ΤΕΕ ΤΜΗΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Ε.Α.Π. 2012–2016
ΤΕΛΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Ανάλυση και Τεκμηρίωση της Σκοπιμότητας Αξιοποίησης του Εγχώριου Λιγνίτη σε Προϊόντα Υψηλής Προστιθέμενης Αξίας

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ D 2.1

Έκθεση Σκοπιμότητας

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ..... 2
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ..... 3
ΕΚΤΕΝΗΣ ΣΥΝΟΨΗ..... 4
1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΝΑΝΟΫΛΙΚΩΝ ΓΡΑΦΕΝΙΟΥ..... 6
1.1. Εισαγωγή..... 6
1.2. Χρήσεις 6
1.3. Αγορά και Εξωτερικό Περιβάλλον 8
1.4. Διαθέσιμες Τεχνολογίες..... 10
1.5. Προτεινόμενη Τεχνολογία και Διάγραμμα ροής..... 11
2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ..... 14
2.1. Εισαγωγή..... 14
2.2. Αγορά και Εξωτερικό Περιβάλλον 15
2.3. Διαθέσιμες Τεχνολογίες..... 17
3. ΑΓΡΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ (ΕΔΑΦΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΛΙΓΝΙΤΗ..... 20
3.1. Εισαγωγή..... 20
3.2. Αγορά και Εξωτερικό Περιβάλλον 21
3.3. Διαθέσιμες και Προτεινόμενες Τεχνολογίες..... 24
4. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΠΤΑΜΕΝΣΗ ΤΕΦΡΑΣ..... 26
4.1. Εισαγωγή..... 26
4.1.1 Στοιχεία του υπό μελέτη επενδυτικού σχεδίου..... 26
4.2 Εμπορική ανάλυση (Μελέτη εμπορίας -Έρευνα αγοράς) 27
4.3 Νομική μορφή, έδρα, διάρκεια και διοίκηση-στελέχωση της εταιρείας..... 30
4.4 Τεχνική Μελέτη..... 30
4.4.1 Επιλογή τόπου εγκατάστασης..... 30
4.4.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης..... 31
4.4.3 Επιλογή βέλτιστης δυναμικότητας παραγωγής..... 32
4.4.4 Μέθοδος Παραγωγής – Επιλογή μηχανολογικού εξοπλισμού..... 32
4.4.5 Καθορισμός απαιτήσεων σε ανθρώπινο δυναμικό..... 35
4.4.6 Χρονοδιάγραμμα κατασκευής του σχεδίου - Εκτίμηση διάρκειας κατασκευαστικής περιόδου..... 35
4.5 Οικονομική μελέτη..... 35
4.5.1 Υπολογισμός Πάγιου Κόστους και Αρχικού Κεφαλαίου Κίνησης..... 35
4.5.2 Υπολογισμός λειτουργικού κόστους..... 37
4.5.3 Περιθώρια Κέρδους - Αξιολόγηση Επένδυσης..... 38
4.5.3.1 Αναμενόμενο Κέρδος..... 38
4.5.3.2 Αξιολόγηση της Επένδυσης..... 38
4.5.3.3. Ανάλυση Ευαισθησίας 39
4.6 Πρόταση ως προς την βιωσιμότητα του σχεδίου..... 42
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 43

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Δυνητικά προϊόντα παραγόμενα από το γραφένιο 6
Εικόνα 1.2: Η Παγκόσμια αγορά γραφενίου κατά το 2020 8
Εικόνα 1.3: Προϊόντα παραγόμενα από γραφένιο στην αγορά των ΗΠΑ 9
Εικόνα 1.4: Διάγραμμα ροής σχετικά με την παραγωγή χουμικού οξέος από λιγνίτη 11
Εικόνα 1.5: Διάγραμμα ροής σχετικά με την παραγωγή οξειδίου του γραφενίου από χουμικό οξύ 12
Εικόνα 1.6: Διάγραμμα ροής σχετικά με την παραγωγή γραφενίου από οξείδιο του γραφενίου 13
Εικόνα 2.1: Σκόνη ενεργού άνθρακα 14
Εικόνα 2.2: Εξαγωγές ενεργού άνθρακα στις 4 μεγαλύτερες ηπείρους (2019) 16
Εικόνα 2.3: Σύγκριση εξαγωγών ενεργού άνθρακα παγκοσμίως (2019) 16
Εικόνα 2.4: Προτεινόμενη παραγωγική διαδικασία ενεργού άνθρακα από λιγνίτη 18
Εικόνα 2.5: Προτεινόμενη παραγωγική διαδικασία ενεργού άνθρακα (μορφή σκόνης και κόκκων) από λιγνίτη 19
Εικόνα 3.1: Η παγκόσμια αγορά χουμικών (βασικό χαρακτηριστικό των εδαφοβελτιωτικών) 23
Εικόνα 3.2: Η παγκόσμια αγορά χουμικών με βάση τον τύπο με πρόβλεψη 6ετίας (2028) 24
Εικόνα 3.3: Χαρακτηρισμός λιγνίτη προς παραγωγή χουμικού οξέος 25
Εικόνα 4.1: Παραγωγή τσιμέντου ανά έτος για την περίοδο 2011-2020 (Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, 2019) 28
Εικόνα 4.2: Οργανωτική δομή της προτεινόμενης εταιρείας. 30
Εικόνα 4.3: Διάγραμμα ροής μονάδας επεξεργασίας ιπτάμενης τέφρας 33

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1: Ποσότητες προϊόντων (σε κιλά) από τσιμέντο, σκυρόδεμα ή τεχνητή πέτρα που παράχθηκαν και πωλήθηκαν στην Ελλάδα το έτος 2019 (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2019) 29
Πίνακας 4.2: Χρονοδιάγραμμα μελέτης – κατασκευής 35
Πίνακας 4.3: Υπολογισμός παγίου κόστους 36
Πίνακας 4.4: Ανάλυση λειτουργικού κόστους 37
Πίνακας 4.5: Απόσβεση κεφαλαίου 37
Πίνακας 4.6: Αναμενόμενα ετήσια κέρδη από τη λειτουργία της μονάδας 38
Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα αξιολόγησης της επένδυσης με βάση τα κριτήρια 39
Πίνακας 4.8: Ανάλυση ευαισθησίας της επένδυσης ως προς τη μεταβολή της μέσης τιμής πώλησης των προϊόντων και του αρχικού κόστους επένδυσης (λόγω επιδότησης) 41

ΕΚΤΕΝΗΣ ΣΥΝΟΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Έκθεσης Σκοπιμότητας αποτελεί η αξιολόγηση των τεσσάρων τεχνολογιών που προκρίθηκαν στο Παραδοτέο D1.2 και αφορούν στις έξω-ηλεκτρικές χρήσεις του λιγνίτη της Δυτικής Μακεδονίας. Οι τεχνολογίες εξετάστηκαν με βάση 6 παραμέτρους – κριτήρια που συνάδουν με το πλαίσιο που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την επιλογή των βέλτιστων τεχνολογιών. Οι τεχνολογίες που έλαβαν την υψηλότερη βαθμολογία, για τις οποίες έγινε και περεταίρω ανάλυση ήταν οι ακόλουθες:

- Παραγωγή εδαφοβελτιωτικών (7,63/10)
- Παραγωγή Α΄ υλών και προϊόντων για τον τομέα δομικών κατασκευών (7,31/10)
- Παραγωγή ενεργού άνθρακα (7,14/10)
- Παραγωγή νανοϋλικών γραφενίου (6,27/10)

Τόσο στην περίπτωση των νανοϋλικών γραφενίου όσο και του ενεργού άνθρακα, η έλλειψη οικονομικών δεδομένων βιομηχανικής παραγωγής, μας οδήγησε στο να επικεντρωθούμε στις αναδυόμενες τεχνολογίες και στις δυνητικές χρήσεις των συγκεκριμένων υλικών προκειμένου να αναδείξουμε την προοπτική τους για τη Δυτική Μακεδονία.

Για το **γραφένιο,** το υλικό του μέλλοντος, το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς για το 2020 ανήλθε στα $94,4 εκ. και αναμένεται να αυξηθεί με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) κατά 43,2% από το 2021 έως το 2028. Η Ασία κυριαρχεί στην παγκόσμια αγορά με πάνω από το 35%, λόγω της υψηλής ζήτησης προϊόντων γραφενίου στην αυτοκινητοβιομηχανία, τη ναυτιλία, την άμυνα και την αεροδιαστημική. Επιπλέον, καταγράφεται μια συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση προϊόντων γραφενίου από διάφορες βιομηχανίες όπως αυτές των ηλεκτρονικών, των βιοϊατρικών τεχνολογιών, της αποθήκευσης ενέργειας, της παραγωγής σύνθετων υλικών και επιστρώσεων, καθώς και της επεξεργασίας νερού και λυμάτων. Ενώ υπάρχει βιβλιογραφικά τεκμηριωμένη τεχνική παραγωγής γραφενίου από λιγνίτη σε εργαστηριακή κλίμακα, η τεχνολογία δεν έχει ωριμάσει εμπορικά με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για δράσεις Έρευνας και Ανάπτυξης. Ωστόσο, χαρακτηρίζεται ίσως η πιο ενδιαφέρουσα και υποσχόμενη έξω-ηλεκτρική χρήση του λιγνίτη, με δεδομένο το τεράστιο ενδιαφέρον βιομηχανικών και τεχνολογικών κολοσσών (Samsung, IBM, κλπ).

Ο **ενεργός άνθρακας** είναι ένα εξαιρετικά πορώδες υλικό με πολύ μεγάλη εσωτερική επιφάνεια, που κυμαίνεται μεταξύ 600–1500 m^2/g. Το χαρακτηριστικό αυτό του δίνει τη δυνατότητα να κατακρατά πλήθος επιβλαβών ουσιών που περιέχονται σε υγρές ή αέριες μάζες. Ως αποτέλεσμα, ο ενεργός άνθρακας είναι απαραίτητο μέσο καθαρισμού σε διάφορες βιομηχανικές και αστικές εφαρμογές. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η Ασία καταγράφει $1.38 δις σε εξαγωγές ενεργού άνθρακα και η Ευρώπη $777 εκ.. Η αγορά ενεργού

άνθρακα αυξάνεται διαρκώς λόγω της χρήσης του συγκεκριμένου υλικού κυρίως στην επεξεργασία (καθαρισμό) του πόσιμου νερού, στον καθαρισμό του φυσικού αερίου, στον έλεγχο των εκπομπών υδραγύρου και στη διαχείριση του CO_2. Όπως και στην περίπτωση του γραφενίου, βιβλιογραφικά τεκμηριώνεται η παραγωγή ενεργού άνθρακα από λιγνίτη σε εργαστηριακό και πιλοτικό επίπεδο, αλλά δεν έχει γίνει μέχρι σήμερα εμπορική αξιοποίηση της διαδικασίας.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της δυνατότητας παραγωγής **εδαφοβελτιωτικών** με βάση το λιγνίτη. Το κύριο συστατικό ενός εδαφοβελτιωτικού προϊόντος είναι τα χουμικά συστατικά, τα οποία είναι ένα σύνθετο μείγμα άμορφων συστατικών, καστανού ως σκούρου χρώματος, που προήλθαν από την αποσύνθεση φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων με τη βοήθεια μικροοργανισμών κάτω από αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες. Λόγω της κλιματικής αλλαγής και της απώλειας γόνιμων εδαφών, η προσθήκη χουμικών (εδαφοβελτιωτικών) στα καλλιεργούμενα εδάφη καθίσταται πλέον όλο και περισσότερο αναγκαία σε παγκόσμιο επίπεδο. Στην περίπτωση της παραγωγής εδαφοβελτιωτικών με βάση το λιγνίτη υπάρχει πλήρης εμπορική ωριμότητα των τεχνολογιών, αλλά δεν υπάρχει πρόσβαση σε οικονομικά δεδομένα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εισαγωγές λιπασμάτων-εδαφοβελτιωτικών στην Ελλάδα αγγίζουν το 98% των αναγκών της.

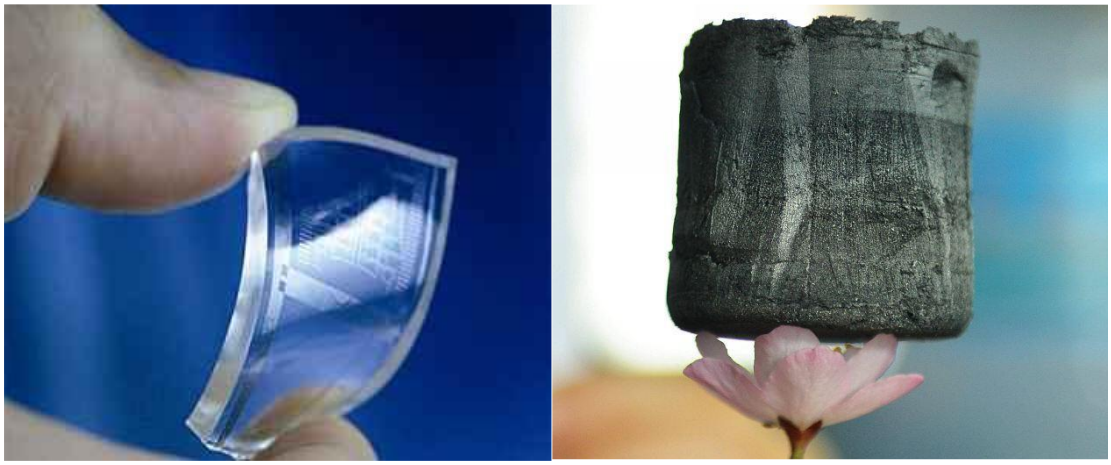
Τέλος, διερευνήθηκε με πραγματικά τεχνικοοικονομικά δεδομένα η παραγωγή **δομικών υλικών** από ιπτάμενη τέφρα, αλλά και από άλλα γαιώδη υλικά που συνεξορύσσονται με το λιγνίτη στα ορυχεία. Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάζεται μία τεχνοοικονομική προσέγγιση σχετικά με τον σχεδιασμό και την κατασκευή μονάδας επεξεργασίας ιπτάμενης τέφρας (ΙΤ) που έχει παραχθεί από τους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς της ΔΕΗ Α.Ε. Συμπεραίνεται ότι ο ρυθμός επιστροφής της αρχικής επένδυσης (17,68%) και ο χρόνος αποπληρωμής της (5,66 έτη) συνηγορούν στο ότι η επένδυση είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα. Τα αναμενόμενα κέρδη θεωρούνται επίσης αρκετά αξιόλογα. Με αυτά τα δεδομένα θεωρείται σκόπιμη η περαιτέρω διερεύνηση του επενδυτικού σχεδίου, κατ' αρχήν σε σχέση με τη συμβατότητά του με το χωρικό και τον γενικότερο αναπτυξιακό σχεδιασμό που υπάρχει ή εκπονείται από τις Περιφερειακές Υπηρεσίες, το Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης και τους άλλους συναρμόδιους φορείς.

1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΝΑΝΟΫΛΙΚΩΝ ΓΡΑΦΕΝΙΟΥ

1.1 Εισαγωγή

Ιδιαίτερη πρόκληση της παρούσας μελέτης αποτέλεσε η προοπτική χρήσης και βιομηχανικής παραγωγής νανοϋλικών γραφενίου από εγχώριο λιγνίτη, δεδομένου ότι μέχρι σήμερα και σε παγκόσμιο επίπεδο, βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο.

Το γραφένιο είναι ένα υλικό που ξεκίνησε να αναπτύσσεται το 2004, όταν ο Ander Geim και ο Koatya Novoselov στο Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ κατάφεραν να εξάγουν μονοατομικού πάχους κρυσταλλίτες από ακατέργαστο γραφίτη. Το γραφένιο αποτελείται από επίπεδα μονοστρωματικά άτομα άνθρακα καλά δομημένα σε ένα δισδιάστατο (2D) πλέγμα κυψελίδων και αποτελεί βασικό στοιχείο για την παρασκευή γραφιτικών υλικών όλων των διαστάσεων. Η παραγωγή γραφενίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους όπως για παράδειγμα με στρωματοποίηση κρυσταλλιτών (μέθοδος κολλητικής ταινίας), με κρυσταλλική ανάπτυξη σε καρβίδιο πυριτίου, με κρυσταλλική ανάπτυξη πάνω σε υποστρώματα μετάλλου (πυρόλυση του αιθοξειδίου του νατρίου, μείωση του οξειδίου του γραφίτη, ακόμα και από νανοσωλήνες).



Εικόνα 1.1: *Δυνητικά προϊόντα παραγόμενα από το γραφένιο.*

1.2 Χρήσεις

Τα τελευταία χρόνια η παγκόσμια έρευνα για καινοτόμα υλικά έχει στραφεί στο γραφένιο, γεγονός που υποδεικνύει έναν διαρκώς εντεινόμενο ανταγωνισμό για την ηγεσία μιας πιθανής τεχνολογικής επανάστασης. Επιχειρήσεις κυρίως από χώρες της Ασίας, κατοχυρώνουν από το 2007 δικαιώματα ευρεσιτεχνίας πάνω σε διάφορες εφαρμογές του γραφενίου, ενώ το 2012 το ενδιαφέρον εντάθηκε ακόμη περισσότερο. Σύμφωνα με το CambridgeIP, τα τελευταία χρόνια έχουν κατατεθεί 7.351 πατέντες με επίκεντρο το γραφένιο. Σε εταιρικό επίπεδο,

πρωταγωνιστεί η Samsung από τη Νότια Κορέα με 407 πατέντες, ενώ η αμερικανική IBM ακολουθεί με 134. Σε εθνικό επίπεδο ηγείται η Κίνα με 2.200 πατέντες και ακολουθούν οι ΗΠΑ με 1.754.

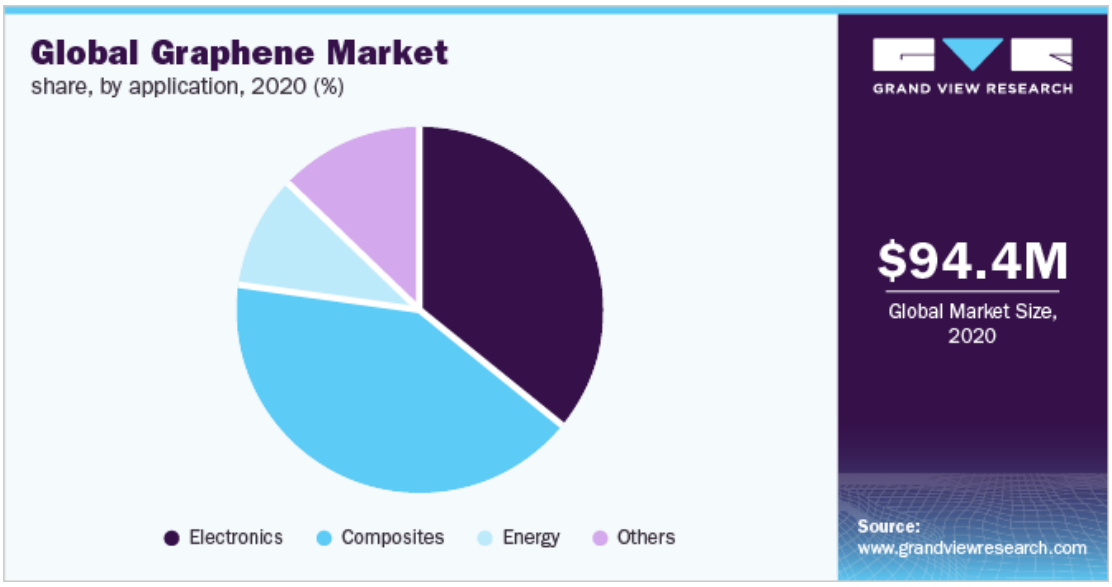
Το πλεονέκτημα του «μαγικού» αυτού υλικού είναι η μεγάλη γκάμα εφαρμογών του που καλύπτει εφαρμογές από την Ενέργεια και την Ιατρική μέχρι την Ηλεκτρονική, τα Τρόφιμα και τον Αθλητισμό. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το σύνολο των δυνητικών εφαρμογών του γραφενίου δεν έχουν ακόμη ανακαλυφθεί.

