



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**«ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΛΙΓΝΙΤΩΝ
ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ ΜΕ ΕΚΛΕΚΤΙΚΗ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΡΕΩΝΑ Κ. ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Δ. ΒΑΜΒΟΥΚΑ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ (επιβλέπουσα)

Μ. ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Δρ. Χ. ΡΟΥΜΠΟΣ

Χανιά
Απρίλιος, 2009

Στους γονείς μου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να διερευνηθεί κατά πόσο ο εμπλουτισμός λιγνίτη που τροφοδοτεί τρεις μεγάλους σταθμούς στην περιοχή της Πτολεμαΐδας στη Δυτική Μακεδονία, ο οποίος περιέχει υψηλά ποσοστά τέφρας και ανθρακικού ασβεστίου, μπορεί να επιφέρει μείωση των εκπομπών CO₂ κατά την καύση.

Εφαρμόστηκε, ως μέθοδος εμπλουτισμού, η Εκλεκτική Ελάττωση Μεγέθους. Αρχικά λήφθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα με τη μέθοδο του τετραμερισμού για τις προσεγγιστικές και ποιοτικές αναλύσεις. Η υπόλοιπη ποσότητα ταξινομήθηκε με τα κόσκινα σε διακριτά κλάσματα από +100mm έως -0.1mm. Εν συνεχεία επιλέχθηκαν, από το εκάστοτε δείγμα (Νοτίου Πεδίου, Αμυνταίου και Καρδιάς), τα κλάσματα τα οποία είχαν περιεκτικότητα σε ποσοστό τέφρας επί ξηρού μικρότερο του 20%.

Το υλικό αυτό θραύτηκε στο σιαγονωτό σπαστήρα με άνοιγμα 3mm και ταξινομήθηκε σε κλάσματα. Ελήφθησαν αντιπροσωπευτικά δείγματα για τις αναλύσεις ποιότητας (προσδιορισμός ποσοστού υγρασίας και τέφρας, προσδιορισμός κατώτερης θερμογόνου δύναμης και έκλυσης CO₂ κατά την καύση).

Τα κριτήρια αξιολόγησης σύμφωνα με τα οποία επιλέχθηκε η βέλτιστη θραύση σε κάθε δείγμα είναι ο Βαθμός Ανάκτησης (πάνω από 80%), ο υψηλός Βαθμός Απόδοσης των ατμοηλεκτρικών σταθμών, η βελτιωμένη κατανομή της τέφρας και το χαμηλό ποσοστό εκπομπών CO₂. Συμπερασματικά, σύμφωνα με τα κριτήρια αυτά, επιλέχθηκαν ως εμπλουτισμένα τα κλάσματα +100 +2mm της αρχικής κατανομής στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου και του Αμυνταίου, καθώς επίσης και το κλάσμα +100 +1mm της αρχικής κατανομής του δείγματος της Καρδιάς, τα οποία εμφανίζουν υψηλό Βαθμό Απόδοσης με τιμές 35.5-36.1%, υψηλό Βαθμό Θερμικής Ανάκτησης (0.93-1.02) και σχετικά χαμηλά ποσοστά τέφρας που κυμαίνονται μεταξύ 18.3% έως 25.0%. Τέλος, παρατηρείται μείωση του ποσοστού εκπομπών CO₂ στα επιλεγμένα μεγέθη και των τριών δειγμάτων. Συγκεκριμένα, το δείγμα του Νοτίου Πεδίου εμφανίζει ποσοστό CO₂ στο επιλεγμένο μέγεθος 1.4%, ενώ στην αρχική κατανομή 1.7%. Στο δείγμα του Αμυνταίου η τιμή του ποσοστού CO₂ στο επιλεγμένο δείγμα είναι 1.3% και στην αρχική κατανομή 1.7%. Τέλος, στο δείγμα της Καρδιάς, οι τιμές αυτές στο εμπλουτισμένο δείγμα και στην αρχική κατανομή είναι 3.6% και 4.4% αντίστοιχα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Δ. Βάμβουκα Καλουμένου για την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής μου, την άψογη συνεργασία και την καθοδήγηση που μου πρόσφερε.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Μ. Γαλετάκη για την πολύτιμη βοήθεια του, καθώς επίσης και τον Δρ. Χ. Ρούμπο για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και για τις χρήσιμες παρατηρήσεις και προτάσεις του.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κ. Καβουρίδη για την συμβολή του στην επιλογή των δειγμάτων, την εποικοδομητική συνεργασία μας, καθώς επίσης, και για την καθοδήγησή του, η οποία ήταν απαραίτητη για την διεκπεραίωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για όλη την ηθική και οικονομική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	iii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	2
2.1 Αέρια ρύπανση από τη χρήση γαιανθράκων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	2
2.1.1 Το CO ₂ ως αέριο του θερμοκηπίου.....	3
2.1.2 Ενεργειακές πολιτικές.....	4
2.1.3 Μέθοδοι περιβαλλοντικού ελέγχου.....	9
2.2 Ελληνικοί γαιάνθρακες.....	17
2.2.1 Ο ρόλος των λιγνιτών στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας μας.....	18
2.2.2 Γένεση, αποθέματα και σύσταση των ελληνικών λιγνιτών.....	21
2.2.3 Η σημασία της ποιότητας των ελληνικών λιγνιτών στη λειτουργία Α.Η.Σ. και τις εκπομπών CO ₂	27
2.3 Η Εκλεκτική Ελάττωση Μεγέθους ως μέθοδος εμπλουτισμού των γαιανθράκων και μείωσης των εκπομπών CO ₂	30
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	33
3.1 Προέλευση και χαρακτηρισμός δειγμάτων.....	33
3.2 Μεθοδολογία εκτέλεσης δοκιμών.....	36
3.2 Φάσεις της πειραματικής διαδικασίας.....	37
3.3.1 Μέθοδος λήψης αντιπροσωπευτικών δειγμάτων.....	37
3.3.2 Εμπλουτισμός δείγματος με τη μέθοδο της Ε.Ε.Μ.....	38
3.3.3 Αναλύσεις ποιότητας του δείγματος.....	40
3.3.3.1 Προσεγγιστική ανάλυση.....	40
3.3.3.2 Στοιχειακή ανάλυση.....	41
3.3.3.3 Χημική ανάλυση τέφρας.....	43
3.3.3.4 Προσδιορισμός θερμογόνου δύναμης.....	45
3.3.3.5 Προσδιορισμός CO ₂ με τη μέθοδο του ασβεστίμετρου.....	46
3.3.3.6 Προσδιορισμός CO ₂ με τη χρήση κλιβάνου.....	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	49
4.1 Ανάλυση Ποιότητας αρχικών δειγμάτων.....	49
4.2 Κοκκομετρική ανάλυση αρχικών δειγμάτων και άμεση ανάλυση ποιότητας των κλασμάτων.....	52
4.3 Εμπλουτισμός δείγματος με τη μέθοδο της E.E.M. και αξιολόγηση τελικών προϊόντων.....	58
4.4 Αποτελέσματα του εμπλουτισμού στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων.....	88
4.5 Κριτήρια αξιολόγησης των αποτελεσμάτων.....	98
4.6 Εκτίμηση κόστους εκπομπών CO ₂ των εμπλουτισμένων.....	108
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	110
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	113
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 (Ενότητα 4.3. Διαγράμματα Αποτελεσμάτων του Εμπλουτισμού με E.E.M.)	115
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 (Ενότητα 4.4. Αποτελέσματα εμπλουτισμού με E.E.M.)	128
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 (Ενότητα 4.5. Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης Α.Η.Σ.)	138

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο άνθρακας αποτελεί την πιο σημαντική ενεργειακή πρώτη ύλη σε παγκόσμιο επίπεδο. Το ύψος και η γεωγραφική τους εξάπλωση των αποθεμάτων των ανθρακικών κοιτασμάτων, καθώς και οι χαμηλές και σταθερές τιμές του άνθρακα, καθιστούν την ενεργειακή αυτή πρώτη ύλη βασικό παράγοντα για την επίτευξη των στόχων της βιώσιμης ανάπτυξης.

Στην Ελλάδα, ο λιγνίτης αποτελεί την κύρια διαθέσιμη και αξιοποιήσιμη εγχώρια πηγή ενέργειας. Το ποσοστό συμμετοχής του λιγνίτη στην συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε 62-65%[1].

Ενδοιασμοί για την χρήση του γαιάνθρακα προέρχονται από τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως του CO₂, που εκλύονται κατά την καύση του στους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, αν εφαρμοσθούν νέες τεχνολογίες καύσης που αυξάνουν την απόδοση του καυσίμου, οι εκπομπές του CO₂ μειώνονται σημαντικά.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να διερευνηθεί κατά πόσο ο εμπλουτισμός λιγνίτη που τροφοδοτεί τρεις μεγάλους σταθμούς στην περιοχή της Πτολεμαΐδας στη Δυτική Μακεδονία, ο οποίος περιέχει υψηλά ποσοστά τέφρας και ανθρακικού ασβεστίου, μπορεί να επιφέρει μείωση των εκπομπών CO₂ κατά την καύση. Μετά από βιβλιογραφική έρευνα, παρατηρήθηκε ότι η Εκλεκτική Ελάττωση Μεγέθους δεν έχει εξετασθεί ξανά στα δείγματα του Νοτίου Πεδίου, της Καρδιάς και του Αμύνταιου.

Για τη διερεύνηση αυτή εφαρμόστηκε η Εκλεκτική Ελάττωση Μεγέθους ως μέθοδος εμπλουτισμού σε δείγματα από την περιοχή της Καρδιάς, του Αμυνταίου και του Νοτίου Πεδίου. Η μέθοδος έγκειται στην εκλεκτική θραύση του δείγματος και στην ταξινόμησή του σε διάφορα κλάσματα. Από τις αναλύσεις ποιότητας (προσεγγιστική ανάλυση, θερμογόνος δύναμη και ποσοστό CO₂) των κοκκομετρικών κλασμάτων σε όλες τις θραύσεις αναμένεται να προκύψουν συμπεράσματα ως προς την αποτελεσματικότητα της μεθόδου για τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τους Α.Η.Σ., διατηρώντας την απόδοση των σταθμών, καθώς επίσης τυχόν οικονομικά οφέλη λόγω της μείωσης του φόρου του CO₂ που καταβάλλει η χώρα μας στην Ε.Ε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Αέρια ρύπανση από τη χρήση γαιανθράκων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σήμερα, ο λιγνίτης είναι το κυριότερο καύσιμο για παραγωγή ηλεκτρισμού αφού συμμετέχει στο 58% του συνόλου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.[2]. Η χρησιμοποίηση των στερεών καυσίμων προς αυτή την κατεύθυνση συνδέεται στενά με την υποβάθμιση του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος [3]. Τα αέρια του θερμοκηπίου συμβάλλουν στις κλιματικές αλλαγές και απειλούν την ανθρώπινη υγεία.[4]

Στις δύο τελευταίες δεκαετίες, η περιβαλλοντική υποβάθμιση έχει γίνει περισσότερο εμφανής λόγω της δραματικής αύξησης των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, της κατανάλωσης, της βιομηχανικής δραστηριότητας και άλλων παραγόντων. Οι συμβατικοί ρύποι, όπως το SO₂, τα NO_x, οι σωματιδιακές εκπομπές και το CO₂, είναι οι κύριοι υπαίτιοι της υποβάθμισης του περιβάλλοντος και παράγονται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Τα κρισιμότερα διεθνώς γνωστά προβλήματα είναι η όξινη βροχή, η μείωση της στοιβάδας του όζοντος στη στρατόσφαιρα και η παγκόσμια κλιματική αλλαγή. [4]

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζει, περιβαλλοντικά, το ποσοστό CO₂ που εκπέμπεται από τους ΑΗΣ που χρησιμοποιούν γαιάνθρακες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, θα αναφερθούν οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για τον περιβαλλοντικό έλεγχο, καθώς επίσης, και οι ενεργειακές πολιτικές που έχουν εφαρμοσθεί παγκοσμίως για τον περιορισμό των ρύπων αυτών.

2.1.1 Το CO₂ ως αέριο του θερμοκηπίου

Ο όρος «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου», χρησιμοποιείται για να εκφράσει το ρόλο του συνόλου των στοιχείων της ατμόσφαιρας που συμβάλλουν στη διατήρηση της επιφάνειας της γης σε θερμή κατάσταση.[4]

Αέρια όπως το CO₂, CH₄, οι χλωρο-φθωρο-υδρογονάνθρακες, τα αλογόνα, το N₂O, το όζον και το υπεροξείδιο του νιτρικού ακετυλίου είναι τα ονομαζόμενα αέρια του θερμοκηπίου και παράγονται από βιομηχανικές και οικιακές δραστηριότητες. Τα αέρια αυτά δεν απορροφούν την ηλιακή αλλά την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης. Έτσι, αιχμαλωτίζοντας τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα, οδηγούν στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.[2]

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το πλέον σημαντικό αέριο μεταξύ των προαναφερθέντων αερίων. Σήμερα, εκτιμάται ότι το CO₂ συνεισφέρει κατά περίπου 50 % στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Θεωρείται δεδομένο ότι η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων αποτελεί την κύρια αιτία της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα[4].

Σύμφωνα με το Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης, κάθε χρόνο εκλύονται στην ατμόσφαιρα περίπου 6Gt άνθρακα με την μορφή CO₂, από τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Τις τελευταίες δεκαετίες, οι εκπομπές αυτές αυξήθηκαν με ρυθμό περίπου 2% ετησίως. Η χρήση των γαιανθράκων ευθυνόταν για το 40% της αύξησης των εκπομπών CO₂, παγκοσμίως, ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά για το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο ήταν 31% και 29%, αντίστοιχα. Στις επερχόμενες τρεις δεκαετίες, το πετρέλαιο θα παράγει το 37% των ενεργειακών εκπομπών CO₂ και οι γαιάνθρακες το 32%, ενώ η συνεισφορά του φυσικού αερίου θα αυξηθεί στο 25%. Συνολικά, αναμένεται να εκλυθούν στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα περίπου 1500GtC.

Τον τελευταίο αιώνα, από την έκλυση των αερίων του θερμοκηπίου η θερμοκρασία της επιφάνειας της γης αυξήθηκε κατά 0.6°C περίπου, γεγονός που συνετέλεσε στην άνοδο της επιφάνειας της θάλασσας μέχρι και 20cm . Πολλοί επιστήμονες προβλέπουν ότι, αν οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου συνεχίσουν να αυξάνονται, η θερμοκρασία της γης μπορεί να αυξηθεί κατά τη διάρκεια αυτού του αιώνα κατά 2°C ακόμα και ίσως και μέχρι 4°C. Αν αυτή η πρόβλεψη επαληθευθεί, το ύψος της επιφάνειας της θάλασσας θα μπορούσε να

αυξηθεί μεταξύ 30 και 60cm πριν από το τέλος του 21^{ου} αιώνα . Ένα τέτοιο φαινόμενο θα μπορούσε να έχει σοβαρές επιπτώσεις σε μεγάλο τμήμα του πλανήτη, όπως πλημμύρες στους παράκτιους οικισμούς, μετατόπιση των εύφορων ζωνών για γεωργικές καλλιέργειες και μειωμένη διαθεσιμότητα νερού για άρδευση και άλλες χρήσεις. [4]

2.1.2 Ενεργειακές πολιτικές

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, οι σκοποί της ενεργειακής πολιτικής, συνοψίζονται στο τρίπτυχο «ασφάλεια της παροχής ενέργειας», «επίτευξη ανταγωνιστικών τιμών και κόστους» και «χρήση της ενέργειας κατά τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον». Ο πρώτος στόχος είναι η αποφυγή των διακοπών παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και η ασφάλεια της παροχής ενέργειας να συμβαδίζει με τη μείωση της εξάρτησης σε εισαγόμενες κύριες ενεργειακές πηγές. Ο δεύτερος στόχος της ενεργειακής πολιτικής είναι η επίτευξη ανταγωνιστικών ενεργειακών τιμών που εκφράζεται ως μία προσπάθεια συγκράτησης του κόστους.

Σύμφωνα με μελέτες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η Ευρωπαϊκή Ένωση, το έτος 2020, θα εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις ενεργειακές της εισαγωγές, και κατά συνέπεια θα είναι ευάλωτη στις διακυμάνσεις και τις αυξήσεις των τιμών. Στην περίπτωση αυτή, η στροφή προς εγχώριες ενεργειακές πηγές μπορεί να συνεισφέρει στην κατεύθυνση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλού κόστους. Επιπρόσθετα, η προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί κύριο στόχο ο οποίος οδηγεί στη συσχέτιση ανάμεσα στις ενεργειακές πολιτικές και τις πολιτικές για την κλιματική αλλαγή. Σήμερα, οι περιβαλλοντικές διαστάσεις της χρήσης της ενέργειας εστιάζουν στον περιορισμό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών είναι μία από τις κύριες δεσμεύσεις πίσω από την στρατηγική βιώσιμης ανάπτυξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σε μία προσπάθεια διαμόρφωσης μίας στρατηγικής στην κατεύθυνση της βιώσιμης παραγωγής ενέργειας στην Ευρώπη, και στη μείωση της στρατηγικής εξάρτησης από τα εισαγόμενα καύσιμα, και ιδιαίτερα από το πετρέλαιο για χρήση στις μεταφορές, τόσο η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, όσο και μεμονωμένα κράτη-μέλη έχουν λάβει διάφορες πολιτικές πρωτοβουλίες.

- **Το πρωτόκολλο του Κιότο και οι δεσμεύσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης**

Η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) και το Πρωτόκολλό της (Πρωτόκολλο Κιότο), αποτελούν το διεθνές πλαίσιο για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.[4]

Η UNFCCC υιοθετήθηκε το Μάιο του 1992 και τέθηκε σε εφαρμογή τον Μάρτιο του 1994. Υποχρέωσε όλα τα μέλη, τα οποία την έχουν προσυπογράψει, να δημιουργήσουν εθνικά προγράμματα για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) στα επίπεδα του 1990, μέχρι το έτος 2000. [4]

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση, συνολικά, έχει δεσμευτεί για την περίοδο 2008-2012 να περιορίσει τις εκπομπές του φαινομένου του θερμοκηπίου (έξι αέρια: CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, SF₆, PFCs) κατά 8% σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπών του έτους 1990[5]. Επιπλέον, οι ΗΠΑ έχουν στόχο να περιορίσουν τις εκπομπές αυτές κατά 7% και η κατά Ιαπωνία 6%. [4].

Το Πρωτόκολλο του Κιότο προβλέπει μία σειρά αγοραίων μηχανισμών, όπως το Εμπόριο Εκπομπών, την από Κοινού Υλοποίηση (JI), και το Μηχανισμό Καθαρής Ανάπτυξης (CDM). Οι μηχανισμοί αυτοί επιτρέπουν στις βιομηχανικές χώρες να επιτύχουν τους στόχους τους, εμπορεύμενες τα δικαιώματα εκπομπών μεταξύ τους και κερδίζοντας πιστώσεις από έργα μείωσης εκπομπών στο εξωτερικό. Η από Κοινού Υλοποίηση αναφέρεται σε χώρες οι οποίες έχουν στόχους μείωσης εκπομπών, ενώ ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης αναφέρεται σε έργα σε αναπτυσσόμενες χώρες, οι οποίες δεν δεσμεύονται από συγκεκριμένους στόχους. Το Συνέδριο του Κιότο θεωρείται μία συντηρητική πρώτη προσπάθεια στο πλαίσιο μίας διεθνούς προσπάθειας για τη σταθεροποίηση του παγκόσμιου κλίματος, όμως πολλά ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα και πολλά προβλήματα παραμένουν άλυτα. Έτσι, καμία από τις κύριες βιομηχανικές χώρες δεν είχε επικυρώσει το Πρωτόκολλο του Κιότο μέχρι το τέλος του 2001. [4].

Σύμφωνα με την κατανομή βαρών μεταξύ των χωρών μελών της Ε.Ε. στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών CO₂, η Ελλάδα δεσμεύτηκε να περιορίσει την αύξηση των εκπομπών στο 25% μέχρι το 2012 σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπών του έτους βάσης 1990. Η Ε.Ε. συνολικά κατάφερε μείωση εκπομπών έως το 2007 κατά 2% σε σχέση με το 1990. [1].

Για να επιτευχθούν οι στόχοι του Κιότο θα πρέπει οι ΗΠΑ και η Κίνα να υιοθετήσουν τα μέτρα που επιβάλλει το πρωτόκολλο, αφού αυτές οι δύο χώρες παράγουν το 41% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂. [1].

- **Πράσινη Βίβλος**

Ως πρώτο βήμα προς μία στρατηγική ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε μία Πράσινη Βίβλο το Νοέμβριο του 1996. Δράση αυτή είχε σα σκοπό το διπλασιασμό της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών στη συνολική παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας, σε επίπεδα της τάξης του 12% μέχρι το 2010. Τον Ιούνιο του 2005, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε μία Πράσινη Βίβλο για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα, η οποία περιλαμβάνει ένα κατάλογο επιλογών για τη μείωση ποσοστού κατά 20% της ενεργειακής κατανάλωσης μέχρι το 2020, κατά τρόπο αποδοτικό από πλευράς κόστους. Η πρωτοβουλία αυτή θα βοηθήσει την Ευρώπη να δημιουργήσει μεγαλύτερη ανάπτυξη και καλύτερες θέσεις εργασίας, καθώς και να φέρει εις πέρας τις υποχρεώσεις της, οι οποίες απορρέουν από τη συνθήκη του Κιότο [4].

- **Λευκή Βίβλος**

Η Λευκή Βίβλος, η οποία υιοθετήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 1997, στοχεύει στην «Κοινοτική Στρατηγική και Σχέδιο Δράσης, Ενέργεια για το Μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας». Οι στόχοι της περιλαμβάνουν την παραγωγή 828PJ βιο-ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2010, δηλαδή ένα δεκαπλασιασμό της δυναμικότητας σε σύγκριση με το 1995 και την αύξηση του μεριδίου της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στο ένα τρίτο. Συνολικά, προβλέπει για το 2010, μία συνεισφορά παραγωγής ενέργειας από βιομάζα της τάξης των 5700PJ (135 Mtoe), δηλαδή έναν τριπλασιασμό του επιπέδου του 1999 [4].

- **Προώθηση της Παραγωγής Ηλεκτρισμού από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**

Η οδηγία γνωστή και ως «Οδηγία RES-E», υιοθετήθηκε το 2001 και έχει σαν στόχο τη δημιουργία ενός πλαισίου για αύξηση του μεριδίου της «πράσινης» ηλεκτρικής ενέργειας από 14% σε 22% της μικτής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη μέχρι το 2010. Με τον τρόπο αυτόν θα συνδράμει στο διπλασιασμό του μεριδίου των πηγών πράσινης ενέργειας από 6 σε 12% της μέσης ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη μέχρι το 2010, και θα βοηθήσει περαιτέρω τη συμμόρφωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις επιταγές του Πρωτοκόλλου του Κιότο, για τη μείωση των εκπομπών GHG. [4]

- **Ευρωπαϊκό Σχέδιο Εμπορίας Εκπομπών**

Η Οδηγία Εμπορίου Εκπομπών, θεσπίστηκε το 2003, για να υλοποιήσει το εσωτερικό σύστημα εμπορίας εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η πρώτη περίοδος εφαρμογής της αφορά τα έτη 2005-2007. Υπό το σχήμα αυτό, τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης θέτουν όρια στις εκπομπές του CO₂ από τις ενεργοβόρες βιομηχανίες, εκδίδοντας δικαιώματα, τα οποία προσδιορίζουν τις ποσότητες CO₂, τις οποίες οι εταιρείες αυτές επιτρέπεται να εκπέμπουν. Οι εταιρείες οι οποίες εκπέμπουν ποσότητες μικρότερες από το όριο που θεσπίστηκε ότι αυτές δικαιούνται, μπορούν να πωλήσουν το πλεόνασμά τους σε εταιρείες οι οποίες υπερβαίνουν τα δικαιωμάτα τους, ή σε βιομηχανίες, για τις οποίες τα μέτρα περιορισμού των εκπομπών είναι ιδιαίτερα δαπανηρά σε σύγκριση με το κόστος αγοράς των δικαιωμάτων. Κάθε εταιρία μπορεί επίσης να αυξήσει τις εκπομπές της πάνω από τα επιτρεπόμενα για αυτήν όρια αγοράζοντας περισσότερα δικαιώματα από την αγορά. Κάθε χώρα έχει καταναείμει αρχικά δικαιώματα εκπομπών σε μονάδες, οι οποίες καλύπτονται από το σύστημα των Εθνικών Σχεδίων Ανάθεσης Δικαιωμάτων. Η δεύτερη περίοδος 2008-2012 εκτιμάται ότι θα καλύψει τους ίδιους τομείς, όπως και η πρώτη, με μειωμένα όμως επίπεδα δικαιωμάτων. Επειδή η πρώτη περίοδος έχει θέσει συντηρητικές απαιτήσεις για τη μείωση εκπομπών στις περισσότερες χώρες, η εκτιμώμενη τιμή δικαιωμάτων εκπομπών ήταν 5-10€ ανά τόνο. Η τιμή των 5€ ανά τόνο σημαίνει μία αύξηση κατά 10% των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας στις Σκανδιναβικές Χώρες. Το καλοκαίρι του 2005, οι τιμές έφθασαν τα

30€ ανά τόνο. Η εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών θα αυξήσει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, και κατά συνέπεια το κόστος όλων των κλάδων, οι οποίοι είναι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, η εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών θα αυξήσει την ανταγωνιστικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες. [4]

- **Προώθηση Συνδυασμένης Παραγωγής Θερμότητας και Ηλεκτρισμού**

Η Οδηγία σχετικά με την προώθηση της συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού, αποσκοπεί στην αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και στη βελτίωση της ασφάλειας της προσφοράς. Για τον σκοπό αυτόν, δημιούργησε ένα πλαίσιο για την προώθηση και ανάπτυξη συστημάτων παραγωγής θερμότητας και ισχύος υψηλής αποδοτικότητας. Το πλαίσιο αυτό θα βασίζεται στη ζήτηση χρήσιμης θερμότητας και την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας στην εσωτερική αγορά, λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές συνθήκες σε κάθε χώρα, και ειδικότερα τις κλιματικές και οικονομικές συνθήκες. Βραχυπρόθεσμα, η πρόθεση της Οδηγίας είναι η υποστήριξη εγκαταστάσεων συμπαραγωγής θερμότητας και ισχύος και η ανάπτυξη της αγοράς σε ένα επίπεδο το οποίο επιτρέπει την εύρυθμη λειτουργία της. Μέχρι το 2010, εκτιμάται ότι η δυναμικότητα των εγκαταστάσεων συμπαραγωγής θερμότητας και ισχύος θα φθάσει τα 20 GWe. Μία τέτοια χρήση της βιομάζας θα δημιουργήσει πιέσεις στη ζήτηση προϊόντων βιομάζας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. [4]

- **Σχέδιο Δράσης για τη Βιομάζα**

Το 2004 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε ένα Σχέδιο Δράσης για τη Βιομάζα που είχε ως στόχο να τεθούν μέτρα για την αύξηση της ανάπτυξης ενέργειας από ξύλο, απόβλητα και αγροτικές καλλιέργειες. Περιλαμβάνει μέτρα για την προώθηση της βιομάζας στη θέρμανση, στην παραγωγή ηλεκτρισμού και στις μεταφορές. Παρά το γεγονός ότι βρίσκονται σε εξέλιξη πολλές πρωτοβουλίες στον τομέα της βιο-ενέργειας στην Ευρώπη, δεν έχουν ακόμα επιτευχθεί οι στόχοι που έχουν τεθεί. Εφόσον η βιο-ενέργεια θεωρείται ως η πλέον σημαντική πηγή ανανεώσιμου καυσίμου στην ΕΕ, πρέπει να αναληφθούν περαιτέρω πρωτοβουλίες στον τομέα της

βιο-ενέργειας, οι οποίες θα επιτρέψουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση να επιτύχει τους στόχους της. [4]

2.1.3 Μέθοδοι περιβαλλοντικού ελέγχου

Η ανάπτυξη καθαρών και αποδοτικών τεχνολογιών καύσης του άνθρακα είναι αναγκαία για την εξασφάλιση της περιβαλλοντικής συμβατότητάς του. Οι καθαρές τεχνολογίες καύσης περιλαμβάνουν:

- Εφαρμογή αντιρρυπαντικών τεχνολογιών για τη μείωση εκπομπών CO₂ .
- Καθαρισμό των αερίων με δέσμευση του CO₂.
- Δέσμευση και αποθήκευση CO₂[1].

- **Εφαρμογή αντιρρυπαντικών τεχνολογιών για τη μείωση εκπομπών CO₂.**

Σκοπός των νέων αυτών τεχνολογιών είναι η μελλοντική αντικατάσταση των συμβατικών μονάδων παραγωγής ενέργειας με νέες, οι οποίες θα είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον και θα εξασφαλίζουν φθηνή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας[5]. Παρακάτω αναφέρονται τρεις αντιρρυπαντικές τεχνολογίες:

1. Υπερκρίσιμες και έξτρα-υπερκρίσιμες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας.

Σήμερα, η απόδοση των συμβατικών μονάδων καύσης άνθρακα κυμαίνεται περίπου μεταξύ 36% και 38%. Πριν από τριάντα χρόνια, υπήρχε η άποψη ότι τα ποσοστά αυτά θα αντιπροσώπευαν τη μέγιστη απόδοση που θα μπορούσε να επιτύχει μια μονάδα καύσης άνθρακα. Όμως, με την εξέλιξη περισσότερων σύνθετων υλικών γίνεται δυνατή η εξέλιξη υπερκρίσιμων τεχνολογιών οι οποίες προσφέρουν μεγαλύτερη απόδοση (πάνω από 45%) και λιγότερες εκπομπές. Ακόμη μεγαλύτερη απόδοση αναμένεται από τις έξτρα-υπερκρίσιμες μονάδες παραγωγής ενέργειας οι οποίες λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις.

Στις περισσότερες χώρες, οι υπερκρίσιμες μονάδες είναι πλέον εμπορικές, με κόστος κεφαλαίου λίγο υψηλότερο από αυτό των συμβατικών μονάδων καύσης άνθρακα και κόστος καυσίμου σημαντικά χαμηλότερο λόγω της αυξημένης απόδοσης. Περισσότεροι από 400 τέτοιοι σταθμοί είναι σε λειτουργία παγκοσμίως. Η Κίνα θέτει ως κριτήριο της εγκατάστασης τέτοιων μονάδων.[6]

2. Ολοκληρωμένη αεριοποίηση συνδυασμένου κύκλου.

Η διεργασία IGCC (ολοκληρωμένη αεριοποίηση συνδυασμένου κύκλου) χαρακτηρίζεται από τέσσερα βήματα:

A) από αντίδραση του γαιάνθρακα σε ατμό σε υψηλής θερμοκρασίας και ένα οξειδωτικό μέσο (οξυγόνο ή αέρα) παράγεται ένα καύσιμο αέριο σε μία αναγωγική ατμόσφαιρα.

B) το αέριο ψύχεται, παράγοντας ατμό, και στην συνέχεια καθαρίζεται για την περαιτέρω απομάκρυνση της σωματιδιακής ύλης και των ενώσεων του θείου και του αζώτου.

Γ) το καθαρό καύσιμο αέριο καίγεται σε μία εγκατάσταση με γεννήτρια αεροστροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Δ) η υπολειμματική θερμότητα στα αέριο εκτόνωσης του αεροστροβίλου ανακτάται σε μια γεννήτρια με ατμό. Ο ατμός αυτός χρησιμοποιείται για την παραγωγή επιπρόσθετης ενέργειας σε μια γεννήτρια στροβίλου ατμού.[2]

Η διεργασία IGCC προσφέρει μία ακόμη προοπτική για μια πιο φιλική προς το περιβάλλον χρήση του γαιάνθρακα. Με πολύ υψηλά επίπεδα απόδοσης, επιτυγχάνει απομάκρυνση των εκπομπών NO_x και SO_x κατά 95-99%. Η περαιτέρω εξέλιξη της διεργασίας αυτής θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στις περιβαλλοντικές επιδόσεις του γαιάνθρακα [9] και θεωρείται μεταξύ των "καθαρότερων" και πιο αποτελεσματικών αντιρυπογόνων τεχνολογιών γαιάνθρακα. [2]

Παγκοσμίως, υπάρχουν 160 μονάδες αεριοποίησης συμπεριλαμβανομένου την Tampa Electric Polk στις ΗΠΑ, την ELCOGAS Puertollano IGCC στην Ισπανία, την Wabash River στις ΗΠΑ και την US DOE στις Η.Π.Α. [6].

Εκτιμάται ότι η χρήση της διεργασίας IGCC σε αεροστροβιλικές μονάδες, μελλοντικά, θα έχει καθαρή απόδοση 56% και θα επιτύχει ακόμα χαμηλότερες εκπομπές CO₂. Επιπροσθέτως, σε ακόμη μεγαλύτερο χρόνο, εκτιμάται ότι η διεργασία αυτή θα είναι η καταλληλότερη για δέσμευση άνθρακα και συνεπώς θα προσφέρει ακόμα χαμηλότερες εκπομπές. [6].

3. Καύση γαιάνθρακα με βιομάζα.

Τα καύσιμα από βιομάζα, όπως κατάλοιπα (π.χ. ζαχαροκάλαμο), είναι διαθέσιμα εποχιακά. Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία την κατασκευή μονάδων που θα καίνε γαιάνθρακα και βιομάζα μαζί όταν αυτή θα είναι διαθέσιμη. Ένα παράδειγμα μονάδας που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από συνδυασμό καύσης γαιάνθρακα και βιομάζας είναι η Belle Vue Plant στην Μαυριτανία.

Η τροποποίηση των συμβατικών μονάδων καύσης άνθρακα ώστε να είναι δυνατή η χρήση βιομάζας σε ποσοστά 10-20%, μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές του θερμοκηπίου.[6]

Συμπερασματικά, ο υψηλός βαθμός απόδοσης σε συνδυασμό με την εγκατάσταση πλήρους αντιρρυπαντικού εξοπλισμού σύγχρονης τεχνολογίας εξασφαλίζει περιβαλλοντικές επιδόσεις ως προς τους συμβατικούς ρύπους, πολύ καλύτερες των υφιστάμενων σήμερα μονάδων.[7]

- **Καθαρισμός των αερίων με δέσμευση του CO₂**

1. Διεργασίες με Αλκαλοαμίνες.

Οι αμίνες MEA και οι DEA αντιδρούν τόσο με το υδρόθειο, όσο και με το CO₂ και θεωρούνται σαν μη εκλεκτικοί χημικοί διαλύτες, ενώ οι τριτογενείς αμίνες MDEA και TEA αντιδρούν πιο αργά με το CO₂ και θεωρούνται περισσότερο εκλεκτικές για απομάκρυνση του υδροθείου. Οι DEA και MDEA προτιμώνται, προς το παρόν, έναντι των MEA επειδή, αν και λιγότερο αντιδραστικές, δεν είναι ευαίσθητες στην αποσύνθεση, όντας σε θέση να απορροφήσουν και άλλες ενώσεις του θείου, ενώ παράλληλα παρουσιάζουν μικρές απώλειες λόγω εξάτμισης και μικρότερες απαιτήσεις απογύμνωσης με ατμό. Οι DGA έχουν την διπλάσια αντιδραστικότητα σε σύγκριση με τις MEA και χαμηλότερο ρυθμό ανακυκλοφόρησης. Ο χαμηλότερος ρυθμός κυκλοφορίας οδηγεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες στην συσκευή απορρόφησης περιορίζοντας τη χρήση των αμινών αυτών σε συγκεντρώσεις όξινων αερίων μικρότερες από 1%. Οι DIPA μπορούν να αφαιρέσουν το CO₂ και είναι εκλεκτικές για απομάκρυνση του H₂S έναντι του CO₂.

Το όξινο αέριο, το οποίο περιέχει H₂S και CO₂, εισέρχεται στη βάση μιας στήλης απορρόφησης και ρέει προς τα πάνω, σε αντιρροή με τον διαλύτη αμινών. Το αέριο

το οποίο έχει υποστεί γλύκανση, ρέει από την κορυφή της στήλης. Το πλούσιο σε αμίνες διάλυμα, η θερμοκρασία του οποίου έχει αυξηθεί λόγω της θερμότητας της αντίδρασης με το H_2S και το CO_2 , υπόκειται σε εναλλαγή θερμότητας με καθαρό διαλύτη, προτού το όξινο αέριο απογυμνωθεί στον αναγεννητή. Η θερμότητα από τον ατμό, ο οποίος συμπυκνώνεται, χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του H_2S και του CO_2 στον αναγεννητή και τα εκλυόμενα όξινα αέρια μεταφέρονται σε ένα σύστημα ανάκτησης θείου. Ο καθαρός διαλύτης αμινών από τον πυθμένα του αναγεννητή ψύχεται (στους 40°C περίπου) και ανακυκλώνεται στη στήλη απορρόφησης.

Για την εφαρμογή τεχνολογιών καθαρισμού των αερίων με δέσμευση του CO_2 σε ελληνικό ΑΗΣ προσομοιώθηκε ένας συμβατικός λιγνιτικός ΑΗΣ μικτής ισχύος 330Mwel, με δυνατότητα μετατροπής, με τεχνολογίες δέσμευσης με αμίνη και καύσης σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου. Ο ΑΗΣ αποτελείται από ατμολέβητα υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών, ατμοστρόβιλο τριών σταδίων πίεσης και προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού από 8 προθερμαντές ατμού. Το καυσάεριο κατά την έξοδό του από τον λέβητα διέρχεται από τον προθερμαντή αέρα και τα ηλεκτροστατικά φίλτρα και οδηγείται σε μονάδα αποθείωσης. Το κόστος των τεχνολογιών δέσμευσης CO_2 το οποίο σχετίζεται με τη μείωση του βαθμού απόδοσης των μονάδων είναι σημαντικό. Για την συγκεκριμένη διαμόρφωση ΑΗΣ η εφαρμογή της τεχνολογίας καύσης σε περιβάλλον οξυγόνου μειώνει το βαθμό απόδοσης κατά 10.3 περίπου εκατοστιαίες μονάδες, ενώ η έκπλυση του καυσαερίου με αμίνες κατά 11.6. [3]

2. Διεργασίες διαλυμάτων αλκαλικών αλάτων.

Η Διεργασία Θερμού Ανθρακικού Καλίου χαρακτηρίζεται ως μια μη εκλεκτική διεργασία. Το πλεονέκτημά της είναι ότι η θερμοκρασία απορρόφησης είναι υψηλότερη από ότι στην διεργασία MEA (110°C), επιτρέποντας να χρησιμοποιηθεί ένα διάλυμα υψηλότερης συγκέντρωσης (περίπου 30-40%) και επιτυγχάνοντας έτσι την αύξηση της συγκέντρωσης του όξινου αερίου, ανά μονάδα όγκου διαλύματος το οποίο κυκλοφορεί. Επιπροσθέτως, επειδή η απορρόφηση διεξάγεται στην ίδια θερμοκρασία με την αναγέννηση, δεν απαιτούνται εναλλάκτες θερμότητας, γεγονός το οποίο μειώνει την κεφαλαιουχική επένδυση.

Η διεργασία επιτελείται καλύτερα υπό πίεση 1.9MPa και οι συγκεντρώσεις όξινου αερίου μεγαλύτερες από 5%, οι οποίες ταιριάζουν καλά με τις συνθήκες αεριοποίησης. Γενικά, μειώνει την περιεκτικότητα του αερίου προϊόντος σε CO₂ και H₂S σε 0.5% και 30ppm, αντίστοιχα. Αν είναι επιθυμητές χαμηλότερες συγκεντρώσεις, χρησιμοποιείται ένας σχεδιασμός δύο σταδίων. Λειτουργικά προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν είναι η διάβρωση, η αποσάθρωση και η αστάθεια της στήλης απορρόφησης.

Η Διεργασία Θερμού Ανθρακικού Καλίου έχει τροποποιηθεί για να συμπεριλαμβάνει χημικούς ενεργοποιητές, οι οποίοι αυξάνουν του ρυθμούς απορρόφησης και μειώνουν περαιτέρω την θερμότητα αναγέννησης και το ύψος της κεφαλαιουχικής επένδυσης.

3. Η Διεργασία Selexol.

Η διεργασία Selexol της εταιρείας Allied Chemical Corporation χρησιμοποιεί ως διαλύτη διμεθυλικό αιθέρα του πολυαιθυλενίου της γλυκόζης και είναι περισσότερο αποτελεσματική σε υψηλή πίεση και χαμηλές θερμοκρασίες, τυπικά στην περιοχή των 3.3-6.7 MPa και 25°C, αντίστοιχα. Η διεργασία αυτή θεωρείται εφαρμόσιμη στην εκλεκτική απομάκρυνση θειωδών αερίων και στη μαζική απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων όξινων αερίων.

Το αέριο τροφοδοσίας περνά μέσα στην μονάδα απορρόφησης, όπου έρχεται σε επαφή με δυο ρεύματα απογυμνωμένου διαλύτη σε αντιστροφή. Το ερχόμενο σε επαφή υγρό εξατμίζεται ακαριαία σε ένα τύμπανο εξάτμισης υψηλής πίεσης και το CO₂ απωθείται από το διάλυμα. Ο διαλύτης θερμαίνεται από εναλλαγή θερμότητας με θερμά προϊόντα του πυθμένα του απογυμνωτή και τροφοδοτείται στον αναγεννητή, όπου απωθούνται οι υπόλοιπες ποσότητες του CO₂ και του H₂S.

Ο θερμός καθαρός διαλύτης ψύχεται από εναλλαγή θερμότητας με την ψυχρή τροφοδοσία του απογυμνωτή και από περαιτέρω εναλλαγή θερμότητας με ύδωρ ψύξης. Στη συνέχεια, τροφοδοτείται στην κορυφή της συσκευής απορρόφησης.

4. Η Διεργασία Rectisol.

Η Διεργασία Rectisol αναπτύχθηκε από την εταιρία Lurgi για την απομάκρυνση H_2S και CO_2 , μαζί με άλλες οργανικές ενώσεις του θείου και βαρείς υδρογονάνθρακες που παράγονται από τη διεργασία αεριοποίησης. Χρησιμοποιεί οργανικούς διαλύτες, κατά προτίμηση μεθανόλη, σε συμβατικές στήλες με δίσκους και πληρωτικά υλικά. Η δυνατότητα διάλυσης των αερίων αυξάνεται όσο η θερμοκρασία μειώνεται, με την αύξηση της μερικής πίεσης στο αέριο τροφοδοσίας και τη μείωση του υπολειμματικού περιεχομένου στον αναγεννημένο διαλύτη. Το σύστημα Rectisol λειτουργεί σε θερμοκρασίες μεταξύ -1°C και -40°C και είναι ελκυστικό για τα όξινα αέρια τα οποία είναι διαθέσιμα σε υψηλές πιέσεις.

Το ακατέργαστο αέριο ψύχεται και στο όξινο αέριο εισάγεται μια μικρή ποσότητα μεθανόλης, για να αποφευχθεί ο σχηματισμός πάγου. Το ακατέργαστο αέριο έρχεται σε επαφή με τον διαλύτη σε αντιστροφή, σε μια στήλη απορρόφησης με δίσκους, όπου εισάγεται στο μέσον ένας μερικά αναγεννημένος διαλύτης και στον κορυφαίο δίσκο ένας πλήρως αναγεννημένος διαλύτης, αμφότεροι σε αντίρροπη ροή. Ο πλούσιος διαλύτης από την στήλη απορρόφησης οδηγείται στην συσκευή αναγέννησης, όπου με ανακύκλωση του διαλύτη αυξάνεται η απομάκρυνση του CO_2 και του H_2S .

5. Η Διεργασία Purisol.

Η Διεργασία Purisol είναι παρόμοια με τη διεργασία Rectisol. Χρησιμοποιεί ως διαλύτη N-μεθυλο 2-πυρρολιδόνη, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για τον καθαρισμό των αερίων σε υψηλή πίεση. Το όξινο αέριο εισέρχεται στον πυθμένα της συσκευής απορρόφησης και ρέει σε αντιστροφή με τον καθαρό διαλύτη, ο οποίος εισέρχεται στην κορυφή. Σε μια συσκευή επαν-απορρόφησης μέτριας πίεσης, τα όξινα αέρια και οι υδρογονάνθρακες εξατμίζονται ακαριαία και έρχονται σε επαφή με έναν ανακυκλούμενο διαλύτη.

Η διεργασία είναι σε θέση να επιτύχει καθαρισμό των αερίων σε επίπεδα CO_2 μικρότερα του 0.1%.

6. Η Διεργασία Fluor.

Η Διεργασία Fluor, της εταιρίας Fluor Company του Los Angeles, χρησιμοποιεί διάφορους διαλύτες για τον καθαρισμό των όξινων αερίων, όπως το ανθρακικό προπυλένιο, ο τριοξικός εστέρας γλυκερόλης, ο οξικός εστέρας της βουτοξυδιαιθυλογλυκόλης και ο οξικός εστέρας της μεθοξυ-τριοξυλογλυκόλης. Οι διαλύτες αυτοί είναι περισσότερο εκλεκτικοί για την απομάκρυνση του CO₂.

7. Διαχωρισμός CO₂ από το καυσαέριο.

Βασικές διεργασίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση του CO₂ από το καυσαέριο σε μεγάλη κλίμακα είναι η απορρόφηση (διαχωρισμός του CO₂ με υγρό διάλυμα σε στήλη απορρόφησης), η προσρόφηση (προσρόφηση του CO₂ σε κάποιο στερεό), οι μεμβράνες (βάσει της διαφορετικής διαπερατότητας των αερίων διαμέσου μεμβρανών) και οι κρυογενετικές τεχνολογίες (ψύξη ή συμπύκνωση του CO₂).

Από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες, μόνο η απορρόφηση είναι εμπορικά ώριμη. Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν υδατικά διαλύματα MEA περιεκτικότητας 15-25% κ.β. για την αποφυγή δημιουργίας συνθηκών διάβρωσης. Κατά τη λειτουργία του συστήματος απορρόφησης CO₂, το εισερχόμενο καυσαέριο στη στήλη απορρόφησης, πρέπει να είναι ελεύθερο αερίων όπως SO₂, O₂, υδρογονανθράκων και σωματιδίων. Το CO₂ απορροφάται από το υγρό διάλυμα στη στήλη απορρόφησης η οποία λειτουργεί σε θερμοκρασία 40-60°C. Το καυσαέριο και το υγρό διάλυμα έρχονται σε επαφή κατ' αντιστροφή. Το καυσαέριο, πριν από την είσοδό του στη στήλη, συμπιέζεται στα 1.3bar και εισέρχεται από το κάτω μέρος. Το στάδιο αναγέννησης του πλούσιου σε CO₂ διαλύματος πραγματοποιείται στους 120-150°C και υπό χαμηλές πιέσεις και έχει στόχο την απομάκρυνση του CO₂ από το διάλυμα απορρόφησης.[8]

- **Δέσμευση CO₂**

Οι τεχνολογίες δέσμευσης του CO₂ από ΑΗΣ, αναμένεται να συνεισφέρουν σημαντικά στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου σε παγκόσμια κλίμακα, λαμβάνοντας υπόψη ότι το παραγόμενο CO₂ από ΑΗΣ αποτελεί περίπου το 1/3 των συνολικών εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Οι κυριότερες τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- Καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου
- Παραγωγή καυσίμου που δεν περιέχει άνθρακα

1. Καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου.

Η καύση του στερεού καυσίμου πραγματοποιείται με καθαρό οξυγόνο και το παραγόμενο καυσαέριο περιέχει κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμό. Με ψύξη των καυσαερίων, το H₂O που περιέχεται στο καυσαέριο συμπυκνώνεται και παράγεται σχεδόν καθαρό αέριο CO₂. Στη συνέχεια αυτό συμπιέζεται και μεταφέρεται στην περιοχή αποθήκευσης. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (Α.Η.Σ), αεροστροβλικές μονάδες και σταθμούς συνδυασμένου κύκλου με αεριοποίηση.

Για την παραγωγή οξυγόνου είναι απαραίτητη η χρήση μονάδας διαχωρισμού του αέρα. Η κρυογενετική μέθοδος είναι η πιο κατάλληλη τεχνολογία για τον διαχωρισμό αζώτου από τον αέρα. Η καύση σε καθαρό οξυγόνο οδηγεί σε μη αποδεκτά υψηλή θερμοκρασία καύσης στην εστία. Για να μειωθεί η θερμοκρασία αυτή, τμήμα του καυσαερίου ανακυκλοφορεί στον θάλαμο καύσης. Σε περίπτωση εφαρμογής της τεχνολογίας αυτής σε υφιστάμενο σταθμό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η θερμοκρασία και η παροχή του καυσαερίου θα πρέπει να διατηρηθούν στα επίπεδα συμβατικής καύσης με αέρα.[8]

2. Παραγωγή καυσίμου που δεν περιέχει άνθρακα.

Ο άνθρακας απομακρύνεται από το καύσιμο προτού αυτό οδηγηθεί σε καύση. Στην τυπική διαδικασία του συνδυασμένου κύκλου, το στερεό καύσιμο κονιοποιείται και διαλύεται στο νερό. Εν συνεχεία το διάλυμα θερμαίνεται με οξυγόνο ή αέρα περίπου στους 1300K και παράγεται ένα αέριο μείγμα που αποτελείται κυρίως από υδρογονάνθρακες και CO. Ακολουθεί η αντίδραση μετατροπής του CO σε CO₂ και νερό. Η αντίδραση αυτή είναι εξώθερμη. Το αέριο καύσιμο που τελικά παράγεται περιέχει H₂ και CO₂. Λόγω της υψηλής μερικής πίεσης του CO₂ στο αέριο μίγμα, η μέθοδος της φυσικής απορρόφησης αποτελεί μια πιθανή λύση για το διαχωρισμό του CO₂ από το H₂ στο αέριο καύσιμο. Μεμβράνες διαχωρισμού του H₂ μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν.[8]

2.2 Ελληνικοί Γαιάνθρακες

Οι ελληνικοί γαιάνθρακες, τύρφη και λιγνίτης, αποτελούν για τη χώρα μας την κυριότερη πηγή ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, οι λιγνίτες συμμετέχουν με ένα ποσοστό 62-65% περίπου στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, από το οποίο το 50-55% περίπου συνεισφέρεται από τη λιγνιτοφόρο λεκάνη της περιοχής της Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου.[5]

Πρόκειται για γαιάνθρακες χαμηλής απόδοσης, αφού ο Ελλαδικός χώρος εξαιτίας της γεωλογικής του ιδιομορφίας δεν επέτρεψε τη δημιουργία παλαιών κοιτασμάτων ορυκτού άνθρακα.[9]. Χαρακτηριστική περίπτωση σε παγκόσμιο επίπεδο αποτελεί το κοίτασμα της Μεγαλόπολης, αφού σε αυτό εξορύσσεται ο φτωχότερος λιγνίτης που χρησιμοποιείται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.[3].

Οι ελληνικές ηπειρωτικές λιμναίες λεκάνες οι οποίες φιλοξενούν λιγνίτη και τύρφη βρίσκονται στην Πτολεμαΐδα, στη Φλώρινα, στη Μεγαλόπολη, στους Φιλλίπους και αλλού. Παράκτιες λεκάνες οι οποίες φιλοξενούν μικρά κοιτάσματα λιγνίτη μικρής οικονομικής σημασίας είναι οι λεκάνες της Δυτικής Πελοποννήσου, της Πρέβεζας και της Ακαρνανίας. Τέλος, φακοειδείς ενστρώσεις λιθάνθρακα μικρού πάχους (έως 1.30m) με περιορισμένο οικονομικό ενδιαφέρον έχουν εντοπισθεί στη Χίο, στην Κεντρική Εύβοια και στη Μονεμβασιά Λακωνίας φακοειδείς ενστρώσεις λιθάνθρακα μικρού πάχους (1.30m) με περιορισμένο οικονομικό ενδιαφέρον.[9].

