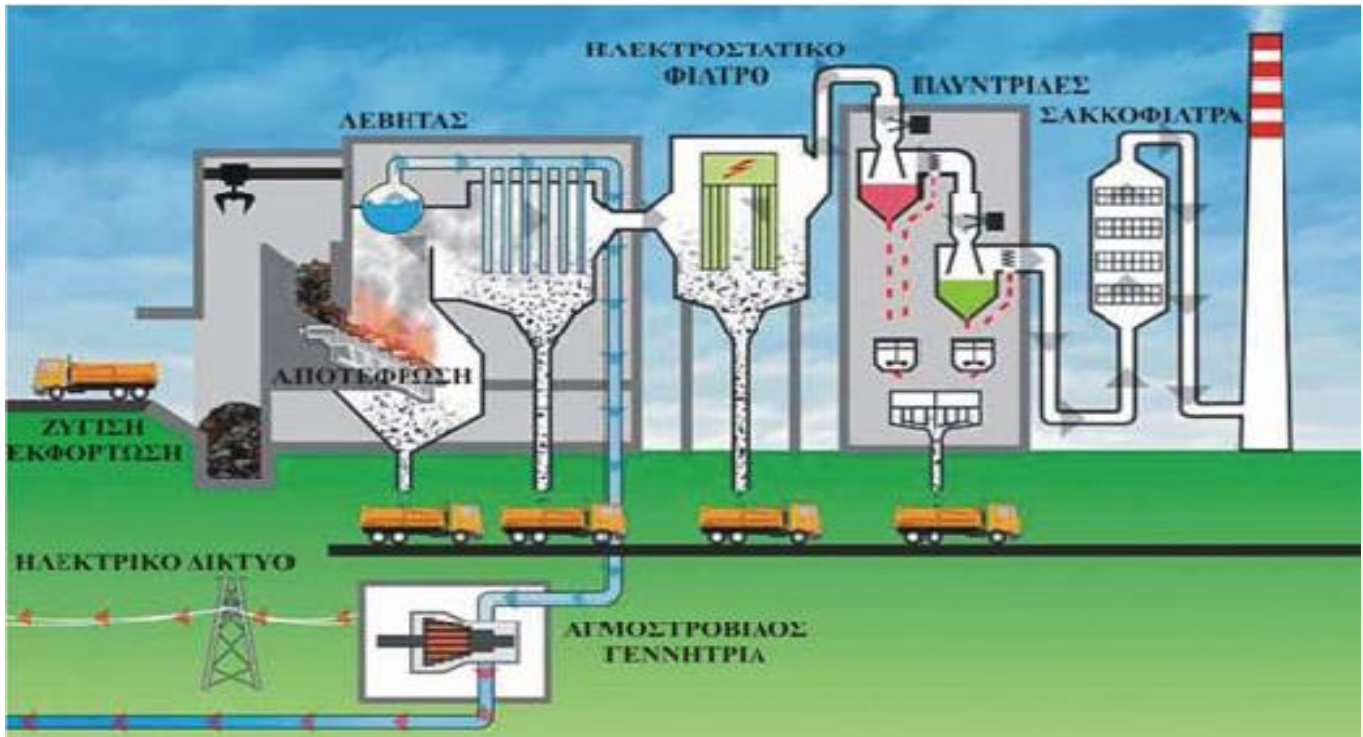
Η παρούσα υποενότητα του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι αφιερωμένη στην ανάλυση και περιγραφή της τεχνολογίας των μονάδων αποτέφρωσης με χρήση καυσίμων από απορρίμματα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ένα εργοστάσιο WTE δεν πρέπει να θεωρείται ως μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων ή αποτέφρωσης, αλλά ακριβέστερα ως σταθμός παραγωγής ενέργειας ή ακόμη και σταθμός που συνδυάζει θερμότητα και ενέργεια (CHP). Ένα θερμικό εργοστάσιο WTE, ειδικότερα, «επεξεργάζεται» τα απόβλητα με τον ίδιο τρόπο που ένας σταθμός παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα «επεξεργάζεται» τον άνθρακα. Οποιοδήποτε άλλο όφελος, όπως η ογκομετρική μείωση δεν αποτελεί πρωταρχικό σκοπό μιας τέτοιας μονάδας [56]. Η κυριότερη τεχνολογία καύσης απορριμματογενούς καυσίμου και η πιο διαδεδομένη είναι η αποτέφρωση, πάνω στην οποία έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μέθοδοι και τεχνικές. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, μονάδες που χρειάζονται ελάχιστη προεπεξεργασία των απορριμμάτων (mass-fired) και μονάδες όπου εκμεταλεύονται απορριμματογενή καύσιμα (RDF/SRF) χρησιμοποιούν τεχνικές όπως η αποτέφρωση των κινούμενων εσχαρών, του περιστρεφόμενου κλιβάνου και της ρευστοποιημένης κλίνης [39]. Οι μονάδες WTE απαιτούν για τη λειτουργία τους MSW, δηλαδή αστικά απορρίμματα, τις περισσότερες φορές επεξεργασμένα απόβλητα τύπου RDF ή SRF. Η θερμότητα που παράγεται από τους θαλάμους καύσης θερμαίνει νερό σε χαλύβδινους σωλήνες, οι οποίοι σχηματίζουν τα τοιχώματα του θαλάμου. Το νερό μετατρέπεται σε ατμό και αποστέλλεται μέσω στροβίλου που παράγει συνεχώς ηλεκτρισμό. Τα εργοστάσια WTE με αυτό το τρόπο λειτουργούν κάθε μέρα και όλες τις ώρες χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες [53]. Στις παρακάτω εικόνες (βλ. Εικόνα. 4.3 - 4.4), απεικονίζεται το ολόγραμμα μιας τυπικής μονάδας αποτέφρωσης απορριμμάτων καύσης εσχαρών όπου ταυτόχρονα γίνεται παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο συγκεκριμένος τύπος της εγκατάστασης αποτελεί τον πιο σύνηθες στην Ε.Ε. από την πλειονότητα των υφιστάμενων μονάδων. Παρόλο που αυτή η τεχνολογία είναι πολύ καλά εδραιωμένη και έχει αποδειχθεί επωφελής για τη διαχείριση των MSW, λίγες μόνο χώρες της Ε.Ε. προτιμούν αυτή τη μέθοδο, ενώ παρέχει σημαντικές ποσότητες ενέργειας καλύπτοντας τις ανάγκες των τοπικών κοινοτήτων σε ικανοποιητικό βαθμό [33]. Η παρούσα εγκατάσταση αλλά και γενικότερες περιπτώσεις αποτελούνται από τα ακόλουθα επιμέρους συστήματα, με την αρχή να βρίσκεται στην πύλη όπου υπάρχει το ζυγιστήριο, εκεί γίνεται έλεγχος και καταγραφή των εισερχομένων φορτίων. Είναι ουσιαστικά ο χώρος υποδοχής, ο οποίος συχνά είναι πηγή τοπικών ενοχλήσεων όπως ο θόρυβος και η έντονη οσμή των αποβλήτων, και προσωρινής αποθήκευσης των αστικών στερεών αποβλήτων για να πραγματοποιηθεί η ομαλοποίηση της τροφοδοσίας. Με την βοήθεια κατάλληλου συστήματος τροφοδοσίας, όπως ειδική ταινία ή γερανός, το οποίο είναι προσαρμοσμένο στο ρυθμό λειτουργίας της εγκατάστασης, εκφορτώνονται τα απορρίμματα στην εστία αποτέφρωσης, όπου εκεί χρησιμοποιείται συνήθως σύστημα κινούμενων εσχαρών (βλ. Εικόνα 4.5). Οι γερανοί μπορούν να εκφορτώσουν στις εσχάρες μέχρι και εκατό τόνους απορριμμάτων ανά ώρα. Η κινούμενη εσχάρα κρατά τα απόβλητα σε τροχιά έτσι ώστε να κινούνται εντός του κλιβάνου