Ενδεικτικές εφαρμογές γραφενίου στην Ενέργεια					
Φωτοβολταϊκα	Μπαταρίες	Πυρηνικά εργοστάσια	Θερμοηλεκτρικές Εφαρμογές	Απόσταξη	Καύσιμα
Ενδεικτικές εφαρμογές γραφενίου στην Ιατρική					
Θεραπεία καρκίνου	Χορήγηση Φαρμάκων	Θεραπεία Γενετικών ανωμαλιών	Ακτινοθεραπεία	Διαβητικός έλεγχος	Οδοντικά και οστικά εμφυτεύματα
UV αισθητήρες	Νευρωνικές διαγνώσεις εγκεφάλου	Διάγνωση AIDS	Υλικό Προφυλακτικών	Βιοαισθητήρες	Ακτινολογικές εφαρμογές
Ενδεικτικές εφαρμογές γραφενίου στην Ηλεκτρονική					
Αδιαβροχοποίση ηλεκτρ. συσκευών	Οθόνες επαφής	Κινητά τηλέφωνα	Εύκαμπτες Οθόνες	Σκληροί δίσκοι Η/Υ και Κάρτες μνήμες	Ρομποτικά συστήματα
Ημιαγωγοί	Τρανζίστορ	Οπτικοί αισθητήρες	Φορτιστές	Drones	LED φωτισμός
Ενδεικτικές εφαρμογές γραφενίου στα Τρόφιμα					
Συσκευασία τροφίμων	Προστασία από υγρασία	Προστασία από Μύκητες	Προστασία από έντομα/ζιζάνια	Προστασία καλλιεργειών	Προστασία από κλιματικές συνθήκες
Ενδεικτικές εφαρμογές γραφενίου στον Αθλητισμό					
Αθλητικά υποδήματα	Κράνη	Λάστιχα ποδηλάτων	Ρουχισμός	Ρακέτες	Ηλεκτρονικά tatoo για έλεγχο φυσ. κατάστασης
Διάφορες Εφαρμογές γραφενίου					
Μονωτικά υλικά	Οδοποιία	Τσιμέντο	Ηχεία	Φωτογραφία	Αεροναυπηγική
Ζωγραφική	Βαλλιστική	Υλικά στρατού	Αντιδιαβρωτικές Φαρμογές	Λάδια μηχανών	Υπέρυθρες και θερμικές κάμερες

1.3 Αγορά και Εξωτερικό Περιβάλλον

Το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς γραφενίου υπολογίστηκε σε $ 94,4 εκ. το 2020 και αναμένεται να αυξηθεί με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) 43,2% από το 2021 έως το 2028. Υπάρχει συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση προϊόντων γραφενίου σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρονικών, των βιοϊατρικών τεχνολογιών, της αποθήκευσης ενέργειας, της παραγωγής σύνθετων υλικών και επιστρώσεων και της επεξεργασίας νερού και λυμάτων. Όλες αυτές οι χρήσεις, νομοτελειακά θα ενισχύσουν ακόμα περισσότερο την ανάπτυξη της αγοράς.

Το γραφένιο χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο ως πρόσθετο σε μήτρες ρητίνης και άλλα υλικά για τη βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων (θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, ανθεκτικότητα, ακαμψία, ευκαμψία, αντοχή στη φωτιά, αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία και μείωση βάρους). Επιπλέον, χρησιμοποιείται στα φτερά του αεροσκάφους για να μειώσει δραστικά το βάρος του, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση καυσίμου, ενώ σύνθετα υλικά με βάση το γραφένιο χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ποιότητας και της απόδοσης του αθλητικού εξοπλισμού στο σκι, την ποδηλασία αλλά και σε εξοπλισμό και συσκευές καθημερινής χρήσης.

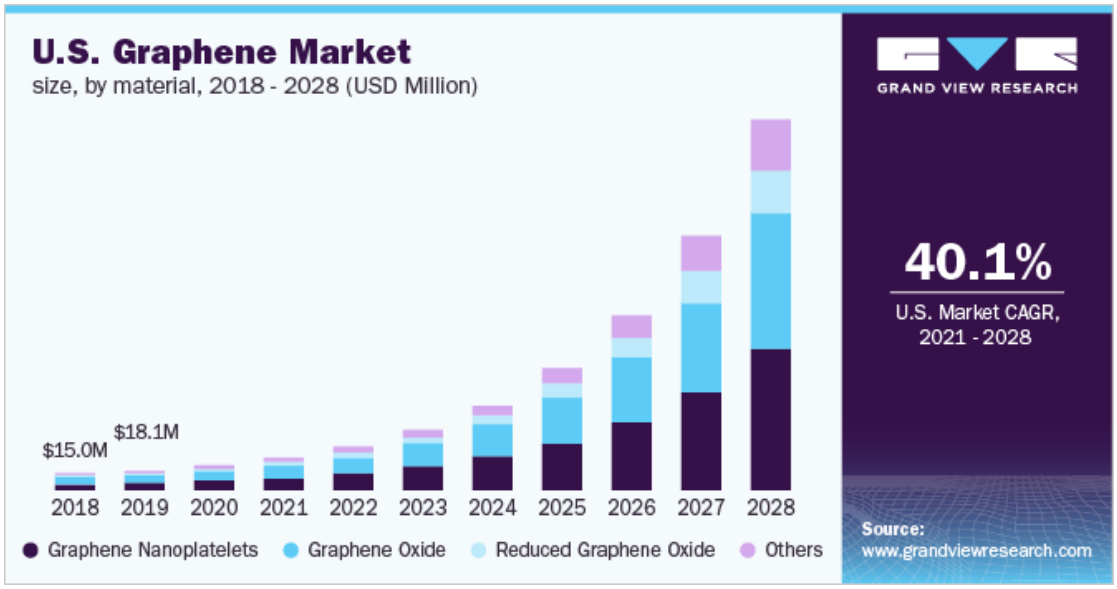


Εικόνα 1.2: *Η Παγκόσμια αγορά γραφενίου κατά το 2020.*

Ο ενεργειακός τομέας αντιπροσωπεύει ένα άλλο βασικό τμήμα της αγοράς, λόγω του μεγάλου πεδίου εφαρμογής των εξαρτημάτων με βάση το γραφένιο, όπως στην αποθήκευση και παραγωγή ενέργειας. Οι επικαλύψεις γραφενίου χρησιμοποιούνται σε μπαταρίες, αγωγούς και γεννήτριες για τη βελτίωση της ενεργειακής και της συνολικής απόδοσης μιας συσκευής. Οι ιδιότητες των προϊόντων γραφενίου, όπως το μικρό πάχος και η αγωγιμότητα, έχουν προωθήσει τη χρήση του σε ημιαγωγούς. Οι συσκευές που βασίζονται σε

γραφένιο έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής, γεγονός που βοηθάει και προάγει τη ζήτησή τους σε δίκτυα IoT, σε ηλεκτρικά Οχήματα (EVs) κλπ.

Σε ότι αφορά τις τάσεις ανά γεωγραφική περιοχή, η αγορά στις ΗΠΑ αναμένεται να παρουσιάσει σημαντική ανάπτυξη, δεδομένου ότι οι ΗΠΑ είναι ήδη ένας από τους βασικούς εξαγωγείς προϊόντων με βάση το γραφένιο. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της βιομηχανίας κατασκευής εξαρτημάτων αεροσκαφών στις ΗΠΑ, λόγω της παρουσίας μεγάλων κατασκευαστών στη συγκεκριμένη χώρα. Η αυξανόμενη ζήτηση για υλικά χαμηλής πυκνότητας, χαμηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, υψηλής ανθεκτικότητας και αντοχής που χρησιμοποιούνται στο σώμα/άτρακτο των αεροσκαφών, αναμένεται να ενισχύσει τη ζήτηση για σύνθετα υλικά με βάση το γραφένιο.



Εικόνα 1.3: *Προϊόντα παραγόμενα από το γραφένιο στην αγορά των ΗΠΑ.*

Η Ασία κυριαρχεί στην αγορά γραφενίου και αντιπροσωπεύει πάνω από το 35% του παγκόσμιου τζίρου πώλησης γραφενίου λόγω της υψηλής ζήτησης προϊόντων σε όλους τους κλάδους, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η ναυτιλία, η άμυνα και η αεροδιαστημική. Επιπλέον, η συνέχιση της ανάπτυξης του βιομηχανικού τομέα σε πολλές χώρες της περιοχής αλλά και η ταυτόχρονη ανάπτυξη του μεταποιητικού τομέα στην Κίνα, είναι δύο παράγοντες που δίνουν σημαντική ώθηση στην περιφερειακή αγορά.

Σε ότι αφορά τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή της Ευρώπης, αυτές προσφέρουν, ολοένα και περισσότερο, μια σειρά από οικονομικά αποδοτικές λύσεις για να καταστεί δυνατή η συνολική παραγωγή γραφενίου μεγάλης κλίμακας. Επιπλέον, οι αυξανόμενες επενδύσεις από τα κράτη και τους κατασκευαστές αναμένεται να προωθήσουν τη ζήτηση για προϊόντα με βάση το γραφένιο, οδηγώντας σε περεταίρω ανάπτυξη της αγοράς.

1.4 Διαθέσιμες Τεχνολογίες

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή γραφενίου (αρχικά οξειδίου του γραφενίου και μετέπειτα γραφενίου), από τις οποίες άλλες εγκαταλείφθηκαν και άλλες συνεχίζουν να είναι πολλά υποσχόμενες.

Μέθοδος μηχανικής αποφλοίωσης (Exfoliation): Η μέθοδος της μικρομηχανικής αποφλοίωσης, είναι η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την απομόνωση μονοστρωματικού γραφενίου. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, χρησιμοποιήθηκε κολλητική ταινία όπου επαναλαμβανόμενα «έσπαγαν» τους κρυστάλλους του γραφίτη σε όλο και λεπτότερα κομμάτια, μέχρι την εμφάνιση των κρυσταλλιτών γραφενίου.

Το πρόβλημα που προέκυψε ήταν το γεγονός ότι οι κρύσταλλοι γραφενίου ήταν κρυμμένοι μέσα σε «θημωνιές» από παχιά φύλλα γραφίτη. Η λύση δόθηκε από την παρατήρηση ότι το γραφένιο είναι ορατό από το οπτικό μικροσκόπιο, όταν αυτό βρίσκεται πάνω σε υπόστρωμα πυριτίου, αφού πρώτα γίνει κατάλληλη επιλογή του πάχους του οξειδίου του πυριτίου. Έτσι, η ταινία με τα οπτικά διαφανή φύλλα γραφενίου, βυθίζεται μέσα σε ακετόνη και μετά από μερικά βήματα τα φύλλα γραφενίου κατακάθονται πάνω σε υπόστρωμα οξειδίου του πυριτίου (SiO_2). Στη συνέχεια, τα φύλλα γραφενίου έγιναν ορατά από το οπτικό μικροσκόπιο, μέσω του φαινομένου των αδύναμων παρεμβολών, όπου διαφορετικά πάχη γραφενίου εμφανίζονταν με διαφορετικά χρώματα. Αργότερα, οι επιστήμονες απλοποίησαν την τεχνική, χρησιμοποιώντας ξηρή απόθεση του γραφενίου, παραλείποντας το στάδιο όπου το γραφένιο βρίσκεται μέσα σε υγρό. Με την τεχνική αυτή απομονώθηκαν κρυσταλλίτες γραφενίου, αρχικά μερικών μm και αργότερα μεγαλύτεροι του 1 mm, οι οποίοι ήταν ορατοί δια γυμνού οφθαλμού.

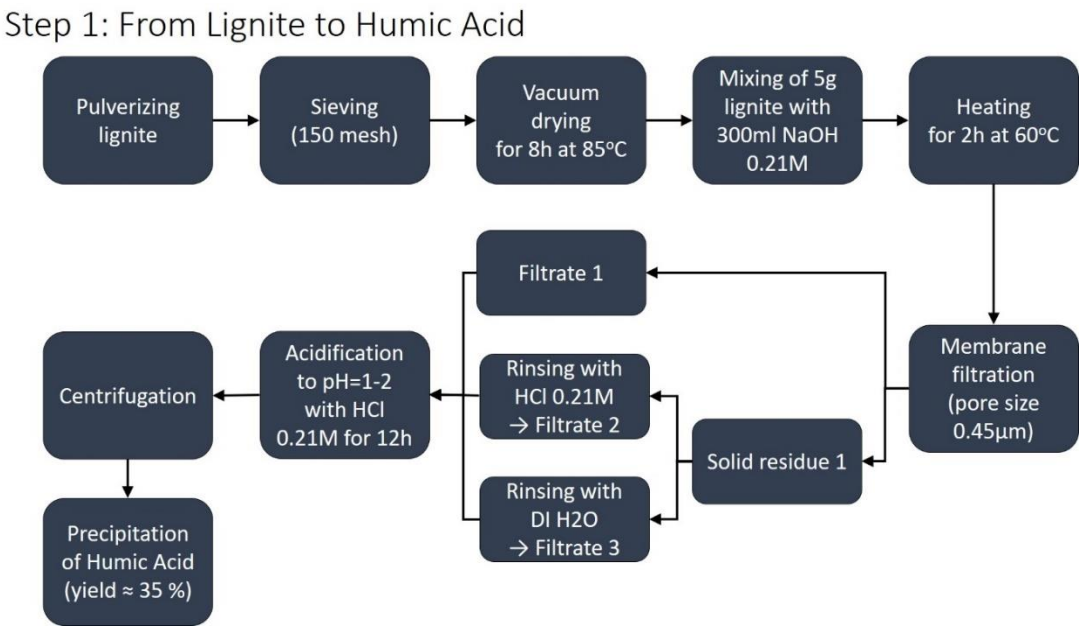
Επιταξιακή ανάπτυξη πάνω σε καρβίδια πυριτίου: Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, μπορούμε να παράγουμε γραφένιο θερμαίνοντας καρβίδιο του πυριτίου (SiC), σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 1100 °C και σε χαμηλές πιέσεις (10^{-6} Torr). Αυτή η μέθοδος παράγει επιταξιακό γραφένιο με διαστάσεις, οι οποίες εξαρτώνται από το μέγεθος του SiC υποστρώματος. Στο γραφένιο που παράχθηκε με τη συγκεκριμένη μέθοδο , ταυτοποιήθηκαν πολύ σημαντικές ιδιότητές του.

Επιταξιακή ανάπτυξη πάνω σε μεταλλικά υποστρώματα: Η επιταξιακή ανάπτυξη γραφενίου πάνω σε μεταλλικά υποστρώματα, είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος, αλλά δεν έχουν γίνει ιδιαίτερες προσπάθειες προς αυτήν. Για την πραγματοποίηση της μεθόδου, είναι απαραίτητη μια πηγή άνθρακα και ένα μεταλλικό υπόστρωμα με κατάλληλη ατομική δομή, η οποία θα συμβάλλει στην επιταξιακή ανάπτυξη του γραφενίου. Μέσω της εναπόθεσης χημικής εξάτμισης (Chemical Vapor Deposition - CVD) παράχθηκε υψηλής ποιότητας πολυστρωματικό γραφένιο εμβαδού 1 cm^2, πάνω σε λεπτά φιλμ νικελίου η χαλκού, χρησιμοποιώντας ως πηγή άνθρακα το μεθάνιο. Εάν η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιηθεί κάτω από συνθήκες χαμηλών πιέσεων, τότε παράγεται μονοστρωματικό γραφένιο. Η αντικατάσταση του μεθανίου, το οποίο

είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, από αιθάνιο η προπάνιο, θα οδηγήσει στην δημιουργία διστρωματικού γραφενίου. Τέλος, το μεταλλικό υπόστρωμα απομακρύνεται με κατάλληλες χημικές διεργασίες.

1.5. Προτεινόμενη Τεχνολογία και Διάγραμμα ροής

Ένα ζήτημα σχετικά με τη σύνθεση γραφενίου με συμβατικές μεθόδους (όπως περιγράφηκε παραπάνω) αφορά τη χρήση τοξικών χημικών ουσιών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται επικίνδυνα απόβλητα και τοξικά αέρια. Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη να αναπτυχθούν πράσινες μέθοδοι για την παραγωγή γραφενίου ακολουθώντας φιλικές προς το περιβάλλον προσεγγίσεις. Με βάση όλα τα παραπάνω, η πρωταρχική σκέψη που υπάρχει και με δεδομένο ότι λιγνίτης και γραφένιο έχουν ως βάση τον άνθρακα, είναι να αξιοποιηθεί ο λιγνίτης ως βάση για την παραγωγή υψηλής καθαρότητας γραφενίου. Ερευνητική ομάδα με επικεφαλής τον Πρόεδρο του Τμήματος Χημείας του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, Καθ. Γ. Κύζα κατέχει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (αρ. ΔΕ20210100243) με θέμα την διεργασία παρασκευής γραφενίου υψηλής καθαρότητας από λιγνίτη με συγκεκριμένη μεθοδολογία βασιζόμενη στη μετατροπή του λιγνίτη σε χουμικό οξύ και μετέπειτα σε οξείδιο του γραφενίου πριν την παρασκευή του τελικού προϊόντος (Kyzas and Mitropoulos, 2021). Η διεργασία αυτή βασίζεται στην αξιοποίηση του λιγνίτη, ο οποίος εξορύσσεται σε ποσότητες της τάξης εκατομμυρίων τόνων ανά έτος από τις βιομηχανίες ηλεκτρισμού, και την μετατροπή του σε γραφένιο. Ακολουθεί διαγραμματική ανάλυση της μεθόδου παραγωγής γραφενίου από λιγνίτη.