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα αποθέματά των Ελληνικών λιγνιτών, στη γένεση καθώς και στη σύστασή τους. Αναφορά επίσης θα γίνει στον ρόλο και τη συνεισφορά τους στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Τέλος, θα τονιστεί η σημασία της ποιότητάς τους στη λειτουργία των ΑΗΣ και τις εκπομπές CO₂.

2.2.1 Ο ρόλος των λιγνιτών στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας μας

Για την Ελλάδα ο λιγνίτης αποτελεί στρατηγικής σημασίας καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αφού παρέχει ασφάλεια εφοδιασμού, χαμηλό κόστος ηλεκτροπαραγωγής και σημαντικό αριθμό θέσεων απασχόλησης.[1].

Η Ελλάδα καλύπτει το 65% των συνολικών αναγκών της από εισαγόμενα καύσιμα. Το υπόλοιπο 35% καλύπτεται από την εγχώρια παραγωγή και βασίζεται κυρίως στο λιγνίτη. Η ασφάλεια εφοδιασμού και η ανταγωνιστικότητα της λιγνιτικής κιλοβατώρας καθώς επίσης και το ύψος των εκμεταλλεύσιμων λιγνιτικών αποθεμάτων καθιστούν τον λιγνίτη την πιο σημαντική πρώτη ύλη για την χώρα μας.[1].

Σε ότι αφορά τα ειδικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης εγχώριου λιγνίτη στην Ελλάδα, σε αυτά περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- **Ασφάλεια τροφοδοσίας:** Η ΔΕΗ Α.Ε, η οποία παράγει το 96% του συνόλου της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στην Ελλάδα, έχει εξασφαλισμένη πρόσβαση στο κύριο καύσιμο, αξιόλογη τεχνογνωσία και υποδομή εκμετάλλευσης λιγνιτικών κοιτασμάτων.[1]. Το στοιχείο αυτό προσδίδει μεγάλη οικονομική και πολιτική σημασία στον ελληνικό λιγνίτη, ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη ότι αυτός υπάρχει σε μεγάλη ποσότητα και εξορύσσεται με υπαίθριες εκμεταλλεύσεις και σχετικά εύκολα.[3]

- **Χαμηλό κόστος- ανταγωνιστική λιγνιτική κιλοβατώρα:** το κόστος του λιγνίτη που τροφοδοτείται στις λιγνιτικές μονάδες παραγωγής ενέργειας είναι πολύ χαμηλό λόγω του χαμηλού κόστους εξόρυξης (υπαίθριες εκμεταλλεύσεις) και αμελητέου κόστους μεταφοράς.[1]

- **Σταθερότητα τιμών** έναντι των έντονων διακυμάνσεων των ανταγωνιστικών καυσίμων.[1]. Η δυνατότητα μακροπρόθεσμης πρόβλεψης της τιμής του σε σταθερές τιμές κόστους εξόρυξης του λιγνίτη αυξάνει επιπροσθέτως τη σημασία του όσον αφορά την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας. Αντίθετα η εισαγωγή του πετρελαίου και

του φυσικού αερίου εξαρτώνται από τα δρώμενα στο διεθνές πολιτικοοικονομικό σκηνικό και η τιμή τους αποτελεί έναν άγνωστο παράγοντα, που δυσκολεύει τον οικονομικό σχεδιασμό της χώρας.[3]

- **Απασχόληση- περιφερειακή ανάπτυξη.**[1]. Η αξιοποίηση του κοιτάσματος και η λειτουργία των λιγνιτικών σταθμών στην περιοχή Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου έχουν δημιουργήσει 11.150 θέσεις εργασίας από τις οποίες 9.800 θέσεις αφορούν τακτικό προσωπικό χωρίς να συνυπολογίζονται οι επιπλέον θέσεις εργασίας από τις δορυφορικές επιχειρήσεις, που αναπτύσσονται γύρω από τις δραστηριότητες της ΔΕΗ. Σύμφωνα με απολογιστικά οικονομικά στοιχεία από τη ΔΕΗ αποδίδονται στις τοπικές κοινωνίες που αναπτύσσεται η λιγνιτική δραστηριότητα σε ετήσια βάση πάνω από € 380 δις με τη μορφή μισθών, έργων και τοπικών προμηθειών. Η εισαγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου οδηγεί σε απώλεια θέσεων εργασίας με ιδιαίτερες επιπτώσεις στην περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας μας [3].

- **Τηλεθέρμανση:** στην περιοχή της Πτολεμαΐδας ,τα λιγνιτωρυχεία και οι ΑΗΣ διασφαλίζουν τη δυνατότητα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμικής ενέργειας. Η θέρμανση της Κοζάνης και της Πτολεμαΐδας γίνεται με ζεστό νερό, το οποίο εξασφαλίζεται από τους ΑΗΣ της περιοχής. Έτσι η ΔΕΗ προσφέρει στους κατοίκους της περιοχής φθηνή οικιακή θέρμανση με οικολογικό τρόπο. Επίσης έχουν ολοκληρωθεί οι τροποποιήσεις των εγκαταστάσεων του ΑΗΣ Αμυνταίου- Φιλώτα, για την τηλεθέρμανση του Αμυνταίου. Τέλος σε εξέλιξη βρίσκεται και το έργο της τηλεθέρμανσης της Μεγαλόπολης.[3].

- **Εξοικονόμηση συναλλάγματος:** Η εισαγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου προϋποθέτει τη διαρροή μεγάλων συναλλαγματικών αποθεμάτων. Η χρησιμοποίηση του λιγνίτη υποκαθιστά εισαγόμενα καύσιμα ή ηλεκτρική ενέργεια αξίας περίπου € 1.150 εκ./έτος. Το μέγεθος αυτό από μόνο του προσδιορίζει τη σημασία της λιγνιτικής δραστηριότητας στην ανάπτυξη της Εθνικής οικονομίας.[3]

Είναι γνωστό ότι το ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας παρουσιάζει έλλειψη παραγωγικού δυναμικού. Είναι απαραίτητο για λόγους επάρκειας να ενταχθούν νέες αξιόπιστες μονάδες παραγωγής.

Τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας και η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας-ΑΠΕ (Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί, Αιολικά Πάρκα, Γεωθερμία, Φωτοβολταϊκά Πάρκα) καθώς και οι μεγάλοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί βοηθούν στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Όμως, τα αιολικά πάρκα, που αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των σταθμών ΑΠΕ που αναπτύσσονται στην Ελλάδα, δεν είναι

διαθέσιμα για λειτουργία κατά τις ώρες υψηλού φορτίου του συστήματος, όταν δεν πνέουν άνεμοι και η συμμετοχή της υδροηλεκτρικής παραγωγής στο ενεργειακό ισοζύγιο είναι απόλυτα συνδεδεμένη με τις εκάστοτε κλιματολογικές συνθήκες της χώρας.

Επομένως, αν ληφθεί υπόψη η επάρκεια παραγωγικού δυναμικού και η προοπτική ανάπτυξης των ηλεκτρικών συστημάτων στην ευρύτερη περιοχή, καθώς και η ισχύς των διασυνδέσεων με τις γειτονικές χώρες, οι οποίες θα μπορούσαν να συνεισφέρουν σε περίπτωση μη διαθεσιμότητας των αιολικών αλλά και σε ενδεχόμενες περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας, απαιτείται να αναπτυχθούν παράλληλα και θερμοηλεκτρικές μονάδες, ώστε να καλύπτεται με αξιοπιστία η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα.[7].

Η προοπτική της φθίνουσας πορείας της χρήσης του λιγνίτη, του στρατηγικού καυσίμου από την άποψη της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας, λόγω της εξαντλησιμότητας του, καθιστά αναγκαία την προετοιμασία των περιοχών όπου αυτός εξορύσσεται για τη μετα-λιγνιτική εποχή. Η εισαγωγή του άνθρακα στο ενεργειακό ισοζύγιο αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή για τη συμπληρωματική ενίσχυση της ασφάλειας εφοδιασμού και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ανταγωνιστική με τη χρήση του λιγνίτη. Αντίθετα, ο συμπληρωματικός ρόλος του άνθρακα παρατείνει το χρονικό περιθώριο για την ανάπτυξη άλλων οικονομικών δραστηριοτήτων και την ομαλή μετάβαση σε ένα νέο μοντέλο περιφερειακής ανάπτυξης των λιγνιτικών περιοχών.[7].

Ο σημαντικός και εξισορροπητικός ρόλος του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στη Γερμανία φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα:

Πίνακας 1: Συμμετοχή της εκάστοτε ενεργειακής πρώτης ύλης στο ενεργειακό ισοζύγιο σε Ευρωπαϊκή Ένωση, Ελλάδα και Γερμανία [3] 2004.

Ενεργειακή Πρώτη Ύλη	Ευρωπαϊκή Ένωση (%)	Ελλάδα (%)	Γερμανία (%)
Πυρηνική Ενέργεια	35	-	31
Υδροηλεκτρικά	13	8	4
Πετρέλαιο	7	17	-
Φυσικό Αέριο	14	10	10
Ανανεώσιμες Πηγές	3	0.5	4
Λιγνίτης	11	65	25
Λιθάνθρακας	17	-	26

Είναι εμφανής η σημαντικότητα της συμμετοχής του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η συμβολή του στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας.[3]

2.2.2 Γένεση, αποθέματα και σύσταση των ελληνικών λιγνιτών

Από φυσική άποψη, ο γαιάνθρακας είναι ένα ετερογενές μείγμα οργανικών ενώσεων (C, H, O, S, N), που εμπεριέχει διάφορες ποσότητες ανόργανης ύλης, υγρασίας και αερίων. Από χημική άποψη είναι ένα σύνθετο πολυμερές στερεό. Όσον αφορά τον τρόπο γένεσής του, ο γαιάνθρακας είναι ένα απολίθωμα που σχηματίστηκε από τη συγκέντρωση υπολειμμάτων φυτών, τα οποία τροποποιήθηκαν ως προς την υφή και τη σύνθεσή τους, λόγω της διαγένεσής τους, της ταφής τους και της τεκτονικής δράσης.[2]

Οι γαιάνθρακες ταξινομούνται κατά τύπο, τάξη και βαθμό. Η ταξινόμηση ως προς τον τύπο γίνεται με βάση τις διαφορές των αναλογιών και της κατανομής των οργανικών και ανόργανων ενώσεων που περιέχουν. Η διαφοροποίηση ως προς την τάξη αναφέρεται στο βαθμό ενανθράκωσης που προέκυψε από τη δράση της πίεσης και της θερμότητας κατά το χρονικό διάστημα της ταφής τους έως την εξόρυξή τους. Τέλος, οι γαιάνθρακες ταξινομούνται κατά βαθμό, ανάλογα με την αξία τους για μια συγκεκριμένη χρήση.[2].

Η ταξινόμηση κατά βαθμό και τάξη είναι η εξής:

Τύρφη- Λιγνίτης- Υποασφαλτούχος Γαιάνθρακας- Ασφαλτούχος Γαιάνθρακας- Ανθρακίτης.[2]

Στην Ελλάδα υπήρξαν κατάλληλες συνθήκες για τον σχηματισμό λιγνίτη και τύρφης. Οι λιγνίτες (όπως και οι υποασφαλτούχοι γαιάνθρακες) αναφέρονται ως γαιάνθρακες χαμηλής τάξης, μαλακοί γαιάνθρακες ή φαιάνθρακες.[2] Είναι δηλαδή στερεές ορυκτές καύσιμες ύλες μικρού βαθμού ενανθράκωσης.[9]

Σε κάθε κοιτάσμα λιγνίτη παρατηρείται ότι ο βαθμός ενανθράκωσης είναι κοινός για όλη τη μάζα του κοιτάσματος αλλά υπάρχουν διαφορές ως προς την υφή και το χρώμα. Υπάρχουν δηλαδή λιγνιτικά στρώματα με διαφορετικό λιθότυπο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στη σύνθεση της χλωρίδας, από την οποία προκύπτουν τα φυτικά υπολείμματα, και στις συνθήκες απόθεσης κατά το χρονικό διάστημα δημιουργίας του κοιτάσματος. Έχει υπολογιστεί ότι για να σχηματιστεί 1m λιγνίτη απαιτούνται 1000 έως 4000 έτη.[9].

Στον Ελλαδικό χώρο υπήρξαν από τον Καινοζωικό αιώνα (55.000.000 χρόνια πριν) κατάλληλες συνθήκες σχηματισμού λιγνιτών. Πιο συγκεκριμένα, κατά τον Καινοζωικό αιώνα και προς το τέλος της Νεογενούς περιόδου δημιουργήθηκαν παράκτιες και ηπειρωτικές λεκάνες με συνθήκες κατάλληλες να φιλοξενήσουν μελλοντικούς σχηματισμούς λιγνίτη.

Με την απόσυρση της θάλασσας απέμεναν αβαθή παράκτια έλη τα οποία αποτελούσαν τις παράκτιες λεκάνες. Η βλάστηση που αναπτυσσόταν λόγω του θερμού και υγρού κλίματος συνέβαλε στη λιγνιτοφορία υπό μορφή στρωμάτων όταν οι παλαιογεωγραφικές συνθήκες το επέτρεπαν. Σε αντίθεση με τις παράκτιες λεκάνες, οι ηπειρωτικές σχηματίστηκαν ως τεκτονικές τάφροι στο εσωτερικό της χώρας και πληρώθηκαν με ιζήματα. Λόγω τεκτονικών παραγόντων, μεγάλο μέρος του αρχικού υποβάθρου έμεινε κάτω από το νερό δημιουργώντας λεκάνες οι οποίες γέμισαν από ιζήματα. Οι λεκάνες αυτές μετατράπηκαν περιοδικά σε έλη και όταν οι συνθήκες επέτρεψαν την ανάπτυξη της βλάστησης αναπτύχθηκε λιγνιτοφορία. Τα σημαντικότερα κοιτάσματα αναπτύχθηκαν σε αβαθείς λίμνες και σε έλη κλειστών ενδοηπειρωτικών λεκανών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι λιγνίτες της Πτολεμαΐδας που εμφανίζονται σε λιμναία ή ποτάμια ιζήματα και αποτελούνται κυρίως από αργίλους και μάργες.[9]

Ο σχηματισμός των λιγνιτών χαρακτηρίζεται από την αποσύνθεση της κυτταρίνης και της λιγνίνης καθώς και άλλων υπολειμμάτων των φυτών. Η κυτταρίνη αποτελεί

την σημαντικότερη σκελετική ύλη των φυτών και είναι ένα χημικά σταθερό υδροξείδιο του άνθρακα που μπορεί όμως να ενανθρακωθεί υπό κατάλληλες συνθήκες. Η λιγνίνη δεν υπάρχει σε κατώτερα φυτά και εδώ οφείλεται η αποξήλωση του κυτταρικού τοιχώματος. Η αποσάθρωσή τους οδηγεί στο σχηματισμό χουμικών οξέων τα οποία αποτελούν φορείς των ιδιοτήτων του λιγνίτη και σε αυτά οφείλεται το χρώμα, η οσμή και η υγροσκοπικότητα του. Η διαδικασία μετασχηματισμού κυτταρίνης και λιγνίνης σε χουμικό οξύ ονομάζεται χουμοποίηση. Η διαδικασία χουμοποίησης αποτελείται αρχικά από τη δημιουργία χουμικού οξέως μέσα στο κυτταρικό τοίχωμα και εν συνεχεία από την έξοδό του από αυτό.

Καθοριστικό ρόλο στο σχηματισμό των λιγνιτών παίζει το είδος των φυτών, το κλίμα, η θερμοκρασία και το pH του νερού.[9].

Αποθέματα λιγνιτών στην Ελλάδα

Όπως προαναφέρθηκε, τα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα που διαθέτει η Ελλάδα ανήκουν στην κατηγορία των φτωχών κοιτασμάτων, όπως είναι ο λιγνίτης και η τύρφη. Η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του εξορυσσόμενου λιγνίτη κυμαίνεται από 900kcal/kg (στη Μεγαλόπολη) έως 2.330kcal/kg (στη Φλώρινα). Η αξιοποίηση των κοιτασμάτων αυτών έχει συμβάλλει αποφασιστικά στην ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας μας.

Με τα σημερινά οικονομικοτεχνικά δεδομένα και με βάση τις μέχρι τώρα κοιτασματολογικές έρευνες, τα κοιτάσματα τα οποία πληρούν τις προδιαγραφές για ενεργειακή εκμετάλλευση ανέρχονται περίπου σε 3.2δισ τόνους και ισοδυναμούν με 450εκ τόνους πετρελαίου[10].

Μέχρι το τέλος του 2008 σήμερα έχουν εξορυχτεί 1.707 εκ. τον. λιγνίτη από τα ορυχεία της ΔΕΗ. Πιο συγκεκριμένα, από τα ορυχεία της Δυτικής Μακεδονίας εξορύχτηκαν 1332εκ. τον., 357εκ. τον. από τα ορυχεία της Μεγαλόπολης και 18.6εκ. τον. από τα ορυχεία του Αλιβερίου.[3].

Σύμφωνα με το Ι.Γ.Μ.Ε (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) το 80 % των λιγνιτικών αποθεμάτων βρίσκονται στη Β. Ελλάδα.[11]. Συγκεκριμένα στην τεκτονική τάφρο που αναπτύσσεται στον άξονα Φλώρινα – Πτολεμαΐδα – Κοζάνη – Ελασσόνα είναι συγκεντρωμένο το 64% του συνολικού αποθέματος.[3]. Αναλυτικότερα, το κοίτασμα λιγνίτη στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας (Πτολεμαΐδα – Αμύνταιο - Φλώρινα) ανέρχεται στους 1.8δισ τόνους[10]. Η

θερμογόνος δύναμη του κοιτάσματος της Πτολεμαΐδας κυμαίνεται μεταξύ 1250-1400kcal/kg, του Αμύνταιου μεταξύ 900-1000Kcal/Kg και της Φλώρινας μεταξύ 1800-2300kcal/kg. [10]

Επιπρόσθετα, στην λεκάνη της Μεγαλόπολης έχουν εντοπισθεί κοιτάσματα φτωχού λιγνίτη της τάξεως των 500 εκ. τον. και τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 264 εκ. τον. Επιπλέον, στην ευρύτερη περιοχή της Δράμας (Α. Μακεδονία) εντοπίσθηκε εκμεταλλεύσιμο απόθεμα 900 εκ. τον., με θερμογόνο δύναμη 1.030kcal/kg και στην περιοχή της Ελασσόνας (Θεσσαλία) απόθεμα 150 εκ. τον. με θερμογόνο δύναμη 2.050kcal/kg. Τέλος, είναι άξιο αναφοράς το κοίτασμα τύρφης και τυρφολιγνίτη των Φιλίππων με απόθεμα 4.3 δις κυβικών μέτρων.[3].

Από τα υπαιθρίως απολήψιμα αποθέματα, το 75% των εξορυσσόμενων καταναλώνεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ένα πολύ μικρό ποσοστό της τάξης του 5.5% διατίθεται για εξωηλεκτρικές χρήσεις όπως λιγνιτόπλινθοι, αζωτούχα λιπάσματα, λιγνιτόσκονη κ.α. [9]. Τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη επαρκούν για να τροφοδοτήσουν τις εγκατεστημένες μονάδες περίπου για 45 ακόμη χρόνια στη Δυτική Μακεδονία και για 25 ακόμη χρόνια στη Μεγαλόπολη. [11]

Χημικά συστατικά

Ο γαιάνθρακας περιγράφεται ως μια μακρομοριακή ένωση, η οποία αποτελείται από συναφή πολυμερή με μεγάλο αριθμό βασικών μονάδων (μέσου μοριακού βάρους ~ 400), τυχαία κατανομημένο στη μακρομοριακή δομή. Κάθε μόριο αποτελείται από αρωματικά, υδροαρωματικά, αλειφетικά κτλ συστατικά και διαφέρει σε μέγεθος και εσωτερική διάρθρωση. Ο λιγνίτης αποτελείται κυρίως από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο και δευτερευόντως από θείο, άζωτο, πυρίτιο, αργίλιο, σίδηρο, κάλιο, νάτριο, μαγνήσιο, χαλκός, ασβέστιο και τιτάνιο. Η σύνδεση των χημικών αυτών συστατικών οδηγεί στη δημιουργία οργανικών και ανόργανων ενώσεων. Το οργανικό τμήμα αποτελείται από πολυμερή των C, H, O με μικρές ποσότητες S και N. Το ανόργανο τμήμα αποτελείται από ενώσεις των υπόλοιπων στοιχείων, είτε μεταξύ τους είτε με τον άνθρακα και το υδρογόνο.

Οι επικρατέστερες οργανικές ομάδες είναι αυτές που περιέχουν οξυγόνο και η συμμετοχή τους καθορίζεται από την περιεκτικότητα του λιγνίτη σε άνθρακα.

Ειδικότερα περιέχονται φαινόλες, αλκοόλες, αιθέρες, καρβοξυλικά οξέα και καρβονύλια.

Στους λιγνίτες τα συχνότερα ανόργανα συστατικά που παρατηρούνται είναι το πυρίτιο, αργίλιο, ασβέστιο, σίδηρος, μαγνήσιο, νάτριο, κάλιο, τιτάνιο και θείο, με τις μορφές ιλλίτη, καολινίτη, πυρίτη, δολομίτη, ασβεστόλιθου, ανκερίτη και χαλαζία.

Στον Πίνακα 2 αναφέρεται η τυπική σύνθεση τέφρας λιγνιτών

Πίνακας 2: Τυπική σύνθεση τέφρας λιγνιτών .[2]

Συστατικό	% κ.β. στην τέφρα
SiO ₂	30.86
Fe ₂ O ₃	6.35
Al ₂ O ₃	13.76
TiO ₂	0.70
CaO	32.65
MgO	6.32
SO ₃	7.48
Na ₂ O	0.77
K ₂ O	0.77

1. Πετρογραφικά Συστατικά

Μακροσκοπικά οι γαιάνθρακες διακρίνονται στους χουμικούς και στους σαπροπηλιτικούς.[7]

Οι λιγνίτες έχουν φαιό χρώμα, είναι μαλακοί και θαμποί. Εμφανίζονται σε σαπροπηλιτική ή, συχνότερα, σε χουμική μορφή με αναγνωρίσιμα τεμάχια ξύλου, φύλλων και άλλων φυτικών υλών σε μια λεπτότερη κοκκώδη οργανική μήτρα.[7]. Κατά την αποκάλυψή τους ραγίζουν και θρυμματίζονται εύκολα εξαιτίας της ξήρανσής τους.[1]. Οι λιγνίτες περιγράφονται πολύ δύσκολα μακροσκοπικώς αφού το χρώμα και η λάμψη τους διαφέρει ανάλογα με τον βαθμό ξήρανσής τους. Βάση του χρώματος και της υφής τους ταξινομούνται σε:

(α) ξυλιτικούς (xylitic)

(β) αττριτικούς (attritic)

(γ) φουσιτικούς (fusitic)

(δ) ορυκτοποιημένους (mineralized)

Στο μικροσκόπιο, οι λιθότυποι του γαιάνθρακα φαίνονται σαν σύνθετα συνανθροίσματα ξεχωριστών οντοτήτων, που αντιπροσωπεύουν τα ανθρακοποιημένα υπολείμματα των διαφόρων φυτικών ιστών. Οι οντότητες αυτές ονομάζονται φυτόκλαστα και εμφανίζουν διαφορές στη μορφή, τις οπτικές ιδιότητες σε ανακλώμενο φως, την χημική τους σύνθεση[7], την σκληρότητα, καθώς και στην τεχνολογική τους συμπεριφορά κατά την χρήση του λιγνίτη[1]. Στο σύστημα Stopes-Heerlen, τα θεμελιώδη μικροσκοπικά συστατικά των λιγνιτών διακρίνονται στις παρακάτω ομάδες:

- Ομάδα Χουμίτη (Huminit).
- Ομάδα Λιπτινίτη (Liptinit).
- Ομάδα Ινερτινίτη (Inertinit).
- Ομάδα Τελινίτη (Telinit).

Οι ομάδες του Λιπτινίτη, Ινερτινίτη και του Τελινίτη επηρεάζουν σε πολύ μικρό βαθμό τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των λιγνιτών και δεν εμφανίζουν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις.[1]. Οι λιγνίτες είναι πλούσιοι σε φυτόκλαστα της ομάδας του χουμίτη. Πετρογραφικές μελέτες έδειξαν ότι ο λιγνίτης χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλες ποσότητες (82.8% κ.ο.) φυτοκλάστων της ομάδας του χουμίτη, μεσαίες ποσότητες (11.9% κ.ο.) της ομάδας φυτοκλάστων του λιπτινίτη και μικρές ποσότητες (5.3% κ.ο.) της ομάδας φυτοκλάστων του ινερτινίτη. Στην πρώτη ομάδα, ο ντενζινίτης, ο ατρινίτης και ο ουλμινίτης αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων.[7].

2. Οργανική ύλη ή καύσιμη ύλη: αποτελείται από τα πτητικά συστατικά και το μόνιμο άνθρακα και η σύστασή καθώς και η δομή της εξαρτώνται από τη σύσταση των φυτοκλάστων.

3. Τέφρα: διακρίνεται σε τρία είδη τέφρας. Στην πρωτογενή ή συγγενετική τέφρα που περιλαμβάνει όλα τα ανόργανα συστατικά των φυτικών υπολειμμάτων και δεν μπορεί να διαχωριστεί από το λιγνίτη και στην δευτερογενή ή επιγενετική τέφρα η οποία αναφέρεται στα ανόργανα συστατικά που προήλθαν από εξωτερικούς παράγοντες και εναποτέθηκαν με τα φυτικά υπολείμματα ή εισχώρησαν σε αυτά.

Τέλος, διακρίνεται και στην τέφρα εκμετάλλευσης που αναφέρεται στο ανόργανο υλικό που συνεξορύσσεται με το λιγνίτη.

Τα βασικά συστατικά του λιγνίτη συνδέονται με την εξής σχέση:

$$\text{Καύσιμη ύλη (\%)} + \text{Υγρασία (\%)} + \text{Τέφρα (\%)} = 100 [1]$$

2.2.3 Η σημασία της ποιότητας των ελληνικών λιγνιτών στη λειτουργία ΑΗΣ και τις εκπομπές CO₂

Η σύνθεση και οι ιδιότητες του γαιανθράκων καθώς και η ποιότητα αυτών επηρεάζει άμεσα τις διεργασίες καύσης του. Στην περίπτωση του λιγνίτη, η θερμαντική αξία, η περιεκτικότητα σε υγρασία και τέφρα καθώς επίσης και η περιεκτικότητα σε πτητικά επηρεάζει τον σχεδιασμό των ΑΗΣ, την απόδοση των καυστήρων και των συστημάτων περιβαλλοντικού ελέγχου.[2].

Αναλυτικότερα, η συμβολή των προαναφερθεισών παραμέτρων στη λειτουργία των ΑΗΣ παρουσιάζεται παρακάτω:

- **Περιεκτικότητα σε υγρασία (%).** Η υγρασία περιέχεται στους λιγνίτες είτε με τη μορφή ενύδρων είτε είναι προσροφημένη στους πόρους. Μπορεί να είναι φυσική, δηλαδή να αποτελεί συστατικό του λιγνίτη, ή να είναι ξένη και να προέρχεται από εξωτερικούς παράγοντες όπως ρεύματα νερού, βροχές, συμπυκνώσεις υδρατμών κ.α. [9].

Οι ελληνικοί λιγνίτες έχουν υψηλό ποσοστό υγρασίας που κυμαίνεται μεταξύ 56% και 62%.[9]. Η υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα πάγου στα συστήματα διανομής, αποθήκευσης και διαχείρισης, σε περιοχές με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και το κόστος μεταφοράς. Επομένως, καθιστά αναγκαία μια υψηλή θερμοκρασία πρωτογενούς αέρα για ξήρανση στους μύλους, περιορίζει τους ρυθμούς τροφοδοσίας των συσκευών κοινοποίησης και επιδρά στην αλεσιμότητα του λιγνίτη. Επιπλέον, η υγρασία μειώνει την θερμοκρασία των αερίων καύσης, αυξάνει τον όγκο και την ταχύτητα του απαερίου και μεταφέρει την χρήσιμη θερμότητα. Επομένως, απαιτούνται μεγαλύτεροι καυστήρες σε σχέση με αυτούς που χρησιμοποιούν γαιάνθρακα με μικρότερο ποσοστό υγρασίας.[2].

- **Περιεκτικότητα σε τέφρα (%).** Η τέφρα είναι το ανόργανο μέρος του λιγνίτη που μένει ως υπόλειμμα μετά την τέλεια καύση του λιγνίτη υπό καθορισμένες

συνθήκες. Οι ενδιάμεσες στείρες ενστρώσεις που συνεξορύσσονται με το λιγνίτη είναι υπεύθυνες για την ύπαρξη της τέφρας. Ένα μικρό ποσοστό της τέφρας μπορεί να οφείλεται στην ύπαρξη απολιθωμάτων κελυφών.[1].

Η ύπαρξη υψηλού ποσοστού τέφρας συνεισφέρει στις εκπομπές των καπνοδόχων λόγω της εκπομπής ιπτάμενης τέφρας και αέριων ρύπων, μειώνει τη μεταφορά θερμότητας στον κλίβανο, τροποποιεί την ροή των αερίων και επικάθεται σε επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας θέτοντας σε κίνδυνο το σύστημα καύσης λόγω των έντονων φαινομένων διάβρωσης.[2]. Ακόμη, επιβαρύνει τις εγκαταστάσεις πρόθραυσης και άλεσης, δημιουργεί φθορές στους μύλους, απαιτεί λεπτομερέστερη άλεση για αποδοτική καύση και απάγει θερμότητα από τις εστίες καύσης.[9]. Επιπροσθέτως, η επικάθισή της σε σωληνώσεις του κλιβάνου προξενεί αύξηση της θερμοκρασίας των απαγομένων απαερίων και άτακτα υψηλές θερμοκρασίες ατμού στον υπερθερμαντήρα. Επίσης, οι επικαθίσεις στα τοιχώματα μεταγωγής θερμότητας μειώνει την διάμετρό τους προκαλώντας αύξηση της ταχύτητας των αερίων και επιτάχυνση της διάβρωσής τους. Εν τέλει, οι επικαθίσεις της τέφρας μειώνουν την ισχύ της μονάδας, αυξάνουν το κόστος συντήρησης και το κεφαλαιουχικό κόστος των νέων μονάδων και άρα το τελικό κόστος της παραγόμενης ενέργειας.[2].

- **Περιεκτικότητα σε πτητικά (%).** Τα πτητικά είναι μέρος των λιγνιτών που απελευθερώνονται κατά τη θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες, απουσία αέρα, ως ατμός ή αέριο, κάτω από προκαθορισμένες συνθήκες.

Στους ελληνικούς λιγνίτες, η παρουσία πτητικών είναι σημαντική για τον έλεγχο του καπνού και της ανάφλεξης[2]. Η ύπαρξή τους βοηθά στην έναρξη της καύσης στους λέβητες καθώς και στην ταχύτερη ανάφλεξη σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.[9]. Επιπλέον η παραγωγή πτητικών είναι σημαντική για την σταθεροποίηση της φλόγας.[2]. Ο συνδυασμός υψηλού ποσοστού πτητικών με χαμηλή τέφρα μείνει τις απαιτήσεις για πολύ λεπτομερή άλεση του υλικού. [9].

- **Μόνιμος άνθρακας (%).** Ως μόνιμος άνθρακας ορίζεται:

Μόνιμος άνθρακας (%) = $100 - [\text{υγρασία (\%)} + \text{πτητικά (\%)} + \text{τέφρα (\%)}]$
και αποτελεί μαζί με τα πτητικά το καύσιμο μέρος του λιγνίτη. [9].

- **Θερμαντική αξία.** Οι γαιάνθρακες χαμηλής τάξης, όπως και οι ελληνικοί λιγνίτες, έχουν μικρή θερμαντική αξία. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε σημαντική αύξηση της ποσότητας του καυσίμου που θα καεί για να διατηρηθεί σταθερός ο απαιτούμενος ρυθμός παραγωγής ατμού ή ηλεκτρικής ενέργειας. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού απαιτείται αύξηση του αριθμού και του μεγέθους των μύλων, καθώς και η αύξηση του μεγέθους του κλιβάνου και όλου του βοηθητικού εξοπλισμού. Η αύξηση του όγκου του καυσίμου προξενεί αύξηση της φθοράς των μηχανικών τμημάτων λόγω αποξέσεων και μεγαλύτερες ποσότητες ιπτάμενης τέφρας, επιβαρύνοντας την απόδοση των ηλεκτροστατικών συσκευών καθίζησης και των συστημάτων διαχείρισης ιπτάμενης τέφρας. [2]

Παρακάτω, γίνεται αναφορά, στον Πίνακα 3, στις τυπικές τιμές υγρασίας, τέφρας, πτητικών, μόνιμου άνθρακα, θερμαντικής αξίας και των τελευταίων χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα λιγνιτικού κέντρου στην Δυτική Μακεδονία. Επίσης, στον Πίνακα 4, παρουσιάζονται τα ποσοστά συμμετοχής των κύριων συστατικών στην τέφρα, στους λιγνίτες της περιοχής της Πτολεμαΐδας και της Φλώρινας. Τέλος, στον Πίνακα 5, γίνεται αναφορά στις τυπικές τιμές Κ.Θ.Δ. και ποσοστού τέφρας επί φυσικού (%) σε ελληνικά κοιτάσματα λιγνιτών.

Πίνακας 3 : Τυπικές τιμές υγρασίας, τέφρας, πτητικών, μόνιμου άνθρακα, θερμαντικής αξίας και των τελευταίων χημικών αναλύσεων, που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα λιγνιτικού κέντρου στην Δυτική Μακεδονία.[12]

Τοποθεσία λιγνίτη	Υγρασία (%)	Πτητικά (%)	Μόνιμος άνθρακας (%)	Τέφρα (%)	C (%)	H (%)	N (%)	S _T (%)	O (%)	Θερμαντική αξία Kcal/Kg
Πτολεμαΐδα	43.4-60.6	8.9-33.1	7.3-26.9	6.7-24.6	9.4-36.0	0.8-3.1	0.1-0.4	0.2-0.8	5.4-19.8	1150-1400
Φλώρινα	38.1-43.8	15.4-44.0	10.2-29.1	9.9-28.4	16.0-45.9	1.3-3.7	0.1-0.3	0.4-1.2	7.7-22.0	1700-2300

Πίνακας 4 : Διακύμανση συγκέντρωσης των κύριων συστατικών (%) στην τέφρα.[12]

Τοποθεσία λιγνίτη	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
Πτολεμαΐδα	9.1-55.3	8.1-24.3	0.4-1.1	5.3-10.1	20.1-56.4	2.2-8.8	0.0-0.7	0.8-1.9	<0.1-0.6	0.8-21.4
Φλώρινα	26.0-48.2	12.5-26.1	0.6-1.1	10.0-11.1	6.9-32.6	2.8-3.2	<0.1-0.1	0.3-0.6	0.3-0.6	2.9-12.9

Πίνακας 5 : Τυπικές τιμές Κ.Θ.Δ. και ποσοστού τέφρας επί ξηρού (%) σε ελληνικά κοιτάσματα λιγνιτών.

Κοίτασμα	Απόθεμα (Mt) [12] 2005	Υγρασία (%)	Τέφρα 'επί φυσικού' (%)	Κ.Θ.Δ. (kcal/kg)
Πτολεμαΐδα	1900	50-60	35	1370
Αμύνταιο		55	35	1250
Καρύταινα	71.8	64.2	13.5	870
Θωκνία	70.1	60.0	16.7	960
Μαραθούσα	29.6	58.4	17.8	995
Χωρέμι	308.6	60.3	14.5	1060

2.3 Η Εκλεκτική Ελάττωση Μεγέθους ως μέθοδος εμπλουτισμού των γαιανθράκων και μείωσης των εκπομπών CO₂

Τα ελληνικά κοιτάσματα λιγνίτη αποτελούνται από πολλαπλά στρώματα ιζημάτων λεπτού πάχους. Τα στρώματα αυτά αποτελούνται από ασβεστόλιθο, με αποτέλεσμα ο λιγνίτης να έχει υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα και χαμηλή θερμογόνο δύναμη. Λόγω της φτωχής του ποιότητας κρίνεται ακατάλληλος για καύση και απορρίπτεται. Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο 10εκ. τον. από το εσωτερικό υλικό απορρίπτεται. Ο μέσος όρος αξίας της εκμετάλλευσης που χάνεται από κάθε στρώση είναι 20%.

Η μέθοδος Ε.Ε.Ε. χρησιμοποιείται ευρέως για την μείωση της ποσοστιαίας αναλογίας της τέφρας στους γαιάνθρακες. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή μετρώνται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των κλασμάτων πριν και μετά τη θραύση. Η γνώση της μεταβολής τους οδηγεί σε αποτελέσματα, σύμφωνα με τα οποία κρίνεται η καταλληλότητα ή μη των εμπλουτισμένων κλασμάτων για καύση σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.[14]

Σύμφωνα με τη μέθοδο της Εκλεκτικής Ελάττωσης Μεγέθους (ΕΕΜ) ,το δείγμα θραύεται αρχικά σε σπαστήρα ανοίγματος 5mm, ταξινομείται σε καθορισμένης κοκκομετρίας κλάσματα και γίνονται οι ποιοτικές αναλύσεις. Στη συνέχεια γίνεται η δεύτερη θραύση σε άνοιγμα 3mm του σπαστήρα και με την μέθοδο της κοσκίνισης

ταξινομείται το υλικό σε κλάσματα. Πραγματοποιείται και πάλι ανάλυση ποιότητας στα κλάσματα και γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά που προέκυψαν αρχικά.

Γενικά η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει διαδικασίες θραύσης και άλεσης, οι οποίες δημιουργούν στο υλικό καινούργια επιφάνεια. Παράλληλα με τον υποβιβασμό του μεγέθους των σωματιδίων του λιγνίτη, επιτυγχάνεται και αποδέσμευση των σωματιδίων διαφορετικής προέλευσης. Η ελάττωση του μεγέθους λαμβάνει χώρα σε περισσότερα του ενός στάδια. Αρχικά επιδιώκεται ένα μέγεθος υλικού που να μπορεί να μεταφέρεται σε μεταφορικές ταινίες, ενώ στα ενδιάμεσα στάδια επιχειρούνται μεγέθη που να καλύπτουν τις προδιαγραφές του προϊόντος. Κατά την ελάττωση του μεγέθους γίνεται σταδιακή θραύση του στιλπνού και θαμπού υλικού. Το στιλπνό υλικό αντιστέκεται στις δυνάμεις θραύσης ενώ το θαμπό θραύεται εύκολα σε μικρά τεμάχια. Επομένως, κατά τη σταδιακή και ελεγχόμενη εφαρμογή ενέργειας θραύσης, τα λεπτότερα κλάσματα είναι εμπλουτισμένα σε ανόργανα συστατικά, με αποτέλεσμα μια κατάλληλα ελεγχόμενη διαδικασία ελάττωσης του μεγέθους να μπορεί να οδηγήσει σε μια αύξηση των προσμίξεων από τα χονδρόκοκκα προς τα λεπτόκοκκα.

Η επιλογή του βέλτιστου μεγέθους αποδέσμευσης βασίζεται στην προέλευση και στη σύσταση του υλικού και του επιθυμητού διαχωρισμού του λεπτόκοκκου από το χονδρόκοκκο κλάσμα. Κριτήρια επιλογής του μεγέθους διαχωρισμού αποτελούν το μέγεθος του υλικού από το οποίο αρχίζει η αποδέσμευση του ανόργανου μέρους, η ποσοστιαία κατανομή του ανόργανου αυτού μέρους σε κάθε κλάσμα μεγέθους σε σχέση με το κλάσμα βάρους του μεγέθους του και τέλος, η οικονομικότητα της ελάττωσης μεγέθους στη συγκεκριμένη περιοχή μεγεθών.

Οι ενεργειοβόρες διαδικασίες της θραύσης και της άλεσης, στις βιομηχανίες, είναι απαραίτητες αφού έχουν να επιτελέσουν διπλό ρόλο, τόσο στην ελάττωση του μεγέθους όσο και στον εμπλουτισμό συγκεκριμένων κλασμάτων. Ιδιαίτερη σημασία αποκτούν εξαιτίας του γεγονότος ότι το κόστος τους ξεπερνά το μισό κόστος της συνολικής διεργασίας εξόρυξης, διαχωρισμού και μεταφοράς του υλικού.[9]

Η τεχνική EEM υιοθετήθηκε με στόχο να ερευνηθεί η πιθανότητα ανάκτησης καύσιμων υλικών από τα απορρίμματα, σε μια προσπάθεια να αυξηθούν τα εκμεταλλεύσιμα ενεργειακά αποθέματα. Η αλλαγή των ποιοτικών χαρακτηριστικών των κλασμάτων, που προήλθε από την εφαρμογή της τεχνικής αυτής, δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την καταλληλότητα των κλασμάτων αυτών για καύση σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την πιθανότητα της εκμετάλλευσης

των απορριμμάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το κλάσμα $-1.6 +1\text{mm}$, που προέκυψε από την θραύση του υλικού σε άνοιγμα 3mm του σιαγονωτού σπαστήρα, με ανάκτηση 70% , έχει αποδεκτή ποιότητα ώστε να χρησιμοποιηθεί για καύση σε συγκεκριμένα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το απόρριμμα (-1mm) είναι κατάλληλο για χρήση στην τσιμεντοβιομηχανία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

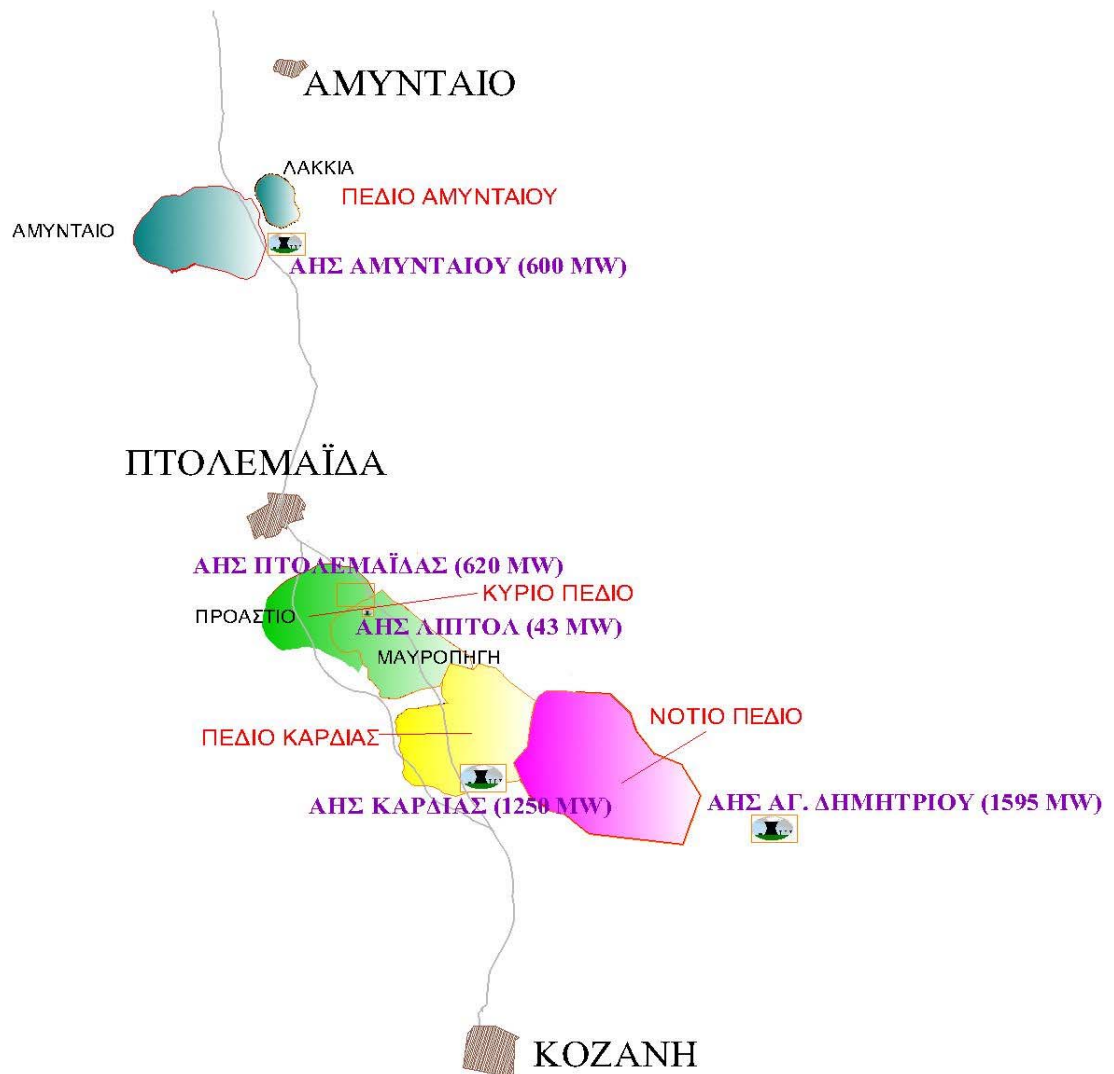
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Προέλευση και χαρακτηρισμός δειγμάτων

Τα δείγματα της παρούσας εργασίας συλλέχθηκαν από τρεις διαφορετικές περιοχές της ευρύτερης περιοχής της Πτολεμαΐδας. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκαν τρία δείγματα των 20kg περίπου το καθένα, από την αυλή ομογενοποίησης, στην περιοχή της Καρδιάς, του Αμυνταίου και του Νότιου Πεδίου.

Η λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων για τον χαρακτηρισμό τους έγινε με τη βοήθεια διαχωριστή Jones (rifler), καθώς και με τη μέθοδο του τετραμερισμού.

Ο χαρακτηρισμός των δειγμάτων έγινε με βάση την προσεγγιστική ανάλυση (προσδιορισμός της υγρασίας (%), της τέφρας επί ξηρού (%) και της καύσιμης ύλης(%)), τη στοιχειακή ανάλυση (προσδιορισμός C,H,N,S), τον προσδιορισμό της θερμογόνου δύναμης και της έκλυσης CO₂ (%) και τη χημική ανάλυση τέφρας (μέθοδος ED.XRF).



Σχέδιο 3.1: Θέση λιγνιτικών ορυχείων από τα οποία ελήφθησαν τα δείγματα.

3.2 Μεθοδολογία εκτέλεσης των δοκιμών

Οι φάσεις της πειραματικής διαδικασίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν οι ακόλουθες:

Αρχικά, λήφθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα βάρους ίσο με το 1/10 της αρχικής ποσότητας από το εκάστοτε δείγμα (Καρδιάς, Αμυνταίου, Νότιου Πεδίου) με τη μέθοδο του κώνου και του τετραμερισμού.

Στη συνέχεια, το κάθε δείγμα ταξινομήθηκε για χαρακτηρισμό σε καθορισμένα κλάσματα με τη μέθοδο της κοσκίνισης. Από το κάθε κλάσμα λήφθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα βάρους ίσο με το 1/10 της αρχικής του ποσότητας. Ακολούθησαν οι αναλύσεις ποιότητας (προσδιορισμός υγρασίας και τέφρας, προσδιορισμός θερμογόνου δύναμης και CO₂) των κλασμάτων του εκάστοτε δείγματος.

Από τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων του ποσοστού τέφρας επί ξηρού (%) επιλέχθηκαν κλάσματα με ποσοστό τέφρας μικρότερο του 20%. Ακολούθησε η θραύση των επιλεγμένων κλασμάτων, σε άνοιγμα 3mm του σιαγονωτού σπαστήρα και κοκκομετρική ανάλυση. Εν συνεχεία, ελήφθησαν αντιπροσωπευτικά δείγματα βάρους ίσου με το 1/10 του βάρους του κάθε κλάσματος και ακολούθησαν μετρήσεις ποσοστών της τέφρας επί ξηρού (%) και υγρασίας (%), καθώς επίσης και ο προσδιορισμός θερμογόνου δύναμης και CO₂ επιλεγμένων κλασμάτων. Βάση της κατανομής της τέφρας, της Κ.Θ.Δ. και το ποσοστό CO₂ (%), επιλέχθηκαν τα δείγματα βελτιωμένης ποιότητας που είναι κατάλληλα για χρήση σε Α.Η.Σ.

3.3 Φάσεις της πειραματικής διαδικασίας

3.3.1 Μέθοδος λήψης αντιπροσωπευτικών δειγμάτων

Η λήψη των αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από τα αρχικά δείγματα έγινε με τη μέθοδο του κώνου και του τετραμερισμού.

Το δείγμα αποτίθεται στο μισό του χώρου του δαπέδου προπαρασκευής και μετακινείται στο άλλο μισό με τη βοήθεια ενός φτυαριού, με συνεχή αλλαγή της θέσης που λαμβάνεται το δείγμα από το σωρό. Έτσι επιτυγχάνεται ανάμειξη των διάφορων συστατικών κατά τη δημιουργία του καινούργιου σωρού.

Η κίνηση στο φτυάρι είναι κυκλική, ώστε το υλικό να διανέμεται σε μεγαλύτερη έκταση γύρω από το σωρό και να εξασφαλίζεται αναμειξιμότητα. Η εργασία επαναλαμβάνεται, εάν δεν θεωρηθεί ικανοποιητική η προηγούμενη ανάμειξη.

Στη συνέχεια σχηματίζεται μια λωρίδα με πλάτος περίπου ίδιο με το πλάτος του φτυαριού και μήκος που εξαρτάται από την ποσότητα του δείγματος. Ο σχηματισμός της λωρίδας αρχίζει από το μέσο του δαπέδου ώστε κάθε φορά, εναλλακτικά, η ποσότητα του δείγματος να εναποτίθεται αντιδιαμετρικά. Έπειτα ξαναρχίζει η μετακίνηση του δείγματος με το φτυάρι και ο σχηματισμός του καινούργιου κώνου. Η λήψη του δείγματος γίνεται από το μέσον της λωρίδας προς τις άκρες.

Εφόσον ο σωρός είναι έτοιμος αρχίζει ο τετραμερισμός. Με τη βοήθεια της λεπίδας δειγματοληψίας λαμβάνονται συνεχώς ίσες ποσότητες γύρω από τη βάση του κώνου, από τις οποίες οι ποσότητες με περιττούς αύξοντες εναποτίθενται ξεχωριστά από τις ποσότητες με άρτιους αύξοντες αριθμούς, σχηματίζοντας τελικά δύο όμοιους και αντιπροσωπευτικούς με το αρχικό δείγμα σωρούς. Η διχοτόμηση, εφόσον το επιτρέπει το μέγιστο τεμάχιο του δείγματος, επαναλαμβάνεται στο ήδη μισό δείγμα (ή και στα δυο) για να σχηματιστούν δύο (ή τέσσερα) όμοια δείγματα με βάρος το $\frac{1}{4}$ του αρχικού. Η διχοτόμηση συνεχίζεται έως ότου ληφθεί το επιθυμητό για τις δοκιμές βάρος, πάντοτε όμως με τον περιορισμό του μέγιστου τεμαχίου. Όσο πιο λεπτόκοκκο το δείγμα τόσο διευκολύνεται η δειγματοληψία.

Η λήψη των αντιπροσωπευτικών δειγμάτων των επιμέρους κλασμάτων για τις αναλύσεις έγινε με riffler ή με τη μέθοδο του κώνου και του τετραμερισμού, ανάλογα με την ποσότητα του κάθε κλάσματος.