καθόλη την διάρκεια της καύσης. Η σχάρα είναι αρκετά μέτρα μήκος και ο μέσος χρόνος διαμονής των Α.Σ.Α στη σχάρα είναι περίπου 1 ώρα [53]. Στη συνέχεια μέσω ενός ειδικού καυστήρα γίνεται η αρχική ανάφλεξη με την συμμετοχή βοηθητικού καυσίμου και εξασφαλίζεται έτσι η ελάχιστη απαιτούμενη θερμοκρασία των αερίων που κατευθύνονται στο λέβητα, όπου και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ατμού. Κατά τη διάρκεια της καύσης, η χημική ενέργεια που δεσμεύεται στο καύσιμο απελευθερώνεται και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια σε μορφή καυτών καυσαερίων καθώς και σε ακτινοβολία. Αμέσως μετά εισέρχονται στον θάλαμο καύσης που έχει εμπλουτιστεί με νερό και ατμό, τα οποία ρέουν στα τοιχώματα του θαλάμου από εναλλάκτες θερμότητας, ως μέσα μεταφοράς θερμότητας, ο ατμός που παράγεται διογκώνεται σε ατμοστρόβιλο και παράγεται ενέργεια. Ταυτόχρονα, λειτουργεί το σύστημα απομάκρυνσης των υπολειμμάτων, παράγονται κατά την διαδικασία της αποτέφρωσης και δημιουργούνται κυρίως επάνω στην εσχάρα, όπου μέσω ειδικού συστήματος απάγονται και μεταφέρονται για ψύξη και εκεί συγκεντρώνονται στις χοάνες κάτω από το λέβητα. Τα υπολείμματα που σχηματίζονται είναι κυρίως ιπτάμενη τέφρα και τέφρα πυθμένα (βλ. Εικόνα 4.6) από τα οποία μπορούν και ανακτώνται τα απορρίμματα μετάλλων μέσω του μηχανικού διαχωρισμού, ενώ η υπόλοιπη τέφρα καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής. Τέλος υπάρχει εγκατεστημένο εξειδικευμένο σύστημα ελέγχου των εκπομπών (APC, air pollution control) κατά τη διαδικασία της αποτέφρωσης, συγκεκριμένα κατά την παραγωγή του ατμού, τα αέρια που παράγονται διοχετεύονται για επεξεργασία στο τμήμα καθαρισμού όπου ενεργοποιούνται φίλτρα από άνθρακα για να απομακρυνθούν θειικά, αζωτούχα και οξέα αέρια, διοξίνες και μικροσωματίδια (PM). Η ζώνη του καθαρισμού των αερίων καταλαμβάνει περισσότερο από το ένα τρίτο της συνολικής εγκατάστασης [39, 57].

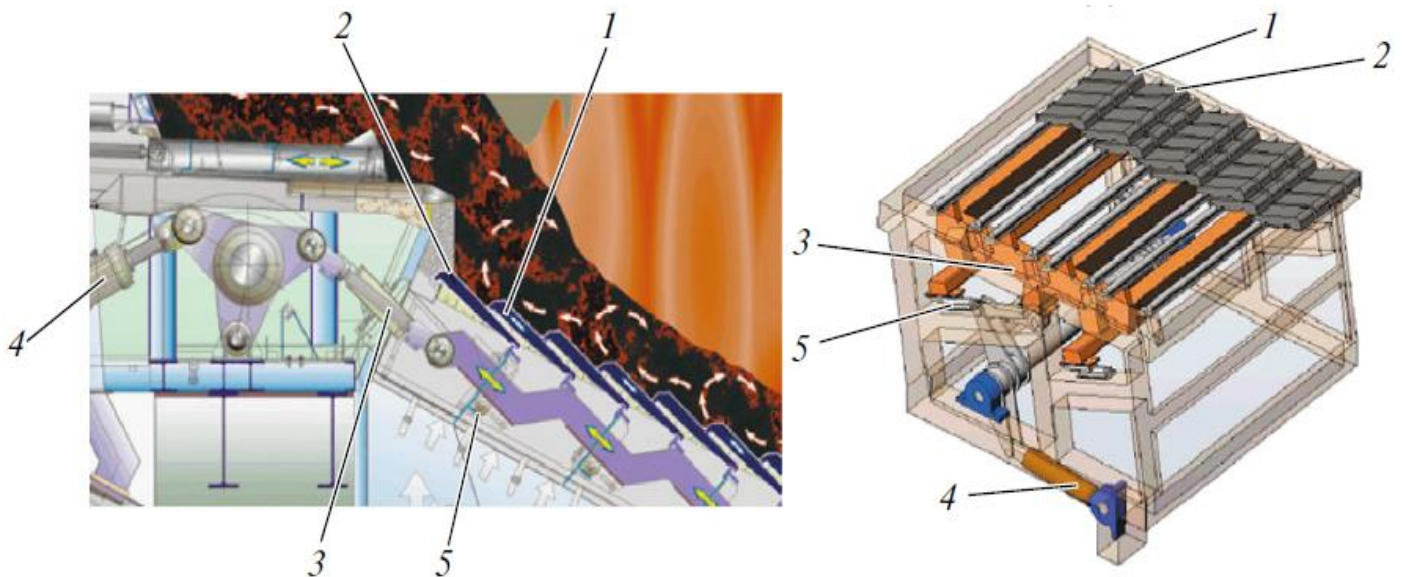


Εικόνα 4.3 Μονάδα αποτέφρωσης αποβλήτων με ανάκτηση θερμότητας ή ενέργειας [50].
© Waste Management in Greece and Potential for Waste-to-Energy, Nickolas J. Themelis, 2012

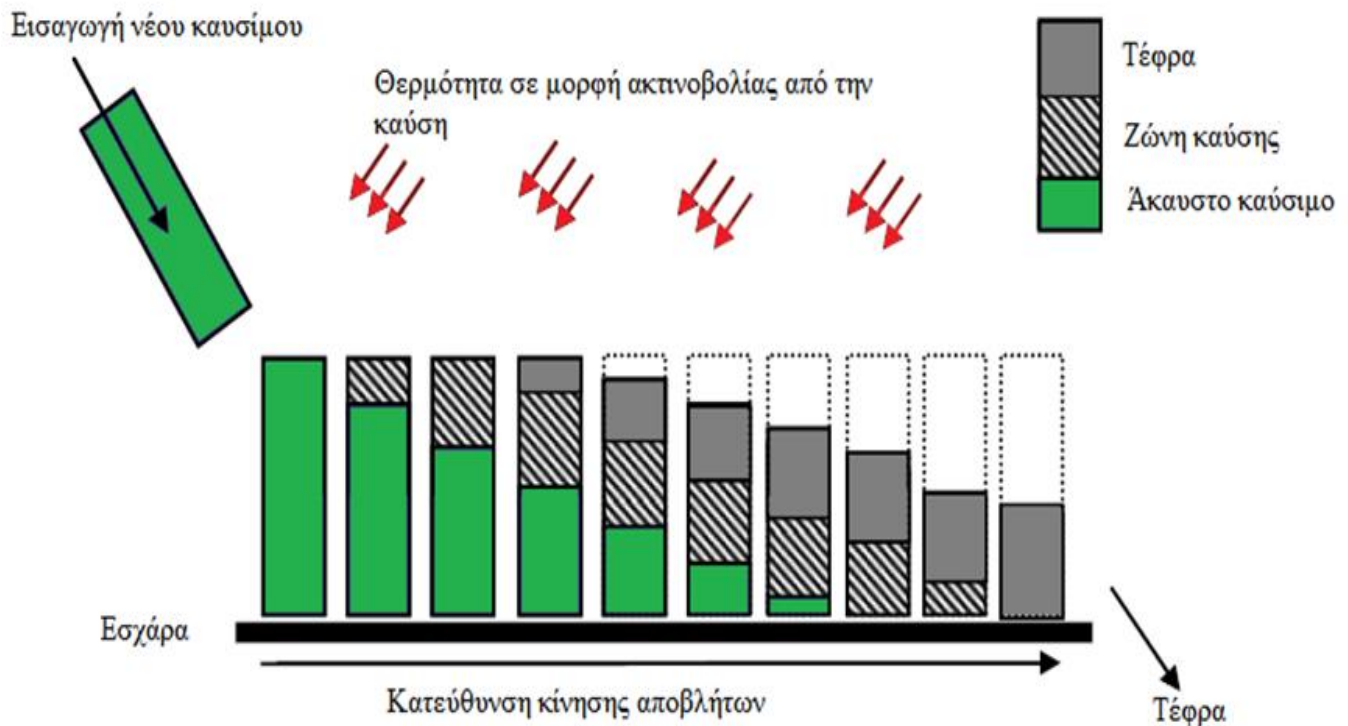
Μετατροπή υφιστάμενου λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση απορριμματογενούς καυσίμου



Εικόνα 4.4 Τυπική μονάδα αποτέφρωσης Α.Σ.Α. με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [39]. © Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας, 2010



Εικόνα 4.5 Μηχανικές κινούμενες εσχάρες για αποτέφρωση αστικών στερεών απορριμμάτων. (1) μη καθορισμένο βήμα σχάρας, (2) σταθερό βήμα σχάρας, (3) πλαίσιο ταλάντευσης, (4) υδραυλικός μηχανισμός κίνησης και (5) συρόμενος πλαίσιο υποστήριξης [38]. © Experience of Using Municipal Solid Waste in the Energy Industry, A. N. Tugov, 2015/ ENERGY CONSERVATION, NEW AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

