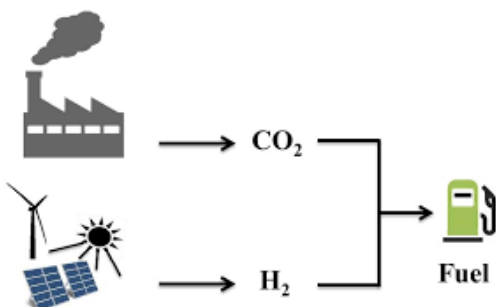


*«Τεχνοοικονομική αξιολόγηση των
διαθέσιμων τεχνολογικών επιλογών
αξιοποίησης του λιγνίτη σε
ηλεκτρικές και έξω- ηλεκτρικές
χρήσεις»*

D 2.1 Τεχνική Μελέτη



Η παρούσα μελέτη αποτελεί παραδοτέο στο πλαίσιο του έργου «**Πρακτικός Οδηγός για την ομαλή μετάβαση των περιφερειών με υψηλή εξάρτηση από τα στερεά ορυκτά καύσιμα σε ένα νέο παραγωγικό μοντέλο – Η περίπτωση της Δυτικής Μακεδονίας**», που χρηματοδοτήθηκε από το Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΚΠΑΑ) και υλοποιείται από το Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης/Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων (ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ) και την Αναπτυξιακή Δυτικής Μακεδονίας (ΑΝΚΟ).

Ευάγγελος Καρλόπουλος
Χημικός Μηχανικός, MSc
Υπεύθυνος Έργου
ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
2. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΟ ΝΕΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	5
3. ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΗ ΑΞΙΑ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΣΕ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ ΚΑΙ ΕΘΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	10
4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΓΧΩΡΙΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ....	14
4.1 ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕ ΔΕΣΜΕΥΣΗ CO ₂	15
4.1.1 Σύστημα δέσμευσης CO ₂ προ-καύσης.....	16
4.1.2 Σύστημα δέσμευσης μετά την καύση	16
4.1.3 Σύστημα καυσαερίων "Οxyfuel"	16
4.2 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (IGCC) ..	17
4.3 ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ CO ₂ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	15
4.3.1 Δέσμευση και αξιοποίηση διοξειδίου του άνθρακα από καυσαέρια λιγνιτικών ατμοηλεκτρικών σταθμών (CO ₂ -Hub)	20
4.3.2 Τεχνολογίες αεριοποίησης στην ηλεκτροπαραγωγή.....	21
4.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΩ-ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΛΙΓΝΙΤΗ	22
5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	26
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	27

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υπό το πρίσμα των τεχνολογικών εξελίξεων και των περιβαλλοντικών περιορισμών, τόσο η εγχώρια όσο και η ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας επαναπροσδιορίζονται σε μεγάλο βαθμό. Οι μεταρρυθμίσεις κανονιστικού περιεχομένου, οι αναδυόμενες τεχνολογίες αποκεντρωμένης παραγωγής, η επιτακτική ανάγκη αντικατάστασης πεπαλαιωμένων υποδομών παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, η απαίτηση προσαρμογής της κατανάλωσης στην ψηφιακή οικονομία καθώς και η ανάγκη αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, οριοθετούν ένα νέο πλαίσιο για το σύνολο της ενεργειακής οικονομίας.

Η τριπλή πρόκληση της Απανθρακοποίησης, Ψηφιοποίησης και Αποκεντρωμένης παραγωγής, γνωστή διεθνώς ως «3Ds» (Decarbonization-Digitalization-Decentralization), προϋποθέτει τη στενή συνέργεια μεταξύ των τομέων ηλεκτρισμού, θέρμανσης και φυσικού αερίου, των μέσων μεταφοράς, των δομών αυτοδιοίκησης μέσω των Ενεργειακών Κοινοτήτων αλλά και τον συνεργατικό ρόλο των τελικών καταναλωτών.

Επιπλέον, οι απαιτήσεις της απανθρακοποίησης διαμορφώνουν ένα εξαιρετικά πιεστικό περιβάλλον για τη βιομηχανία των στερεών ορυκτών καυσίμων σε 41 περιφέρειες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι οικονομίες των οποίων στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στη συγκεκριμένη παραγωγική δραστηριότητα. Μεταξύ των περιφερειών αυτών περιλαμβάνεται και η Δυτική Μακεδονία, δεδομένου ότι το 25% του περιφερειακού της ΑΕΠ προκύπτει από την εξόρυξη και καύση του λιγνίτη [1].

Προκειμένου οι εμπλεκόμενοι φορείς της Δυτικής Μακεδονίας να ανταπεξέλθουν στις συγκεκριμένες προκλήσεις, ξεκίνησαν από το 2015 σειρά επαφών σε περιφερειακό και κεντρικό επίπεδο, επισκέψεων σε ομόλογες ευρωπαϊκές περιφέρειες καθώς και δράσεων ενημέρωσης της τοπικής κοινωνίας. Ο πρώτος κύκλος ολοκληρώθηκε με την επίσκεψη στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και την παρουσίαση στη Γενική Διεύθυνση Ενέργειας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, του σχεδίου Οδικού Χάρτη Μετάβασης της Δυτικής Μακεδονίας σε συνθήκες χαμηλής λιγνιτικής εξάρτησης.

Ως αποτέλεσμα, τον Νοέμβριο του 2017 η Δυτική Μακεδονία συμπεριλήφθηκε στις πρώτες τρεις περιφέρειες-πυλότους στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής πρωτοβουλίας «**Coal Regions in Transition Platform**». Η συγκεκριμένη πρωτοβουλία στοχεύει να υποστηρίξει τις 41 ευρωπαϊκές περιφέρειες με υψηλή εξάρτηση από τα στερεά ορυκτά καύσιμα, προκειμένου αυτές να διαμορφώσουν βιώσιμες συνθήκες μετάβασης σε ένα νέο παραγωγικό μοντέλο χαμηλής ανθρακικής εξάρτησης.

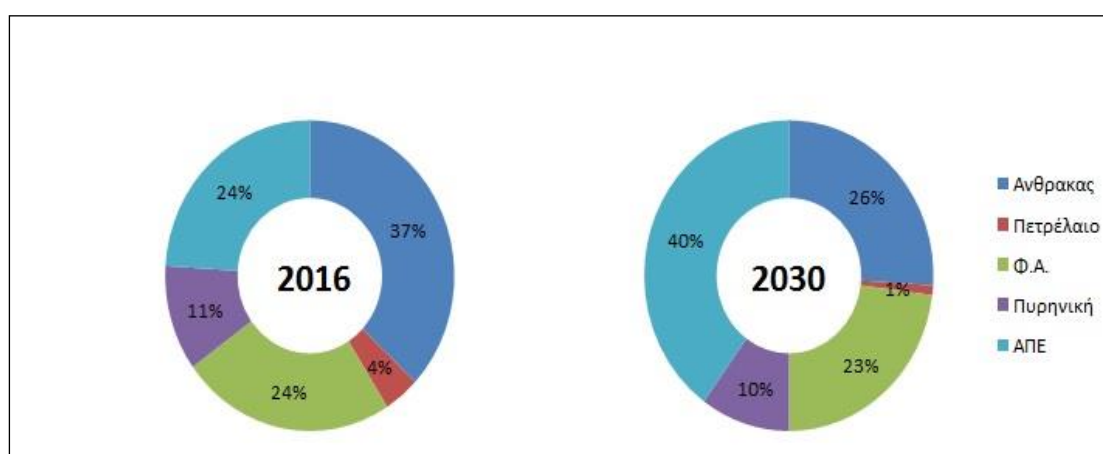
Στο πλαίσιο αυτό εντάσσεται και η διερεύνηση των δυνατοτήτων για την μελλοντική, βιώσιμη αξιοποίηση των διαθέσιμων λιγνιτικών κοιτασμάτων της Δυτικής Μακεδονίας, λαμβάνοντας υπόψη τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς και τις τεχνολογικές εξελίξεις.