3.3.2 Εμπλουτισμός δείγματος με τη μέθοδο της E.E.M.

Αρχικά λήφθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα, ποσότητας ίσης με το 1/10 του συνολικού βάρους του δείγματος, με τη μέθοδο του τετραμερισμού για τις προσεγγιστικές αναλύσεις και αναλύσεις ποιότητας. Η υπόλοιπη ποσότητα ταξινομήθηκε με τα κόσκινα στα εξής κλάσματα (mm): +100, -100 +50, -50 +25, -25 +16, -16 +8, -8 +4, -4 +2, -2 +1, -1 +0.5, -0.5 +0.3, -0.3 +0.1, -0.1. Εν συνεχεία επιλέχθηκαν τα κλάσματα τα οποία είχαν περιεκτικότητα σε ποσοστό τέφρας επί ξηρού (%) μικρότερο του 20%. Τα κλάσματα αυτά είναι τα +100, -100 +50, -50 +25 για το Νότιο Πεδίο, τα +100, -100 +50, -50 +25, -25 +16 για το Αμύνταιο και τα +100, -100 +50 για την Καρδιά.

Το υλικό αυτό θραύστηκε στο σιαγονωτό σπαστήρα σε άνοιγμα 3mm και ταξινομήθηκε στα εξής κλάσματα(mm): -16 +8, -8 +4, -4 +2, -2 +1, -1 +0.5, -0.5 +0.3, -0.3 +0.1, -0.1. Ελήφθησαν αντιπροσωπευτικά δείγματα για τις αναλύσεις και αναλύσεις ποιότητας (προσδιορισμός ποσοστού (%) υγρασίας και τέφρας, προσδιορισμός Κ.Θ.Δ. και CO₂).

Τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις ποιότητας συγκρίθηκαν με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τον Εμπλουτισμό του Δείγματος και την αξιολόγηση των Τελικών Προϊόντων.

Για την θραύση και την ταξινόμηση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν η συσκευή θραύσης και η συσκευή κοκκομετρικής ανάλυσης του Εργαστηρίου Εξευγενισμού Γαιανθράκων και Στερεών Καυσίμων του Πολυτεχνείου Κρήτης και αναφέρονται παρακάτω:

Συσκευή θραύσης

Για τη θραύση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ένας θραυστήρας σιαγόνων , πρωτογενούς θραύσης , της εταιρείας FRITSCH, τύπου Pulverisette 1. Το μέγιστο μέγεθος τροφοδοσίας αυτού του θραυστήρα είναι 100mm, ενώ το τελικό μέγεθος τεμαχιδίων που λαμβάνεται κυμαίνεται από 15mm έως 2mm.

Το εσωτερικό του είναι κατασκευασμένο από σκληρό κράμα μαγγανιούχου χάλυβα και αποτελείται από μια ακίνητη επιφάνεια, σχεδόν κατακόρυφη, απέναντι στην οποία βρίσκεται μια δεύτερη κινητή επιφάνεια υπό γωνία. Η κίνηση της δεύτερης επιφάνειας συνθλίβει τα σώματα που βρίσκονται μεταξύ των δύο επιφανειών, οι οποίες δρουν σαν ένα είδος σιαγόνων.

Όσο αφορά τη θέση στήριξης της κινητής σιαγόνας, η συσκευή κατατάσσεται στην κατηγορία Dodge απλού βραχίονα, αφού έχει σταθερό άνοιγμα τροφοδοσίας και μεταβλητό άνοιγμα εξόδου του υλικού. Το άνοιγμα στο πάνω μέρος των σιαγόνων καθορίζει το μέγεθος των τεμαχίων της τροφοδοσίας, ενώ το άνοιγμα στο κάτω μέρος καθορίζει το μέγεθος του προϊόντος, το οποίο δεν είναι σταθερό.

Ένα σώμα εισερχόμενο στο σπαστήρα συλλαμβάνεται από τις σιαγόνες σε κάποιο σημείο και συνθλίβεται. Τα τεμάχια της θραύσης ελευθερώνονται με το άνοιγμα της σιαγόνας και πέφτουν προς τα κάτω, μέχρι να ξανασυλληφθούν από τις σιαγόνες που κλείνουν ξανά κ.λ.π, έως ότου εξέλθουν από τον σπαστήρα.

Συσκευή κοκκομετρικής ανάλυσης

Η κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια μιας δονούμενης μηχανής κοσκίνησης RETSCH, τύπου 3D. Αποτελείται από κόσκινα της σειράς ASTM, διαμέτρου 20cm, τα οποία είναι τοποθετημένα το ένα επάνω στο άλλο, έτσι ώστε το άνοιγμα των βρόγχων να μειώνεται από πάνω προς τα κάτω. Κάτω από το κόσκινο με το μικρότερο άνοιγμα οπής υπάρχει συλλέκτης, ίδιας διαμέτρου με τα κόσκινα, στον οποίο συγκεντρώνεται το υλικό που πέρασε από το τελευταίο κόσκινο. Η συσκευή επιτρέπει λειτουργία σε διάφορες συχνότητες δόνησης ($\max=100\text{round/min}$) και προκαθορισμένους χρόνους κοσκίνησης ($\max=1\text{hr}$).

Σφαιρόμυλος

Η λειοτρίβηση έγινε με τη βοήθεια του σφαιρόμυλου τύπου SEPOR INC. Ο σφαιρόμυλος αποτελείται από μεταλλικό κύλινδρο ο οποίος τοποθετείται πάνω σε ένα ζευγάρι περιστρεφόμενων κυλίνδρων, με τη βοήθεια των οποίων περιστρέφεται σε προκαθορισμένη ταχύτητα. Η ταχύτητα περιστροφής του κυλίνδρου μπορεί να φτάσει έως 100RPM. Για τη λειοτρίβηση των δειγμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η ταχύτητα περιστροφής ήταν 60RPM για 20min.

Για τη λειοτρίβηση του υλικού χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικές σφαίρες διαφόρων μεγεθών. Η ποσότητα των μεταλλικών αυτών σφαιρών πληρούσε το 45-55% του όγκου του κυλίνδρου, ενώ η ποσότητα του υλικού κάλυπτε το 25% περίπου του όγκου του κυλίνδρου.

3.3.3 Αναλύσεις ποιότητας του δείγματος

Οι αναλύσεις ποιότητας του δείγματος έγιναν σύμφωνα με τα Αμερικάνικα Πρότυπα ASTM.

3.3.3.1 Προσεγγιστική ανάλυση

Προσδιορισμός υγρασίας

Ο προσδιορισμός της υγρασίας έγινε κατά τα πρότυπα ASTM D3172-89 , σε κλίβανο της εταιρίας SANYO τύπου OMT OVEN MK II, σύμφωνα με τα οποία λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα 2g, ζυγίζεται σε αναλυτικό ζυγό ακριβείας της τάξεως του 0.1mg, εισάγεται σε κλίβανο ξήρανσης και θερμαίνεται για 1 ώρα και 30 λεπτά στους 100°C -110°C. Στη συνέχεια φυλάσσεται σε συνθήκες ελλείψεως υγρασίας για μισή ώρα και ξαναζυγίζεται .Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου δύο διαδοχικές τιμές έχουν διαφορά βάρους 0.1g. Με βάση την παρακάτω σχέση υπολογίζεται η υγρασία:

$$\text{Υγρασία (\%)} = [(W_{\text{αρχ}} - W_{\text{τελ}}) / W_{\text{αρχ}}] * 100$$

όπου

$W_{\text{αρχ}}$: το αρχικό βάρος του δείγματος σε g.

$W_{\text{τελ}}$: το τελικό βάρος του δείγματος μετά την ξήρανση σε g.

Προσδιορισμός τέφρας

Ο προσδιορισμός της τέφρας έγινε σε κλίβανο της εταιρίας Nabertherm τύπου Labotherm L3/S, κατά τα πρότυπα ASTM D3174-93. Σύμφωνα με τα πρότυπα αυτά τα δείγματα καίγονται σε θερμοκρασία 780 °C για 2 ώρες. Κατόπιν, οι τέφρες μεταφέρονται σε συνθήκες ελλείψεως υγρασίας, έτσι ώστε η θερμοκρασία να γίνει ίση με εκείνη του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια ζυγίζονται στον αναλυτικό ζυγό και σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση υπολογίζεται η τέφρα επί ξηρού:

$$\text{Τέφρα επί ξηρού (\%)} = (W_{\text{τελ}} / W_{\text{αρχ}}) * 100$$

όπου

W_{αρχ}: το βάρος του δείγματος μετά την ξήρανση σε g.

W_{τελ} : το τελικό βάρος του δείγματος μετά την καύση του στους 780 °C σε g.

Προσδιορισμός καύσιμης ύλης

Η καύσιμη ύλη, ή αλλιώς το άθροισμα των πτητικών και του μόνιμου άνθρακα, υπολογίστηκε από τον εξής τύπο:

$$\text{Καύσιμη ύλη(\%)} = 100 - \text{Υγρασία (\%)} - \text{Τέφρα 'ως έχει'}$$

3.3.3.2 Στοιχειακή ανάλυση

Προσδιορισμός άνθρακα (C), αζώτου (N) και υδρογόνου (H)

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του ολικού άνθρακα, του υδρογόνου και του αζώτου πραγματοποιήθηκε με τον αυτόματο αναλυτή της LECO, τύπου CHN-600. Η αρχή λειτουργίας του μηχανήματος είναι η ακόλουθη:

Ποσότητα δείγματος βάρους 2mg περίπου εισάγεται στο μηχάνημα σε ειδικό υποδοχέα και καίγεται πλήρως σε καθαρή ατμόσφαιρα οξυγόνου σε θερμοκρασία 950°C. Τα προϊόντα καύσης είναι υδρατμοί, CO₂, NO_x, N₂ και SO_x. Από το CO₂ υπολογίζεται ο άνθρακας, από τους υδρατμούς το υδρογόνο και από το υπόλοιπο αέριο το άζωτο.

Με δευτερογενή καύση, παρουσία οξειδίου του ασβεστίου, δεσμεύονται τα SO_x, με σκοπό την αποφυγή δημιουργίας θεικού οξέος, το οποίο θα έφθειρε τη συσκευή. Τα εναπομείναντα αέρια καύσης συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένο όγκο και αναμειγνύονται καλά.

Στη συνέχεια, για τον προσδιορισμό του αζώτου, μεταφέρεται με He όγκος δείγματος 10cm³ σε ένα αντιδραστήριο που αποτελείται από Cu και καταλύτη αζώτου για την απομάκρυνση του O₂ και τη μετατροπή του NO_x σε N₂, NaOH για την απομάκρυνση του CO₂ και υπερχλωρικό μαγνήσιο για την απομάκρυνση του H₂O.

Κατόπιν, το αέριο μεταφέρεται σε ένα ηλεκτρονικό στοιχείο που αποτελείται από μια γέφυρα Wheatstone, όπου λόγω διαφορετικής αγωγιμότητας αζώτου και ηλίου υπολογίζεται το στοιχειακό άζωτο. Από τους υδρατμούς και το CO₂ που έχουν δεσμευτεί υπολογίζονται φασματοφωτομετρικά το H₂ και ο άνθρακας C.

Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω διαδικασιών γίνονται διορθώσεις των αποτελεσμάτων πολλαπλασιάζοντάς τα με έναν συντελεστή “K Factor” λαμβάνοντας υπ’ όψιν την βαρυτομετρική πίεση, τις διάφορες χημικές παρεμβολές κατά την καύση και τον αρχικό όγκο του δοχείου από όπου ελήφθη το δείγμα. Στη συνέχεια καταγράφονται τα συνολικά ποσοστά C, H, N, συμπεριλαμβανομένου του άνθρακα των ανθρακικών ενώσεων, του υδρογόνου της υγρασίας και της ενυδάτωσης των πυριτικών ενώσεων. Επίσης οι μετρήσεις κάποιων standards είναι απαραίτητες. Τέλος, εάν είναι γνωστό το ποσοστό της υγρασίας, τότε είναι δυνατό να υπολογιστούν τα ποσοστά αυτά επί ξηρού.

Προσδιορισμός θείου

Ο υπολογισμός του στοιχειακού θείου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του επαγωγικού φούρνου HF-10 και του αυτόματου αναλυτή θείου της LECO 532-500. Ποσότητα δείγματος της τάξεως των mg τοποθετήθηκε σε χωνευτήριο καύσης και αφού σκεπάστηκε με ειδικό κάλυμμα κάηκε στους 2000°C στον επαγωγικό φούρνο παρουσία οξυγόνου. Σε κάθε δείγμα προστέθηκε ως επιταχυντής της καύσεως 1g σιδήρου (ελεύθερου θείου) που παρέχει αγωγή και επιταχύνει την καύση και 1g κασσιτέρου (ελεύθερου θείου) που λειτουργεί ως συλλίπασμα.

Κατά την καύση του δείγματος, το θείο οποιασδήποτε μορφής μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου, το οποίο αυτόματα ογκομετρείται παρουσία αμύλου με διάλυμα KI-KIO₃. Στον υποδοχέα τιτλοδότησης περιέχεται HCL, KI και αρκετό KIO₃, το οποίο παρουσία αμύλου δίδει ένα έντονο μπλε χρώμα. Όταν το SO₂ εισέρχεται στον υποδοχέα, αντιδρά και διαυγάζει τη διάλυση, λόγω αντίδρασης με το ιώδιο. Τότε, αυτόματα, μέσω ενός φωτοκυττάρου, απελευθερώνεται KIO₃ από την προχοΐδα και η διαυγάζουσα διάλυση επανέρχεται στο αρχικό της μπλε χρώμα. Το καταναλωθέν KIO₃ προσδιορίζεται από την προχοΐδα, η οποία είναι ήδη βαθμονομημένη σε αντίστοιχα ποσοστά θείου.

Το συνολικό θείο των δειγμάτων υπολογίζεται με τη βοήθεια προτύπων και διορθώνεται ως προς τη μάζα του ως εξής:

Στην πραγματική τιμή 0.135% S (περιεκτικότητα σε θείο των προτύπων) μετράται μια μέση τιμή β προτύπων %S, οπότε στην μέση τιμή α %S των δειγμάτων αντιστοιχεί πραγματική τιμή $0.135 * \alpha / \beta$.

Το (%) S διορθωμένο ως προς τη μάζα υπολογίζεται από τον τύπο $S(\%) = [0.135 * \alpha / \beta] / m$, όπου η μέση τιμή της μάζας σε g των ως προς μελέτη δειγμάτων.

Προσδιορισμός οξυγόνου(%)

Το οξυγόνο 'ως έχει' προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$O(\%) = 100 - [Y\gamma\rho\rho\sigma\iota\alpha(\%) + C(\%) + H(\%) + N(\%) + S(\%)]$$

3.3.3.3 Χημική ανάλυση τέφρας

Για τη χημική ανάλυση της τέφρας εφαρμόστηκε η μέθοδος της φασματοσκοπίας των ακτίνων X φθορισμού (ED.XRF).

Συσκευή χημικής ανάλυσης τέφρας

Για την χημική ανάλυση της τέφρας χρησιμοποιήθηκε φασματόμετρο ακτίνων-X διασκοπιζόμενης ενέργειας τύπου S2 RANGER με κατασκευαστή την BRUKER-AXS (Γερμανία), του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

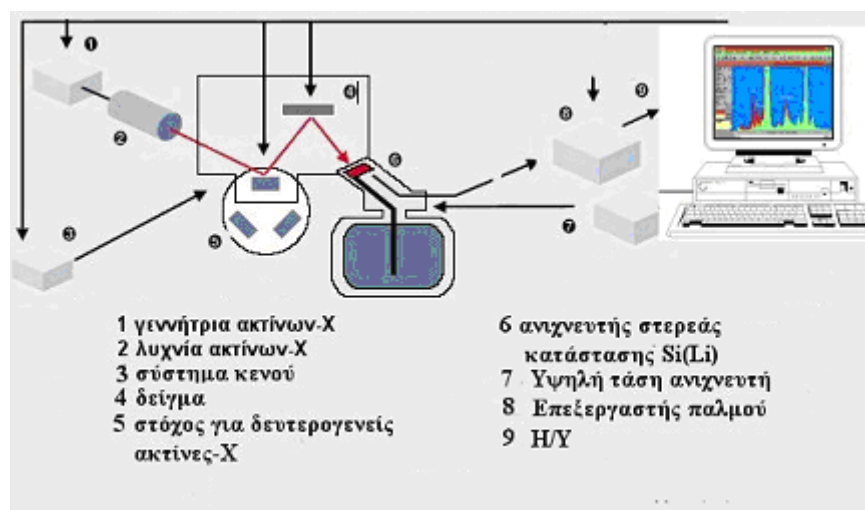
Η αρχή λειτουργίας της συσκευής στηρίζεται στο ότι τα άτομα των στοιχείων διεγείρονται από ακτίνες-X υψηλής ενέργειας και εκπέμπουν δευτερογενή ακτινοβολία (φθορισμός) ακτίνων-X, το φάσμα της οποίας αναλύεται και μελετάται.

Αρχή μεθόδου XRF

Η φασματομετρία ακτίνων X φθορισμού (XRF) ανήκει στις οπτικές μεθόδους ενόργανης ανάλυσης, στηρίζεται δηλαδή στην αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικής

ακτινοβολίας και ύλης [Χαντζηϊωάννου, 1980]. Το μέγεθος που μετράται είναι η δευτερογενής ακτινοβολία φθορισμού ακτίνων X, που εκπέμπεται από τα διεγερμένα άτομα των στοιχείων, καθώς αυτά επιστρέφουν στη θεμελιώδη κατάσταση και οφείλεται σε μεταπτώσεις ηλεκτρονίων των εσωτερικών στοιβάδων. Η διέγερση των ατόμων επιτυγχάνεται με την επίδραση πάνω τους ακτίνων X υψηλής ενέργειας και οι μεταπτώσεις των ηλεκτρονίων ακολουθούν τους νόμους της κβαντομηχανικής. Τα στοιχεία που μπορούν να προσδιοριστούν με τη μέθοδο, βρίσκονται στο περιοδικό σύστημα μεταξύ του βορίου και του ουρανίου [Willard, 1988].

Σχήμα 3.2 : Φασματόμετρο ακτίνων-X διασκορπιζόμενης ενέργειας.



Οι ακτίνες-X προσκρούουν και απομακρύνουν ηλεκτρόνια εσωτερικής στοιβάδας εφόσον η ενέργειά τους είναι μεγάλη. Τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στοιβάδων πέφτουν στις κενές θέσεις με ταυτόχρονη εκπομπή ακτίνων-X. Η διέγερση του δείγματος για εκπομπή ακτίνων-X γίνεται με ειδικές λυχνίες ακτίνων-X, ενέργειας πολλαπλάσιας από αυτή που θέλουμε να διεγείρουμε. Στο φασματόμετρο ακτίνων-X διασκορπιζόμενης ενέργειας, η λυχνία ακτινοβολεί απευθείας το δείγμα και το φάσμα ακτίνων-X που προέρχεται από το δείγμα μετράται με έναν ανιχνευτή που διαχωρίζει τις διαφορετικές ενέργειες. Ο ανιχνευτής είναι ικανός να μετρήσει τις ενέργειες της εισερχόμενης ακτινοβολίας απευθείας. Μία εναλλακτική είναι να τοποθετηθεί ένας δευτερογενής στόχος μεταξύ της λυχνίας και του δείγματος. Η λυχνία ακτινοβολεί το δευτερογενή στόχο και αυτός ο στόχος θα εκπέμψει τη δική του χαρακτηριστική ακτινοβολία. Το πλεονέκτημά ενός δευτερογενή στόχου είναι ότι εκπέμπει (σχεδόν)

μονοχρωματική ακτινοβολία, αλλά το μειονέκτημά του είναι ότι χάνεται ενέργεια. Χρησιμοποιώντας διαφορετικούς δευτερογενείς στόχους μπορεί να επιτευχθεί η βέλτιστη διέγερση για όλα τα στοιχεία.

Με την φασματομετρία ακτίνων Χ φθορισμού προσδιορίστηκαν τα κύρια ανόργανα στοιχεία τα οποία εκφράσθηκαν σαν οξείδια (CaO , SiO_2 , P_2O_5 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SO_3 , MgO , K_2O , TiO_2 , MnO , Na_2O) στις τέφρες των δειγμάτων. Τα λειοτριβιμένα σε μέγεθος κόκκου κάτω από 250mm δείγματα πυρώθηκαν στους 1050°C και στη συνέχεια παρασκευάστηκαν ανθεκτικά δισκία με λεία επιφάνεια μέσα σε ειδική μήτρα.

3.3.3.4 Προσδιορισμός θερμογόνου δύναμης

Ο υπολογισμός της Ανώτερης Θερμογόνου Δύναμης (Α.Θ.Δ.) πραγματοποιήθηκε στο Αυτόματο Θερμιδόμετρο LECO (Automatic Calorimeter), τύπου AC-300 του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Στο θερμιδόμετρο, η ουσία που εξετάζεται (0.5g δείγματος λιγνίτη περίπου) τοποθετείται σε ειδικό υποδοχέα, μέσα από τον οποίο περνά λεπτό σύρμα που χρησιμοποιείται για την ανάφλεξη του δείγματος και το σύστημα της βόμβας που περιείχε την ουσία, τοποθετήθηκε στο νερό του θερμιδόμετρου. Η ουσία καίγεται σε περιβάλλον καθαρού οξυγόνου και σε υψηλή πίεση (440psi). Το σύστημα είναι ισοθερμικό. Προτού καεί το δείγμα, μετρίεται η θερμοκρασία του νερού που περιβάλλει τη βόμβα, ενώ η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και του νερού υπολογίζεται κατά τη διάρκεια της ανάλυσης.

Η θερμοκρασία του νερού μετρίεται με ηλεκτρονικό θερμόμετρο κάθε 6 λεπτά. Η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος υπολογίζεται και τα αποτελέσματα διορθώνονται. Επιπλέον γίνεται διόρθωση βάσει της περιεκτικότητας σε N_2 , S και υγρασία του δείγματος. Τέλος τα αποτελέσματα εκτυπώνονται.

Η μέτρηση του θερμιδόμετρου αναφέρεται στην Α.Θ.Δ. 'επί ξηρού'. Ο υπολογισμός της Κατώτερης Θερμογόνου Δύναμης (Κ.Θ.Δ.) 'ως έχει' έγινε με την ακόλουθη σχέση:

$$H_{\text{κλ}} = \{ [H_{\text{οξ}} - 5.85 \cdot 9 \cdot (100 - A_d) \cdot 0.05] \cdot (100 - O_w) \} / 100 - (5.85 \cdot O_w) \text{ (kcal/kg)}$$

Όπου $H_{\text{κλ}}$ = Κ.Θ.Δ. 'ως έχει' (kcal/kg)

$H_{o\xi} = A \cdot \Theta \cdot \Delta$. 'επί ξηρού' (kcal/kg)

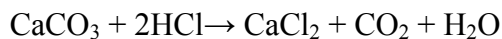
A_d = Τέφρα 'επί ξηρού' (%)

O_u = Ολική υγρασία 'ως έχει' (%)

Στον παραπάνω τύπο ο συντελεστής 5.85 αντιστοιχεί στη λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης των υδρατμών και ο συντελεστής 9 στην αναλογία βάρους του υδρογόνου στο μόριο του νερού. Τέλος, ο συντελεστής 0.05 αντιστοιχεί στην παραδοχή ότι το υδρογόνο είναι το 5% του καυσίμου 'επί ξηρού'.

3.3.3.5 Προσδιορισμός CO₂ με τη μέθοδο του ασβεστιμέτρου.

Ο προσδιορισμός του CO₂ και του ασβεστίτη (CaCO₃) έγινε με το ασβεστίμετρο τύπου Dietrich-Fruhling. Είναι ένας σταθμικός προσδιορισμός που στηρίζεται στην μέτρηση του όγκου του CO₂ που εκλύεται από την επίδραση υδροχλωρικού οξέος στο δείγμα σύμφωνα με την αντίδραση :



Το ποσοστό του CO₂ ανάγεται στη συνέχεια σε CaCO₃.

Αυτή η μέθοδος δίνει καλά αποτελέσματα στην περίπτωση που το δείγμα δεν περιέχει άλλο ορυκτό το οποίο μπορεί να παράγει αέριο CO₂ με την επίδραση του HCl, όπως π.χ. ο δολομίτης.

Μάζα 2g περίπου δείγματος τοποθετείται στη φιάλη του ασβεστιμέτρου μαζί με δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει αραιωμένο HCL σε αναλογία 1:3. Η φιάλη κλείνεται και ανακινείται μέχρι να σταματήσει η αντίδραση του HCL με τον ασβεστίτη. Το εκλυόμενο αέριο κατεβάζει τη στάθμη του χρωματισμένου υγρού στον βαθμονομημένο σωλήνα. Αφού εξισορροπηθεί η υδροστατική πίεση, σημειώνεται η ένδειξη σε ml του υγρού στον σωλήνα, καθώς και η πίεση P (σε mmHg) και η θερμοκρασία Θ (σε °C) του χώρου όπου γίνεται η μέτρηση. Κάθε πέντε περίπου δείγματα επαναλαμβάνεται η διαδικασία με ένα πρότυπο δείγμα γνωστής περιεκτικότητας (καθαρός ασβεστίτης 43.6%) σε CO₂, ώστε να υπολογισθεί ο συντελεστής διόρθωσης ΣΔ.

Από πίνακα υπολογίζεται η τάση ατμών $P_{(H_2O)}$ του νερού με βάση τη θερμοκρασία.

Ο όγκος του εκλυόμενου CO_2 , σε κανονικές συνθήκες, δίνεται από τον τύπο:

$$V_{CO_2} = [\text{ένδειξη}] * (P - P_{(H_2O)}) * 273 / (760 * (273 + \Theta))$$

Η περιεκτικότητα Π% του προτύπου σε CO_2 είναι:

$$\Pi(\%) = [\text{ένδειξη}] / [\text{μάζα}] * 0.196$$

$$\text{Όπου } 0.196 = M.B \text{ } CO_2 / 22400 * 100 = (44 / 22400) * 100$$

Ο συντελεστής διόρθωσης είναι:

$$\Sigma\Delta = 43.56 / \Pi(\%)$$

Κατά συνέπεια το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα είναι:

$$CO_2\% = V_{CO_2} * 0.196 * \Sigma\Delta / [\text{μάζα}]$$

Δεδομένου ότι σε 1g CO_2 αντιστοιχούν 2,273gr $CaCO_3$, το ποσοστό (%) του ασβεστίτη είναι:

$$\text{Ασβεστίτη}(\%) = CO_2(\%) * 2,273.$$

3.3.3.6 Προσδιορισμός CO_2 με τη χρήση κλιβάνου

Για τον προσδιορισμό του CO_2 με τη χρήση κλιβάνου ελήφθη δείγμα βάρους 5g περίπου με τη μέθοδο του τετραμερισμού από τα αντιπροσωπευτικά δείγματα του εκάστοτε κλάσματος. Στη συνέχεια τα δείγματα κάηκαν στους $600^\circ C$ και παρέμειναν σε αυτή τη θερμοκρασία για 3 ώρες. Μετά το πέρας των τριών ωρών τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε συνθήκες ελλείψεως υγρασίας, έτσι ώστε η θερμοκρασία να γίνει ίση με εκείνη του περιβάλλοντος, και ζυγίστηκαν στον αναλυτικό ζυγό. Κατόπιν επανατοποθετήθηκαν στον φούρνο και κάηκαν στους $950^\circ C$ για δύο ώρες. Έπειτα μεταφέρθηκαν σε συνθήκες ελλείψεως υγρασίας και παρέμειναν έως ότου η θερμοκρασία να γίνει ίση με εκείνη του περιβάλλοντος και ζυγίστηκαν στον αναλυτικό ζυγό.

Το ποσοστό του CO₂ υπολογίστηκε από τον εξής τύπο:

$$\text{CO}_2\% = (\text{διαφορά} * 100) / W_{600}$$

$$\text{Όπου } \text{διαφορά} = W_{600} - W_{950}$$

$$W_{600} = \text{βάρος μετά τους } 600^\circ\text{C}.$$

$$W_{950} = \text{βάρος μετά τους } 950^\circ\text{C}.$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Ανάλυση Ποιότητας Αρχικών Δειγμάτων

Για την άμεση ανάλυση ποιότητας των δειγμάτων (Νοτίου Πεδίου, Αμυνταίου, Καρδιάς), λήφθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα από το εκάστοτε αρχικό δείγμα με τη μέθοδο του κώνου-τετάρτων και του διαχωριστή Jones (riffler), το οποίο στη συνέχεια λειοτριβήθηκε μέχρι μεγέθους -250mm, σύμφωνα με τα ASTM Standards.

Στους Πίνακες 4.1, 4.2, 4.3 και 4.4 δίνονται τα αποτελέσματα της προσεγγιστικής ανάλυσης, της στοιχειακής ανάλυσης, της χημικής ανάλυσης της τέφρας και της θερμογόνου δύναμης των αρχικών δειγμάτων καθώς και η έκλυση διοξειδίου του άνθρακα από τις τέφρες των δειγμάτων .

Στον Πίνακα 4.1 διακρίνονται οι περιεκτικότητες των αρχικών δειγμάτων σε υγρασία (%), τέφρα επί ξηρού (%) και καύσιμη ύλη (%). Και στα τρία δείγματα παρατηρείται σχετικά υψηλό ποσοστό υγρασίας που κυμαίνεται μεταξύ 34.7-38.8%. Η ποιότητα των δειγμάτων χαρακτηρίζεται από μέτρια περιεκτικότητα σε τέφρα (από 21.7% έως 28.3%) και το υψηλό ποσοστό της καύσιμης ύλης (από 71.7% έως 78.3%). Γενικά, τα δείγματα εμφανίζουν καλής ποιότητας χαρακτηριστικά.

Πίνακας 4.1: Προσεγγιστική ανάλυση αρχικών δειγμάτων

Δείγματα	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη επί ξηρού (%)
Νότιο Πεδίο	38.3	28.3	71.7
Αμύνταιο	34.7	21.7	78.3
Καρδιά	36.8	25.5	74.5

Κατά τη στοιχειακή ανάλυση των αρχικών δειγμάτων προσδιορίστηκαν οι περιεκτικότητες των δειγμάτων σε C, H, N, S και O καθώς και η θερμογόνος δύναμη 'επί ξηρού' (Πίνακας 4.2).

Πίνακας 4.2: Στοιχειακή ανάλυση αρχικών δειγμάτων (% επί ξηρού)

Δείγματα	Τέφρα	C	H	N	Soλ	O	A.Θ.Δ (kcal/kg)
Νότιο Πεδίο	28.3	33.4	3.0	1.4	1.1	32.8	3122.4
Αμύνταιο	21.7	38.7	3.4	1.7	1.3	33.2	3073.7
Καρδιά	25.5	36.0	2.9	1.2	0.7	33.7	3025.0

Το δείγμα του Νοτίου Πεδίου εμφανίζει ποσοστά C και H 33.4% και 3.0% αντίστοιχα, ενώ το ποσοστό του N στο δείγμα είναι 1.4%. Μικρή επίσης είναι και η περιεκτικότητα του δείγματος σε S (1.1%). Λόγω της περιορισμένης περιεκτικότητας του δείγματος σε N και S αναμένεται μικρό ποσοστό εκπομπών κατά την καύση του.

Το δείγμα του Αμυνταίου εμφανίζει αυξημένα ποσοστά σε C, H, S και N, σε σχέση με το δείγμα του Νοτίου Πεδίου. Συγκεκριμένα η περιεκτικότητα του δείγματος σε C, H, S και N είναι 38.7%, 3.4%, 1.3% και 1.7% αντίστοιχα. Επομένως, αναμένεται μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών κατά την καύση του σε σχέση με το δείγμα του Νοτίου Πεδίου.

Στο δείγμα της Καρδιάς παρατηρείται μικρό ποσοστό σε N και S (1.2%, 0.7% αντίστοιχα). Επομένως το δείγμα χαρακτηρίζεται από μικρή έκλυση αέριων ρύπων κατά την καύση του. Γενικά, το δείγμα της Καρδιάς εμφανίζει μικρότερη περιεκτικότητα σε επιβλαβή στοιχεία (N και S) σε σχέση με τα δείγματα του Αμυνταίου και του Νότιου Πεδίου χαρακτηρίζοντάς το λιγότερο ρυπογόνο.

Από τον Πίνακα 4.2, γίνεται φανερό ότι όλα τα δείγματα εμφανίζουν γενικά χαμηλή θερμογόνο δύναμη λόγω του αρχικού υψηλού ποσοστού τέφρας που περιέχουν. Γενικά, είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη η περιεκτικότητα του δείγματος σε τέφρα τόσο χαμηλότερη η θερμογόνος δύναμη.

Στον Πίνακα 4.3 αναγράφονται τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης της τέφρας στα οξείδια : CaO, SiO₂, P₂O₅, Fe₂O₃, Al₂O₃, SO₃, MgO, K₂O, TiO₂, MnO, Na₂O.

Πίνακας 4.3 : Χημική ανάλυσης τέφρας αρχικών δειγμάτων (950°C)

Οξείδια Μετάλλων (%)	Δείγμα Νοτίου Πεδίου	Δείγμα Αμυνταίου	Δείγμα Καρδιάς
CaO	27.4	38.1	51.3
SiO ₂	34.5	20.0	19.1
P ₂ O ₅	0.7	0.7	0.5
Fe ₂ O ₃	8.5	11.3	4.5
Al ₂ O ₃	14.0	15.8	11.0
SO ₃	7.5	8.6	7.6
MgO	4.1	3.2	4.0
K ₂ O	1.7	0.9	0.9
TiO ₂	0.9	0.8	0.6
MnO	0.0	0.0	0.0
Na ₂ O	0.7	0.6	0.5

Όσον αφορά το δείγμα του Νοτίου Πεδίου, παρατηρείται ότι η ανόργανη ύλη του αρχικού δείγματος αποτελείται κυρίως από CaO και SiO_2 σε ποσοστό 27.4% και 34.5% αντίστοιχα. Μικρότερες είναι οι περιεκτικότητες σε Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SO_3 , MgO .

Στο δείγμα του Αμυνταίου, εμφανίζεται σε σημαντικό ποσοστό, της τάξης του 38.1%, το οξείδιο του ασβεστίου. Κατά συνέπεια, αναμένεται υψηλό ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση του. Σε χαμηλότερα ποσοστά, η ανόργανη ύλη περιέχει SiO_2 , Fe_2O_3 και SO_3 σε ποσοστό της τάξης 20.0%, 11.3% και 8.6% αντίστοιχα. Το σημαντικό ποσοστό σε S οδηγεί στην έκλυση οξειδίων του S κατά την καύση. Τέλος, σε αρκετά χαμηλά ποσοστά περιέχονται τα οξείδια του Al και του Mg (15.8% και 3.2%) ,καθώς και τα οξείδια του P₂, του K₂, του Ti και του Mn που κυμαίνονται σε ποσοστά κάτω του 1%.

Το δείγμα της Καρδιάς παρουσιάζει ένα εξαιρετικά υψηλό ποσοστό περιεκτικότητας σε οξείδιο του ασβεστίου (51.3%). Διαπιστώνεται ότι η ανόργανη ύλη του αρχικού δείγματος είναι κύρια ασβεστούχα και αναμένεται υψηλό ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση. Επιπλέον, σημαντική είναι και η περιεκτικότητα του δείγματος σε SiO_2 σε ποσοστό 19.1%. Χαμηλότερη είναι η περιεκτικότητα του δείγματος σε οξείδια του Fe, του Al, του S και του Mg που κυμαίνεται μεταξύ 4.0% και 11.0%. Παρατηρείται ότι σε όλα τα δείγματα τα ποσοστά του K και του Na, τα οποία σχηματίζουν επικαθίσεις ή επισκωριώσεις με αργιλοπυριτικά ορυκτά στις συνθήκες καύσης των κλιβάνων και έχουν διαβρωτική δράση, είναι πολύ χαμηλά.

Τέλος, στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί, δίνονται οι τιμές της Απώλειας Πύρωσης (Α.Π) και της περιεκτικότητας του CO_2 που προέρχεται από τη διάσπαση του CaCO_3 της τέφρας όπως αυτό μετρήθηκε με το ασβεστίμετρο. Η Απώλεια Πύρωσης αναφέρεται στην απώλεια του δείγματος κατά την καύση του από τους 600°C έως τους 950 °C. Είναι φανερό ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της απώλειας πύρωσης οφείλεται στην έκλυση του CO_2 σε αυτές τις θερμοκρασίες. Η Απώλεια Πύρωσης παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με αυτές που μετρήθηκαν στο ασβεστίμετρο, λόγω της έκλυσης ορισμένων οξειδίων (π.χ. οξείδια S) κατά την καύση του λιγνίτη στους 950 °C.

Πίνακας 4.4: Ποσοστό CO_2 και Απώλεια Πύρωσης εκλυόμενα μεταξύ 600°C και 950°C στις τέφρες των δειγμάτων.

	Νότιο Πεδίο	Αμύνταιο	Καρδιά
Απώλεια Πύρωσης (%)	6.7	11.4	18.6
CO_2 (%)	6.3	10.2	17.4

4.2 Κοκκομετρική Ανάλυση Αρχικών Δειγμάτων και Άμεση Ανάλυση Ποιότητας των Κλασμάτων

Αρχικά, τα δείγματα ταξινομήθηκαν με τα κόσκινα στα εξής κλάσματα (mm): +100, -100 +50, -50 +25, -25 +16, -16 +8, -8 +4, -4 +2, -2 +1, -1 +0.5, -0.5 +0.3, -0.3 +0.1, -0.1. Για την άμεση ποιοτική ανάλυση των κλασμάτων, ελήφθησαν αντιπροσωπευτικά δείγματα με τη μέθοδο του κώνου-τετάρτων και του διαχωριστή Jones (riffler), τα οποία λειοτριβήθηκαν σε -250mm.

Τα αποτελέσματα της προσεγγιστικής ανάλυσης, της θερμογόνου δύναμης και τα ποσοστά του διοξειδίου του άνθρακα των κλασμάτων παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.5, 4.6 και 4.7.

Στους πίνακες αυτούς, παρατηρείται μια έντονη αύξηση της τέφρας επί ξηρού (%) από τα χονδρόκοκκα στα λεπτόκοκκα κλάσματα. Πιο αναλυτικά, στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου, η τέφρα επί ξηρού (%) στο κλάσμα +100mm είναι 15.3% και καταλήγει στο κλάσμα -0.1mm όπου η τιμή της τέφρας επί ξηρού φτάνει το 46.9%. Ανάλογες τιμές παρατηρούνται στο δείγμα του Αμυνταίου, όπου το χονδρόκοκκο κλάσμα περιέχει 13.0-19.0% τέφρα επί ξηρού, ενώ το λεπτόκοκκο περιέχει 45.1%. Στο δείγμα της Καρδιάς, παρομοίως, η τέφρα κυμαίνεται μεταξύ 12.5% έως 40.7%. Η αυξημένη συγκέντρωση της τέφρας καθιστά τα κλάσματα ενεργειακά υποβαθμισμένα, σε σχέση με αυτά που έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα. Στους Πίνακες 4.5, 4.6 και 4.7 καθώς και στα Διαγράμματα 4.1, 4.2 και 4.3 φαίνεται καθαρά η ελάττωση της Α.Θ.Δ. όσο αυξάνεται η τέφρα επί ξηρού (%). Η Α.Θ.Δ. και η καύσιμη ύλη παρουσιάζουν μείωση προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα, ανάλογη με την αύξηση της τέφρας σε αυτά. Επιπλέον, είναι φανερό ότι το ποσοστό του CO₂ που εκλύεται, εμφανίζεται αυξημένο στα κλάσματα με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση τέφρας.

Πίνακας 4.5: Χημική ανάλυση των αρχικών κλασμάτων του δείγματος του Νοτίου Πεδίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα 'επί ξηρού' (%)	Καύσιμη ύλη 'επί ξηρού' (%)	Απώλεια Πύρωσης (%)	CO ₂ (%) από ασβεστόμετρο	Α.Θ.Δ. 'επί ξηρού' (kcal/kg)
+100	20.3	47.3	15.3	84.7	3.6	2.4	4086.1
-100 +50	17.6	44.0	25.9	74.1	9.3	7.9	2854.1
-50 +25	16.5	45.1	19.3	80.7	5.5	4.3	3816.9
-25 +16	7.7	38.9	30.9	69.1	4.3	4.2	2831.1
-16 +8	11.8	35.5	33.8	66.2	5.3	4.2	2726.3
-8 +4	6.4	34.5	34.8	65.2	4.1	3.6	2797.1
-4 +2	5.4	33.1	37.7	62.3	7.3	6.7	2782.9
-2 +1	4.1	31.9	41.6	58.4	8.1	6.4	2699.8
-1 +0.5	3.2	27.1	42.1	57.9	6.8	5.6	2621.0
-0.5 +0.3	1.9	26.5	44.2	55.8	8.8	6.9	2021.3
-0.3 +0.1	2.9	24.0	47.6	52.4	6.8	5.8	1926.7
-0.1	2.1	20.6	46.9	53.1	5.6	4.6	1931.5

*Οι τιμές της Απώλεια Πύρωσης (%) και του CO₂ (%) που μετρήθηκε στο ασβεστόμετρο αναφέρονται στην τέφρα.

Πίνακας 4.6: Χημική ανάλυση των αρχικών κλασμάτων του δείγματος του Αμυνταίου

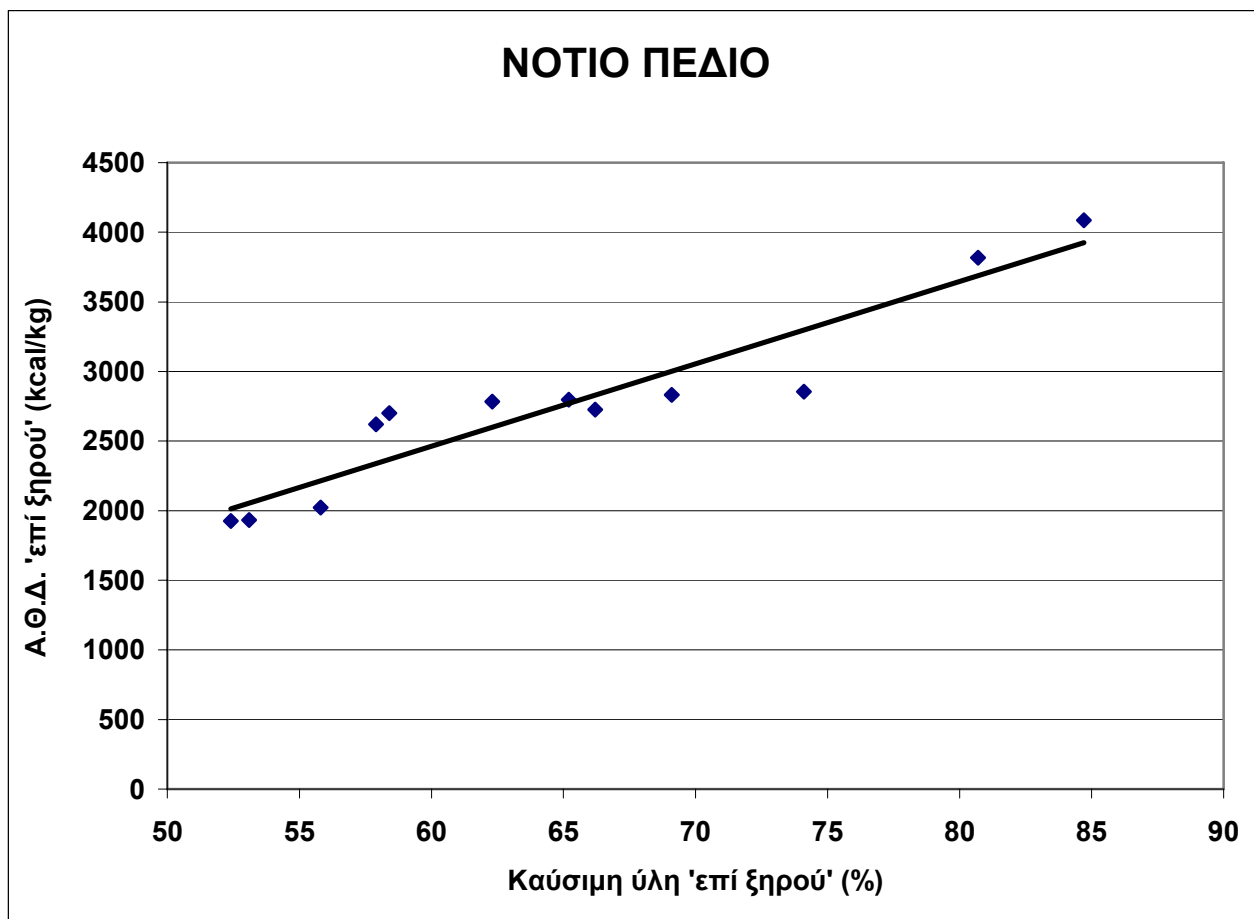
Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα 'επί ξηρού' (%)	Καύσιμη ύλη 'επί ξηρού' (%)	Απώλεια Πύρωσης (%)	CO ₂ (%) από ασβεστόμετρο	Α.Θ.Δ. 'επί ξηρού' (kcal/kg)
+100	8.1	41.0	19.4	80.6	7.6	6.8	3910.0
-100 +50	15.2	38.2	19.1	80.9	7.5	6.2	3943.3
-50 +25	34.3	39.3	13.4	86.6	5.3	4.6	4181.0
-25 +16	15.0	38.5	14.3	85.7	5.6	4.3	4130.0
-16 +8	16.2	26.2	27.0	73.0	11.2	10.4	3098.2
-8 +4	3.9	25.3	29.5	70.5	11.6	10.5	2912.0
-4 +2	1.9	24.3	33.6	66.4	13.5	12.5	2679.2
-2 +1	1.3	24.1	35.4	64.6	14.4	13.3	2576.0
-1 +0.5	0.9	23.3	39.7	60.3	14.5	13.7	2527.0
-0.5 +0.3	0.8	22.3	40.6	59.4	14.9	13.2	2353.6
-0.3 +0.1	1.3	21.6	47.3	52.7	14.3	13.1	2035.5
-0.1	1.1	21.9	45.1	54.9	15.9	14.7	2154.0

*Οι τιμές της Απώλεια Πύρωσης (%) και του CO₂ (%) που μετρήθηκε στο ασβεστόμετρο αναφέρονται στην τέφρα.

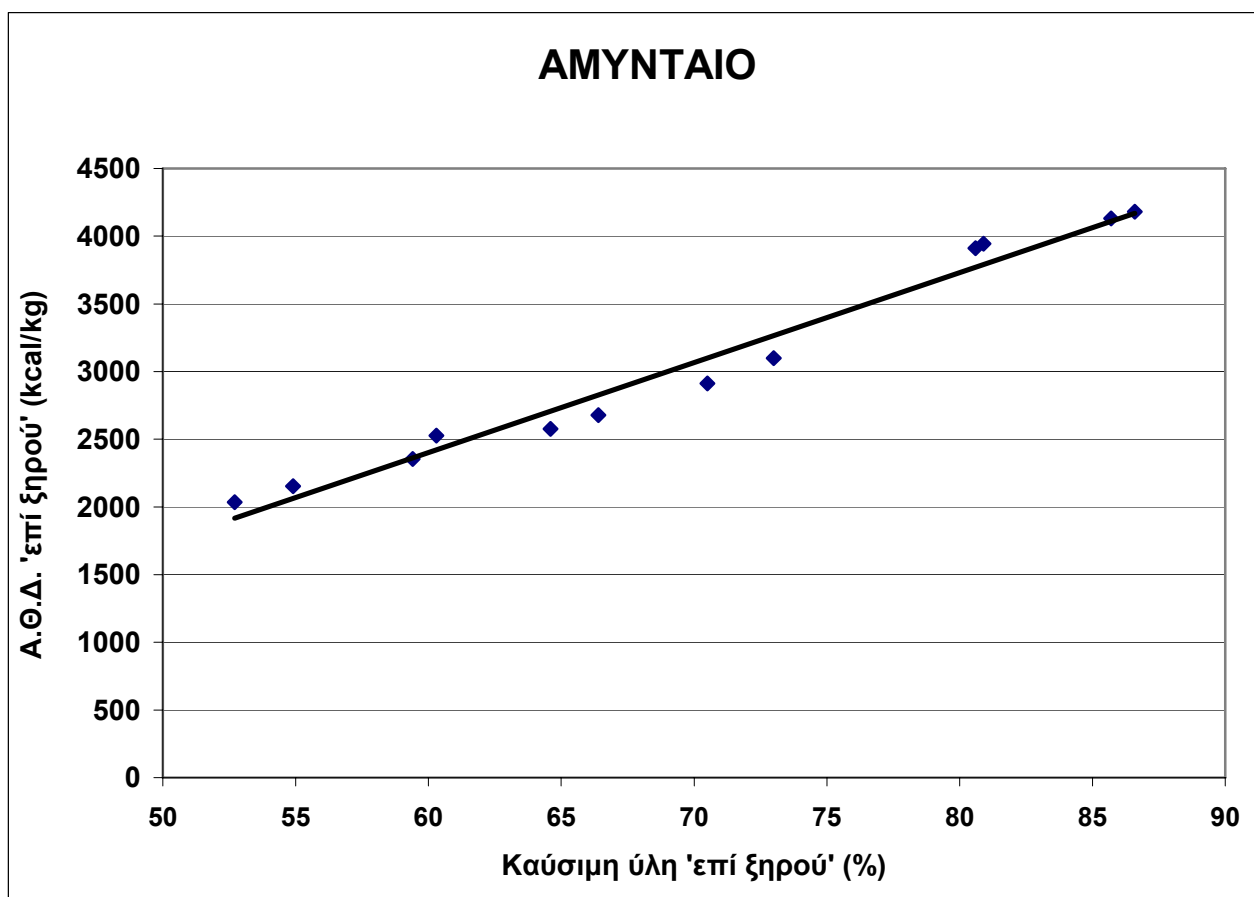
Πίνακας 4.7: Χημική ανάλυση των αρχικών κλασμάτων του δείγματος της Καρδιάς.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα 'επί ξηρού' (%)	Καύσιμη ύλη 'επί ξηρού' (%)	Απώλεια Πύρωσης (%)	CO ₂ (%) από ασβεστίμετρο	Α.Θ.Δ. 'επί ξηρού' (kcal/kg)
+100	10.0	48.4	12.5	87.5	5.8	4.4	4878.0
-100 +50	8.9	48.7	28.5	71.5	19.6	18.1	3325.9
-50 +25	22.6	46.7	24.8	75.2	12.1	10.7	3639.5
-25 +16	8.5	38.4	27.9	72.1	22.7	22.1	3425.3
-16 +8	14.6	42.5	20.2	79.8	16.1	15.3	5109.3
-8 +4	9.2	41.8	23.0	77.0	17.8	16.9	4674.7
-4 +2	7.4	43.5	25.3	74.7	20.4	20.2	3783.5
-2 +1	5.5	39.1	28.9	71.1	23.6	20.3	3378.2
-1 +0.5	4.1	32.7	31.0	69.0	23.2	23.3	3399.1
-0.5 +0.3	2.6	31.6	34.3	65.7	24.6	24.6	3080.6
-0.3 +0.1	3.8	33.8	38.8	61.2	23.0	22.8	2959.9
-0.1	2.7	31.1	40.7	59.3	24.8	24.8	1518.4

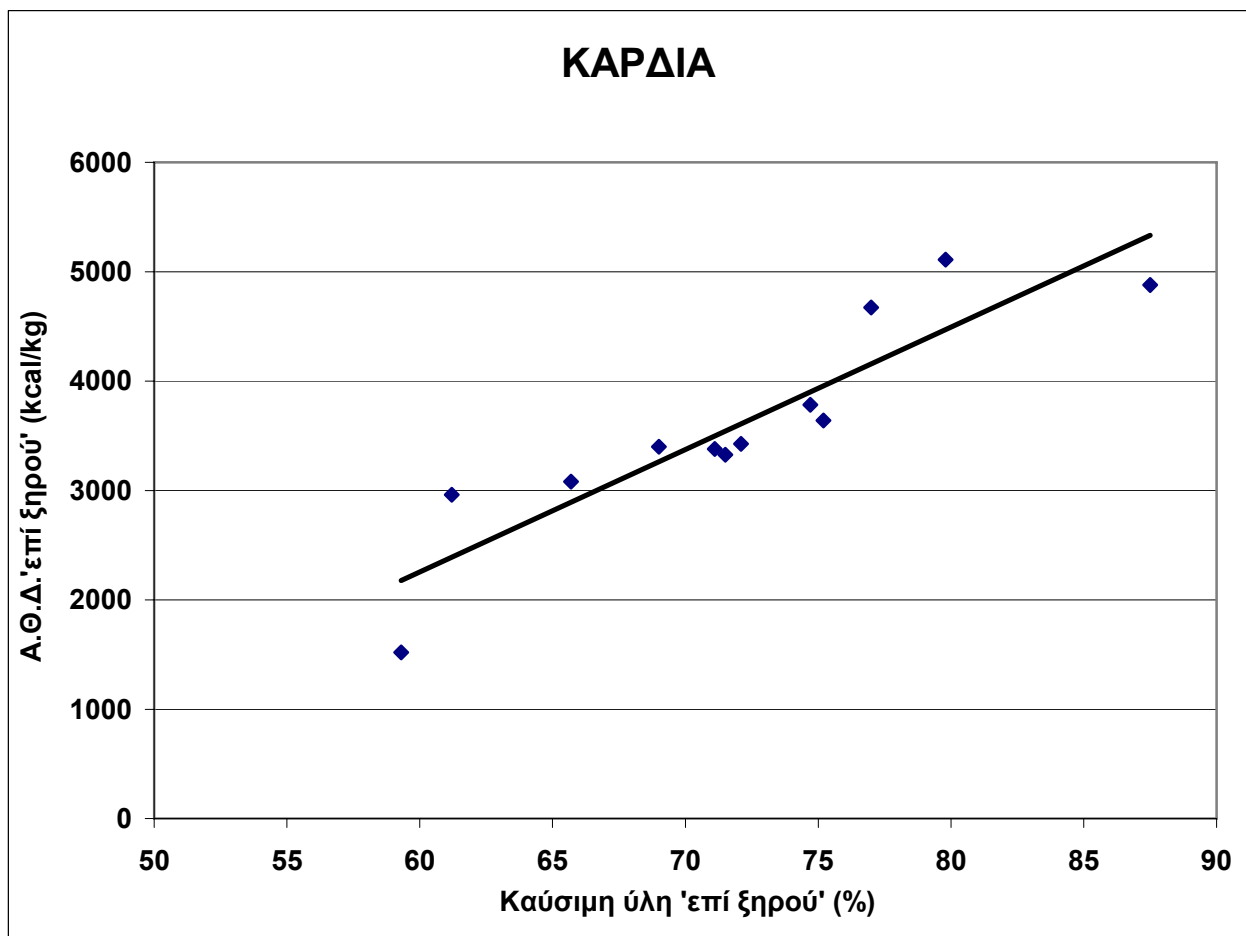
*Οι τιμές της Απώλεια Πύρωσης (%) και του CO₂ (%) που μετρήθηκε στο ασβεστίμετρο αναφέρονται στην τέφρα.