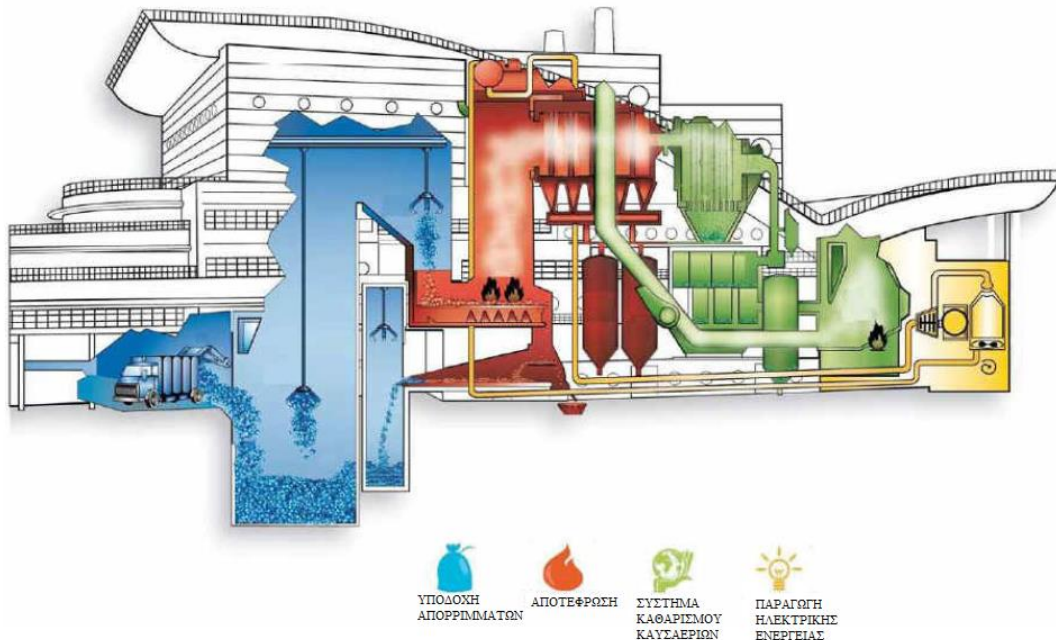


Εικόνα 4.6 Σχηματικό πίνακας της σταδιακής καύσης Α.Σ.Α σε οριζόντια σχάρα [53].

Μια άλλη τεχνική καύσης που μπορεί να έχει ουσιαστικό αντίκτυπο στην αποτελεσματικότητα της, τη διακίνηση και τη μείωση των εκπομπών είναι η καύση ενισχυμένη με οξυγόνο. Η αυξημένη καύση οξυγόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των εκπομπών NO_x και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Αυτός ο τύπος συστήματος είναι πραγματική πρόληψη της ρύπανσης, καθώς αποτρέπει τη δημιουργία ρύπων διακόπτοντας τους μηχανισμούς παραγωγής επί τόπου [53]. Οι αποκλειστικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας από απορριμματογενή καύσιμα αποτεφρώνουν καύσιμα που προέρχονται κυρίως από επεξεργασία των αποβλήτων (RDF/SRF), και λειτουργούν είτε ως μονάδες που συνδυάζουν την παραγωγή θερμότητας και ενέργειας (CHP) είτε αποκλειστικά ως μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως φαίνεται από την εικόνα 4.7, τα κύρια μέρη μιας ειδικής μονάδας καύσης RDF αποτελούνται από την υποδοχή των απορριμμάτων, την αποτέφρωση, το σύστημα καθαρισμού καυσαερίων και την παραγωγή της ενέργειας. Ακόμα περιλαμβάνουν συστήματα ανάκτησης της θερμότητας και ελέγχου της ρύπανσης.

Όπως αναφέρθηκε λίγο νωρίτερα, τα σχέδια για το σύστημα τροφοδοσίας στις μονάδες ποικίλλουν ανάμεσα στις σχάρες, τους κλιβάνους και τις κλίνες. Τα Α.Σ.Α. και ειδικότερα το RDF/ SRF, έχουν την ικανότητα και μπορούν να πυροδοτηθούν είτε εξ ολοκλήρου είτε εν μέρει στα συστήματα τροφοδοσίας. Η πιο συνηθισμένη τεχνολογία είναι μέσω εσχάρων, και διακρίνεται σε τρεις τύπους, την δόνηση, την κινούμενη εσχάρα και την περιστρεφόμενη. Οι περιστρεφόμενες εσχάρες είναι πιο οικονομική επιλογή από τις

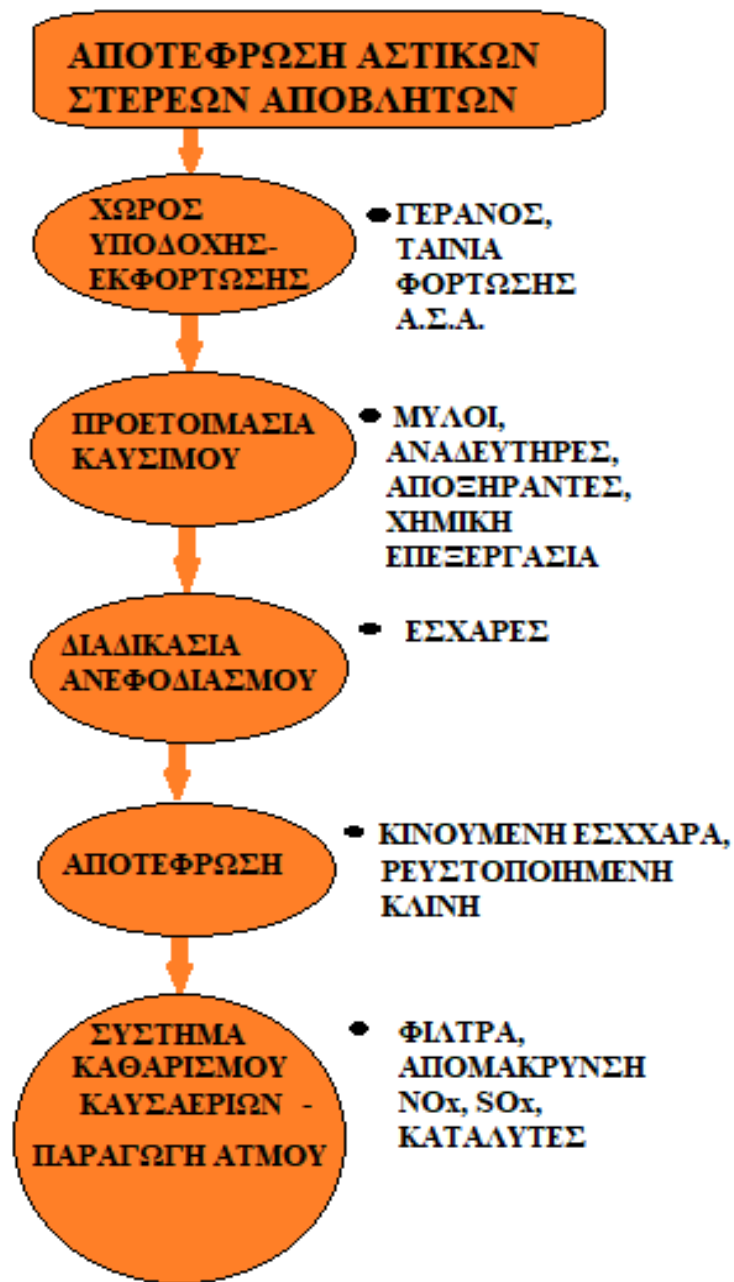
κινούμενες, ωστόσο είναι ευάλωτες σε προβλήματα που σχετίζονται με τα σωματίδια της τέφρας. Ενώ από την άλλη, οι δονήσεις οδηγούν σε περισσότερα σωματίδια τέφρας, με αποτέλεσμα να απαιτούνται πιο εκτεταμένα μέτρα για τον καθαρισμό των καυσαερίων με το αντίκτυπο να βρίσκεται στο κόστος [47].



Εικόνα 4.7 Μονάδα παραγωγής ενέργειας αποκλειστικά με καύση Α.Σ.Α. [45].
© Report on RDF/SRF utilization applications and technical specifications, Dr Panagiotis Grammelis, 2011

Η τυπική διαδικασία που ακολουθεί μια μονάδα αποτέφρωσης Α.Σ.Α. έχει ως στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Οι βασικοί παράγοντες για υψηλά επίπεδα καύσης των οργανικών απορριμμάτων από τα εισερχόμενα απόβλητα είναι η υψηλή θερμοκρασία, μεγάλος χρόνος παραμονής στο κλίβανο και η δυνατή αναταραχή στο μείγμα. Σύμφωνα με κοινοτική οδηγία για την αποτέφρωση αποβλήτων, ο χρόνος παραμονής του αερίου στο θάλαμο καύσης πρέπει να είναι τουλάχιστον 2 δευτερόλεπτα σε θερμοκρασία άνω των 850 °C με παρουσία 6% οξυγόνου περίπου για να διασφαλιστεί η μέγιστη οξείδωση των διοξινών και των άλλων οργανικών ρύπων. Ακόμα ο σχεδιασμός του κλιβάνου και η αποτελεσματικότητα λειτουργίας του είναι κρίσιμοι παράγοντες που καθορίζουν τα επίπεδα των ρύπων στα καυσαέρια που εισέρχονται στο σύστημα καθαρισμού. Ενώ με τη σειρά τους τα καυτά αέρια εισέρχονται στο λέβητα ανάκτησης ενέργειας όπου και ψύχονται γρήγορα. Αυτό γίνεται ακόμα και όταν δεν ανακτάται ενέργεια, πρέπει να ψύχονται πριν εισέλθουν στο σύστημα καθαρισμού καυσαερίων. Παρακάτω στην εικόνα 4.8, ακολουθεί μια σειρά προτεραιότητας κατά τη διαδικασία της αποτέφρωσης των Α.Σ.Α.[43].