Στόχο της παρούσας τεχνικής αναφοράς αποτελεί η παρουσίαση της προοπτικής του άνθρακα στην ευρωπαϊκή αγορά και η αποτύπωση των βασικών παραμέτρων που διαμορφώνουν την εν λόγω προοπτική. Δίνεται έμφαση στην παρουσίαση των νέων τεχνολογικών δυνατοτήτων που σχετίζονται με την αξιοποίηση του εγχώριου λιγνίτη τόσο στην ηλεκτροπαραγωγή όσο και στη χρήση του ως πρώτη ύλη για παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας.

2. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΟ ΝΕΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

2.1 Η ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΕ ΔΙΕΘΝΕΣ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Διεθνώς, ο άνθρακας συνεχίζει να αποτελεί καθοριστικής σημασίας πρωτογενή πηγή ενέργειας, δεδομένου ότι το 2016 συμμετείχε με 37% στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, παραμένοντας παράλληλα βασική παραγωγική συνιστώσα στη βιομηχανία χάλυβα. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας, το 2030 ο άνθρακας θα συμμετέχει με 26% στο παγκόσμιο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ενώ οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) θα σημειώσουν τη μεγαλύτερη αύξηση προσεγγίζοντας το 40%, εκτοπίζοντας τον άνθρακα από την πρώτη θέση [2].



Σχήμα 1: Συμμετοχή του άνθρακα στο παγκόσμιο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής

Σε αντίθεση με τις τεχνολογίες ΑΠΕ για τις οποίες υπάρχει σταθερά αυξανόμενη ζήτηση σε όλες ανεξαιρέτως τις χώρες του πλανήτη, η περίπτωση του άνθρακα διαφοροποιείται.

Η Κίνα και η Ινδία για παράδειγμα, καταναλώνουν περισσότερο άνθρακα από ότι όλες μαζί οι υπόλοιπες χώρες του πλανήτη, καθορίζοντας σε συντριπτικό βαθμό τα επίπεδα κατανάλωσης σε παγκόσμιο επίπεδο [3]. Κατά συνέπεια, τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από τη μείωση της κατανάλωσης άνθρακα στις αναπτυγμένες χώρες, ισοσκελίζονται αρνητικά από τη σταθερή ζήτηση της Κίνας και την αύξηση της ζήτησης στην Ινδία, το Βιετνάμ, τη Μαλαισία, την Ινδονησία και τις Φιλιππίνες. Στις ΗΠΑ, παρατηρείται δραστική μείωση της κατανάλωσης άνθρακα, η οποία οφείλεται στην παραγωγή φθηνού σχιστολιθικού αερίου (shale gas) το οποίο υποκαθιστά σταθερά τον άνθρακα.

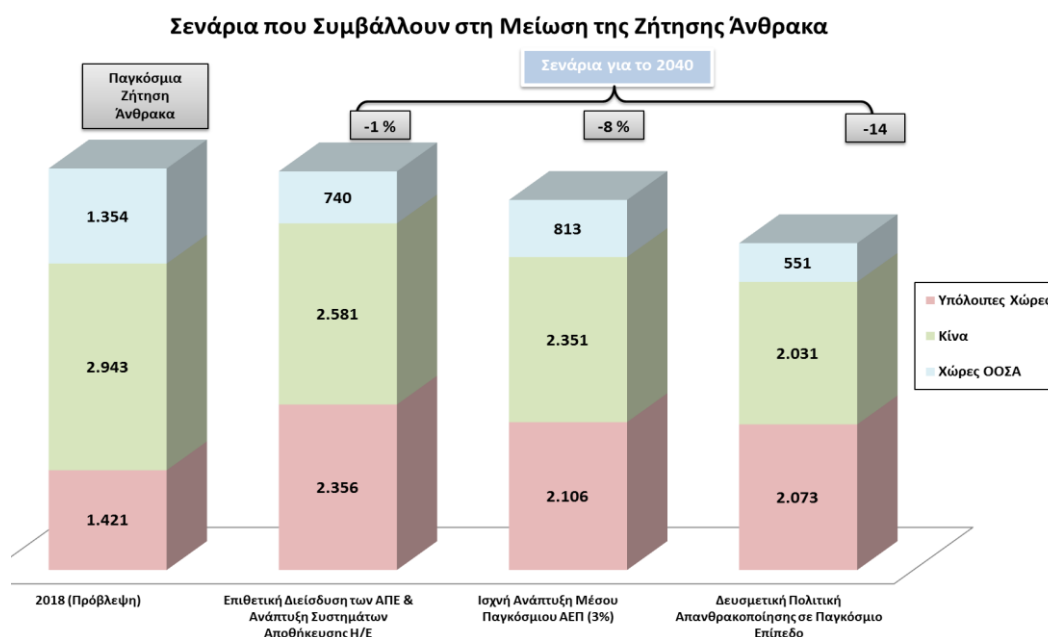
Όσον αφορά στην Ευρώπη και κυρίως στα Κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η μείωση της ζήτησης είναι κυρίως απόρροια μιας συνεκτικής πολιτικής και των κλιμακούμενων δράσεων-παρεμβάσεων απέναντι στην κλιματική αλλαγή.

Από το 2007, η ζήτηση άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση συνεχίζει να μειώνεται, ως αποτέλεσμα της διαρθρωτικής μεταβολής του τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το 2013 ο άνθρακας αντιπροσώπευε μόλις το 17% της συνολικής ζήτησης ενέργειας σε σύγκριση με το 27% το 1990 [3].

Από την άλλη πλευρά, η εξόρυξη άνθρακα συμβάλλει ως παραγωγική δραστηριότητα στην αύξηση της απασχόλησης του εργατικού δυναμικού στις περιοχές εκμετάλλευσης. Κατά συνέπεια, το κλείσιμο των ορυχείων και η μείωση της κατανάλωσης, θέτουν σε κίνδυνο αποσύνθεσης του παραγωγικού και κοινωνικού ιστού των περιοχών αυτών.

Κάτω από τις συνθήκες αυτές, τρεις είναι οι βασικοί παράγοντες που μπορούν να επιταχύνουν την απανθρακοποίηση σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο, σύμφωνα με τα σενάρια του Ινστιτούτου Henderson τα οποία ανακοινώθηκαν τον Μάρτιο του 2018. Το πρώτο σενάριο αφορά στην επιθετική διείσδυση των ΑΠΕ και των τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, το δεύτερο σχετίζεται με τα επίπεδα αύξησης του παγκόσμιου ΑΕΠ και το τρίτο αφορά σε μια δεσμευτική στρατηγική απανθρακοποίησης σε παγκόσμιο επίπεδο.

Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2, η επιθετική διείσδυση των ΑΠΕ και των τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να συνεισφέρουν μόλις κατά 1% στη μείωση της κατανάλωσης άνθρακα σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυξημένη επίπτωση της τάξης του 8% μπορεί να έχει μια ισχνή αύξηση του παγκόσμιου ΑΕΠ στο 3%, με αρνητικά όμως αποτελέσματα σε όλους τους υπόλοιπους οικονομικούς κλάδους. Τέλος, σημαντική επίπτωση στην κατεύθυνση μείωσης της παγκόσμιας κατανάλωσης άνθρακα κατά 14% μέχρι το 2040 μπορεί να επιτευχθεί μέσα από μια συνεκτική και δεσμευτική πολιτική από όλες τις χώρες του πλανήτη [4]. Η συνεκτική αυτή πολιτική τελεί υπό την προϋπόθεση ότι θα περιλαμβάνει μετρήσιμα και δεσμευτικά περιοριστικά μέτρα.

