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 1.2 :

Τεχνολογική Προοπτική Διερεύνηση

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ..... 2
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ..... 2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... 3
2. ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΠΡΑΣΙΝΗ ΣΥΜΦΩΝΙΑ..... 5
2.1. Ο τομέας της Ενέργειας στο πλαίσιο της Πράσινης Συμφωνίας..... 6
2.2. Ο Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης..... 6
3. **Η ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ.....** 9
3.1 Εθνικά Χρονοδιαγράμματα Απανθρακοποίησης 9
3.2 Τεχνολογικές επιλογές των περιφερειών με υψηλή εξάρτηση από τη βιομηχανία άνθρακα..... 10
3.3 Τεχνολογικές επιλογές για τη Δυτική Μακεδονία: πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εναλλακτικών προτάσεων..... 12
3.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εναλλακτικών τεχνολογιών..... 22
4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ..... 32
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... 36
ΑΝΑΦΟΡΕΣ..... 39
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 39

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Κεντρικοί στόχοι της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας..... 5
Σχήμα 2: Τομείς προτεραιότητας για τις ανθρακοφόρες περιφέρειες της ΕΕ..... 11
Σχήμα 3: Προσδιορισμός της βαρύτητας των κριτηρίων αξιολόγησης των εναλλακτικών τεχνολογιών εξω-ηλεκτρικής αξιοποίησης του λιγνίτη της Δυτικής Μακεδονίας 34

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Χρονοδιαγράμματα απανθρακοποίησης ηλεκτροπαραγωγής στις χώρες της ΕΕ..... 9
Πίνακας 2: Σύγκριση κριτηρίων ανά ζεύγη με βάση τη Μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης (παράδειγμα συμπλήρωσης)..... 33
Πίνακας 3: Αριθμητική έκφραση της υπεροχής της βαρύτητας ενός κριτηρίου έναντι του συγκρινόμενού του..... 33
Πίνακας 4: Αποτελέσματα αξιολόγησης εναλλακτικών τεχνολογιών εξω-ηλεκτρικής χρήσης του λιγνίτη Δυτικής Μακεδονίας..... 35

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από το 1956, η αξιοποίηση του λιγνίτη στη Δυτική Μακεδονία πραγματοποιείται με έναν απόλυτα συμβατικό και μονοδιάστατο τρόπο, ο οποίος περιλαμβάνει την εξόρυξη και μεταφορά του λιγνίτη στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, την καύση του, τη διαχείριση της παραγόμενης τέφρας και των αερίων ρύπων. Πρακτικά, δεν υφίσταται αξιοποίηση του λιγνίτη σε έξω-ηλεκτρικές χρήσεις, πέραν της καύσης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εξαίρεση αποτέλεσε η χρήση του στην παραγωγή αζωτούχων λιπασμάτων της πρώην Ανώνυμης Εταιρείας Αζωτούχων Λιπασμάτων (ΑΕΒΑΛ) στην Πτολεμαΐδα, η οποία για διαφόρους λόγους ανέστειλε οριστικά τη λειτουργίας της λίγο πριν το 2000.

Όπως παρουσιάσθηκε αναλυτικά στο Παραδοτέο D1.1, τα στερεά ορυκτά καύσιμα γενικότερα, αλλά και ο λιγνίτης ειδικότερα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη στην παραγωγή μιας σειράς προϊόντων και ενεργειακών φορέων με υψηλή προστιθέμενη αξία. Οι περισσότερες τεχνολογίες είναι εμπορικά ώριμες, ενώ αυτές που σχετίζονται με την παραγωγή καινοτόμων υλικών για τη Βιομηχανία 4.0, ωριμάζουν με ταχείς ρυθμούς, κυρίως στις χώρες με μεγάλα αποθέματα γαιανθράκων όπως η Κίνα, η Ινδία, η Γερμανία και οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

Η μελλοντική τάση αξιοποίησης των στερεών ορυκτών καυσίμων σχετίζεται ευθέως με τη δυνατότητά τους να ενσωματωθούν αποτελεσματικά και συνεργατικά με τις νέες, αναδυόμενες τεχνολογίες, με απαιτήσεις Βιομηχανικής Συμβίωσης. Η προοπτική του άνθρακα και του λιγνίτη θα κριθεί στο μέλλον από την τεχνοοικονομική δυνατότητά τους να ενσωματωθούν στο νέο ενεργειακό περιβάλλον με όρους Κυκλικής Οικονομίας και σαφώς όχι μέσα από μια μονοδιάστατη αξιοποίησή τους αποκλειστικά στην ηλεκτροπαραγωγή.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των τεχνολογιών αυτών εντοπίζεται στην υψηλή θετική επίπτωση στην απασχόληση καθώς και στη δυνατότητα κεφαλαιοποίησης των υποδομών που δημιούργησε η βιομηχανία λιγνίτη σε τοπικό επίπεδο. Πλεονεκτήματα που σχετίζονται με την αναγκαιότητα μια αποτελεσματικής και βιώσιμης παραγωγικής ανασυγκρότησης της Δυτικής Μακεδονίας. Αδύνατα σημεία των τεχνολογιών αυτών αποτελούν το υψηλό κόστος επένδυσης, η διαθεσιμότητα ανθρώπινου δυναμικού υψηλής εξειδίκευσης, η αναγκαιότητα ολοκληρωμένων δράσεων σε θέματα έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης, ισχυρή εξωστρέφεια, διεθνείς συμμαχίες και κυρίως, στήριξη και υποστήριξη από την πλευρά των Ελληνικών Κυβερνήσεων.

Στην κατεύθυνση αυτή, στόχος του παρόντος παραδοτέου (D1.2) αποτελεί η αξιολόγηση των δυνητικών έξω-ηλεκτρικών χρήσεων του λιγνίτη Δυτικής Μακεδονίας, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά παραμέτρων όπως η τεχνολογική ωριμότητα, η ποιοτική καταλληλόλητα του τοπικού λιγνίτη, η επίπτωση στην απασχόληση και ο βαθμός κυκλικότητας ως περιβαλλοντικός δείκτης. Μέσω

συγκριτικής αξιολόγησης, θα επιλεγούν/προταθούν οι πλέον υποσχόμενες πρακτικές και τεχνολογίες αξιοποίησης σε μη ηλεκτροπαραγωγικές χρήσεις.

Επιπλέον, παρουσιάζονται εν συντομία η πορεία απανθρακοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού δυναμικού σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι βασικές αρχές της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας γνωστής διεθνώς ως Green Deal, τα χρηματοδοτικά εργαλεία που υποστηρίζουν την ενεργειακή μετάβαση, καθώς και οι κατευθύνσεις που δίνει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στις περιφέρειες με υψηλή εξάρτηση από τα στερεά ορυκτά καύσιμα.

2. ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΠΡΑΣΙΝΗ ΣΥΜΦΩΝΙΑ

Τον Δεκέμβριο του 2019 η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) δεσμεύτηκε να υλοποιήσει την **Πράσινη Συμφωνία**, θέτοντας ως εμβληματικό στόχο να καταστεί η Ευρώπη η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος μέχρι το 2050. Πρόκειται για μια νέα αναπτυξιακή στρατηγική με στόχο τον μετασχηματισμό της ΕΕ σε μια δίκαιη και ευημερούσα κοινωνία, στη βάση ενός νέου οικονομικού μοντέλου για μια βιώσιμη και ανταγωνιστική οικονομία. Βασική επιδίωξη αποτελεί η επιτυχής αντιμετώπιση των αλληλένδετων κλιματικών και ψηφιακών προκλήσεων και η αποδοτική χρήση των πόρων, ώστε μέχρι το 2050 να έχουν μηδενιστεί οι καθαρές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και η οικονομική ανάπτυξη να έχει αποσυνδεθεί από τη χρήση των πόρων. Παράλληλα, η Πράσινη Συμφωνία αποσκοπεί στην προστασία, διατήρηση και ενίσχυση του φυσικού κεφαλαίου της ΕΕ, καθώς και στην προστασία της υγείας και της ευημερίας των πολιτών (COM, 2019).

Σχήμα 1: *Κεντρικοί στόχοι της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας*

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία αποτελεί έναν οδικό χάρτη για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και των προκλήσεων που σχετίζονται με το περιβάλλον. Στόχος της είναι να μετατρέψει τις κλιματικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις σε ευκαιρίες σε όλους τους τομείς και να εξασφαλίζει μια δίκαιη και χωρίς αποκλεισμούς μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα, στο μηδενισμό

δηλαδή των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα οδικό χάρτη δράσεων για την προώθηση της αποδοτικής χρήσης των πόρων με τη μετάβαση σε μια καθαρή, κυκλική οικονομία με σκοπό την ανάσχεση της κλιματικής αλλαγής, την αποκατάσταση της βιοποικιλότητας και τη μείωση της ρύπανσης.

2.1 Ο τομέας της Ενέργειας στο πλαίσιο της Πράσινης Συμφωνίας

Η παραγωγή και η χρήση ενέργειας ευθύνονται για περισσότερο από το 75 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ως εκ τούτου, η απανθρακοποίηση του ενεργειακού συστήματος της Ένωσης είναι ζωτικής σημασίας για την εκπλήρωση των κλιματικών στόχων έως το 2030 και της μακροπρόθεσμης στρατηγικής της ΕΕ για την επίτευξη ουδέτερου ισοζυγίου διοξειδίου του άνθρακα έως το 2050 (ec.europa.eu, 2021).

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία επικεντρώνεται σε 3 βασικές αρχές για τη μετάβαση στην καθαρή ενέργεια, οι οποίες θα συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των πολιτών:

- Διασφάλιση ασφαλούς και οικονομικά προσιτού ενεργειακού εφοδιασμού της ΕΕ
- Δημιουργία πλήρους ολοκληρωμένης, διασυνδεδεμένης και ψηφιοποιημένης ενεργειακής αγοράς της ΕΕ
- Προώθηση της ενεργειακής απόδοσης, βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων μας και ανάπτυξη ενός τομέα παραγωγής ενέργειας ο οποίος θα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Στην κατεύθυνση αυτή, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξήγγειλε σειρά πρωτοβουλιών για ένα σύνολο αλληλένδετων τομέων πολιτικής όπως το κλίμα, το περιβάλλον, η ενέργεια, οι μεταφορές, η βιομηχανία, η γεωργία και η βιώσιμη χρηματοδότηση. Επιπλέον, το 40% των χρηματοδοτήσεων της νέας ΚΑΠ θα πρέπει να προωθεί δράσεις για το κλίμα.

Η πρόκληση που βρίσκεται στο επίκεντρο της πράσινης μετάβασης της Ευρώπης είναι να διασφαλιστεί ότι τα οφέλη και οι ευκαιρίες που προκύπτουν απ' αυτήν θα είναι διαθέσιμα σε όλους, όσο το δυνατόν ταχύτερα και δικαιότερα [ec.europa.eu, 2019].

2.2 Ο Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης

Ο Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης (ΜΔΜ) αποτελεί βασικό εργαλείο προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η μετάβαση προς μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία πραγματοποιείται με δίκαιο τρόπο, χωρίς να μένει κανείς στο περιθώριο. Ο μηχανισμός παρέχει στοχευμένη στήριξη, ώστε να κινητοποιηθούν

τουλάχιστον 65-75 δισ. ευρώ κατά την περίοδο 2021-2027 στις περιφέρειες που πλήττονται περισσότερο, για την άμβλυνση των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων της μετάβασης.

Η στήριξη θα είναι διαθέσιμη σε όλα τα κράτη μέλη, με επίκεντρο τις περιφέρειες με την υψηλότερη ένταση άνθρακα ή με τα περισσότερα άτομα που εργάζονται στον τομέα των ορυκτών καυσίμων. Τα κράτη μέλη μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση μέσω της κατάρτισης σχεδίων εδαφικής δίκαιης μετάβασης που καλύπτουν την περίοδο έως το 2030, προσδιορίζοντας τα εδάφη που θα πρέπει να λάβουν τη μεγαλύτερη στήριξη. Τα σχέδια θα πρέπει επίσης να καθορίζουν τρόπους για την καλύτερη αντιμετώπιση των κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων.

Ο Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης αντιμετωπίζει τις κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις της μετάβασης, δίνοντας έμφαση στις περιφέρειες, τις βιομηχανίες και τους εργαζομένους που θα έρθουν αντιμέτωποι με τις μεγαλύτερες προκλήσεις, μέσα από τρεις πυλώνες [European Commission,2020]:

Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης

Διαθέτει ποσό ύψους 17,5 δισ. ευρώ (σε τιμές 2018· 19,3 δισ. ευρώ σε τρέχουσες τιμές), που αναμένεται να κινητοποιήσει περίπου 30 δισ. ευρώ σε επενδύσεις.