Μετατροπή υφιστάμενου λιγνιτικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση απορριμματογενούς καυσίμου



Εικόνα 4.8 Διαδικασία αποτέφρωσης αστικών στερεών αποβλήτων [43].

4.3 Σύγκριση μεταξύ των τεχνολογιών καύσης

Γενικότερα, η ταυτόχρονη καύση RDF με μη ανανεώσιμους πόρους, όπως τα ορυκτά καύσιμα, συμβάλλει στην εξοικονόμησή τους και μπορεί να τα αντικαθιστά σε ενεργειακές διεργασίες υψηλής ζήτησης, όπως ο ηλεκτρισμός, η θερμότητα και η τηλεθέρμανση. Ειδικότερα όμως ο στόχος της Ελλάδας είναι να απαλλαγεί από την ανάγκη χρήσης του λιγνίτη για παραγωγή ενέργειας. Προηγουμένως, είδαμε τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται κατά την διαδικασία κυρίως της καύσης του εκάστοτε καυσίμου. Αρχικά ήταν τα απορριμματογενή καύσιμα, τα οποία αναφέρονται στα επεξεργασμένα αστικά στερεά απόβλητα κυρίως με τις ιδιότητες του SRF/RDF, και αφετέρου είδαμε την αντίστοιχη τεχνολογία που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα με κύριο καύσιμο το λιγνίτη.

Συγκρίνοντας τις δύο τεχνολογίες θα παρατηρήσουμε πως είναι σχεδόν πανομοιότυπες στο τρόπο λειτουργίας τους, το καύσιμο εισέρχεται με καθορισμένο ρυθμό στον κλίβανο όπου εκεί αναφλέγεται και αποτεφρώνεται, έτσι δημιουργεί ατμό μέσω της εξάτμισης του νερού που ρέει σε ειδικές σωληνώσεις, ο οποίος με την σειρά του καταλήγει στη γεννήτρια δημιουργώντας ηλεκτρισμό. Οι βασικές διαφορές βρίσκονται στις λεπτομέρειες, δηλαδή στα μηχανήματα των εγκαταστάσεων. Και οι δύο τεχνολογίες χρησιμοποιούν παρόμοια τεχνολογία τροφοδότησης του καυσίμου στο κλίβανο. Οι κλίβανοι ενώ έχουν την ίδια λειτουργία, εδώ διαφοροποιούνται διότι άλλες ιδιότητες κατά την καύση έχει ο λιγνίτης και άλλες το SRF για παράδειγμα. Μερικές από τις διαφορές είναι αρχικά ο διαφορετικός χρόνος που χρειάζονται για την πλήρη καύση τους και η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία που χρειάζονται. Μια ακόμα διαφορά είναι τα επίπεδα της τέφρας που παράγονται, με το σύστημα απομάκρυνσής της να είναι ίδιο. Τα σχετικά προβλήματα αφορούν την τοξικότητα της τέφρας και τον καθαρισμό των εκπομπών αερίων, ενώ ακόμα για να χρησιμοποιηθούν οι υπάρχοντες κλίβανοι για την εξ'ολοκλήρου καύση του RDF/SRF θα πρέπει να υπολογιστούν μερικοί παράγοντες που θέτουν σε αμφισβήτηση την απόδοσή τους. Καταρχήν θα πρέπει να υπολογίσουν την χωρητικότητα του χώρου τροφοδότησης του κλιβάνου, όπως και την αντίστοιχη του ίδιου του κλιβάνου. Όπως είναι σημαντικό να διασφαλιστεί και η απαιτούμενη ροή του απορριμματογενούς καυσίμου κατά την καύση. Επίσης επειδή είναι διαφορετικά ήδη καυσίμου είναι αναμενόμενο να γίνουν κάποιες βελτιώσεις και προσαρμογές για να προσαρμοστεί το καινούργιο καύσιμο χωρίς να υπάρξουν ανεπιθύμητες απώλειες. Άλλο ένα πρόβλημα είναι η παραγόμενη τέφρα και η διαφορετική περιεκτικότητα που θα έχει από την αντίστοιχη του άνθρακα (λιγνίτη) [58].

Μια λύση που συζητήθηκε είναι η μερική αντικατάσταση του λιγνίτη από το SRF στους εθνικούς υφιστάμενους σταθμούς παραγωγής ενέργειας που βρίσκονται στη Δυτική Μακεδονία και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τη χώρα. Αυτή η αντικατάσταση μπορεί να φτάσει αποτελεσματικά το 2 - 10% κατά βάρος, χωρίς σοβαρές δυσκολίες λειτουργίας. Το επίπεδο υποκατάστασης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό τόσο από τη διαμόρφωση της διαδικασίας όσο και από τα χαρακτηριστικά του λιγνίτη [42]. Για την Ελλάδα βέβαια που θέλει να απεξαρτηθεί από τη χρήση του λιγνίτη, το καλύτερο σενάριο θα ήταν η πλήρης εκμετάλλευση των υπάρχοντων εγκαταστάσεων με εξ'ολοκλήρου χρήση επεξεργασμένου απορριμματογενούς καυσίμου. Η διαδικασία μαζικής καύσης δεν είναι ελκυστική, καθώς δεν συμβάλλει στην πολιτική διαχείρισης ιεραρχίας των αποβλήτων. Μόνο οι περιπτώσεις καύσης των SRF/ RDF που τροφοδοτούν τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας αντιμετωπίζουν ορθά την λειτουργία κατά την διαχείριση των αποβλήτων [42].

Η βασική διαφορά ανάμεσα στις δύο τεχνολογίες αποτελεί το σύστημα καθαρισμού των παραγόμενων αερίων ρύπων και τέφρας. Τα απορριμματογενή καύσιμα χρειάζονται ιδιαίτερη μεταχείριση μετά το πέρας

της καύσης. Κατά τη συλλογή της τέφρας πυθμένα ανακτώνται τα παραγόμενα υπολείμματα μετάλλων, τα όποια ανακυκλώνονται και αποτρέπονται από την υγειονομική ταφή όπου και θα καταλήξει η υπόλοιπη τέφρα. Μεγάλο μέρος επίσης της παραγόμενης τέφρας καταλήγει μαζί με τα καυσαέρια όπου εκεί υπάρχει εξειδικευμένο σύστημα αποτροπής τους στην ατμόσφαιρα. Είναι πιο ανεπτυγμένο και εξελιγμένο από το αντίστοιχο σύστημα που χρησιμοποιούν στις εγκαταστάσεις του λιγνίτη. Αυτό συμβαίνει διότι τα απορριμματογενή καύσιμα αποτελούνται από διάφορα υλικά, τα οποία έχουν γίνει ένα συμπαγές μείγμα με διαφορετικές ιδιότητες. Κατά τη διαδικασία της καύσης του απορριμματογενούς καυσίμου παράγονται χημικές ενώσεις όπως οι διοξίνες, τα φουράνια, τα βαρέα μέταλλα που σημαντική η σημασία της αντιμετώπισής τους, ενώ ταυτόχρονα παράγονται και οι γνωστοί αέριοι ρύποι όπως τα οξείδια του θείου, του αζώτου, του άνθρακα, τα όποια είναι πιο βλαβερά μεταξύ των άλλων. Έτσι η ευρωπαϊκή ένωση έχει θεσπίσει πιο αυστηρούς ελέγχους με καλύτερες τεχνολογίες από την επεξεργασία του απορριμματογενούς καυσίμου και την καύση του μέχρι και την απομάκρυνση των παραγόμενων ουσιών/ενώσεων [42].