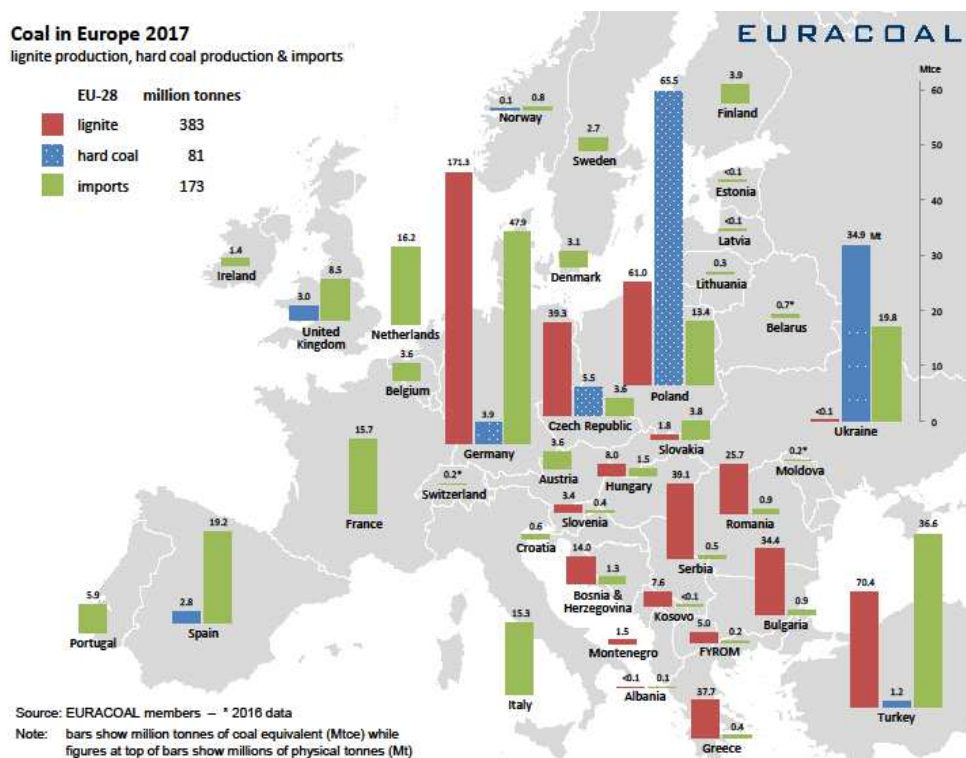


Σχήμα 2: Σενάρια μείωσης της παγκόσμιας κατανάλωσης άνθρακα έως το 2040

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, πολλά Κράτη-μέλη της ΕΕ εξαρτώνται από τον άνθρακα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά μέσο όρο, το 23% του ηλεκτρισμού της ΕΕ προέρχεται από άνθρακα και λιγνίτη [5], ενώ η μετάβαση στην καθαρή ενέργεια θα απαιτήσει περισσότερο χρονικό διάστημα σε εκείνες τις χώρες που εξαρτώνται σημαντικά από τον άνθρακα όπως η Πολωνία, η Τσεχία, η Βουλγαρία, η Γερμανία και η Ελλάδα.

Συνολικά, το 2017 η Ευρωπαϊκή Ένωση παρήγαγε 382,6 εκατομμύρια τόνους λιγνίτη, με ετήσια αύξηση 3,0% επιβεβαιώνοντας την πρωτοκαθεδρία της στην παγκόσμια αγορά του λιγνίτη. Αντίθετα, η παραγωγή λιθάνθρακα εμφανίζει σταθερά πτωτική τάση, με την παραγωγή να μειώνεται κατά 7,5% στα 80,7 εκατομμύρια τόνους. Συνεπώς, οι εισαγωγές άνθρακα από την Ρωσία και την Κολομβία, τους μεγαλύτερους εξαγωγείς, αυξήθηκαν στο 3,5%, φθάνοντας τους 173,1 εκατομμύρια τόνους [5]. Αυτό οφείλεται στο σχετικά υψηλό κόστος εξόρυξης του ευρωπαϊκού λιθάνθρακα το οποίο κατέστησε λιγότερο ανταγωνιστική την ευρωπαϊκή βιομηχανία άνθρακα, στην είσοδο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή μέσα από διαφοροποιημένες πηγές προέλευσης και κυρίως, στις πολιτικές και στα δεσμευτικά μέτρα αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) τα περισσότερα Κράτη-μέλη έχουν επεξεργαστεί ή επεξεργάζονται οδικούς χάρτες απεξάρτησης από τα στερεά ορυκτά καύσιμα, ενώ 10 χώρες έχουν ανακοινώσει δεσμευτική ημερομηνία απεξάρτησης. Εξαιρέση αποτελούν τα Κράτη-μέλη με ισχυρή παραγωγή άνθρακα και λιγνίτη όπως η Πολωνία, η Τσεχία, η Βουλγαρία, η Ρουμανία και η Ελλάδα, τα οποία δεν έχουν ανακοινώσει δεσμευτικό χρονοδιάγραμμα απεξάρτησης [7].



Σχήμα 2: Παραγωγή και κατανάλωση άνθρακα και λιγνίτη στην Ευρώπη (2016)

Σε κάθε περίπτωση, σήμερα, 41 περιφέρειες σε 12 Κράτη-μέλη της ΕΕ εξορύσσουν άνθρακα ή/και λιγνίτη. Περίπου 185.000 άτομα σε ολόκληρη την ΕΕ απασχολούνται άμεσα στο συγκεκριμένο τομέα ενώ πολύ περισσότερες είναι οι έμμεσες θέσεις εργασίας που βασίζονται στην παραγωγή, διακίνηση και χρήση του άνθρακα [6].

Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3, με εξαίρεση την Πολωνία, η εξόρυξη άνθρακα (hard coal) στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι εξαιρετικά περιορισμένη και η κατανάλωση στηρίζεται κυρίως στις εισαγωγές από χώρες όπως η Ρωσία, η ΗΠΑ και η Κολομβία. Ο λιγνίτης αντίθετα, παραμένει μια σημαντική δραστηριότητα σε πολλές ακόμη χώρες με κυρίαρχη τη Γερμανία αλλά και στις περισσότερες χώρες της Ν.Α. Ευρώπης.

2.2 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ

Στην Ελλάδα, η κορύφωση της λιγνιτικής παραγωγής στη Δυτική Μακεδονία η οποία αποτελεί την κυρίαρχη λιγνιτοπαραγωγική περιφέρεια της χώρας, επήλθε μεταξύ των ετών 2001 και 2002, ξεπερνώντας τους 55 εκ τόνους ετησίως. Κατά συνέπεια, το 2002 αποτελεί σημείο καμψής και το χρονικό σημείο εισόδου της Δυτικής Μακεδονίας σε καθεστώς «μεταλιγνιτικής εποχής». Η παραγωγή λιγνίτη βαίνει έκτοτε συνεχώς μειούμενη. Εμφανίζεται δυστοκία στην κατασκευή σύγχρονων λιγνιτικών μονάδων ενώ προγραμματίζεται η απόσυρση σημαντικού μέρους της εγκατεστημένης λιγνιτικής ισχύος [1].