Διάγραμμα 4.1: Καύσιμη Ύλη 'επί ξηρού' συναρτήσει της ΑΘΔ 'επί ξηρού' κλασμάτων Νοτίου Πεδίου.



Διάγραμμα 4.2: Καύσιμη Ύλη 'επί ξηρού' συναρτήσει της ΑΘΔ 'επί ξηρού' κλασμάτων Αμυνταίου.



Διάγραμμα 4.3: Καύσιμη Ύλη 'επί ξηρού' συναρτήσει της ΑΘΔ 'επί ξηρού' κλασμάτων Καρδιάς.

4.3 Εμπλουτισμός δείγματος με τη μέθοδο της Ε.Ε.Μ. και Αξιολόγηση των Τελικών Προϊόντων.

Στους Πίνακες 4.8 έως 4.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Προσεγγιστικής Ανάλυσης των κλασμάτων όλων των θραύσεων. Στους παρακάτω πίνακες παρατηρείται ότι η τέφρα ‘επί ξηρού’ των κλασμάτων των θραύσεων όλων των δειγμάτων έχει αυξητική τάση προς τα λεπτόκοκκα τεμαχίδια, γεγονός το οποίο δείχνει ότι η ανόργανη ύλη συγκεντρώνεται προς τα λεπτόκοκκα. Σαν αποτέλεσμα της αύξησης αυτής είναι η αντίστοιχη μείωση της καύσιμης ύλης.

Όσον αφορά την περιεκτικότητα των δειγμάτων σε υγρασία, είναι φανερό ότι στα δείγματα το ποσοστό της υγρασίας μειώνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό της τέφρας προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα.

ΝΟΤΙΟ ΠΕΔΙΟ

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.8: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Α΄ Θραύσης του δείγματος του Νοτίου Πεδίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (gr)	Βάρος κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
- 100 +50	3528.6	18.3	44.0	25.9	74.1
-50 +25	3320.7	17.2	49.1	19.3	80.7
-25 +16	1546.8	8.0	30.9	30.9	69.1
-16 +8	2644.7	12.8	32.1	32.9	67.1
-8 +4	2975.3	14.4	31.3	24.7	75.3
-4 +2	1983.5	9.6	28.2	30.4	69.6
-2 +1	1301.7	6.3	25.8	35.4	64.6
-1 +0.5	929.8	4.5	24.6	37.9	62.1
-0.5 +0.3	537.2	2.6	24.1	39.9	60.1
-0.3 +0.1	764.4	3.7	21.7	43.7	56.3
-0.1	516.5	2.5	20.8	44.6	55.4
Σύνολο	20049.2	100			

Β΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.9: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Β΄ Θραύσης του δείγματος του Νοτίου Πεδίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (gr)	Βάρος κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
-50 +25	3320.7	18.7	49.1	19.3	80.7
-25 +16	1546.8	8.7	30.9	30.9	69.1
-16 +8	3019.6	14.4	32.0	32.3	67.7
-8 +4	4298.7	20.5	38.0	22.2	77.8
-4 +2	2767.9	13.2	36.0	29.7	70.3
-2 +1	1719.5	8.2	34.6	35.4	64.6
-1 +0.5	1174.3	5.6	30.7	37.3	62.8
-0.5 +0.3	671.0	3.2	31.5	38.8	61.2
-0.3 +0.1	943.6	4.5	30.5	43.0	57.0
-0.1	587.1	2.8	30.9	44.0	56.0
Σύνολο	20049.2	100			

Γ΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.10: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Γ΄ Θραύσης του δείγματος του Νοτίου Πεδίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (gr)	Βάρος κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
-25 +16	1546.8	5.9	30.9	30.9	69.1
-16 +8	2025.2	10.3	42.0	31.8	68.2
-8 +4	10381.8	52.8	38.5	22.1	77.9
-4 +2	2241.5	11.4	38.1	28.2	71.8
-2 +1	1337.0	6.8	35.1	35.1	64.9
-1 +0.5	884.8	4.5	31.4	37.2	62.8
-0.5 +0.3	511.2	2.6	32.1	38.8	61.2
-0.3 +0.1	707.8	3.6	31.1	42.5	57.5
-0.1	412.9	2.1	30.8	43.6	56.4
Σύνολο	20049.2	100			

ΑΜΥΝΤΑΙΟ

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.11: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Α΄ Θραύσης του δείγματος Αμυνταίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (gr)	Βάρος κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
- 100 +50	2698.3	15.6	38.2	19.1	80.9
-50 +25	6098.2	35.3	37.3	13.4	86.6
-25 +16	2670.8	15.5	38.5	14.3	85.7
-16 +8	3184.0	16.9	36.5	26.9	73.1
-8 +4	1168.1	6.2	37.3	25.4	74.6
-4 +2	602.9	3.2	36.8	28.7	71.3
-2 +1	357.9	1.9	34.5	30.4	69.6
-1 +0.5	263.7	1.4	27.9	35.3	64.7
-0.5 +0.3	188.4	1.0	27.3	37.9	62.1
-0.3 +0.1	301.4	1.6	26.0	44.7	55.3
-0.1	244.9	1.3	26.7	43.9	56.1
Σύνολο	17778.8	100			

Β΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.12: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Β΄ Θραύσης του δείγματος Αμυνταίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (gr)	Βάρος κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
-50 +25	6098.2	36.1	37.3	13.4	86.6
-25 +16	2670.8	15.8	38.5	14.3	85.7
-16 +8	3315.4	17.7	36.7	26.7	73.3
-8 +4	2116.6	11.3	36.9	23.9	76.1
-4 +2	1348.6	7.2	37.2	24.9	75.1
-2 +1	711.8	3.8	34.0	30.5	69.5
-1 +0.5	468.3	2.5	30.1	35.8	64.2
-0.5 +0.3	299.7	1.6	28.4	37.7	62.3
-0.3 +0.1	430.8	2.3	30.8	42.6	57.4
-0.1	318.4	1.7	28.9	42.7	57.3
Σύνολο	17778.8	100			

Γ΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.13: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Γ΄ Θραύσης του δείγματος Αμυνταίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (gr)	Βάρος κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
-25 +16	2670.8	16.8	48.5	14.3	85.7
-16 +8	3581.5	19.7	47.3	26.4	73.6
-8 +4	4399.7	24.2	47.9	19.3	80.7
-4 +2	2654.3	14.6	46.8	21.1	78.9
-2 +1	1472.6	8.1	43.8	25.7	74.3
-1 +0.5	981.7	5.4	42.1	33.3	66.7
-0.5 +0.3	654.5	3.6	36.3	37.0	63.0
-0.3 +0.1	836.3	4.6	38.9	40.6	59.4
-0.1	527.2	2.9	37.1	40.4	59.6
Σύνολο	17778.8	100			

Δ΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.14: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Δ΄ Θραύσης του δείγματος Αμυνταίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (gr)	Βάρος κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
-16 +8	3705.4	20.8	49.5	26.3	73.7
-8 +4	5415.6	30.4	53.7	18.5	81.5
-4 +2	3313.5	18.6	51.0	20.7	79.3
-2 +1	1763.6	9.9	51.1	25.2	74.8
-1 +0.5	1193.6	6.7	45.2	32.9	67.1
-0.5 +0.3	801.6	4.5	43.6	36.9	63.1
-0.3 +0.1	979.8	5.5	39.4	40.4	59.6
-0.1	605.7	3.4	39.6	40.3	59.8
Σύνολο	17778.8	100			

ΚΑΡΔΙΑ

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.15: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Α΄ Θραύσης του δείγματος της Καρδιάς.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (gr)	Βάρος κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
- 100 +50	1555.3	10.2	48.7	28.5	71.5
-50 +25	3942.7	9.1	46.7	24.8	75.2
-25 +16	1481.4	23.1	38.4	27.9	72.1
-16 +8	2789.1	15.4	42.1	19.8	80.2
-8 +4	2282.0	12.6	43.4	19.4	80.6
-4 +2	1648.1	9.1	44.4	22.5	77.5
-2 +1	1141.0	6.3	40.0	26.7	73.3
-1 +0.5	815.0	4.5	33.5	29.4	70.6
-0.5 +0.3	507.1	2.8	32.3	32.8	67.2
-0.3 +0.1	742.6	4.1	34.4	37.4	62.6
-0.1	507.1	2.8	31.3	39.9	60.1
Σύνολο	17411.5	100			

Β΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.16: Προσεγγιστική ανάλυση κλασμάτων Β΄ Θραύσης του δείγματος της Καρδιάς.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (gr)	Βάρος κλάσματος (%)	Υγρασία (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη (%)
-50 +25	3942.7	9.5	46.7	24.8	75.2
-25 +16	1481.4	24.1	38.4	27.9	72.1
-16 +8	2960.7	16.4	41.7	19.8	80.2
-8 +4	2942.7	16.3	42.9	20.8	79.3
-4 +2	1949.8	10.8	43.8	23.3	76.7
-2 +1	1299.8	7.2	39.7	28.0	72.0
-1 +0.5	920.7	5.1	33.4	30.3	69.7
-0.5 +0.3	559.7	3.1	32.2	33.4	66.6
-0.3 +0.1	812.4	4.5	34.4	37.5	62.5
-0.1	541.6	3.0	31.2	39.9	60.2
Σύνολο	17411.5	100			

Στους Πίνακες 4.17 έως 4.28 υπολογίστηκε η κατανομή της τέφρας ανά βάρος κλάσματος και συμβολίστηκε με (K). Η παράμετρος αυτή είναι σημαντική, γιατί αποδεικνύει την αποδέσμευση της τέφρας από το λιγνιτικό ενδιάμεσο. Όσο το (K) είναι μικρότερο της μονάδας τόσο εμπλουτίζεται το δείγμα στο συγκεκριμένο κλάσμα σε λιγνίτη.

Ο υπολογισμός των παραμέτρων που εμφανίζεται στους Πίνακες 4.17 έως 4.28 έγινε βάση των ακόλουθων σχέσεων:

1. Αθροιστικά Διερχόμενο Βάρος (%) = $100 - \text{Αθροιστικά Παραμένον Βάρος}(\%)$
2. Μονάδες Τέφρας = $[\text{Βάρος Κλάσματος}(\%) * \text{Τέφρα}(\%)] / 100$
3. Κατανομή Τέφρας (%) = $(\text{Μονάδες Τέφρας} * 100) / [\Sigma (\text{Μονάδων Τέφρας})]$
4. Μείωση Τέφρας (%) = $\{[\text{Τέφρα}(\%) - \text{Τέφρα Αρχ.}(\%)] * 100\} / [\text{Τέφρα Αρχ.}(\%)]$
5. Αθροιστική Τέφρα (%) = $(\text{Αθροιστικές Μονάδες Τέφρας} * 100) / (\text{Αθροιστικά Παραμένον Βάρος})$

ΝΟΤΙΟ ΠΕΔΙΟ

ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.17: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του αρχικού δείγματος Νοτίου Πεδίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος επί ξηρού (%)	Αθρ. Παρ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (K)
+100	20.3	20.3	79.7	15.3	3.1	3.1	15.3	-45.8	11.2	0.55
-100 +50	17.6	37.9	62.1	25.9	4.6	7.7	20.2	-8.3	16.4	0.93
-50 +25	16.6	54.5	45.5	19.3	3.2	10.9	19.9	-31.7	11.5	0.69
-25 +16	7.7	62.2	37.8	30.9	2.4	13.2	21.3	9.4	8.6	1.11
-16 +8	11.8	74.0	26.0	33.8	4.0	17.2	23.3	19.7	14.3	1.22
-8 +4	6.4	80.4	19.6	34.8	2.2	19.4	24.2	23.2	8.0	1.25
-4 +2	5.4	85.8	14.3	37.7	2.0	21.5	25.0	33.5	7.3	1.36
-2 +1	4.1	89.9	10.1	41.6	1.7	23.2	25.8	47.3	6.2	1.49
-1 +0.5	3.2	93.1	6.9	42.1	1.4	24.5	26.4	49.0	4.9	1.52
-0.5 +0.3	1.9	95.0	5.0	44.2	0.8	25.4	26.7	56.5	3.0	1.59
-0.3 +0.1	2.9	97.9	2.1	47.6	1.4	26.7	27.3	68.5	5.0	1.71
-0.1	2.1	100	0	46.9	1.0	27.8	27.8	66.0	3.5	1.68
Σύνολο	100				27.8					

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.18: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Α΄ Θραύσης του Νοτίου Πεδίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος επί ξηρού (%)	Αθρ. Παρ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μοναδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (K)
-100+50	18.3	18.3	81.7	25.9	4.7	4.7	25.9	-8.3	16.3	0.89
-50 +25	17.2	35.5	64.5	19.3	3.3	8.1	22.7	-31.7	11.5	0.67
-25 +16	8.0	43.5	56.5	30.9	2.5	10.5	24.2	9.4	8.6	1.07
-16 +8	12.8	56.3	43.7	32.9	4.2	14.8	26.2	16.5	14.6	1.14
-8 +4	14.4	70.8	29.2	24.7	3.6	18.3	25.9	-12.5	12.3	0.85
-4 +2	9.6	80.4	19.6	30.4	2.9	21.2	26.4	7.6	10.1	1.05
-2 +1	6.3	86.7	13.3	35.4	2.2	23.5	27.1	25.1	7.7	1.22
-1 +0.5	4.5	91.2	8.8	37.9	1.7	25.2	27.6	34.2	5.8	1.30
-0.5 +0.3	2.6	93.8	6.3	39.9	1.0	26.2	27.9	41.3	3.6	1.38
-0.3 +0.1	3.8	97.5	2.5	43.7	1.6	27.8	28.5	54.6	5.7	1.51
-0.1	2.5	100	0	44.6	1.1	28.9	28.9	57.7	3.8	1.54
Σύνολο	100				28.9					

Β΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.19: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Β΄ Θραύσης του Νοτίου Πεδίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος επί ξηρού (%)	Αθρ. Παρ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μοναδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (K)
-50 +25	18.7	18.7	81.3	19.3	3.6	3.6	19.3	-31.7	12.5	0.67
-25 +16	8.7	27.4	72.6	30.9	2.7	6.3	22.9	9.4	9.4	1.08
-16 +8	14.4	41.8	58.2	32.3	4.6	10.9	26.1	14.2	15.9	1.11
-8 +4	20.5	62.3	37.7	22.2	4.6	15.5	24.9	-21.4	15.9	0.78
-4 +2	13.2	75.5	24.5	29.7	3.9	19.4	25.7	5.1	13.5	1.03
-2 +1	8.2	83.7	16.3	35.4	2.9	22.3	26.6	25.2	10.1	1.23
-1 +0.5	5.6	89.3	10.7	37.3	2.1	24.4	27.3	31.9	7.3	1.30
-0,5+0.3	3.2	92.5	7.5	38.8	1.2	25.6	27.7	37.2	4.2	1.30
-0.3 +0.1	4.5	97.2	2.8	43.0	1.9	27.5	28.3	52.1	6.6	1.47
-0.1	2.8	100	0	44.0	1.2	28.8	28.8	55.8	4.2	1.49
Σύνολο	100				28.8					

Γ΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.20: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Γ΄ Θραύσης του Νοτίου Πεδίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος (%)	Αθρ. Παρ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (K)
-25 +16	5.9	5.9	94.1	30.9	1.8	1.8	30.5	9.4	6.6	1.12
-16 +8	10.3	16.2	83.8	31.8	3.3	5.1	31.5	12.4	11.9	1.16
-8 +4	52.8	69.0	31.0	22.1	11.6	16.7	24.2	-21.8	42.4	0.80
-4 +2	11.4	80.4	19.6	28.2	3.2	19.9	24.7	-0.1	11.7	1.03
-2 +1	6.8	87.2	12.8	35.1	2.4	22.3	25.6	24.3	8.7	1.28
-1 +0.5	4.5	91.7	8.3	37.2	1.7	24.0	26.2	31.8	6.1	1.35
-0.5 +0.3	2.6	94.3	5.7	38.8	1.0	25.0	26.5	37.2	3.7	1.41
-0.3 +0.1	3.6	97.9	2.1	42.5	1.5	26.5	27.1	50.5	5.6	1.55
-0.1	2.1	100	0	43.6	0.9	27.5	27.5	54.5	3.3	1.59
Σύνολο	100				27.5					

ΑΜΥΝΤΑΙΟ

ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.21: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του αρχικού δείγματος Αμυνταίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος επί ξηρού (%)	Αθρ. Παρ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (K)
+100	8.1	8.1	91.9	19.4	1.6	1.6	19.4	-10.6	8.0	0.98
-100 +50	15.2	23.2	76.8	19.1	2.9	4.5	19.2	-12.0	14.7	0.97
-50 +25	34.3	57.5	42.5	13.4	4.6	9.0	15.7	-38.3	23.4	0.68
-25 +16	15.0	72.6	27.5	14.3	2.2	11.2	15.4	-34.1	11.0	0.73
-16 +8	16.2	88.7	11.3	27.0	4.4	15.6	17.5	24.4	22.2	1.37
-8 +4	3.9	92.6	7.4	29.5	1.2	16.7	18.0	35.9	5.9	1.49
-4 +2	1.9	94.5	5.5	33.6	0.6	17.3	18.3	54.8	3.3	1.73
-2 +1	1.3	95.8	4.2	35.4	0.4	17.8	18.6	63.1	2.3	1.79
-1 +0.5	1.0	96.7	3.3	39.7	0.4	18.2	18.8	82.9	1.9	2.02
-0.5 +0.3	0.8	97.5	2.5	40.6	0.3	18.5	19.0	87.0	1.6	2.06
-0.3 +0.1	1.3	98.8	1.2	47.3	0.6	19.1	19.3	117.9	3.2	2.39
-0.1	1.1	100	0	45.1	0.5	19.6	19.6	107.7	2.6	2.32
Σύνολο	100				19.6					

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.22: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Α΄ Θραύσης του Αμυνταίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος επί ξηρού (%)	Αθρ. Παρ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (K)
- 100 +50	15.6	15.6	84.4	19.1	3.0	3.0	19.1	-12.0	15.1	0.97
-50 +25	35.3	50.9	49.1	13.4	4.7	7.7	15.1	-38.3	24.0	0.68
-25 +16	15.5	66.4	33.6	14.3	2.2	9.9	15.0	-34.1	11.2	0.73
-16 +8	16.9	83.3	16.7	26.9	4.6	14.5	17.4	23.7	23.1	1.36
-8 +4	6.2	89.5	10.5	25.4	1.6	16.0	17.9	16,8	8.0	1.28
-4 +2	3.2	92.7	7.3	28.7	0.9	17.0	18.3	32.1	4.7	1.46
-2 +1	2.0	94.7	5.3	30.4	0.6	17.6	18.5	39.9	3.0	1.53
-1 +0.5	1.4	96.1	3.9	35.3	0.5	18.0	18.8	62.6	2.4	1.79
-0.5 +0.3	1.0	97.1	2.9	37.9	0.4	18.4	19.0	74.6	1.9	1.91
-0.3 +0.1	1.6	98.7	1.3	44.7	0.7	19.1	19.4	106.0	3.6	2.26
-0.1	1.3	100	0	43.9	0.6	19.7	19.7	102.1	2.9	2.23
Σύνολο	100				19.7					

Β΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.23: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Β΄ Θραύσης του Αμυνταίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος επί ξηρού (%)	Αθρ. Παρ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (K)
-50 +25	36.1	36.1	63.9	13.4	4.8	4.8	13.4	-38.3	23.4	0.65
-25 +16	15.8	51.9	48.1	14.3	2.3	7.1	13.7	-34.1	10.9	0.69
-16 +8	17.7	69.6	30.4	26.7	4.7	11.8	17.0	22.9	22.9	1.29
-8 +4	11.3	80.9	19.1	23.9	2.7	14.5	17.9	9.9	13.0	1.15
-4 +2	7.2	88.1	11.9	24.9	1.8	16.3	18.5	14.7	8.7	1.21
-2 +1	3.9	91.9	8.1	30.5	1.2	17.5	19.0	40.6	5.7	1.47
-1 +0.5	2.5	94.4	5.6	35.8	0.9	18.4	19.4	65.0	4.3	1.72
-0.5 +0.3	1.6	96.0	4.0	37.7	0.6	18.9	19.7	73.5	2.9	1.81
-0.3 +0.1	2.3	98.3	1.7	42.6	1.0	19.9	20.3	96.2	4.7	2.05
-0.1	1.7	100	0	42.7	0.7	20.7	20.7	96.7	3.5	2.07
Σύνολο	100				20.7					

Γ΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.24: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Γ΄ Θραύσης του Αμυνταίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος επί ξηρού (%)	Αθρ. Παρ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (K)
-25 +16	16.9	16.9	83.2	14.3	2.4	2.4	14.3	-34.1	10.2	0.61
-16 +8	19.8	36.6	63.4	26.4	5.2	7.6	20.8	21.5	22.1	1.12
-8 +4	24.2	60.8	39.2	19.3	4.7	12.3	20.2	-11.2	19.8	0.82
-4 +2	14.7	75.5	24.5	21.1	3.1	15.4	20.4	-2.7	13.1	0.89
-2 +1	8.1	83.6	16.4	25.7	2.1	17.5	20.9	18.3	8.8	1.08
-1 +0.5	5.4	89.0	11.0	33.3	1.8	19.2	21.6	53.5	7.5	1.41
-0.5 +0.3	3.6	92.5	7.5	37.0	1.3	20.6	22.2	70.4	5.6	1.57
-0.3 +0.1	4.6	97.1	2.9	40.6	1.9	22.4	23.1	87.1	7.9	1.72
-0.1	2.9	100	0	40.4	1.2	23.6	23.6	86.0	4.9	1.71
Σύνολο	100				23.6					

Δ΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.25: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Δ΄ Θραύσης του Αμυνταίου.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος επί ξηρού (%)	Αθρ. Παρ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (K)
-16 +8	20.8	20.8	79.2	26.3	5.5	5.5	26.3	21.1	21.9	1.05
-8 +4	30.4	51.3	48.7	18.5	5.6	11.1	21.6	-14.9	22.5	0.74
-4 +2	18.6	69.9	30.2	20.7	3.9	14.9	21.4	-4.7	15.4	0.83
-2 +1	10.0	79.8	20.2	25.2	2.5	17.5	21.9	16.2	10.1	1.01
-1 +0.5	6.8	86.6	13.4	32.9	2.2	19.7	22.7	51.4	8.9	1.32
-0.5 +0.3	4.5	91.0	9.0	36.9	1.7	21.3	23.4	70.2	6.6	1.48
-0.3 +0.1	5.5	96.6	3.4	40.4	2.2	23.6	24.4	86.0	8.9	1.62
-0.1	3.4	100	0	40.3	1.4	24.9	24.9	85.4	5.5	1.61
Σύνολο	100				24.9					

ΚΑΡΔΙΑ

ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.26: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του αρχικού δείγματος της Καρδιάς.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος επί ξηρού (%)	Αθρ. Παρ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (Κ)
+ 100	10.0	10.2	89.8	12.5	1.3	1.3	12.3	-50.9	5.0	0.49
-100 +50	8.9	19.1	80.9	28.5	2.5	3.8	19.8	11.9	10.1	1.14
-50 +25	22.6	41.8	58.2	24.8	5.6	9.4	22.5	-2.7	22.4	0.99
-25 +16	8.5	50.3	49.7	27.9	2.4	11.8	23.4	9.5	9.5	1.11
-16 +8	14.6	64.9	35.1	20.2	3.0	14.7	22.7	-20.7	11.8	0.81
-8 +4	9.2	74.1	25.9	23.0	2.1	16.8	22.7	-9.7	8.5	0.92
-4 +2	7.4	81.5	18.5	25.3	1.9	18.7	23.0	-0.7	7.5	1.01
-2 +1	5.5	87.0	13.0	28.9	1.6	20.3	23.3	13.4	6.3	1.15
-1 +0.5	4.1	91.1	8.9	31.0	1.3	21.6	23.7	21.7	5.1	1.24
-0.5+0.3	2.6	93.6	6.4	34.3	0.9	22.4	24.0	34.6	3.5	1.37
-0.3+0.1	3.8	97.5	2.5	38.8	1.5	23.9	24.5	52.3	5.9	1.55
-0.1	2.7	100	0	40.7	1.1	25.0	25.0	59.7	4.4	1.62
Σύνολο	100				25.0					

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.27: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Α΄ Θραύσης της Καρδιάς.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος επί ξηρού (%)	Αθρ. Παρ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (Κ)
- 100 +50	10.2	10.2	89.8	28.5	2.9	2.9	28.5	11.9	11.3	1.11
-50 +25	9.1	19.3	80.7	24.8	2.3	5.2	26.8	-2.7	8.8	0.96
-25 +16	23.1	42.3	57.7	27.9	6.4	11.6	27.4	9.5	25.0	1.08
-16 +8	15.4	57.7	42.3	19.8	3.1	14.6	25.4	-22.1	11.9	0.77
-8 +4	12.6	70.3	29.7	19.4	2.5	17.1	24.3	-23.9	9.5	0.75
-4 +2	9.1	79.5	20.6	22.5	2.1	19.1	24.1	-11.5	8.0	0.87
-2 +1	6.3	85.7	14.3	26.7	1.7	20.8	24.3	4.8	6.5	1.04
-1 +0.5	4.5	90.2	9.7	29.4	1.3	22.1	24.5	15.2	5.2	1.14
-0.5+0.3	2.8	93.0	6.9	32.8	0.9	23.1	24.8	28.7	3.5	1.27
-0.3+0.1	4.1	97.1	2.9	37.4	1.5	24.6	25.3	46.7	6.0	1.46
-0.1	2.8	100	0	39.9	1.1	25.7	25.7	56.6	4.4	1.55
Σύνολο	100				25.7					

Β΄ ΘΡΑΥΣΗ

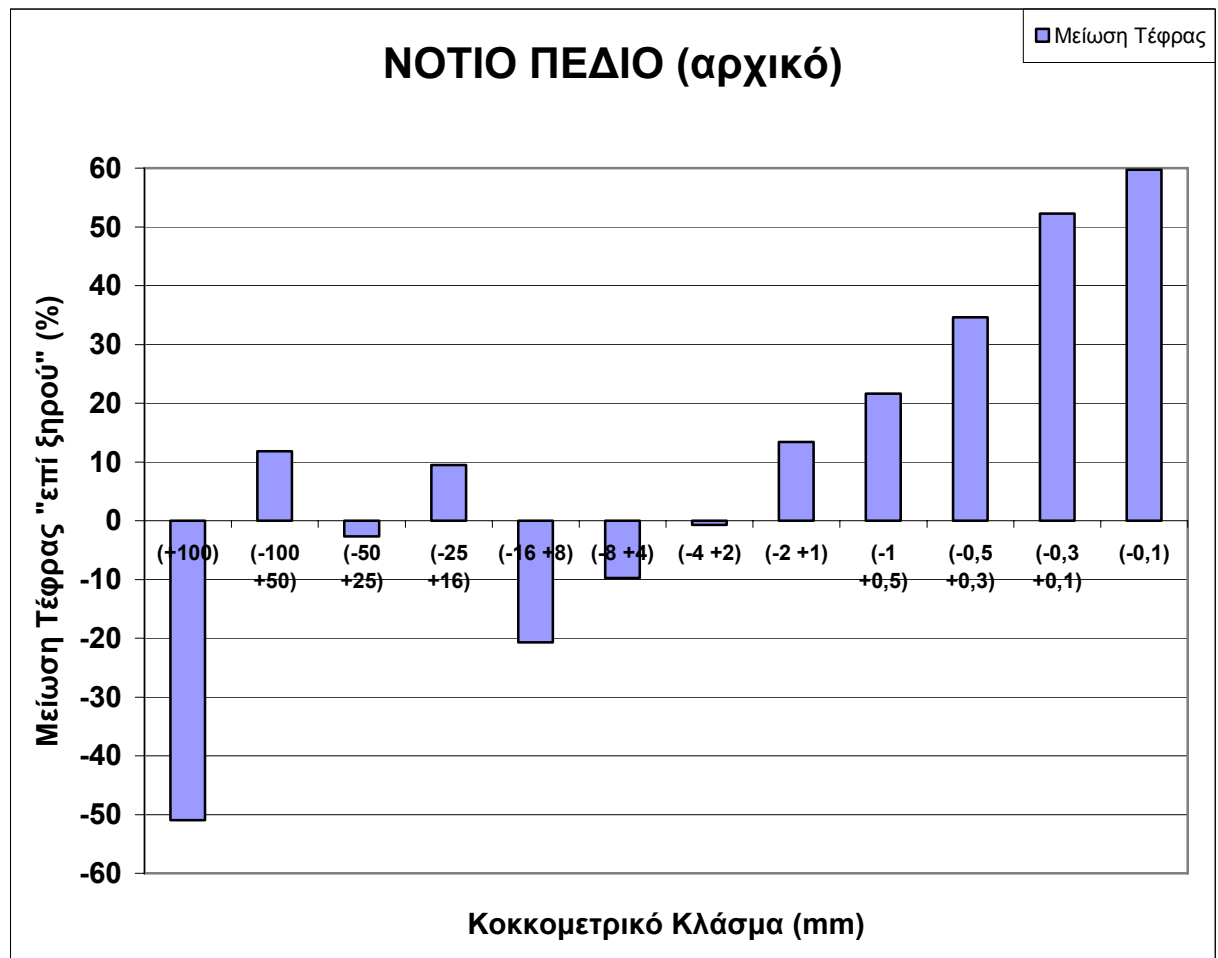
Πίνακας 4.28: Αποτελέσματα Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος Β΄ Θραύσης της Καρδιάς.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος επί ξηρού (%)	Αθρ. Παρ. Βάρος (%)	Αθρ. Διερχ. Βάρος (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Μείωση Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας (%)	Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (K)
-50 +25	9.5	9.5	90.5	24.8	2.4	2.4	24.8	-2.7	9.2	0.96
-25 +16	24.1	33.6	66.5	27.9	6.7	9.1	27.0	9.5	26.1	1.08
-16 +8	16.4	49.9	50.1	19.8	3.2	12.3	24.7	-22.2	12.6	0.77
-8 +4	16.3	66.2	33.8	20.8	3.4	15.7	23.7	-18.6	13.2	0.81
-4 +2	10.9	77.1	22.9	23.3	2.5	18.2	23.6	-8.5	9.9	0.91
-2 +1	7.2	84.3	15.7	28.0	2.0	20.2	24.0	9.9	7.9	1.09
-1 +0.5	5.1	89.4	10.6	30.3	1.5	21.8	24.4	18.9	6.0	1.18
-0.5+0.3	3.1	92.5	7.5	33.4	1.0	22.8	24.7	30.9	4.0	1.29
-0.3+0.1	4.5	96.9	3.0	37.5	1.7	24.5	25.3	47.1	6.5	1.45
-0.1	3.0	100	0	39.9	1.2	25.7	25.7	56.4	4.6	1.54
Σύνολο	100				25.7					

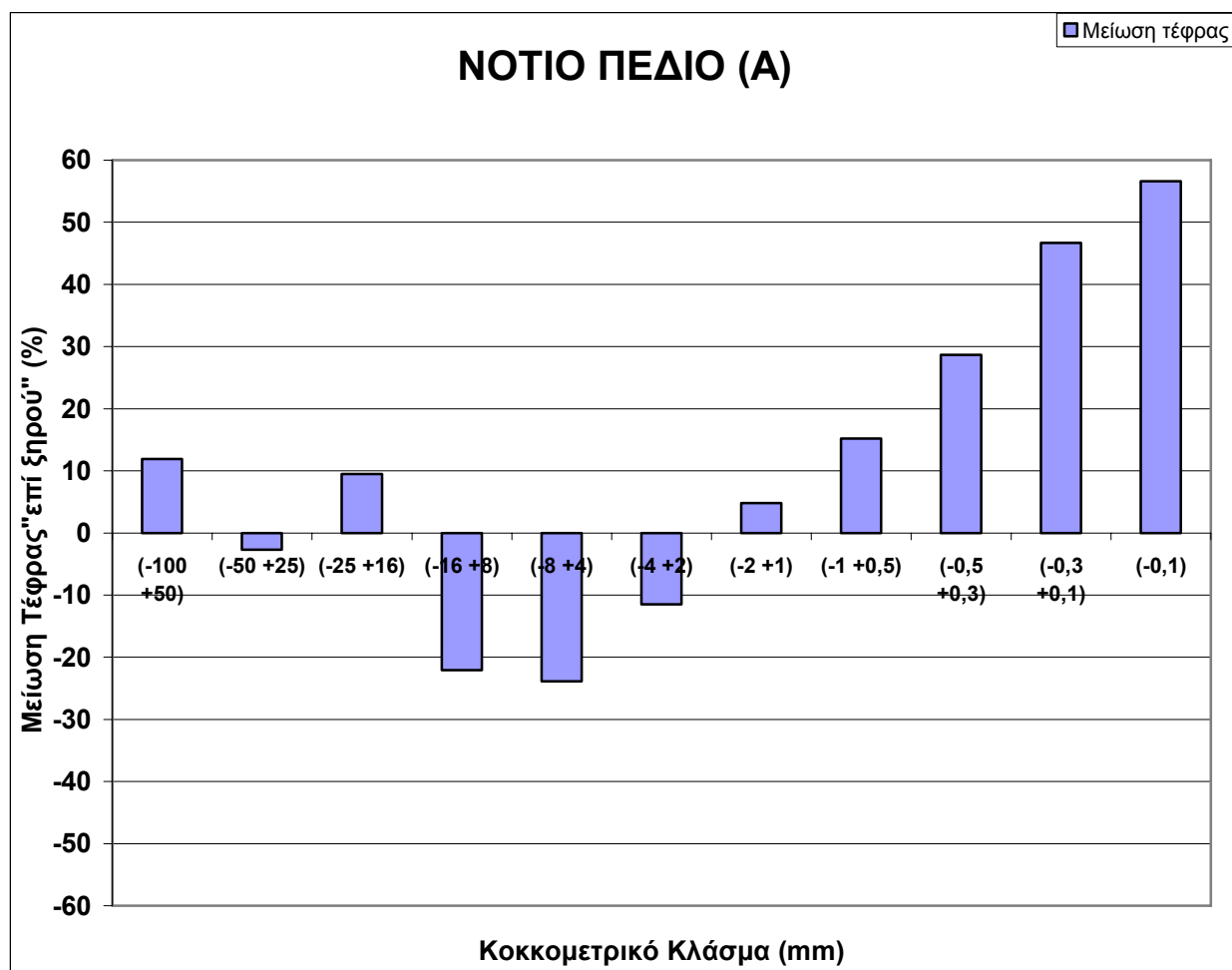
Η θραύση με την μεγαλύτερη μείωση τέφρας παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 4.4 έως 4.9. Ενδεικτικά παρουσιάζονται, παρακάτω, τα διαγράμματα της αρχικής κατανομής και της Α΄ Θραύσης κάθε κλάσματος, ενώ οι υπόλοιπες θραύσεις παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 1 έως 6 στο Παράρτημα 1. Συγκεκριμένα, στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου η μεγαλύτερη μείωση τέφρας παρατηρείται στην αρχική κατανομή στο μέγεθος +100mm και έχει τιμή -45.8%. Στο δείγμα του Αμυνταίου η τιμή της μεγαλύτερης μείωσης τέφρας είναι -38.3% και εμφανίζεται στην αρχική κατανομή και στην Α΄ και Β΄ θραύση στο μέγεθος -50 +25mm. Τέλος, στο δείγμα της Καρδιάς, η μεγαλύτερη τιμή (-50.9%) εντοπίζεται στην αρχική κατανομή στο μέγεθος +100mm.

Ακολουθούν τα Διαγράμματα 4.10 έως 4.15, καθώς και τα Διαγράμματα 7 έως 12 του Παραρτήματος 1, στα οποία παρουσιάζεται η μεταβολή της Αθροιστικής Τέφρας ‘επί ξηρού’ Παραμένοντος (%) και του Αθροιστικού Βάρους ‘επί ξηρού’ Παραμένοντος (%) ως προς το Μέγεθος των Τεμαχιδίων. Από τα διαγράμματα αυτά γίνεται φανερό ότι τόσο το Αθροιστικό Βάρος Παραμένοντος όσο και η Αθροιστική Τέφρα Παραμένοντος αυξάνονται καθώς μειώνεται το μέγεθος των τεμαχιδίων.

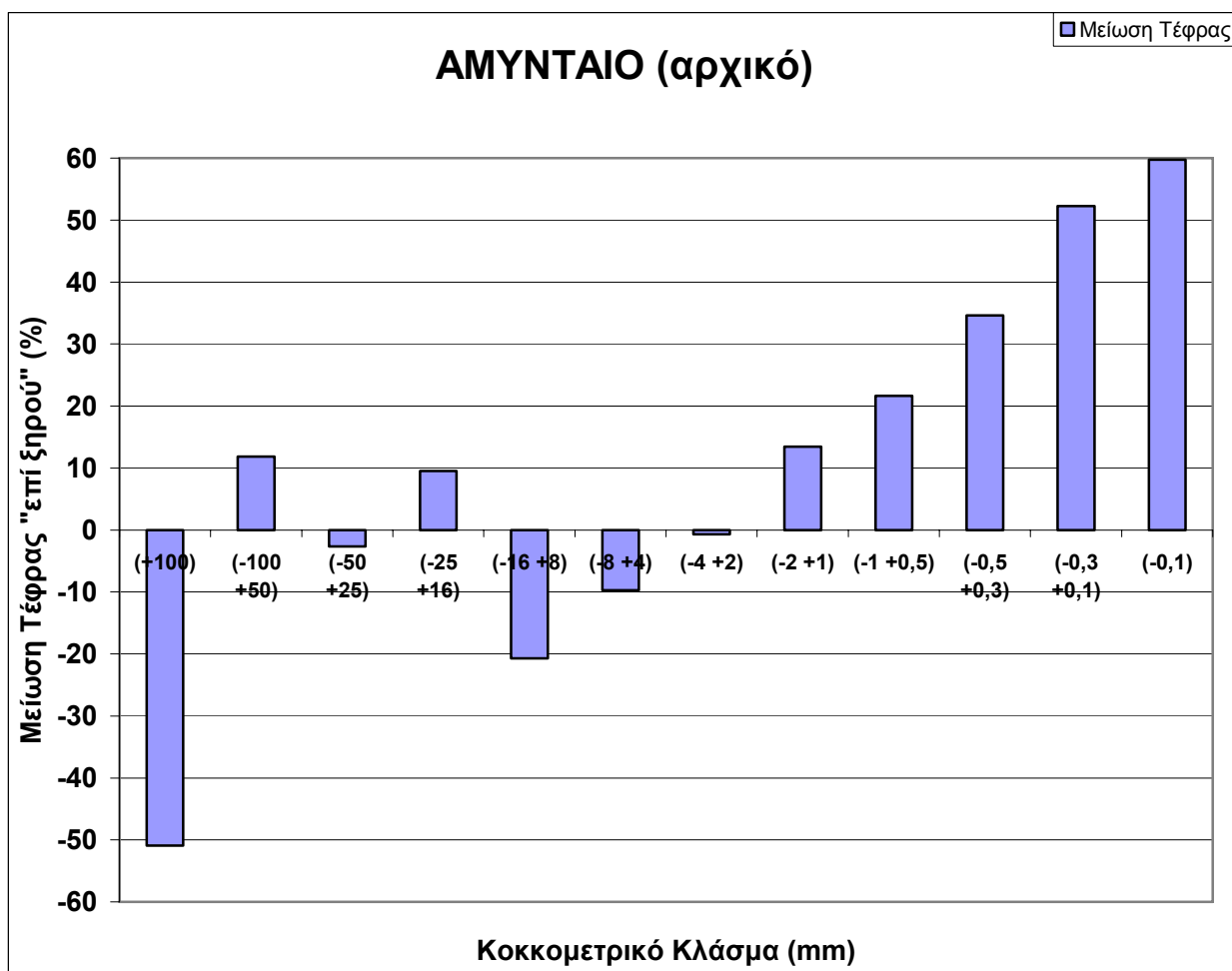
Εξαίρεση αποτελούν τα πολύ χονδρόκοκκα κλάσματα όπου ο διαχωρισμός οργανικής και ανόργανης ύλης δεν έχει επιτευχθεί.



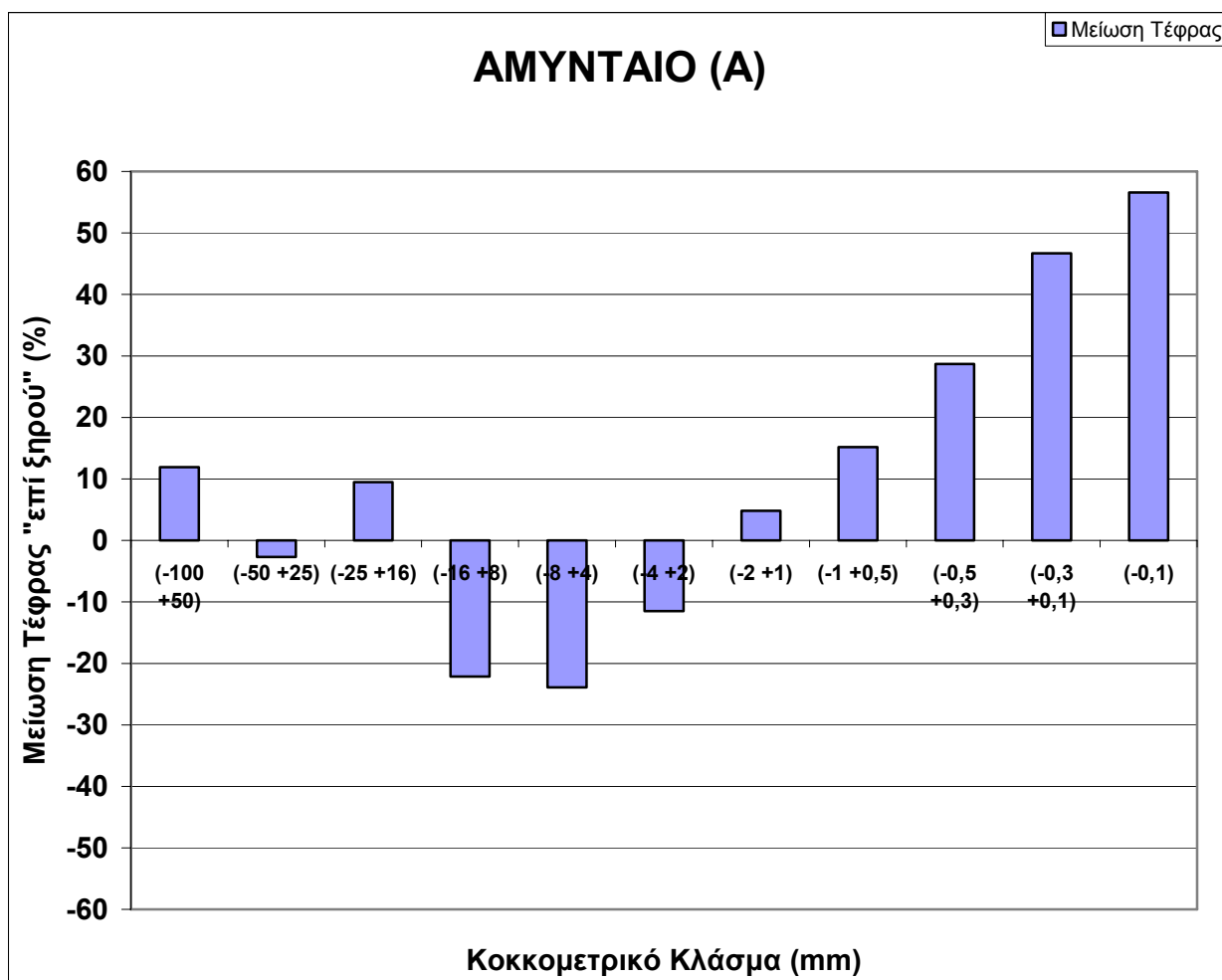
Διάγραμμα 4.4: Μείωση Τέφρας 'επί ξηρού' των Κλασμάτων της Αρχικής Κατανομής προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.



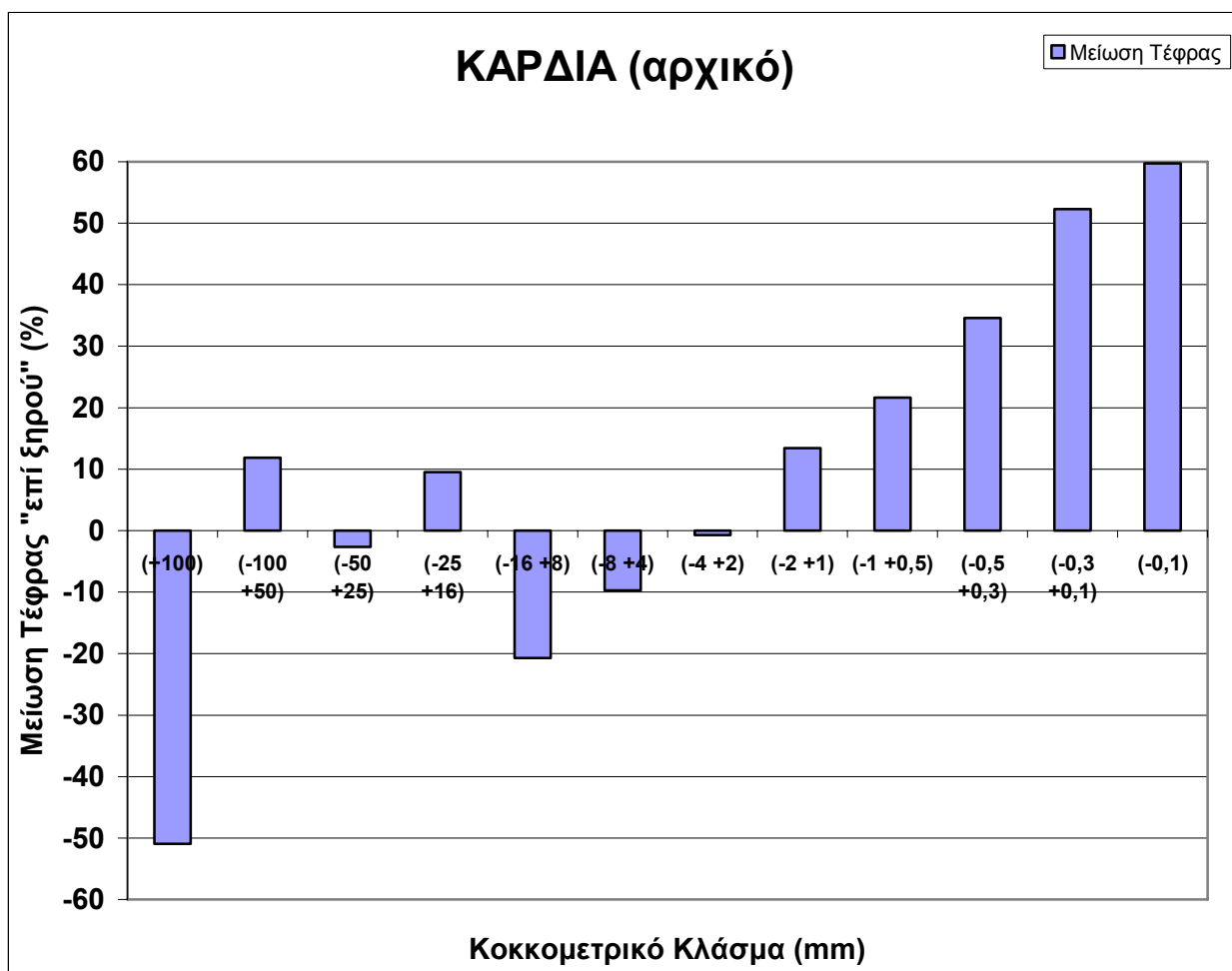
Διάγραμμα 4.5: Μείωση Τέφρας ‘επί ξηρού’ των Κλασμάτων της Α΄ Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.