Εικόνα 1.4: *Διάγραμμα ροής σχετικά με την παραγωγή χουμικού οξέος από λιγνίτη.*

Βήμα 1: Παραγωγή Χουμικού Οξέος από Λιγνίτη

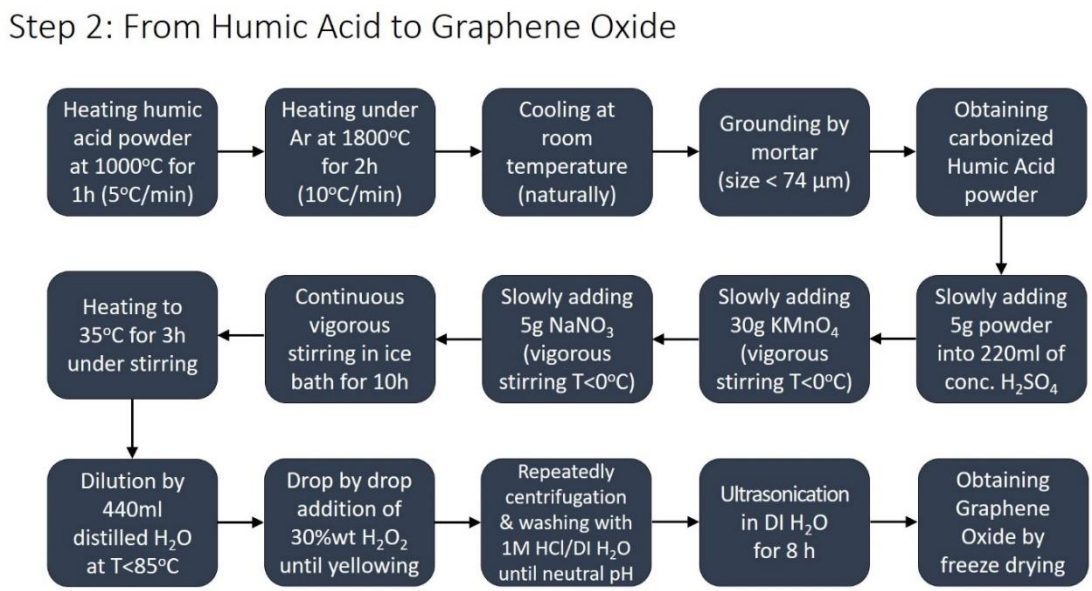
1. Ο κονιορτοποιημένος λιγνίτης διέρχεται μέσω κόσκινου και εν συνεχεία ξηραίνεται υπό κενό.

2. Σύμφωνα με τις βελτιστοποιημένες πειραματικές συνθήκες, 5.0 g αποξηραμένου δείγματος προστίθενται σε διάλυμα NaOH. Η φιάλη θερμαίνεται σε υδατόλουτρο.

3. Χρησιμοποιώντας ηθμό μεμβράνης διαχωρίζεται το στερεό υπόλειμμα (υπόλειμμα 1) από το διάλυμα (διήθημα 1). Το υπόλειμμα 1 εκπλένεται διαδοχικά με υδροχλωρικό οξύ και απιονισμένο νερό ώστε να ληφθούν τα διηθήματα 2 και 3.

4. Η οξύτητα του μείγματος που αποτελείται από τα διηθήματα 1, 2 και 3 ρυθμίζεται μεταξύ των τιμών pH=1 και pH=2 μέσω πυκνού διαλύματος υδροχλωρικού οξέος, και διατηρείται σε αυτές τις συνθήκες για 12 ώρες.

5. Τέλος, μέσω φυγοκέντρισης διαχωρίζεται το κλάσμα του χουμικού οξέος υπό τη μορφή ιζήματος. Η απόδοση παραγωγής χουμικού οξέος μέσω της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι περίπου 35%.



Εικόνα 1.5: *Διάγραμμα ροής σχετικά με την παραγωγή οξειδίου του γραφενίου από χουμικό οξύ.*

Βήμα 2: Παραγωγή Οξειδίου του Γραφενίου από Χουμικό οξύ

1. Το παραχθέν χουμικό οξύ υπό μορφή σκόνης θερμαίνεται σε κλίβανο στους 1000°C. Ακολούθως θερμαίνεται περαιτέρω στους 1800 °C. Εν συνεχεία το

δείγμα ψύχεται σε θερμοκρασία δωματίου και κατόπιν αλέθεται ώστε να παραχθεί σκόνη.

2. Μέσω τροποποιημένης μεθόδου Hummers συντίθεται οξείδιο του γραφενίου χρησιμοποιώντας ως αρχική ύλη την εξανθρακωμένη σκόνη χουμικού οξέος.

3. Σε πυκνό θειικό οξύ προστίθενται διαδοχικά 5 g εξανθρακωμένης σκόνης χουμικού οξέος, $KMnO_4$ και $NaNO_3$ υπό έντονη ανάδευση σε παγόλουτρο.

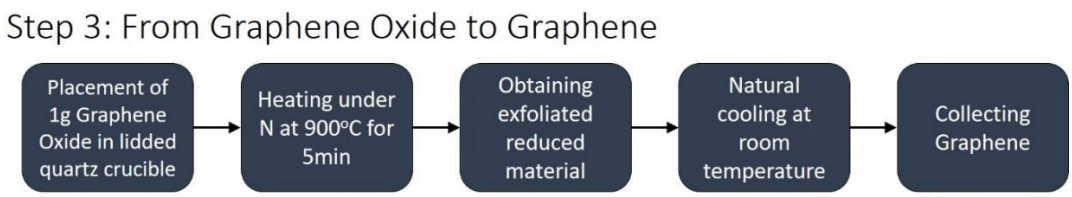
4. Εν συνεχεία, το μείγμα θερμαίνεται για 3 ώρες υπό συνεχή ανάδευση.

5. Ακολούθως, το μείγμα αραιώνεται με απεσταγμένο νερό. Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας αραίωσης, το μείγμα διατηρείται σε θερμοκρασία κατώτερη των 85°C.

6. Κατόπιν στο μείγμα προστίθεται διάλυμα H_2O_2 έως ότου αυτό αποκτήσει έντονο κίτρινο χρώμα.

7. Τέλος, το μείγμα φυγοκεντρίζεται και το υπερκείμενο υγρό απορρίπτεται. Το εναπομένον στερεό εκπλένεται διαδοχικά με διάλυμα HCl και απιονισμένο νερό μέσω φυγοκέντρισης έως ότου το pH του διαλύματος να καταστεί ουδέτερο.

8. Το παραχθέν στερεό υποβάλλεται σε υπερήχους σε απιονισμένο νερό. Το προκύπτον εναιώρημα υπόκειται σε ψυχρή ξήρανση ώστε να ληφθεί το οξείδιο του γραφενίου.



Εικόνα 1.6: *Διάγραμμα ροής σχετικά με την παραγωγή γραφενίου από οξείδιο του γραφενίου.*

<u>Βήμα 3: Παραγωγή Γραφενίου από Οξείδιο του Γραφενίου</u>

1. Η θερμική αποφλοίωση και αναγωγή του οξειδίου του γραφενίου πραγματοποιείται τοποθετώντας το παραχθέν οξείδιο του γραφενίου σε κλίβανο (900 °C, 5 λεπτά).

2. Μετά από την ψύξη του δείγματος υπό φυσικές συνθήκες συλλέγεται τελικώς το γραφένιο.

2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

2.1 Εισαγωγή

Ο ενεργός άνθρακας είναι ένα εξαιρετικά πορώδες υλικό με πολύ μεγάλη εσωτερική επιφάνεια, που κυμαίνεται μεταξύ 600–1500 m^2/g. Τα χαρακτηριστικά αυτά του δίνουν τη δυνατότητα να κατακρατά πλήθος επιβλαβών ουσιών που περιέχονται σε υγρές ή αέριες μάζες. Ως αποτέλεσμα, ο ενεργός άνθρακας είναι απαραίτητο μέσο καθαρισμού σε πλήθος βιομηχανικών και αστικών εφαρμογών. Ο ενεργός άνθρακας παράγεται μέσω θερμικής διαδικασίας ενεργοποίησης (steam activation) από διάφορες πρώτες ύλες, όπως ξυλάνθρακα (charcoal), ορυκτό άνθρακα (bituminous coal) και φλοιό καρύδας (coconut carbon). Το τελικό προϊόν διατίθεται συνήθως σε τρεις μορφές: κοκκώδη (granular), κυλινδρική (extruded/pellet) και σκόνη (powder), αλλά και σε μεγάλο πλήθος διαφορετικών τύπων (απλοί, εμποτισμένοι κ.α.). Ο βαθμός της προσροφητικής ικανότητάς του, καθορίζεται από την προέλευση της πρώτης ύλης, καθώς και από τη διαδικασία ενεργοποίησης.

Εικόνα 2.1: *Σκόνη ενεργού άνθρακα.*

Στο ερώτημα γιατί είναι τόσο χρήσιμη η μετατροπή (αξιοποίηση) του λιγνίτη Πτολεμαΐδας σε ενεργό άνθρακα, η απάντηση βρίσκεται στο πλήθος των εφαρμογών που μπορεί να έχει το συγκεκριμένο υλικό, το οποίο εγγυάται τη ζήτηση μεγάλων ποσοτήτων σε διαφορετικές εφαρμογές: κατακράτηση οργανικών και ανόργανων ουσιών (χημικά, διαλύτες, χλώριο, οσμές, κ.α.) από υγρά και αέρια μέσα (νερό, απόβλητα, καυσαέρια, καύσιμα, κ.α.) με κυριότερες εφαρμογές την επεξεργασία νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, την παραγωγή βιοαερίου, την παραγωγή φαρμάκων και χημικών, την επεξεργασία βιομηχανικών αερίων και καυσαερίων, την επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων.

Για να εξακριβωθεί όμως η καταλληλόλητα του τελικού προϊόντος είναι απαραίτητη η αναφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά. Οι διάφοροι τύποι ενεργού άνθρακα εκτός από την προέλευση, διακρίνονται με βάση τις ιδιότητες και τις προδιαγραφές τους. Η απορροφητικότητα του ενεργού άνθρακα εξαρτάται από το μέγεθος και τη δομή των πόρων του και προσδιορίζεται με συγκεκριμένες μεθόδους. Βασικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του ενεργού άνθρακα είναι: το μέγεθος πόρων, ο βαθμός ιωδίου, η τιμή «μπλε του Μεθυλαινίου», η ειδική εσωτερική επιφάνεια, η υγρασία, η πυκνότητα, η σκληρότητα, η περιεκτικότητα σε τέφρα και υγρασία.

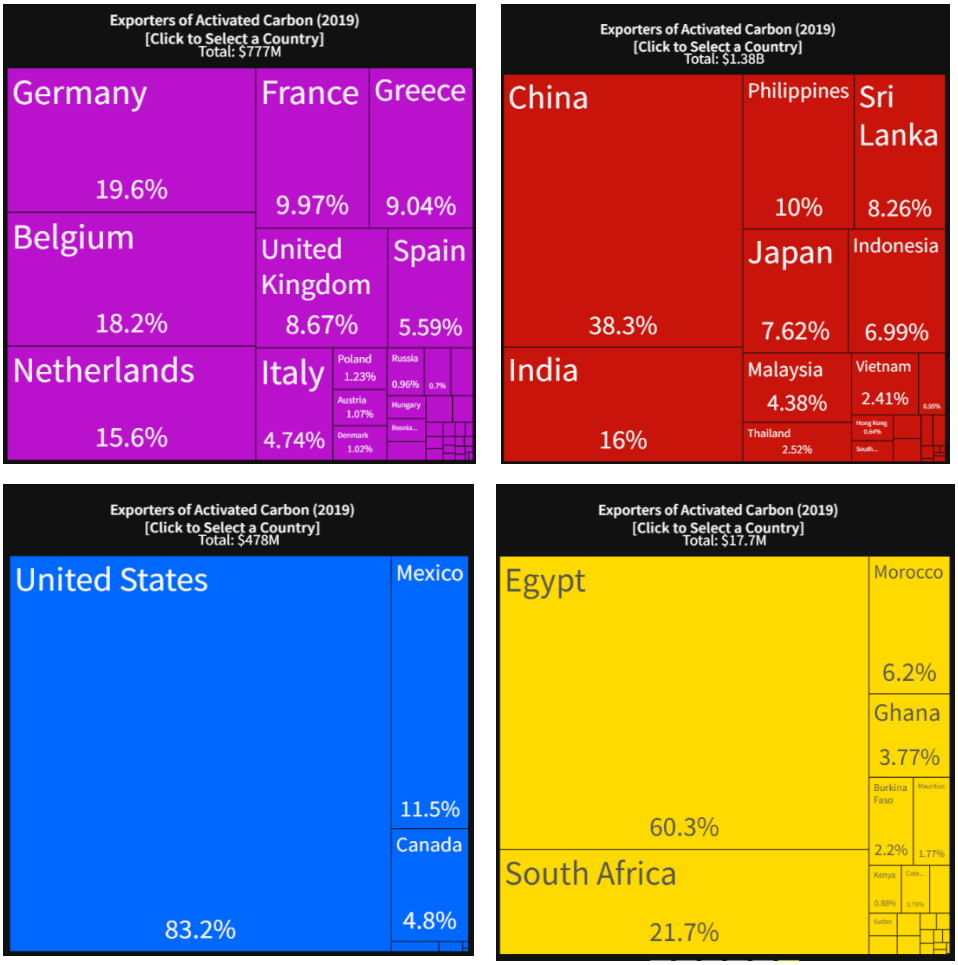
2.2 Αγορά και Εξωτερικό Περιβάλλον

Η παγκόσμια αγορά ενεργού άνθρακα σύμφωνα με την Global Industry Analysts Inc. προβλέπεται να φτάσει τα 2,3 εκατομμύριά μετρικούς τόνους μέχρι το έτος 2027, κάτι που σχετίζεται άμεσα με την αναμενόμενη έκρηξη της ζήτησης ενεργού άνθρακα στην αγορά των ΗΠΑ. Οι αυστηροί ομοσπονδιακοί περιβαλλοντικοί κανονισμοί σχετικά με την απομάκρυνση του υδραργύρου από τις διαδικασίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες, προβλέπεται να τονώσουν ακόμη περισσότερο τη ζήτηση μακροπρόθεσμα. Η ανάπτυξη των τομέων τελικής χρήσης προϊόντων ενεργού άνθρακα, όπως ο καθαρισμός αέρα, η επεξεργασία νερού, η παραγωγή ιατρικών και φαρμακευτικών προϊόντων, θα οδηγήσουν σε κλιμακούμενη ανάπτυξη στις αγορές των ΗΠΑ και της Ασίας έως το 2027.

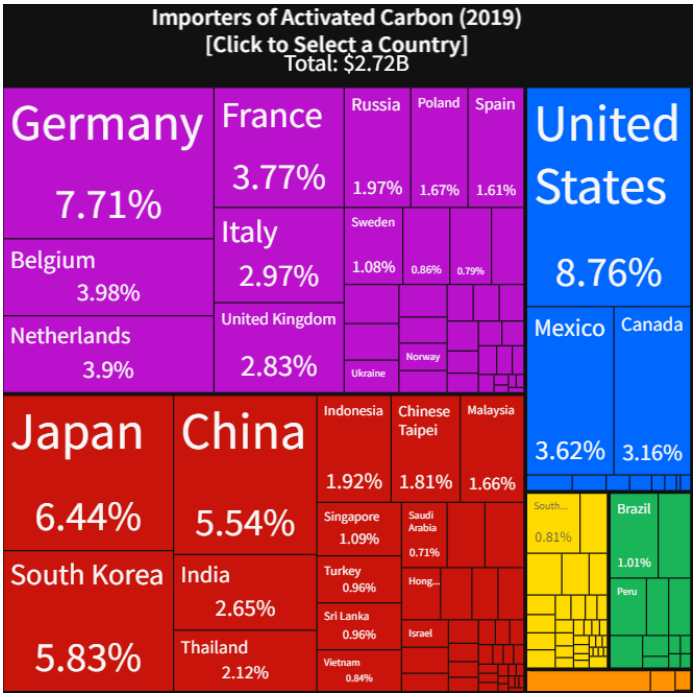
Χαρακτηριστικό παράδειγμα της παγκόσμιας αγοράς αποτελεί η περίπτωση της Ινδίας, όπου η παραγωγική ικανότητα ενεργού άνθρακα υπολογίζεται σε περίπου 1.200.000 τόνους ετησίως. Υπάρχουν περίπου 70 παραγωγοί ενεργού άνθρακα στην χώρα, ως επί το πλείστον μικρής και μεσαίας κλίμακας. Ο ρυθμός ανάπτυξης σε αυτόν τον τομέα εκτιμάται σε περίπου 8% ετησίως και υπάρχει συνεχής αύξηση της ζήτησης λόγω μεγάλης κλίμακας βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Μέρος της ζήτησης καλύπτεται και από εισαγωγές.

Αναλυτικά, σε ότι αφορά τις εξαγωγές, στην Ευρώπη, την Ασία και τη Β. Αμερική πραγματοποιούνται οι μεγαλύτερες συναλλαγές.Ξεχωρίζει η δυναμική των αγορών συγκεκριμένων χωρών, όπως οι ΗΠΑ, η Γερμανία και η Κίνα. Χαρακτηριστικό ωστόσο είναι ότι η Ασία παρουσιάζει $1.38 δις σε εξαγωγές και η Ευρώπη $777 εκ.

Σε σχέση με τις εισαγωγές, το σκηνικό είναι παρόμοιο, με τη μεγαλύτερη ζήτηση για εισαγωγές να την παρουσιάζουν οι ΗΠΑ, η Γερμανία καθώς και η Κίνα και η Ιαπωνία. Για την Ελλάδα, τα δεδομένα δείχνουν ότι οι εισαγωγές ενεργού άνθρακα αντιστοιχούν σε 7.08 εκ $ και αντιπροσωπεύουν μόλις το 0.9% της ζήτησης σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Οι μεγαλύτερες εταιρίες παραγωγής ενεργού άνθρακα στην Ευρώπη είναι οι Eurocarb (UK), Chemviron Carbon (BE), Cabot Norit Activated Carbon (NL), Donau Carbon (DE), CarboTech (DE), Desotec (BE), SICAV (IT), Jacobi Carbons France (FR), Silcarbon Aktivkohle (DE).



Εικόνα 2.2: *Εξαγωγές ενεργού άνθρακα στις 4 μεγαλύτερες ηπείρους (2019).*



Εικόνα 2.3: *Σύγκριση εξαγωγών ενεργού άνθρακα παγκοσμίως (2019).*

2.3 Διαθέσιμες Τεχνολογίες

Ο ενεργός άνθρακας παράγεται από έναν μεγάλο αριθμό οργανογενών υλικών βιολογικής προέλευσης όπως είναι το ξύλο, οι γαιάνθρακες και τα γεωργικά υπολείμματα, με φυσική και χημική ενεργοποίηση της πρώτης ύλης. Η φυσική ενεργοποίηση περιλαμβάνει την εξανθράκωση του ανθρακούχου υλικού που ακολουθείται από ενεργοποίηση του προσροφητικού άνθρακα παρουσία CO_2 ή ατμού. Αντίθετα, η χημική ενεργοποίηση είναι μία μέθοδος ενός βήματος όπου η εξανθράκωση του δείγματος και η ενεργοποίηση γίνονται ταυτόχρονα.