Εστιάζοντας στη Δυτική Μακεδονία, τόσο οι τρέχουσες όσο και μελλοντικές συνθήκες που οριοθετούν τη λιγνιτική παραγωγή στην περιοχή είναι πλέον τελείως διαφορετικές σε σχέση με το παρελθόν και κυρίως, μη αναστρέψιμες:

- Αυστηροί περιβαλλοντικοί περιορισμοί οι οποίοι θέτουν πιεστικά όρια στις υπάρχουσες λιγνιτικές μονάδες καθιστώντας απαγορευτικό το κόστος κατασκευής νέων, συμβατικών μονάδων
- Ισχυρή διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)
- Υπέργρηρες λιγνιτικές μονάδες με χαμηλή ευελιξία συνεργασίας με τις στοχαστικές ΑΠΕ
- Είσοδος εισαγόμενων, ανταγωνιστικών καυσίμων (φυσικό αέριο) με σαφώς υψηλότερη επιχειρησιακή ευελιξία και συγκριτικά καλύτερη περιβαλλοντική συμπεριφορά
- Πτώση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας στις όμορες αγορές, εισαγωγική πίεση στην ελληνική αγορά
- Ακριβά δικαιώματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)

Αυτών δεδομένων, ο εγχώριος λιγνίτης ως πρωτογενή πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θα βρίσκεται σε κλιμακούμενη πίεση και με συνεχώς μειούμενη ανταγωνιστικότητα με πολύ υψηλή πιθανότητα την επόμενη δεκαετία να καλύπτει μόλις το 17% της εθνικής ηλεκτροπαραγωγής όπως προβλέπεται και στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) που κατατέθηκε το 2018.

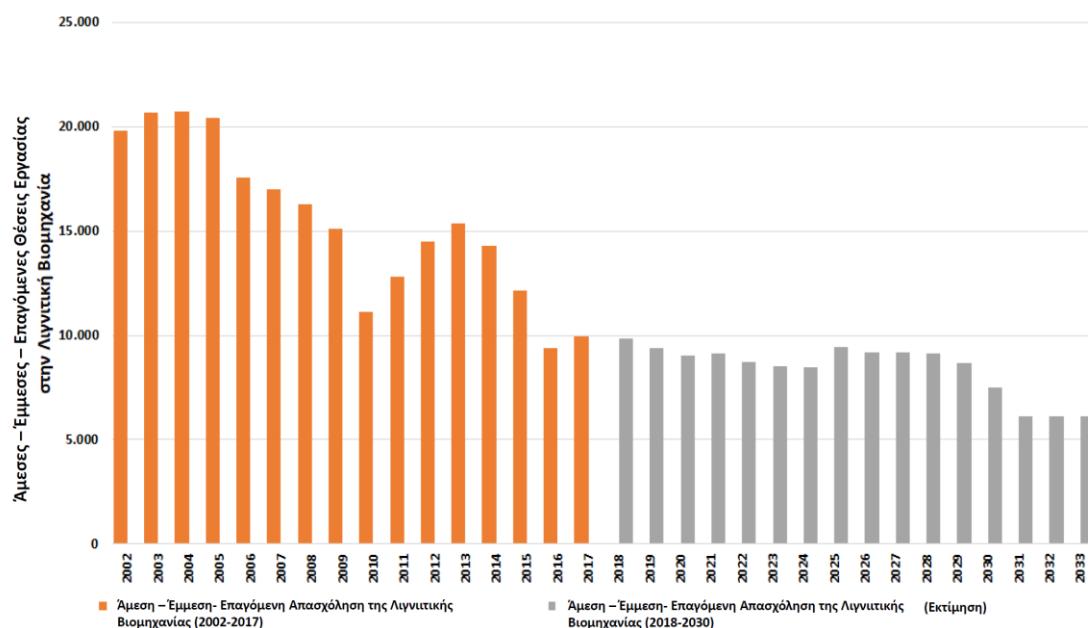
Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα αποθέματα λιγνίτη που απομένουν στα ήδη ανοιχτά και ενεργά ορυχεία της Δυτικής Μακεδονίας ξεπερνούν τα 800 εκατομμύρια τόνους, η μη ολοκληρωμένη αξιοποίησή τους θα σημάνει την απώλεια μιας πρωτογενούς πηγής ενέργειας η αξία της οποίας υπολογίζεται σε εκατοντάδες εκατομμύρια ευρώ. Από την

άλλη πλευρά, μια βίαιη διακοπή της λιγνιτικής παραγωγής, ελλοχεύει σημαντικούς περιβαλλοντικούς κινδύνους τοπικής κλίμακας, που σχετίζονται με την ορθή και προβλεπόμενη διαδικασία διαχείρισης των εξαντλημένων ορυχείων [8].

Κατά συνέπεια, η αναζήτηση και υιοθέτηση μη συμβατικών τεχνολογικών λύσεων και πρακτικών που επιτρέπουν την αξιοποίηση των εγχώριων λιγνιτικών κοιτασμάτων με περιβαλλοντικά αποδεκτούς και οικονομικά βιώσιμους τρόπους, θα δώσει την τελευταία ίσως ευκαιρία στον λιγνίτη να παραμείνει στην ατζέντα της εθνικής ενεργειακής πολιτικής. Στην κατεύθυνση αυτή, οι Καθαρές Τεχνολογίες Άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή καθώς και τα παραγωγικά συστήματα που παρέχουν τη δυνατότητα μετατροπής του λιγνίτη σε προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας όπως καύσιμα κίνησης, συνθετικό φυσικό αέριο και πρώτες ύλες για τη χημική βιομηχανία, μπορούν να αποτελέσουν μια ολοκληρωμένη απάντηση στις προαναφερόμενες απαιτήσεις.

3. ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΗ ΑΞΙΑ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΣΕ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ ΚΑΙ ΕΘΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Ο κλάδος της λιγνιτικής βιομηχανίας στη Δυτική Μακεδονία παρουσίασε διαχρονικά την κορύφωση της παραγωγής το 2002 και έκτοτε ακολουθεί μία συνεχή πτωτική πορεία, με αποτέλεσμα να λειτουργεί σήμερα στο 50% της αντίστοιχης παραγωγής του 2002. Λαμβάνοντας υπόψη τις εν λόγω εξελίξεις, η συρρίκνωση του κλάδου αναμένεται ότι θα πυροδοτήσει ιδιαίτερα σημαντικές επιπτώσεις στην τοπική απασχόληση, όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα 4.



Σχήμα 4: Εξέλιξη της απασχόλησης στη λιγνιτική βιομηχανία της Δυτικής Μακεδονίας

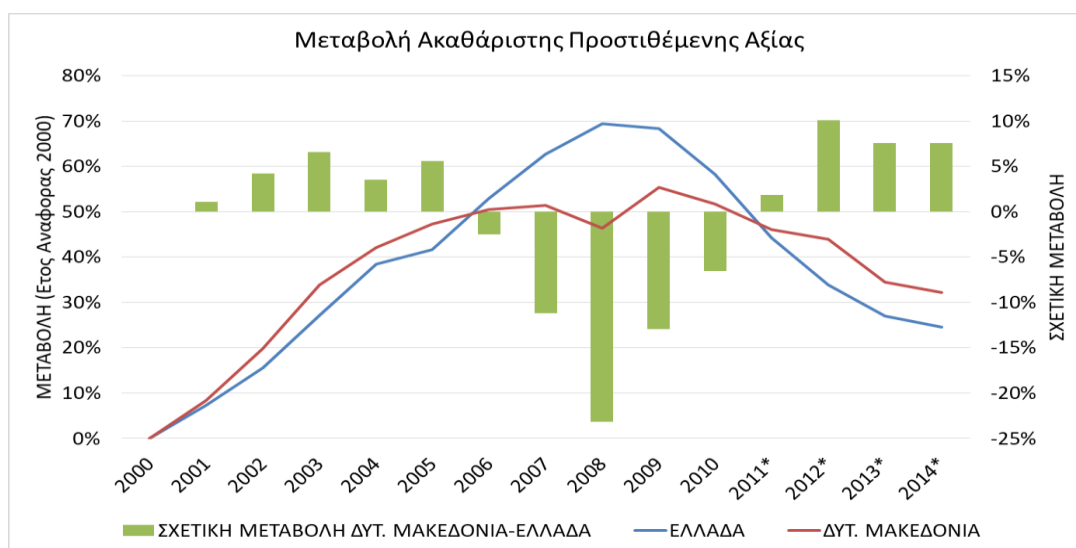
Λαμβάνοντας ως έτος βάσης το 2004, προκύπτει ότι έχουν χαθεί πάνω από 10 χιλιάδες θέσεις εργασίας έως σήμερα, ενώ την επόμενη δεκαπενταετία θα έχουν χαθεί 14.500 θέσεις εργασίας, δηλαδή το 70 % των θέσεων εργασίας του 2004 [9].