5 Κεφάλαιο 4^ο: S.W.O.T. ανάλυση απορριμματογενούς καυσίμου

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί με μια ιδιαίτερη προσέγγιση η χρήση του απορριμματογενούς καυσίμου στον τομέα της ενέργειας. Η S.W.O.T. (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) ανάλυση, μελετά τέσσερα δυνατά σημεία, όπου δίνεται ιδιαίτερη έμφαση. Τα σημεία που θα παρουσιαστούν αφορούν τις δυνατότητες που υφίστανται, τις αδυναμίες που υπάρχουν, τις ευκαιρίες που θα προκύψουν και τέλος τις διάφορες απειλές που θα χρειαστεί να αντιμετωπίσουν. Με την συγκεκριμένη προσέγγιση συνοψίζονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία που χρειάζονται για να υπάρξει ένα ορθό συμπέρασμα σχετικά με το αν είναι ωφέλιμο το απορριμματογενές καύσιμο στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Πόσο μάλλον στο να υπάρξουν καινούργιες εγκαταστάσεις που θα βασίζονται και θα λειτουργούν με την αποκλειστική χρήση του. Στην ανάλυση τόσο τα δυνατά όσο και τα αδύναμα σημεία κατά τη χρήση του καυσίμου στην παραγωγή ενέργειας, αφορούν το εσωτερικό περιβάλλον, καθώς αυτά προκύπτουν από εσωτερικούς πόρους, όπως η τεχνογνωσία, η ικανότητα να ανταποκριθεί σε νέες επενδύσεις, οι ικανότητες προσωπικού και στελεχών κ.α. Οι ευκαιρίες και οι απειλές από την άλλη μεριά αφορούν το εξωτερικό περιβάλλον, όπου θα πρέπει να εντοπιστούν, και να προσαρμοστούν όπου είναι δυνατόν. Με την ανάλυση θα υπάρξει μια πλήρη εικόνα σχετικά με τις συνθήκες που θα βασιστεί η αξιοποίηση του καυσίμου στη παραγωγή, ενώ ακόμα τονίζονται σημαντικά δεδομένα που υπάρχουν και υπογραμίζονται διάφορες δυνατότητες που θα προκύψουν κατά τη λειτουργικότητα του. Όσο αφορά τα αρνητικά σημεία, γίνεται αναφορά για να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε αυτά, να κατανοηθούν και να επιλυθούν. Ενώ οι απειλές ενισχύουν την σοβαρότητα και την όρθη κριτική, αν για παράδειγμα οι απειλές ήταν τόσο σοβαρές και πολύ περισσότερες σε σχέση με τις ευκαιρίες τότε η χρήση του θα ήταν καταστροφική σε πολλούς τομείς. Παρακάτω γίνεται η παρουσίαση S.W.O.T. όσον αφορά την αξιοποίηση των επεξεργασμένων απορριμματογενών καυσίμων (RDF/SRF) σε μονάδες αποκλειστικής λειτουργίας για την παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρική, θερμική) και στην συνέχεια αναλύονται σημαντικότερα στοιχεία [39,42,54].

Δυνατά σημεία

- Ανάκτηση ενέργειας από απόβλητα
- Διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης
- Εκμετάλλευση κλάσματος υψηλής θερμογόνου δύναμης
- Ομοιογένεια της φυσικής-χημικής σύνθεσης
- Ευκολία στην αποθήκευση, στη διαχείριση και τη μεταφορά
- Μειωμένος απαιτούμενος αέρας κατά τη διάρκεια της αποτέφρωσης
- Χρήση σε ήδη υπάρχουσες βιομηχανίες
- Επίτευξη μεγάλης μείωσης του όγκου των απορριμμάτων
- Δυνατότητα ανάκτησης και εκμετάλλευσης των παραγόμενων
- Θετική συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Το κίνητρο για απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα

Αδυναμίες

- Δεν αποτελεί μέθοδο για μηδενικές εκπομπές αέριων ρύπων
- Ανάγκη για προτυποποίηση των απορριμματογενών καυσίμων
- Υψηλό κόστος παραγωγής του καυσίμου
- Επιβάλλεται συνεχής έλεγχος των απαερίων
- Απαραίτητη ύπαρξη Χώρου Υγειονομικής Ταφής Επικίνδυνων Αποβλήτων (Χ.Υ.Τ.Ε.Α)
- Αδυναμία διάθεσης του οργανικού κλάσματος χωρίς κόστος
- Απροθυμία του κοινού να αποδεχθεί τα εργοστάσια αποβλήτων

Ευκαιρίες

- Νέες θέσεις εργασίας
- Αύξηση του βαθμού απόδοσης του συστήματος
- Δημιουργία ισχυρής αγοράς SRF
- Δυνατότητα τηλεθέρμανσης
- Δυνατότητα ταυτόχρονης καύσης με ορυκτά καύσιμα
- Ευκαιρίες για ανάπτυξη προγραμμάτων ανακύκλωσης
- Επίτευξη ευρωπαϊκών στόχων

Απειλές

- Εξάρτηση από τον παραλήπτη του απορριμματογενούς καυσίμου
- Κίνδυνος αύξησης του κόστους
- Πιθανή εξασθένηση του ενδιαφέροντος του κοινού
- Ασταθής αγορά
- Κίνδυνος αστοχίας των συστημάτων επεξεργασίας απαερίων
- Καθυστερήσεις από τοπικές αντιδράσεις

Σχετικά με τα δυνατά σημεία και τα πλεονεκτήματα (Strengths) που προηγήθηκαν, η ανακτώμενη ενέργεια από τα απόβλητα αποτελεί μια ενεργειακή πολιτική που ως στόχο έχει την μείωση των απορριπτόμενων απορριμμάτων στους χώρους ταφής, την αντικατάσταση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Καθημερινά υπάρχει το πλεονέκτημα της παραγωγής τεράστιων ποσοτήτων απορριμμάτων που δίνονται να δεχτούν οποιαδήποτε επεξεργασία και να θεωρηθούν ως ενεργειακός πόρος. Με τη συγκεκριμένη δυνατότητα έχει επιτευχθεί μεγάλη μείωση του όγκου τους στις χωματερές, έτσι η διάθεση τους στους χώρους υγειονομικής τάφης όλο και μειώνεται. Ταυτόχρονα η επεξεργασία τους έχει καταλυτική δράση στη διαχείρισή τους, την αποθήκευση και την μεταφορά τους και επιτυγχάνεται η εκμετάλευση ενός σταθερού κλάσματος υψηλής ποιότητας. Στα ενδεδειγμένα εργοστάσια MBT εξασφαλίζεται η ποιότητα του SRF/RDF, χωρίς όμως να είναι απαραίτητη η υψηλή ποιότητα της πρώτης ύλης. Κύριο πλεονέκτημά τους είναι η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις όπως εργοστάσια ενέργειας, τσιμεντοβιομηχανίες τα οποία χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα. Αυτό έχει επιπλέον θετική επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς μειώνονται σημαντικά οι εκπομπές των αέριων ρύπων. Και αποτελεί μεγάλο το κίνητρο για απεξάρτηση από την χρήση των

ορυκτών καυσίμων στην Ελλάδα, ιδιαίτερα του λιγνίτη κατά την ηλεκτροπαραγωγή.

Όσον αφορά τις αδυναμίες (Weaknesses), κατά τη χρήση του στα εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας παράγονται υπολείμματα όπως η τέφρα, η οποία περιέχει βαρέα μέταλλα όμως η εκμεταλευσή της αποτελεί πλεονέκτημα σε αρκετές περιπτώσεις. Μια σημαντική αδυναμία είναι οι συνεχείς ελέγχοι που γίνονται κυρίως στις εκπομπές των επαιρίων και αυτό διότι αυξάνεται έτσι το κόστος. Γενικότερα το κόστος αυξάνεται από την επεξεργασία, τη διαλογή, το διαχωρισμό κ.α., ενώ ακόμα μπορεί να αυξηθεί και από τον επιπλέον χώρο που χρειάζεται για την παραγόμενη τέφρα όταν δε είναι εφικτό να εκμεταλευτεί. Με τα προαναφερθέντα αντιλαμβανόμαστε ότι είναι αδύνατον να διατεθεί το οργανικό κλάσμα χωρίς κόστος. Τέλος αδυναμία είναι και η κατασκευή μιας νέας μονάδας, ενώ και η απροθυμία του κοινού να αποδεχτεί τα εργοστάσια αποβλήτων που παράγουν ενέργεια (WTE) ως ασφαλή επιλογή επεξεργασίας.

Από την άλλη οι ευκαιρίες (Opportunities) που παρουσιάζονται δεν θα μπορούσαν να μην παρατηρηθούν. Αρχικά η δυνατότητα για νέες θέσεις εργασίας, τόσο κατά την παραγωγή του καυσίμου, τον έλεγχο του όσο και στον τρόπο εκμετάλλευσής του. Η δημιουργία ισχυρής αγοράς του SRF, με σταθερή ζήτηση από τις μονάδες κυρίως όπου υπάρχει ενεργειακή εκμετάλλευση. Ευκαιρίες για ανάπτυξη προγραμμάτων ανακύκλωσης από την χρήση βιομηχανικών διεργασιών, καθώς προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία σε σχέση με την αποτέφρωση στερεών αποβλήτων. Για τα εργοστάσια κατά την λειτουργία τους υπάρχει η πιθανότητα αύξησης του βαθμού απόδοσης του συστήματος, λόγω της καλύτερης καύσης και των λιγότερων απωλειών ενέργειας που θα πραγματοποιηθούν και επίσης σημαντική είναι και η δυνατότητα ταυτόχρονης καύσης με ορυκτά καύσιμα σε υπάρχουσες μονάδες ενέργειας. Ενώ ακόμα ανάλογα με την τοποθεσία των μονάδων ενδείκνυται η χρήση της τηλεθέρμανσης, χρησιμοποιώντας έτσι την περίσσεια θερμότητα με κατάλληλα συστήματα. Κυρία ευκαιρία είναι η επίτευξη των ευρωπαϊκών στόχων εκτροπής των Α.Σ.Α. από την τελική διάθεση σε Χ.Υ.Τ.Α. καθώς και η αντίληψη των χαμηλών εκπομπών των μονάδων σε σύγκριση με τις αντίστοιχες των ορυκτών καυσίμων μπορεί να ανατρέψει την αρνητική δημόσια εικόνα της αποτέφρωσης των στερεών αποβλήτων.