Καθεστώς δίκαιης μετάβασης στο πλαίσιο του InvestEU

Παρέχει δημοσιονομική εγγύηση στο πλαίσιο του προγράμματος InvestEU για τα τέσσερα σκέλη πολιτικής και έναν συμβουλευτικό κόμβο InvestEU που θα λειτουργεί ως κεντρικό σημείο εισόδου για αιτήματα συμβουλευτικής υποστήριξης. Αναμένεται να κινητοποιήσει 10-15 δισ. ευρώ σε επενδύσεις κυρίως από τον ιδιωτικό τομέα.

Δανειακή διευκόλυνση του δημόσιου τομέα

Συνδυάσει επιχορηγήσεις ύψους 1,5 δισ. ευρώ που χρηματοδοτούνται από τον προϋπολογισμό της ΕΕ με δάνεια ύψους 10 δισ. ευρώ από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων, για την κινητοποίηση δημόσιων επενδύσεων ύψους μεταξύ 25 και 30 δισ. ευρώ.

Για την Ελλάδα ειδικότερα, το Πρόγραμμα Δίκαιης Αναπτυξιακής Μετάβασης (ΠΔΑΜ) για την περίοδο 2021-2027 και προϋπολογισμού δημόσιας δαπάνης € 1,6 δις, περικλείει τρία αναλυτικά Εδαφικά Σχέδια Δίκαιης Μετάβασης για την περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας, το Δήμο Μεγαλόπολης, των Νήσων Αιγαίου και Κρήτης.

Τα Εδαφικά Σχέδια περιγράφουν τη διαδικασία μετάβασης, αιτιολογούν την επιλογή των εδαφών, τεκμηριώνουν τις ανάγκες οικονομικής διαφοροποίησης, απόκτησης νέων δεξιοτήτων και περιβαλλοντικής αποκατάστασης. Περιγράφουν τις συνέργειες και τη συμπληρωματικότητα αυτών με τα λοιπά Προγράμματα και δράσεις του Συμφώνου Εταιρικής Σχέσης 2021-2027, του νέου

Ταμείου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας και του Ευρωπαϊκού Γεωργικού Ταμείου Αγροτικής Ανάπτυξης.

Στα ανωτέρω ποσά του ΠΔΑΜ θα πρέπει να προστεθεί ποσό συνολικού ύψους περίπου € 300 εκ. για την αποκατάσταση των εδαφών των λιγνιτικών εκτάσεων, το οποίο θα χρηματοδοτηθεί από το Ταμείο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας και αφορά σε € 55 εκ. περίπου για την αποκατάσταση των λιγνιτικών εδαφών της Μεγαλόπολης και € 245 εκ. περίπου για την αποκατάσταση των λιγνιτικών εκτάσεων της Δυτικής Μακεδονίας.

3. Η ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ

Είναι χρήσιμο να αποσαφηνιστεί ότι υπάρχει μια σημαντική διαφορά μεταξύ των δεσμεύσεων απανθρακοποίησης/απολιγνιτοποίησης του ηλεκτρο-παραγωγικού μίγματος μιας χώρας και της αξιοποίησης του λιγνίτη ως πρώτη ύλη σε εναλλακτικές, μη ενεργειακές χρήσεις. Πρακτικά, το κλείσιμο των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων δεν σημαίνει απαραίτητα και κλείσιμο όλων των ενεργών ορυχείων εξόρυξης άνθρακα, λιγνίτη ή τύρφης.

3.1 Εθνικά Χρονοδιαγράμματα Απανθρακοποίησης

Σύμφωνα με τα δεδομένα και τις δεσμεύσεις των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως αυτές διαμορφώθηκαν μέχρι τον Δεκέμβριο του 2021, η κατάσταση απόσυρσης των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων καύσης άνθρακα/λιγνίτη παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

***Πίνακας 1**: Χρονοδιαγράμματα απανθρακοποίησης ηλεκτροπαραγωγής στις χώρες της ΕΕ*

Χώρα	Κατάσταση Δέσμευσης	Παρατηρήσεις
Αυστρία	**2020**	Ο τελευταίος ανθρακικός σταθμός έκλεισε το 2020
Βέλγιο	**2016**	Ο τελευταίος ανθρακικός σταθμός έκλεισε το 2016
Βουλγαρία	2040	Κυβερνητική απόφαση για 2038-2040
Κροατία	2033	Ανακοίνωση του Κροάτη Πρωθυπουργού στο COP 26
Τσεχία	2038	Διαδικασία διαπραγμάτευσης
Δανία	2028	Ανακοίνωση στο πλαίσιο του COP26
Φινλανδία	2029	Απόφαση Κοινοβουλίου τον Φεβρουάριο του 2019
Γαλλία	2022	Προεδρική απόφαση στο πλαίσιο του COP 22 του 2016
Γερμανία	2038	Απόφαση για 2038 με δυνατότητα για 2035
Ελλάδα	2028	Ανακοίνωση Πρωθυπουργού το 2019
Ουγγαρία	2030	Ανακοίνωση το 2019
Ιρλανδία	2025	Ανακοίνωση το 2018
Ιταλία	2025	Ανακοίνωση το 2017
Ολλανδία	2029	Ανακοίνωση το 2017
Πολωνία	2049	Χρήση άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή μέχρι το 2049
Πορτογαλία	2029	Ανακοίνωση το 2019
Ρουμανία	2032	Απόφαση της 3ης Ιουνίου 2021
Σλοβακία	2030	Ανακοίνωση το 2019
Σλοβενία	2033	Ανακοίνωση το 2021
Ισπανία	2030	Ανακοίνωση το 2021 για έναρξη διαδικασιών
Σουηδία	**2020**	Ο τελευταίος ανθρακικός σταθμός έκλεισε το 2020
Κύπρος, Εσθονία, Ισλανδία, Λουξεμβούργο, Μάλτα, Ισλανδία, Λιθουανία και Λετονία δεν διαθέτουν ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες καύσης άνθρακα.		

Σε κάθε περίπτωση, δεδομένου ότι οι χώρες με μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ σε ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες στερεών ορυκτών καυσίμων όπως η Πολωνία, Τσεχία, Βουλγαρία και Γερμανία, είτε δεν έχουν καταθέσει δεσμευτικά χρονοδιαγράμματα απόσυρσης των μονάδων τους είτε τα χρονοδιαγράμματα κινούνται σε βάθος δεκαετιών, μέχρι το 2030 θα έχει αποσυρθεί μόλις το 25% της εγκατεστημένης ισχύος λιγνιτικών/ανθρακικών μονάδων σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, το οποίο αντιστοιχεί στο πενιχρό 3.2% της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος (energypost.eu,2021).

3.2 Τεχνολογικές επιλογές των περιφερειών με υψηλή εξάρτηση από τη βιομηχανία άνθρακα

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προκειμένου να συνδράμει τις ευρωπαϊκές περιφέρειες με υψηλή εξάρτηση από τα στερεά ορυκτά καύσιμα, εξέδωσε τον Μάιο του 2021 μια εξειδικευμένη εργαλειοθήκη (Toolkit), η οποία δίνει βασικές κατευθύνσεις στην προοπτική περαιτέρω αξιοποίησης του άνθρακα και του λιγνίτη (European Commission,2021).

Η εν λόγω εργαλειοθήκη εστιάζει τόσο στο ποιες τεχνολογικές επιλογές είναι εμπορικά διαθέσιμες όσο και στο ποια θα είναι η πιθανή εξέλιξή τους στο μέλλον, στην προσπάθεια να δώσει απαντήσεις σε δύο καίρια ερωτήματα:

- Πως μπορούν οι υπάρχουσες υποδομές της βιομηχανίας άνθρακα να αξιοποιηθούν στην κατεύθυνση της ενεργειακής μετάβασης;
- Ποιες αλυσίδες αξίας γύρω από τον άνθρακα μπορούν να παραμείνουν ενεργές τοπικά και να δημιουργήσουν νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες;

Πρακτικά, οι περιφέρειες με υψηλή εξάρτηση από τα στερεά ορυκτά καύσιμα οφείλουν να εξαντλήσουν τα τεχνολογικά περιθώρια κεφαλαιοποίησης των υποδομών που δημιούργησε η βιομηχανία άνθρακα στην περιοχή τους και παράλληλα, να αναζητήσουν εναλλακτικούς τρόπους αξιοποίησης του άνθρακα σε μη ενεργειακές χρήσεις, χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Η εργαλειοθήκη εστιάζει σε τέσσερις βασικούς τομείς προτεραιότητας οι οποίοι θεωρούνται τεχνολογικά εφικτοί και παράλληλα, συνεισφέρουν στην απαίτηση για μια κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη μέχρι το 2050 (Σχήμα 2).

Αναλυτικότερα, ενδεικτικές δράσεις των τομέων προτεραιότητας που προτείνονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και αφορούν τις περιφέρειες με υψηλή εξάρτηση από τα στερεά ορυκτά καύσιμα, έχουν ως ακολούθως:

Αλλαγή χρήσης των ανθρακικών/λιγνιτικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής

Οι προτεινόμενες δράσεις στοχεύουν στην αξιοποίηση των προς απόσυρση ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων και των περιφερειακών τους υποδομών:

- Αξιοποίηση των λιγνιτικών μονάδων ως συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

- Μετατροπή τους σε μονάδες καύσης φυσικού αερίου ή βιομάζας
- Χρήση ως data center ή/και βιομηχανικά πάρκα εγκατάστασης νέων τεχνολογιών
- Αξιοποίηση ως επισκέψιμοι πολυχώροι βιομηχανικής κληρονομιάς πολλαπλών χρήσεων

Προφανώς, η επιλογή του κατάλληλου τρόπου χρήσης ή αξιοποίησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και θα πρέπει να προκύψει μέσα από ανάλυση σκοπιμότητας σε συνεργασία με τις τοπικές κοινωνίες.

***Σχήμα 2**: Τομείς προτεραιότητας για τις ανθρακοφόρες περιφέρειες της ΕΕ*

Οικονομία Υδρογόνου

Το υδρογόνο αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο μελλοντικό ενεργειακό σύστημα αλλά, λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής η χρήση του περιορίζεται σε συγκεκριμένες εφαρμογές, στις οποίες δεν περιλαμβάνεται η ηλεκτροπαραγωγή.

Η εργαλειοθήκη προτρέπει τις λιγνιτοφόρες περιφέρειες να αναπτύξουν άμεσα Περιφερειακές Στρατηγικές Υδρογόνου, λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένα ερωτήματα:

- Πόση θα είναι ποσοτικά η ζήτηση υδρογόνου ανά Περιφέρεια Μετάβασης
- Ποιες είναι οι δυνατότητες παραγωγής καθαρού υδρογόνου σε κάθε Περιφέρεια
- Πως θα αναπτυχθεί η μελλοντική υποδομή υδρογόνου ανά περιοχή

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, μέχρι το 2030 οι επενδύσεις σε μονάδες ηλεκτρόλυσης θα κυμαίνονται μεταξύ 24 και 42 δις ευρώ, ενώ θα απαιτηθούν επιπλέον επενδύσεις 65 δισ. ευρώ για σταθμούς μεταφοράς, διανομής, αποθήκευσης και ανεφοδιασμού υδρογόνου (woodmac, 2020).

Απανθρακοποίηση ενεργοβόρων βιομηχανιών

Αφορά λιγνιτοφόρες περιφέρειες που φιλοξενούν βαριά βιομηχανία με ιδιαίτερα ενεργοβόρες απαιτήσεις όπως η χαλυβουργία και προφανώς δεν είναι η περίπτωση της Δυτικής Μακεδονίας.

Μη ενεργειακές χρήσεις άνθρακα/λιγνίτη

Υπάρχει ένα διαφοροποιημένο πεδίο έρευνας και πιλοτικών έργων σχετικά με τη χρήση άνθρακα ως πρώτη ύλη για νέες τεχνολογίες, όπως:

- Ίνες άνθρακα
- Ηλεκτρόδια άνθρακα
- Νανοϋλικά
- Χρήση του άνθρακα/λιγνίτη ως λίπασμα για τη γεωργία

Πέρα από τη χρήση του άνθρακα και του λιγνίτη στη γεωργία, η μετατροπή του σε ένα ευρύ φάσμα ενεργειακών, χημικών και φαρμακευτικών προϊόντων μέσω της αεριοποίησης, είναι εμπορικά διαθέσιμη αλλά συνοδεύεται από την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα.

Παράλληλα, αναδύονται συνεχώς τεχνολογίες με υψηλές προοπτικές για το μέλλον οι οποίες βρίσκονται σε στάδιο ωρίμανσης και απευθύνονται σε εξειδικευμένες αγορές. Οι τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνουν την ανάκτηση σπάνιων γαιών για χρήση στη βιομηχανία συσσωρευτών, την παραγωγή ανθρακονημάτων νέας γενιάς και τα προϊόντα γραφενίου.

Κατά συνέπεια, οι επιλογές έξω-ηλεκτρικής χρήσης του λιγνίτη πρέπει να εξεταστούν ιδιαιτέρως προσεκτικά και να τεκμηριώνουν τη βιωσιμότητα της εξορυκτικής δραστηριότητας των συγκεκριμένων περιφερειών σε μακροπρόθεσμο επίπεδο.