Στη φυσική ενεργοποίηση, είναι απαραίτητη η απομάκρυνση ενός μεγάλου ποσού ανθρακικής μάζας ώστε να επιτευχθεί μία καλά αναπτυγμένη δομή του άνθρακα, ενώ στη χημική ενεργοποίηση οι χημικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται ($ZnCl_2$, KOH) εμποδίζουν το σχηματισμό πίσσας, ενισχύοντας κατά συνέπεια την ανάπτυξη των πόρων του υλικού. Οι θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται στη χημική ενεργοποίηση είναι χαμηλότερες από ότι στη φυσική ενεργοποίηση, και επομένως η ανάπτυξη μιας πορώδους δομής είναι οικονομικότερη στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Η παραγωγή ενεργού άνθρακα από λιγνίτη, που μας ενδιαφέρει άμεσα, συνοψίζεται ως εξής:

Κατά τη χημική ενεργοποίηση, η πρώτη ύλη (λιγνίτης) εμποτίζεται με το μέσο ενεργοποίησης (οξύ ή βάση) σε ατμόσφαιρα αερίου (αζώτου ή αργού). Το εμποτισμένο υλικό θερμαίνεται σε θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ των 400 και των 800 °C, απουσία αέρα και ακολουθεί διαδικασία πυρολυτικής αποσύνθεσης.

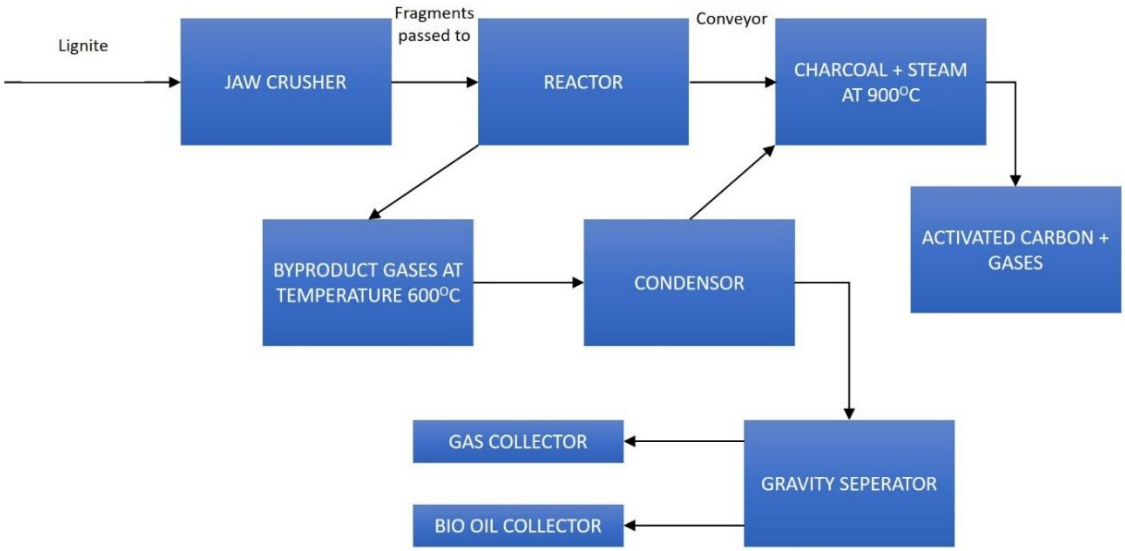
Ο ρόλος του παράγοντα ενεργοποίησης συνίσταται στην οξείδωση του υλικού, η οποία βοηθά στην καύση της δομής του εξανθρακώματος και επομένως στην ανάπτυξη της μικροπορώδους δομής, που είναι και η επιθυμητή. Η θερμοκρασία κατά τη διαδικασία της πυρόλυσης και ο βαθμός εμποτισμού με τον παράγοντα ενεργοποίησης είναι οι δύο κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τις τελικές προσροφητικές ικανότητες του ενεργοποιημένου άνθρακα.

Η βέλτιστη θερμοκρασία της διαδικασίας πρέπει να προσδιοριστεί πειραματικά για να παραχθεί υλικό με τις ιδιότητες που του προσδίδουν αξία χρήσης. Επιπλέον, ο συνολικός όγκος πόρων του προϊόντος αυξάνει με την αύξηση του βαθμού εμποτισμού. Από ένα σημείο και μετά όμως, η αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος εμποτισμού αυξάνει σε τέτοιο βαθμό τη διάμετρο των πόρων, ώστε μειώνεται το μικροπορώδες. Επομένως, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί το βέλτιστο της θερμοκρασίας της πυρόλυσης και του βαθμού εμποτισμού.

Ο ενεργός άνθρακας μπορεί να παραχθεί από οποιοδήποτε ανθρακούχο υλικό, το οποίο με την ενεργοποίηση αποκτά πορώδη δομή και κατά συνέπεια μεγάλη επιφάνεια. Οι πρώτες ύλες όπως το μαλλί, ο λιγνίτης, τα ξύλα, τα κελύφη

καρύδας, τα γεωργικά απόβλητα όπως η βαγάσα, ο φλοιός ρυζιού χρησιμοποιούνται γενικά για την κατασκευή ενεργών ανθράκων. Προτιμώνται οι πρώτες ύλες με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα.

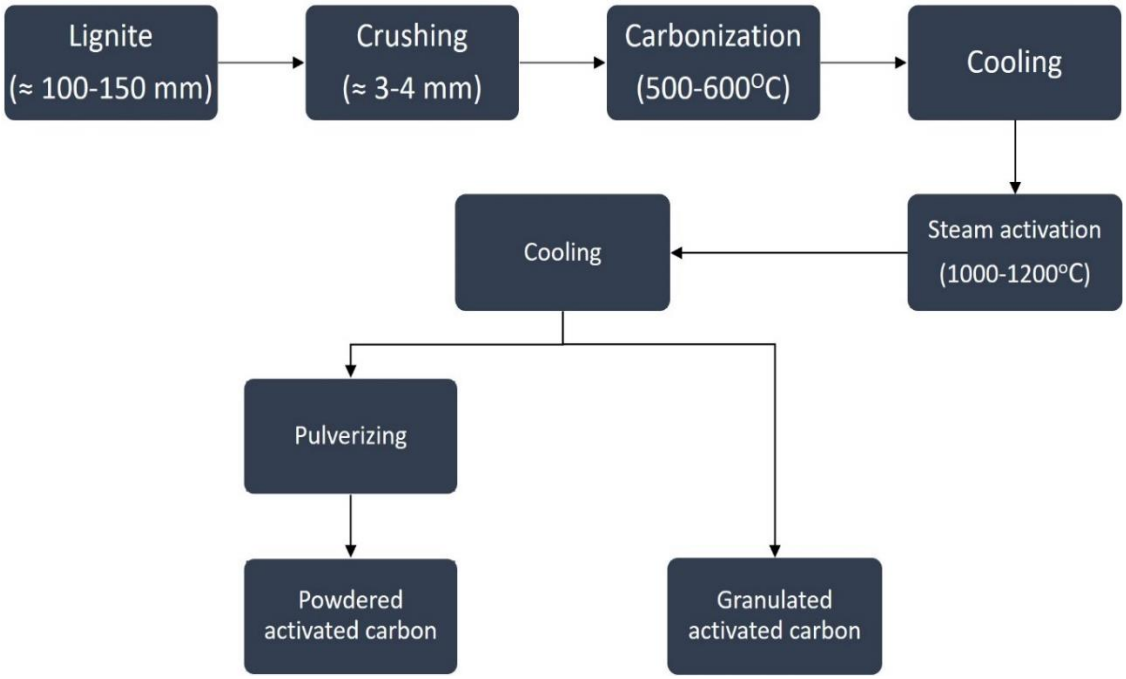
Η διαδικασία βιομηχανικής παραγωγής ενεργού άνθρακα από λιγνίτη περιλαμβάνει τη σειρά διεργασιών που παρουσιάζεται στα Σχήματα 2.4 και 2.5, με μικρές διαφορές μεταξύ τους. Η ενεργοποίηση με ατμό και η χημική ενεργοποίηση είναι οι δύο διαδικασίες που χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή ενεργού άνθρακα. Ωστόσο, οι μονάδες ενεργού άνθρακα με βάση το λιγνίτη προκρίνουν τη διαδικασία ενεργοποίησης με ατμό για την παραγωγή ενεργού άνθρακα καλής ποιότητας (εξαιτίας του ανθρακικού περιεχομένου).



Σχήμα 2.4: *Προτεινόμενη παραγωγική διαδικασία ενεργού άνθρακα από λιγνίτη με παράλληλη λήψη αερίων και υγρών παραπροϊόντων.*

Ο λινγίτης ενεργοποιείται με άμεσο ατμό και τροφοδοτείται με υγρό καύσιμο σε θερμοκρασία από 1000 έως 1200 °C σε ειδικά σχεδιασμένο περιστροφικό κλίβανο σε ελεγχόμενες συνθήκες για λήψη κοκκοποιημένου ενεργού άνθρακα.

Η διαδικασία ενεργοποίησης πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Πρώτον, ο λιγνίτης μετατρέπεται σε ξυλάνθρακα (charcoal) με τη διαδικασία ενανθράκωσης, η οποία συνήθως πραγματοποιείται σε κλιβάνους. Ο άνθρακας ενεργοποιείται με αντίδραση με ατμό σε θερμοκρασία 900 - 1100 °C υπό ελεγχόμενη ατμόσφαιρα σε περιστροφικό κλίβανο. Η αντίδραση μεταξύ ατμού και άνθρακα λαμβάνει χώρα στην εσωτερική επιφάνεια, δημιουργώντας περισσότερες θέσεις για προσρόφηση.



Σχήμα 2.5: *Προτεινόμενη παραγωγική διαδικασία ενεργού άνθρακα, σε μορφή σκόνης και κόκκων, από λιγνίτη.*

Ο παράγοντας θερμοκρασίας στη διαδικασία ενεργοποίησης είναι πολύ σημαντικός. Κάτω από τους 900 °C η αντίδραση γίνεται πολύ αργή και είναι πολύ αντιοικονομική, ενώ πάνω από 1100 °C η αντίδραση εξελίσσεται σε ελεγχόμενη διάχυση και επομένως λαμβάνει χώρα στην εξωτερική επιφάνεια του άνθρακα με αποτέλεσμα την απώλεια άνθρακα.

3. ΑΓΡΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ (ΕΔΑΦΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΛΙΓΝΙΤΗ

3.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, οι καλλιεργητικές σοδειές υποστηρίζονται από την προσθήκη ολοένα και μεγαλύτερων ποσοτήτων ανόργανων λιπασμάτων για τη σταθεροποίηση της παραγωγής σε συγκεκριμένα επίπεδα. Το γεγονός αυτό αυξάνει το κόστος της γεωργικής παραγωγής και τις πιθανότητες περιβαλλοντικών προβλημάτων. Για παράδειγμα, θρεπτικά συστατικά όπως το άζωτο και ο φώσφορος τα οποία δεσμεύονται από τα φυτά με πολύ πιο αργό ρυθμό από αυτόν με τον οποίο προσφέρονται μέσω των ανόργανων λιπασμάτων, συμβάλλουν στη ρύπανση με νιτρικά και φωσφορικά άλατα, των υπόγειων υδροφόρων σε περιοχές έντονης γεωργικής δραστηριότητας.

Το κύριο συστατικό της εδαφικής ύλης είναι τα χουμικά συστατικά που σύμφωνα με τον Waksman είναι ένα σύνθετο μείγμα άμορφων συστατικών, καστανού ως σκούρου χρώματος, που προήλθαν από την αποσύνθεση φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων με τη βοήθεια μικροοργανισμών κάτω από αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες. Μεταβάλλουν τη δομή και την υφή του εδάφους βελτιώνοντας έτσι τον αερισμό και τη συγκράτηση υγρασίας. Αυξάνουν την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους, γεγονός που επηρεάζει την ικανότητα να συγκρατεί και να διαθέτει θρεπτικά συστατικά στα φυτά. Ελαχιστοποιούν την αρνητική επίπτωση ορισμένων τοξικών ιχνοστοιχείων στο έδαφος, αυξάνουν την ικανότητα ουδετεροποίησης του pH του εδάφους και παρέχουν υπόστρωμα για ευεργετικούς μικροοργανισμούς.

Στον Ελλαδικό χώρο, η εντατική καλλιέργεια των εδαφών επί σειρά δεκαετιών, οι παραδοσιακές μέθοδοι ποτίσματος, το θερμό και ξηρό κλίμα και η μεγάλη ηλιοφάνεια έχουν οδηγήσει σε σοβαρές αλλοιώσεις του ιστού και της υφής των εδαφών, σε αποδόμηση της περιεχόμενης οργανικής ύλης και γενικά σε υποβάθμισή τους. Κρίνεται λοιπόν αναγκαία η χρήση εδαφοβελτιωτικών και οργανοχουμικών λιπασμάτων κάτι που εδώ και δεκαετίες εφαρμόζεται σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες με θετικά αποτελέσματα για τις καλλιέργειες.

Στην Ελλάδα παράγονται ετησίως περίπου 1.000.000 τόνοι ανόργανα λιπάσματα, από τα οποία μόλις 40.000 τόνοι εξάγονται. Επιπλέον εισάγονται 800.000 τόνοι. Η παραγωγή εγχώριων οργανικών λιπασμάτων από μικρές βιοτεχνίες με βάση φυτικές και ζωικές πρώτες ύλες δεν ξεπερνά τους 10.000 τόνους. Διαπιστώνεται δηλαδή ότι υπάρχει σημαντικό περιθώριο ανάπτυξης και διάθεσης τέτοιου είδους προϊόντων που θα υποκαταστήσουν ανόργανα λιπάσματα.

3.2 Αγορά και Εξωτερικό Περιβάλλον

Η λειτουργία του κλάδου των εδαφοβελτιωτικών έχει όλα τα χαρακτηριστικά του κλάδου των γεωργικών εφοδίων. Οι πρώτες ύλες εισάγονται από το εξωτερικό και στη συνέχεια επεξεργάζονται και τυποποιούνται από τις εγχώριες παραγωγικές μονάδες ή εισάγεται απευθείας έτοιμο συσκευασμένο τελικό προϊόν. Σύμφωνα με αναλυτική μελέτη (Hellastat, 2009), η εγχώρια αγορά εδαφοβελτιωτικών εμφανίζει τάσεις συγκέντρωσης γύρω από 10 μεγάλες εταιρείες. Η Βιομηχανία Φωσφορικών Εδαφοβελτιωτικών (ΒΦΛ) κατέχει το 50% της εγχώριας αγοράς. Η εταιρεία αυτή διαθέτει τη μοναδική μονάδα της χώρας καθώς οι υπόλοιπες εταιρείες είναι κυρίως εισαγωγικές και βασική τους δραστηριότητα είναι η μίξη (blending) διαφορετικών ουσιών ή η υποσυσκευασία (ενσάκιση) εδαφοβελτιωτικών. Οι πολυεθνικές Combo και Yara καθώς και ολιγάριθμες μεγάλου μεγέθους ελληνικές επιχειρήσεις κατέχουν το 40%. Παρουσία έχουν και αρκετοί μικρότεροι εισαγωγείς και έμποροι, οι οποίοι καταλαμβάνουν το υπόλοιπο 10%.

Η εγχώρια αγορά εδαφοβελτιωτικών έχει αποκτήσει μια κατά βάση εμπορική φυσιογνωμία, με το δίκτυο διανομής να απαρτίζεται από τους εισαγωγείς, οι οποίοι στη συνέχεια διοχετεύουν τα εδαφοβελτιωτικά στους χονδρέμπορους και τους λιανέμπορους. Επίσης, η αγορά εδαφοβελτιωτικών δεν χαρακτηρίζεται από την προϊοντική εξειδίκευση της φυτοπροστασίας. Έτσι, οι περισσότεροι τύποι εδαφοβελτιωτικών που κυκλοφορούν εφαρμόζονται σε όλες τις καλλιέργειες και όχι σε ορισμένες μόνο κατηγορίες. Επιπλέον, οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για τα σύνθετα εδαφοβελτιωτικά είναι έτοιμα προϊόντα, τα οποία μπορούν να πωληθούν αυτούσια.

Οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα της παραγωγής λιπασμάτων έρχονται αντιμέτωπες με ανταγωνιστικό μειονέκτημα σε σύγκριση με τις ευρωπαϊκές επιχειρήσεις, καθώς τα αποθέματα των εγχώριων πρώτων υλών δεν επαρκούν για στηρίξουν την ελληνική παραγωγή. Έτσι, αναγκάζονται να εισάγουν πρώτες ύλες σε υψηλές τιμές, αντιμετωπίζοντας αυξημένο κόστος παραγωγής. Η εγχώρια αγορά χαρακτηρίζεται από διαρκώς μειούμενη ζήτηση, καθώς η αποσύνδεση των επιδοτήσεων από την παραγωγή στα πλαίσια Κοινής Αγροτικής Πολιτικής οδηγεί στο σταδιακό περιορισμό των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Καθοριστικό παράγοντα για την κάμψη της κατανάλωσης αποτέλεσαν και οι σημαντικές ανατιμήσεις κατά το έτος 2008 με αποτέλεσμα αρκετοί παραγωγοί να αναγκαστούν να στραφούν σε οικονομικότερες λύσεις, ή και να μην προβούν σε αγορά λιπασμάτων. Η άνοδος αυτή προήλθε κατά βάση από τις επενδυτικές κινήσεις διεθνών funds. Ωστόσο, μετά την έντονη άνοδο των τιμών το 2008, τους πρώτους μήνες του 2009 παρατηρήθηκε πτωτική τάση, με αποτέλεσμα αρκετές εταιρείες να αναγκαστούν να υποτιμήσουν τα αποθέματά τους (Hellastat, 2009).

Τα πιο πρόσφατα συγκεντρωτικά στοιχεία αφορούν το 2014, τα οποία δείχνουν ότι οι εισαγωγές λιπασμάτων-εδαφοβελτιωτικών στην Ελλάδα έφτασαν στο 98% των αναγκών της, οι εισαγωγές φυτοπροστατευτικών προϊόντων στο 94%, οι

εισαγωγές πολλαπλασιαστικού υλικού στο 35% και ζωοτροφών στο 24%. Αυτό προκύπτει από τα στοιχεία που συγκέντρωσε και επεξεργάστηκε η ΠΑΣΕΓΕΣ σχετικά με έρευνα για την αυτάρκεια της ελληνικής γεωργίας σε εφόδια την τριετία 2012-2014.

Οι εισαγωγές λιπασμάτων κατά το 2014 ανήλθαν στα 259 εκατ. ευρώ περίπου (αύξηση +27% σε σύγκριση με το 2012) και αντιστοιχούν στο 98% της συνολικής ενδιάμεσης ανάλωσης λιπασμάτων – εδαφοβελτιωτικών του ιδίου έτους.