Τέλος, οι απειλές (Threats) οπουδήποτε και αν εμφανιστούν έχουν καταλυτικό παράγοντα. Απειλή αποτελεί η εξάρτηση από τον παραλήπτη του απορριμματογενούς καυσίμου, καθώς η μειωμένη ζήτηση θα επιφέρει αύξηση των απορριμμάτων στους χώρους υγειονομικής ταφής, έτσι αντιλαμβανόμαστε μια αστάθεια για την αγορά στην οποία βασίζεται. Κατά την χρησιμοποίησή τους υπάρχει κίνδυνος αστοχίας των συστημάτων επεξεργασίας απαιρίων, λόγω του ότι παράγονται κατά την διαδικασία τοξικά αέρια (διοξίνες, φουράνια) και βαρέα μέταλλα (υδράργυρος, μόλυβδος) απαιτείται επιπρόσθετο κόστος για την παρακολούθησή τους. Με το κόστος να αυξάνεται επιπλέον από τις προδιαγραφές ασφάλειας και από τα τέλη για το χώρο υγειονομικής ταφής επικινδύνων αποβλήτων. Σημαντικό ρόλο έχει και η κοινωνία στις απειλές, το ενδεχόμενο πιθανής εξασθένησης του ενδιαφέροντος του κοινού για την ανακύκλωση και τη διαλογή στη πηγή θα ήταν καταστροφικό σενάριο. Κλείνοντας λόγω των μη αποδεδειγμένων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, είναι δύσκολο να επιτευχθεί η αντίληψη της τοπικής κοινότητας η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη μακροπρόθεσμη λειτουργία της μονάδας καθώς μπορεί να προκαλέσει καθυστερήσεις στο σχεδιασμό και την υλοποίηση των μονάδων αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων.

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Συμπεράσματα

Σχετικά με το κυριότερο συμπέρασμα από τα προηγούμενα κεφάλαια είναι πως η χρήση του απορριμματογενούς καυσίμου στις μονάδες παραγωγής ενέργειας σε σύγκριση με τις αντίστοιχες που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα επιφέρουν διπλό περιβαλλοντικό όφελος. Αρχικά, εξοικονομούνται φυσικοί ορυκτοί πόροι όπως ο σκληρός άνθρακας και ο λιγνίτης ενώ ταυτόχρονα οι εκπομπές που σχετίζονται με το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP, global warming potential) μειώνονται, επειδή το αναγεννητικό ενεργειακό κλάσμα του RDF έχει αρκετά μικρή επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου [48]. Αυτά τα οφέλη για το περιβάλλον αποδεικνύουν ότι η χρήση του RDF/SRF στην παραγωγή ενέργειας θα προσφέρει εκ νέου οφέλη και για την οικονομία και για τον τομέα της ενέργειας στην Ελλάδα. Λόγω του ότι η χώρα μας εισάγει ένα σημαντικό μέρος ενεργειακών πηγών όπως το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο, η χρήση των απορριμματογενών καυσίμων θα μειώσει τις εισαγωγές και θα βοηθήσει την τοπική ενεργειακή βιομηχανία και την οικονομία [41]. Ο παρακάτω πίνακας 6.1 συγκρίνει την θερμογόνο δύναμη και τις εκπομπές CO₂ ορισμένων ορυκτών καυσίμων με εκείνες των Α.Σ.Α. και του SRF. Το SRF στο περιεχόμενο ανανεώσιμης ενέργειας βρίσκεται περίπου στο 67%, έτσι από το 1.067 grCO₂ που εκπέμπονται από την καύση 1kg SRF μόνο το 100% -67% = 33% μπορεί να θεωρηθεί ως μη ανανεώσιμο, με το αποτέλεσμα να είναι 352,11 gr ορυκτού CO₂/kg SRF. Εάν λοιπόν, η αναλογία 1kg SRF αντικατασταθεί με 1kg λιγνίτη, τότε η μείωση των ορυκτών καυσίμων θα γίνει ίση με 955 gr ορυκτού CO₂/kg λιγνίτη – 352,11 gr ορυκτού CO₂/kg SRF = 602,89 gr ορυκτού CO₂/kg καυσίμου. Έτσι, η αντικατάσταση 1 κιλού λιγνίτη από 1 κιλό SRF θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση περίπου 603 gr εκπομπών CO₂ [41]. Ακόμα με τον πίνακα 6.1 παρατηρούμε το περιεχόμενο της ανανεώσιμης ενέργειας, όπου μόνο τα απορριμματογενή καύσιμα διαθέτουν και αυτό διότι δεν έχουν επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, με τις συνολικές εκπομπές να βρίσκονται χαμηλότερα από τις αντίστοιχες των ορυκτών καυσίμων [48].

Με βάση, λοιπόν τα παραπάνω, οι μελέτες δείχνουν πως 1 kg SRF μπορεί να υποκαταστήσει 1 kg λιγνίτη και να μειώσει τις εκπομπές ορυκτού άνθρακα. Η ταυτόχρονη καύση των δύο καυσίμων σε σταθμούς παραγωγής λιγνίτη (περίπου 300 MW) είναι ικανή να μειώσει τη χρήση του κατά περίπου 20.000 τόνους ετησίως και κάτι αντίστοιχο στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. [35] Εδώ πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η από κοινού καύση αποβλήτων σε εγκαταστάσεις λιγνίτη μπορεί να προκαλέσει σημαντική διάβρωση στα λειτουργικά συστήματα, κυρίως λόγω του χλωρίου και άλλων διαβρωτικών περιεχομένων που προκύπτουν από την καύση είτε του RDF είτε του SRF σε υψηλές θερμοκρασίες. [41] Ενώ μερικά ακόμα μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος συντήρησης και διαχείρισης του απορριμματογενούς καυσίμου, διότι πρέπει να βρίσκεται σε μια καλή ποιότητα, χωρίς μεγάλη περιεκτικότητα σε τέφρα και υγρασία. Καθώς αυτοί οι παράγοντες συνδιάζονται με μεγάλη αύξηση αέριων εκπομπών, απώλειες θερμότητας και κατά συνέπεια σε μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου [39].

Τύπος Καυσίμου	Θερμογόνος Δύναμη		Συνολικές Εκπομπές CO ₂		Περιεχόμενο Ανανεώσιμης	
	Mj/kg		gCO ₂ /kg	MgCO ₂ /Tj	Ενέργειας %	
Λιγνίτης	8.6		955	111		0%
Άνθρακας	29.7		2.762	93		0%
Πετρέλαιο	35.4		2.620	74		0%
Φυσικό Αέριο	31.7		1.775	56		0%
A.Σ.Α (MSW)	8-10		1.170	45		50%
RDF σε WTE	10-14		1.100	35		52%
SRF από MBT	14-18 (15 μ.ο.)		1.067	24		66.8%

Πίνακας 6.1 Σύγκριση ορυκτών καυσίμων με Α.Σ.Α. και SRF [35, 41, 48].

Πόλλες μελέτες έχουν αναφέρει πως ο λόγος υποκατάστασης ανάλογα και με την ποιότητα του SRF/RDF, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 15-20%. Στην περίπτωση που υπάρχει χαμηλή ποιότητα και υψηλή περιεκτικότητα σε χλώριο στο καύσιμο του RDF/SRF, η υποκατάσταση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 10%. Πειράματα που εκτελέστηκαν σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις με λιγνίτη στην Ελλάδα, πραγματοποιήθηκαν με αντικατάσταση μόνο 2 με 3% και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε τόσο μικρές τιμές υποκατάστασης τα αποτελέσματα διάβρωσης βρίσκονται εντός των αποδεκτών ορίων [41]. Από την άλλη, η δυναμικότητα των μονάδων αποτέφρωσης κυμαίνεται μεταξύ 8-25 t/h, και για απόβλητα με κατώτερη θερμογόνο δύναμη (περίπου της τάξης των 8 MJ/kg) η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που θα μπορέσει να διαθέσει θα βρίσκεται στις 450 kWh/t αποβλήτων. Μια σημαντική προϋπόθεση για τις συγκεκριμένες μονάδες είναι τα Α.Σ.Α. που θα χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο να διασφαλίσουν μια ελάχιστη κατώτερη θερμογόνο δύναμη (περίπου στα 6 MJ/kg) και μια μέση ετήσια χαμηλότερης θερμογόνου δύναμης (περίπου 7 MJ/kg), έτσι ώστε να γνωρίζουν τα ελάχιστα πόσα ενέργειας που θα διαθέσουν οι μονάδες [39].