3.3 Τεχνολογικές επιλογές για τη Δυτική Μακεδονία: πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εναλλακτικών προτάσεων

Η παρουσίαση των στοιχείων που παρατέθηκαν προηγούμενα προκειμένου να τεκμηριωθεί η σκοπιμότητα αξιοποίησης του εγχώριου λιγνίτη σε προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας, συνοψίζεται στους επόμενους πίνακες με τη μορφή ανάλυσης Δυνατοτήτων (**S**trengths), Αδυναμιών (**W**eaknesses), Ευκαιριών (**O**pportunities) και Απειλών (**T**hreats): **SWOT Analysis**. Η ανάλυση εξετάζει χωριστά τις παρακάτω τεχνολογίες εξω-ηλεκτρικής αξιοποίησης του λιγνίτη:

1. Παραγωγή υγρών και αερίων καυσίμων και Α' υλών για τη Χημική Βιομηχανία
2. Ανάκτηση Σπάνιων Γαιών
3. Παραγωγή ενεργού άνθρακα
4. Παραγωγή νανοϋλικών γραφενίου
5. Ανάπτυξη αγροτεχνολογιών με χρήση λιγνίτη
6. Παραγωγή υδρογόνου
7. Παραγωγή Α' υλών και προϊόντων του τομέα δομικών κατασκευών

Η εξέταση των παραπάνω εξω-ηλεκτρικών χρήσεων του λιγνίτη έλαβε υπόψη την αναμενόμενη επίδραση καθεμιάς σε όλες τις συνιστώσες του περιβάλλοντος, με τη διευρυμένη έννοια του:

- Κοινωνία
- Οικονομία και απασχόληση
- Φυσικό περιβάλλον και ποιότητα ζωής

Όπως κάθε ανάλυση SWOT, αναλύθηκε τόσο το εσωτερικό περιβάλλον (Δυνατότητες και Αδυναμίες) κάθε εξω-ηλεκτρικής χρήσης, όσο και το εξωτερικό περιβάλλον (Ευκαιρίες και Απειλές). Οι ιδιαιτερότητες στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν οι εξής:

- Σε ότι αφορά το εσωτερικό περιβάλλον, ότι η κάθε εξω-ηλεκτρική χρήση μπορεί να εφαρμοστεί με δεκάδες διαφορετικές μεθόδους και τεχνικές που διαφοροποιούν κρίσιμα χαρακτηριστικά, όπως το κόστος ή τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι διαφορές στα χαρακτηριστικά αυτά πρέπει να συνεκτιμηθούν στη λήψη οποιασδήποτε απόφασης.
- Σε ότι αφορά το εξωτερικό περιβάλλον, ότι η μονοδιάστατη ανάπτυξη με κεντρικό πυλώνα την ενεργειακή βιομηχανία, η οποία κυριαρχεί στην περιοχή για τουλάχιστον 5 δεκαετίες, έχει αναστείλει την οικονομική δραστηριότητα σε επίπεδο μικρομεσαίων επιχειρήσεων και έχει επαυξήσει την εξάρτηση από το κράτος.

Ακολούθως παρουσιάζονται υπό μορφή πίνακα τα χαρακτηριστικά του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος (ανάλυση SWOT) των επτά προτεινομένων τεχνολογιών εξω-ηλεκτρικής αξιοποίησης του λιγνίτη και στη συνέχεια παρατίθενται κάποια σύντομα σχόλια.

1. Παραγωγή Α' Υλών για τη Χημική Βιομηχανία (Αεριοποίηση - Υγροποίηση)

	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Εσωτερικό περιβάλλον	**Δυνατότητες/Strengths** • Παραγωγή συνδυασμού προϊόντων για ποικίλες χρήσεις • Ικανά σε μέγεθος κοιτάσματα λιγνίτη στη Δυτική Μακεδονία • Αυξημένος βαθμός απόδοσης στην παραγωγή ενέργειας • Μειωμένες εκπομπές σε σχέση με τις συμβατικές λιγνιτικές μονάδες παραγωγής ενέργειας • Περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (in-situ αεριοποίηση)	**Αδυναμίες/Weaknesses** • Υψηλό κόστος επένδυσης • Χωρίς την παραγωγή ενέργειας, τα υπόλοιπα προϊόντα είναι δύσκολο να στηρίξουν την βιωσιμότητα της επένδυσης • Έλλειψη τεχνογνωσίας σε τοπικό επίπεδο • Ελλιπής διερεύνηση της καταλληλότητας του ελληνικού λιγνίτη για αεριοποίηση, υγροποίηση, κλπ. • Εκτός του υφιστάμενου σχεδιασμού ενεργειακής μετάβασης για τη Δυτική Μακεδονία
Εξωτερικό περιβάλλον	**Ευκαιρίες/Opportunities** • Ώριμη τεχνολογία - δυνατότητα μεταφοράς τεχνογνωσίας (αεριοποίηση) • Πληθώρα εφαρμογών εμπορικής κλίμακας παγκοσμίως • Δυνατότητα συμβίωσης με άλλους βιομηχανικούς κλάδους • Δυνατότητα συνεργασίας με συστήματα διαχείρισης αποβλήτων • Δημιουργία μεγάλου αριθμού θέσεων εργασίας	**Απειλές/Threats** • Τα ίδια προϊόντα μπορούν να παραχθούν με άλλες Α' ύλες, με διαδικασίες χαμηλού κόστους • Μεγάλη προσφορά & ανταγωνισμός από αναπτυσσόμενες χώρες (υγροποίηση) • Εξάρτηση από τις διακιμάνσεις των τιμών πετρελαίου • Επιβάρυνση με κόστος εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα • Τεχνολογία που δεν βρίσκεται σε πλήρη ωριμότητα (in-situ αεριοποίηση)

	2. Σπάνιες Γαίες (ΣΓ)	
	Πλεονεκτήματα	**Μειονεκτήματα**
Εσωτερικό περιβάλλον	**Δυνατότητες/Strengths** • Ευκολότερη ανάκτηση ΣΓ από τους λιγνίτες σε σχέση με τους λιθάνθρακες • Ικανά σε μέγεθος κοιτάσματα λιγνίτη στη Δυτική Μακεδονία • Ύπαρξη αποθέσεων τέφρας με πιθανά αυξημένη περιεκτικότητα ΣΓ • Σε εξέλιξη έρευνα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας	**Αδυναμίες/Weaknesses** • Δεν υπάρχει εμπορική μέθοδος ανάκτησης ΣΓ από λιγνίτες και παραπροϊόντα τους • Η ανάκτηση ΣΓ από τέφρα είναι δυσχερέστερη • Έλλειψη τεχνογνωσίας σε τοπικό επίπεδο • Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανάλογες με την εξόρυξη και επεξεργασία μετάλλων
Εξωτερικό περιβάλλον	**Ευκαιρίες/Opportunities** • Μικρός αριθμός κοιτασμάτων ΣΓ σε όλο τον κόσμο με υψηλές συγκεντρώσεις • Τεράστια ζήτηση από την παγκόσμια αγορά • Πολύ υψηλές τιμές πώλησης • Πιθανά να προκύψει διεθνές ενδιαφέρον για την ανάκτηση ΣΓ από ελληνικά κοιτάσματα λιγνίτη • Σε εξέλιξη μεγάλος αριθμός ερευνών (κυρίως στις ΗΠΑ) για την οικονομική ανάκτηση ΣΓ	**Απειλές/Threats** • Προσπάθεια της Κίνας να ελέγξει την παγκόσμια παραγωγή και τις τιμές • Παραγωγή ΣΓ από αναπτυσσόμενες χώρες με χαμηλό κόστος • Υψηλό κόστος ανάκτησης • Εντατική έρευνα για την ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων ΣΓ σε όλο τον κόσμο • Εντατική έρευνα για την ανάκτηση ΣΓ από ανακυκλώσιμα προϊόντα

	3. Ενεργός Άνθρακας	
	Πλεονεκτήματα	**Μειονεκτήματα**
Εσωτερικό περιβάλλον	**Δυνατότητες/Strengths** • Παραγωγή συνδυασμού προϊόντων για ποικίλες χρήσεις σε διαφορετικούς τομείς • Ικανά σε μέγεθος κοιτάσματα λιγνίτη στη Δυτική Μακεδονία • Αυξημένη προστιθέμενη αξία • Ανταγωνιστικό κόστος παραγωγής λόγω της χαμηλής τιμής του λιγνίτη • Χαμηλού κόστους παραγωγή από το λιγνίτη με τη μέθοδο της χημικής ενεργοποίησης	**Αδυναμίες/Weaknesses** • Αυξημένο κόστος επένδυσης • Απαίτηση εφαρμογής ειδικών διατάξεων για τον περιορισμό της ρύπανσης • Έλλειψη τεχνογνωσίας σε τοπικό επίπεδο
Εξωτερικό περιβάλλον	**Ευκαιρίες/Opportunities** • Ώριμη τεχνολογία - δυνατότητα μεταφοράς τεχνογνωσίας • Μεγάλη αγορά προϊόντων ενεργού άνθρακα σε διαφορετικούς παραγωγικούς κλάδους • Αναμένεται αύξηση ζήτησης λόγω αυστηρών περιβαλλοντικών κανονισμών • Αναμένεται αύξηση ζήτησης λόγω ευαισθητοποίησης καταναλωτών σε αναπτυσσόμενες χώρες • Αναμένεται αύξηση ζήτησης λόγω μείωσης καθαρών πηγών νερού	**Απειλές/Threats** • Φίλτρα και άλλα προϊόντα μπορούν να παραχθούν χωρίς ενεργό άνθρακα • Ενεργός άνθρακας μπορεί να παραχθεί από άλλες Α' ύλες εκτός του λιγνίτη (π.χ. κέλυφος καρύδας) • Ανταγωνισμός από χώρες με χαμηλό κόστος παραγωγής στην Ασία και τον Ειρηνικό • Ύπαρξη ισχυρών παικτών στη διεθνή αγορά που δυσχεραίνουν τον ανταγωνισμό • Διεξαγωγή έρευνας για επαναενεργοποίηση χρησιμοποιημένου ένεργου άνθρακα

	4. Νανοϋλικά – Γραφένιο	
	Πλεονεκτήματα	**Μειονεκτήματα**
Εσωτερικό περιβάλλον	**Δυνατότητες/Strengths** • Υψηλή προστιθέμενη αξία • Ύπαρξη ευρεσιτεχνίας Ελλήνων επιστημόνων για την παραγωγή γραφενίου με περιβαλλοντικά φιλική μέθοδο • Δυνατότητα ταυτόχρονης παραγωγής άλλων προϊόντων (χουμικά οξέα, προσροφητικά υλικά) • Τεχνολογική υπεροχή έναντι των ανθρακονημάτων και άλλων συνθετικών υλικών • Δυνατότητα παραγωγής γραφενίου υψηλής καθαρότητας από λιγνίτη	**Αδυναμίες/Weaknesses** • Υψηλό κόστος ανάπτυξης και παραγωγής • Η ύπαρξη κοιτασμάτων λιγνίτη τοπικά δεν προσδίδει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα • Τεχνολογία που δεν έχει φτάσει σε πλήρη βαθμό ωριμότητας • Έλλειψη καταρτισμένου προσωπικού • Ιδιότητες (π.χ. υψηλή αγωγιμότητα) που δεν έχουν γίνει ακόμα πλήρως αξιοποιήσιμες
Εξωτερικό περιβάλλον	**Ευκαιρίες/Opportunities** • Αποτελεί πεδίο έρευνας για εκατοντάδες επιστήμονες σε όλο τον κόσμο • Μεγάλο εύρος εφαρμογών υψηλής τεχνολογίας • Δυνατότητα ανάπτυξης επιχειρήσεων υψηλής τεχνολογίας • Διαφορετικές τεχνικές παραγωγής γραφενίου, αυξημένη πιθανότητα εύρεσης της πλέον κατάλληλης για τον λιγνίτη	**Απειλές/Threats** • Περιβαλλοντικά προβλήματα που δεν έχουν ακόμα επιλυθεί • Ανταγωνισμός από κορυφαίες εταιρείες σε παγκόσμια κλίμακα (Intel, BASF, Samsung) • Η παραγωγή γραφενίου από γραφίτη βρίσκεται σε πιο προχωρημένο τεχνολογικά επίπεδο • Έλλειψη τυποποίησης των ιδιοτήτων των παραγώμενων προϊόντων • Ανταγωνισμός από εταιρείες παραγωγής γραφενίου της Κίνας