Από τον προσδιορισμό των κλαδικών πολλαπλασιαστών για τα έτη 2005, 2009 και 2013 προκύπτει ότι η λιγνιτική βιομηχανία μπορεί να συντηρήσει συνολικά (με άμεση, έμμεση και επαγόμενη απασχόληση) **350 τοπικές θέσεις εργασίας για κάθε εκατομμύριο τόνους παραγόμενου λιγνίτη ή αντίστοιχα, 680 θέσεις εργασίας ανά παραγόμενη TWh**. Οι αντίστοιχες τιμές για το 2005 ήταν 380 θέσεις ανά εκατομμύριο τόνων λιγνίτη και 750 θέσεις ανά παραγόμενη TWh. Η διαχρονική μείωση των δεικτών αυτών καταδεικνύει ότι οι θέσεις εργασίας στην περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας χάνονται όχι μόνο λόγω της οικονομικής κρίσης της χώρας αλλά και λόγω συρρίκνωσης και αποδυνάμωσης της βιομηχανίας άνθρακα σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση που κρίνεται ως μη αναστρέψιμη εξέλιξη για τον κλάδο αυτό.

Παράλληλα, σύμφωνα με τα πλέον πρόσφατα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (2013), η Δυτική Μακεδονία αριθμεί περίπου 90 χιλιάδες απασχολούμενους, που αντιστοιχεί στο 2.2% του εργατικού δυναμικού της χώρας, συμβάλλοντας στο 2.4% της

Εθνικής Ακαθάριστης Αξίας (ΑΠΑ), το οποίο μεταφράζεται σε 3.9 δις ευρώ. Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 5, η Δυτική Μακεδονία εμφανίζει διαφοροποιήσεις στη μεταβολή της Ακαθάριστης Προστιθέμενης Αξίας συγκριτικά με το σύνολο της Ελλάδας, κυρίως την πενταετία 2005-2010, όπου κυριαρχεί στασιμότητα έναντι της εθνικής αύξησης.

Από την άλλη πλευρά, εξαιρώντας την πενταετία 2005-2010, η Δυτική Μακεδονία τόσο προ-κρίσης όσο και στο διάστημα μετά την έναρξή της, παρουσιάζει θετικότερες τάσεις μεταβολής σε σχέση με το σύνολο της Ελλάδος.



Σχήμα 5: Ετήσια μεταβολή της Ακαθάριστης Προστιθέμενης Αξίας στην Ελλάδα και στη Δυτική Μακεδονία (έτος αναφοράς 2000)

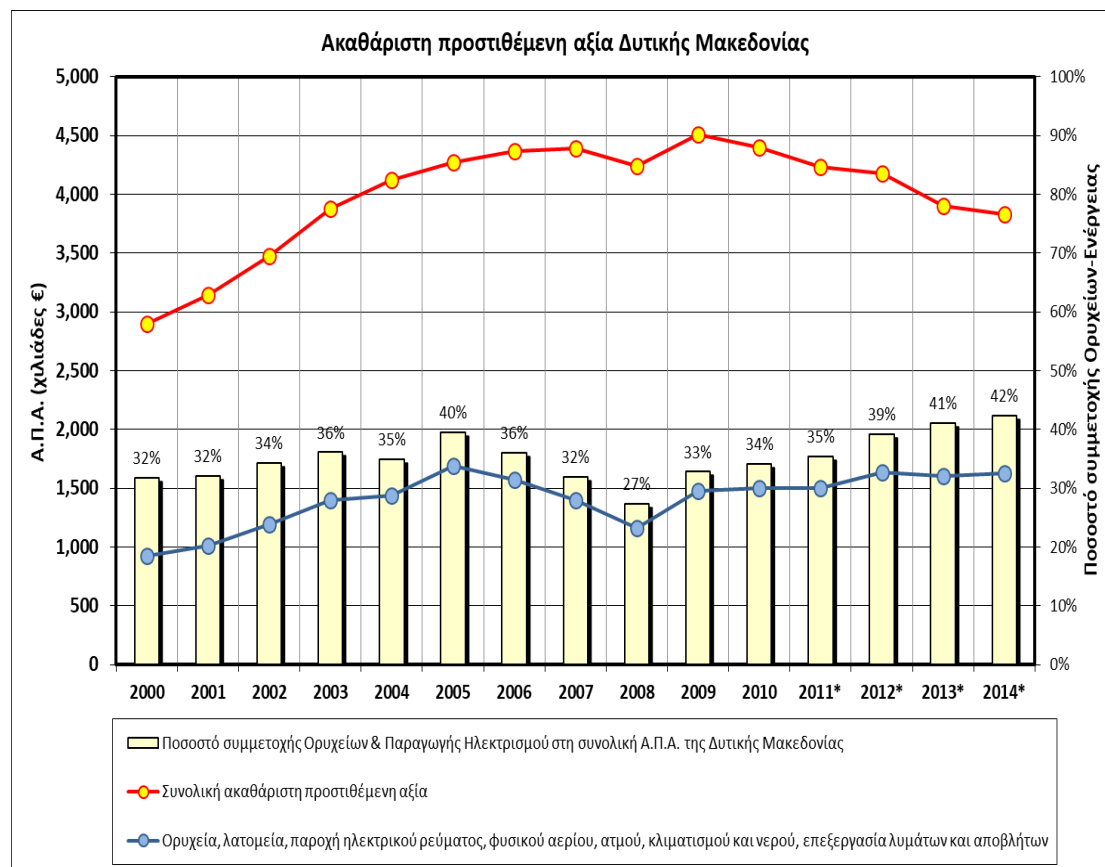
Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, προκύπτουν τα ακόλουθα ευρήματα:

- Η Δυτική Μακεδονία εισήλθε σε συνθήκες οικονομικής ύφεσης το 2006, αρκετά πριν από τον έναρξη της εθνικής οικονομικής κρίσης, δηλαδή το 2009
- Από την άλλη πλευρά, οι επιπτώσεις της οικονομικής κρίσης εμφάνισαν ηπιότερα χαρακτηριστικά στη Δυτική Μακεδονία, συγκριτικά με την υπόλοιπη Ελλάδα

Τα εν μέρει αντικρουόμενα αυτά ευρήματα, αποτελούν απόρροια της ιδιαιτερότητας της Δυτικής Μακεδονίας όσον αφορά στη διαμόρφωση του παραγωγικού της μοντέλου, δηλαδή, υψηλά επίπεδα μονοκαλλιέργειας με επίκεντρο τη ΔΕΗ ΑΕ και εξάρτηση της τοπικής αγοράς εργασίας από τη βιομηχανία λιγνίτη.

Εξετάζοντας την συμμετοχή του κλάδου Ορυχείων & Παραγωγής Ενέργειας στην διαμόρφωση της Περιφερειακής Ακαθάριστης Προστιθέμενης Αξίας, διαπιστώνεται η διαχρονικά σημαντική συνεισφορά του συγκεκριμένου κλάδου, η οποία κατά τα τελευταία χρόνια εντείνεται, διατηρώντας σταθερότητα σε αντίθεση με την γενικότερη πτώση, όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα 6.