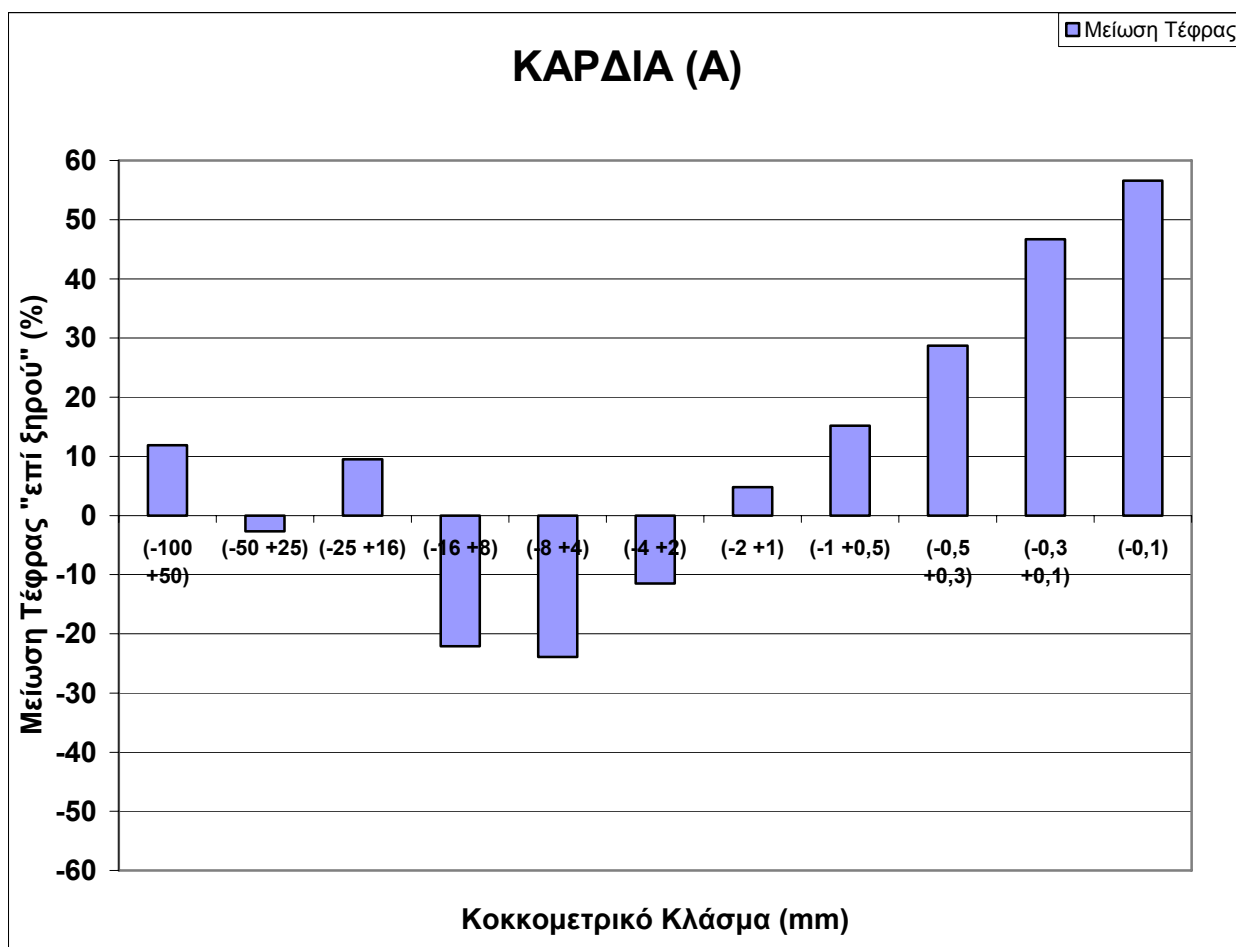
Διάγραμμα 4.6: Μείωση Τέφρας 'επί ξηρού' των Κλασμάτων της Αρχικής Κατανομής προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.



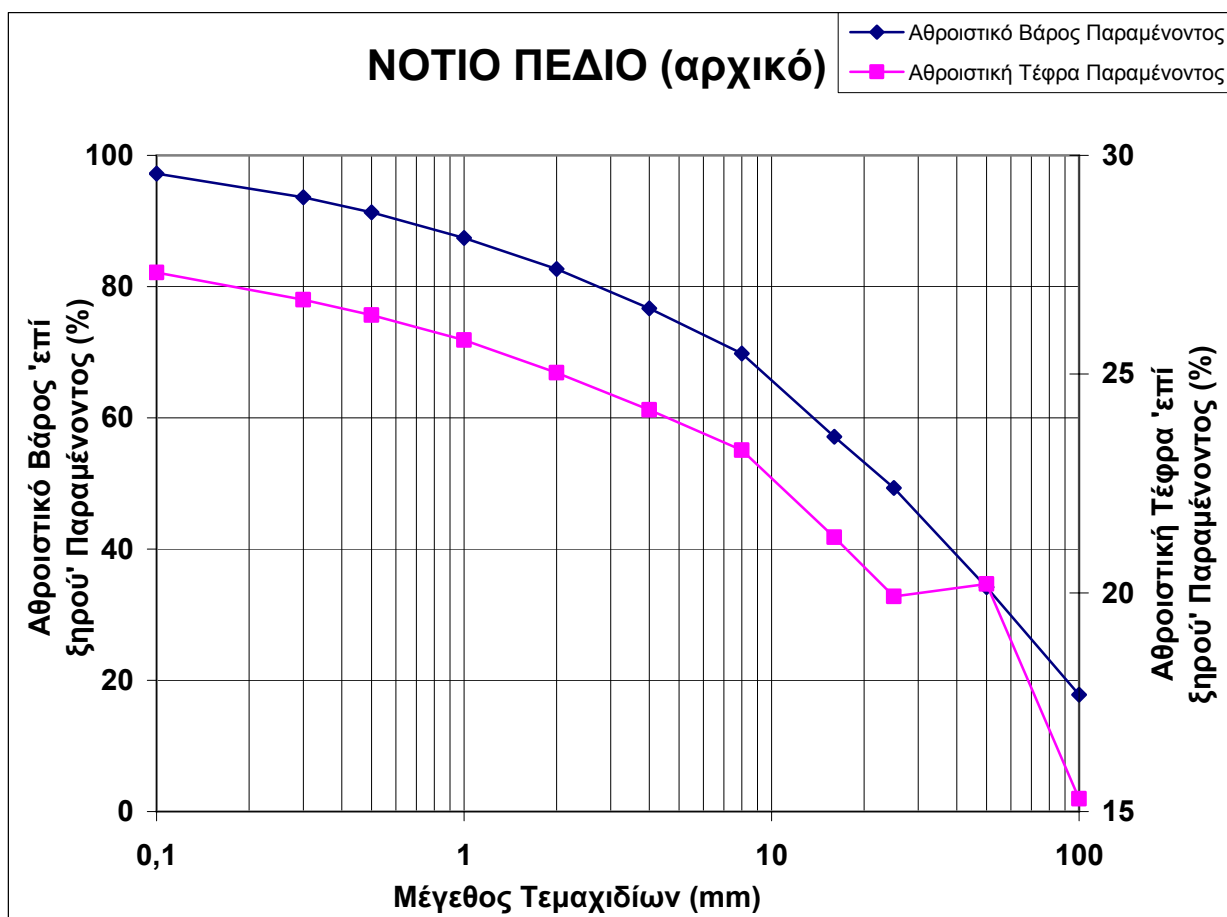
Διάγραμμα 4.7: Μείωση Τέφρας 'επί ξηρού' των Κλασμάτων της Α' Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.



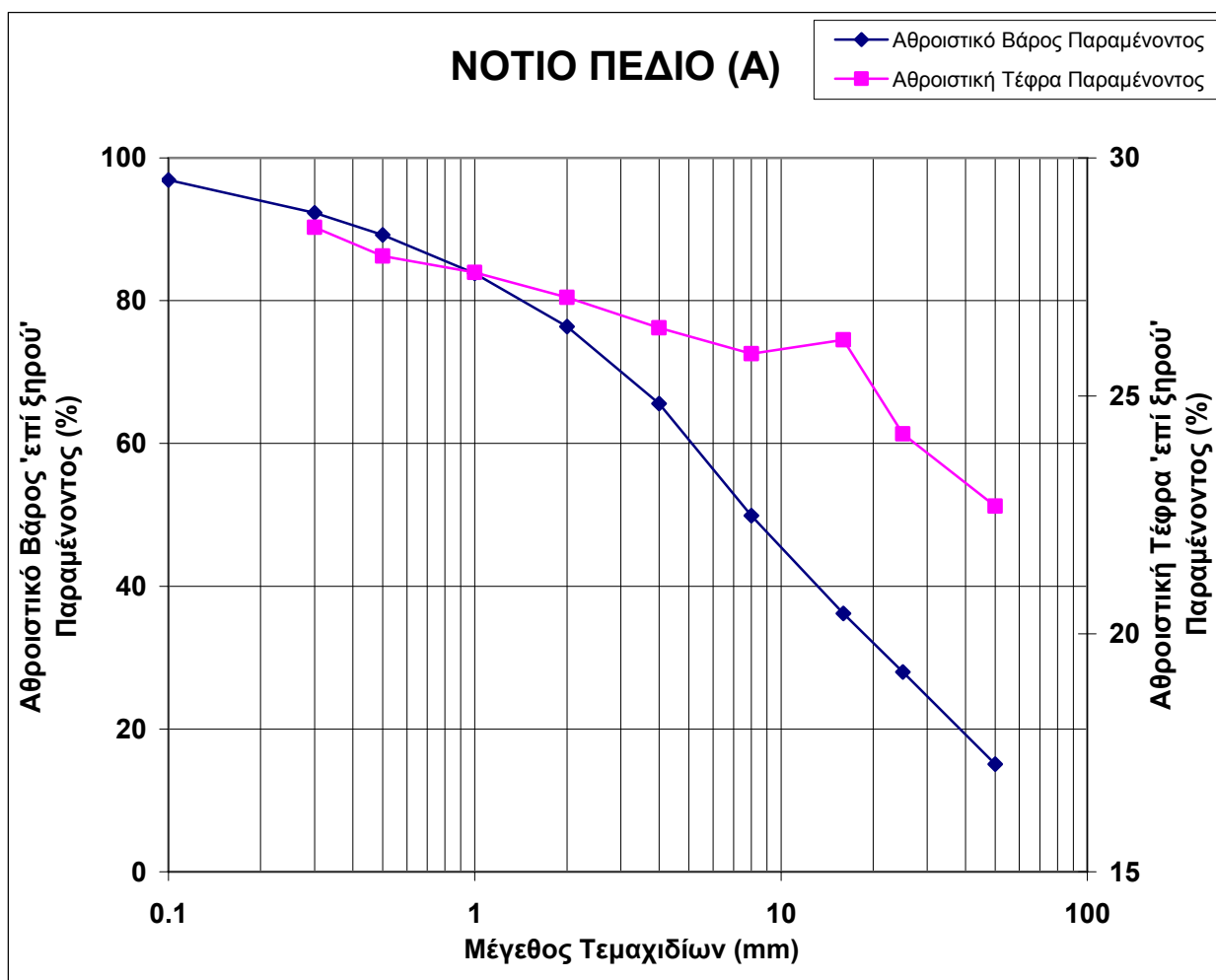
Διάγραμμα 4.8: Μείωση Τέφρας 'επί ξηρού' των Κλασμάτων της Αρχικής Κατανομής προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.



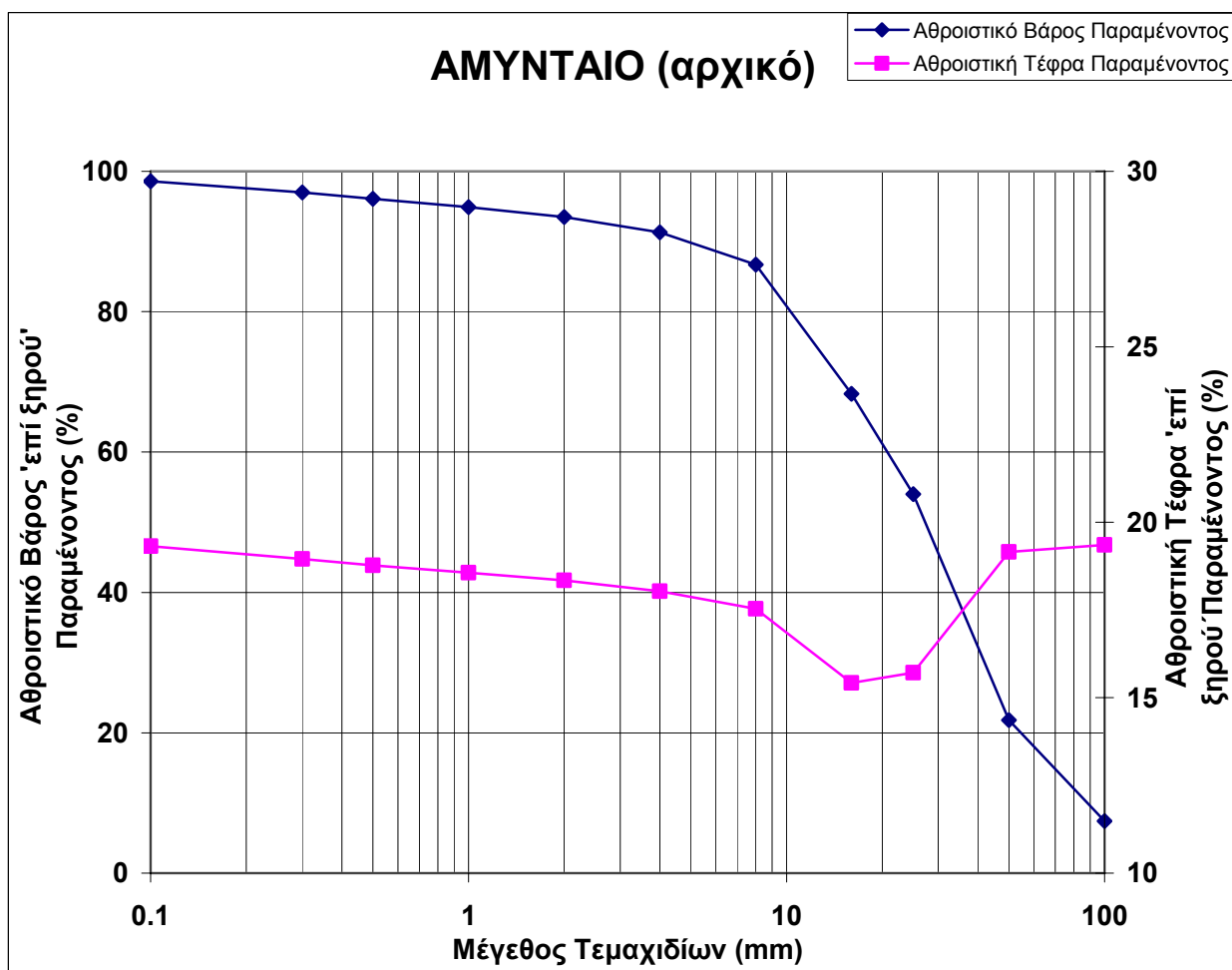
Διάγραμμα 4.9: Μείωση Τέφρας ‘επί ξηρού’ των Κλασμάτων της Α΄ Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.



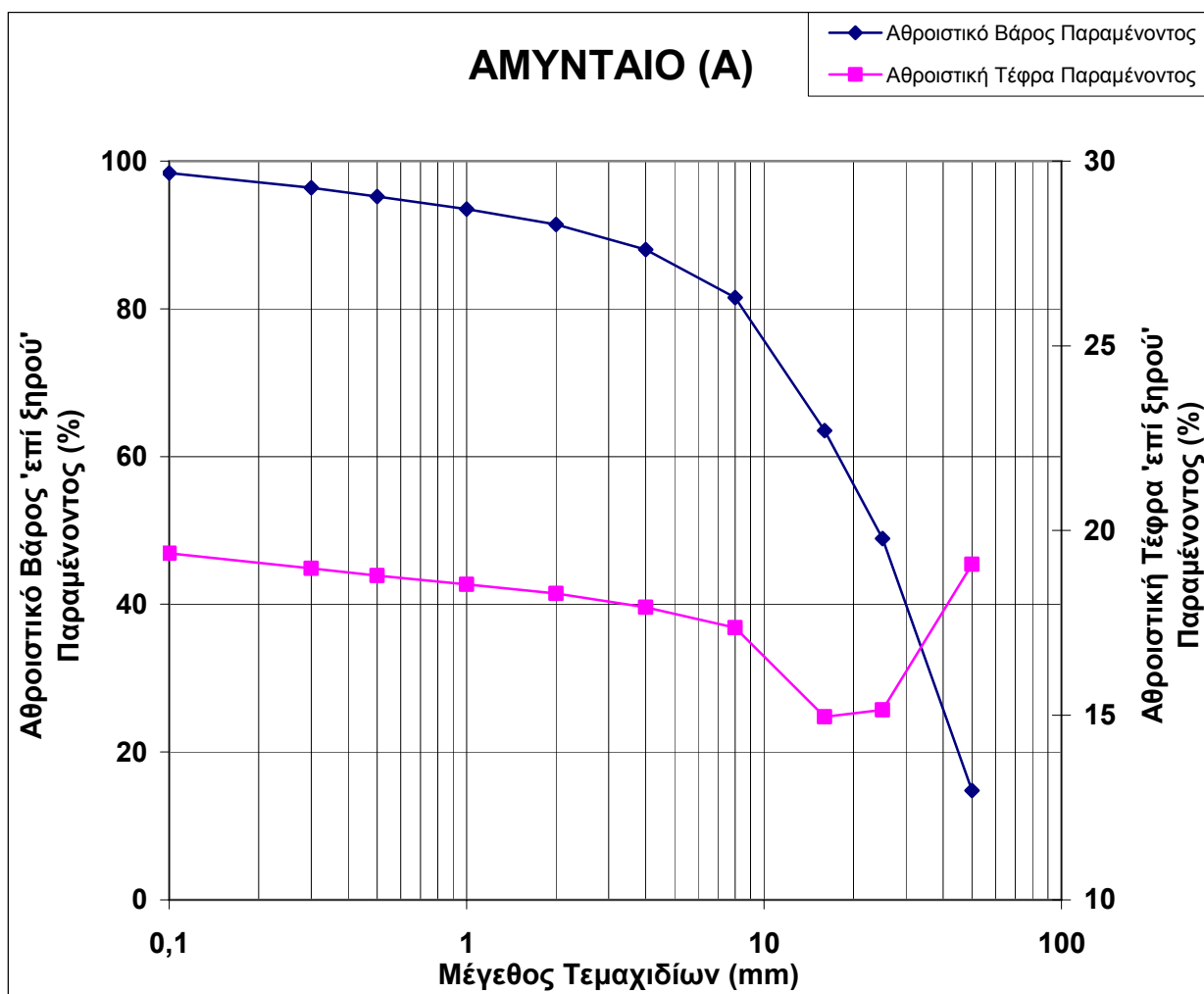
Διάγραμμα 4.10: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ‘επί ξηρού’ και της Αθροιστικής Τέφρας ‘επί ξηρού’ Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχικής Κατανομής.



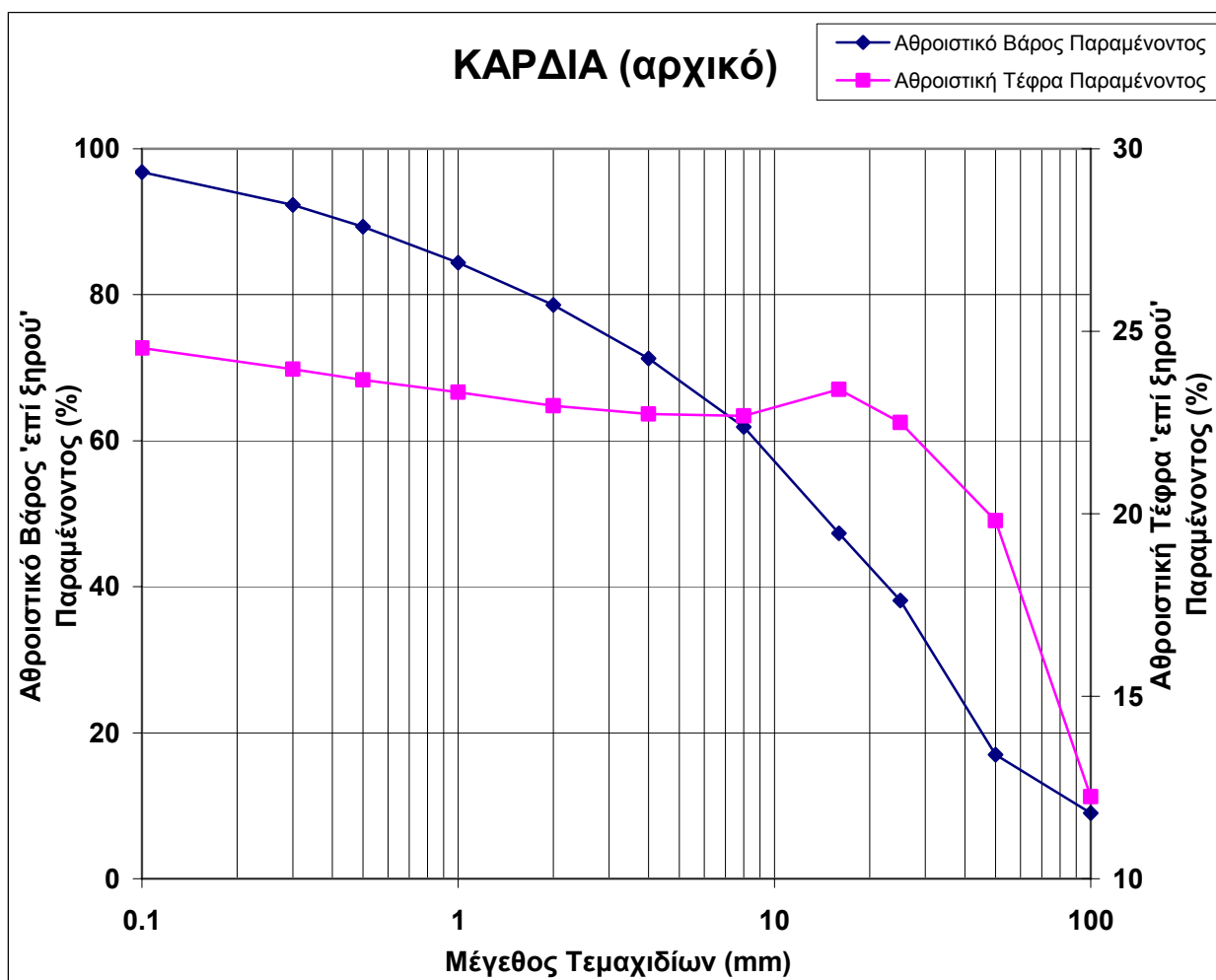
Διάγραμμα 4.11: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'επί ξηρού' και της Αθροιστικής Τέφρας 'επί ξηρού' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α' Θραύσης.



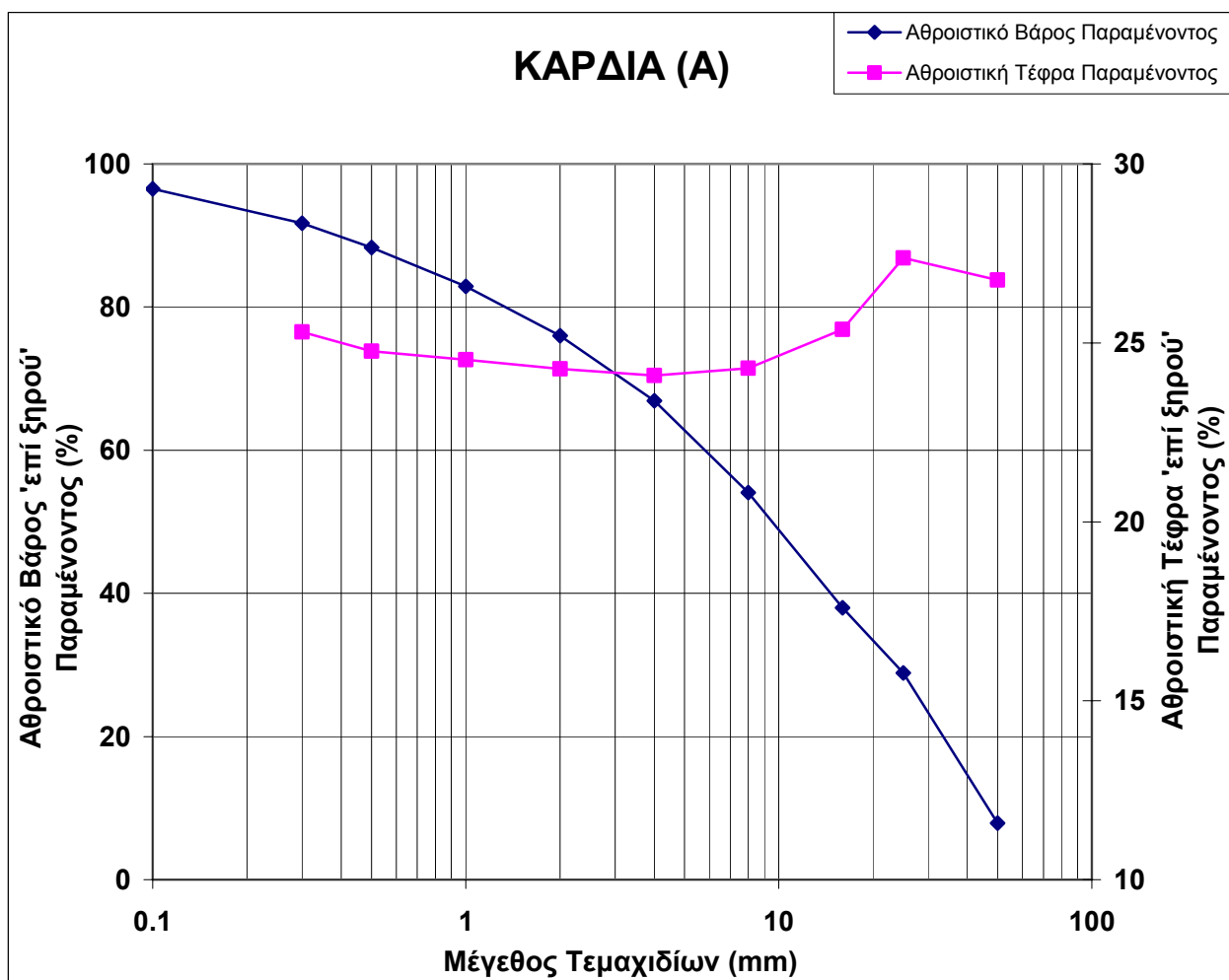
Διάγραμμα 4.12: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'επί ξηρού' και της Αθροιστικής Τέφρας 'επί ξηρού' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχικής Κατανομής.



Διάγραμμα 4.13: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'επί ξηρού' και της Αθροιστικής Τέφρας 'επί ξηρού' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α' Θραύσης.



Διάγραμμα 4.14: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'επί ξηρού' και της Αθροιστικής Τέφρας 'επί ξηρού' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχική Κατανομή.



Διάγραμμα 4.15: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένουτος Βάρους 'επί ξηρού' και της Αθροιστικής Τέφρας 'επί ξηρού' Παραμένουτος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α' Θραύσης.

Όπως διαπιστώνεται στους Πίνακες 4.17 έως 4.20 για το δείγμα του Νοτίου Πεδίου, το μέγεθος -50 +25mm της Α' και Β' Θραύσης, εμφανίζει τη μικρότερη κατανομή τέφρας ανά βάρος κλάσματος ($K=0.67$) και αποτελεί το μέγεθος που αρχίζει να αποδεσμεύεται η τέφρα στις θραύσεις αυτές. Στη Γ' Θραύση η αποδέσμευση ξεκινάει από το κλάσμα -8 +4mm με κατανομή τέφρας ανά βάρος κλάσματος $K=0.80$.

Όσον αφορά το δείγμα του Αμύνταιου, είναι φανερό από τους Πίνακες 4.21 έως 4.25 ότι το μέγεθος -50 +25mm της Αρχικής Κατανομής και της Α' Θραύσης εμφανίζει τη μικρότερη κατανομή τέφρας ανά βάρος κλάσματος ($K=0.68$) όπου αρχίζει να αποδεσμεύεται η τέφρα. Επίσης, στη Β' Θραύση η μικρότερη κατανομή τέφρας εμφανίζεται στο μέγεθος -50 +25mm με τιμή $K=0.65$. Όμοια, το μέγεθος -25 +16mm όπου εμφανίζεται το μικρότερο K ($K=0.61$) για τη Γ' Θραύση, αποτελεί ένα δεύτερο μέγεθος έναρξης της αποδέσμευσης της τέφρας.

Από τους Πίνακες 4.26 έως 4.28, γίνεται φανερό ότι η αποδέσμευση της τέφρας στο δείγμα της Καρδιάς αρχίζει στο μέγεθος +100mm της Αρχικής Κατανομής με κατανομή τέφρας ίση με $K=0.49$. Στην Α' Θραύση η μικρότερη τιμή του K εμφανίζεται στο μέγεθος -8 +4mm ($K=0.75$), ενώ στην Β' Θραύση εμφανίζεται στο μέγεθος -16 +8mm ($K=0.77$).

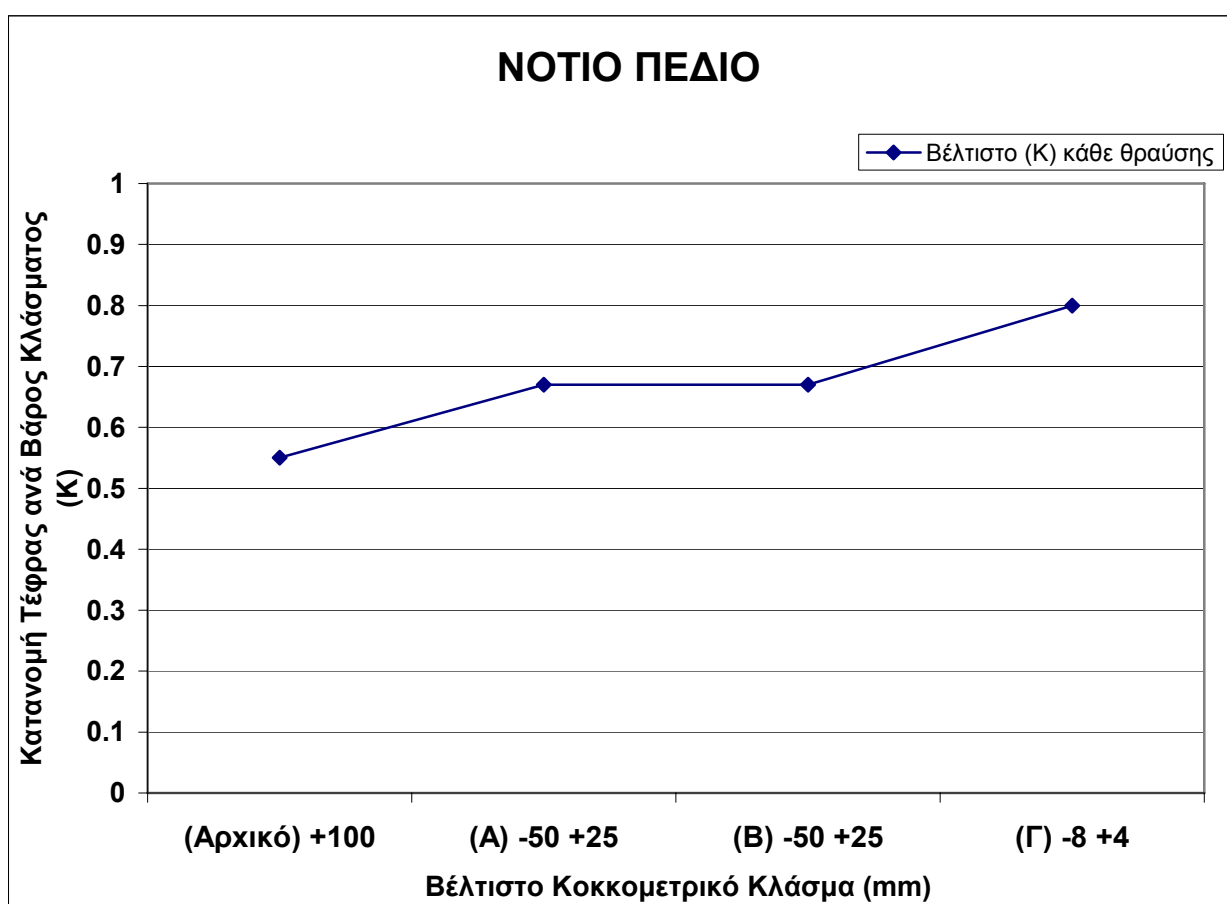
Στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου, σε όλες τις θραύσεις, οι τιμές του (K) αρχικά αυξάνονται, εν συνεχεία μειώνονται και τέλος, αυξάνονται και πάλι στα λεπτά κλάσματα. Μια τέτοια αυξομείωση του (K) οφείλεται στο γεγονός της μη ουσιαστικής αποδέσμευσης του ανόργανου από το οργανικό υλικό. Στη κατανομή αυτή, τα δύο υλικά ακόμη αλληλεμπλέκονται και ανακατανέμονται, φαινόμενο που σταματάει ουσιαστικά να υφίσταται με την πρόοδο της Ε.Ε.Μ. Η αποδέσμευση γίνεται ουσιαστική στην Α' Θραύση, όπου το (K) αυξάνεται συνεχώς προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα. Κάτι τέτοιο υποδηλώνει την αυξημένη δυνατότητα διαχωρισμού της τέφρας από το λιγνίτη, αφού αποτελεί ένα μέτρο συγκέντρωσής της σε κάθε κλάσμα του δείγματος, κατά τη διαδικασία του εμπλουτισμού του με την Ε.Ε.Μ.

Στην αρχική κατανομή του δείγματος του Αμυνταίου, οι τιμές του (K) παρουσιάζουν μείωση έως το μέγεθος -50 +25mm και εν συνεχεία αύξηση στα λεπτόκοκκα κλάσματα. Ομοίως, στην Α' Θραύση οι τιμές του (K) παρουσιάζουν μείωση έως το μέγεθος -50 +25mm και στη συνέχεια αυξάνονται. Η ουσιαστική

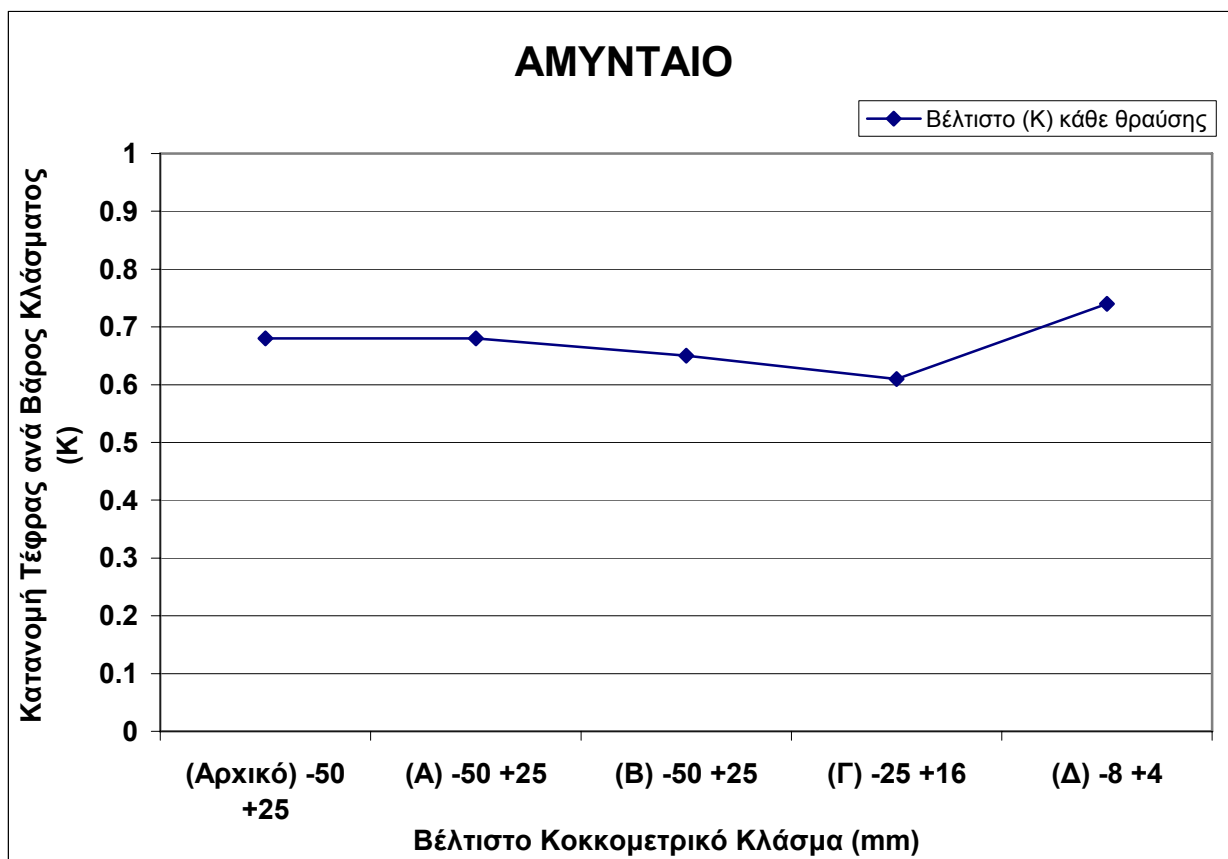
αποδέσμευση της τέφρας πραγματοποιείται στο μέγεθος -50 +25mm της Β' Θραύσης όπου οι τιμές του (Κ) αρχίζουν να αυξάνονται προς τα λεπτόκκοκα.

Όσον αφορά το δείγμα της Καρδιάς, σε όλες τις θραύσεις παρατηρείται αυξομείωση στις τιμές του (Κ) από το μέγεθος -100 +50mm έως το μέγεθος -16 +8mm. Γενικά, παρατηρείται ότι η αποδέσμευση του ανόργανου από το οργανικό υλικό πραγματοποιείται στο κλάσμα -16 +8mm όλων των θραύσεων.

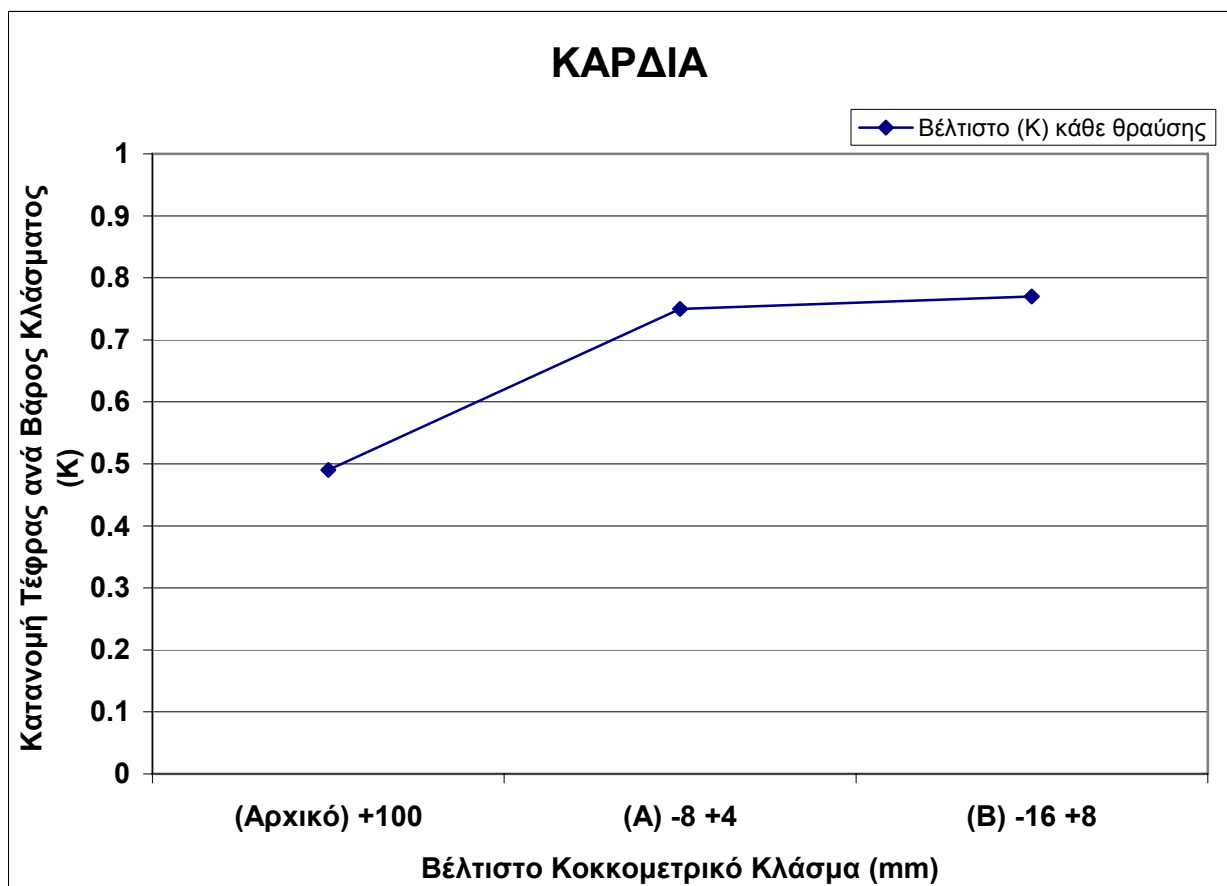
Για κάθε θραύση εντοπίστηκε η βέλτιστη (μικρότερη) τιμή του (Κ) και σχεδιάστηκαν τα συγκεντρωτικά Διαγράμματα 4.16, 4.17 και 4.18.



Διάγραμμα 4.16: Μικρότερη (Βέλτιστη) Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (Κ) κάθε θραύσης συναρτήσει του αντίστοιχου Κοκκομετρικού Κλάσματος αυτής.



Διάγραμμα 4.17: Μικρότερη (Βέλτιστη) Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (Κ) κάθε θραύσης συναρτήσει του αντίστοιχου Κοκκομετρικού Κλάσματος αυτής.



Διάγραμμα 4.18: Μικρότερη (Βέλτιστη) Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (Κ) κάθε θραύσης συναρτήσει του αντίστοιχου Κοκκομετρικού Κλάσματος αυτής.

Για το δείγμα Νοτίου Πεδίου (Διάγραμμα 4.16) παρατηρείται ότι το (K) αυξάνεται αισθητά από την αρχική κατανομή προς την Α΄ Θραύση και αυξάνεται εν συνεχεία ελάχιστα από την Α΄ Θραύση προς την Β΄ Θραύση. Από την Β΄ προς την Γ΄ Θραύση η αύξηση είναι έντονη.

Στο δείγμα του Αμυνταίου (Διάγραμμα 4.17) εμφανίζεται μία συνεχής μείωση της τιμής της (K) από την αρχική κατανομή προς την Γ΄ Θραύση και εν συνεχεία μια σημαντική αύξηση της προς την Δ΄ Θραύση.

Όσον αφορά το δείγμα Καρδιάς (Διάγραμμα 4.18) παρατηρείται μια έντονη αύξηση της τιμής της (K) από την αρχική κατανομή προς την Α΄ Θραύση. Η αύξηση αυτή συνεχίζεται προς την Β΄ Θραύση αλλά είναι ανεπαίσθητη.

Η καλύτερη αποδέσμευση του οργανικού από το ανόργανο μέρος των δειγμάτων παρουσιάζεται στο μέγεθος +100mm της αρχικής κατανομής στο Νότιο Πεδίο, στο κλάσμα -50 +25mm της Β΄ Θραύσης στο δείγμα του Αμυνταίου και, τέλος, στο μέγεθος +100mm της αρχικής κατανομής στο δείγμα της Καρδιάς διότι:

- (α) η κατανομή της τέφρας ανά βάρος κλάσματος είναι η μικρότερη από κάθε άλλη,
- (β) εμφανίζεται η μεγαλύτερη μείωση του ποσοστού της τέφρας ως προς την τέφρα του αρχικού δείγματος,
- (γ) το κλάσμα εμφανίζει την μικρότερη τέφρα ‘επί ξηρού’.

Γενικά, όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το κλάσμα τόσο πιο καλή είναι η αποδέσμευση αλλά και ταυτόχρονα λιγότερο οικονομική.

Στις θραύσεις εμφανίζεται μεγάλο εύρος τιμών του (K) και αυτό υποδεικνύει ότι δεν απαιτείται λεπτομερέστερη θραύση του υλικού για την επίτευξη καλύτερης αποδέσμευσης, αφού το δείγμα χαρακτηρίζεται από τη διασπορά του ανόργανου υλικού στη μάζα του λιγνίτη. Τα ποσοστά μείωσης της τέφρας εξαρτώνται όχι μόνο από το αρχικό ποσοστό της τέφρας, αλλά και από τη σύστασή της και τον τρόπο κατανομής της στη μάζα του λιγνίτη. Υλικά που κατανέμονται σε στρώματα το ένα εντός του άλλου αποδεσμεύονται σε μεγέθη τουλάχιστον μικρότερα του πάχους των στρωμάτων, ενώ τα υλικά που το ένα διασπείρεται στη μάζα του άλλου απαιτούν λεπτομερέστερη θραύση.

4.4 Αποτελέσματα του Εμπλουτισμού στα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά των Δειγμάτων

Μετά την λεπτομερή ανάλυση των αποτελεσμάτων εμπλουτισμού του δείγματος σε κάθε θραύση μελετώνται οι παράμετροι του Αθροιστικού Βάρους, της Αθροιστικής Τέφρας ‘επί ξηρού’ και της Αθροιστικής ΚΘΔ ‘ως έχει’ του συμπυκνώματος, προκειμένου να διαπιστωθεί η ύπαρξη κάποιας συγκεκριμένης κοκκομετρίας του δείγματος που να καλύπτει τις προδιαγραφές για καύση στους λέβητες της ΔΕΗ.

Οι παράμετροι του Αθροιστικού Βάρους και της Αθροιστικής Τέφρας ‘επί ξηρού’ δίνονται στους Πίνακες 4.17 έως 4.28, ενώ η Αθροιστική ΚΘΔ ‘ως έχει’ του συμπυκνώματος, για κάθε θραύση ξεχωριστά δίδεται στους Πίνακες 4.29 έως 4.34 που ακολουθούν, καθώς και στους Πίνακες 1 έως 6 του Παραρτήματος 2. Επίσης, η μεταβολή της Αθροιστικής Τέφρας και της Αθροιστικής ΚΘΔ με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων του συμπυκνώματος παρίσταται γραφικά στα Διαγράμματα 4.10 έως 4.15 και 4.19 έως 4.24.

Από τους Πίνακες 4.29 έως 4.34 παρατηρείται ότι η Αθροιστική ΚΘΔ ‘ως έχει’ μειώνεται καθώς αυξάνεται η τέφρα ‘επί ξηρού’ προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα. Στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου (Πίνακες 4.29 έως 4.30) το εύρος τιμών της Αθροιστικής ΚΘΔ ‘ως έχει’ είναι από 1376.5kcal/kg έως 1707.4kcal/kg, και παρουσιάζονται αυξημένες στην Αρχική Κατανομή και στην Β’ Θραύση. Όσον αφορά το δείγμα του Αμυνταίου (Πίνακες 4.31 έως 4.32), οι τιμές της Αθροιστικής ΚΘΔ ‘ως έχει’ κυμαίνονται μεταξύ 1478.4kcal/kg και 1746.5kcal/kg, με την μεγαλύτερη τιμή να εμφανίζεται στην Β’ Θραύση. Τέλος, το δείγμα της Καρδιάς παρουσιάζει εύρος τιμών 1405.9-2569.4kcal/kg (Πίνακες 4.33 έως 4.34) και οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στην Β’ Θραύση. Γενικά, παρατηρείται ότι η ελάχιστη τιμή της Αθροιστικής ΚΘΔ ‘ως έχει’ εντοπίζεται στην Γ’ Θραύση του Νοτίου Πεδίου (1376.5kcal/kg), ενώ η μεγαλύτερη στην Β’ Θραύση του δείγματος της Καρδιάς (2569.4kcal/kg).

Από τα Διαγράμματα 4.19 έως 4.24, καθώς και από τα Διαγράμματα 1 έως 6 του Παραρτήματος 2, γίνεται φανερό ότι το Αθροιστικό Βάρος ‘ως έχει’ αυξάνεται καθώς μειώνεται το μέγεθος των τεμαχιδίων, ενώ η Αθροιστική ΚΘΔ ‘ως έχει’ μειώνεται στα λεπτόκοκκα. Εξαίρεση αποτελούν τα χονδρόκοκκα κλάσματα του δείγματος του Αμυνταίου στα οποία ο διαχωρισμός του οργανικού και του ανόργανου υλικού δεν έχει επιτευχθεί.

ΝΟΤΙΟ ΠΕΔΙΟ

ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.29: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ .

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος 'ως έχει' (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμένοντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)
+100	20.3	20.3	1707.2	346.6	346.6	1707.4
-100 +50	17.6	37.9	1604.8	282.5	629.1	1659.9
-50 +25	16.5	54.4	1610.7	265.8	894.9	1645.0
-25 +16	7.7	62.1	1582.5	121.9	1016.8	1637.4
-16 +8	11.8	73.9	1541.0	181.8	1198.6	1621.9
-8 +4	6.4	80.3	1521.9	97.4	1296.0	1613.9
-4 +2	5.4	85.7	1504.1	81.2	1377.2	1607.0
-2 +1	4.1	89.8	1488.5	61.0	1438.2	1601.6
-1 +0.5	3.2	93.0	1476.6	47.3	1485.5	1597.3
-0.5 +0.3	1.9	94.9	1469.3	27.9	1513.4	1594.7
-0.3 +0.1	2.9	97.8	1456.4	42.2	1555.6	1590.6
-0.1	2.1	100	1447.4	30.4	1585.9	1586.0
Σύνολο	100			1585.9		

*ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)= 2026 - (20.85 * Τέφρα 'επί ξηρου'(%)) [14]

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.30: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ .

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος 'ως έχει' (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμένοντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)
- 100 +50	18.3	18.3	1486.6	272.0	272.0	1486.3
-50 +25	17.2	35.5	1553.1	267.1	539.1	1518.6
-25 +16	8.0	43.5	1521.4	121.7	660.8	1519.1
-16 +8	12.8	56.3	1480.2	189.5	850.3	1510.3
-8 +4	14.4	70.7	1486.2	214.0	1064.3	1505.4
-4 +2	9.6	80.3	1474.9	141.6	1205.9	1501.7
-2 +1	6.3	86.6	1461.6	92.1	1298.0	1498.8
-1 +0.5	4.5	91.1	1450.8	65.3	1363.3	1496.5
-0.5 +0.3	2.6	93.7	1443.5	37.5	1400.8	1495.0
-0.3 +0.1	3.7	97.4	1430.9	52.9	1453.7	1492.5
-0.1	2.5	100	1422.6	35.6	1489.3	1489.3
Σύνολο	100			1489.3		

*ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)= 2026 - (20.85 * Τέφρα 'επί ξηρου'(%))

ΑΜΥΝΤΑΙΟ

ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.31: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ .

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος 'ως έχει' (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμένοντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)
+100	8.1	8.1	1622.6	131.4	131.4	1622.2
-100 +50	15.2	23.3	1626.7	247.3	378.7	1625.3
-50 +25	34.3	57.6	1698.5	582.6	961.3	1668.9
-25 +16	15.0	72.6	1704.5	255.7	1217.0	1676.3
-16 +8	16.2	88.8	1660.5	269.0	1486.0	1673.4
-8 +4	3.9	92.7	1650.1	64.4	1550.4	1672.5
-4 +2	1.9	94.6	1643.6	31.2	1581.6	1671.9
-2 +1	1.3	95.9	1639.0	21.3	1602.9	1671.4
-1 +0.5	0.9	96.8	1634.7	14.7	1617.6	1671.1
-0.5 +0.3	0.8	97.6	1630.9	13.0	1630.6	1670.7
-0.3 +0.1	1.3	98.9	1623.2	21.1	1651.8	1670.2
-0.1	1.1	100	1616.7	17.8	1669.5	1669.5
Σύνολο	100			1669.5		

*ΚΘΔ 'ως έχει'(kcal/kg)= 2026 - (20.85 * Τέφρα 'επί ξηρου'(%))

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.32: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ .

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος 'ως έχει' (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμένοντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)
- 100 +50	15.6	15.6	1628.2	254.0	254.0	1628.2
-50 +25	35.3	50.9	1710.3	603.7	857.7	1685.1
-25 +16	15.5	66.4	1714.3	265.7	1123.4	1691.9
-16 +8	16.9	83.3	1663.8	281.2	1404.6	1686.2
-8 +4	6.2	89.5	1652.4	102.4	1507.0	1683.8
-4 +2	3.2	92.7	1644.7	52.6	1559.6	1682.4
-2 +1	1.9	94.6	1639.4	31.1	1590.7	1681.5
-1 +0.5	1.4	96.0	1634.4	22.9	1613.6	1680.8
-0.5 +0.3	1.0	97.0	1630.5	16.3	1629.9	1680.3
-0.3 +0.1	1.6	98.6	1621.9	26.0	1655.9	1679.4
-0.1	1.3	100	1614.8	21.0	1677.0	1677.0
Σύνολο	100			1677.0		

*ΚΘΔ 'ως έχει'(kcal/kg)= 2026 - (20.85 * Τέφρα 'επί ξηρου'(%))

ΚΑΡΔΙΑ

ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.33: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ .

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος 'ως έχει' (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμένοντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)
+100	10.0	10.0	1770.6	177.1	177.1	1771.0
-100 +50	8.9	18.9	1613.0	143.6	320.7	1696.8
-50 +25	22.6	41.5	1556.9	351.9	672.6	1620.7
-25 +16	8.5	50.0	1537.9	130.7	803.3	1606.6
-16 +8	14.6	64.6	1553.1	226.8	1030.1	1594.6
-8 +4	9.2	73.8	1552.1	142.8	1172.9	1589.3
-4 +2	7.4	81.2	1547.3	114.5	1287.4	1585.5
-2 +1	5.5	86.7	1539.6	84.7	1372.1	1582.6
-1 +0.5	4.1	90.8	1532.5	62.8	1434.9	1580.3
-0.5 +0.3	2.6	93.4	1526.4	39.7	1474.6	1578.8
-0.3 +0.1	3.8	97.2	1514.3	57.5	1532.1	1576.2
-0.1	2.7	100	1503.9	40.6	1572.6	1572.6
Σύνολο	100			1572.6		

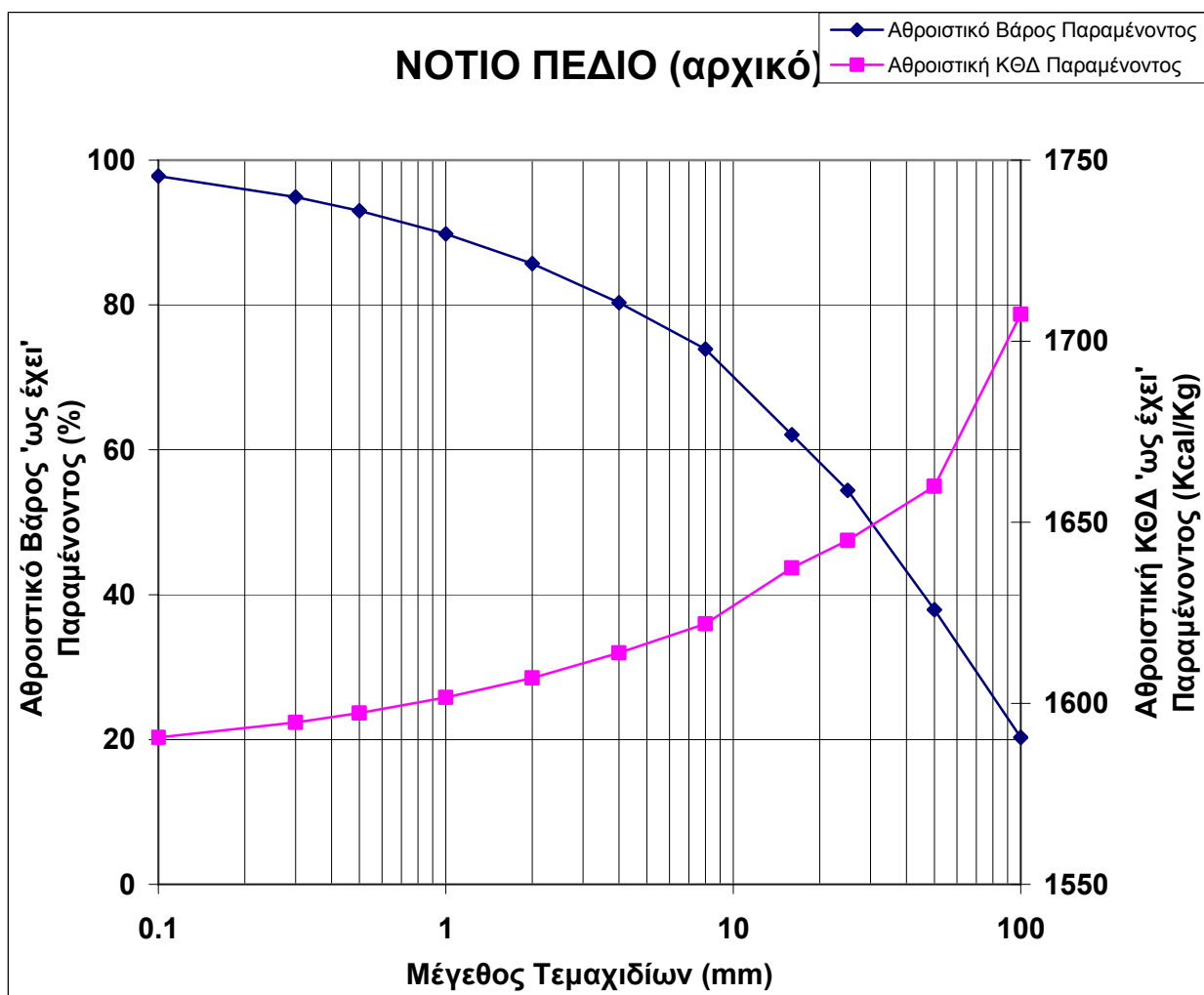
*ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)= 2026 - (20.85 * Τέφρα 'επί ξηρου'(%))

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

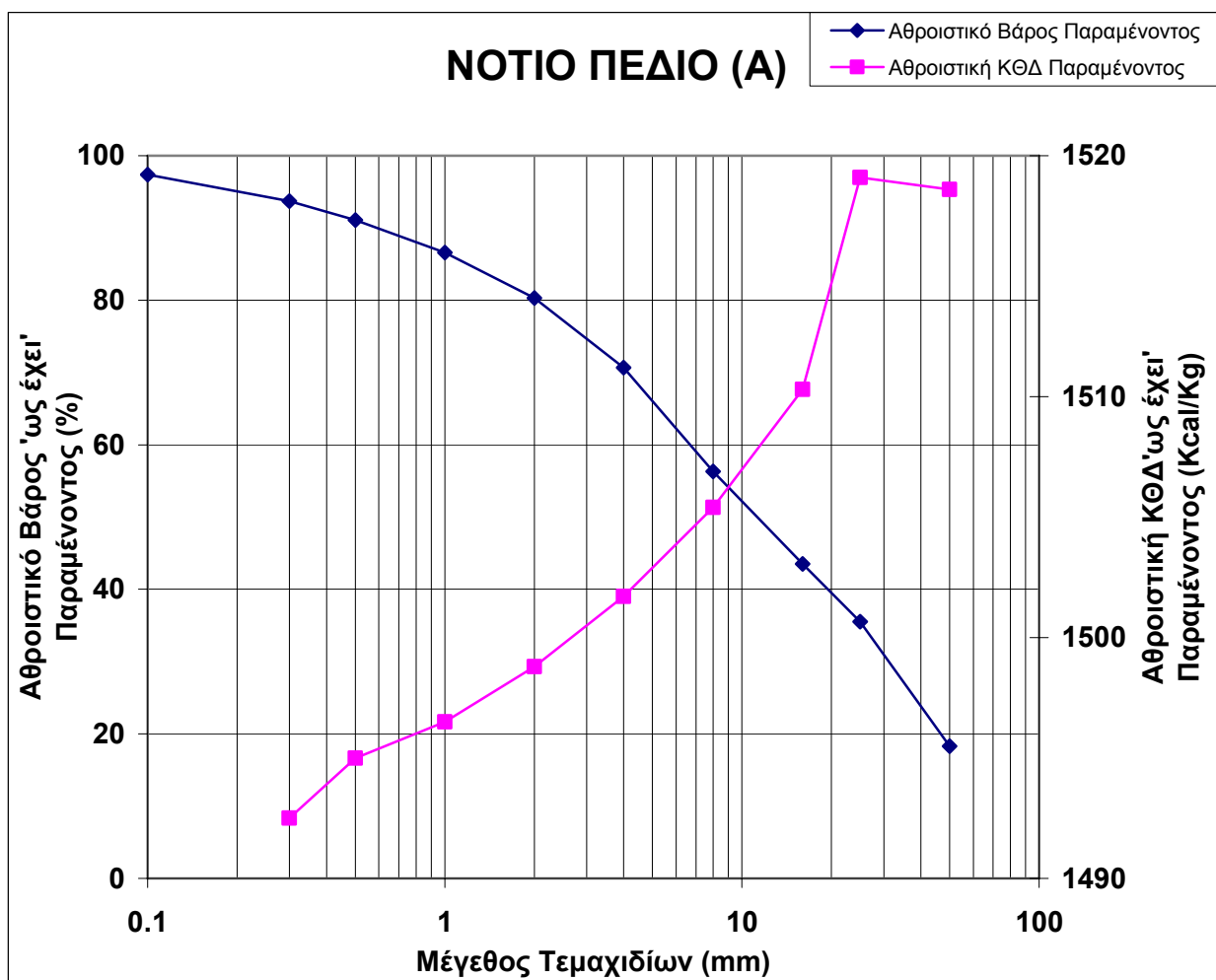
Πίνακας 4.34: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος 'ως έχει' (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμένοντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)
- 100 +50	10.2	10.2	1431.2	146.0	146.0	1431.4
-50 +25	9.1	19.3	1468.3	133.6	279.6	1448.7
-25 +16	23.1	42.4	1455.3	336.2	615.8	1452.4
-16 +8	15.4	57.8	1496.8	230.5	846.3	1464.2
-8 +4	12.6	70.4	1519.6	191.5	1037.8	1474.1
-4 +2	9.1	79.5	1523.7	138.7	1176.5	1479.9
-2 +1	6.3	85.8	1520.0	95.8	1272.3	1482.9
-1 +0.5	4.5	90.3	1514.6	68.2	1340.5	1484.5
-0.5 +0.3	2.8	93.1	1509.6	42.3	1382.8	1485.3
-0.3 +0.1	4.1	97.2	1498.3	61.4	1444.2	1485.8
-0.1	2.8	100	1489.7	41.7	1485.7	1485.7
Σύνολο	100			1485.7		

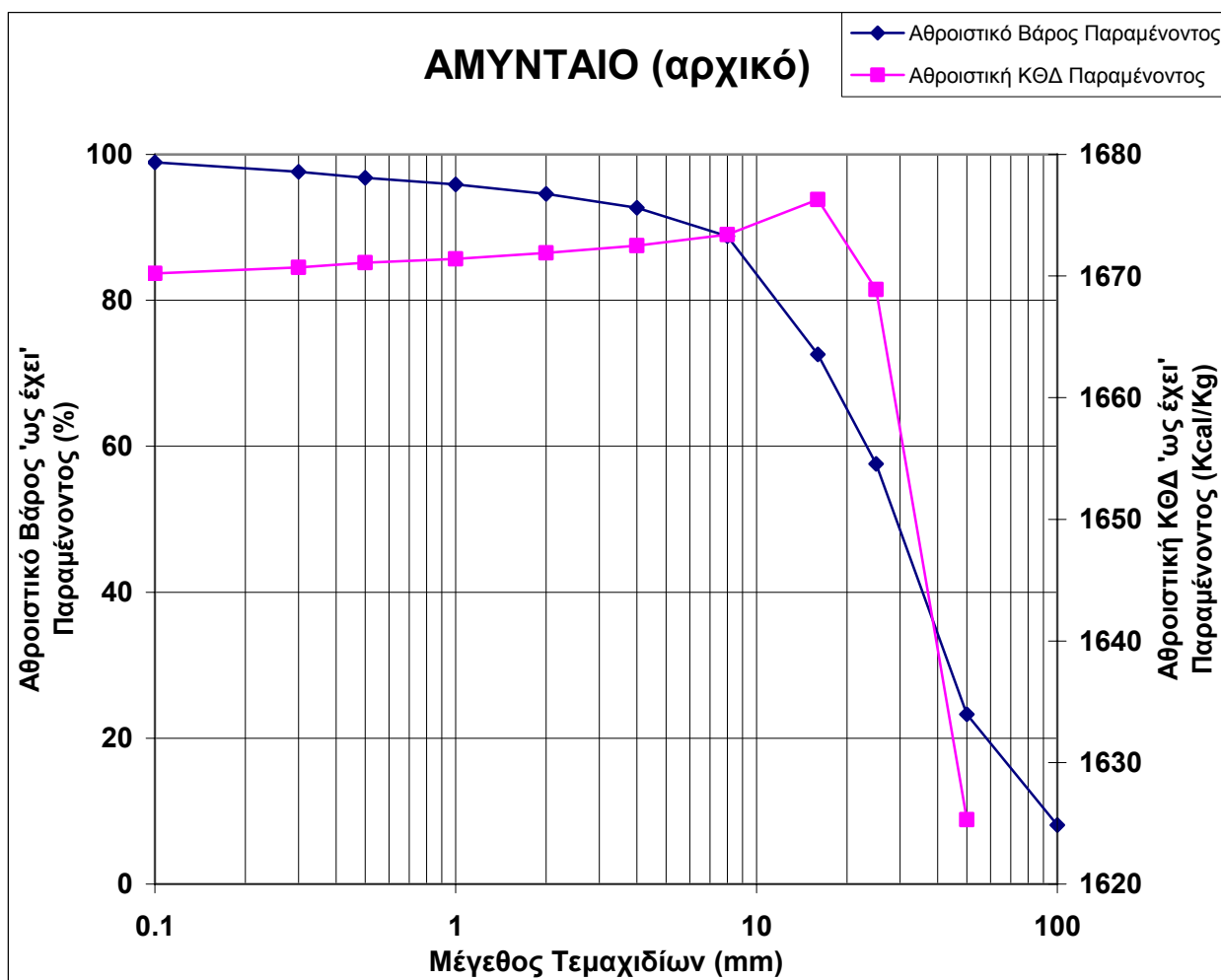
*ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)= 2026 - (20.85 * Τέφρα 'επί ξηρου'(%))



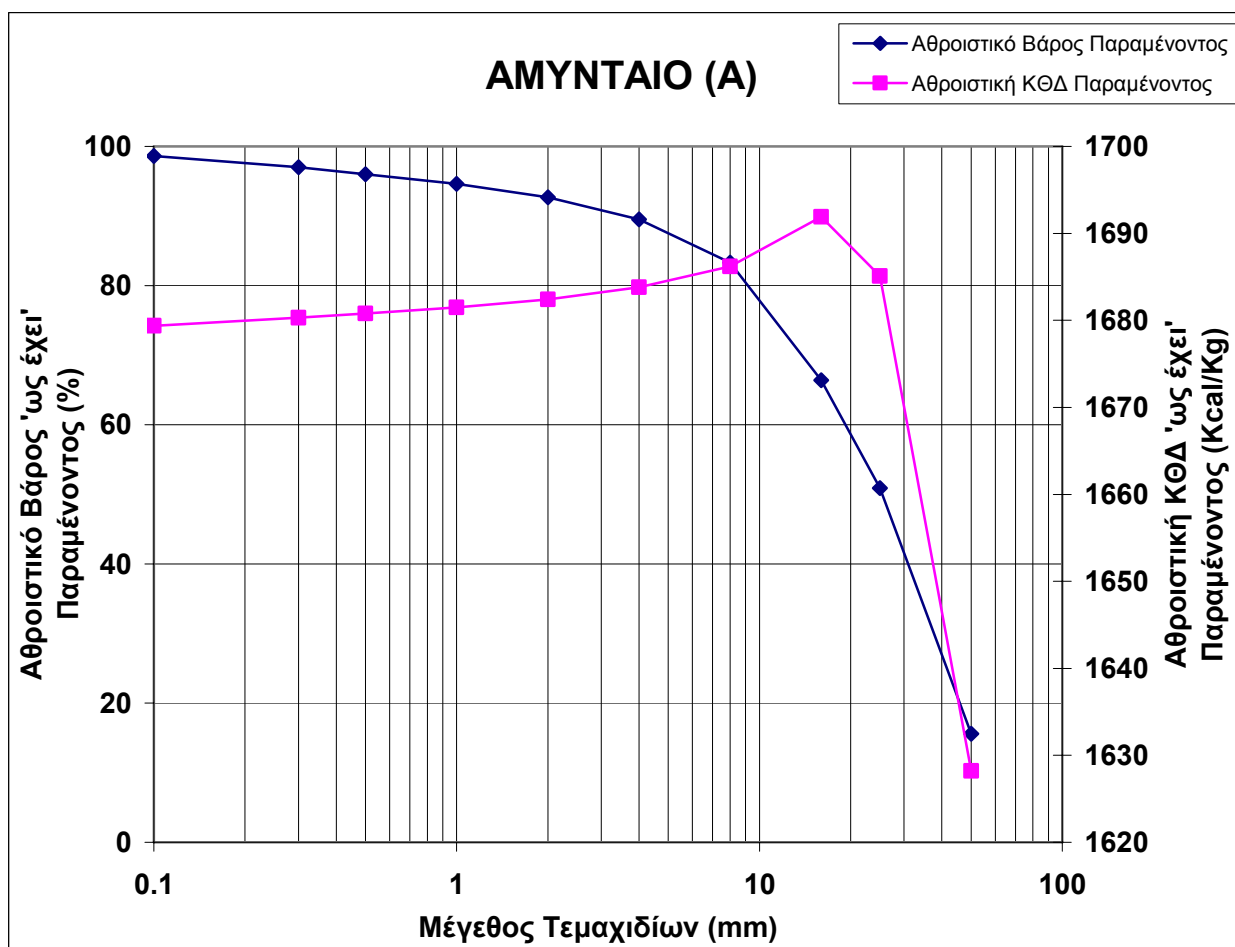
Διάγραμμα 4.19: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'ως έχει' και της Αθροιστικής ΚΘΔ 'ως έχει' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχικής Κατανομής.



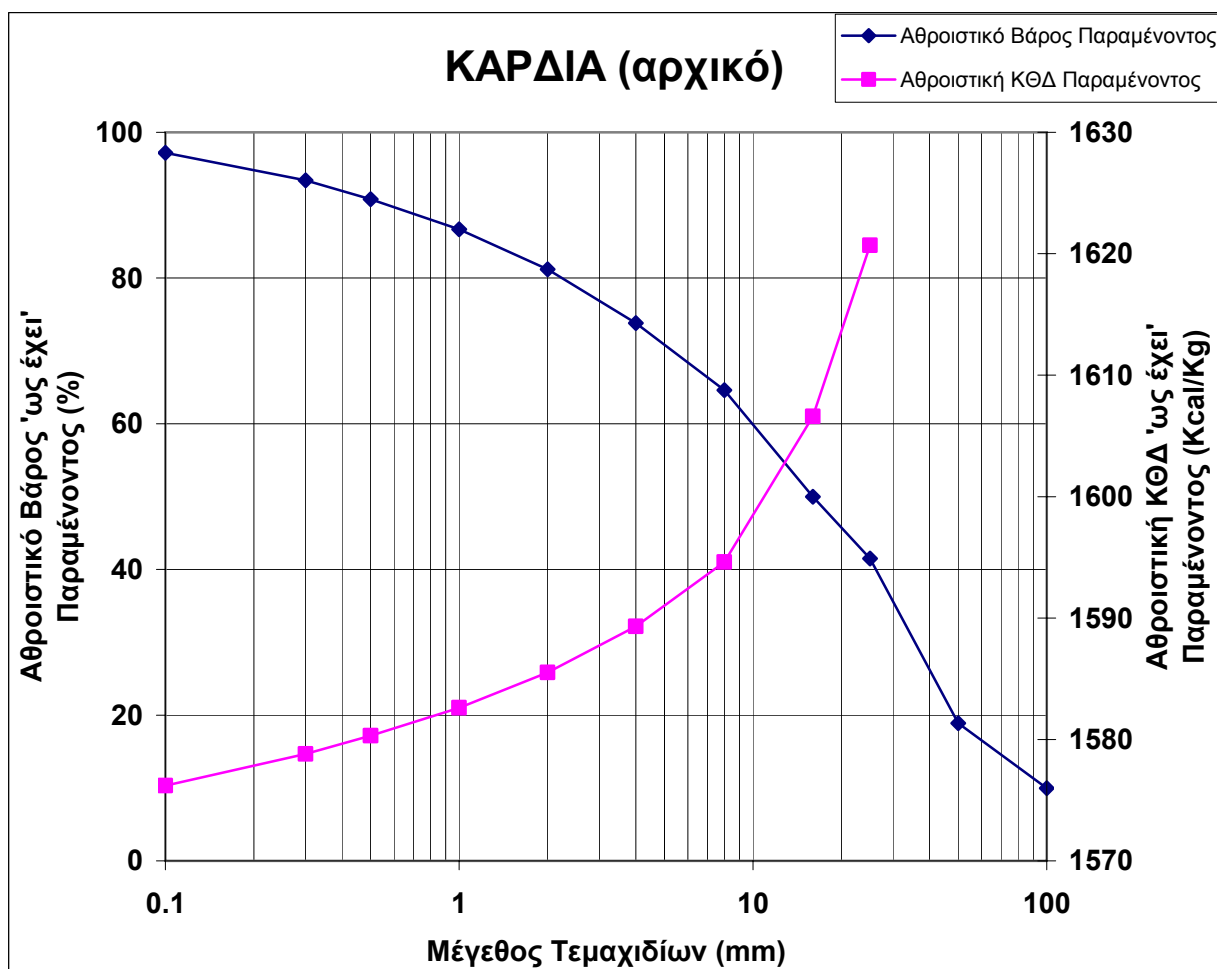
Διάγραμμα 4.20: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'ως έχει' και της Αθροιστικής ΚΘΔ 'ως έχει' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α' Θραύσης.



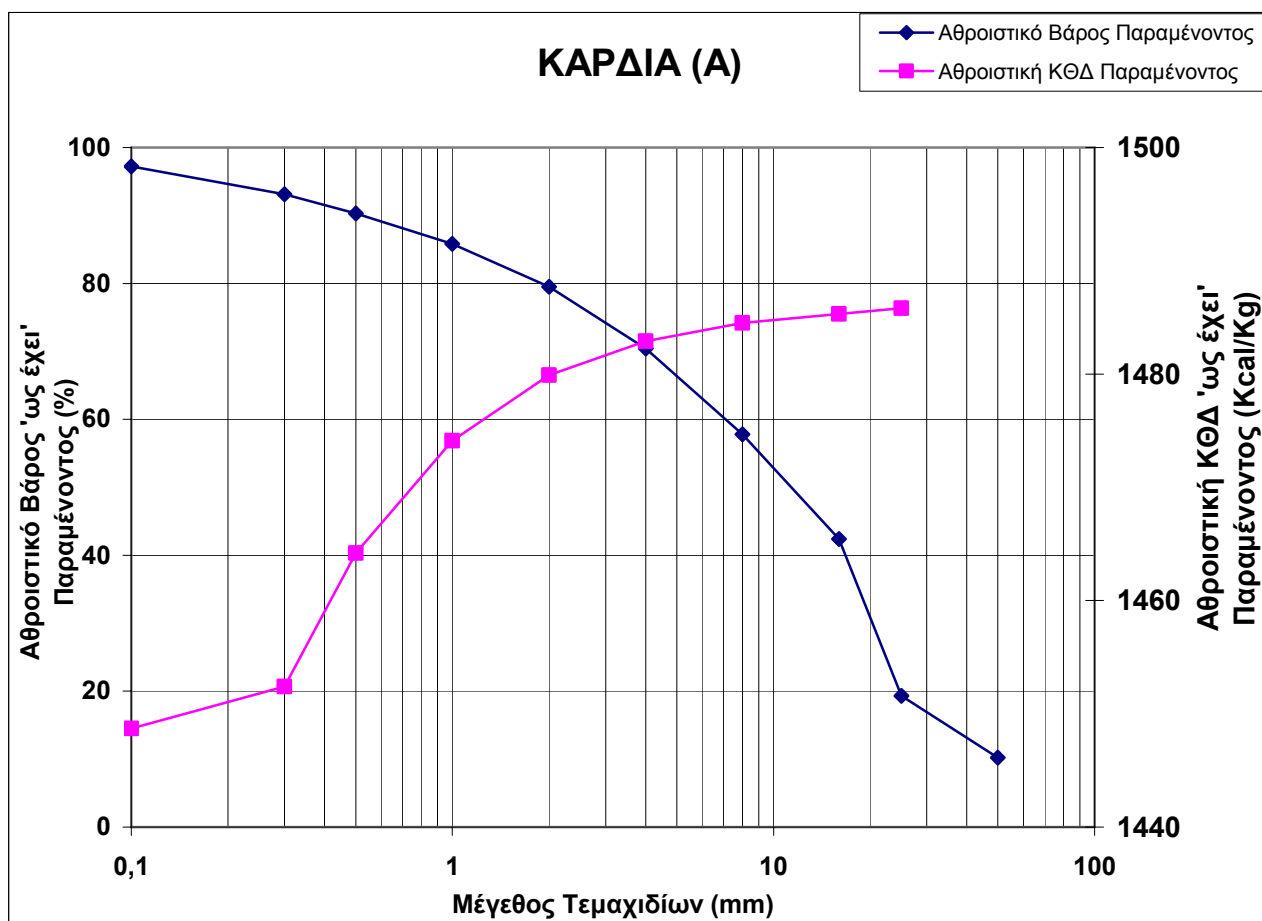
Διάγραμμα 4.21: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένουστος Βάρους 'ως έχει' και της Αθροιστικής ΚΘΔ 'ως έχει' Παραμένουστος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχική Κατανομή.



Διάγραμμα 4.22: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'ως έχει' και της Αθροιστικής ΚΘΔ 'ως έχει' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α' Θραύσης.



Διάγραμμα 4.23: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'ως έχει' και της Αθροιστικής ΚΘΔ 'ως έχει' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Αρχική Κατανομή.



Διάγραμμα 4.24: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'ως έχει' και της Αθροιστικής ΚΘΔ 'ως έχει' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Α' Θραύσης.

4.5 Κριτήρια Αξιολόγησης των Αποτελεσμάτων

Τα κριτήρια αξιολόγησης σύμφωνα με τα οποία επιλέχθηκε η βέλτιστη θραύση σε κάθε δείγμα είναι ο Βαθμός Ανάκτησης χρήσιμου υλικού για καύση στους Α.Η.Σ., ο Βαθμός Απόδοσης του Α.Η.Σ., η κατανομή της τέφρας και το ποσοστό των εκπομπών του CO₂. Συγκεκριμένα, ένα εμπλουτισμένο δείγμα θα πρέπει να συνδυάζει Βαθμό Ανάκτησης πάνω από 80%, υψηλό Βαθμό Απόδοσης και σχετικά χαμηλά ποσοστά τέφρας και εκπομπών CO₂ κατά την καύση.

Ο υπολογισμός του Βαθμού Απόδοσης και Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης (λόγος Εε/Εα) που εμφανίζονται στους Πίνακες 4.41 έως 4.46 και στους Πίνακες 1 έως 6 του Παραρτήματος 3, έγινε με βάση τις ακόλουθες σχέσεις:

$$1. n = (0.0066 * K.Θ.Δ.) + 25.1 \quad [14]$$

$$2. Eε/Eα = (nε * Mε * K.Θ.Δ.ε) / (nα * Mα * K.Θ.Δ.α)$$

όπου nε = Βαθμός Απόδοσης του εμπλουτισμένου δείγματος

Mε = μάζα του εμπλουτισμένου δείγματος (kg)

K.Θ.Δ.ε = Κατώτερη Θερμογόνοξ Δύναμη εμπλουτισμένου δείγματος (kcal/kg)

nα = Βαθμός Απόδοσης του αρχικού δείγματος

Mα = μάζα του αρχικού δείγματος (kg)

K.Θ.Δ.α = Κατώτερη Θερμογόνοξ Δύναμη του αρχικού δείγματος (kcal/kg)

ΝΟΤΙΟ ΠΕΔΙΟ

ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.41: Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης Α.Η.Σ.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n) (%)	Εε/Εα
+100	4076.8	4076.8	15.3	1707.4	36.4	0.25
-100 +50	3528.6	7605.4	20.2	1659.9	36.1	0.46
-50 +25	3320.7	10926.1	19.9	1645.0	36.0	0.65
-25 +16	1546.8	12472.9	21.3	1637.4	35.9	0.74
-16 +8	2362.0	14834.9	23.3	1621.9	35.8	0.87
-8 +4	1284.9	16119.8	24.2	1613.9	35.8	0.93
-4 +2	1076.1	17195.9	25.0	1607.0	35.7	0.99
-2 +1	829.3	18025.2	25.8	1601.6	35.7	1.03
-1 +0.5	643.6	18668.8	26.4	1597.3	35.6	1.07
-0.5 +0.3	377.7	19046.5	26.7	1594.7	35.6	1.09
-0.3 +0.1	583.8	19630.3	27.3	1590.6	35.6	1.12
-0.1	418.9	20049.2	27.8	1586.0	35.6	1.14

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.42: Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης Α.Η.Σ.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n) (%)	Εε/Εα
- 100 +50	3528.6	3528.6	25.9	1486.3	34.9	0.18
-50 +25	3320.7	6849.3	22.7	1518.6	35.1	0.37
-25 +16	1546.8	8396.1	24.2	1519.1	35.1	0.45
-16 +8	2644.7	11040.8	26.2	1510.3	35.1	0.59
-8 +4	2975.3	14016.1	25.9	1505.4	35.0	0.74
-4 +2	1983.5	15999.6	26.4	1501.7	35.0	0.84
-2 +1	1301.7	17301.3	27.1	1498.8	35.0	0.91
-1 +0.5	929.8	18231.1	27.6	1496.5	35.0	0.96
-0.5 +0.3	537.2	18768.3	27.9	1495.0	35.0	0.99
-0.3 +0.1	764.4	19532.7	28.5	1492.5	35.0	1.02
-0.1	516.5	20049.2	28.9	1489.3	34.9	1.05

ΑΜΥΝΤΑΙΟ

ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Πίνακας 4.43: Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης Α.Η.Σ.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n) (%)	Εε/Εα
+100	1433.3	1433.3	19.4	1622.2	35.8	0.08
-100 +50	2698.3	4131.6	19.2	1625.3	35.8	0.24
-50 +25	6098.2	10229.8	15.7	1668.9	36.1	0.62
-25 +16	2670.8	12900.6	15.4	1676.3	36.2	0.79
-16 +8	2872.6	15773.2	17.5	1673.4	36.1	0.96
-8 +4	697.4	16470.6	18.0	1672.5	36.1	1.00
-4 +2	337.0	16807.6	18.3	1671.9	36.1	1.02
-2 +1	223.6	17031.2	18.6	1671.4	36.1	1.03
-1 +0.5	171.9	17203.1	18.8	1671.1	36.1	1.04
-0.5 +0.3	141.7	17344.8	19.0	1670.7	36.1	1.05
-0.3 +0.1	235.0	17579.8	19.3	1670.2	36.1	1.06
-0.1	199.0	17778.8	19.6	1669.5	36.1	1.08

Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.44: Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης Α.Η.Σ.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n) (%)	Εε/Εα
- 100 +50	2698.3	2698.3	19.1	1628.2	35.8	0.16
-50 +25	6098.2	8796.5	15.1	1685.1	36.2	0.54
-25 +16	2670.8	11467.3	15.0	1691.9	36.3	0.71
-16 +8	3184.0	14651.3	17.4	1686.2	36.2	0.90
-8 +4	1168.1	15819.4	17.9	1683.8	36.2	0.97
-4 +2	602.9	16422.3	18.3	1682.4	36.2	1.00
-2 +1	357.9	16780.2	18.5	1681.5	36.2	1.03
-1 +0.5	263.7	17043.9	18.8	1680.8	36.2	1.04
-0.5 +0.3	188.4	17232.3	19.0	1680.3	36.2	1.05
-0.3 +0.1	301.4	17533.7	19.4	1679.4	36.2	1.07
-0.1	244.9	17778.8	19.7	1677.0	36.2	1.08

ΚΑΡΔΙΑ

ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

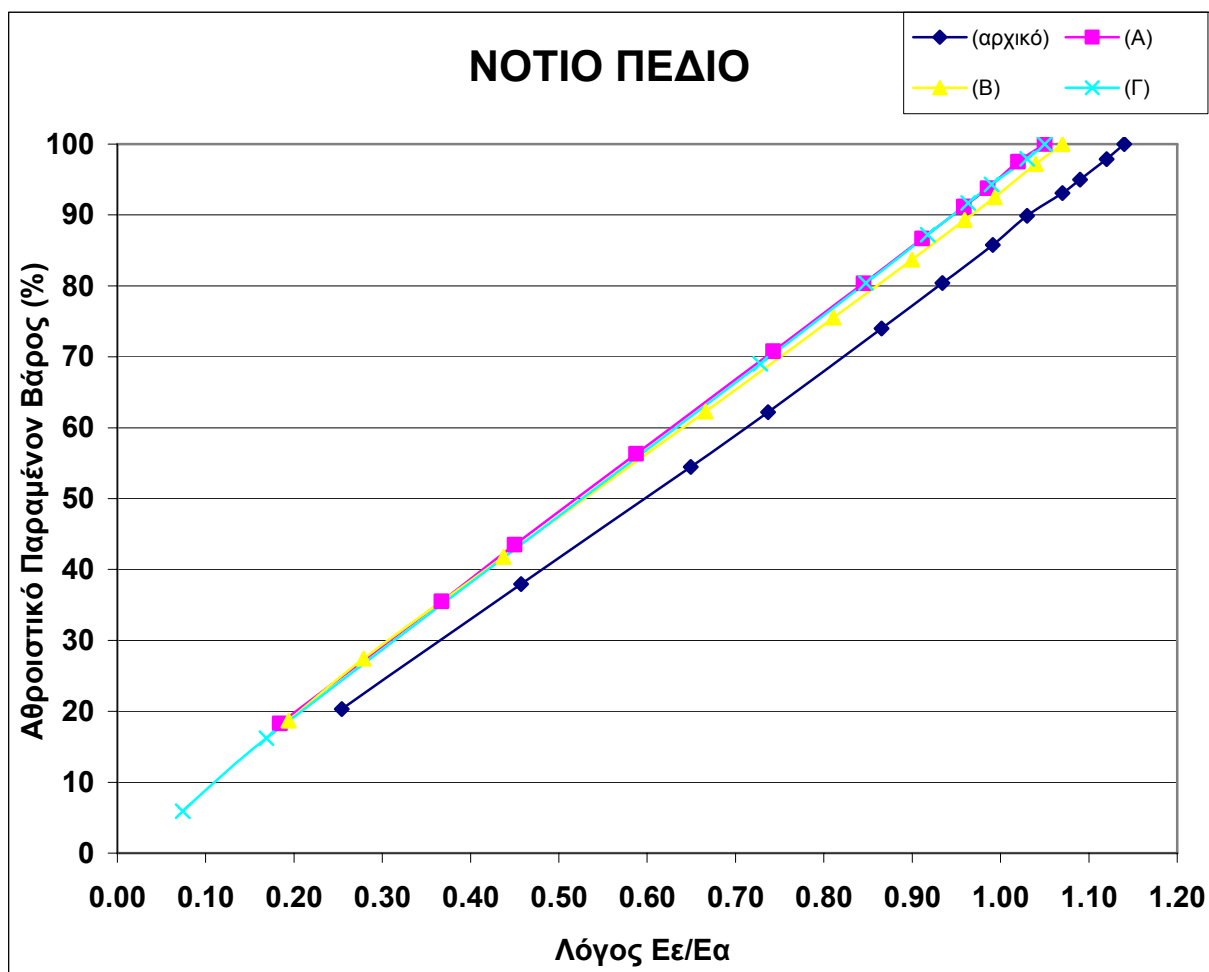
Πίνακας 4.45: Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης Α.Η.Σ.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n) (%)	Εε/Εα
+100	1744.7	1744.7	12.3	1771.0	36.8	0.12
-100 +50	1555.3	3300.0	19.8	1696.8	36.3	0.22
-50 +25	3942.7	7242.7	22.5	1620.7	35.8	0.46
-25 +16	1481.4	8724.1	23.4	1606.6	35.7	0.55
-16 +8	2544.1	11268.2	22.7	1594.6	35.6	0.70
-8 +4	1604.0	12872.2	22.7	1589.3	35.6	0.80
-4 +2	1293.6	14165.8	23.0	1585.5	35.6	0.88
-2 +1	949.6	15115.4	23.3	1582.6	35.5	0.93
-1 +0.5	713.5	15828.9	23.7	1580.3	35.5	0.98
-0,5 +0.3	447.0	16275.9	24.0	1578.8	35.5	1.00
-0.3 +0.1	665.7	16941.6	24.5	1576.2	35.5	1.04
-0.1	469.9	17411.5	25.0	1572.6	35.5	1.07

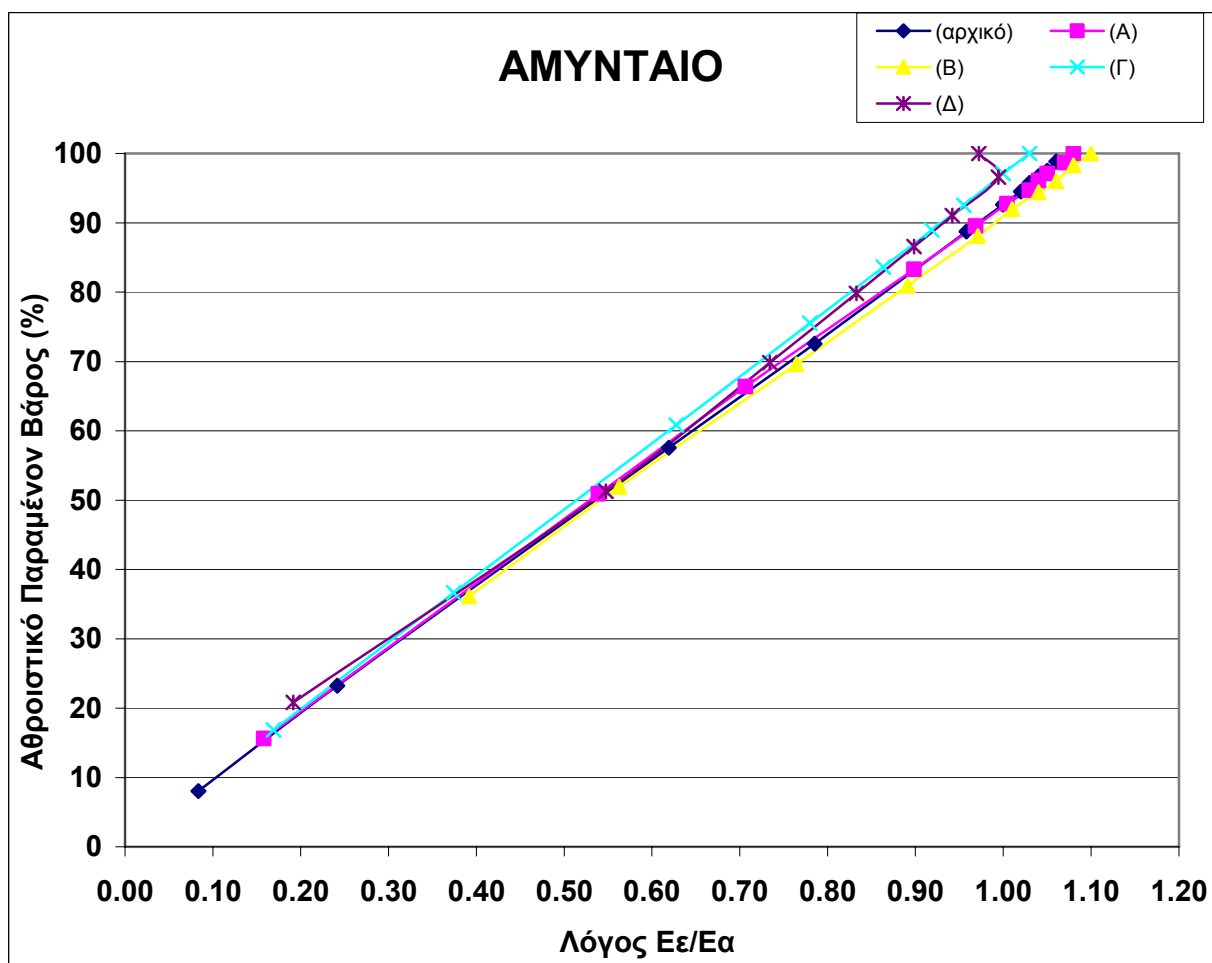
Α΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4.46: Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης Α.Η.Σ.

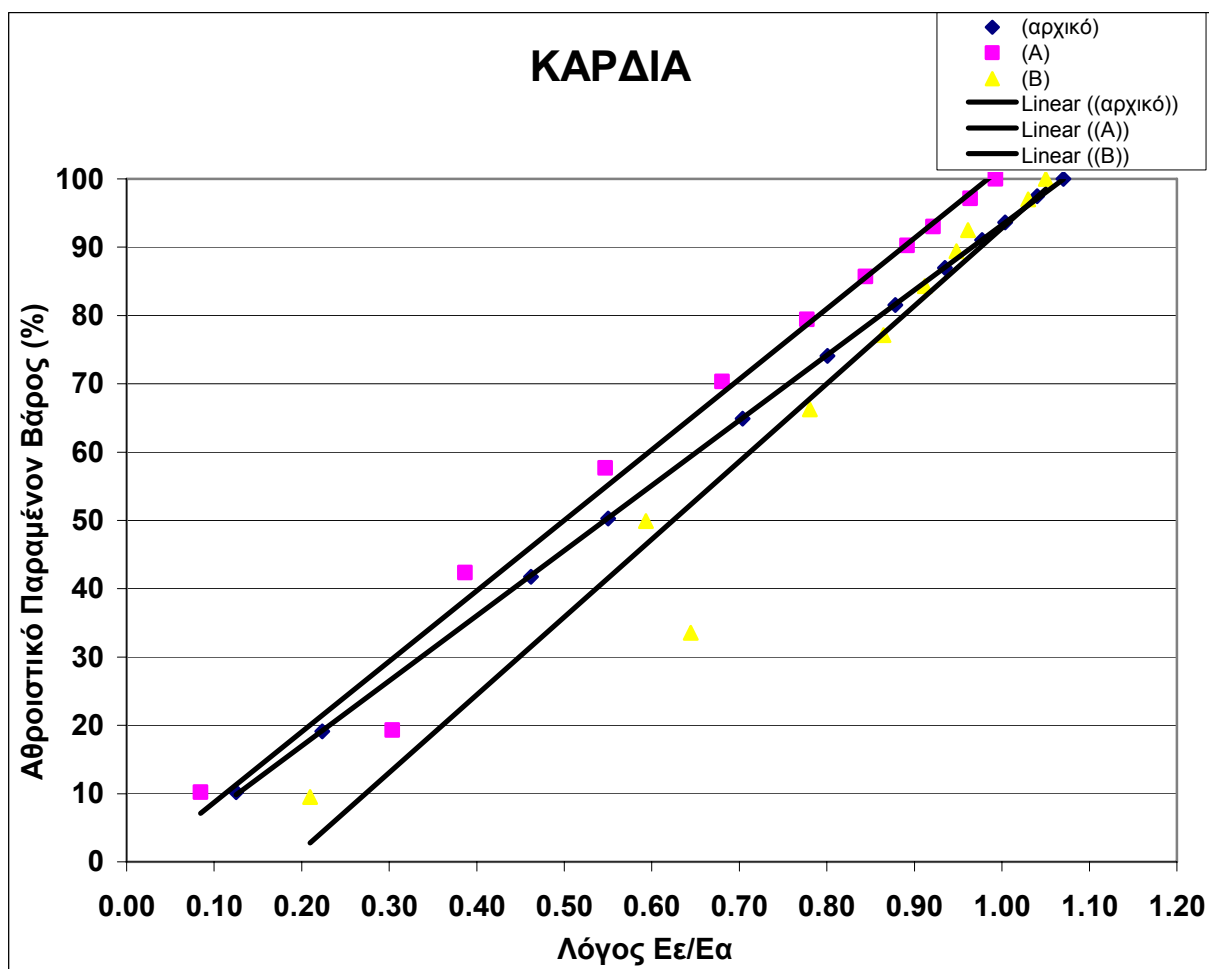
Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (n) (%)	Εε/Εα
- 100 +50	1555.3	1555.3	28.5	1431.4	34.5	0.08
-50 +25	3942.7	5498.0	26.8	1448.7	34.7	0.30
-25 +16	1481.4	6979.4	27.4	1452.4	34.7	0.39
-16 +8	2789.1	9768.5	25.4	1464.2	34.8	0.55
-8 +4	2282.0	12050.6	24.3	1474.1	34.8	0.68
-4 +2	1648.1	13698.7	24.1	1479.9	34.9	0.78
-2 +1	1141.0	14839.7	24.3	1482.9	34.9	0.84
-1 +0.5	815.0	15654.7	24.5	1484.5	34.9	0.89
-0.5 +0.3	507.1	16161.8	24.8	1485.3	34.9	0.92
-0.3 +0.1	742.6	16904.4	25.3	1485.8	34.9	0.96
-0.1	507.1	17411.5	25.7	1485.7	34.9	0.99



Διάγραμμα 4.25: Μεταβολή του Αθροιστικού Βάρους Παραμένοντος (%) συναρτήσει του λόγου $E\epsilon/E\alpha$.



Διάγραμμα 4.26: Μεταβολή του Αθροιστικού Βάρους Παραμένοντος (%) συναρτήσει του λόγου Εε/Εα.



Διάγραμμα 4.27: Μεταβολή του Αθροιστικού Βάρους Παραμένοντος (%) συναρτήσει του λόγου Εε/Εα.

Από τους παραπάνω πίνακες και διαγράμματα γίνεται φανερό ότι ο λόγος Εε/Εα αυξάνεται προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα και μειώνεται όσο προχωρούν οι θραύσεις. Αντίθετα, ο Βαθμός Απόδοσης μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την τέφρα και επομένως μειώνεται στα λεπτόκοκκα κλάσματα.

Συνυπολογίζοντας τις τιμές του Βαθμού Απόδοσης και Ανάκτησης, καθώς και το ποσοστό της Αθροιστικής Τέφρας (%) και των εκπομπών CO₂ επιλέχθηκαν στο εκάστοτε δείγμα οι βέλτιστες θραύσεις και μεγέθη για καύση στους Α.Η.Σ.

Στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου (Πίνακες 4.41-4.42 και Διάγραμμα 4.25) θεωρήθηκε ως βέλτιστο το μέγεθος +100 +2mm της αρχικής κατανομής. Στο μέγεθος αυτό η τιμή του Βαθμού Ανάκτησης είναι 85.8% και του Βαθμού Απόδοσης 35.7%. Συγκρίνοντας το μέγεθος αυτό με τις αντίστοιχες τιμές των θραύσεων γίνεται φανερό ότι παρουσιάζει χαμηλότερο ποσοστό τέφρας, υψηλότερη Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος, καθώς και υψηλότερο Βαθμό Απόδοσης. Επίσης, συγκρίνοντας το μέγεθος +100 +2mm με το μέγεθος +100 -0.1mm της αρχικής κατανομής παρατηρείται ότι η τέφρα στο επιλεγμένο μέγεθος είναι χαμηλότερη, η Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος υψηλότερη και ο Βαθμός Απόδοσης καλύτερος. Συνυπολογίζοντας, επίσης, το χαμηλότερο ποσοστό των εκπομπών CO₂ (1.4% έναντι 1.7%) επιβεβαιώνεται ότι η βέλτιστη επιλογή είναι το μέγεθος +100 +2mm της αρχικής κατανομής.

Στο δείγμα του Αμυνταίου (Πίνακες 4.43-4.44 και Διάγραμμα 4.26) επιλέχθηκε ως βέλτιστο το μέγεθος +100 +2mm της αρχικής κατανομής. Στο μέγεθος αυτό παρατηρείται ότι ο Βαθμός Ανάκτησης φτάνει το 94.5%, ενώ ο Βαθμός Απόδοσης την τιμή 36.1%. Από την σύγκριση με τα αντίστοιχα μεγέθη των θραύσεων προέκυψε ότι η Β', η Γ' και η Δ' Θραύση περιέχουν αρκετά υψηλότερο ποσοστό τέφρας, το οποίο ευθύνεται για τις αυξημένες εκπομπές CO₂ κατά την καύση, ενώ η Α' Θραύση, παρόλο που παρουσιάζει λίγο καλύτερο Βαθμό Απόδοσης και ελάχιστα υψηλότερη Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος, απορρίφθηκε λόγω του χρόνου και του κόστους που απαιτεί. Παράλληλα, το ποσοστό της τέφρας και οι εκπομπές CO₂ στο επιλεγμένο μέγεθος (18.3% και 1.3% αντίστοιχα) είναι χαμηλότερα σε σχέση με τις τιμές του μεγέθους +100 -0.1mm της αρχικής κατανομής (21.7% και 1.7% αντίστοιχα).

Όσον αφορά το δείγμα της Καρδιάς (Πίνακες 4.45-4.46 και Διάγραμμα 4.27), επιλέχθηκε το μέγεθος +100 +1mm της αρχικής κατανομής ως βέλτιστο. Στο μέγεθος αυτό ο Βαθμός Ανάκτησης φτάνει το 87.0% και ο Βαθμός Απόδοσης το 35.5%. Τα

αντίστοιχα μεγέθη των θραύσεων παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά τέφρας και χαμηλότερη Κ.Θ.Δ. Επιπλέον, στο εμπλουτισμένο μέγεθος, το ποσοστό των εκπομπών CO₂ κατά την καύση είναι χαμηλότερο σε σχέση με αυτό της αρχικής κατανομής (3.6% και 4.4% αντίστοιχα).

Στον Πίνακα 4.47 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των αρχικών κατανομών και των εμπλουτισμένων κλασμάτων.

Πίνακας 4.47: Σύγκριση τιμών αρχικών και επιλεγμένων δειγμάτων.

Δείγματα	Κοκκομετρία Κλάσματος (mm)	Εε/Εα	Βαθμός Απόδοσης (n) (%)	Αθροιστική Τέφρα (%)	CO ₂ του λιγνίτη (%)
Νότιο Πεδίο (επιλεγμένο)	+100 +2	0.99	35.7	25.0	1.4
Νότιο Πεδίο (αρχικό)	+100 -0.1	1.00	35.6	28.3	1.7
Αμύνταιο (επιλεγμένο)	+100 +2	1.02	36.1	18.3	1.3
Αμύνταιο (αρχικό)	+100 -0.1	1.00	36.1	21.7	1.7
Καρδιά (επιλεγμένο)	+100 +1	0.93	35.5	23.3	3.6
Καρδιά (αρχικό)	+100 -0.1	1.00	35.5	25.5	4.4

Τα χαρακτηριστικά του απορρίμματος του εκάστοτε δείγματος παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.48, 4.49 και 4.50. Όπως παρατηρείται, το απόρριμμα και των τριών δειγμάτων εμφανίζει υψηλά ποσοστά τέφρας και η ποιότητα του χαρακτηρίζεται ως χαμηλή.