5. Εδαφοβελτιωτικά - Οργανικά Λιπάσματα

	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Εσωτερικό περιβάλλον	**Δυνατότητες/Strengths** • Ύπαρξη κοιτασμάτων με ευνοϊκά ποιοτικά χαρακτηριστικά • Παραγωγική διαδικασία που απαιτεί τεχνολογία συμβατή με τις δεξιότητες του τοπικού ανθρώπινου δυναμικού • Δυνατότητα αξιοποίησης κοιτασμάτων της Δυτικής Μακεδονίας με περιορισμένα αποθέματα • Δυνατότητα αξιοποίησης κοιτασμάτων με ποιοτικά χαρακτηριστικά ακατάλληλα για καύση • Υλικό με χαμηλή προστιθέμενη αξία - η παραγωγή κοντά στον τόπο κατανάλωσης δίνει πλεονέκτημα κόστους	**Αδυναμίες/Weaknesses** • Έλλειψη εταιρειών του κλάδου σε τοπικό επίπεδο • Ανάγκη δημιουργίας εμπορικού δικτύου • Αρνητική προδιάθεση φορέων μετά την πτώχευση της ΑΕΒΑΛ
Εξωτερικό περιβάλλον	**Ευκαιρίες/Opportunities** • Ώριμη τεχνολογία - δυνατότητα μεταφοράς τεχνογνωσίας • Εν δυνάμει αγορά μεγάλων ποσοτήτων λιγνίτη • Αναμένεται αύξηση ζήτησης λόγω κανονιστικών περιορισμών στη χρήση λιπασμάτων (νιτρορύπανση) • Αναμένεται αύξηση ζήτησης λόγω υποβάθμισης εδαφών εντατικών καλλιεργειών στη χώρα μας - • Ευκαιρία για συνέργειες με άλλες παραγωγικές δραστηριότητες	**Απειλές/Threats** • Ισχυρό lobbing από εισαγωγικές εταιρείες του κλάδου αγροτικών εφοδίων • Δυνατότητα ανάπτυξης σε μικρά λιγνιτικά κοιτάσματα εκτός Δυτικής Μακεδονίας • Ανταγωνισμός προερχόμενος από γειτονικές χώρες: Τουρκία, Αίγυπτος

	6. Υδρογόνο	
	Πλεονεκτήματα	**Μειονεκτήματα**
Εσωτερικό περιβάλλον	**Δυνατότητες/Strengths** • Το υδρογόνο ως καύσιμο δεν εκλύει κατά την καύση του διοξείδιο του άνθρακα • Το υδρογόνο μπορεί να αξιοποιηθεί σε πολλές χρήσεις • Η παραγωγή υδρογόνου από λιγνίτη είναι πιο αποδοτική σε σχέση με τους λιθάνθρακες • Άμεσες θέσεις εργασίας σε τοπικό επίπεδο • Συνεισφορά στην προσπάθεια ενεργειακής μετάβασης σε οικονομία μηδενικών ρύπων	**Αδυναμίες/Weaknesses** • Διαδικασία παραγωγής που απαιτεί προηγμένα συστήματα ασφαλείας έναντι ατυχημάτων • Η παραγωγή υδρογόνου από λιγνίτη παράγει περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα σε σχέση με το φυσικό αέριο • Έλλειψη τεχνολογίας και τεχνογνωσίας σε τοπικό επίπεδο • Η παραγωγή υδρογόνου από λιγνίτη δεν θεωρείται βιώσιμη τεχνολογία σε βάθος χρόνου με βάση της στρατηγική της Ε.Ε.
Εξωτερικό περιβάλλον	**Ευκαιρίες/Opportunities** • Αναμενόμενη υψηλή ζήτηση στο μέλλον • Ώριμη τεχνολογία - δυνατότητα μεταφοράς τεχνογνωσίας • Έλξη επενδύσεων έντασης κεφαλαίου • Ύπαρξη πολλών και ποιοτικών μελετών σε διεθνές επίπεδο • Δυνατότητα εφαρμογής τεχνολογιών δέσμευσης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα	**Απειλές/Threats** • Το κόστος παραγωγής υδρογόνου από ΑΠΕ είναι υψηλό αλλά αναμένεται στο μέλλον να μειωθεί • Η ενεγρειακή πολιτική της Ε.Ε. δίνει έμφαση στην παραγωγή πράσινου υδρογόνου

7. Υλικά Δομικών Κατασκευών από Παραπροϊόντα Καύσης και Άγονα Υλικά

	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Εσωτερικό περιβάλλον	**Δυνατότητες/Strengths** • Διαθέσιμη τεχνολογία για την παραγωγή μεγάλου εύρους δομικών υλικών • Παραγωγική διαδικασία που απαιτεί τεχνολογία συμβατή με τις δεξιότητες του τοπικού ανθρώπινου δυναμικού • Δυνατότητα αξιοποίησης Α' υλών και παραπροϊόντων από πολλαπλές πηγές: τέφρα, άγονα, μονάδες σύνκαυσης • Δυνατότητα συμβίωσης με τη βιομηχανία παραγωγής θερμότητας και/ή ηλεκτρισμού • Άριστο περιβαλλοντικό αποτύπωμα: κυκλική οικονομία, εξοικονόμηση ορυκτών πόρων, μείωση εξορύξεων	**Αδυναμίες/Weaknesses** • Απουσία τεκμηρίωσης τεχνολογικών και οικονομικών οφελών • Έλλειψη επαρκούς πληροφόρησης για την αξιοποίηση παραπροϊόντων από την εγχώρια αγορά • Έλλειψη τοπικών επιχειρήσεων με αντικείμενο δραστηριότητας την εκμετάλλευση των παραπροϊόντων • Πιθανή μείωση της διαθέσιμης ποσότητας Α' ύλης λόγω διακοπής λειτουργίας των ΑΗΣ • Απουσία τεκμηρίωσης ανάλυσης κόστους οφέλους
Εξωτερικό περιβάλλον	**Ευκαιρίες/Opportunities** • Μεγάλη ζήτηση από βιομηχανίες και στην κατασκευή μεγάλων έργων σε Ελλάδα και εξωτερικό • Ανάπτυξη επιχειρήσεων με εξαγωγικό προσανατολισμό σε γειτονικές χώρες (Βόρεια Αφρική, Μέση Ανατολή, Βαλκάνια) • Ύπαρξη τεχνικών προδιαγραφών (τέφρα) • Ύπαρξη άδειας κυκλοφορίας της τέφρας εντός Ε.Ε. σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό κανονισμό REACH • Πληθώρα μελετών αξιοποίησης παραπροϊόντων από την ΔΕΗ, Πανεπιστημιακά ιδρύματα και Ερευνητικά κέντρα	**Απειλές/Threats** • Σύγκρουση συμφερόντων με άλλους βιομηχανικούς κλάδους • Απουσία αδειοδότησης χρήσης παραπροϊόντων ώστε να καταστούν εμπορεύσιμα • Έλλειψη εμπορικού ενδιαφέροντος από μικρομεσαίες επιχειρήσεις του κλάδου δομικών κατασκευών • Μεγάλη προσφορά παραπροϊόντων & ανταγωνισμός από τρίτες χώρες • Έλλειψη άδειας κυκλοφορίας εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης (πλην τέφρας) σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό κανονισμό REACH

Από την ανάλυση SWOT προκύπτουν τα ακόλουθα ευρήματα:

- Οι επτά τεχνολογίες εξω-ηλεκτρικής αξιοποίησης του λιγνίτη παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό τεχνολογικής ωριμότητας. Για κάποιες από αυτές η εφαρμογή τους σε βιομηχανική κλίμακα έχει ιστορία δεκαετιών (π.χ. αεριοποίηση, παραγωγή εδαφοβελτιωτικών) ενώ άλλες δεν έχουν φτάσει ακόμα να είναι οικονομικά βιώσιμες (π.χ. ανάκτηση σπάνιων γαιών).
- Το μέχρι σήμερα υποτονικό ενδιαφέρον του επιχειρηματικού τομέα για την εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών στην Ελλάδα εν μέρει μπορεί να οφείλεται στις γνωστές αγκυλώσεις του κρατικού μηχανισμού, επηρεάζεται όμως καθοριστικά και από διάφορα εγγενή μειονεκτήματα των τεχνολογιών. Για παράδειγμα, η αεριοποίηση, η υγροποίηση, η παραγωγή εδαφοβελτιωτικών και ενεργού άνθρακα από λιγνίτη έχει να ανταγωνιστεί τεχνολογίες παραγωγής ισοδύναμων και πιθανά καλύτερων ποιοτικά προϊόντων με σημαντικά χαμηλότερο κόστος. Επιπλέον, η παραγωγή εδαφοβελτιωτικών και δομικών υλικών έρχεται αντιμέτωπη με κλάδους οικονομικής δραστηριότητας που διαθέτουν ισχυρό lobbing και είναι σε θέση να επηρεάζουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, όπως η εμπορία αγροεφοδίων και η τσιμεντοβιομηχανία.
- Σε ότι αφορά την παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας, όπως το γραφένιο και ο ενεργός άνθρακας, η σκληρή πραγματικότητα είναι ότι η ύπαρξη μεγάλων κοιτασμάτων δεν προσθέτει κανένα πλεονέκτημα στη Δυτική Μακεδονία. Οι ποσότητες που απαιτούνται ως Α' ύλη, ειδικά για την παραγωγή γραφενίου, είναι τόσο μικρές που ουσιαστικά δεν αποτελεί πρόβλημα να μεταφερθούν από τη μία στην άλλη άκρη της γης. Για το λόγο αυτό πρέπει να αναζητηθούν άλλα πλεονεκτήματα προκειμένου να προχωρήσει στη χώρα μας η ανάπτυξη των συγκεκριμένων τεχνολογιών, τα οποία θα αφορούν την ποιοτική - τεχνολογική υπεροχή και το χαμηλό κόστος παραγωγής τους.
- Το νομικό και κανονιστικό πλαίσιο μπορεί επίσης να αποβεί καθοριστικό υπέρ της μιας ή της άλλης τεχνολογίας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση παίρνει σαφώς θέση υπέρ της παραγωγής υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και επιβαρύνει με την υποχρέωση αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ενεργειακές τεχνολογίες που βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, η έλλειψη τεχνικών προδιαγραφών μπορεί να περιορίζει το εύρος εφαρμογών των παραπροϊόντων της καύσης του λιγνίτη στις δομικές κατασκευές. Τέλος, η μη συμπερίληψη των τεχνολογιών αυτών στο χωροταξικό σχεδιασμό που εκπονείται για την Περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας μπορεί να δημιουργήσει εμπόδια για την ανάπτυξή τους στο μέλλον.
- Από όλα τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η αξιοποίηση των εξω-ηλεκτρικών χρήσεων του ελληνικού λιγνίτη δεν αποτελεί επένδυση μηδενικού ρίσκου. Για το λόγο αυτό πρέπει να τύχει υποστήριξης από όλους του αναπτυξιακούς μηχανισμούς που στοχεύουν στη δίκαιη

ενεργειακή μετάβαση της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας. Η υποστήριξη αυτή οφείλει να καλύψει:

- Την προώθηση της επιστημονικής έρευνας για (α) την αποτίμηση της αξίας του λιγνίτη και των παραπροϊόντων για κάθε διαφορετική εξω-ηλεκτρική χρήση, (β) την απόκτηση τεχνολογικού πλεονεκτήματος,
- Την κάλυψη του επιχειρηματικού ρίσκου των τοπικών επιχειρήσεων που θελήσουν να εμπλακούν αλλά και την προσέλκυση επενδύσεων από επιχειρήσεις εκτός της Περιφέρειας.

3.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εναλλακτικών τεχνολογιών

Στην παρούσα παράγραφο επιχειρείται μια σύντομη αναφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με τις εξω-ηλεκτρικές χρήσεις του λιγνίτη που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη. Η εκτίμηση αυτή λαμβάνει υπόψη τα γεωμορφολογικά και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της Δυτικής Μακεδονίας, καθώς και τις υφιστάμενες δραστηριότητες (ορυχεία, ατμοηλεκτρικοί σταθμοί, κλπ.) που έχουν διαμορφώσει μια δεδομένη κατάσταση σε ότι αφορά τις διαφορετικές συνιστώσες του περιβάλλοντος: έδαφος και υπέδαφος, επιφανειακά και υπόγεια νερά, ατμόσφαιρα, χλωρίδα και πανίδα.

Επιπλέον, η αναφορά αυτή εστιάζει στις επιπτώσεις που συνδέονται με την δραστηριότητα που θα λάβει χώρα στην ευρύτερη περιοχή της λιγνιτοφόρου λεκάνης Φλώρινας – Πτολεμαΐδας - Κοζάνης, σε περίπτωση που αναπτυχθεί η καθεμιά από τις εξεταζόμενες τεχνολογίες. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση των παραγόμενων προϊόντων κάθε τεχνολογίας, στο βαθμό που αυτή πραγματοποιείται εκτός των ορίων της Δυτικής Μακεδονίας, δεν αφορά την παρούσα ανάλυση.