Η κορύφωση της εξορυκτικής δραστηριότητας με εξάλειψη της ανοδικής τάσης των περασμένων δεκαετιών καθώς και η αρνητική διακύμανση κατά την πενταετία 2005-10, θεωρείται ότι αποτελεί και τον λόγο της οικονομικής στασιμότητας της περιοχής σε σχέση με την υπόλοιπη Ελλάδα, αποδεικνύοντας την κρισιμότητα του κλάδου στην Περιφερειακή οικονομία.



Σχήμα 6: Ετήσια στοιχεία Ακαθάριστης Προστιθέμενης Αξίας και του κλάδου Ορυχείων & Παραγωγής Ενέργειας στην Δυτική Μακεδονία

Όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα, από το 2009 εμφανίζεται μια σταδιακή πτώση της συνολικής Ακαθάριστης Προστιθέμενης Αξίας σε επίπεδο Δυτικής Μακεδονίας, με ταυτόχρονη αύξηση της επίπτωσης του κλάδου της ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι η σχετικά εντονότερου ρυθμού συρρίκνωση άλλων παραγωγικών κλάδων στη Δυτική Μακεδονία, αναδεικνύει τον κλάδο της εξόρυξης σε όλο και περισσότερο κυρίαρχο στην τοπική οικονομία. **Ενώ το 2000 μόνον το 32% της Ακαθάριστης Προστιθέμενης Αξίας σε επίπεδο Δυτικής Μακεδονίας προερχόταν από το λιγνίτη, το 2014 το ποσοστό ανήλθε στο 42 %.**

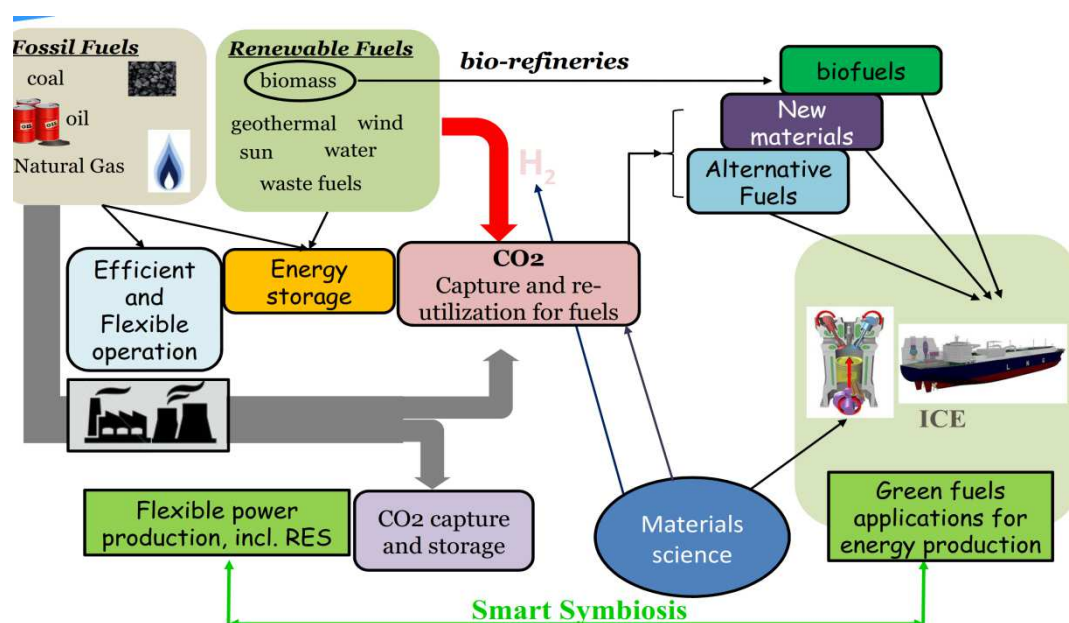
Σε επίπεδο Δυτικής Μακεδονίας, ο πολλαπλασιαστές απασχόλησης που δημιουργεί η λιγνιτική βιομηχανία είναι ιδιαίτερα υψηλός και για κάθε μία θέση μόνιμου προσωπικού στα ορυχεία και στους σταθμούς παραγωγής, δημιουργούνται και συντηρούνται 2.6 θέσεις στην τοπική αγορά εργασίας (στοιχεία 2013), ενώ δεν διαφαίνονται οικονομικοί κλάδοι που σε τοπικό επίπεδο να συγκεντρώνουν τα χαρακτηριστικά λύσεων αντικαταστάτης της

λιγνιτικής δραστηριότητας όσον αφορά την δημιουργία θέσεων απασχόλησης και εισοδήματος [9].

Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι εάν δεν ληφθούν αναπτυξιακές δράσεις μεγάλης κλίμακας και ισχυρού δείκτη στήριξης της απασχόλησης, θα επέλθει ισχυρή αποβιομηχάνιση, απώλεια του ενεργειακού χαρακτήρα της περιοχής, κίνδυνος αποσταθεροποίησης του παραγωγικού ιστού με δυσκολία ανάταξης της τοπικής οικονομίας.

4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΓΧΩΡΙΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ

Η περαιτέρω αξιοποίηση των στερεών ορυκτών καυσίμων, λαμβάνοντας υπόψη τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς, την εκτεταμένη είσοδο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή αλλά και την αναγκαιότητα επιχειρησιακής συνεργασίας τους με τα στοχαστικά συστήματα ΑΠΕ, μπορεί να κωδικοποιηθεί σε δύο βασικές κατηγορίες. Τις τεχνολογίες αξιοποίησης άνθρακα για ηλεκτροπαραγωγή και αυτές που αφορούν τις έξω-ηλεκτρικές χρήσεις του, κυρίως στη χημική βιομηχανία και στην παραγωγή καυσίμων κίνησης.



Σχήμα 7: Γραφική απεικόνιση των καθαρών τεχνολογιών άνθρακα στη διαδικασία ηλεκτροπαραγωγής

Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 7, η μελλοντική τάση αξιοποίησης των στερεών ορυκτών καυσίμων σχετίζεται ευθέως με τη δυνατότητα των συγκεκριμένων καυσίμων 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 δυνατότητά τους να ενσωματωθούν στο νέο ενεργειακό περιβάλλον με όρους Κυκλικής Οικονομίας και όχι μέσα από μια μονοδιάστατη αξιοποίησή τους αποκλειστικά στην ηλεκτροπαραγωγή.

Πιο συγκεκριμένα, τον Δεκέμβριο του 2018 οι τριμερείς διαπραγματεύσεις μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, του Ευρωκοινοβουλίου και του Συμβουλίου ΕΕ, κατέληξαν σε συγκεκριμένες δεσμεύσεις. Προβλέπεται όριο εκπομπών το οποίο ανέρχεται σε 550 gr CO2 ανά kWh ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Οι νέοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με όρια εκπομπών υψηλότερα του ανωτέρω, οι οποίοι ξεκινούν την εμπορική παραγωγή μετά την έναρξη ισχύος του κανονισμού, δεν θα μπορούν πλέον να συμμετέχουν σε μηχανισμούς δυναμικότητας. Οι υφιστάμενες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής

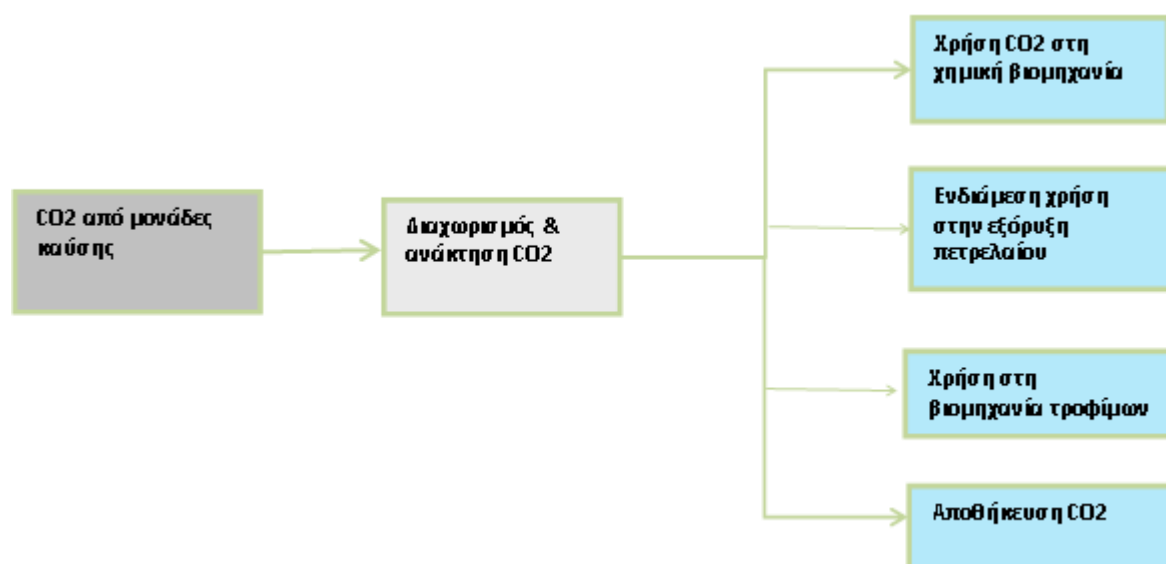
με εκπομπές υψηλότερες των 550 gr CO₂ ανά kWh ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και 350 kg CO₂ κατά μέσο ετήσιο όρο ανά εγκατεστημένο KW, θα μπορούν να συμμετέχουν σε μηχανισμούς δυναμικότητας έως την 1η Ιουλίου 2025.

Αυτών δεδομένων, οι τεχνολογίες δέσμευσης, αποθήκευσης η/και αξιοποίησης διοξειδίου του άνθρακα καθώς και η χρήση του λιγνίτη στην παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας, αποτελούν τα βασικά συστήματα-πλατφόρμες τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν μια εναλλακτική αξιοποίηση των στερεών ορυκτών καυσίμων.

4.1 ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕ ΔΕΣΜΕΥΣΗ CO₂

Λαμβάνοντας υπόψη τους αυξανόμενους περιβαλλοντικούς περιορισμούς και πρωτίστως τα ακριβά δικαιώματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), η κατασκευή νέων λιγνιτικών μονάδων περνά μονοσήμαντα μέσα από τα συστήματα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα, γνωστών διεθνώς ως **Carbon Capture & Storage (CCS)**.

Τα αέρια προϊόντα της καύσης ορυκτών καυσίμων περιέχουν ικανή ποσότητα CO₂ (3-15%) κατ' όγκο, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό αποτελείται από άζωτο, ατμό και μικρότερες ποσότητες σωματιδίων και άλλων ρύπων. Συνεπώς, το CO₂ των καυσαερίων πρέπει να δεσμευτεί και να προετοιμαστεί για μεταφορά και περεταίρω διαχείριση. Ανάλογα με τη συγκέντρωση του CO₂ στα καυσαέρια, μπορεί να εφαρμοστεί ένα από τα τρία βασικά συστήματα δέσμευσης: α) Σύστημα δέσμευσης πριν από την καύση, β) Σύστημα δέσμευσης μετά την καύση γ) Σύστημα καύσης με οξυγόνο. Σε κάθε περίπτωση, η δέσμευση CO₂ από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής προϋποθέτει πρόσθετο κόστος επένδυσης, παρόμοιο με το κόστος του αρχικού σταθμού παραγωγής και καταναλώνει έως το 20% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας [10].



Σχήμα 8: Τεχνικές δυνατότητες διαχείρισης και αξιοποίησης CO₂ από μονάδες καύσης στερεών ορυκτών καυσίμων

Η επιλογή συγκεκριμένης τεχνολογίας δέσμευσης CO₂ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο της μονάδας παραγωγής του διοξειδίου και από το χρησιμοποιούμενο καύσιμο. Μεταξύ των διαδικασιών διαχωρισμού CO₂, η απορρόφηση είναι η πλέον ώριμη και επιλέγεται συνήθως, λόγω της υψηλότερης απόδοσης και του χαμηλότερου κόστους. Μετά την δέσμευση, το CO₂ μπορεί να αξιοποιηθεί σε διαφορετικές διεργασίες ή πρακτικές, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 8.

Η στρατηγική της δέσμευσης και αξιοποίησης του διοξειδίου του άνθρακα, η μετατροπή του δηλαδή σε χημικά προϊόντα, είναι μια σύγχρονη πρόκληση με πολλαπλές όψεις. Η προοπτική χρησιμοποίησης CO₂ ως πρώτης ύλης για συνθετικές εφαρμογές σε χημικές βιομηχανίες και βιομηχανίες καυσίμων καθώς και η δυνατότητα αξιοποίησης του CO₂ στις τεχνολογίες της ορυκτής ενανθράκωσης, αποτελούν τεχνολογίες αιχμής που συνδέονται άμεσα με το μέλλον των ορυκτών καυσίμων.

4.1.1 Σύστημα δέσμευσης CO₂ προ-καύσης

Η διεργασία στηρίζεται στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα των ορυκτών καυσίμων, χρησιμοποιώντας τη διαδικασία "αναμόρφωσης ατμού" (προσθήκη ατμού στα πρωτογενή καύσιμα), "μερική οξειδωση" (προσθήκη οξυγόνου στο καύσιμο) ή "αεριοποίηση". Το πρώτο στάδιο της αντίδρασης παράγει συνθετικό αέριο (syngas), μίγμα υδρογόνου (H₂) και μονοξειδίου του άνθρακα (CO). Με περαιτέρω αντίδραση CO και ατμού, παράγεται ένα μείγμα H₂ και CO₂ με συγκέντρωση CO₂ 5-15% κ.ο. Στη συνέχεια, το μίγμα διαχωρίζεται σε CO₂ και υδρογόνο. Αν και τα αρχικά στάδια της επεξεργασίας καυσίμου είναι πολύπλοκα και ακριβότερα από ότι τα συστήματα δέσμευσης μετά την καύση, οι υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ και οι υψηλές πιέσεις που εφαρμόζονται, είναι περισσότερο κατάλληλες για διαχωρισμό και αντιπροσωπεύουν ένα πλεονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνολογίας [11].

4.1.2 Σύστημα δέσμευσης μετά την καύση

Η μέθοδος στηρίζεται στη δέσμευση CO₂ από το αέριο με φυσικούς ή χημικούς διαλύτες ή τον διαχωρισμό του με προσροφητικά μέσα ή μεμβράνες. Μετά το διαχωρισμό, το CO₂ συμπιέζεται για μεταφορά, ενώ ο διαλύτης ανακυκλώνεται. Το πλεονέκτημα της διαδικασίας δέσμευσης μετά τη καύση έγκειται στη δυνατότητα προσθήκης του συστήματος σε υφιστάμενες μονάδες άνθρακα [11].

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μονάδα SaskPower (110 MW) στο Saskatchewan των ΗΠΑ. Το σύστημα δέσμευσης παραλαμβάνει τα καυσαέρια από μια προϋπάρχουσα μονάδα καύσης άνθρακα και δεσμεύει το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο στη συνέχεια εγχέεται σε κοντινό πετρελαϊκό πεδίο.