Λιπάσματα - Εδαφοβελτιωτικά			
Έτος	**2012**	**2013**	**2014**
Αξίες εισαγωγών λιπασμάτων, εκ. €	203,34	248,51	258,51
Ποσότητες εισαγωγών λιπασμάτων, χιλ. τόνοι	562,90	736,70	795,84
Συνολική ενδιάμεση ανάλωση - εδαφοβελτιωτικών (εκ. €)	274,30	276,30	263,90
Εξάρτηση από εισαγωγές σε αξίες (%)	74%	90%	98%

Ενδεικτικά, ιδιαιτέρως γνωστά εδαφοβελτιωτικά με βάση το λιγνίτη στην Ελλάδα είναι τα:

- **Το Leoplus** (εισάγονταν από την εταιρία Agritech, με χώρα παραγωγής του την Ιταλία) είναι οργανική ύλη/βάση λιπάσματος, σε κοκκώδη σύνθεση. Το προϊόν είναι φτιαγμένο από ανθρακούχο λιγνίτη (παρόμοιο με το Leonardite), ένα υλικό υψηλής ποιότητας, το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό υδατοδιαλυτών ουσιών στα φυτά. Το Leoplus είναι κατάλληλο για χρήση πριν από τη σπορά ή πριν από τη μεταφύτευση, αναμειγμένο με το έδαφος. Το Leoplus περιέχει επίσης μια μικρή ποσότητα πρόσθετων θρεπτικών ουσιών πρωταρχικής σημασίας (N, P, K, Mg, S, Fe). το συνολικό περιεχόμενο (εκφραζόμενο ως ποσοστό) είναι 2-0,7-1,7 + 1,2Mg + 3,2S + 2Fe.
- **Το KRIANI** (παράγεται από την εταιρία ΚΑΡΑΠΑΤΗ Μ.Ι.Κ.Ε.) είναι ένα φυσικό ορυκτό υλικό. Συγκεκριμένα πρόκειται για λεοναρδίτης, ένα από τους τύπους λιγνίτη. Είναι οργανικής προελεύσεως πέτρωμα, το οποίο περιέχει, υδρογόνο, οξυγόνο και άζωτο. Θεωρείται ότι συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό καθαρής οργανικής ουσίας από κάθε άλλη φυσική πηγή οργανικής ύλης. Το χρώμα του είναι καφέ-μαύρο. Προέρχεται από την εξανθράκωση κυρίως φυτικών οργανισμών. Εξορύσσεται στην Ελλάδα από το λιγνιτωρυχείο της εταιρείας στο Ζέλι του Νομού Φθιώτιδας. Το συγκεκριμένο προϊόν μπορεί να κυκλοφορήσει στην Ελληνική αγορά για χρήση στη γεωργία ως εδαφοβελτιωτικό σύμφωνα με την Υ.Α. 217217/08-01-2004 (ΦΕΚ 35/16-01-2004). Βοηθάει το έδαφος να επανακτήσει τη βιολογική του ισορροπία, συγκρατεί και δραστηριοποιεί τα θρεπτικά στοιχεία του, καθώς και αυτά που

προσφέρονται από τα ανόργανα λιπάσματα. Επιπλέον, συμβάλλει στον καλύτερο αερισμό του εδάφους και στη συγκράτηση της υγρασίας.

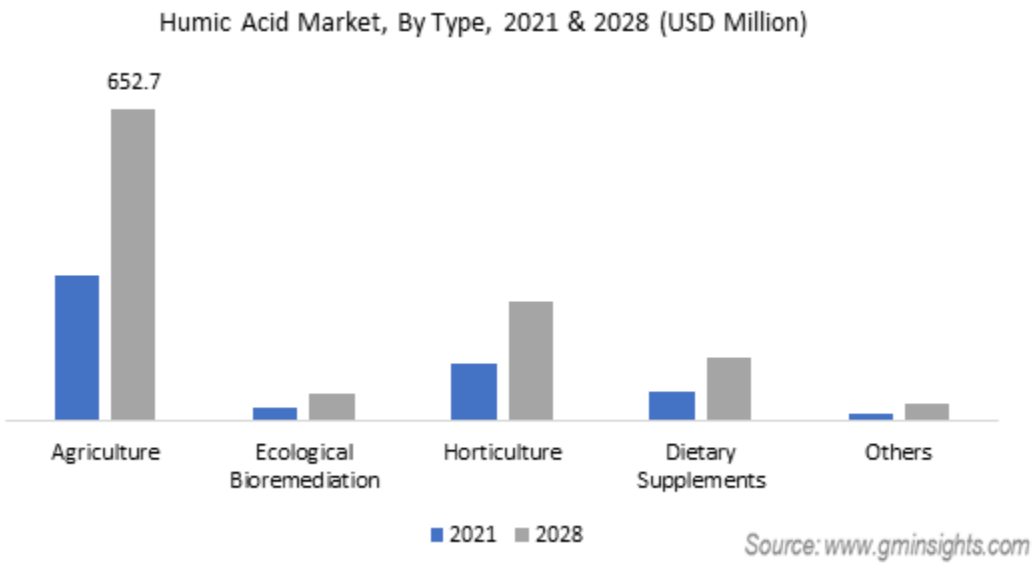
- **Το Agrohumic** (παράγεται από την εταιρία Agrofarm στα Οινόφυτα Βοιωτίας) αποτελεί ένα φυσικό οργανικό εδαφοβελτιωτικό προϊόν που παράγεται επίσης από Χουμοποιημένο Λεοναρδίτη και είναι πλούσιο σε χουμικά οξέα.

Το χουμικό οξύ που είναι ο βασικότερος παράγοντας/συστατικό των εδαφοβελτιωτικών, είναι ένα από τα κύρια συστατικά των χουμικών ουσιών, κυρίως σύνθετων από άνθρακα, τύρφη και έδαφος. Τα σώματα και τα φυτά των ζώων αποσυντίθενται στο τελικό προϊόν διάσπασης, το οποίο βρίσκεται κυρίως στα στρώματα της καθίζησης του λεοναρδίτη. Χρησιμοποιείται σε οικολογικές βιοθεραπείες, στη γεωργία, στην κηπουρική και σε χρήσεις συμπληρωμάτων διατροφής. Το χουμικό οξύ είναι πολύ ωφέλιμο για τη γονιμότητα του εδάφους για τη βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών χάρη στις φυσικές του ιδιότητες ρύθμισης του εδάφους.

Το μέγεθος της αγοράς χουμικού οξέος ξεπέρασε τα 532,7 εκατομμύρια USD το 2021 και αναμένεται να αυξηθεί με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) 11,8% από το 2022 έως το 2028.

Εικόνα 3.1: *Η παγκόσμια αγορά χουμικών (βασικό χαρακτριστικό των εδαφοβελτιωτικών).*

Οι κυβερνητικές πρωτοβουλίες ενισχύουν τις μεθόδους βιολογικής γεωργίας για την επίτευξη περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, ιδιαίτερα σε χώρες όπως οι ΗΠΑ και η Κίνα, οι οποίες έχουν σημαντικά προώθηση τη ζήτηση χουμικού οξέος.



Εικόνα 3.2: *Η παγκόσμια αγορά χουμικών με βάση τον τύπο με πρόβλεψη 6ετίας (2028).*

Οι ισχυροί «παίκτες» στην βιομηχανία των εδαφοβελτιωτικών/χουμικών αφορούν βιομηχανίες κολοσσούς κυρίως από την Ασία (Κίνα και Ινδία), αλλά και την Αμερική (ΗΠΑ) και την Ευρώπη (Γερμανία).

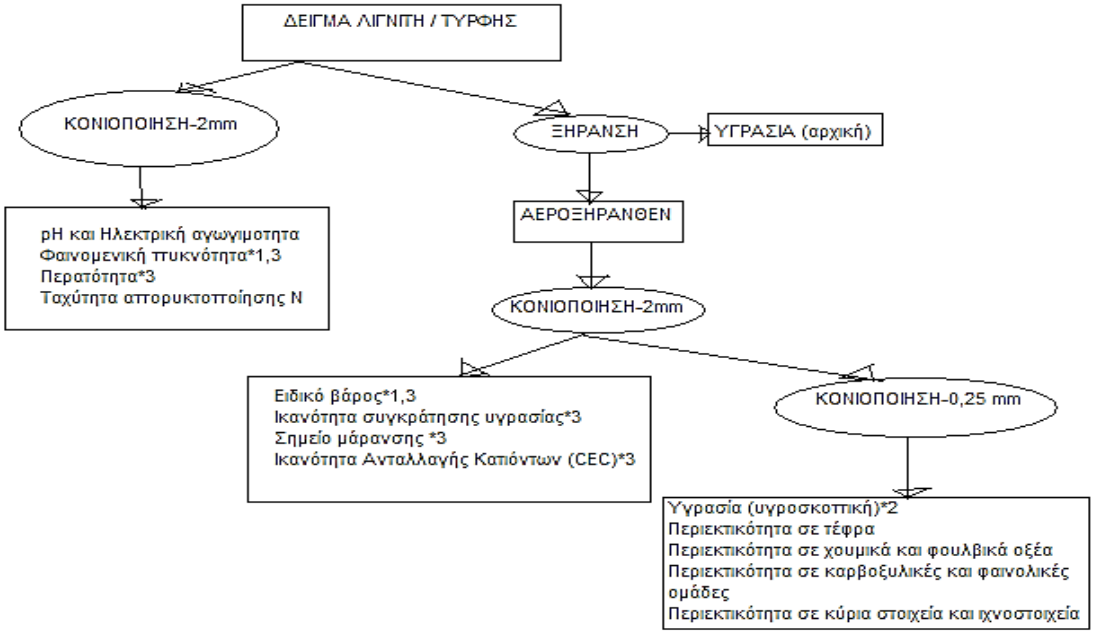
3.3 Διαθέσιμες και Προτεινόμενες Τεχνολογίες

Πριν την χρησιμοποίηση των λιγνιτών και τυρφών ως εδαφοβελτιωτικό και οργανοχουμικό λίπασμα απαιτείται, τόσο για τον έλεγχο της καταλληλόλητάς τους, όσο και για την επιλογή του βέλτιστου τύπου λιγνίτη ή τύρφης, μια διαδικασία χαρακτηρισμού, η οποία περιλαμβάνει τις μεθοδολογίες εκείνες για την εκτίμηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των συγκεκριμένων πρώτων υλών που δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Περιεκτικότητα σε υγρασία	περιεκτικότητα σε τέφρα
pH	Περιεκτικότητα σε C,H,N,S,O
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	Ικανότητα συγκράτησης υγρασίας
Πορώδες	Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων
Περατότητα	Περιεκτικότητα σε χουμικά και φουλβικά
	Περιεκτικότητα σε καρβοξυλικές ομάδες (-COOH) και φαινολικές (-OH) ομάδες
ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Ταχύτητα ορυκτοποίησης αζώτου
Σημείο μάρανσης	Περιεκτικότητα σε κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία

Μετά την συλλογή του λιγνίτη, ακολουθεί εργαστηριακός προσδιορισμός και πολλές φορές σε διπλά δείγματα (ομογενοποιημένα) ώστε να τεκμηριώνονται με σαφήνεια τα αποτελέσματα και συμπεράσματα. Τα εδάφη κατατάσσονται σε κλάσεις μηχανικής σύστασης ανάλογα με τα ποσοστά των μηχανικών κλασμάτων (άμμου-ιλύος-αργίλου) που συμμετέχουν στη σύνθεσή τους. Κάθε κλάση περιλαμβάνει ποσοτικούς συνδυασμούς άμμου, ιλύος και αργίλου οι οποίοι προσδίδουν στο έδαφος χαρακτηριστικές ιδιότητες διαφορετικές σε κάθε κλάση.

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο εκχύλισης, αναλογία στερεού προς υγρό 1:10 w/v (600 g κονιοποιημένου λιγνίτη + 6 L διαλύματος NaOH 0,5 M) χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή χουμικών (HA) από λιγνίτη. Η παρασκευή πραγματοποιείται σε ταχύτητα ανάδευσης 850 rpm, θερμοκρασία αντίδρασης 90○C και χρόνο αντίδρασης 4 ώρες.



Εικόνα 3.3: *Χαρακτηρισμός λιγνίτη προς παραγωγή χουμικού οξέος.*

Στη συνέχεια, οι αδιάλυτες στερεές ενώσεις, γνωστές ως χουμίνη, διαχωρίζονται από το διάλυμα που περιείχε χουμικό και φουλβικό, τις μορφές διαλυτού άλατος HA και φουλβικού οξέος, αντίστοιχα, με φυγοκέντρηση στις 3500 rpm για 15 λεπτά. Τα HA στη συνέχεια εκχυλίζονται χρησιμοποιώντας τη διαδικασία οξίνισης με 6 M HCL σε pH = 1 μετά τη φυγοκέντρηση. Η διαδικασία καθαρισμού για την απομάκρυνση ακαθαρσιών, όπως τα Cl^- από τα HA, πραγματοποιούνται με έκπλυση HA σε οξινισμένο απεσταγμένο νερό. Τελικά, μετά από στάδια φυγοκέντρησης και διαχωρισμού, τα κατακρημνισμένα HA ξηραίνονται σε φούρνο στους 50 °C.

4. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ

4.1 Εισαγωγή

4.1.1 Στοιχεία του υπό μελέτη επενδυτικού σχεδίου

Η παρούσα μελέτη αποτελεί τεχνοοικονομική προσέγγιση σχετικά με τον σχεδιασμό και την κατασκευή μονάδας επεξεργασίας ιπτάμενης τέφρας (ΙΤ) που έχει παραχθεί από τους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς της ΔΕΗ Α.Ε. στην Δυτική Μακεδονία.

Ως εκμεταλλεύσιμες ποσότητες τέφρας, υπό προϋποθέσεις, μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι οι εξής:

- Οι ποσότητες ΙΤ που έχουν παραχθεί από τον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και έχουν αποτεθεί στις αποθέσεις που βρίσκονται στο Ορυχείο Νοτίου Πεδίου, κοντά στον οικισμό της Ακρινής. Οι αποθέσεις αυτές έχουν πρόσφατα ογκομετρηθεί 19 εκατ. κυβικά μέτρα, μαζί με το κάλυμμα φυτικής γης. (ΔΕΗ Α.Ε Διεύθυνση Εκμετάλλευσης ΘΗΣ, 2018)
- Οι ποσότητες ΙΤ που έχουν αποτεθεί στην απόθεση του ΑΗΣ Μελίτης, οι οποίες, με βάση τα στοιχεία παρακολούθησης των εργολαβιών μεταφοράς και απόθεσης των στερεών παραπροϊόντων, έχουν δεχτεί μέχρι σήμερα περίπου 15 εκατ. τόνους τέφρας και γύψου. (Σαχανίδης Χ., Παυλουδάκης Φ., 2015)

Αξίζει να σημειωθεί ότι, κατά το διάστημα που παραμένουν σε λειτουργία ατμοηλεκτρικές μονάδες της ΔΕΗ, υπάρχει η δυνατότητα απευθείας προμήθειας τέφρας από αυτές, γεγονός που μειώνει τις δαπάνες εκσκαφής, φόρτωσης και μεταφοράς της τέφρας από τις αποθέσεις των ορυχείων προς την μονάδα επεξεργασίας της.

Επομένως, για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης θα θεωρηθούν τα ακόλουθα:

- Ως πρώτη ύλη θα χρησιμοποιηθεί η ακατέργαστη ιπτάμενη τέφρα (ΑΙΤ) που βρίσκετε στις αποθέσεις που έχουν δεχτεί αποκλειστικά στερεά παραπροϊόντα των ΑΗΣ της περιοχής (όχι αποθέσεις που περιέχουν άγονα υλικά και τέφρα σε ανάμειξη). Τα συγκεκριμένα στερεά παραπροϊόντα δεν χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων.
- Η μονάδα επεξεργασίας της ΑΙΤ θα χωροθετηθεί σε οικόπεδο που θα βρίσκεται εντός των ορυχείων ή των ΑΗΣ της περιοχής. Η απόσταση από το χώρο απόληψης της πρώτης ύλης εκτιμάται ότι θα είναι 6 χιλιόμετρα.
- Τα προϊόντα της μονάδας επεξεργασίας ΑΙΤ θα είναι: επεξεργασμένη ΙΤ σε μεγάσακους, επεξεργασμένη ΙΤ σε σάκους 25-50 κιλών και επεξεργασμένη ΙΤ σε χύδην μορφή που θα φορτώνεται απευθείας σε φορτηγά.

Η προτεινόμενη δυναμικότητα της μονάδας παραγωγής ΙΤ είναι της τάξης των 200,000 τόνων ανά έτος (t/y), δηλαδή μέση δυναμικότητα 700 τόνων ανά ημέρα (t/d) ή 44 τόνων ανά ώρα (t/h), με 16ωρη λειτουργία σε δύο βάρδιες.

Η διάθεση του προϊόντος θα είναι αφενός εγχώρια, κυρίως στην Βόρεια και κεντρική Ελλάδα και αφετέρου στις όμορες Βαλκανικές χώρες. Επιπρόσθετα, προκειμένου να αυξηθεί η προστιθέμενη αξία των τελικών προϊόντων και να διευρυνθούν τα γεωγραφικά όρια της αγοράς – στόχου, η προτεινόμενη μονάδα μπορεί να επεκταθεί γραμμικά με την προσθήκη συγκροτημάτων για την παραγωγή τσιμεντοπροϊόντων (π.χ. πλάκες πεζοδρομίων, κυβόλιθοι) ή πέλετς για αγροτικές εφαρμογές.

Η δυναμικότητα και η παραγωγική διαδικασία, της υπό μελέτη μονάδας είναι δυνατό να τροποποιηθούν ανάλογα με τις εξελίξεις που λαμβάνουν χώρα στις αγορές και στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας στο πλαίσιο της μετά λιγνίτη εποχής.

4.2 Εμπορική ανάλυση (Μελέτη εμπορίας - Έρευνα αγοράς)

Η Ιπτάμενη Τέφρα αποτελεί πρώτη ύλη που μπορεί να έχει πολλές εφαρμογές στα ορυχεία και στην Ελληνική Τσιμεντοβιομηχανία ως ασθενές ποζολανικό υλικό. Επιπλέον, μπορεί να υποκαταστήσει το τσιμέντο Portland σε άοπλα σκυροδέματα, στην κατασκευή τσιμεντοπροϊόντων (κυβόλιθοι, πλάκες πεζοδρομίων, κράσπεδα, τσιμεντοσωλήνες, πάσσαλοι, αποστάτες οπλισμού κλπ), στην κατασκευή στοιχείων από άοπλο ή ελαφρά οπλισμένο σκυρόδεμα (στηθαία ασφαλείας New Jersey, τριγωνικές τάφροι, δομικά τυποποιημένα στοιχεία κλπ), στην κατασκευή φραγμάτων από σκυρόδεμα με την τεχνολογία RCC (κυλινδρούμενο σκυρόδεμα), στην κατασκευή άκαμπτων οδοστρωμάτων, αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων, σε επενδύσεις σηράγγων, σε τσιμεντενέσεις, σε παραγωγή έτοιμων κονιαμάτων και κατασκευή χρηστικών αντικειμένων (γλάστρες, ζαρντινιέρες κλπ). Επίσης, μπορεί να έχει εφαρμογή στην κατεργασία και σταθεροποίηση εδαφών, στην παραγωγή συνθετικών ζεόλιθων, στην οδοποιία (για την κατασκευή επιχωμάτων, για την κατασκευή υπόβασης ή και βάσης υποστρώματος, σαν συστατικό του ασφαλτοσκυροδέματος) και σε εγκαταστάσεις διαχείρισης αποβλήτων για την απορρόφηση των τοξικών στοιχείων.