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του απορρίμματος προτείνονται κάποιοι τρόποι αξιοποίησής του. Για παράδειγμα, προτείνεται η αποθήκευση του με σκοπό τη μελλοντική χρήση του για εμπλουτισμό. Επίσης, προτείνεται η χρήση του σε μονάδες που χρησιμοποιούν νέες τεχνολογίες και μεθόδους δέσμευσης CO₂ και άλλων ρυπαντών. Τέλος, δυνατή είναι η ανάμιξη του απορρίμματος με αδρανή υλικά, ώστε αυτά να εμπλουτιστούν σε οργανική ύλη, και να χρησιμοποιηθούν για αποκατάσταση εδαφών και φύτευση.

ΝΟΤΙΟ ΠΕΔΙΟ

Πίνακας 4.48: Αποτελέσματα εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος της Αρχικής Κατανομής για το απόρριμμα.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Βάρος Κλάσματος (%)	Αθρ. Βάρος Παρ. (%)	Τέφρα 'επί ξηρού' (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παρ. (%)
-2 +1	829.3	29.1	29.1	41.6	12.1	12.1	41.6
-1 +0.5	643.6	22.6	51.7	42.1	9.5	21.6	41.8
-0.5 +0.3	377.7	13.2	64.9	44.2	5.9	27.5	42.4
-0.3 +0.1	583.8	20.5	85.3	47.6	9.7	37.2	43.6
-0.1	418.9	14.7	100	46.9	6.9	44.1	44.1
Σύνολο	2853.3	100			44.1		

*Αθρ. Τέφρα Παρ.(%) = (Αθρ. Μον. Τέφρας Παρ. * 100) / (Αθρ. Βάρος Παρ.(%))

ΑΜΥΝΤΑΙΟ

Πίνακας 4.49: Αποτελέσματα εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος της Αρχικής Κατανομής για το απόρριμμα.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Βάρος Κλάσματος (%)	Αθρ. Βάρος Παρ. (%)	Τέφρα 'επί ξηρού' (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παρ. (%)
-2 +1	223.6	23.0	23.0	35.4	8.2	8.2	35.7
-1 +0.5	171.9	17.7	40.7	39.7	7.0	15.2	37.3
-0.5 +0.3	141.7	14.6	55.3	40.6	5.9	21.1	38.2
-0.3 +0.1	235.0	24.2	79.5	47.3	11.4	32.5	40.9
-0.1	199.0	20.5	100	45.1	9.2	41.8	41.8
Σύνολο	971.2	100			41.8		

*Αθρ. Τέφρα Παρ.(%) = (Αθρ. Μον. Τέφρας Παρ. * 100) / (Αθρ. Βάρος Παρ.(%))

ΚΑΡΔΙΑ

Πίνακας 4.50: Αποτελέσματα εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ. του δείγματος της Αρχικής Κατανομής για το απόρριμμα.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Βάρος Κλάσματος (%)	Αθρ. Βάρος Παρ. (%)	Τέφρα 'επί ξηρού' (%)	Μονάδες τέφρας	Αθρ. Μονάδες Τέφρας Παραμ.	Αθρ. Τέφρα Παρ. (%)
-1 +0.5	713.5	31.1	31.1	31.0	9.6	9.6	30.9
-0.5 +0.3	447.0	19.5	50.5	34.3	6.7	16.3	32.3
-0.3 +0.1	665.7	29.0	79.5	38.8	11.2	27.5	34.6
-0.1	469.9	20.5	100	40.7	8.3	35.9	35.9
Σύνολο	2296.1	100			35.9		

*Αθρ. Τέφρα Παρ.(%) = (Αθρ. Μον. Τέφρας Παρ. * 100) / (Αθρ. Βάρος Παρ.(%))

4.6 Εκτίμηση Κόστους Εκπομπών CO₂ των Εμπλουτισμένων δειγμάτων.

Η Ε.Ε. επιβάλλει στη χώρα μας κάθε χρόνο ένα πρόστιμο ανά tCO₂, λόγω των αυξημένων εκπομπών CO₂ που παράγονται κατά την καύση του λιγνίτη.

Στο παρόν υποκεφάλαιο, υπολογίστηκε αρχικά το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά MWh. Εν συνεχεία, θέτοντας διάφορες τιμές του επιβαλλόμενου από την Ε.Ε. προστίμου (από 0-100€/tCO₂) και συνυπολογίζοντας τη μείωση των εκπομπών CO₂ λόγω εμπλουτισμού, εκτιμήθηκε το κόστος που θα μπορούσε να μειωθεί ανά MWh (Ac) λόγω αυτής της μείωσης των εκπομπών.

Γνωρίζοντας την τιμή του Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης (λόγος Εε/Εα) και ότι η τιμή του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά MWh ανέρχεται στα 30€/MWh [1], γίνεται δυνατός ο υπολογισμός του επιπλέον κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των εκπομπών.

Στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου ο λόγος Εε/Εα έχει τιμή 0.99, το δείγμα του Αμυνταίου έχει τιμή 1.02, ενώ το δείγμα της Καρδιάς έχει τιμή 0.93. Υπολογίζεται ότι το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά MWh, στο εμπλουτισμένο δείγμα του Νοτίου Πεδίου, είναι $30/0.99=30.3€/MWh$. Δηλαδή η διαφορά του κόστους λόγω των εκπομπών CO₂, σε σχέση με το αρχικό μη εμπλουτισμένο δείγμα, είναι $30.3-30=0.3€/MWh$. Επομένως, πρέπει να διερευνηθεί, για ποια τιμή προστίμου, το κόστος Ac θα πλησιάσει την τιμή 0.3€/MWh, ώστε να μην υπάρχει επιπλέον κόστος στην παραγωγή ηλεκτρική ενέργεια. Με τον ίδιο συλλογισμό, η επιβάρυνση του κόστους στο δείγμα της Καρδιάς υπολογίστηκε 2.3€/MWh, ενώ στο δείγμα του Αμυνταίου δεν υπάρχει επιβάρυνση.

Συνυπολογίζοντας τη μείωση των εκπομπών CO₂ των εμπλουτισμένων δειγμάτων, υπολογίστηκε το κόστος που εξοικονομείται από την μείωση αυτή, και δίνεται από τον εξής τύπο:

$$Ac = \Delta C_{CO_2} * E * P$$

Όπου

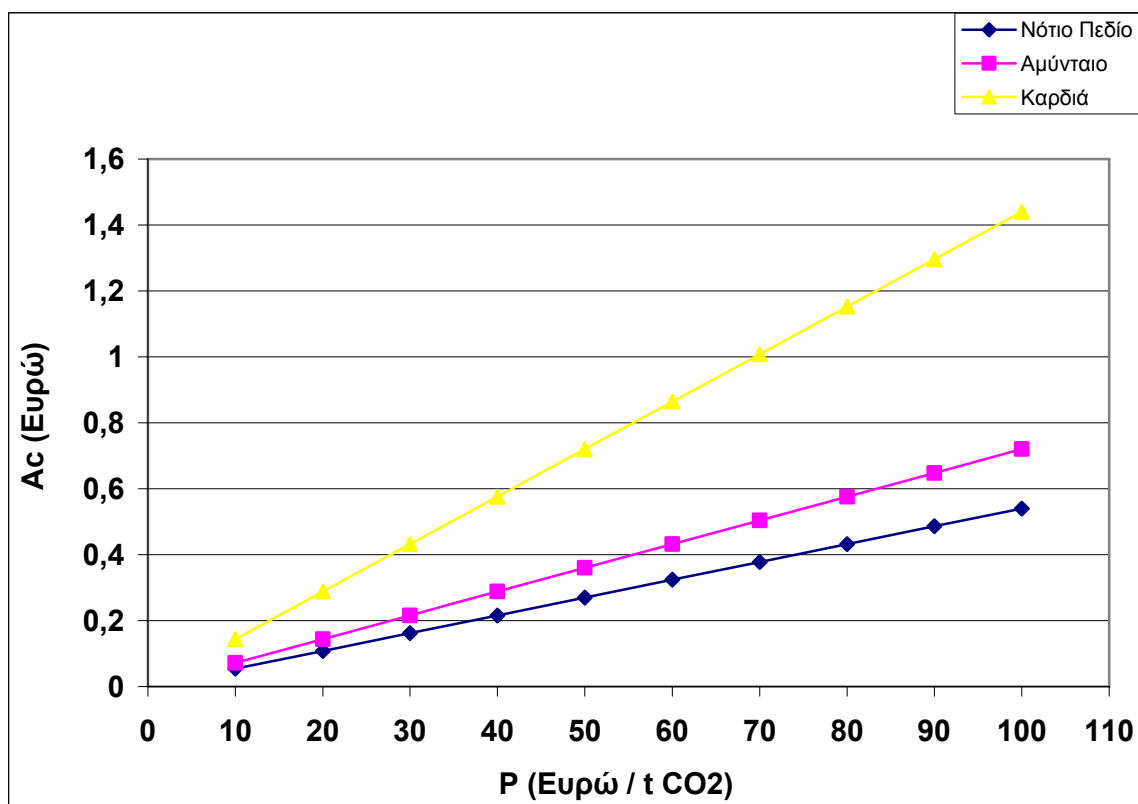
Ac = το κόστος που εξοικονομείται (€)

ΔC_{CO_2} = η διαφορά του ποσοστού CO₂ (%) μεταξύ της αρχικής κατανομής και του επιλεγμένου μεγέθους.

E= ειδικός συντελεστής κατανάλωσης με μέση τιμή 1.8t/MWh. [1]

P= ο επιβαλλόμενος φόρος (€/tCO₂).

Στο Διάγραμμα 4.28 φαίνεται η μεταβολή του Ac για διάφορες τιμές προστίμου. Στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου, για πρόστιμο $P=60\text{€/tCO}_2$, το Ac έχει τιμή 0.324€. Επομένως, για την δεδομένη τιμή προστίμου δεν υπάρχει επιβάρυνση στο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που να οφείλεται στις εκπομπές CO_2 . Στο δείγμα της Καρδιάς, θα υπάρχει επιβάρυνση στο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διότι από το διάγραμμα φαίνεται ότι καμία τιμή του Ac δεν πλησιάζει την τιμή 2.3€/MWh.



Διάγραμμα 4.28: Μεταβολή του (Ac) ως προς τον επιβαλλόμενο πρόστιμο (P).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από το σύνολο των δοκιμών εμπλουτισμού στα δείγματα των ορυχείων Νοτίου Πεδίου, Αμυνταίου και Καρδιάς προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η ποιότητα των δειγμάτων Νοτίου Πεδίου, Αμυνταίου και Καρδιάς χαρακτηρίζεται από μέτρια περιεκτικότητα σε τέφρα ‘επί ξηρού’ (21.7% έως 28.3%) και υψηλό ποσοστό υγρασίας (34.7% έως 38.3%). Από τη στοιχειακή ανάλυση των αρχικών δειγμάτων προέκυψε ότι και τα τρία δείγματα περιέχουν ποσοστά C που κυμαίνονται μεταξύ 33.4% και 38.7%. Επίσης, σημαντικό είναι το ποσοστό του O στα δείγματα με εύρος τιμών 32.8-33.7%. Τέλος, τα ποσοστά σε S και N είναι χαμηλά και αποδεκτά από περιβαλλοντική άποψη.
- Από τον υπολογισμό της Α.Θ.Δ. προκύπτει ότι όλα τα δείγματα εμφανίζουν, γενικά, μέτρια θερμογόνο δύναμη λόγω του αρχικού μέτριου ποσοστού τέφρας που περιέχουν. Το εύρος τιμών της Α.Θ.Δ. ‘επί ξηρού’ στα δείγματα κυμαίνεται μεταξύ 3025.0 kcal/kg και 3122.4 kcal/kg.
- Από την χημική ανάλυση της τέφρας προκύπτει ότι η ανόργανη ύλη των αρχικών δειγμάτων αποτελείται κυρίως από CaO , SiO_2 και Al_2O_3 . Η ανόργανη ύλη στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου αποτελείται κυρίως από CaO και SiO_2 σε ποσοστό 27.4% και 34.5% , ενώ στα δείγματα του Αμυνταίου και της Καρδιάς ως ασβεστιτική με ποσοστά σε CaO 38.1% και 51.3% αντίστοιχα. Τα υπόλοιπα οξείδια περιέχονται σε πολύ μικρά ποσοστά. Τέλος, όσον αφορά τα ποσοστά CO_2 στις τέφρες των δειγμάτων, οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 6.7% και 18.6%.
- Στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου το ποσοστό της τέφρας ‘επί ξηρού’ κυμαίνεται μεταξύ 15.3% και 46.9% στις κοκκομετρίες +100mm έως -0.1mm. Στις αντίστοιχες κοκκομετρίες, στο δείγμα του Αμυνταίου το εύρος τιμών της τέφρας είναι 13.0-45.1% και στο δείγμα της Καρδιάς 12.5-40.7%. Γενικά, η περιεκτικότητα σε τέφρα ‘επί ξηρού’ αυξάνεται από τα χονδρόκοκκα προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα. Αντιστρόφως ανάλογα με την τέφρα μεταβάλλεται η

Α.Θ.Δ. Αναλυτικότερα, στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου οι τιμές της Α.Θ.Δ. κυμαίνονται μεταξύ 1931.5kcal/kg και 4086.1kcal/kg, στο δείγμα του Αμυνταίου μεταξύ 2154.0kcal/kg και 4181.0kcal/kg, ενώ στο δείγμα της Καρδιάς παρουσιάζει εύρος τιμών 1518.4-5109.3kcal/kg.

- Η αυξητική τάση της τέφρας ‘επί ξηρού’ προς τα λεπτόκοκκα τεμαχίδια έχει σαν αποτέλεσμα τη συγκέντρωση της ανόργανης ύλης στα λεπτόκοκκα, και την αντίστοιχη μείωση της καύσιμης ύλης, της υγρασίας και της θερμογόνου δύναμης σε αυτά. Ανάλογα με την τέφρα, η Κατανομή Τέφρας ανά Βάρος Κλάσματος (K) αυξάνεται από τα χονδρόκοκκα προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα. Ο ουσιαστικός διαχωρισμός του ανόργανου από το οργανικό μέρος του λιγνίτη επιτεύχθηκε στα τεμάχια κοκκομετρίας +100mm της αρχικής κατανομής του δείγματος του Νοτίου Πεδίου (K=0.55) και της Καρδιάς (K=0.49), καθώς και στο κλάσμα -50 +25mm της Β’ Θραύσης του δείγματος του Αμυνταίου (K=0.65).
- Η Αθροιστική Κ.Θ.Δ. ‘ως έχει’ μειώνεται καθώς αυξάνεται η τέφρα ‘επί ξηρού’ προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα. Στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου το εύρος τιμών της Αθροιστικής Κ.Θ.Δ. ‘ως έχει’ είναι 1376.5-1707.4kcal/kg, στο δείγμα του Αμυνταίου το εύρος αυτό είναι 1478.4-1746.5kcal/kg, ενώ στο δείγμα της Καρδιάς οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 1405.9kcal/kg και 2569.4kcal/kg.
- Τα κριτήρια αξιολόγησης σύμφωνα με τα οποία επιλέχθηκε η βέλτιστη θραύση σε κάθε δείγμα είναι ο Βαθμός Ανάκτησης χρήσιμου υλικού για καύση στους Α.Η.Σ., ο Βαθμός Απόδοσης του Α.Η.Σ., η βελτιωμένη κατανομή της τέφρας στα κλάσματα (K) και το ποσοστό των εκπομπών του CO₂. Συγκεκριμένα, ένα εμπλουτισμένο δείγμα θα πρέπει να συνδυάζει Βαθμό Ανάκτησης πάνω από 80%, υψηλό Βαθμό Απόδοσης, χαμηλό K και χαμηλό ποσοστό εκπομπών CO₂. Γενικά παρατηρείται ότι ο Βαθμός Απόδοσης μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την τέφρα ‘επί ξηρού’ και επομένως μειώνεται προς τα λεπτόκοκκα κλάσματα.
- Σύμφωνα με τα κριτήρια αξιολόγησης προκύπτει ότι στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου και του Αμυνταίου θεωρείται ως βέλτιστο το μέγεθος +100 +2mm της αρχικής κατανομής, ενώ στο δείγμα της Καρδιάς το μέγεθος +100 +1mm της αρχικής κατανομής. Παρατηρείται μείωση του ποσοστού εκπομπών CO₂ στα

επιλεγμένα μεγέθη και των τριών δειγμάτων. Το επιλεγμένο δείγμα του Νοτίου Πεδίου εμφανίζει ποσοστό CO₂ 1.4%, έναντι 1.7% στην αρχική κατανομή. Στο δείγμα του Αμυνταίου οι αντίστοιχες τιμές είναι 1.3% και 1.7%, ενώ στο δείγμα της Καρδιάς είναι 3.6% και 4.4% αντίστοιχα.

- Η επιβάρυνση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά MWh που οφείλεται στις εκπομπές CO₂, για τα εμπλουτισμένα δείγματα, υπολογίστηκε στα 0.3€/MWh για το δείγμα του Νοτίου Πεδίου, στα 2.3€/MWh για το δείγμα της Καρδιάς, ενώ στο δείγμα του Αμυνταίου δεν υπάρχει καμία επιβάρυνση. Θέτοντας κάποιες τιμές του επιβαλλόμενου από την Ε.Ε. προστίμου, από 0€/tCO₂ έως 100€/tCO₂, παρατηρήθηκε ότι, στο δείγμα του Νοτίου Πεδίου, για τιμή προστίμου 60€/tCO₂, δεν υπάρχει επιβάρυνση κόστους, ενώ στο δείγμα της Καρδιάς θα υπάρχει επιβάρυνση στο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα:

Προτείνεται μελλοντικά να γίνει έρευνα σε μεγαλύτερες ποσότητες δειγμάτων, οι οποίες να έχουν ληφθεί από διάφορα σημεία των κοιτασμάτων όπως, το μέτωπο εξόρυξης και γεωτρήσεις, καθώς και από την αυλή ομογενοποίησης ή ακόμα και από ευρύτερες περιοχές. Επίσης, η έρευνα μπορεί να γίνει σε χαμηλότερης ποιότητας δείγματα. Εάν διαπιστωθεί ότι η μέθοδος της Εκλεκτικής Ελάττωσης Μεγέθους έχει καλύτερα αποτελέσματα τότε θα απαιτηθεί οικονομοτεχνική μελέτη για να συγκριθεί με άλλες μεθόδους.

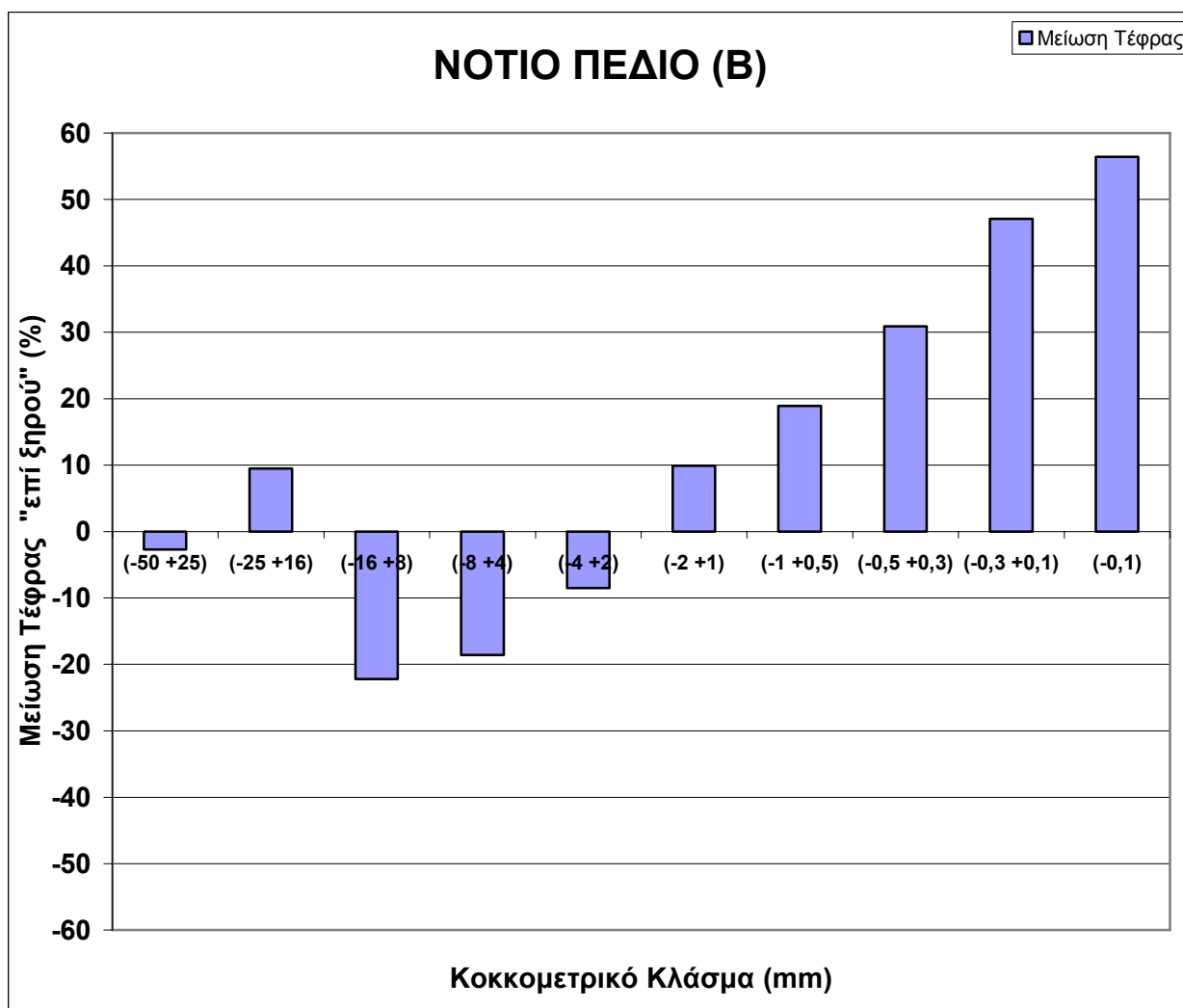
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κ. Καβουρίδης, Φ. Παυλουδάκης (2007), " Το ευρωπαϊκό σύστημα εμπορίας εκπομπών CO₂ και οι επιπτώσεις του στην ανταγωνιστικότητα του λιγνίτη, στις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και στις επενδύσεις ", Ορυκτός Πλούτος, Τεύχος 143.
2. Δ. Βάμβουκα , " Αντιρυπογόνος Χρήσις Γαιανθράκων. Τεχνολογίες Αξιοποίησης Γαιανθράκων Χαμηλής Τάξης", Εκδόσεις ΙΩΝ, 2002.
3. Κ. Καβουρίδης, Φ. Παυλουδάκης (2004), " Ο ρόλος των στερεών καυσίμων στην Ευρωπαϊκή και Παγκόσμια αγορά ενέργειας τον 21^ο αιώνα ", Τεχνικά Χρονικά, Δίμηνη έκδοση Τ.Ε.Ε., Ιανουάριος-Φεβρουάριος 2004, σελ. 28.
4. Δ. Βάμβουκα, " Βιομάζα, Βιοενέργεια και Περιβάλλον ", Εκδόσεις Τζιόλα. 2009.
5. K. Kavouridis, N. Koukouzas, " Coal in the EU Energy Power Current Challenges and Barriers to Cleaner Coal Power", Department of Mineral Resources Engineering, Technical University of Crete, Chania, Greece, CERTH/ISFTA, Attica Technology Park, GR-15310 Ag. Paraskevi, Greece.
6. Milton Catelin , " Coal-Supply and Demand by 2030", World Coal Institute.
7. " Ο ρόλος του άνθρακα στην στρατηγική παραγωγής της ΔΕΗ ", www.dei.com/Documents/dei-anthrakas.pdf.
8. Ε. Κακαράς, Α. Δουκέλης, Δ. Γιαννακόπουλος, Α. Κουμανάκος, " Δέσμευση CO₂ στον τομέα ηλεκτροπαραγωγής από λιγνίτη και φυσικό αέριο ".
9. Φ. Γκουτζαμάνη, " Ποιοτική Αναβάθμιση Λιγνιτικού Ενδιάμεσου από το Ορυχείο Κομάνου με τη Μέθοδο Εμπλουτισμού της Εκλεκτικής Ελάττωσης Μεγέθους ", Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 1994.
10. www.dei.gr/Default.aspx 2008.
11. Καλαϊτζίδου Ιωάννα, " Το ενεργειακό ζήτημα", Ιούνιος, 2008.
12. K. Kavouridis, D. Vamvuka, M. Galetakis, " The Effect of Lignite Qyality on CO₂ Emissions and Cost of Power Production from Western Macedonia Power Plants ", 2nd International Conference, Advances in Mineral Resources Management and Enviromental Geotechnology, Hania, Greece, 2006.

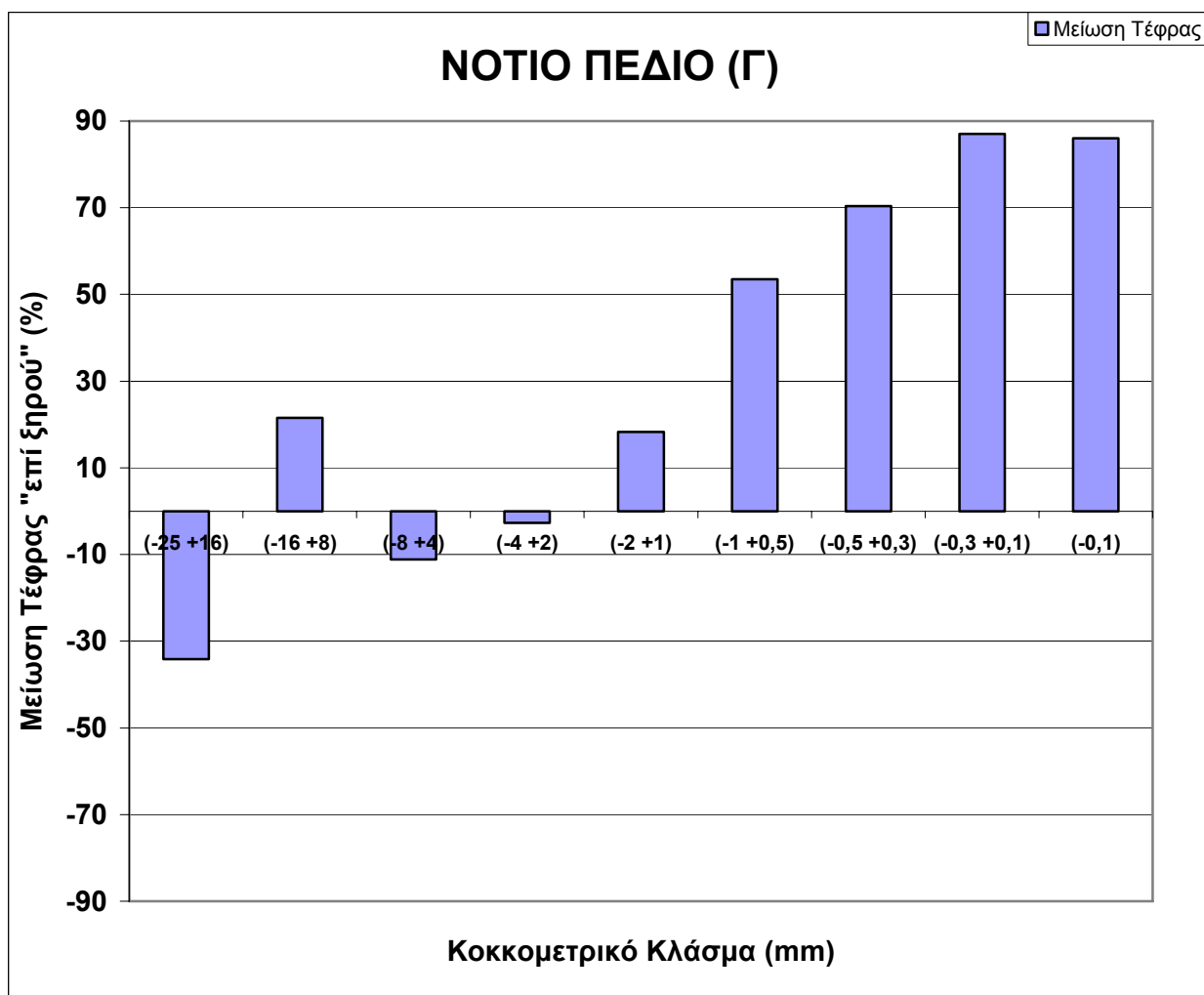
13. Κ. Παπανικολάου, Θ. Κώτης, "Λιγνίτες στην Ελλάδα: Ιδιότητες, Χρήσεις, Προοπτικές", Τ.Ε.Ε., Αθήνα, 9-10 Ιουνίου, 2005.
14. D. Vamvuka, " Study on the Possibility of Recovering Lignites from Refused Innerdurden ", Paper received, Department of Mineral Resources Engineering, Technical University of Crete, Chania, Greece, September 1996.
15. Μ. Γαλετάκης, " Προσδιορισμός της ποιότητας λιγνίτη που εξορύσσεται με τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης από πολυστρωματικά κοιτάσματα ", Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

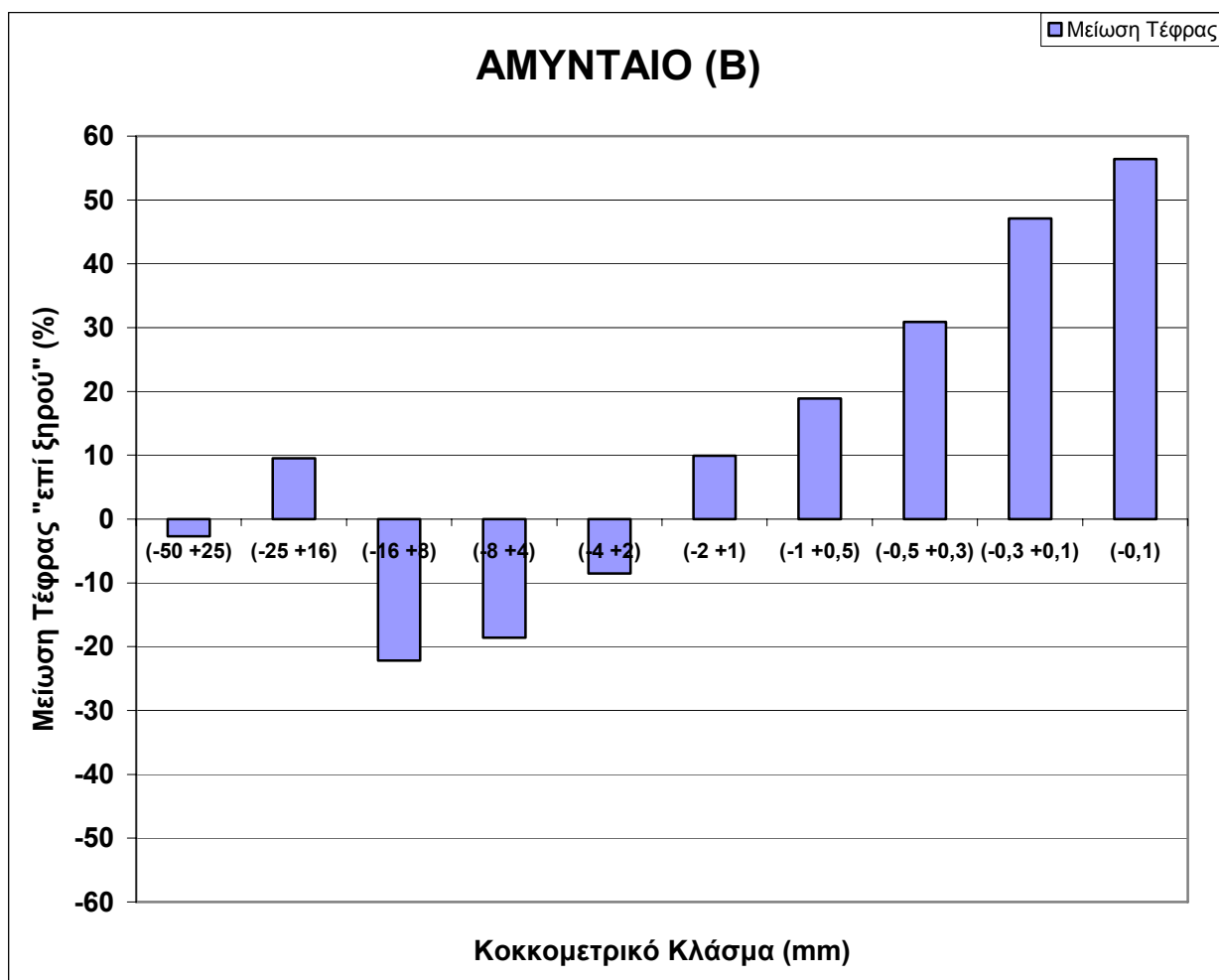
(Ενότητα 4.3. Διαγράμματα Αποτελεσμάτων του Εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ.)



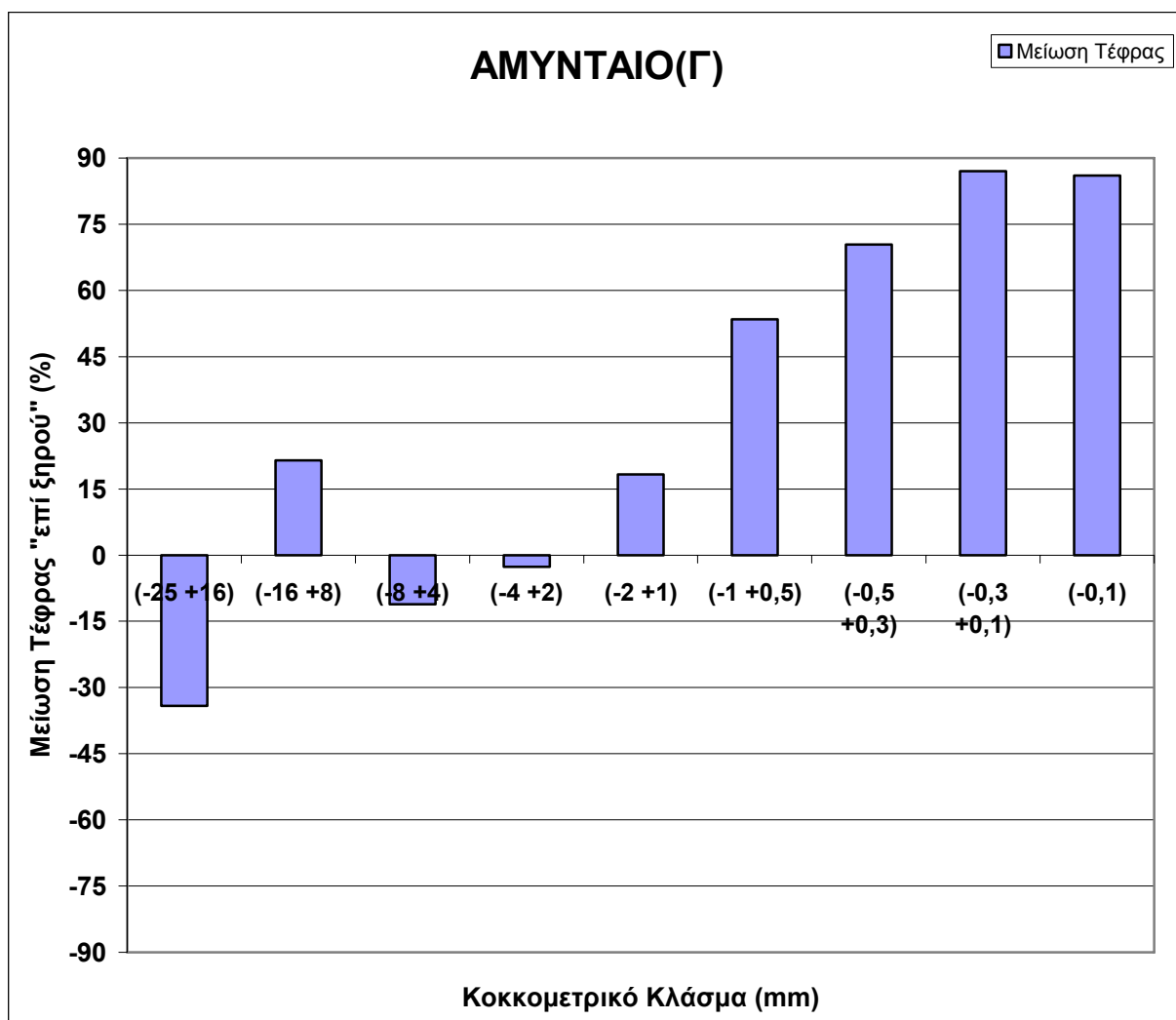
Διάγραμμα 1: Μείωση Τέφρας ‘επί ξηρού’ των Κλασμάτων της Β΄ Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.



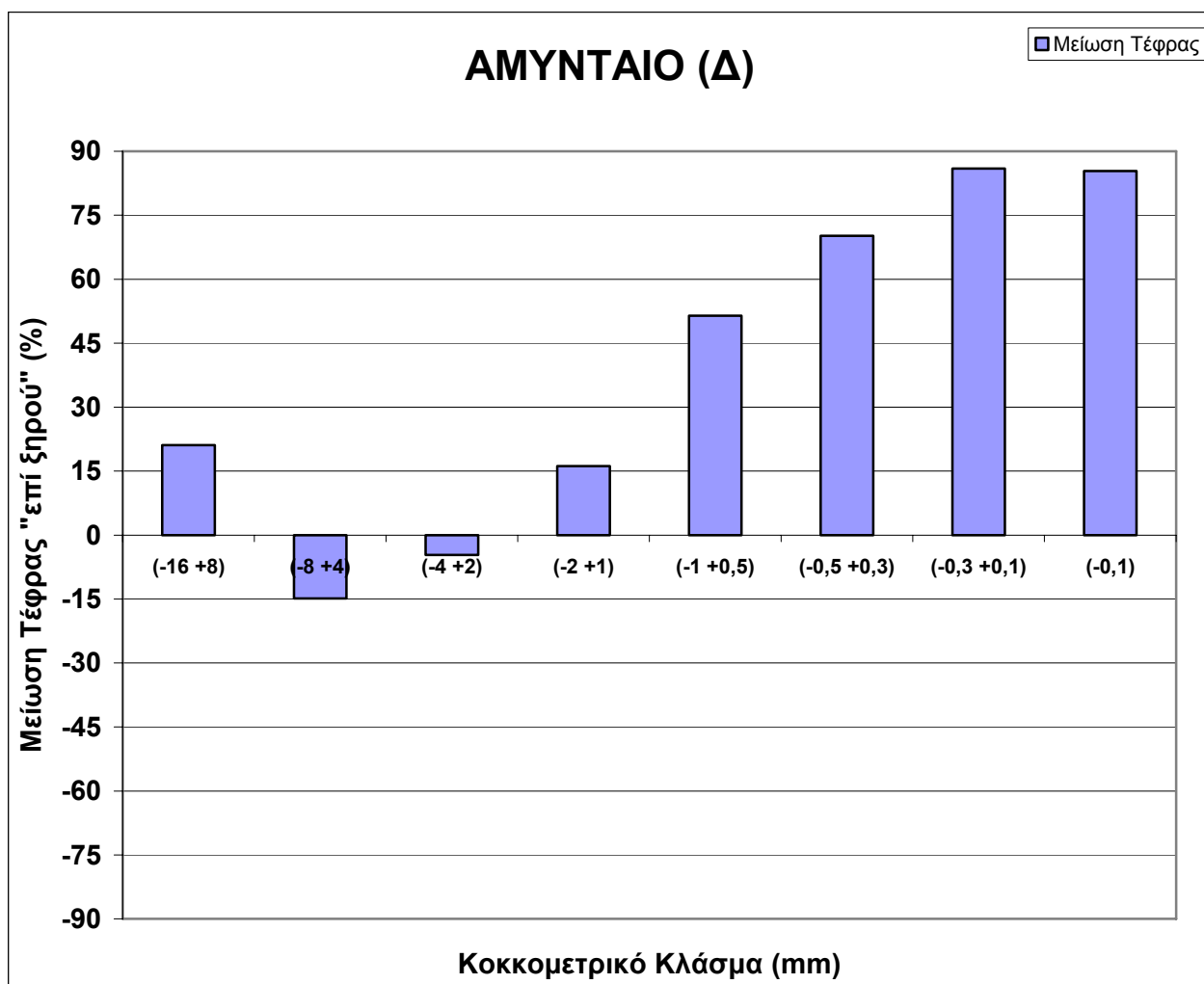
Διάγραμμα 2: Μείωση Τέφρας 'επί ξηρού' των Κλασμάτων της Γ' Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.



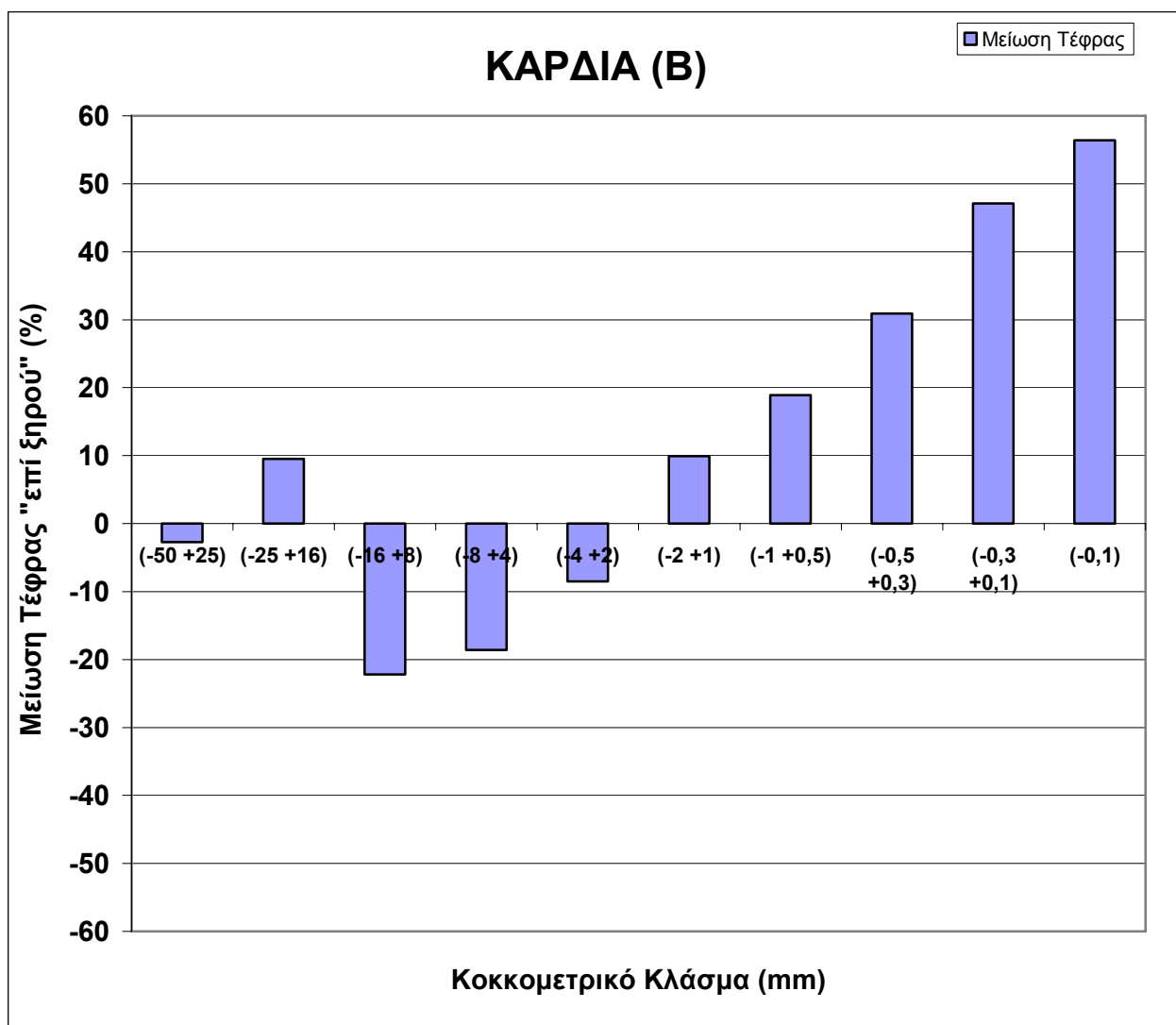
Διάγραμμα 3: Μείωση Τέφρας 'επί ξηρού' των Κλασμάτων της Β' Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.



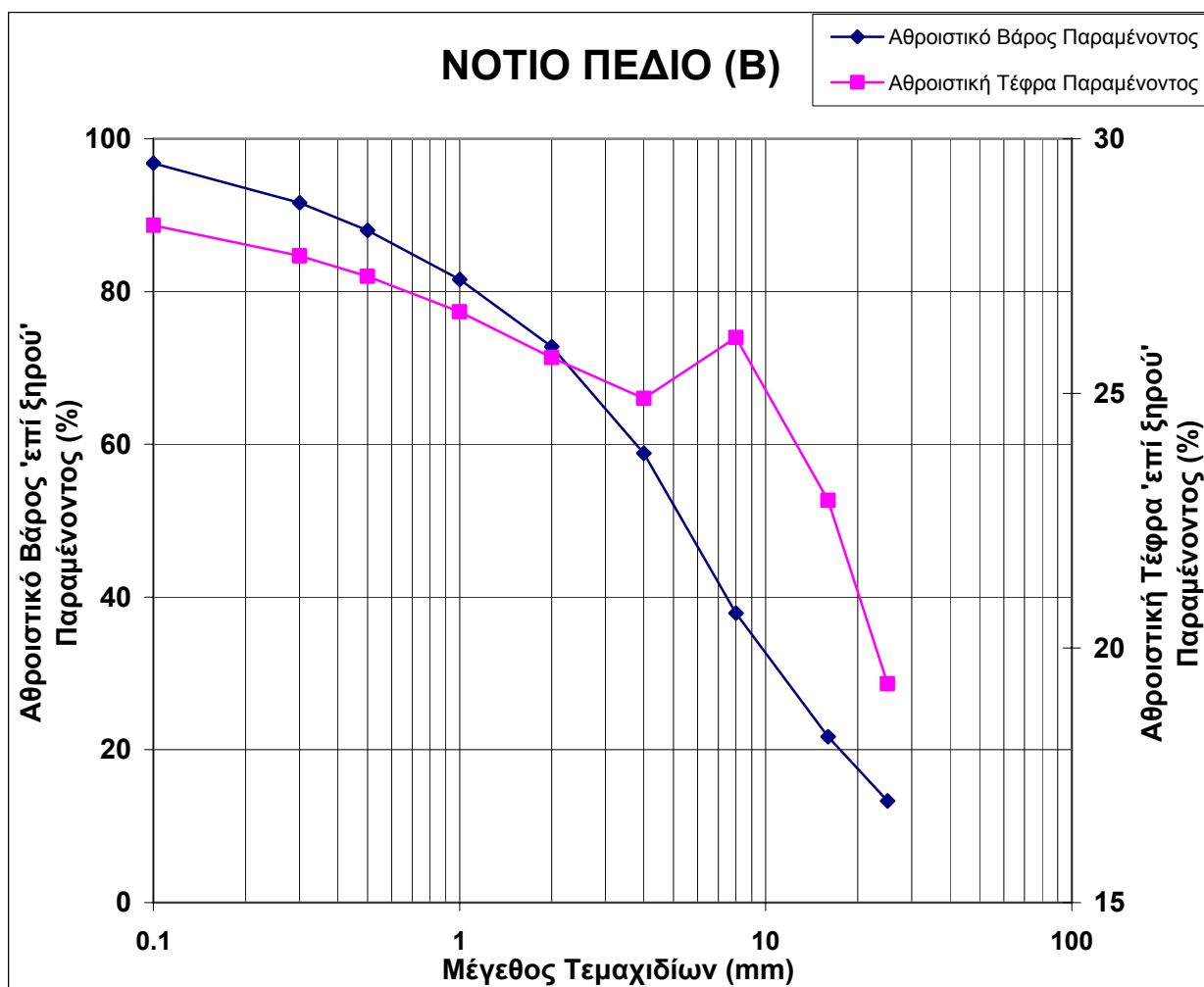
Διάγραμμα 4: Μείωση Τέφρας ‘επί ξηρού’ των Κλασμάτων της Γ’ Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.



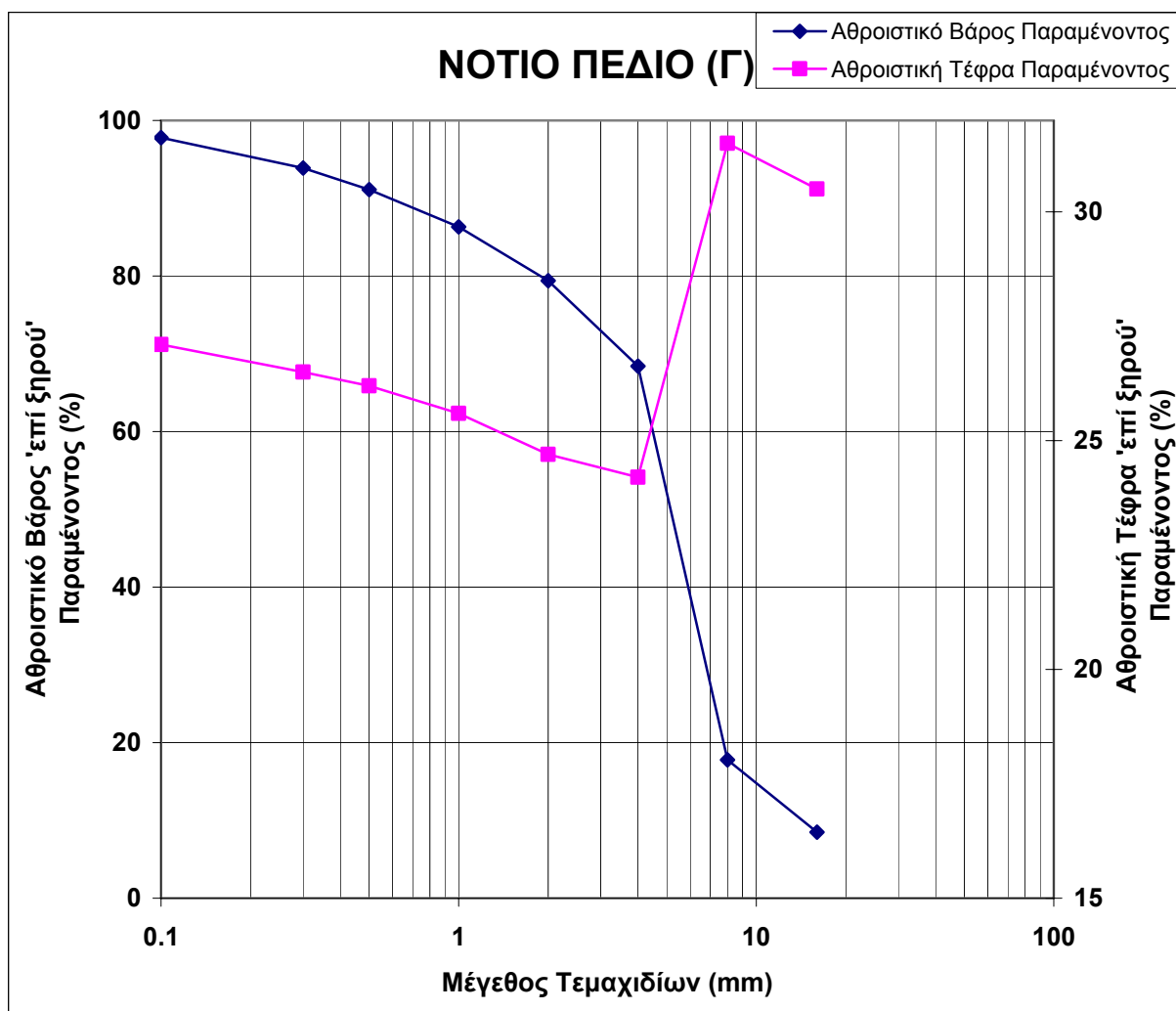
Διάγραμμα 5: Μείωση Τέφρας 'επί ξηρού' των Κλασμάτων της Δ' Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.