Το όφελος από τη χρήση του RDF ως υποκατάστατο ορυκτών καυσίμων σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις πρέπει να διασφαλιστεί με επαρκείς ελέγχους στις εκπομπές και στην ποιότητα των εισερχομένων υλικών.

Παρόλο που οι μονάδες λειτουργούν με την τεχνολογία υψηλών προδιαγραφών (BAT), υπάρχει δυνατότητα βελτιστοποίησης του εξοπλισμού τόσο στις μονάδες αποτέφρωσης όσο και συναποτέφρωσης, πράγμα που σημαίνει ότι οι ενδέχεται να μειωθούν ακόμα περισσότερο τυχόν απώλειες. Ωστόσο, για παράδειγμα ο υδράργυρος στις τσιμεντοβιομηχανίες και τα βαρέα μέταλλα στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα είναι τα αδύνατα σημεία για τη χρήση του RDF, ακόμη και αν εξακολουθούν να είναι κάτω από το όριο του 2% των κατευθυντήριων γραμμών για την ποιότητα του αέρα. Το περιεχόμενο αυτών των βαρέων μετάλλων στο RDF και στα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων στις εγκαταστάσεις πρέπει να διαχειριστεί για να περιορίσει αυτές τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις [34].

Οι σύγχρονες μονάδες WTE σε σύγκριση με τις αντίστοιχες που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα παράγουν αρκετά χαμηλότερες εκπομπές αερίων ρύπων, ενώ ακόμα βρίσκονται και εντός των επιτρεπόμενων ορίων που έχει θέσει η ευρωπαϊκή ένωση. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι οι μονάδες WTE συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών ισοδυνάμου διοξειδίου του άνθρακα. Η συγκέντρωση άνθρακα των MSW είναι περίπου στο 30%, σύμφωνα με ανάλυση από το Πανεπιστήμιο Columbia, την Covanta Energy και τα εργαστήρια BETA στη Φλόριντα έδειξε ότι περίπου τα δύο τρίτα της περιεκτικότητας σε άνθρακα των MSW είναι βιογενετικής προέλευσης (χάρτινες ίνες, ξύλο και τρόφιμα) και το ένα τρίτο είναι πετροχημικής προέλευσης (πλαστικά, ίνες κ.λπ.). Από υπολογισμούς και εκτιμήσεις στον κύκλο ζωής για κάθε τόνο MSW που πηγαίνει στο WTE οδηγεί σε μείωση περίπου 1,3 τόνων ισοδυνάμου διοξειδίου του άνθρακα (CO_{2e}). Αυτό σημαίνει ότι μια εγκατάσταση 1.000 τόνων ημερησίως WTE θα μπορούσε να αποτρέψει 400.000 τόνους CO_{2e} ετησίως αποκλειστικά από την επεξεργασία των MSW [53].

Βλέποντας και τον πίνακα 6.2, όπου παρουσιάζει διαφόρετικούς τύπους καυσίμου που χρησιμοποιούνται στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, αντιλαμβανόμαστε αμέσως το ενεργειακό πλεονέκτημα των απορριμματογενών καυσίμων έναντι των υπολοίπων καυσίμων.

Καύσιμα	Αέριες εκπομπές (kg/MWh)		
	CO ₂	SO ₂	NO _x
MSW	379,66	0,36	2,45
Άνθρακας	1020,13	5,9	2,72
Πετρέλαιο	758,41	5,44	1,81
Φυσικό αέριο	514,83	0,04	0,77

Πίνακας 6.2 Τυπικές τιμές εκπομπών αερίων από καύσιμα σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας [59].

Συμπερασματικά, τα απόβλητα στις εγκαταστάσεις ενέργειας συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση του ατμοσφαιρικού CO₂. Η ανακτημένη ενέργεια που παράγεται από τη θερμική επεξεργασία MSW, μειώνει τις εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με δύο τρόπους, αποφεύγει την παραγωγή μεθανίου και άλλων αερίων θερμοκηπίου που παράγονται σε χώρους υγειονομικής ταφής και παράγει λιγότερες εκπομπές CO₂ σε σύγκριση με ορυκτά καύσιμα. Οι μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας MSW, θεωρούνται από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους για την επίλυση του προβλήματος της διαχείρισης και επεξεργασίας στερεών αποβλήτων της Ελλάδας και άλλων χωρών. Η καύση με ανάκτηση ενέργειας θα οδηγήσει επίσης σε μείωση κατά 90% του όγκου των απορριμμάτων στις χωματερές. Το προκύπτον όφελος θα είναι αρκετά υψηλό, τόσο όσον αφορά την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και την ποιότητα του περιβάλλοντος σε περιοχές που αντιμετωπίζουν μείζονα προβλήματα στη διαχείριση των αποβλήτων τους [50].

Συνοψίζοντας από την εργασία, το SRF είναι ένα καύσιμο που προέρχεται από απόβλητα με εγγυημένες ιδιότητες, όπου η αγοραστική του δραστηριότητα αναπτύσσεται ιδιαίτερα στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας είτε ηλεκτρικής είτε θερμικής αλλά και στο συνδυασμό τους. Με την επικείμενη χρήση του τα περιβαλλοντικά ωφέλη είναι πολλαπλά, για παράδειγμα θα μειώσει τις εισαγωγές ορυκτών πόρων, τις εκπομπές αερίων ρύπων ενώ αποτελεί και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Τα απόβλητα θα αντιμετωπίζονται ως ενεργειακός πόρος με αποτέλεσμα να ανακουφιστούν οι χώροι υγειονομικής ταφής και από τον όγκο τους και από τις εναποθέσεις του μεθανίου. Ο κύριος στόχος ήταν να επαληθευτεί η σκοπιμότητα, από τεχνική και οικονομική άποψη, ενός νέου καυσίμου από απορρίμματα για εξ ολοκλήρου χρήση σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς ή σε μονάδες αποτέφρωσης. Μέσω καινοτόμων τεχνολογιών είναι δυνατόν να παραχθεί το SRF κατάλληλο για τις τεχνικές προδιαγραφές των υπάρχουσων εγκαταστάσεων οι οποίες, λαμβάνοντας υπόψη τις κατάλληλες τροποποιήσεις, θα μπορούσαν να μετατραπούν και να μην παροπλιστούν (βλ. Πίνακα 6.3).

Τροποποίηση του χώρου υποδοχής και αποθήκευσης του καυσίμου
Τροποποίηση του λέβητα και της τεχνικής τροφοδότησής του
Κατασκευή του ειδικού συστήματος ελέγχου των εκπομπών
Τροποποίηση του χώρου αποθήκευσης της παραγόμενης τέφρας

Πίνακας 6.3 Απαραίτητες αλλαγές σε μονάδες παραγωγής ενέργειας για χρήση απορριμματογενούς καυσίμου.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- 1) http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity.csp
- 2) <https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/tomeis-drastiriotitas-> Public Power Corporation S.A.: www.dei.gr
- 3) Tasos Krommydas. 2015. "Lignite in the greek energy system: FACTS AND CHALLENGES" heinrich Böll Foundation greece [www.gr.boell.org] ISBN: 976-618-81299-3-1
- 4) Evanthia A. Nanaki, Christopher J. Koroneos, and George A. Xydis. 2016. "Environmental Impact Assessment of Electricity Production from Lignite". Wiley Online Library [wileyonlinelibrary.com]. DOI 10.1002/ep.12427
- 5) European Environment Agency. 2016. "Transforming the EU power sector: avoiding a carbon lock-in". [http://eea.europa.eu]. ISBN 978-92-9213-809-7 doi:10.2800/692089
- 6) Eurostat, the statistical office of the European Union. ec.europa.eu/eurostat. 2017.
- 7) Richard German, Mark Gibbs, Harry Smith, Kirsten May. 2018. European Environment Agency [EEA] "Decomposition analysis for air pollutants and CO2 emissions from large combustion plants across Europe". Framework Contract EEA/ACC/13/003/LOT-2
- 8) "Energy in Europe — State of play" <https://www.eea.europa.eu/downloads/fe67622c92b64ad5a4043f83c1997151/1575969749/energy-in-europe-2014-state-1.pdf>
- 9) European Environment Agency, 2018 "Renewable energy in Europe: Recent growth and knock-on effects" doi:10.2800/03040
- 10) "CLIMATE CHANGE MITIGATION: PROTECTING THE OZONE LAYER WHILE ALSO PREVENTING" 2019. European Environment Agency [EEA] <https://www.eea.europa.eu/downloads/af8c374db73d407a8c708f91a8abc238/1574154049/protecting-the-ozone-layer-while.pdf>
- 11) "Mercury in Europe's environment: A priority for European and global action". 2018. European Environment Agency [EEA] ISBN: 978-92-9213-984-1 ISSN: 1977-8449 doi: 10.2800/558803