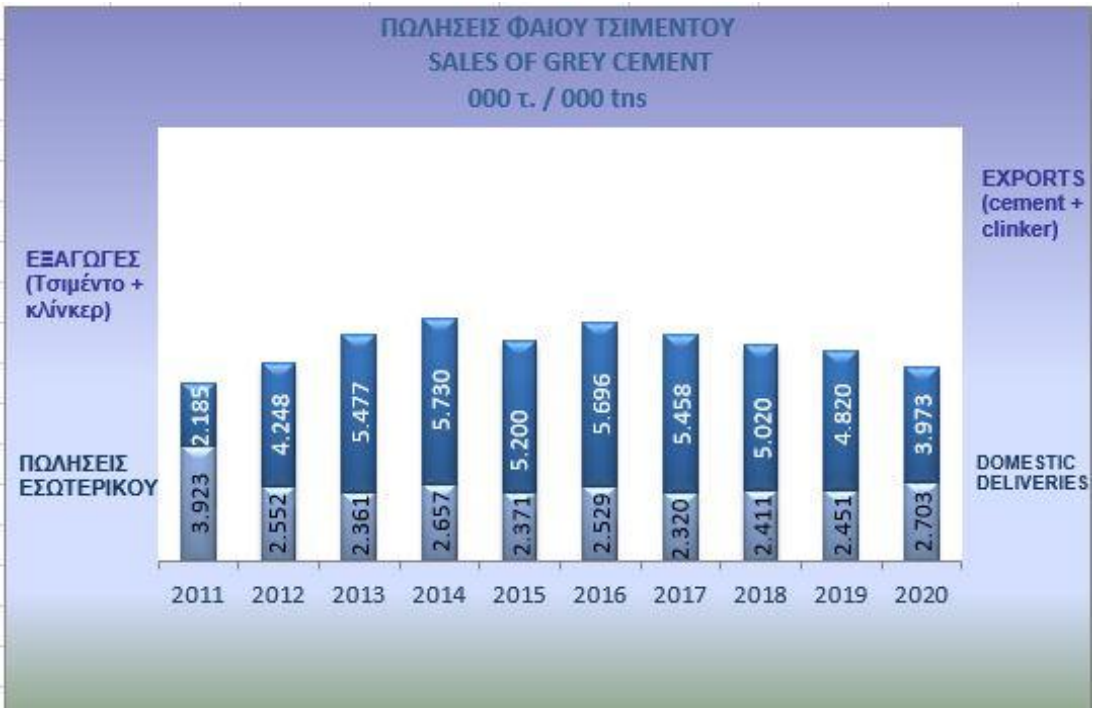
Η ΔΕΗ Α.Ε. έχει προχωρήσει στην καταχώρηση της τέφρας την οποία εκμεταλλεύεται και εμπορικά, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό κανονισμό REACH, αδειοδότησης χημικών προϊόντων (αριθμός καταχώρησης: 01-2119491179-27-0086). (ΔΕΗ Α.Ε., 2019)

Η εταιρία TITAN μείωσε την συμμετοχή κλίνκερ στη διαδικασία παραγωγής του τσιμέντου, με την προσθήκη ιπτάμενης τέφρας από τη ΔΕΗ, ποζολάνη, ασβεστόλιθο κ.λπ. Το τσιμέντο TITAN CEM II 32,5 N είναι ένα σύνθετο τσιμέντο τύπου Portland. Περιέχει ιπτάμενη τέφρα, η οποία συνδυασμένη με ποζολάνη και αλεσμένο ασβεστόλιθο, δημιουργεί ένα πιο βιώσιμο τσιμέντο και ενισχύει, παράλληλα, τα χαρακτηριστικά των επιδόσεών του (TITAN GREECE, 2021).

Ο όμιλος Ηρακλής παράγει το τσιμέντο HERACLES ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ CEM II/B-M (P-W-L) 32,5N (χύδην) που περιλαμβάνει κλίνκερ τύπου Portland, ασβεστούχα ιπτάμενη τέφρα, ασβεστόλιθο και γύψο. Συνιστάται για χρήση ως αντλήσιμο σκυρόδεμα, σε σκυροδετήσεις σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, σε συμπαγείς και ογκώδεις κατασκευές, καθώς και σε κατασκευές σε διαβρωτικό περιβάλλον (Όμιλος Ηρακλής, 2021).

Οι ποσότητες τσιμέντου που παράγονται από τις τσιμεντοβιομηχανίες στην Ελλάδα είναι σημαντικές. Σε περίπτωση που τεθεί ζήτημα υποκατάστασης μέρους του τσιμέντου με επεξεργασμένη ιπτάμενη τέφρα [σύμφωνα με τις μέχρι τώρα δοκιμές δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση των ιδιοτήτων (Ε. Τσικαρδάνη, 2005)] το σύνολο της διαθέσιμης ποσότητας τέφρας θα απορροφηθεί μέσα σε λίγα χρόνια (Διάγραμμα 1).

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (Πίνακας 1), το 2019 η συνολική παραγωγή προϊόντων τσιμέντου και σκυροδέματος που μπορούν να περιέχουν ιπτάμενη τέφρα ξεπέρασε τους 23 εκατ. τόνους. Οι μεγαλύτερες ποσότητες αφορούσαν την παραγωγή κλίνκερ (6,4 εκατ. τόνοι), τσιμέντου τύπου Portland (5,7 εκατ. τόνοι), ετοίμου σκυροδέματος (9,5 εκατ. τόνοι) και είδη για μη κατασκευαστικούς σκοπούς (1 εκατ. τόνοι). Με εξαίρεση τα έτοιμα κονιάματα, για όλα τα άλλα προϊόντα οι μέσες τιμές της ελληνικής αγοράς ήταν χαμηλότερες από τις αντίστοιχες μέσες τιμές των 28 κρατών της Ε.Ε. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η μέση τιμή ανά τόνο για το κλίνκερ ανήλθε στα 27,5 ευρώ, για το τσιμέντου τύπου Portland στα 64,3 ευρώ, για το σκυρόδεμα στα 27,4 ευρώ ενώ για τα διάφορα προϊόντα τσιμέντου κυμάνθηκε από 52,8 έως 102,0 ευρώ.



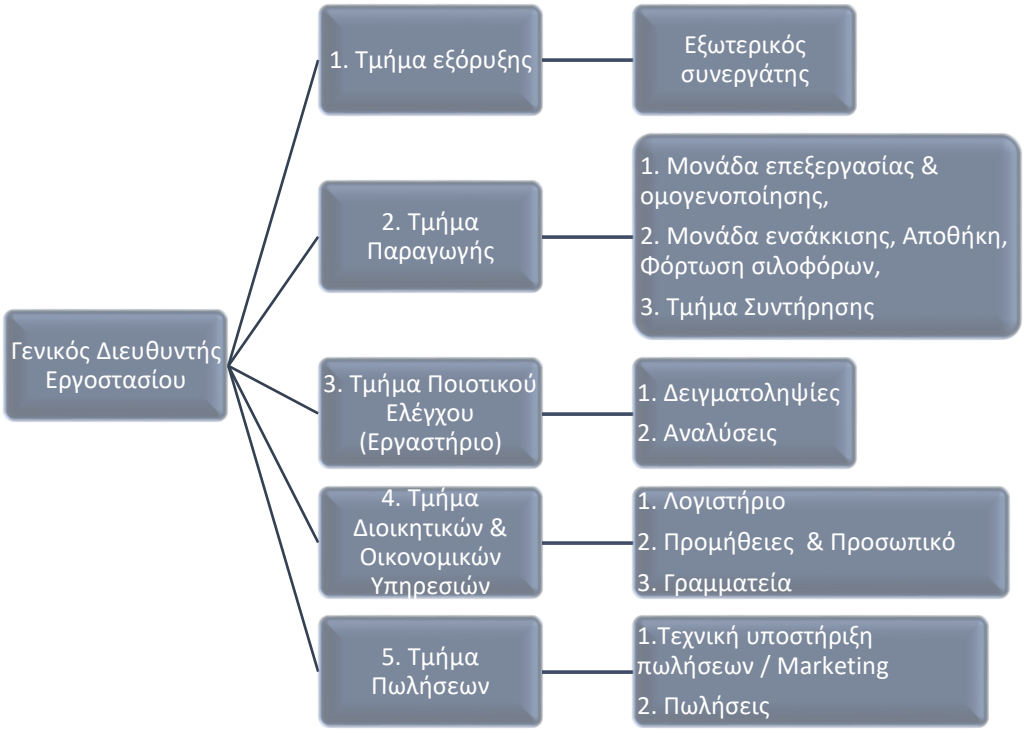
Εικόνα 4.1: *Παραγωγή τσιμέντου ανά έτος για την περίοδο 2011-2020* (Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, 2019).

Πίνακας 4.1: *Ποσότητες προϊόντων (σε κιλά) από τσιμέντο, σκυρόδεμα ή τεχνητή πέτρα που παράχθηκαν και πωλήθηκαν στην Ελλάδα το έτος 2019* (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2019)

Περιγραφή Προϊόντος	Πλήθος Επιχειρήσεων	Ποσότητα Παραγωγής (Kgr)	Ποσότητα Πώλησης (Kgr)	Αξία Πωληθέντων (€)	Μέση Τιμή (€/Kgr)	Μέση Τιμή EU 28 (€/Kgr) (4.8.2020)
Κλίνκερ για τσιμέντο	3	6.429.107.165	1.658.134.120	45.571.335	0,0275	0,042
Τσιμέντο Portland	4	5.755.532.239	5.539.521.178	356.120.042	0,0643	0,075
Όγκοι και τούβλα για την οικοδομική	11	87.213.722	86.507.309	4.775.222	0,0552	0,072
Πλακάκια, πλακόλιθοι και παρόμοια είδη	11	53.582.392	48.482.867	2.868.240	0,0592	0,081
Προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία για έργα πολιτικών μηχανικών	10	97.603.337	105.509.924	10.757.288	0,1020	0,180
Προκατασκευασμένα κτίρια από σκυρόδεμα	5			6.366.999		
Έτοιμο σκυρόδεμα	125	9.464.767.753	9.473.943.342	259.436.461	0,0274	0,041
Έτοιμα κονιάματα	16	358.950.756	313.300.164	62.734.185	0,2002	0,117
Τσιμεντοσωλήνες, σωλήνες	14	33.089.590	32.823.586	1.731.898	0,0528	0,118
Είδη για μη κατασκευαστικούς σκοπούς (βάζα, ανθοδοχεία, αρχιτεκτονικά στοιχεία, κ.α.)	7	1.019.330.086	1.080.673.777	24.458.549	0,0226	0,227

4.3 Νομική μορφή, έδρα, διάρκεια και διοίκηση-στελέχωση της εταιρείας

Ως επιχειρηματικό σχήμα προτείνεται η δημιουργία μίας νέας εταιρείας με την νομική μορφή Ανωνύμου Εταιρείας, η οποία θα είναι ο ιδιοκτήτης της μονάδας και ο διαχειριστής των παραγόμενων προϊόντων. Προτείνεται η έδρα τα να είναι εντός της περιοχής των ορυχείων ή των ΑΗΣ της περιοχής, προκειμένου να επωφεληθεί από τις ευεργετικές διατάξεις που θα ισχύσουν για την ανάπτυξη νέων χρήσεων γης, στο πλαίσιο εφαρμογής του Σχεδίου Δίκαιης Αναπτυξιακής Μετάβασης. Η διάρκεια της επιχείρησης ορίζεται σε 20 χρόνια. Την Διοίκηση της επιχείρησης ασκεί το Διοικητικό συμβούλιο (Δ.Σ.) σε συνεργασία με τον Γενικό Διευθυντή. Λαμβάνοντας υπόψη τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και τις ανάγκες της εταιρίας, η οργανωτική της διάρθρωση περιλαμβάνει πέντε τμήματα (Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2: *Οργανωτική δομή της προτεινόμενης εταιρείας.*

4.4 Τεχνική Μελέτη

4.4.1 Επιλογή τόπου εγκατάστασης

Η επιλογή του τόπου εγκατάστασης εντός του χώρου των ορυχείων ή των ΑΗΣ της περιοχής και σε μικρή απόσταση από το χώρο απόληψης των πρώτων υλών πληροί όλες τις προϋποθέσεις σε σχέση με την ελαχιστοποίηση του κόστους εγκατάστασης, παραγωγής, μεταφοράς και αποθήκευσης.

Η γειτνίαση της μονάδας κοντά στην πηγή των πρώτων υλών παρέχει τη δυνατότητα απευθείας τροφοδοσίας με ακατέργαστη τέφρα, με σχετικά χαμηλό κόστος και ελάχιστο εξοπλισμό για την απόληψη, φόρτωση και μεταφορά της προς την μονάδα επεξεργασίας. Επιπρόσθετα, στην περιοχή υπάρχει διαθέσιμο

τοπικό ανθρώπινο δυναμικό με δεξιότητες συμβατές με την απαιτούμενη τεχνολογία της εν λόγω επένδυσης.
Εξίσου σημαντική παράμετρος για την χωροθέτηση της μονάδας είναι η γειτνίαση της με την Εγνατία οδό και τους κάθετους άξονες της, που συμβάλουν στην άμεση σύνδεση αφενός με τις αγορές - βιομηχανίες των μεγάλων αστικών κέντρων της δυτικής (Ιωάννινα), βόρειας (Θεσσαλονίκη) και κεντρικής Ελλάδας (Λάρισα, Βόλος) και αφετέρου με τα Βαλκάνια. Επιπλέον, η περιοχή συγκεντρώνει τα απαραίτητα στοιχεία υποδοχής μιας τέτοιας μονάδας, όπως παροχές ενέργειας και νερού, εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων, παροχές υπηρεσιών και κατάλληλους υπεργολάβους - προμηθευτές αναγκαίων υλικών και υπηρεσιών.
Τέλος, στο πλαίσιο της απολιγνιτοποιησης, όπου προβλέπεται η απόσυρση όλων των λιγνιτικών μονάδων έως το έτος 2028 στην Δυτική Μακεδονία, δίνεται η δυνατότητα να αξιοποιηθεί το σύνολο των διαθέσιμων χρηματοδοτικών μέσων (Εθνικοί και Ευρωπαϊκοί πόροι), ενώ επιπλέον μπορούν να διερευνηθούν οι πιθανότητες άντλησης κεφαλαίων από τους υπόλοιπους πυλώνες που συνθέτουν τον Μηχανισμό Δίκαιης Μετάβασης (InvestEU, Δανειακή Διευκόλυνση Δημοσίου Τομέα, Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων) (ΣΔΑΜ, 2019). Όλα τα παραπάνω θέτουν την περιοχή αυτομάτως στο κέντρο του επενδυτικού ενδιαφέροντος.

4.4.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης

Οι Ελληνικές ιπτάμενες τέφρες ανήκουν στην κατηγορία των ασβεστοπυριτικών και πλουσίων σε ασβέστιο τεφρών, συγκεκριμένα οι Ι.Τ. της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου ανήκουν στην κατηγορία των ασβεστούχων τεφρών (τύπου W) σύμφωνα με το EN197-1 και στην κατηγορία C σύμφωνα με το ASTM C618, λόγω των υψηλών ποσοστών CaO που περιέχουν. Επιπλέον, η ΙΤ του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου έχει αυξημένη περιεκτικότητα θειϊκών, που ενισχύει την πιθανότητα ύστερης διόγκωσης του τελικού προϊόντος που θα την ενσωματώσει (ΔΕΗ Α.Ε Διεύθυνση Εκμετάλλευσης ΘΗΣ, 2018).

Όσον αφορά την κατανομή κόκκων των ελληνικών Ι.Τ. κυμαίνεται συνήθως ανάμεσα στην περιοχή 0,2 έως 200 μm. Η κοκκομετρική κατανομή της ΙΤ του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου είναι μέχρι και 100μm, ενώ η μέση τιμή βρίσκεται κοντά στα 30μm.

Η δυνατότητα χρησιμοποίησης της Ι.Τ. διασφαλίζεται με Εθνική Τεχνική Προδιαγραφή «Ελληνικές Ιπτάμενες Τέφρες» υπ' αριθμ. ΔΙΠΑΔ/οικ.281/Φ200 ΦΕΚ Β551/18-04-2007, (Έγκριση Εθνικής Τεχνικής Προδιαγραφής «ΕΛΛΗΝΙΚΕΣΙΠΤΑΜΕΝΕΣ ΤΕΦΡΕΣ») η οποία προσαρμόζεται στο ΕΛΟΤ ΕΝ 206−1. Οι ιπτάμενες τέφρες που προδιαγράφονται μπορεί να έχουν υποστεί κατεργασία, όπως επιλεκτική συλλογή, ομογενοποίηση, άλεση, μείωση του ποσοστού ελευθέρας άσβεστου ή άλλη κατεργασία προς βελτίωση των ιδιοτήτων και της αποτελεσματικότητας των υλικών.

4.4.3 Επιλογή βέλτιστης δυναμικότητας παραγωγής

Λαμβάνοντας υπόψη:

- τα στοιχεία του Πίνακα 4.1 σχετικά με την ετήσια παραγωγή κλίνκερ, τσιμέντου, σκυροδέματος και τσιμεντοπροϊόντων στην Ελλάδα,
- τους περιορισμούς που υπάρχουν σε σχέση με το κόστος οδικής μεταφοράς των προϊόντων της υπό μελέτη μονάδας σε μεγάλες αποστάσεις,
- τις διαθέσιμες ποσότητες της πρώτης ύλης,

η δυναμικότητα παραγωγής της μονάδας καθορίστηκε στους **200.000 τόνους ανά έτος** (t/y). Η δυναμικότητα αυτή αντιστοιχεί στο 1,64% της παραγωγής τσιμέντου και κλίνκερ από τις εγχώριες βιομηχανίες ή στο 2,1% της παραγωγής ετοίμου σκυροδέματος. Για το λόγο αυτό, η επιλογή της συγκεκριμένης δυναμικότητας παραγωγής για την προτεινόμενη μονάδα θεωρείται χαμηλού ρίσκου ενώ το ενδεχόμενο αύξησης της δυναμικότητάς της θεωρείται πολύ πιθανό.

Αν υποθέσουμε λειτουργία 300 ημερών ανά ημερολογιακό έτος, η μέση δυναμικότητα παραγωγής είναι 667 τόνοι ανά ημέρα (t/d) και θεωρώντας λειτουργία σε δύο 8ωρες βάρδιες η μέση απαιτούμενη ωριαία δυναμικότητα διαμορφώνεται σε 42t/h.