Με βάση τα παραπάνω, για τη καθεμιά από τις 7 εξεταζόμενες τεχνολογίες εξω-ηλεκτρικής αξιοποίησης του λιγνίτη επισημαίνονται τα ακόλουθα στοιχεία:

Παραγωγή υγρών και αερίων καυσίμων και Α' υλών για τη Χημική Βιομηχανία

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την αεριοποίηση και υγροποίηση του λιγνίτη είναι αντίστοιχες αυτών μιας βιομηχανικής εγκατάστασης που επεξεργάζεται και αποθηκεύει υγρά και αέρια καύσιμα. Κατά συνέπεια, οι εν δυνάμει επιπτώσεις στο έδαφος, το νερό και την ατμόσφαιρα είναι σημαντικές, ειδικά σε περίπτωση που συμβεί κάποιο μεγάλης έκτασης ατύχημα. Ταυτόχρονα, όμως, είναι γνωστές οι διατάξεις ασφαλείας και όλα τα υπόλοιπα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται για τον αποτελεσματικό περιορισμό της ρύπανσης και της ελαχιστοποίηση της πιθανότητας ατυχήματος.

Η *in situ* αεριοποίηση του λιγνίτη διαφοροποιείται σημαντικά και ως προς τις προκαλούμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με την κλασσική μέθοδο αεριοποίησης, αφού η έκταση των εγκαταστάσεων επιφανείας είναι πολύ περιορισμένη, όπως και η διαφυγή οξειδίων του θείου και του αζώτου προς την

ατμόσφαιρα, ενώ δεν υπάρχει εξόρυξη του λιγνίτη και κατ' επέκταση όλες οι επιπτώσεις που συνδέονται με τη λειτουργία ενός υπαίθριου ορυχείου. Όμως, οι επιπτώσεις στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα μπορεί να είναι σημαντικές.

Πέρα των παραπάνω, επιβάλλεται να αναφερθεί ότι οι συγκεκριμένες τεχνολογίες πλήττονται σε σημαντικό βαθμό από τις ευρωπαϊκές οδηγίες για τη μείωση των εκπομπών CO2 από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, την αυξανόμενη ευαισθησία των πολιτών γύρω από θέματα περιβάλλοντος και δημόσιας υγείας, την εισαγωγή φυσικού αερίου και τη ραγδαία μείωση του κόστους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Όλοι οι παραπάνω λόγοι επιτάσσουν τον περιορισμό της χρήσης του λιγνίτη για ενεργειακούς σκοπούς. Χαρακτηριστικά αναφέρεται μια μέθοδος που γνωρίζει πολλές εφαρμογές στο εξωτερικό, αυτή της αεριοποίησης του άνθρακα (λιγνίτη) με σκοπό την παραγωγή αερίου σύνθεσης (syngas) που στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή πολυμερών. Η συγκεκριμένη μέθοδος που θεωρείται αρκετά σύνθετη και κοστοβόρα, παράγει περισσότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με αντίστοιχες μεθόδους απευθείας παραγωγής αερίου πολυμερισμού.

Ανάκτηση Σπάνιων Γαιών

Η παραγωγή σπάνιων γαιών θα βασιστεί είτε στη συνέχιση της λειτουργίας των ορυχείων, ώστε να εξορύσσονται πετρώματα που τις περιέχουν σε εκμεταλλεύσιμες συγκεντρώσεις, είτε στην ανάκτησή τους από τα παραπροϊόντα της καύσης του λιγνίτη που έχουν ήδη αποτεθεί εντός των ορυχείων ή που θα παράγονται από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, εφόσον αυτοί συνεχίζουν να λειτουργούν.

Κατά συνέπεια, η παραγωγή σπάνιων γαιών συνεπάγεται μια σειρά περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνοδεύουν τα έργα υπαίθριας εκμετάλλευσης ορυχείων. Επιπρόσθετα, η αύξηση της περιεκτικότητας των σπάνιων γαιών στο εμπορεύσιμο συμπύκνωμα προϋποθέτει την εφαρμογή μηχανικών και ηλεκτροχημικών διεργασιών, οι οποίες για να επιτευχθούν απαιτούν τη χρήση επιβλαβών χημικών ουσιών για το περιβάλλον και τεράστιες ποσότητες νερού και ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτέλεσμα αυτών των διεργασιών είναι να εκλύονται μεγάλα ποσά θερμότητας και να αποβάλλονται χιλιάδες τόνοι αποβλήτων στο περιβάλλον.

Τα ορυχεία εξόρυξης σπάνιων γαιών σε όλο τον κόσμο περιέχουν συνήθως όλες τις σπάνιες γαίες σε διάφορες περιεκτικότητες. Συχνά, οι σπάνιες γαίες φιλοξενούνται σε πετρώματα που περιλαμβάνουν ραδιενεργά στοιχεία, όπως το Θόριο και το Ουράνιο, με αποτέλεσμα τόσο την επιβάρυνση του περιβάλλοντος στην ευρύτερη περιοχή του χώρων εξόρυξης με ραδιονουκλίδια, όσο και την παραγωγή λημμάτων που αποβάλλονται στο περιβάλλον κατά τις διεργασίες εμπλουτισμού, τα οποία επίσης περιέχουν ραδιενεργά στοιχεία. Υπάρχουν περιοχές (Κίνα, Μαλαισία) όπου αυτού του είδους η εξορυκτική δραστηριότητα προκάλεσε σοβαρά προβλήματα στο οικοσύστημα και τον άνθρωπο, λόγω της επιβάρυνσης του νερού και του αέρα με επικίνδυνα ραδιενεργά απόβλητα.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει παγκόσμια μια τάση οργάνωσης των εξορύξεων με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην υπάρχει έντονη επιβάρυνση του περιβάλλοντος (Κατσικάρης, 2012). Παρόλα αυτά, η χαμηλή περιεκτικότητα των λιγνιτικών κοιτασμάτων της Δυτικής Μακεδονίας σε ραδιενεργά στοιχεία μπορεί να αποτελέσει περιβαλλοντικό πλεονέκτημα για την αξιοποίησή τους στην ανάκτηση σπάνιων γαιών.

Παραγωγή ενεργού άνθρακα

Ο λιγνίτης έχει χρησιμοποιηθεί ερευνητικά με επιτυχία ως πρώτη ύλη για παραγωγή ενεργού άνθρακα, με τις τελικές κρίσιμες ιδιότητές του (κυρίως την ειδική επιφάνεια και τη συνεπακόλουθή του απόδοση ως φίλτρου καθαρισμού) να εξαρτώνται τόσο από τη μέθοδο επεξεργασίας, όσο και από τα αρχικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη. Ο ενεργός άνθρακας από λιγνίτη είναι περισσότερο αποτελεσματικός στη συγκράτηση βαρέων μετάλλων. Ωστόσο, η παραγωγική διαδικασία παράγει μια σειρά από ρύπους που επιβάλουν τη λήψη μέτρων για τη δέσμευσή τους. Οι αέριες εκπομπές περιέχουν σε τάξη μεγέθους από 0,1 έως 10 μέρη στο εκατομμύριο (ppm) μεταλλικά στοιχεία, όπως χρώμιο, αρσενικό, νικέλιο, μαγγάνιο, κάδμιο, κλπ. καθώς και οργανικές ενώσεις.

Ενδιαφέρον έχει η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ των μεθόδων παραγωγής ενεργού άνθρακα με βάση τους γαιάνθρακες και με βάση Α' ύλες οργανικής προέλευσης. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι, για την παραγωγή ενός κιλού ενεργού άνθρακα στη μεν πρώτη περίπτωση καταναλώνονται 3 κιλά λιθάνθρακα και 12 κιλά νερού στη δε δεύτερη 2,11 κιλά βιοκάρβουνου και 2,2 κιλά νερού, ενώ η έκλυση διοξειδίου του άνθρακα είναι 8,52 και 1,81 κιλά, αντίστοιχα (Gu, 2017). Τα στοιχεία αυτά δείχνουν το περιβαλλοντικό πλεονέκτημα της παραγωγής ενεργού άνθρακα από υπολείμματα βιομάζας, όπως οι καρύδες, σε χώρες που, ούτως ή άλλως, διαθέτουν χαμηλό κόστος παραγωγής.

Παραγωγή νανοϋλικών γραφενίου

Η παραγωγή γραφενίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες μεθόδους, πολλές από τις οποίες είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Κατά συνέπεια, δεν έχουν αναπτυχθεί πλήρως και οι λύσεις που μπορεί να εφαρμοστούν ώστε να ελεγχθούν με το βέλτιστο τρόπο οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους. Γενικά, η παραγωγή γραφενίου αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον λόγω ενεργειακής κατανάλωσης, παραγωγής υγρών αποβλήτων και έκλυσης επικίνδυνων ουσιών που ενδέχεται να δημιουργήσουν τοξικές συνθήκες στο περιβάλλον και να απειλήσουν την ανθρώπινη υγεία. Μελέτη των Arvidsson et al., 2014 έδειξε ότι η μέθοδος παραγωγής γραφενίου με επεξεργασία υπερήχων (ultrasonication) καταναλώνει λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τη μέθοδο της χημικής αναγωγής και παράγει περίπου 5 κυβικά μέτρα, έναντι 13 κυβικών μέτρων, υγρών αποβλήτων για κάθε κιλό παραγόμενου προϊόντος. Η τοξικότητά της, όμως, μετρούμενη ως human toxicity και eco-toxicity (CTU/kg) είναι μεγαλύτερη. Σε άλλη μελέτη των Arvidsson et al., 2018, με βάση μια ευρύτερη θεώρηση κύκλου ζωής, καταγράφηκαν μελέτες που αναφέρουν ότι η χρήση ενέργειας στην

παραγωγή γραφενίου είναι υψηλή, ξεπερνώντας τα 1000 MJ/kg για ορισμένες μεθόδους, όταν για την σχετικά ενεργοβόρα παραγωγή του αλουμίνιου απαιτούνται περίπου 200 MJ/kg.

Σε ότι αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις πέρα από την παραγωγική διαδικασία, οι Arvidsson et al., 2018 αναφέρουν αποτελέσματα μελέτης στην οποία φύλλα μερικών στρωμάτων γραφενίου πάχους μικρομέτρων μπόρεσαν να διεισδύσουν στις κυτταρικές μεμβράνες. Αυτό το τρύπημα των κυττάρων αποτελεί ένδειξη ότι το γραφένιο μπορεί να προκαλέσει βλάβη στους οργανισμούς. Σε κάθε περίπτωση, η σημερινή κατάσταση με το γραφένιο είναι ανάλογη της κατάστασης που αντιμετώπιζε η ανθρωπότητα 30 χρόνια πριν με πολλά χημικά και τα φαρμακευτικά προϊόντα, όταν δεν υπήρχε η βασική γνώση που υπάρχει σήμερα, αναφορικά με τις επιπτώσεις των υλικών αυτών στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Ανάπτυξη αγροτεχνολογιών με χρήση λιγνίτη

Ο λιγνίτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή οργανοχουμικών λιπασμάτων ή άλλων εδαφοβελτιωτικών σε περιοχές όπου υπάρχει ερημοποίηση ή ανάγκη για επανακαλλιέργεια λόγω της κλιματικής αλλαγής ή της καταστροφής του γόνιμου εδάφους που προκλήθηκε από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Η παραγωγή εδαφοβελτιωτικών, γενικά, δεν εγκυμονεί σημαντικούς κινδύνους για το περιβάλλον. Πέρα των επιπτώσεων που προκύπτουν από την εξορυκτική διαδικασία για την παραγωγή λιγνίτη, η επεξεργασία στη συνέχεια είναι κυρίως φυσική και αφορά τον έλεγχο της κοκκομετρίας μέσω θραύσης, κοσκίνισης, κλπ. και την ανάμιξη με άλλα υλικά προκειμένου να επιτευχθεί το σύνολο των επιθυμητών ιδιοτήτων στο τελικό προϊόν. Κατά συνέπεια, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις περιορίζονται στην δέσμευση εκτάσεων, την έκλυση σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και την επιβάρυνση των επιφανειακών απορροών από τις πλατείες Α' υλών και προϊόντων και τα υπόλοιπα τμήματα της εγκατάστασης με αιωρούμενα σωματίδια που πιθανά θα επηρεάσουν κάποιες φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού.

Στην περίπτωση παραγωγής οργανοχουμικών λιπασμάτων οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αυξημένες, ανάλογα με την επεξεργασία και τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται με σκοπό τη βελτίωση του τελικού προϊόντος. Κατά συνέπεια, είναι πολύ πιθανό να απαιτηθούν σύνθετα συστήματα για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και τη δέσμευση αερίων ρύπων.

Παραγωγή υδρογόνου

Ο γαιάνθρακας μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη για να παραχθεί υδρογόνο μέσω διαφόρων διεργασιών αεριοποίησης. Γενικά, η αεριοποίηση του γαιάνθρακα είναι μια διεργασία που μετατρέπει τον στοιχειακό άνθρακα σε ένα αέριο μίγμα που αποτελείται από H2, CO, CO2 και CH4. Η αντίδραση αυτή είναι ενδόθερμη και συνεπώς απαιτεί επιπλέον θερμότητα. Άρα, μια βασική

περιβαλλοντική επίπτωση συνδέεται με την ενέργεια που πρέπει να καταναλωθεί για την παραγωγή του υδρογόνου.