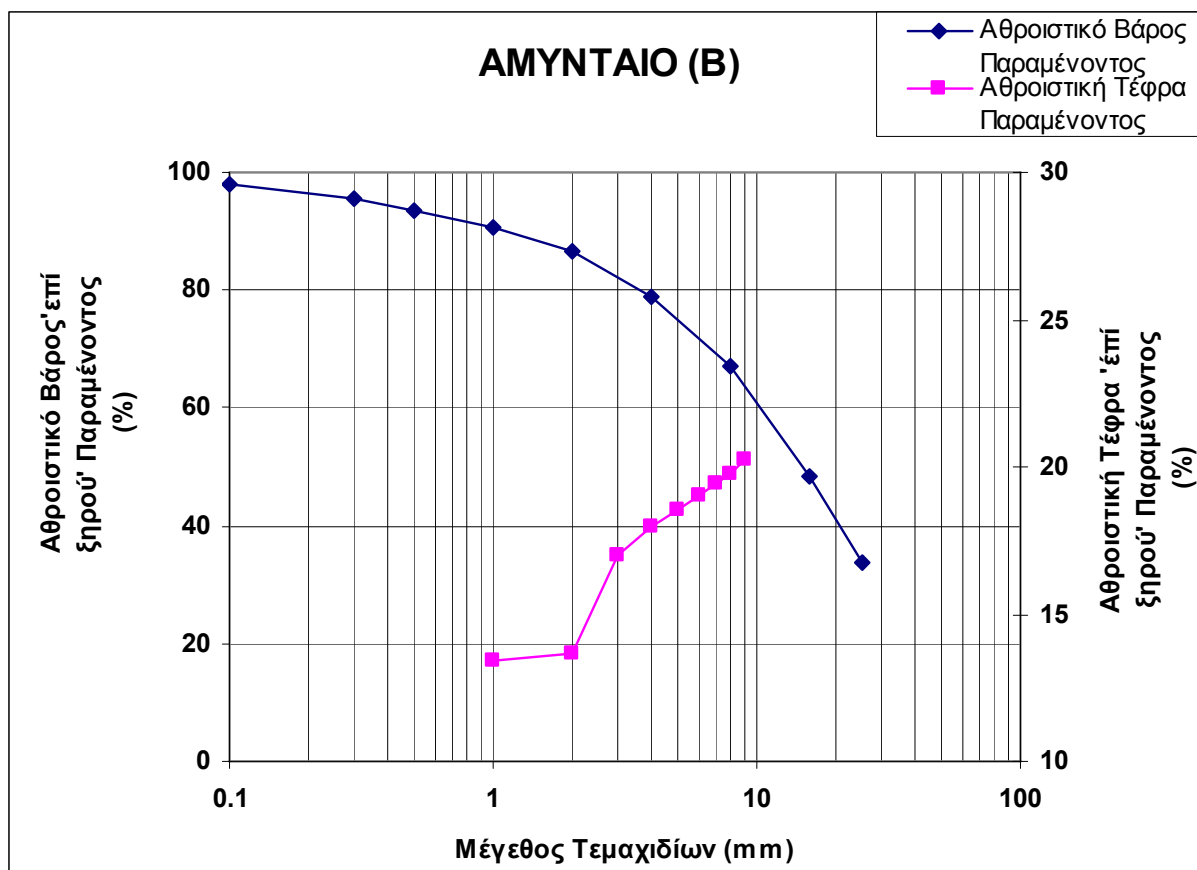
Διάγραμμα 6: Μείωση Τέφρας 'επί ξηρού' των Κλασμάτων της Β' Θραύσης προς το αρχικό αντιπροσωπευτικό δείγμα.



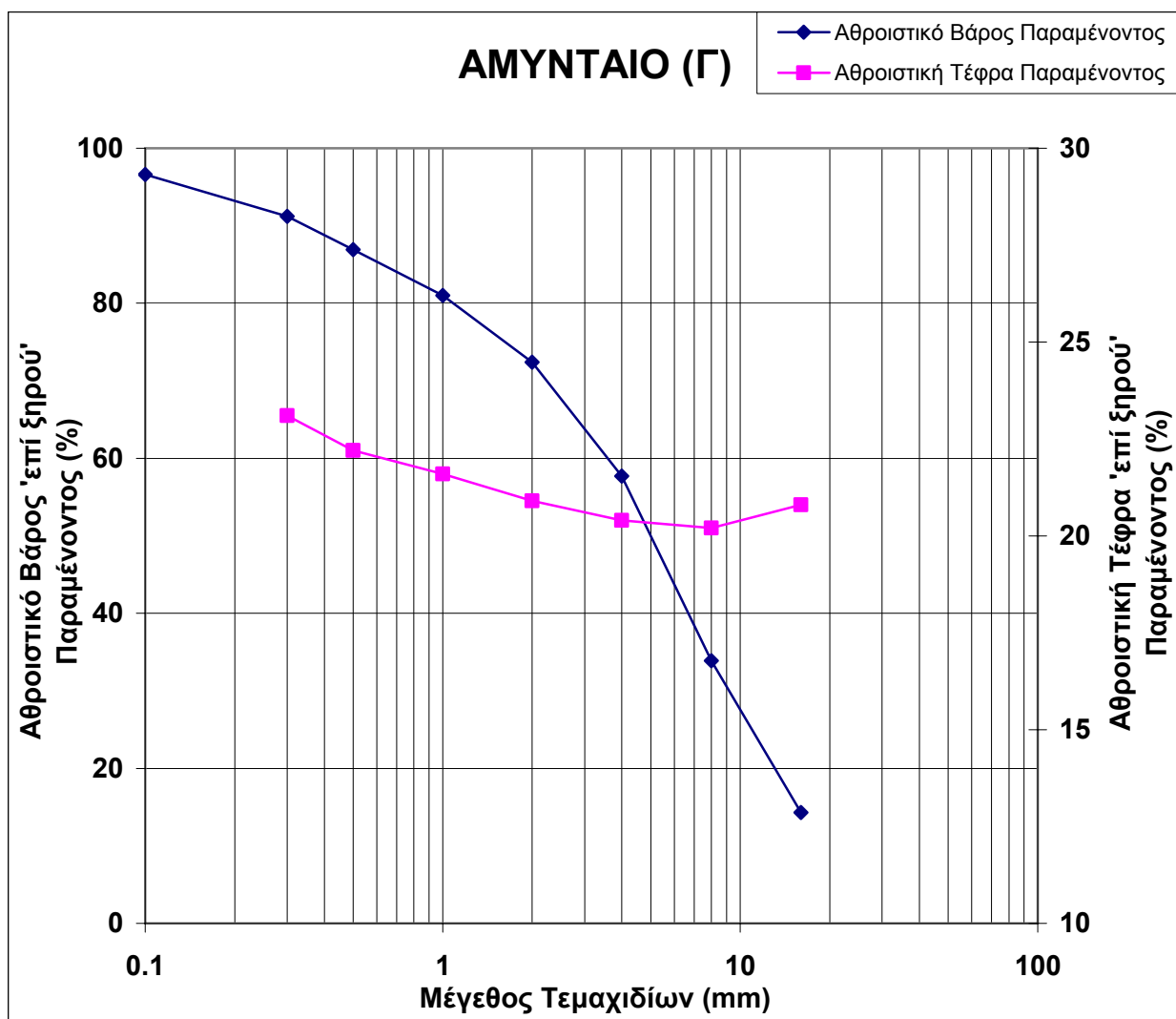
Διάγραμμα 7: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ‘επί ξηρού’ και της Αθροιστικής Τέφρας ‘επί ξηρού’ Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Β΄ Θραύσης



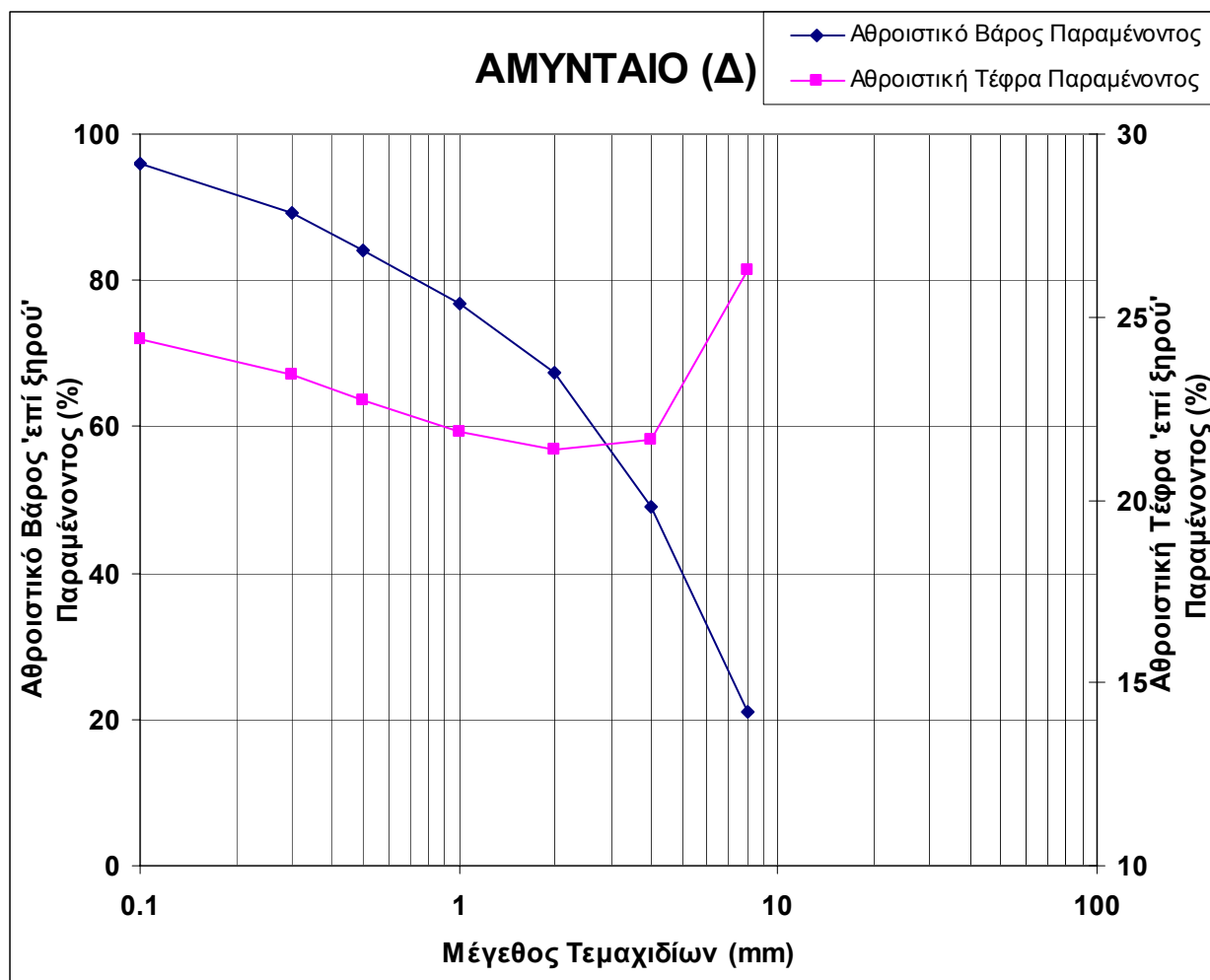
Διάγραμμα 8: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ‘επί ξηρού’ και της Αθροιστικής Τέφρας ‘επί ξηρού’ Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Γ΄ Θραύσης.



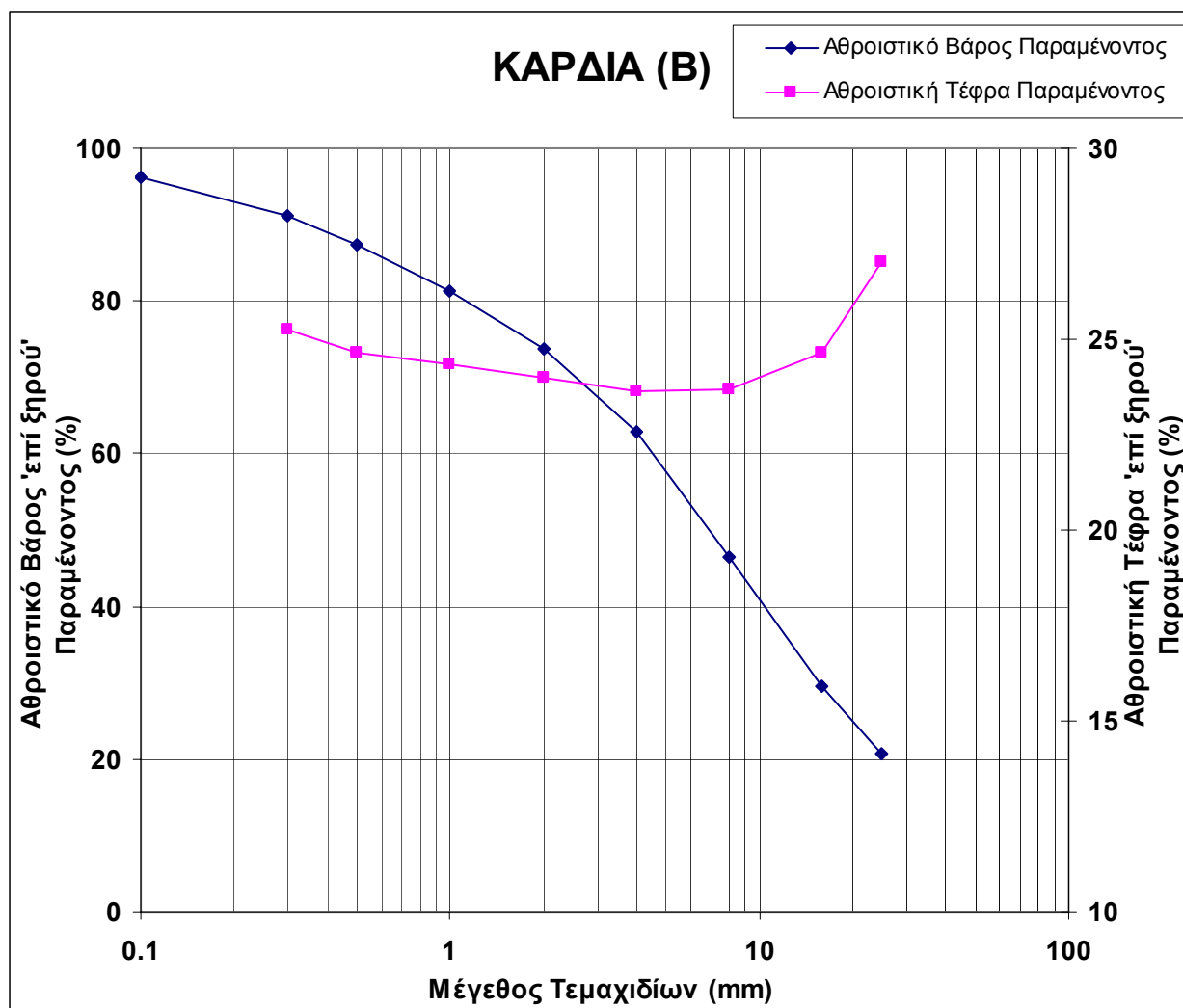
Διάγραμμα 9: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'επί ξηρού' και της Αθροιστικής Τέφρας 'επί ξηρού' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Β' Θραύσης.



Διάγραμμα 10: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'επί ξηρού' και της Αθροιστικής Τέφρας 'επί ξηρού' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Γ' Θραύσης.



Διάγραμμα 11: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους ‘επί ξηρού’ και της Αθροιστικής Τέφρας ‘επί ξηρού’ Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Δ΄ Θραύσης.



Διάγραμμα 12: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένουστος Βάρους 'επί ξηρού' και της Αθροιστικής Τέφρας 'επί ξηρού' Παραμένουστος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Β' Θραύσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

(Ενότητα 4.4. Αποτελέσματα εμπλουτισμού με Ε.Ε.Μ.)

ΝΟΤΙΟ ΠΕΔΙΟ

Β΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 1: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ .

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος 'ως έχει' (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμένοντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)
-50 +25	18.7	18.7	1623.6	303.6	303.6	1623.5
-25 +16	8.7	27.4	1548.5	134.7	438.3	1599.6
-16 +8	14.4	41.8	1481.8	213.4	651.7	1559.1
-8 +4	20.5	62.3	1506.8	308.9	960.6	1541.9
-4 +2	13.2	75.5	1490.2	196.7	1157.3	1532.8
-2 +1	8.2	83.7	1471.4	120.7	1278.0	1526.9
-1 +0.5	5.6	89.3	1456.8	81.6	1359.6	1522.5
-0.5 +0.3	3.2	92.5	1448.5	46.4	1406.0	1520.0
-0.3 +0.1	4.5	97.0	1436.0	64.6	1470.6	1516.1
-0.1	2.8	100	1425.5	39.9	1510.4	1510.4
Σύνολο	100			1510.4		

*ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)= 2026 - (20.85 * Τέφρα 'επί ξηρου'(%))

Γ΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 2: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ .

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος 'ως έχει' (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμένοντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)
-25 +16	5.9	5.9	1390.1	82.0	82.0	1389.8
-16 +8	10.3	16.2	1369.2	141.0	223.0	1376.5
-8 +4	52.8	69.0	1521.4	803.3	1026.3	1487.4
-4 +2	11.4	80.4	1511.0	172.3	1198.6	1490.8
-2 +1	6.8	87.2	1492.2	101.5	1300.1	1490.9
-1 +0.5	4.5	91.7	1479.7	66.6	1366.7	1490.4
-0.5 +0.3	2.6	94.3	1473.5	38.3	1405.0	1489.9
-0.3 +0.1	3.6	97.9	1461.0	52.6	1457.6	1488.9
-0.1	2.1	100	1452.6	30.5	1488.1	1488.1
Σύνολο	100			1488.1		

*ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)= 2026 - (20.85 * Τέφρα 'επί ξηρου'(%))

ΑΜΥΝΤΑΙΟ

Β΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 3: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ .

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος 'ως έχει' (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμένοντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)
-50 +25	36.1	36.1	1746.6	630.5	630.5	1746.5
-25 +16	15.8	51.9	1741.0	275.1	905.6	1744.9
-16 +8	17.7	69.6	1672.2	296.0	1201.6	1726.4
-8 +4	11.3	80.9	1652.2	186.7	1388.3	1716.1
-4 +2	7.2	88.1	1640.3	118.1	1506.4	1709.9
-2 +1	3.8	91.9	1629.9	61.9	1568.3	1706.5
-1 +0.5	2.5	94.4	1620.7	40.5	1608.8	1704.2
-0.5 +0.3	1.6	96.0	1614.6	25.8	1634.6	1702.7
-0.3 +0.1	2.3	98.3	1603.6	36.9	1671.5	1700.4
-0.1	1.7	100	1595.2	27.1	1698.7	1698.7
Σύνολο	100			1698.7		

*ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)= 2026 - (20.85 * Τέφρα 'επί ξηρου'(%))

Γ΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ .

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος 'ως έχει' (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμένοντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)
-25 +16	16.8	16.8	1727.9	290.3	290.3	1728.0
-16 +8	19.7	36.5	1592.1	313.6	603.9	1654.5
-8 +4	24.2	60.7	1604.8	388.4	992.3	1634.8
-4 +2	14.6	75.3	1601.3	233.8	1226.1	1628.3
-2 +1	8.1	83.4	1590.7	128.8	1354.9	1624.6
-1 +0.5	5.4	88.8	1575.0	85.1	1440.0	1621.6
-0.5 +0.3	3.6	92.4	1562.7	56.3	1496.3	1619.4
-0.3 +0.1	4.6	97.0	1544.8	71.1	1567.4	1615.9
-0.1	2.9	100	1534.2	44.5	1611.8	1611.8
Σύνολο	100			1611.8		

*ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)= 2026 - (20.85 * Τέφρα 'επί ξηρου'(%))

Δ' ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 5: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ .

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος 'ως έχει' (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμένοντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)
-16 +8	20.8	20.8	1478.5	307.5	307.5	1478.4
-8 +4	30.4	51.2	1575.0	478.8	849.3	1658.8
-4 +2	18.6	69.8	1580.2	293.9	1143.2	1637.8
-2 +1	9.9	79.7	1570.0	155.4	1298.6	1629.4
-1 +0.5	6.7	86.4	1552.1	104.0	1402.6	1623.4
-0.5 +0.3	4.5	90.9	1537.5	69.2	1471.8	1619.1
-0.3 +0.1	5.5	96.4	1517.5	83.5	1555.3	1613.4
-0.1	3.4	100	1506.0	51.2	1543.5	1543.5
Σύνολο	100			1543.5		

*ΚΘΔ 'ως έχει'(kcal/kg)= 2026 - (20.85 * Τέφρα 'επί ξηρου'(%))

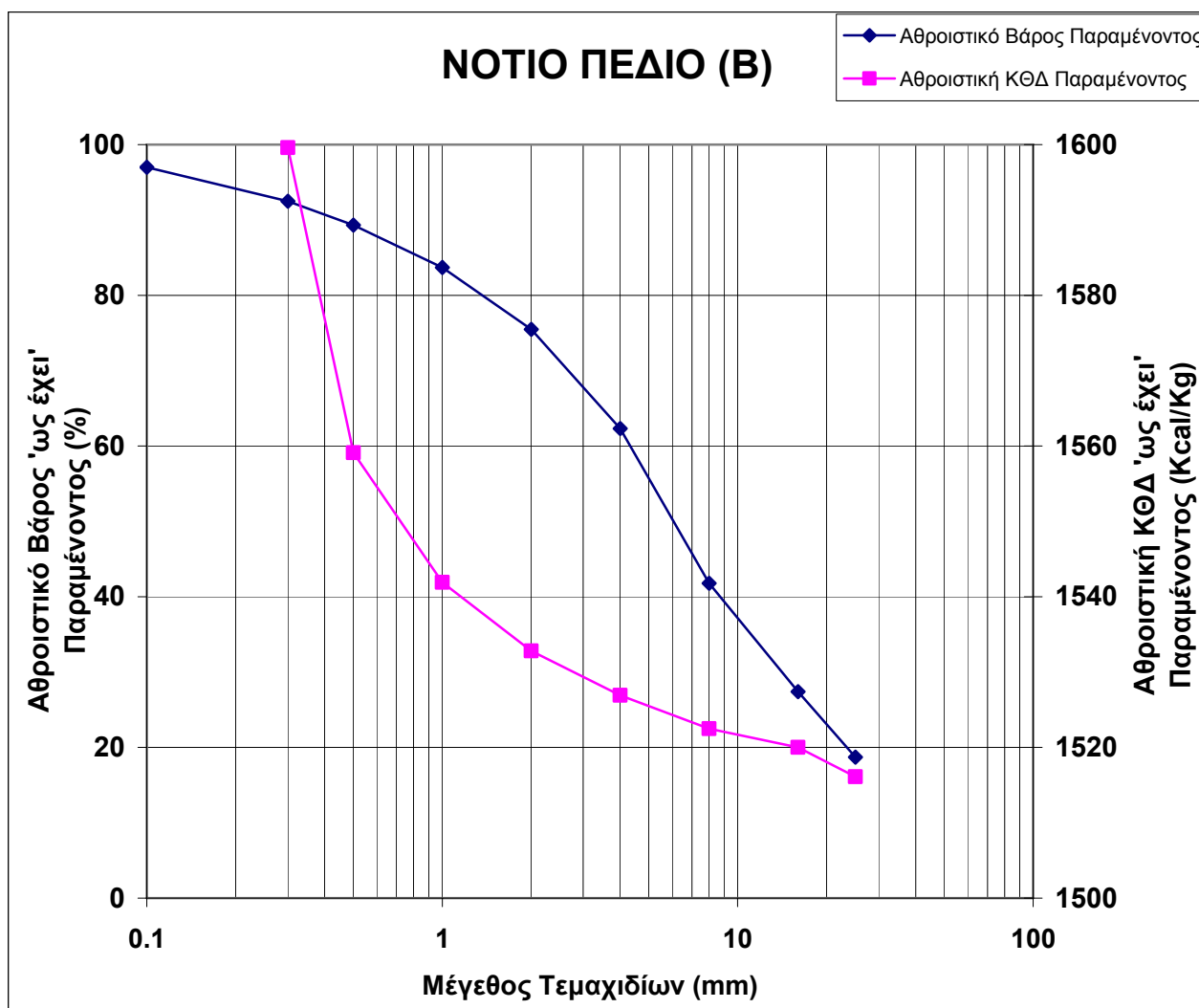
ΚΑΡΔΙΑ

Β' ΘΡΑΥΣΗ

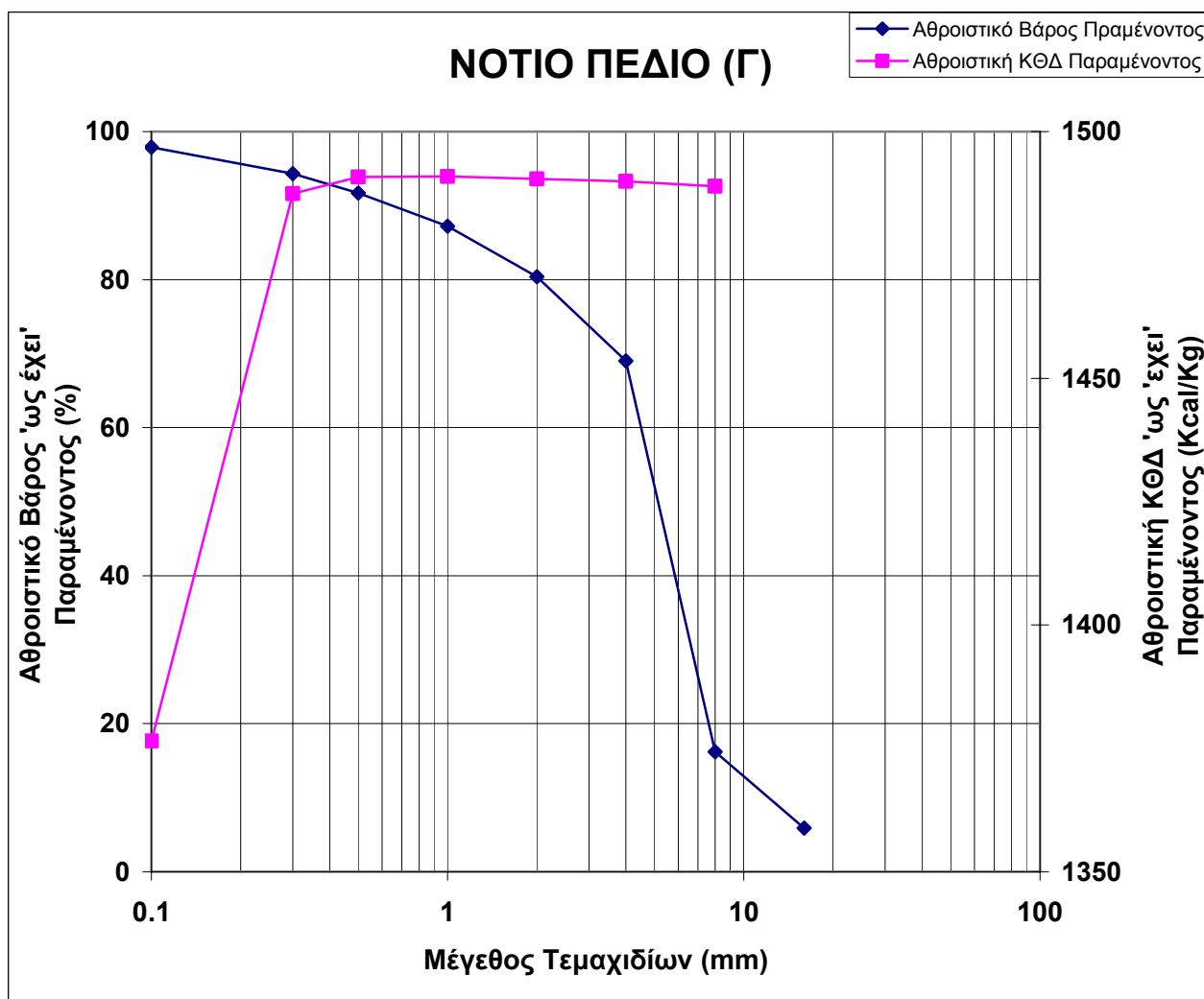
Πίνακας 6: Συνέχεια αποτελεσμάτων εμπλουτισμού με ΕΕΜ .

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος κλάσματος 'ως έχει' (%)	Αθροιστικό Παραμένον Βάρος (%)	ΚΘΔ 'ως έχει' (kcal/kg)	Μονάδες ΚΘΔ	Αθροιστικές Μονάδες ΚΘΔ Παραμένοντος	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)
-50 +25	9.5	9.5	1509.8	143.4	143.4	1405.9
-25 +16	24.1	33.6	1462.8	352.5	495.9	2569.4
-16 +8	16.4	50.0	1512.1	248.0	743.9	1754.5
-8 +4	16.3	66.3	1532.3	249.8	993.7	1719.2
-4 +2	10.8	77.1	1533.3	165.6	1159.3	1646.7
-2 +1	7.2	84.3	1525.6	109.8	1269.1	1596.4
-1 +0.5	5.1	89.4	1518.1	77.4	1346.5	1569.3
-0.5 +0.3	3.1	92.5	1511.8	46.9	1393.4	1543.1
-0.3 +0.1	4.5	97.0	1499.5	67.5	1460.9	1569.2
-0.1	3.0	100	1490.4	44.7	1505.6	1549.0
Σύνολο	100			1505.6		

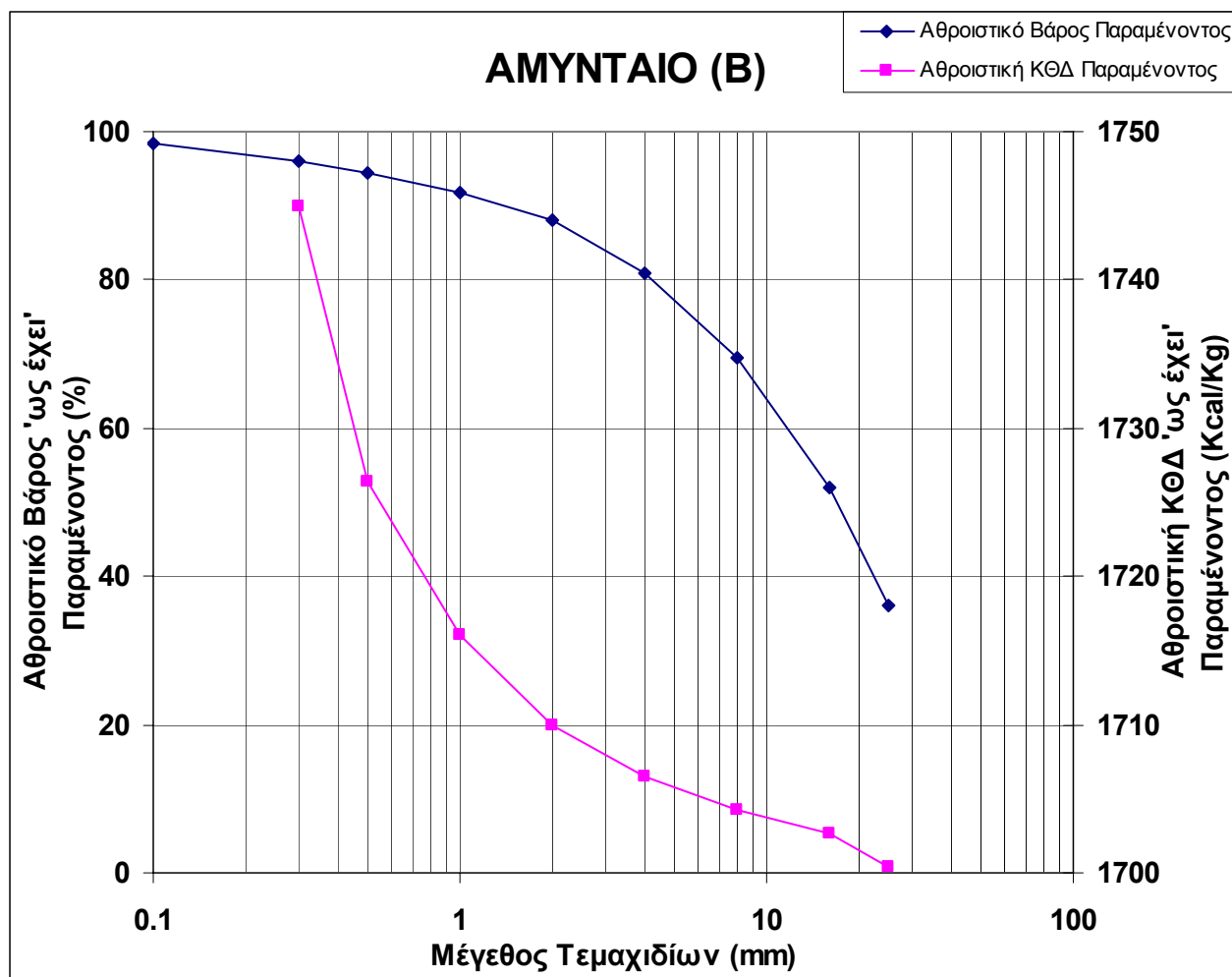
*ΚΘΔ 'ως έχει'(kcal/kg)= 2026 - (20.85 * Τέφρα 'επί ξηρου'(%))



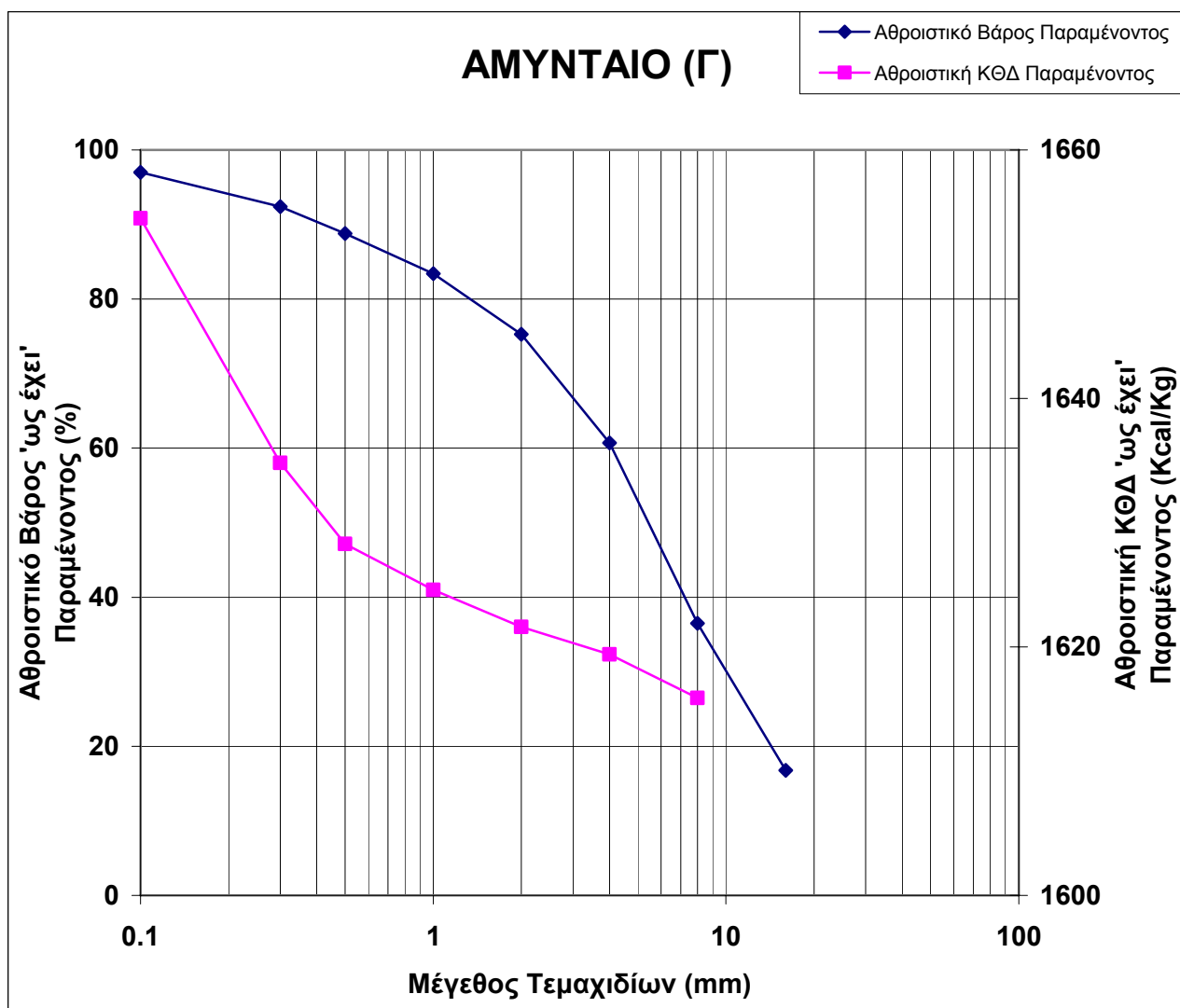
Διάγραμμα 1: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'ως έχει' και της Αθροιστικής ΚΘΔ 'ως έχει' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Β' Θραύσης.



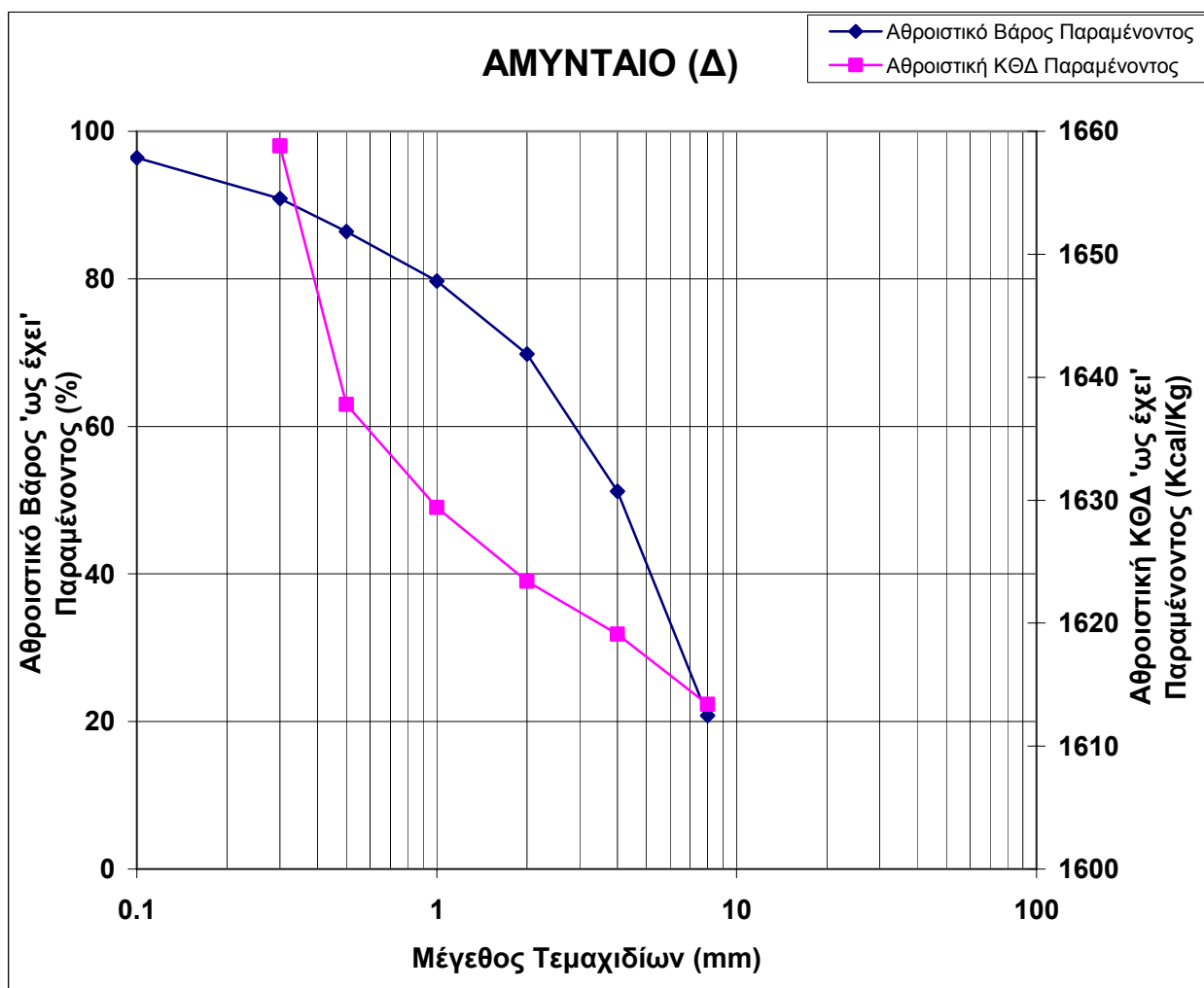
Διάγραμμα 2: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'ως έχει' και της Αθροιστικής ΚΘΔ 'ως έχει' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Γ' Θραύσης.



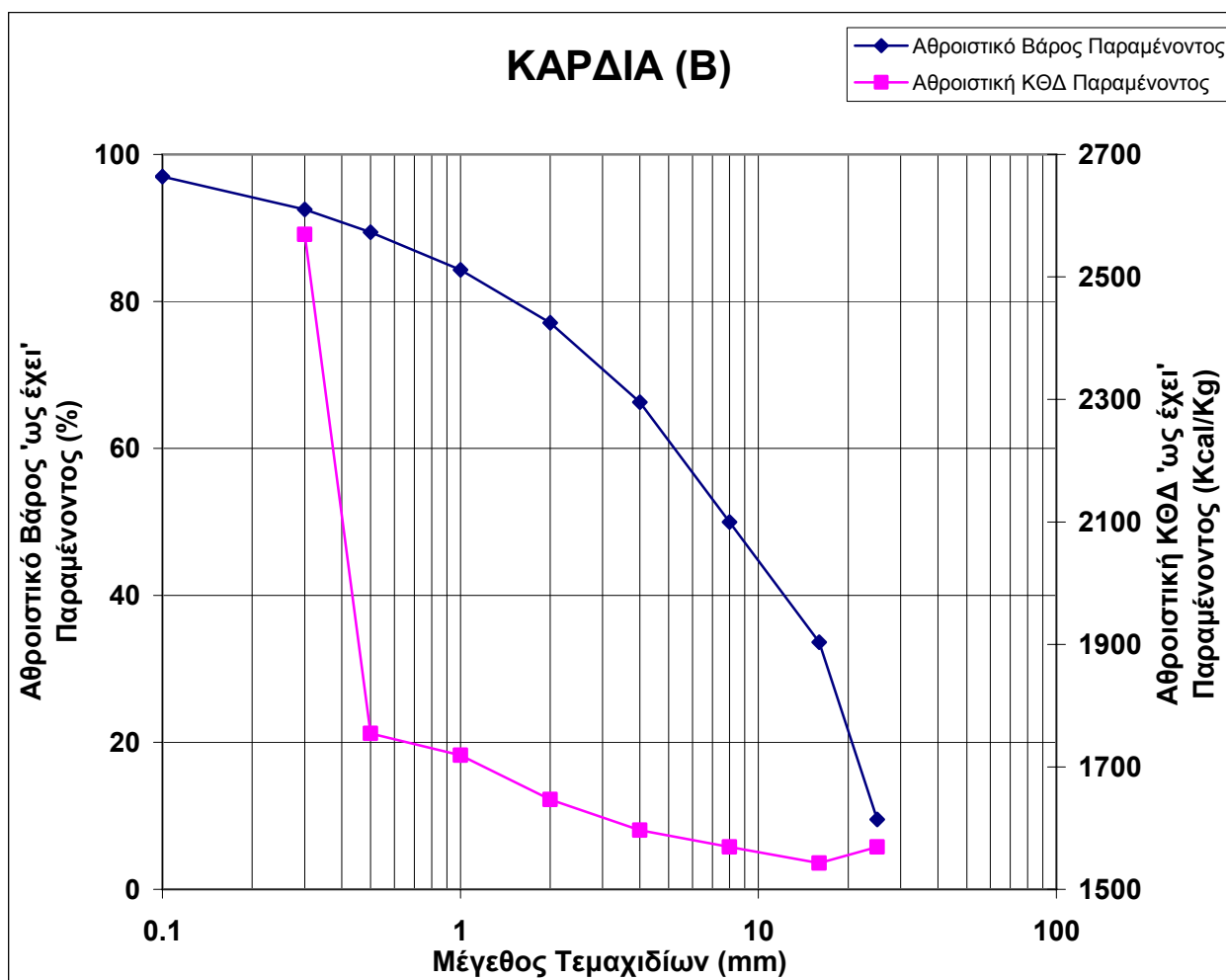
Διάγραμμα 3: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένουστος Βάρους 'ως έχει' και της Αθροιστικής ΚΘΔ 'ως έχει' Παραμένουστος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Β' Θραύσης.



Διάγραμμα 4: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'ως έχει' και της Αθροιστικής ΚΘΔ 'ως έχει' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Γ' Θραύσης.



Διάγραμμα 5: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'ως έχει' και της Αθροιστικής ΚΘΔ 'ως έχει' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Δ' Θραύσης.



Διάγραμμα 6: Μεταβολή του Αθροιστικού Παραμένοντος Βάρους 'ως έχει' και της Αθροιστικής ΚΘΔ 'ως έχει' Παραμένοντος με το Μέγεθος των Τεμαχιδίων της Β' Θραύσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

**(Ενότητα 4.5. Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού
Απόδοσης Α.Η.Σ.)**

ΝΟΤΙΟ ΠΕΔΙΟ

Β΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 1: Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης
Α.Η.Σ.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παρ. (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (η) (%)	Εε/Εα
-50 +25	3320.7	3320.7	19.3	1623.5	35.8	0.19
-25 +16	1546.8	4867.5	22.9	1599.6	35.7	0.28
-16 +8	3019.6	7887.1	26.1	1559.1	35.4	0.44
-8 +4	4298.7	12185.8	24.9	1541.9	35.3	0.67
-4 +2	2767.9	14953.7	25.7	1532.8	35.2	0.81
-2 +1	1719.5	16673.2	26.6	1526.9	35.2	0.90
-1 +0.5	1174.3	17847.5	27.3	1522.5	35.1	0.96
-0.5 +0.3	671.0	18518.5	27.7	1520.0	35.1	0.99
-0.3 +0.1	943.6	19462.1	28.3	1516.1	35.1	1.04
-0.1	587.1	20049.2	28.8	1510.4	35.1	1.07

Γ΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 2: Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης
Α.Η.Σ.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (η) (%)	Εε/Εα
-25 +16	1546.8	1546.8	30.5	1389.8	34.3	0.07
-16 +8	2025.2	3572.0	31.5	1376.5	34.2	0.17
-8 +4	10381.8	13953.8	24.2	1487.4	34.9	0.73
-4 +2	2241.5	16195.3	24.7	1490.8	34.9	0.85
-2 +1	1337.0	17532.3	25.6	1490.9	34.9	0.92
-1 +0.5	884.8	18417.1	26.2	1490.4	34.9	0.96
-0.5 +0.3	511.2	18928.3	26.5	1489.9	34.9	0.99
-0.3 +0.1	707.8	19636.1	27.1	1488.9	34.9	1.03
-0.1	412.9	20049.2	27.5	1488.1	34.9	1.05

ΑΜΥΝΤΑΙΟ

Β΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 3: Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης
Α.Η.Σ.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (η) (%)	Εε/Εα
-50 +25	6098.2	6098.2	13.4	1746.5	36.6	0.39
-25 +16	2670.8	8769.0	13.7	1744.9	36.6	0.56
-16 +8	3315.4	12084.4	17.0	1726.4	36.5	0.76
-8 +4	2116.6	14201.0	17.9	1716.1	36.4	0.89
-4 +2	1348.6	15549.6	18.5	1709.9	36.4	0.97
-2 +1	711.8	16261.4	19.0	1706.5	36.4	1.01
-1 +0.5	468.3	16729.7	19.4	1704.2	36.3	1.04
-0.5 +0.3	299.7	17029.4	19.7	1702.7	36.3	1.06
-0.3 +0.1	430.8	17460.2	20.3	1700.4	36.3	1.08
-0.1	318.4	17778.8	20.7	1698.7	36.3	1.10

Γ΄ ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 4: Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης
Α.Η.Σ.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (η) (%)	Εε/Εα
-25 +16	2670.8	2670.8	14.3	1728.0	36.5	0.17
-16 +8	3581.5	6252.3	20.8	1654.5	36.0	0.37
-8 +4	4399.7	10652.0	20.2	1634.8	35.9	0.63
-4 +2	2654.3	13306.3	20.4	1628.3	35.8	0.78
-2 +1	1472.6	14778.9	20.9	1624.6	35.8	0.86
-1 +0.5	981.7	15760.6	21.6	1621.6	35.8	0.92
-0.5 +0.3	654.5	16415.1	22.2	1619.4	35.8	0.96
-0.3 +0.1	836.3	17251.4	23.1	1615.9	35.8	1.00
-0.1	527.2	17778.8	23.6	1611.8	35.7	1.03

Δ' ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 5: Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης
Α.Η.Σ.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (η) (%)	Εε/Εα
-16 +8	3705.4	3705.4	26.3	1478.4	34.9	0.19
-8 +4	5415.6	9121.0	21.6	1658.8	36.0	0.55
-4 +2	3313.5	12434.5	21.4	1637.8	35.9	0.73
-2 +1	1763.6	14198.1	21.9	1629.4	35.9	0.83
-1 +0.5	1193.6	15391.7	22.7	1623.4	35.8	0.90
-0.5 +0.3	801.6	16193.3	23.4	1619.1	35.8	0.94
-0.3 +0.1	979.8	17173.1	24.4	1613.4	35.7	0.99
-0.1	605.7	17778.8	24.9	1543.5	35.3	0.97

ΚΑΡΔΙΑ

Β' ΘΡΑΥΣΗ

Πίνακας 6: Αποτελέσματα Βαθμού Ηλεκτρικής Ανάκτησης και Βαθμού Απόδοσης
Α.Η.Σ.

Κοκκομετρικό Κλάσμα (mm)	Βάρος Κλάσματος (gr)	Αθροιστικό Βάρος (gr)	Αθρ. Τέφρα Παραμ. (%)	Αθροιστική ΚΘΔ Παραμένοντος (kcal/kg)	Βαθμός Απόδοσης (η) (%)	Εε/Εα
-50 +25	3942.7	3942.7	24.8	1405.9	34.4	0.21
-25 +16	1481.4	5424.1	27.0	2569.4	42.1	0.64
-16 +8	2960.7	8384.8	24.7	1754.5	36.7	0.59
-8 +4	2942.7	11327.5	23.7	1719.2	36.4	0.78
-4 +2	1949.8	13277.3	23.6	1646.7	36.0	0.86
-2 +1	1299.8	14577.1	24.0	1596.4	35.6	0.91
-1 +0.5	920.7	15497.9	24.4	1569.3	35.5	0.95
-0.5 +0.3	559.7	16057.5	24.7	1543.1	35.3	0.96
-0.3 +0.1	812.4	16869.9	25.3	1569.2	35.5	1.03
-0.1	541.6	17411.5	25.7	1549.0	35.3	1.05