Επιπρόσθετα, για τις ανάγκες περαιτέρω ανάλυσης των τεχνικοοικονομικών δεδομένων της εξεταζόμενης επένδυσης, θεωρήθηκε ότι **το 50% της ετήσιας παραγωγής θα διατίθεται σε χύδην μορφή με τιμή μονάδας 17 ευρώ ανά τόνο, το 25% θα διατίθεται σε μεγάσακους του ενός τόνου με τιμή μονάδας 24 ευρώ ανά τόνο και το 25% σε σάκους των 25-50 κιλών με τιμή μονάδας 30 ευρώ ανά τόνο**. Με βάση τις παραπάνω ποσότητες πωλήσεων και τιμές μονάδας, η μέση τιμή διάθεσης των προϊόντων της προτεινόμενης μονάδας διαμορφώνεται σε 22 ευρώ ανά τόνο.

4.4.4 Μέθοδος Παραγωγής – Επιλογή μηχανολογικού εξοπλισμού

Η παραγωγική διαδικασία χωρίζεται σε έξι στάδια με την προοπτική μελλοντικής επέκτασης με την προσθήκη δυο μονάδων παραγωγής, μιας μονάδας τσιμεντοπροϊόντων και μιας μονάδας pellets IT για αγροτικές εφαρμογές (Διάγραμμα 4.3) (Κυριαζής Κ., Παπαδάκης Ε., 2009).

1. Φόρτωση – μεταφορά πρώτης ύλης

Η φόρτωση και μεταφορά της πρώτης ύλης θα πραγματοποιείται από εξωτερικό συνεργάτη (εργολάβο), ο οποίος θα έχει την ευθύνη της διάθεσης του εξοπλισμού (εκσκαφείς, φορτωτές, χωματουργικά αυτοκίνητα, βοηθητικά

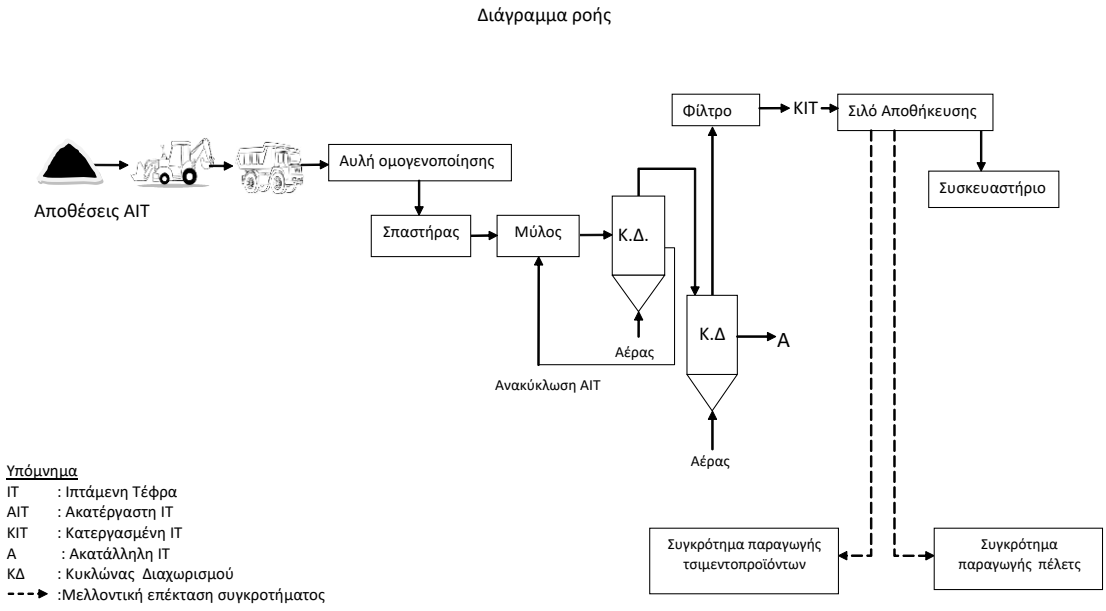
μηχανήματα) καθώς και του προσωπικού που απαιτείται για την υλοποίηση του έργου.

2. Ομογενοποίηση πρώτης ύλης (ΑΙΤ)

Οι ελληνικές ΙΤ παρουσιάζουν διακυμάνσεις στην σύσταση τους που αντανακλούν τις διακυμάνσεις στην ποιότητα του παραγόμενου λιγνίτη. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος προτείνεται αυστηρός ποιοτικός έλεγχος της ακατέργαστης τέφρας. Σε πρώτη φάση, πρέπει να επιτευχθεί υψηλός βαθμός ομογενοποίησης της ακατέργαστης τέφρας σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο (αυλή ομογενοποίησης), πριν την εισαγωγή της στο συγκρότημα επεξεργασίας. Στη συνέχεια, η ιπτάμενη τέφρα πριν την τροφοδοσία της στη μονάδα επεξεργασίας θα ελέγχεται για μια σειρά ποιοτικά χαρακτηριστικά της. Οι ακατάλληλες πρώτες ύλες θα εκτρέπονται από την γραμμή παραγωγής και θα επιστρέφουν στην αυλή ομογενοποίησης ή στο ορυχείο για απόρριψη.

3. Μείωση του κοκκομετρίας της πρώτης ύλης

Η μείωση της κοκκομετρίας της πρώτης ύλης θα γίνεται με σπαστήρα ονομαστικής δυναμικότητας 60 t/h. Η μεταφορά από την έξοδο του σπαστήρα μέχρι την είσοδο του μύλου άλεσης θα γίνεται με ταινιόδρομο.



Εικόνα 4.3: *Διάγραμμα ροής μονάδας επεξεργασίας ιπτάμενης τέφρας.*

4. Άλεση

Η μονάδα άλεσης θα αποτελείται από ένα μύλο κλειστού κυκλώματος, με όλο τον προβλεπόμενο συμπληρωματικό εξοπλισμό, με ονομαστική δυναμικότητα

60 t/h. Προτείνεται κοκκομετρική διαβάθμιση της τάξης 0-2mm (Shibang Industry & Technology Group Co.Ltd., 2022).

5. Ξηρός Αεροδιαχωρισμός

Ο ξηρός διαχωρισμός της ιπταμένης τέφρας θα γίνεται με αεροδιαχωριστές (κυκλώνες) ώστε να λαμβάνονται κλάσματα διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης, ανάλογα και με τις προδιαγραφές των παραγόμενων προϊόντων. Προτείνεται κοκκομετρική διαβάθμιση της τάξης 10μm , 20 μm, 30 μm.

6. Αποθήκευση και συσκευασία κατεργασμένης ιπτάμενης τέφρας (KIT)

Τελικό στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας θα είναι η αποθήκευση των τελικών προϊόντων σε σιλό, από τα οποία είτε θα φορτώνονται με τη βαρύτητα σε σιλοφόρα φορτηγά οχήματα, όταν πωλούνται σε χύδην μορφή, είτε θα μεταφέρονται στη μονάδα συσκευασίας μεγασάκων και χαρτόσακων (Boyangmachinery.en.made-in-china.com, 2022).

7. Συγκρότημα παραγωγής τσιμεντοπροϊόντων (μελλοντική επέκταση)

Η μονάδα τσιμεντοπροϊόντων θα παράγει κυβόλιθους, κράσπεδα οδοποιίας, τσιμεντόλιθους και τσιμεντόπλακες εξωτερικού χώρου. Η δυναμικότητά της θα προσδιοριστεί στο μέλλον και πιθανά να συνδυαστεί με αύξηση της συνολικής δυναμικότητας όλης της μονάδας (Doan Minh Cong Joint Stock Company, 2022).

8. Συγκρότημα παραγωγής pellets IT για αγροτικές εφαρμογές (μελλοντική επέκταση)

Στο συγκρότημα παραγωγής pellets IT (ονομάζεται επίσης σφαιροποιητής ιπτάμενης τέφρας ή επεξεργασίας ιπτάμενης τέφρας) θα παράγονται σφαιρίδια ιπτάμενης τέφρας μεγέθους 2,5 – 20 mm με σκοπό την χρήση τους σε αγροτικές εφαρμογές αλλά και σε κατασκευές που απαιτούν IT μεγάλης κοκκομετρίας όπως στην οδοποιία, σε σκυροδέματα κ.α. Η δυναμικότητά της θα προσδιοριστεί στο μέλλον και πιθανά να συνδυαστεί με αύξηση της συνολικής δυναμικότητας όλης της μονάδας (Doan Minh Cong Joint StockCompany, 2022).

4.4.5 Καθορισμός απαιτήσεων σε ανθρώπινο δυναμικό

Η στελέχωση της παραγωγικής μονάδας έγινε με βάση τα δεδομένα που ισχύουν σε αντίστοιχες μονάδες λαμβάνοντας υπόψη την λειτουργία της σε δυο βάρδιες (16 ώρες).

Το στελεχιακό δυναμικό διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

- Σε μία βασική ομάδα, που θα αποτελεί το μόνιμο προσωπικό και θα είναι απαραίτητο για την ομαλή λειτουργία και τις δραστηριότητες της εταιρίας.
- Σε εξωτερικούς συνεργάτες, που θα προσλαμβάνονται κατά περίπτωση για να ανταποκρίνονται στις ανάγκες που θα προκύπτουν από τη λειτουργία της εταιρίας (π.χ. για μεταφορές Α' υλών και προϊόντων, επισκευές εξοπλισμού).

Οι αποδοχές των υπαλλήλων και των εργατοτεχνικών με προϋπηρεσία 3-6 χρόνια υπολογιστήκαν σύμφωνα με τις οδηγίες του 2019 του Υπουργείου Εργασίας, Κοινωνικής Ασφάλισης και Κοινωνικής Αλληλεγγύης, των μηχανικών – στελεχών με προϋπηρεσία 3-6 χρόνια και του Διευθυντή με 15ετη εμπειρία σύμφωνα την συλλογική ρύθμιση διπλωματούχων και πτυχιούχων 2009.

4.4.6 Χρονοδιάγραμμα κατασκευής του σχεδίου - Εκτίμηση διάρκειας κατασκευαστικής περιόδου

Η Χρονική διάρκεια της κατασκευής των εγκαταστάσεων (π.χ. έργων πολιτικού μηχανικού, εγκατάστασης μηχανολογικού εξοπλισμού) υπολογίστηκε να είναι τρία έτη (Πίνακας 2).

Πίνακας 4.2: Χρονοδιάγραμμα μελέτης – κατασκευής

Φάσεις	**1° έτος (2023)**	**2 έτος (2024)**	**3° έτος (2025)**
Προμελέτη ή μελέτη σκοπιμότητας			
Αναλυτική και τελική ΤΟΜ			
Ανέγερση και εγκατάσταση			
Εκκίνηση και δοκιμαστική λειτουργία			

4.5 Οικονομική μελέτη

4.5.1 Υπολογισμός Πάγιου Κόστους και Αρχικού Κεφαλαίου Κίνησης

Για την κατασκευή μονάδας επεξεργασίας ιπτάμενης τέφρας (ΙΤ) γίνεται η παραδοχή ότι θα παραχωρηθεί χώρος εντός της περιοχής των ορυχείων που έχει χαρακτηριστεί ως ζώνη εγκατάστασης βιομηχανιών. Κατά συνέπεια,

θεωρείται ότι δεν θα υπάρξει κόστος κτήσης γης – αγοράς οικοπέδου (Τσώλας Γ., 2001).

Το σύνολο των δαπανών που απαιτούνται για την κατασκευή της μονάδας αφορούν το πάγιο κεφάλαιο, C (ή πάγιο κόστος) και αυτό διακρίνεται σε επιμέρους στοιχεία, που δίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 4.3 (περιλαμβάνεται η μελέτη και εγκατάσταση). Το νόμισμα που χρησιμοποιείται σε όλες τις αξίες είναι το ευρώ (€) (Κυριαζής Κ., Παπαδάκης Ε., 2009).

Πίνακας 4.3: Υπολογισμός παγίου κόστους

Α/Α	Εγκαταστάσεις και μηχανήματα	Έτη απόσβεσης	Ποσό
1	Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός	15	1.600.000 €
2	Εγκαταστάσεις (20% του βασικού εξοπλισμού)	15	320.000 €
3	Υποσταθμός Η/Ρ	15	30.000 €
4	Εξοπλισμός Εργ. ποιοτικού ελέγχου	15	130.000 €
5	Σιλό ομογενοποίησης- αποθήκευσης	15	450.000 €
6	Μονάδα ενσάκκισης	15	100.000 €
7	Φορτωτικά μηχανήματα	8	50.000 €
8	Οχήματα μεταφοράς	8	200.000 €
9	Εξοπλισμός ασφάλειας	2	5.000 €
10	Εξοπλισμός γραφείων	5	15.000 €
			2.900.000 €
Β	Κτίρια – Γήπεδα		750.000 €
Γ	Γενικό Σύνολο Γ=(Α+Β)		3.650.000 €
Δ	Απρόβλεπτα (Δ≈Γ*10%)		350.000 €
Ε	Συνολικό πάγιο κόστος, C (Ε=Γ+Δ)		4.000.000 €

Το αρχικό κεφάλαιο κίνησης αφορά δαπάνες που σχετίζονται με την δοκιμαστική λειτουργία, τις πρώτες και βοηθητικές ύλες, τα εργατικά και έξοδα διοίκησης και την διάθεση προϊόντων τα οποία είναι απαραίτητα για να καλυφτούν τα λειτουργικά έξοδα στο χρονικό διάστημα από την έναρξη της παραγωγής μέχρι τη δημιουργία εσόδων από την πώληση των προϊόντων (υποθέτουμε ένα εξάμηνο). Το αρχικό κεφάλαιο κίνησης, IC, υπολογίζεται με προσεγγιστικό τρόπο ως ποσοστό του πάγιου κεφαλαίου, C, που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 5-30%. Για την εξεταζόμενη περίπτωση επιλέχθηκε το ποσοστό αυτό να είναι 18%.

Ζ	**Αρχικό κεφάλαιο κίνησης**	**720.000 €**

Άρα, το συνολικό κεφάλαιο ίδρυσης της νέας δραστηριότητας είναι:

Η	**Κεφάλαιο ίδρυσης (Η=Ε+Ζ)**	**4.720.000 €**

4.5.2 Υπολογισμός λειτουργικού κόστους

Το κόστος λειτουργίας, OC (€/y, δηλαδή ευρώ ανά έτος), περιλαμβάνει το κόστος προμήθειας των α΄ υλών και βοηθητικών υλών, το κόστος φόρτωσης, μεταφοράς και απόθεσης της τέφρας, την κατανάλωση ενέργειας, τις αμοιβές και την ασφάλιση του προσωπικού, της δαπάνες προμήθειας ανταλλακτικών και τη συντήρηση του Η/Μ εξοπλισμού (υπηρεσίες τρίτων), τα έξοδα διοίκησης και τα ασφάλιστρα (Πίνακας 4.4). Μετά από βιβλιογραφική έρευνα γίνεται η παραδοχή ότι το κόστος της συντήρησης λαμβάνεται ίσο με το 5% του πάγιου κεφαλαίου.

Πίνακας 4.4: Ανάλυση λειτουργικού κόστους

α/α	Περιγραφή κόστους	Δαπάνη (€)
1	Προμήθεια Ακατέργαστης Ιπτάμενης Τέφρας (AIT)	540.000 €
2	Προμήθεια υλικών συσκευασίας	600.000 €
3	Ενέργεια	640.000 €
4	Εργατικά	296.820 €
5	Συντήρηση	200.000 €
6	Έξοδα διοίκησης	239.484 €
7	Κόστος φόρτωσης, μεταφοράς, απόθεσης τέφρας	400.000 €
8	Ασφάλιστρα	40.000 €
9	Αποσβέσεις	242.083 €
10	Τόκοι –Χρεολύσια	-€
11	Γενικά έξοδα	132.000 €
	Λειτουργικό κόστος (χωρίς φόρους), OC	**3.330.387 €**

Ο υπολογισμός του ετήσιου κόστους απόσβεσης που εμφανίζεται στην 8η γραμμή του Πίνακα 4.5 εκφράζει τον λογιστικό τρόπο επιστροφής του πάγιου κεφαλαίου. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι υπολογισμού, με απλούστερη τη μέθοδο της γραμμικής απόσβεσης. Οι χρόνοι απόσβεσης ποικίλουν για τα διάφορα πάγια στοιχεία, και ρυθμίζονται νομοθετικά. Έτσι, θεωρώντας μηδενική απομένουσα αξία, ετήσια απόσβεση κεφαλαίου δίνεται στον Πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5: Απόσβεση κεφαλαίου

Πάγιο στοιχείο	Έτη απόσβεσης	Κόστος Επένδυσης παγίων	Κόστος απόσβεσης
Εξοπλισμός	15	2.630.000 €	175.333 €
Φορτωτικά μέσα, οχήματα μεταφοράς	8	250.000 €	31.250 €
Εξοπλισμός ασφαλείας	2	5.000 €	2.500 €
Εξοπλισμός γραφείων	5	15.000 €	3.000 €

Κτίρια – Γήπεδα	25	750.000 €	30.000 €
Συνολικό κόστος αποσβέσεων			**242.083 €**

Τα Γενικά Έξοδα που εμφανίζονται στην 10η γραμμή του Πίνακα 4.5 θεωρήθηκε ότι αποτελούν το 3% των εσόδων:

Γενικά έξοδα	3% επί των εσόδων πωλήσεων: 4.000.000 €	**132.000 €**

Τέλος, οι φόροι υπολογίστηκαν λαμβάνοντας ως φορολογικό συντελεστή αυτόν που ίσχυσε το έτος 2021, ο οποίος ήταν 22%.

Φόροι	22% επί της διαφοράς εσόδων – λειτουργικού κόστους	**235.315 €**

4.5.3 Περιθώρια Κέρδους - Αξιολόγηση Επένδυσης

4.5.3.1 Αναμενόμενο Κέρδος

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, το αναμενόμενο ετήσιο κέρδος της προτεινόμενης μονάδας παραγωγής επεξεργασμένης ιπτάμενης τέφρας, ετήσιας δυναμικότητας 200.000 τόνων, παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.6. Τα έσοδα της μονάδας έχουν υπολογιστεί θεωρώντας μέση τιμή πώλησης των προϊόντων 22€/t.

Πίνακας 4.6: Αναμενόμενα ετήσια κέρδη από τη λειτουργία της μονάδας

Συνολικό πάγιο κόστος, C	4.000.000 €
Αρχικό κεφάλαιο κίνησης, C	720.000 €
Λειτουργικό κόστος (χωρίς φόρους), OC	3.330.387 €
Έσοδα, R (€/t x 200,000 t/y)	4.400.000 €
Φόροι, [T = 0.22 (R - OC')]	235.315 €
Καθαρά κέρδη, (K = R-OC'-T)	**834.298 €**

4.5.3.2 Αξιολόγηση της Επένδυσης

Για την αξιολόγηση της επένδυσης εξετάστηκαν ο ρυθμός επιστροφής (IR) της αρχικής επένδυσης και ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης. Ο ρυθμός επιστροφής της αρχικής επένδυσης χρησιμεύει συνήθως όταν πρέπει να αξιολογηθούν διαφορετικά σενάρια προκειμένου να επιλεγεί εκείνο με το μεγαλύτερο IR. Όταν εξετάζεται μεμονωμένα η βιωσιμότητα μιας επένδυσης, το IR πρέπει να είναι μεγαλύτερο από μια ελάχιστη αποδεκτή τιμή που έχει καθορισθεί εκ των προτέρων. Η μέθοδος αυτή δεν λαμβάνει υπόψη την διαχρονική αξία του χρήματος. Με την μέθοδο του χρόνου αποπληρωμής προσδιορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται για να ανακτηθεί το κεφάλαιο ίδρυσης από τα έσοδα που δημιουργούνται κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης (Πίνακας 4.7).

Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα αξιολόγησης της επένδυσης με βάση τα κριτήρια

Συνολικό πάγιο κόστος, C (€)	4.000.000 €
Αρχικό κεφάλαιο κίνησης, IC (€)	720.000 €
Λειτουργικό κόστος (χωρίς φόρους), OC (€/y)	3.330.387 €
Έσοδα, R (€/y)	4.400.000 €
Φόροι, [T = 0.22 (R - OC)] (€/y)	235.315 €
Καθαρά κέρδη, (K = R-OC'-T) (€/y)	834.298 €
Ρυθμός επιστροφής, IR (%) = K / (C + IC)	**17,68%**
Χρόνος αποπληρωμής, τ (έτη) = (C +IC) / K	**5,66**

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, ο ρυθμός επιστροφής της αρχικής επένδυσης είναι 17,68% ενώ ο χρόνος αποπληρωμής 5,66 έτη. Και οι δύο μέθοδοι δείχνουν ότι η επένδυση είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα. Για λόγους σύγκρισης αξίζει να αναφερθεί ότι μια επένδυση σε φωτοβολταϊκό πάρκο, επιλογή που έχει γίνει από πολλούς ιδιώτες και επιχειρήσεις τα τελευταία χρόνια, έχει χρόνο αποπληρωμής που υπό ευνοϊκές συνθήκες προσεγγίζει τα 7-8 έτη.

Επισημαίνεται ότι στην ανάλυση που προηγήθηκε δεν λήφθηκε υπόψη το επιπλέον κόστος που θα προκύψει για την εξυπηρέτηση δανείων, στην περίπτωση που ο επενδυτής δεν είναι σε θέση να καλύψει την ιδία συμμετοχή του με δικά του κεφάλαια.

4.5.3.3. Ανάλυση Ευαισθησίας

Η εκτίμηση του εύρους μεταβολής της απόδοσης του επενδυτικού σχεδίου από τυχόν αλλαγές των κρίσιμων παραμέτρων που λήφθηκαν υπόψη κατά την εκπόνηση της μελέτης σκοπιμότητας δίνει τον βαθμό αβεβαιότητας της επένδυσης.

Στο πλαίσιο αυτό, για την ανάλυση ευαισθησίας λαμβάνονται υπόψη δυο μεταβλητές οι οποίες διαμορφώνουν καθοριστικά την τελική απόδοση της επένδυσης. Η μια είναι η μέση τιμή των τελικών προϊόντων, για την οποία εξετάζονται τρία σενάρια: το απαισιόδοξο 20 €/t, το βασικό 22 €/t και το αισιόδοξο 24 €/t, και η άλλη μεταβλητή αφορά τον τρόπο χρηματοδότηση της επένδυσης, για την οποία εξετάζονται δυο σενάρια: α) η επένδυση χρηματοδοτείται εξολοκλήρου με ίδια κεφάλαια και β) η επένδυση λαμβάνει επιδότηση της τάξης του 40% (Πίνακας 4.8).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας δείχνουν ότι η αύξηση της μέσης τιμής των προϊόντων, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με τη βελτίωση και σταθεροποίηση των τεχνικών προδιαγραφών τους, μπορεί να συμβάλει στην περαιτέρω βελτίωση των δεικτών οικονομικής απόδοσης. Όσο για τη δυνατότητα επιδότησης, είναι αυτονόητο ότι η μείωση του αρχικού κόστους της

επένδυσης όχι μόνο θα βελτιώσει τα οικονομικά αποτελέσματα, αλλά θα καταστίσει ευκολότερη τη λήψη απόφασης για την υλοποίηση του έργου από έναν ιδιώτη επενδυτή.

Άλλες μεταβλητές που θα μπορούσαν να εξεταστούν στο πλαίσιο της ανάλυσης ευαισθησίας είναι οι εξής:

- Οι μεταβολές ζήτησης της παραγομένης ποσότητας από την αγορά. Επειδή η σχεδιαζόμενη δυναμικότητα της μονάδας είναι πολύ μικρή σε σχέση με την κατανάλωση προϊόντων τσιμέντου και ετοίμου σκυροδέματος, εκτιμάται ότι οι όποιες μεταβολές θα είναι θετικές. Μοναδική προϋπόθεση για την εύρυθμη διάθεση των προϊόντων είναι η συμμόρφωση με συγκεκριμένες προδιαγραφές ποιότητας που θα συμβάλουν στην εδραίωση των προϊόντων στην αγορά.
- Η σχετική θέση των σημείων απόληψης των πρώτων υλών και εγκατάστασης της μονάδας επεξεργασίας, οι οποίες θα καθορίσουν το κόστος μεταφοράς των πρώτων υλών. Σε ότι αφορά τη θέση εγκατάστασης της μονάδας, αυτή θα επηρεάσει επίσης και το κόστος που θα προκύψει από πιθανή καταβολή τιμήματος για την απόκτηση ή ενοικίαση οικοπέδου.

Πίνακας 4.8: Ανάλυση ευαισθησίας της επένδυσης ως προς τη μεταβολή της μέσης τιμής πώλησης των προϊόντων και του αρχικού κόστους επένδυσης (λόγω επιδότησης)

	Μέση τιμή πώλησης προϊόντων		
	20 €/t	**22 €/t**	**24 €/t**
Συνολικό πάγιο κόστος, C (€)	4.000.000 €	4.000.000 €	4.000.000 €
Αρχικό κεφάλαιο κίνησης, IC (€)	720.000 €	720.000 €	720.000 €
Λειτουργικό κόστος (χωρίς φόρους), OC (€/y)	3.318.387 €	3.330.387 €	3.342.387 €
Έσοδα, R (€/y)	4.000.000 €	4.400.000 €	4.800.000 €
Φόροι, [T = 0.22 (R - OC)] (€/y)	149.955 €	235.315 €	320.675 €
Καθαρά κέρδη, (K = R-OC'-T) (€/y)	531.658 €	834.298 €	1.136.938 €
Ρυθμός ανάκτησης, IR (%) = K / (C + IC)	**11,26%**	**17,68%**	**24,09%**
Χρόνος αποπληρωμής, τ (έτη) = (C +IC) / K	**8,88**	**5,66**	**4,15**

	Σενάρια με επιδότηση 40%		
Συνολικό πάγιο κόστος, C''=C-0.4C επιδότηση (€)	2.400.000 €	2.400.000 €	2.400.000 €
Αρχικό κεφάλαιο κίνησης, IC (€)	720.000 €	720.000 €	720.000 €
Λειτουργικό κόστος (χωρίς φόρους), OC (€/y)	3.318.387 €	3.330.387 €	3.342.387 €
Έσοδα, R (€/y)	4.000.000 €	4.400.000 €	4.800.000 €
Φόροι, [T = 0.22 (R - OC)] (€/y)	149.955 €	235.315 €	320.675 €
Καθαρά κέρδη, (K = R-OC'-T) (€/y)	531.658 €	834.298 €	1.136.938 €
Ρυθμός ανάκτησης, IR (%) = K / (C + IC)	**17,04%**	**26,74%**	**36,44%**
Χρόνος αποπληρωμής, τ (έτη) = (C +IC) / K	**5,87**	**3,74**	**2,74**

4.6 Πρόταση ως προς την βιωσιμότητα του σχεδίου

Ο ρυθμός επιστροφής της αρχικής επένδυσης (17,68%) και ο χρόνος αποπληρωμής της (5,66 έτη) συνηγορούν στο ότι η επένδυση είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα. Τα αναμενόμενα κέρδη θεωρούνται επίσης αρκετά αξιόλογα. Με αυτά τα δεδομένα θεωρείται σκόπιμη η περαιτέρω διερεύνηση του επενδυτικού σχεδίου, κατ' αρχήν σε σχέση με τη συμβατότητά του με το χωρικό και τον γενικότερο αναπτυξιακό σχεδιασμό που υπάρχει ή εκπονείται από τις Περιφερειακές Υπηρεσίες, το Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης και τους άλλους συναρμόδιους φορείς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Cement Australia Fly Ash, Product Data Sheet [Ηλεκτρονικό] // www.cementaustralia.com.au. - 2021. - 13 11 2121. - https://www.cementaustralia.com.au/products/fly-ash.

Doan Minh Cong Joint Stock Company https://dmcline.vn/en [Ηλεκτρονικό]. - 2022. - 2022. - https://dmcline.vn/en/concrete-block-stacker.html.

Doan Minh Cong Joint StockCompany https://dmcline.vn/en [Ηλεκτρονικό]. - 2022. - 2022. - https://dmcline.vn/en/fly-ash-pelletizing-machine.html.

Ensio Resources INC Brochure, Patriot Blast & Black Velvet Roofing Granules [Ηλεκτρονικό] // www.ensioresources.com/patriot-blast. - 2021. - 13 11 2021. - www.ensioresources.com/patriot-blast.

http://portal.tee.gr [Ηλεκτρονικό]. - 13 10 2021. - http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/KSIRA_DOMISI/do1_2.htm#4._%CE%A0%CF%81%CF%8E%CF%84%CE%B5%CF%82_%CF%8D%CE%BB%CE%B5%CF%82_%CE%B3%CE%B9%CE%B1_%CF%84%CE%B7%CE%BD_%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE.

https://ravagobuildingsolutions.com [Ηλεκτρονικό]. - 14 10 2021. - https://ravagobuildingsolutions.com/ravatherm-gr/el/%cf%80%cf%81%ce%bf%ce%b9%ce%bf%ce%bd%cf%84%ce%b1/.

Ν. Κούκουζας Ποιοτικά χαρακτηριστικά γαιανθράκων, σελ. 1040 [Βιβλίο]. - Αθήνα : [s.n.], 2020. - ISBN: 978-618-5495-10-7.

Nybro Energi AB www.nybroenergi.se, En informationstidning utgiven av Nybro Energi 2016 [Ηλεκτρονικό]. - 2016. - 2018. - https://nybroenergi.se/wp-content/uploads/2015/12/NybroEnergi-Nytt-Kraftvarmeverk.pdf.

Pavloudakis F., C. Roumpos, E. Karlopoulos, N. Koukouzas Planning and implementing surface mines reclamation works under the new EU strategy for the transition of lignite intensive regions to a post-mining era. Mine Closure 2018 [Συνέδριο]. - Leipzig, Germany : [s.n.], 2018.

Pavloudakis F., C. Roumpos, E. Karlopoulos, N. Koukouzas, C.G. Sachanidis, S. Pyrtses Economic and social impact assessment of decarbonisation in Ptolemais lignite mining area, Proc. of 9th Intl. Conf. COAL 2019 [Συνέδριο]. - Zlatibor, Serbia : [s.n.], 2019.

Pavloudakis F., E. Karlopoulos, C. Roumpos, N. Koukouzas Energy transition and the future of lignite mining in the Region of western Macedonia, Greece, Proc. of 11th Intl. Conf. COAL 2021, 13-16 Oct 2021, p.100-107 [Συνέδριο]. - Zlatibor, Serbia : [s.n.], 2021.

Roumpos C., F. Pavloudakis, A. Liakoura, D. Nalmpanti, K. Arampatzis Utilisation of Lignite Resources within the Context of a Changing Electricity Generation

Mix. 10th Jubilee Intl. Brown Coal Mining Congress: "Brown Coal Today and in the Future". [Συνέδριο]. - Belchatow, Poland : [s.n.], 2018.

Shibang Industry & Technology Group Co.Ltd. www.sbm-mill.com [Ηλεκτρονικό]. - 2022. - 2022. - https://www.sbm-mill.com/materials/fly-ash.html?a=s2&network=g&campaign=1337484451&keyword=kwd-499117092632&dev=c&ad=556888140701&gclid=Cj0KCQiA3fiPBhCCARIsAFQ8QzVV9-PSI8D09TcbgKFnyU8tcUxDfP53Xktz7jhcWRBzDsmDn5MQAI4aAttgEALw_wcB#.

TECHNOGIPS Pro ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ [Ηλεκτρονικό] // https://www.technogipspro.com/attachments/Catalog/2/catalog/GR-Product-Catalogue-2021.pdf. - 2021. - 12 11 2021. - https://www.technogipspro.com/el.

Vaskiluodon Voima Pioneer of Biofuel Plants, Producer of Combined Heat And Power [Ηλεκτρονικό] // www.vv.fi. - 2021. - 15 11 2021. - https://www.vv.fi/wp-content/uploads/sites/8/2017/03/Vaskiluodon_Voima_ENG_FINAL-1.pdf.

Xiamen ZhongJingtai οικοδομικά υλικά Co, Ltd ZhongJingtai [Ηλεκτρονικό]. - 2021. - 5 10 2021. - http://m.gr.lightweightsandwichpanel.com/roof-panel/manufacturer-fireproof-cement-board-sandwich.html.

Xu Yan Coal-Biomass Co-Firing Power Generation Technology: Current Status, Challenges and Policy Implications [Ηλεκτρονικό]. - 2020. - https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3692.

Α. Μπούσιος Το έργο της Πτολεμαΐδας ή Η ιστορία της ΛΙΠΤΟΛ , σελ. 222 [Βιβλίο]. - Αθήνα : Κέντρο Τεχνολογίας & Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων, 1997.

Α. Παπακριβού Προοπτικές ΣυνΚαύσης Βιομάζας και Λιγνίτη σε Μεγάλες Μονάδες [Ηλεκτρονικό]. - 2021. - 4 11 2021. - http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/handle/123456789/9220.

Α.Κοντομηνά Πτυχιακή Εργασία:Αξιοποίησης της ιπτάμενης τέφρας σε Ελλάδα και στο εξωτερικό [Βιβλίο]. - Πειραιάς : ΤΕΙ Πειραιά, ΣΤΕ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2017.

Boyangmachinery.en.made-in-china.com [Ηλεκτρονικό]. - 2022. - 2022. - https://boyangmachinery.en.made-in-china.com/product/fKdnSzMxhHRo/China-Boyang-Big-Bag-Cement-Concrete-Powder-Filling-Packing-Machine.html.

ΔΕΗ Α.Ε Διεύθυνση Εκμετάλλευσης ΘΗΣ Ετήσια Έκθεση ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων λειτουργίας [Άρθρο]. - 2018. - ΔΕΗ Α.Ε .

ΔΕΗ Α.Ε. – Λ.Κ.Δ.Μ. Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Ορυχείων Πτολεμαΐδας (ΜΠΕ), Ν. Κοζάνης. Κεφ. 5ο [Βιβλίο]. - Πτολεμαΐδα : ΔΕΗ Α.Ε. – Λ.Κ.Δ.Μ., 2009.

ΔΕΗ Α.Ε. Εκθεση Βιώσιμης ανάπτυξησ 2019 [Ηλεκτρονικό]. - 2019. - 9 11 2021. - https://www.dei.gr/Documents2/%CE%95%CE%9A%CE%95/Apologismos%20EKE_BiosimiAnaptyxi%2027x22cm-new_GR.pdf.

Δρ. Ν. Κούκουζας 2ο Συνέδριο ΕΒΙΠΑΡ, Αιανή Κοζάνης, ΙΤΕΣΚ [Ηλεκτρονικό]. - 2009. - http://www.evipar.org/innet/files/2o_EVIPAR_07_Koukouzas.pdf.

Ε. Παπαδάκης Χρήση Βιομηχανικών Παραπροϊόντων και Τεχνικών για Μείωση του Περιβαλλοντικού Κόστους των Κατασκευών [Ηλεκτρονικό]. - 2009. - 3 11 2021. - http://www.evipar.org/innet/files/2oEVIPAR_full_text_11_Papadakis.pdf.

Ε. Τσικαρδάνη Οικονομική και Περιβαλλοντική Αξιολόγηση της Χρήσης Ιπταμένης Τέφρας για την Παραγωγή Τσιμεντοπροϊόντων [Ηλεκτρονικό]. - 2005. - 5 10 2021. - http://www.evipar.org/innet/files/1oEVIPAR_full_text_45_Tsikardani1.pdf.

Έγκριση Εθνικής Τεχνικής Προδιαγραφής «ΕΛΛΗΝΙΚΕΣΙΠΤΑΜΕΝΕΣ ΤΕΦΡΕΣ» ΦΕΚ 551 Β' 2007 [Επιθεώρηση]. - [s.l.] : Εθνικό Τυπογραφείο, Εφημεριδα της Κυβέρνησης.

Ελληνική Στατιστική Αρχή https://www.statistics.gr [Ηλεκτρονικό]. - 2019. - 2 2022.

Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος [Ηλεκτρονικό]. - 2019. - http://www.hcia.gr/el/statistical-elements/production/.

Κ. Κ. Σίδερης κ.α. Διερεύνηση της Δυνατότητας Χρήσης Τέφρας Αποτεφρωτηρών στις Κατασκευές [Ηλεκτρονικό]. - 2005. - http://www.evipar.org/innet/files/1oEVIPAR_full_text_15_Sideris2.pdf.

Κυριαζής Κ., Παπαδάκης Ε. Τεχνοοικονομική Μελέτη [Βιβλίο]. - Θεσσαλονίκη : Εκδόσεις Τζιόλα, 2009.

Όμιλος Ηρακλής ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ [Ηλεκτρονικό] // www.lafarge.gr/. - 2021. - 12 11 2021. - https://www.lafarge.gr/heracles-enisxumeno-cem2.

Σ. Schweinfurth Coal—A Complex Natural Resource, An overview of factors affecting coal quality and use in the United States [Βιβλίο]. - WASHINGTON : UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE, 2003.

Σαχανίδης Χ., Παυλουδάκης Φ. Ειδική Έκθεση παρακολούθησης της λειτουργίας του χώρου διάθεσης Στερεών παραπροϊόντων του ΑΗΣ Μελίτης [Άρθρο]. - 2015. - ΔΕΗ Α.Ε..

ΣΔΑΜ Σχέδιο δίκαιης και αναπτυξιακής μετάβασης λιγνιτικών περιοχών [Ηλεκτρονικό]. - 2019.

TITAN GREECE www.titan.gr/el [Ηλεκτρονικό]. - 2021. - 12 11 2021. - https://www.titan.gr/el/proionta-kai-yphresies/tsimento/xuma-tsimento/xuma-tsimento-inner/faio-tsimento-32-komma-5.

Τσώλας Γ. Εκπόνηση οικονομοτεχνικών μελετών [Βιβλίο]. - [s.l.] : Εκδόσεις Πατάκη , 2001.