Επιπλέον, το τελικό προϊόν περιέχει σχετικά καθαρό CO2. Επομένως, με βάση τις ισχύουσες πολιτικές μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, για να αναπτυχθεί μια βιώσιμη τεχνολογία παραγωγής υδρογόνου πρέπει το CO2 να συλλέγεται και να αποθηκεύεται.

Η μεγάλης κλίμακας αποθήκευση υδρογόνου είναι κρίσιμη για την εξασφάλιση της αλυσίδας εφοδιασμού ενέργειας. Η υπόγεια αποθήκευση υδρογόνου έχει μεγάλες δυνατότητες να ξεπεράσει τις φυσικές χρονικές διακυμάνσεις που είναι εγγενείς στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, στην κλίμακα που απαιτείται για την επίτευξη του στόχου των μηδενικών εκπομπών έως το 2050. Η επιλογή των γεωλογικών μέσων για την αποθήκευση θα πρέπει να βασίζεται σε ολοκληρωμένη γεωλογική έρευνα, ανάλυση της ροής υδρογόνου σε υποθαλάσσιους σχηματισμούς κορεσμένους με νερό, εκτίμηση της χωρητικότητας αποθήκευσης, ασφάλεια της μακροπρόθεσμης αποθήκευσης, γεωχημικές και βιολογικές αντιδράσεις που προκαλούνται από την έγχυση υδρογόνου, γεωμηχανική απόκριση του υπεδάφους στην αποθήκευση υδρογόνου, κ.α.

Σε μακροχρόνιο ορίζοντα, δεδομένης της στόχευσης για περιορισμό των εκπομπών που συνδέονται με την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, για να διασφαλιστεί η παραγωγή καθαρού και πράσινου υδρογόνου, είναι ζωτικής σημασίας να γίνει αξιολόγηση των διαφόρων μεθόδων παραγωγής και των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων, καθώς και των επιλογών αποθήκευσης και χρήσης του υδρογόνου. Όπως προαναφέρθηκε, το υδρογόνο παράγεται είτε από ορυκτές είτε από ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Ωστόσο, κάθε μέθοδος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Πολλοί ερευνητές ισχυρίζονται ότι η τρέχουσα χρωματική κωδικοποίηση υδρογόνου είναι ανακριβής, αφού το πράσινο υδρογόνο δεν έχει πάντα χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα από το μπλε ή το γκρι υδρογόνο (Osman et al., 2021).

Η παραγωγή υδρογόνου με ηλεκτρόλυση του νερού είναι μια μέθοδος που αποκτά δυναμική. Ωστόσο, η ικανοποίηση της ζήτησης υδρογόνου θα απαιτήσει τεράστιες ποσότητες πρόσθετης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για να λειτουργήσει η ηλεκτρόλυση. Με βάση κάποια ακραία σενάρια, η ποσότητα ενέργειας που θα απαιτηθεί υπερβαίνει αυτή που παράγεται σήμερα παγκοσμίως από όλες τις πηγές μαζί, ενώ το κόστος επένδυσης σε υποδομές παραγωγής, αποθήκευσης και μεταφοράς θα ξεπεράσει τα 11 τρισεκατομμύρια δολάρια. Ερωτηματικό αποτελεί επίσης κατά πόσο τα γλυκά νερά και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνυπάρχουν στην ίδια περιοχή, σε όλα τα μήκη και τα πλάτη του πλανήτη.

Όσον αφορά την παραγωγή υδρογόνου από βιομάζα, η οικονομική σκοπιμότητα πρέπει να συνδέεται με τη διαθεσιμότητα και την τιμή των πρώτων υλών σε κάθε περιοχή. Επειδή οι πρώτες ύλες βιομάζας διαφέρουν σημαντικά στη σύνθεσή τους, για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων πρέπει να

λαμβάνεται υπόψη ο συνδυασμός της πρώτης ύλης και της κατάλληλης τεχνολογίας μετατροπής.

Τέλος, σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει το υδρογόνο είναι αποτελεσματική και ασφαλής αποθήκευση. Οι ακραίες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που απαιτούνται για την αέρια ή υγρή του αποθήκευση συνεπάγονται την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας με αποτέλεσμα η αποθήκευση να είναι αρκετά δαπανηρή. Κίνδυνο επίσης αποτελεί η διαρροή στους χώρους αποθήκευσης (είτε στο επίπεδο του πετρώματος καλύμματος είτε στην επιφάνεια της γης).

Παραγωγή Α' υλών και προϊόντων του τομέα δομικών κατασκευών

Η εξόρυξη πετρωμάτων που μπορεί να χρησιμοποιηθούν απευθείας ως Α' ύλες σε δομικές κατασκευές προκαλεί τις ίδιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις με ένα υπαίθριο ορυχείο. Αν μάλιστα θεωρηθεί ότι το ορυχείο αυτό είναι ήδη σε λειτουργία για την παραγωγή λιγνίτη, το είδος των επιπτώσεων δεν αλλάζει ενώ οι αύξηση της έντασής τους είναι ελάχιστη.

Σε ότι αφορά την παραγωγή προϊόντων από Α' ύλες που εξορύσσονται από τα ορυχεία ή παράγονται ως παραπροϊόντα στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, αυτή πραγματοποιείται σε εγκαταστάσεις που διαθέτουν εξοπλισμό ανάλογο με τις εταιρείες παραγωγής αδρανών υλικών, ετοίμου σκυροδέματος και κεραμικών προϊόντων που λειτουργούν σε όλες τις Περιφερειακές Ενότητες της χώρας. Οι αναμενόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χωροθέτηση και λειτουργία τέτοιων εγκαταστάσεων αφορούν τη δέσμευση γης, την αλλοίωση της αισθητικής του τοπίου, την έκλυση σωματιδίων προς την ατμόσφαιρα, την επιβάρυνση των επιφανειακών απορροών από τις πλατείες Α' υλών και προϊόντων και τα υπόλοιπα τμήματα της εγκατάστασης με αιωρούμενα σωματίδια που πιθανά θα επηρεάσουν κάποιες φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού, την αύξηση της στάθμης του θορύβου, την αύξηση της κυκλοφορίας οχημάτων. Οι επιπτώσεις αυτές μετριάζονται σε μεγάλο βαθμό αν οι εγκαταστάσεις χωροθετούνται σε βιομηχανικές περιοχές ή σε άλλους χώρους που, σύμφωνα με το χωροταξικό σχεδιασμό, προβλέπονται χρήσεις γης αυτού του τύπου.

Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά οι επιπτώσεις στο περιβάλλον της καθεμιάς από τις εξεταζόμενες τεχνολογίες εξω-ηλεκτρικής αξιοποίησης του λιγνίτη.

Η χρωματική κλίμακα που εφαρμόστηκε έχει ως εξής:

Σημαντικές επιπτώσεις που απαιτούν συνεχή παρακολούθηση και λήψη μέτρων	
Επιπτώσεις που απαιτούν συνεχή παρακολούθηση και πιθανά λήψη μέτρων	
Περιορισμένες επιπτώσεις, απαιτείται παρακολούθησή τους σε τακτά διαστήματα	
Ελάχιστες επιπτώσεις, δεν απαιτούνται ενέργειες	
Δεν αφορά	

Η συγκεκριμένη τεχνολογία θα προκαλέσει:	**Αεριοποίηση, κ.α.**	**Σπάνιες γαίες**	**Ενεργός Άνθρακας**	**Νανοϋλικά - Γραφένιο**	**Εδαφοβελτιωτικά, κ.α.**	**Υδρογόνο**	**Δομικά υλικά**
1. Έδαφος							
Αλλαγή στην τοπογραφία και το φυσικό ανάγλυφο							
Δημιουργία ασταθών καταστάσεων εδάφους, αύξηση της πιθανότητας κατολισθήσεων, κλπ.							
Απώλεια ή υποβάθμιση του επιφανειακού στρώματος εδάφους							
Αύξηση της διάβρωσης του εδάφους από τον άνεμο ή το νερό επί τόπου ή σε απόσταση							
Αλλαγές στην εναπόθεση φερτών υλικών ή στη διάβρωση των οχθών ενός ποταμού ή λίμνης							
2. Αέρας							
Σωματιδιακές εκπομπές που προκαλούν υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας							
Αέριες εκπομπές που προκαλούν υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας							
Αλλαγή των κινήσεων του αέρα, της υγρασίας, της θερμοκρασίας και του μικροκλίματος							
3. Νερά							
Απόρριψη υγρών αποβλήτων σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά που προκαλεί ποιοτική μεταβολή							
Διατάραξη του υδρογραφικού δικτύου και μεταβολή της επιφανειακής απορροής του νερού							
Αύξηση της διάβρωσης εδαφών και της καθίζησης φερτών στερεών σε υδάτινα σώματα							
Μείωση της ποσότητας νερού σε επιφανειακά υδάτινα σώματα (λίμνες, ποτάμια, κλπ.)							
Μεταβολή της ροής των υπόγειων νερών και πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα							
Μείωση της ποσότητας νερού που είναι διαθέσιμο για ύδρευση, άρδευση, κλπ.							
Αύξηση της πιθανότητας και της έντασης πλημμυρικών φαινομένων							

Η συγκεκριμένη τεχνολογία θα προκαλέσει:	**Αεριοποίηση, κ.α.**	**Σπάνιες γαίες**	**Ενεργός Άνθρακας**	**Νανοϋλικά - Γραφένιο**	**Εδαφοβελτιωτικά, κ.α.**	**Υδρογόνο**	**Δομικά υλικά**
4. Χρήσεις γης							
Μεταβολή των τρεχουσών χρήσεων γης							
Μεταβολή των χρήσεων γης που προβλέπεται στον υφιστάμενο χωροταξικό σχεδιασμό							
Υποβάθμιση της αξίας της γης (ακίνητης περιουσίας) λόγω γειτνίασης με το έργο							
5. Χλωρίδα							
Αλλαγή στην ποικιλία των ειδών ή στον αριθμό των μονάδων κάθε είδους φυτού							
Μείωση του αριθμού μοναδικών, σπανίων ή υπό εξαφάνιση ειδών φυτών							
Εισαγωγή νέων ειδών φυτών στην περιοχή							
Μείωση της έκτασης δασών							
Μείωση της έκτασης χορτολιβαδικών και γεωργικών εκτάσεων							
6. Πανίδα							
Αλλαγή στην ποικιλία των ειδών ή στον αριθμό των μονάδων κάθε είδους ζώου της περιοχής							
Μείωση του αριθμού μοναδικών, σπανίων ή υπό εξαφάνιση ειδών ζώων;							
Παρεμπόδιση της αποδημίας ή των μετακινήσεων των ζώων							
Υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος και των βιοτόπων και υγροβιότοπων.							
7. Φυσικοί πόροι							
Αύξηση του ρυθμού χρήσης / αξιοποίησης των φυσικών πόρων							
Εξάντληση μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων							

Η συγκεκριμένη τεχνολογία θα προκαλέσει:	**Αεριοποίηση, κ.α.**	**Σπάνιες γαίες**	**Ενεργός Άνθρακας**	**Νανοϋλικά - Γραφένιο**	**Εδαφοβελτιωτικά, κ.α.**	**Υδρογόνο**	**Δομικά υλικά**
8. Οχλήσεις							
Αύξηση της στάθμης του θορύβου							
Αύξηση της στάθμης δονήσεων							
Έκλυση οσμών							
9. Κίνδυνος ανωμάλων καταστάσεων							
Κίνδυνος ατυχήματος με αποτέλεσμα τη διαφυγή επικίνδυνων ουσιών εκτός των ορίων του έργου							
10. Πληθυσμός							
Μεταβολή λόγω νέων θέσεων εργασίας (θετική) ή υποβάθμισης ποιότητας ζωής (αρνητική)							
11. Μεταφορές							
Δημιουργία σημαντικής επιπρόσθετης κίνησης τροχοφόρων							
Αύξηση των κυκλοφορικών κινδύνων							
Καταστροφή συγκοινωνιακών υποδομών							
12. Ενέργεια							
Απαίτηση δημιουργίας νέων υποδομών παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ενέργειας							
Αυξημένη κατανάλωση ενέργειας (ηλεκτρική, θερμική, κλπ)							
13. Υποδομές κοινής ωφέλειας							
Καταστροφή δικτύων κοινής ωφελείας							
Παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων αποβλήτων που χρήζουν διαχείρισης							

Η συγκεκριμένη τεχνολογία θα προκαλέσει:	**Αεριοποίηση, κ.α.**	**Σπάνιες γαίες**	**Ενεργός Άνθρακας**	**Νανοϋλικά - Γραφένιο**	**Εδαφοβελτιωτικά, κ.α.**	**Υδρογόνο**	**Δομικά υλικά**
14. Ανθρώπινη Υγεία							
Θέση σε κίνδυνο της ζωής και της σωματικής ακεραιότητας							
Μακροχρόνια έκθεση σε παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν βλάβη στην υγεία							
15. Ποιότητα ζωής							
Υποβάθμιση της αισθητικής του τοπίου							
Περιορισμός της δυνατότητας για αναψυχή, άθληση, κλπ.							
16. Διατάραξη περιοχών υπό ειδικό καθεστώς προστασίας							
Επεμβάσεις σε περιοχές που χαρακτηρίζονται ως Εθνικά πάρκα ή δρυμοί, Ramsar, Natura, κλπ.							
Επεμβάσεις σε περιοχές που αποτελούν κηρυγμένους αρχαιολογικούς χώρους							

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ

Η αξιολόγηση των 7 έξω-ηλεκτρικών χρήσεων του λιγνίτη που εξετάζονται βασίστηκε σε 6 παραμέτρους – κριτήρια που συνάδουν με το πλαίσιο που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για την επιλογή των βέλτιστων τεχνολογιών από την προτεινόμενη εργαλειοθήκη (Toolkit), με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής που βρίσκεται σε καθεστώς ενεργειακής μετάβασης.