- 12) C. Oberschelp, S. Pfister, C. E. Raptis and S. Hellweg. 2019. "Global emission hotspots of coal power generation" [www.nature.com/natsustain] <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0221-6>
- 13) <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- 14) "Last Gasp :The coal companies making Europe sick" .2018. initiative of the Europe Beyond Coal campaign, under the responsibility of Climate Action Network Europe.
- 15) Yi Yang, Bo Chen, James Hower, Michael Schindler, Christopher Winkler, Jessica Brandt, Richard Di Giulio, Jianping Ge, Min Liu, Yuhao Fu, Lijun Zhang, Yuru Che, Shashank Priya & Michael F. Hochella, Jr. 2017. "Discovery and ramifications of incidental Magnéli phase generation and release from industrial coal-burning" DOI: 10.1038/s41467-017-00276-2
- 16) European Environment Agency [EEA]. 2018. "Greening the power sector: benefits of an ambitious implementation of Europe's environment and climate policies" doi:10.2800/459001
- 17) Jan Ivar Korsbakken, Glen P. Peters and Robbie M. Andrew. 2016. "Uncertainties around reductions in China's coal use and CO₂ emissions" DOI: 10.1038/NCLIMATE2963
- 18) European Environment Agency [EEA]. 2019. "Large combustion plants operating in Europe" <https://www.eea.europa.eu/downloads/734cd9f8d92a4c9cb2b752bf0bcf2f55/1572437448/assessment.pdf>
- 19) European Environment Agency [EEA]. 2016
"Decommissioning fossil fuel power plants between now and 2030 essential for Europe's low carbon future"
<https://www.eea.europa.eu/downloads/c7d07a7ba9b9430896d58207e56ff130/1481034011/decommissioning-fossil-fuel-power-plants.pdf>
- 20) European Environment Agency [EEA]. 2017. "Energy and climate change"
<https://www.eea.europa.eu/downloads/78265425cd4144aaa69fbb07d250a110/1575969747/energy-and-climate-change.pdf>
- 21) Wai King Cheung, Julius Hage, Sjoerd Schenau. 2016. "Compiling early estimates for greenhouse gasses and PM10 air emissions" Grant Agreement Number 05121.2016.001-2016.274
- 22) European Environment Agency [EEA]. 2019. "Industrial pollution in Europe"
<https://www.eea.europa.eu/downloads/705ab0b5353a48279d0cec2416ae0e4a/1568395825/assessment.pdf>
- 23) Conrad Schneider and Jonathan Banks. 2010. "The Toll From Coal: An Updated Assessment of Death and Disease from America's Dirtiest Energy Source" Clean Air Task Force [www.catf.us]

24) Clara G. Sears, PhD, MS, and Kristina M. Zierold, PhD, MS.2017. "Special Collection on Children's Health and Environmental Risk: Health of Children Living Near Coal Ash" DOI: 10.1177/2333794X17720

25) Wei Peng, Fabian Wagner, M. V. Ramana, Haibo Zhai, Mitchell J. Small, Carole Dalin, Xin Zhang and Denise L. Mauzerall. 2018. "Managing China's coal power plants to address multiple environmental objectives" [www.nature.com/natsustain] <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0174-1>

26) https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Climate_change_driving_forces

27) <https://www.wwf.gr/sustainable-economy/clean-energy/lignite>

28) <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

29) Peter Erickson, Michael Lazarus and Georgia Piggot. 2018. "Limiting fossil fuel production as the next big step in climate policy" [www.nature.com/natureclimatechange] <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0337-0>

30) European Environment Agency 2019 "Heavy metal emissions"
<https://www.eea.europa.eu/downloads/cf4e17a8c31e41599df53e87331b5ffa/1567600337/assessment-10.pdf>

31) Ian Marnane.European Environment Agency. 2018.
"Mercury: a persistent threat to the environment and people's health"

32) Nicolae Scarlat, Fernando Fahl, Jean-François Dallemand. 2018. "Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe", <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0297-7>

33) Paraskevi Chaliki, Constantinos S. Psomopoulos, George Ch. Ioannidis and Nickolas J. Themelis. 2014. "The Role of Waste to Energy Facilities in the Power Sector of EU"

34) "Natural Gas Supply, Alternative Energy Sources, and the Environment". 2010.

35) C. S. Psomopoulos & N. J. Themelis. 2015. "The Combustion of As-received and Pre-processed [RDF/SRF] Municipal Solid Wastes as Fuel for the Power Sector". DOI: 10.1080/15567036.2011.639845

36) C. S. Psomopoulos, S.D. Kaminaris, G.Ch. Ioannidis, N. J. Themelis. 2017."CONTRIBUTION OF WTE PLANTS IN EU'S TARGETS FOR RENEWABLES."

37) Atul Kumar, S.R. Samadder. 2017. "A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste". <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.046>

38) AllRussia Thermal Engineering Research Institute [OAO VTI]. 2015. "Experience of Using Municipal Solid Waste in the Energy Industry". DOI: 10.1134/S0040601515120125

39) Κατσανεβάκης Ι., Μαλαμάκης Α., Περκουλίδης Γ., Τσατσαρέλης Θ. 2010. «Αξιοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την ενεργειακή σκοπιά και οι προοπτικές εφαρμογής στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας». ΤΕΕΤΚΜ.

40) Elena Cristina Rada, Gianni Andreottola. 2012. "Waste Management: RDF/SRF: Which perspective for its future in the EU". <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.02.017>

41) Constantinos S. Psomopoulos. 2014. "Residue Derived Fuels as an Alternative Fuel for the Hellenic Power Generation Sector and their Potential for Emissions Reduction". DOI: 10.3934/energy.2014.3.321

42) M.C. Samolada, A.A. Zabaniotou. 2014. "Energetic valorization of SRF in dedicated plants and cement kilns and guidelines for application in Greece and Cyprus". <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.11.013>

43) Panagiotis Grammelis. 2011. "Report on current waste management systems in Europe"

44) Kostantinos Verganelakis. 2014. "Report on evaluation of overall plant performance"

45) Panagiotis Grammelis. 2011. "Report on RDF/SRF utilization applications and technical specifications"

46) Panagiotis Vounatsos, Konstantinos Atsonios, Michalis Agraniotis, Kyriakos Panopoulos, Panagiotis Grammelis. 2012. "Report on RDF/SRF gasification properties"

47) Panagiotis Grammelis. 2014. "Report on economic evaluation of gasification concept and comparison with alternatives"

48) Panagiotis Grammelis. 2014. "Report on environmental impact of gasification concept and comparison with alternatives"

49) "Feasibility Study on Agricultural Plastic Waste Management: A sustainable model for Agricultural Plastic Waste management Feasibility and Options in Municipality of Ilida-Western Greece"

50) Efstratios Kalogirou, Athanasios Bourtsalas, Manolis Klados and Nickolas J. Themelis. 2012. "Waste Management in Greece and Potential for Waste-to-Energy". DOI: 10.1007/978-1-4471-2306-4_9,

51) Lucia Rigamonti, Mario Grosso, and Laura Biganzoli. 2012. "Environmental Assessment Of Refuse -Derived Fuel Co-Combustion in a Coal-Fired Power Plant". DOI: 10.1111/j.1530-9290.2011.00428

52) X.B. Wang, L. Zhang, Y.M. Zhu, S.H. Deng, Z.M. Lv, R.H. Ruan, H.Z. Tan. 2019. "A case study of biomass co-firing in a 55 MW pulverized coal fired furnace".

53) Marco J. Castaldi • Nickolas J. Themelis. 2010. "The Case for Increasing the Global Capacity for Waste to Energy [WTE]". DOI 10.1007/s12649-010-9010-1

54) Del Zotto L., Tallini A., Di Simone G., Molinari G., Cedola L. 2015. "Energy enhancement of solid recovered fuel within systems of conventional thermal power generation". doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.102

55) Thierry Lecomte, José Félix Ferrería de la Fuente, Frederik Neuwahl, Michele Canova, Antoine Pinasseau, Ivan Jankov, Thomas Brinkmann, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho .2017. "Best Available Techniques [BAT] Reference Document for Large Combustion Plants". doi:10.2760/949

56) Imrul Kayes, A.H. Tehzeeb. 2009. "Waste to Energy: A Lucrative Alternative"

57) SILVIA BARDI, ALESSANDRO ASTOLFI. 2010. "Modeling and Control of a Waste-to-Energy Plant, Waste-Bed Temperature Regulation". Digital Object Identifier 10.1109/MCS.2010.938099

58) B. M. Gawlik, S. Vaccaro, G. Bidoglio, G. Ciceri. 2006. "Waste Management and Solid Recovered Fuel, Potential in the Enlarged European Union". DOI: 10.2788/44270

59) C.S. Psomopoulos, A. Bourka, N.J. Themelis. 2008. "Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA". doi:10.1016/j.wasman.2008.11.020