Ειδικότερα, τα κριτήρια αυτά είναι τα εξής:

- Ωριμότητα τεχνολογίας
- Ποιοτική καταλληλότητα του λιγνίτη της Δυτικής Μακεδονίας – κρίσιμα μεγέθη εξόρυξης
- Επιλεξιμότητα χρηματοδότησης της επένδυσης
- Κεφαλαιοποίηση υποδομών και τεχνογνωσίας
- Επίπτωση στην απασχόληση
- Βαθμός κυκλικότητας, ως ένδειξη της περιβαλλοντικής απόδοσης

Η βαρύτητα του καθενός από τα παραπάνω κριτήρια προσδιορίστηκε εφαρμόζοντας τη μέθοδο της αναλυτικής ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process). Για το σκοπό αυτό ζητήθηκε η γνώμη 8 ειδικών επιστημόνων (οι 7 από τους οποίους συμμετέχουν στην Ομάδα Εργασίας που εκπονεί την παρούσα μελέτη και επίσης οι 7 από τους 8 είναι Μηχανικοί), με τις ακόλουθες ειδικότητες:

- Ένας Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός
- Μια Αρχιτέκτονας Μηχανικός
- Ένας Μηχανολόγος Μηχανικός
- Ένας Μηχανικός Ορυκτών Πόρων
- Ένας Μηχανικός Περιβάλλοντος
- Μια Μηχανικός Χωροταξίας
- Ένας Χημικός
- Ένας Χημικός Μηχανικός

Η άποψη των ειδικών καταγράφηκε με τη βοήθεια υπολογιστικών φύλλων που αναπτύχθηκαν από την εταιρεία Creative Commons με έδρα στο Σαν Φρανσίσκο των ΗΠΑ http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/sg/ και είναι ελεύθερα προσβάσιμα από το διαδίκτυο.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται ο πίνακας εισαγωγής στοιχείων με βάση τη σύγκριση των 6 κριτηρίων ανά ζεύγη, όπου κάθε φορά το ισχυρότερο κριτήριο προσδιορίζεται με ένα γράμμα ενώ η υπεροχή του ενός έναντι του άλλου με ένα αριθμό, σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονται στον Πίνακα 3.

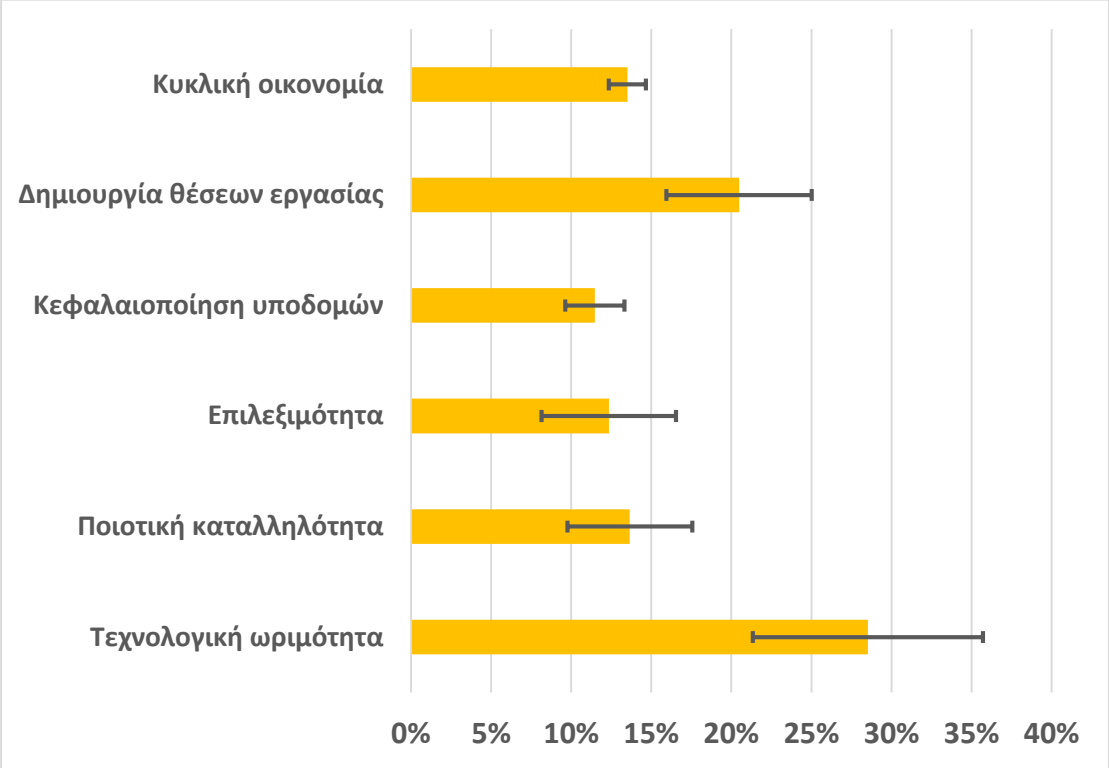
Πίνακας 2: *Σύγκριση κριτηρίων ανά ζεύγη με βάση τη Μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης (παράδειγμα συμπλήρωσης)*

		Κριτήρια		Το κριτήριο Α ή το Β είναι πιο σημαντικό;	Πόσο πιο σημαντικό είναι στην κλίμακα 1-9;
i	j	A	B		
1	2	Τεχνολογική ωριμότητα	Ποιοτική καταλληλότητα	A	3
1	3		Επιλεξιμότητα	A	2
1	4		Κεφαλαιοποίηση υποδομών	A	3
1	5		Δημιουργία θέσεων εργασίας	A	2
1	6		Κυκλική οικονομία	A	2
2	3	Ποιοτική καταλληλότητα	Επιλεξιμότητα	A	3
2	4		Κεφαλαιοποίηση υποδομών	A	3
2	5		Δημιουργία θέσεων εργασίας	B	2
2	6		Κυκλική οικονομία	A	1
3	4	Επιλεξιμότητα	Κεφαλαιοποίηση υποδομών	B	3
3	5		Δημιουργία θέσεων εργασίας	B	3
3	6		Κυκλική οικονομία	B	3
4	5	Κεφαλαιοποίηση υποδομών	Δημιουργία θέσεων εργασίας	B	2
4	6		Κυκλική οικονομία	B	2
5	6	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κυκλική οικονομία	A	1

Πίνακας 3: *Αριθμητική έκφραση της υπεροχής της βαρύτητας ενός κριτηρίου έναντι του συγκρινόμενού του*

Ένταση της σπουδαιότητας	**Επεξήγηση**
1	Ίση βαρύτητα
3	Ελαφρά μεγαλύτερη βαρύτητα
5	Μεγαλύτερη βαρύτητα
7	Σημαντικά μεγαλύτερη βαρύτητα
9	Εξαιρετικά μεγαλύτερη βαρύτητα
Οι αριθμοί 2,4,6,8 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έκφραση ενδιάμεσων βαθμών βαρύτητας	

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας συγκριτικής αξιολόγησης ανά ζεύγη των 6 κριτηρίων από τους τους 8 ειδικούς επιστήμονες. Είναι προφανές ότι η τεχνολογική ωριμότητα είχε για όλους τη μέγιστη σημασία και μάλιστα υπερδιπλάσια από αυτή άλλων κριτηρίων, όπως η περιβαλλοντική απόδοση (κυκλικότητα) ή η κεφαλαιοποίηση των υφιστάμενων υποδομών και της τεχνογνωσίας του ανθρώπινου δυναμικού της περιοχής. Ξεχωρίζει επίσης η βαρύτητα του κριτηρίου της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας ή της διατήρηση μεγάλου μέρους των υφιστάμενων (π.χ. με τη συνέχιση της λειτουργίας ορυχείων), γεγονός που συνδέεται άμεσα με τα μεγάλα ποσοστά ανεργίας που πλήττουν την Περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας.



Σχήμα 3: *Προσδιορισμός της βαρύτητας των κριτηρίων αξιολόγησης των εναλλακτικών τεχνολογιών εξω-ηλεκτρικής αξιοποίησης του λιγνίτη της Δυτικής Μακεδονίας*

Στη συνέχεια, οι ειδικοί επιστήμονες κλήθηκαν να βαθμολογήσουν την καθεμιά από τις 7 εναλλακτικές τεχνολογίες εξω-ηλεκτρικής αξιοποίησης του λιγνίτη με βάση τα 6 κριτήρια. Τα αποτελέσματα αυτής της βαθμολόγησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Οι τεχνολογίες που έλαβαν την υψηλότερη βαθμολογία, για τις οποίες θα αναλυθεί περαιτέρω η σκοπιμότητα ανάπτυξής τους, ήταν:

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

Πίνακας 4: *Αποτελέσματα αξιολόγησης εναλλακτικών τεχνολογιών εξω-ηλεκτρικής χρήσης του λιγνίτη Δυτικής Μακεδονίας*

		ΒΑΡΥΤΗΤΑ	ΕΞΩ-ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ						
			Παραγωγή αερίων και υγρών καυσίμων και Α υλών για τη χημική βιομηχανία	Ανάκτηση σπάνιων γαιών	Παραγωγή ενεργού άνθρακα	Παραγωγή νανοϋλικών γραφενίου	Ανάπτυξη αγροτεχνολογιών με χρήση λιγνίτη	Παραγωγή υδρογόνου	Παραγωγή Α υλών και προϊόντων για τον τομέα δομικών κατασκευών
ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Ωριμότητα τεχνολογίας	28,5%	**7,25**	**3,75**	**8,63**	**4,88**	**8,25**	**7,38**	**8,50**
	Ποιοτική καταλληλότητα του λιγνίτη ΔΜ	13,7%	**6,38**	**6,25**	**6,75**	**6,88**	**7,88**	**5,88**	**6,38**
	Επιλεξιμότητα χρηματοδότησης επένδυσης	12,4%	**4,63**	**6,50**	**7,13**	**9,00**	**7,75**	**5,00**	**6,00**
	Κεφαλαιοποίηση υποδομών και τεχνογνωσίας	11,5%	**6,00**	**6,63**	**6,88**	**7,00**	**7,50**	**6,25**	**7,13**
	Επίπτωση στην απασχόληση	20,5%	**7,00**	**5,25**	**5,75**	**5,25**	**6,63**	**6,50**	**6,88**
	Βαθμός κυκλικότητας (περιβαλλοντικός δείκτης)	13,5%	**4,63**	**6,75**	**6,75**	**7,00**	**7,63**	**4,13**	**7,75**
			6,26	**5,47**	**7,14**	**6,27**	**7,63**	**6,13**	**7,31**

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι τρεις πρώτες στη βαθμολογία εξω-ηλεκτρικές χρήσεις του λιγνίτη ξεχώρισαν λόγω της υψηλής βαθμολογίας που έλαβαν ως προς το κριτήριο της τεχνολογικής ωριμότητας, το οποίο είχε και τη μεγαλύτερη βαρύτητα, ενώ η τέταρτη στη βαθμολογία χρήση στην παραγωγή γραφενίου απέκτησε ισχνό προβάδισμα από αεριοποίηση κυρίως χάρη στην υψηλή επιλεξιμότητα για χρηματοδότηση από Ευρωπαϊκά προγράμματα. Η αεριοποίηση και η παραγωγή υδρογόνου υστέρησαν λόγω των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων και της ελάχιστης στήριξης που λαμβάνουν πλέον από τους ευρωπαϊκούς θεσμούς οι, ούτως ή άλλως, υψηλού κόστους επενδύσεις σε τέτοιου τύπου εγκαταστάσεις, ενώ οι σπάνιες γαίες έλαβαν με διαφορά την χαμηλότερη βαθμολογία εξαιτίας της απουσίας οικονομικά βιώσιμης μεθόδου ανάκτησής τους από τους λιγνίτες και τα παραπροϊόντα τους. Σε κάθε περίπτωση, ακόμα και οι μέθοδοι που έλαβαν τη χαμηλότερη βαθμολογία πρέπει να παρακολουθούνται στενά από τους επιστημονικούς φορείς της περιοχής, αφού πλήθος ερευνητών σε όλο των κόσμο εργάζονται εντατικά σε τομείς, όπως η in-situ αεριοποίηση και η παραγωγή κρίσιμων Α' υλών, και τα οικονομοτεχνικά δεδομένα είναι πολύ πιθανό να αλλάξουν στο μέλλον.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος του παρόντος παραδοτέου αποτελεί η αξιολόγηση των δυνητικών έξω-ηλεκτρικών χρήσεων του λιγνίτη Δυτικής Μακεδονίας, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά παραμέτρων όπως η τεχνολογική ωριμότητα, η ποιοτική καταλληλόλητα του τοπικού λιγνίτη, η επίπτωση στην απασχόληση και ο βαθμός κυκλικότητας ως περιβαλλοντικός δείκτης. Μέσω συγκριτικής αξιολόγησης, επιλέχθηκαν και προτάθηκαν οι πλέον υποσχόμενες πρακτικές και τεχνολογίες αξιοποίησης σε μη ηλεκτροπαραγωγικές χρήσεις. Πρέπει να ξεκαθαριστεί ότι υπάρχει μια σημαντική διαφορά μεταξύ των δεσμεύσεων απανθρακοποίησης/από-λιγνιτοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού μίγματος μιας χώρας και της αξιοποίησης του λιγνίτη ως πρώτη ύλη σε εναλλακτικές, μη ενεργειακές χρήσεις. Πρακτικά, το κλείσιμο των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων δεν σημαίνει απαραίτητα και κλείσιμο όλων των ενεργών ορυχείων εξόρυξης άνθρακα, λιγνίτη ή τύρφης.

Από την ανάλυση SWOT που πραγματοποιήθηκε για τις επτά προτεινόμενες τεχνολογίες εξω-ηλεκτρικής αξιοποίησης του λιγνίτη προκύπτει ότι:

- παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό τεχνολογικής ωριμότητας
- το νομικό και κανονιστικό πλαίσιο μπορεί επίσης να αποβεί καθοριστικό υπέρ της μιας ή της άλλης τεχνολογίας
- η αξιοποίηση των εξω-ηλεκτρικών χρήσεων του ελληνικού λιγνίτη δεν αποτελεί επένδυση μηδενικού ρίσκου.

Επίσης, από την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εναλλακτικών τεχνολογιών προκύπτει ότι:

- **Σχετικά με την παραγωγή υγρών και αερίων καυσίμων και Α' υλών για τη Χημική Βιομηχανία**, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την αεριοποίηση και υγροποίηση του λιγνίτη είναι αντίστοιχες αυτών μιας βιομηχανικής εγκατάστασης που επεξεργάζεται και αποθηκεύει υγρά και αέρια καύσιμα. Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες πλήττονται σε σημαντικό βαθμό από τις ευρωπαϊκές οδηγίες για τη μείωση των εκπομπών CO2 από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, την αυξανόμενη ευαισθησία των πολιτών γύρω από θέματα περιβάλλοντος και δημόσιας υγείας, την εισαγωγή φυσικού αερίου και τη ραγδαία μείωση του κόστους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- **Σχετικά με την ανάκτηση σπάνιων γαιών**, η παραγωγή τους θα βασιστεί είτε στη συνέχιση της λειτουργίας των ορυχείων, ώστε να εξορύσσονται πετρώματα που τις περιέχουν σε εκμεταλλεύσιμες συγκεντρώσεις, είτε στην ανάκτησή τους από τα παραπροϊόντα της καύσης του λιγνίτη που έχουν ήδη αποτεθεί εντός των ορυχείων ή που θα παράγονται από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, εφόσον αυτοί συνεχίζουν να λειτουργούν. Η αύξηση της περιεκτικότητας των σπάνιων γαιών στο εμπορεύσιμο συμπύκνωμα προϋποθέτει την εφαρμογή μηχανικών και ηλεκτροχημικών διεργασιών, οι οποίες για να επιτευχθούν απαιτούν τη χρήση επιβλαβών

χημικών ουσιών για το περιβάλλον και τεράστιες ποσότητες νερού και ηλεκτρικής ενέργειας.

- **Σχετικά με την παραγωγή ενεργού άνθρακα**, ο παραγόμενος από λιγνίτη ενεργός άνθρακας είναι περισσότερο αποτελεσματικός στη συγκράτηση βαρέων μετάλλων. Ωστόσο, η παραγωγική διαδικασία παράγει μια σειρά από ρύπους που επιβάλουν τη λήψη μέτρων για τη δέσμευσή τους. Αναφέρεται επίσης βιβλιογραφικά το περιβαλλοντικό πλεονέκτημα της παραγωγής ενεργού άνθρακα από υπολείμματα βιομάζας, όπως οι καρύδες, σε χώρες που, ούτως ή άλλως, διαθέτουν χαμηλό κόστος παραγωγής σε σχέση με το λιγνίτη.
- **Σχετικά με την παραγωγή νανοϋλικών γραφενίου**, παρά το μεγάλο εμπορικό κέρδος και την τεράστια γκάμα εφαρμογών του γραφενίου, η σημερινή κατάσταση με το γραφένιο (περιβαλλοντικά) είναι αμφίβολη με περιορισμένη γνώση για τις επιπτώσεις των υλικών αυτών στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.
- **Σχετικά με τη χρήση λιγνίτη στην παραγωγή εδαφοβελτιωτικών**, ο λιγνίτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή οργανοχουμικών λιπασμάτων ή άλλων εδαφοβελτιωτικών σε περιοχές όπου υπάρχει ερημοποίηση ή ανάγκη για επανακαλλιέργεια λόγω της κλιματικής αλλαγής ή της καταστροφής του γόνιμου εδάφους που προκλήθηκε από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις περιορίζονται στην δέσμευση εκτάσεων και την έκλυση σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Στην περίπτωση παραγωγής οργανοχουμικών λιπασμάτων οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αυξημένες, ανάλογα με την επεξεργασία και τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται με σκοπό τη βελτίωση του τελικού προϊόντος.
- **Σχετικά με την παραγωγή υδρογόνου**, ο γαιάνθρακας μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη για να παραχθεί υδρογόνο μέσω διαφόρων διεργασιών αεριοποίησης, ωστόσο μια βασική περιβαλλοντική επίπτωση συνδέεται με την ενέργεια που πρέπει να καταναλωθεί για την παραγωγή του υδρογόνου. Για να αναπτυχθεί μια βιώσιμη τεχνολογία παραγωγής υδρογόνου πρέπει το CO2 να συλλέγεται και να αποθηκεύεται. Σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει το υδρογόνο είναι αποτελεσματική και ασφαλής αποθήκευση
- **Σχετικά με την παραγωγή Α' υλών και προϊόντων του τομέα δομικών κατασκευών**, η εξόρυξη πετρωμάτων που μπορεί να χρησιμοποιηθούν απευθείας ως Α' ύλες σε δομικές κατασκευές προκαλεί τις ίδιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις με ένα υπαίθριο ορυχείο.

Επίσης, η αξιολόγηση των 7 έξω-ηλεκτρικών χρήσεων του λιγνίτη που εξετάζονται βασίστηκε σε 6 παραμέτρους – κριτήρια (ωριμότητα τεχνολογίας, ποιοτική καταλληλόλητα του λιγνίτη της Δυτικής Μακεδονίας – κρίσιμα μεγέθη εξόρυξης, επιλεξιμότητα χρηματοδότησης της επένδυσης, κεφαλαιοποίηση υποδομών και τεχνογνωσίας, επίπτωση στην απασχόληση, βαθμός κυκλικότητας, ως ένδειξη της περιβαλλοντικής απόδοσης) που συνάδουν με το

πλαίσιο που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για την επιλογή των βέλτιστων τεχνολογιών από την προτεινόμενη εργαλειοθήκη (Toolkit), με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής που βρίσκεται σε καθεστώς ενεργειακής μετάβασης. Η βαρύτητα του καθενός από τα παραπάνω κριτήρια προσδιορίστηκε εφαρμόζοντας τη μέθοδο της αναλυτικής ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process) με βάση τη γνώμη 8 ειδικών επιστημόνων (μέλη της Ομάδας Εργασίας της παρούσας μελέτης).

Οι τεχνολογίες που έλαβαν την υψηλότερη βαθμολογία, ήταν η παραγωγή εδαφοβελτιωτικών (7,63), η παραγωγή Α΄ υλών και προϊόντων για τον τομέα δομικών κατασκευών (7,31), η παραγωγή ενεργού άνθρακα (7,14), η παραγωγή νανοϋλικών γραφενίου (6,27). Οι τρεις πρώτες στη βαθμολογία εξω-ηλεκτρικές χρήσεις του λιγνίτη ξεχώρισαν λόγω της υψηλής βαθμολογίας που έλαβαν ως προς το κριτήριο της τεχνολογικής ωριμότητας, το οποίο είχε και τη μεγαλύτερη βαρύτητα, ενώ η τέταρτη στη βαθμολογία χρήση στην παραγωγή γραφενίου απέκτησε ισχνό προβάδισμα από αεριοποίηση κυρίως χάρη στην υψηλή επιλεξιμότητα για χρηματοδότηση από Ευρωπαϊκά προγράμματα.

Ακόμα και οι μέθοδοι που έλαβαν τη χαμηλότερη βαθμολογία πρέπει να παρακολουθούνται στενά από τους επιστημονικούς φορείς της περιοχής, δεδομένου ότι πλήθος ερευνητών σε όλο των κόσμο εργάζονται εντατικά προς όλες τις κατευθύνσεις αξιοποίησης των γαιανθράκων, τόσο στην παραγωγή ενέργειας, όσο και σε εξω-ηλεκτρικές χρήσεις, συμβατικές και καινοτόμες.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

COM (2019) 640 final, "Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία", Βρυξέλλες, 11.12.2019

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/ip_21_3541

https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal/just-transition-mechanism_el

European Commission, "Financing the green transition: The European Green Deal Investment Plan and Just Transition Mechanism", Brussels, 14 January 2020

https://www.euractiv.com/section/electricity/news/austria-becomes-second-eu-country-to-exit-coal/

https://www.climatechangenews.com/2016/04/05/belgium-quits-coal-power-with-langerlo-plant-closure/

https://beyond-coal.eu/2021/10/15/bulgaria-announces-climate-failing-coal-exit/

https://beyond-coal.eu/2021/11/02/croatia-announces-2033-coal-phase-out/

https://www.reuters.com/article/czech-coal-idUSL5N2NB20Z

https://www.euractiv.com/section/energy/news/poland-clarifies-position-on-coal-phase-out-it-is-still-2049/

https://www.euractiv.com/section/energy/news/romania-will-phase-out-coal-by-2032/

https://energypost.eu/coal-phase-out-by-21-nations-only-accounts-for-3-2-of-global-power-what-about-the-others/

European Commission, "Transforming industries in coal regions for a climate – neutral economy", 2021

https://www.woodmac.com/nslp/european-green-deal/

http://kykpee.org/

ΒΙΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arvidsson, P., D. Kushnir, B.A. Sandén, S. Molander (2014), Prospective Life Cycle Assessment of Graphene Production by Ultrasonication and Chemical Reduction, *Environmental Science & Technology* 2014 *48* (8), 4529-4536, DOI: 10.1021/es405338k

Arvidsson, R., Boholm, M., Johansson, M., & de Montoya, M. L. (2018). "Just Carbon": Ideas About Graphene Risks by Graphene Researchers and Innovation Advisors. Nanoethics, 12(3), 199–210. https://doi.org/10.1007/s11569-018-0324-y

Banerjee, R., A. Mohanty , S. Chakravarty, S. Chakladar , P. Biswas, (2021), A single-step process to leach out rare earth elements from coal ash using organic carboxylic acids.

Binnemans, K., P.T. Jones, T. Muller, L. Yurramendi, (2018), «Rare Earths and the Balance Problem: How to Deal with Changing Markets», Journal of Sustainable Metallurgy .

Daily, W., (2017), Special report—Rare earth elements in 2016.

Ganguli, P. and D.R. Cook, (2018), Mineral Industry Research Laboratory.

Gu H., R. Bergman, N. Anderson, S. Alanya-Rosenbaum, (2017), Life cycle assessment of activated carbon from woody biomass [Άρθρο] // Wood and Fiber Science, 50(3), pp 1-15.

Huafang Li , Pengyu Wang , Guicai Lin , Jinyan Huang, (2021), The Role of Rare Earth Elements in Biodegradable Metals: A Review, Acta Biomaterialia.

Kennedy, J., (2015), Rare earth production, regulatory USA/international constraints and Chinese dominance; the economic viability is bounded by geochemistry and value chain integration. In Rare Earths Industry: Technological, Economic, and Environmental Implications, De Lima, I.B. and Leal, W., eds. (Elsevier, Amsterdam, (2015)).

Osman, A.I., Mehta, N., Elgarahy, A.M. et al. (2021), Hydrogen production, storage, utilisation and environmental impacts: a review. Environ Chem Lett (2021). https://doi.org/10.1007/s10311-021-01322-8