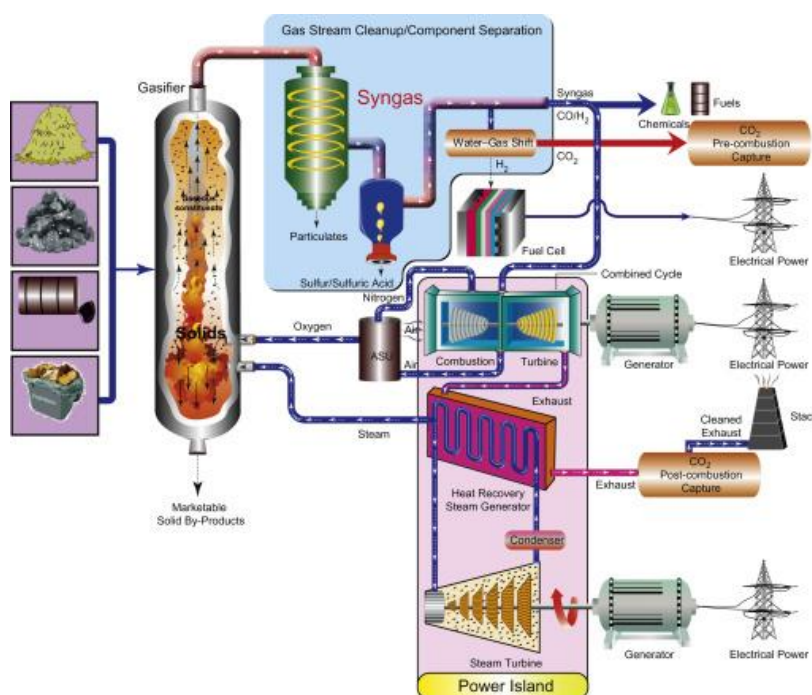
4.1.3 Σύστημα καυσαερίων "Oxyfuel"

Η μέθοδος χρησιμοποιεί οξυγόνο στη διαδικασία καύσης των ορυκτών καυσίμων, προκειμένου να επιτευχθεί εμπλουτισμένη ροή CO₂ (περισσότερο από 80% κ.ο.), με σκοπό τον ευκολότερο διαχωρισμό. Η αφαίρεση των υδρατμών επιτυγχάνεται με ψύξη και

συμπύεση της ροής του αερίου. Θεωρητικά, η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι απλούστερη και φθηνότερη από την πιο σύνθετη διαδικασία δέσμευσης που χρησιμοποιείται στα συστήματα μετά την καύση και μπορεί να επιτύχει υψηλή απόδοση απομάκρυνσης CO₂. Ωστόσο, το κύριο εμπόδιο για την ευρεία εφαρμογή της μεθόδου είναι η αναγκαιότητα παραγωγής και χρήσης καθαρού οξυγόνου το οποίο έχει υψηλό κόστος παραγωγής [11].

4.2 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (IGCC)

Με τον όρο αεριοποίηση (gasification), χαρακτηρίζεται η διαδικασία κατά την οποία κάθε στερεή ή υγρή ουσία οργανικής προέλευσης, με προσθήκη ατμού και αέρα, μετατρέπεται σε αέριο. Η διεργασία πραγματοποιείται σε ειδικούς αντιδραστήρες οι οποίοι καλούνται αεριογόνα. Η τροφοδοσία του αεριογόνου μπορεί να αποτελείται από οτιδήποτε υλικό οργανικής βάσης όπως άνθρακας, απορρίματα, πετρελαϊκό κώκ, βιομάζα, αλλά και βαριά κλάσματα πετρελαίου. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης, γνωστό διεθνώς ως synthesis gas, αποτελείται κυρίως από υδρογόνο (H₂) και μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και χρησιμοποιείται ως καύσιμο για παραγωγή ισχύος αλλά και ως πρώτη ύλη στη χημική βιομηχανία.



Σχήμα 9: Αντιπροσωπευτικό διάγραμμα λειτουργίας μονάδας IGCC

Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 9, ο συνδυασμός ενός αεριογόνου, μίας μονάδας επεξεργασίας αερίων και ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου αποτελεί τη βάση για τα Ολοκληρωμένα Συστήματα Αεριοποίησης Συνδυασμένου Κύκλου (Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC).

Τα προτερήματα των συστημάτων αυτών προσδιορίζονται στην ευελιξία της τροφοδοσίας και της παραγωγής αλλά και στην πολύ φιλική περιβαλλοντική συμπεριφορά τους. Η πρώτη μονάδα IGCC μεγάλης κλίμακας, ισχύος 582 MW με σύστημα CCS, λειτουργεί στις ΗΠΑ (Kemper plant). Το διοξείδιο του άνθρακα εγχέεται υπόγεια σε κοντινό πετρελαϊκό πεδίο. Το αρχικό κόστος πρόβλεψης υπολογίστηκε στα 2,4 δισεκατομμύρια δολάρια ενώ οι αναθεωρημένες προβλέψεις για το τελικό κόστος ανέρχονται στα 6,2 δις. δολάρια. [12].

Σε κάθε περίπτωση, οι τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ καθώς και τα συστήματα αεριοποίησης συνδυασμένου κύκλου (IGCC) είναι επενδύσεις εντάσεως κεφαλαίου και προϋποθέτουν υψηλό κόστος κατασκευής συγκριτικά με τις συμβατικές τεχνολογίες, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Συγκριτικό κόστος επένδυσης μη συμβατικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής [14]

Τεχνολογία	Μοναδιαίο Κόστος κατασκευής (TPC) (€/kW)	Συνολικό κόστος επένδυσης (€/kW)	Αύξηση κόστους επένδυσης συγκριτικά με την τεχνολογία αναφοράς (%)
Καύση κονιοποιημένου άνθρακα			
Χωρίς δέσμευση CO ₂ (τεχνολογία αναφοράς)	1450	1887	0
Σύστημα δέσμευσης μετά την καύση (post combustion)	2770	3600	91
Oxyfuel	2760	3580	91
Ολοκληρωμένα Συστήματα Αεριοποίησης Συνδυασμένου Κύκλου (IGCC)			
Τεχνολογία Shell oxygen-blown	3160	4350	118
Τεχνολογία GE oxygen-blown	3070	4240	112
Τεχνολογία MHI air-blown	3050	4200	110

Σε τιμές 2018, το συνολικό κόστος για την πλήρη αλυσίδα CCS κυμαίνεται από 25 USD/ton έως 190 USD/ton CO₂ και περιλαμβάνει το κόστος δέσμευσης CO₂ από τα καυσαέρια, τη μεταφορά του έως τη θέση αποθήκευσης και την ασφαλή αποθήκευσή του. Επιπλέον, το κόστος δέσμευσης και μεταφοράς CO₂ για το 2018 έχει μέγιστο στα 80 USD/ton ενώ το προαναφερθέν κόστος, μέσω των νέων τεχνολογιών, αναμένεται να μειωθεί στο μισό. Το κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης του CO₂ κυμαίνεται από 7 USD /ton έως 35 USD/ton CO₂ [15].

Σύμφωνα με την πρόσφατη Έκθεση του Ευρωπαϊκού Ελεγκτικού Συνεδρίου (Ειδική έκθεση αριθ. 24/2018), τα χρηματοδοτικά πακέτα της Ευρωπαϊκής Ένωσης που στόχο είχαν και έχουν να ενισχύσουν τις τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα, έχουν αποτύχει λόγω της έλλειψης συντονισμού και μακροπρόθεσμων στρατηγικών, γεγονός που δημιουργεί ανησυχίες στους επενδυτές και τους αποτρέπει να υιοθετήσουν ανάλογα επενδυτικά projects, σύμφωνα πάντα με όσα αναφέρει η συγκεκριμένη έκθεση του Ευρωπαϊκού Ελεγκτικού Συνεδρίου.

Ειδικότερα, το 2009 η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε σε εφαρμογή δύο μεγάλα χρηματοδοτικά προγράμματα, το Ευρωπαϊκό Ενεργειακό Πρόγραμμα Ανάκαμψης (ΕΕΠΑ), καθώς και από το πρόγραμμα «Απόθεμα για νεοεισερχόμενους» (New Entrance Reserve 300, NER 300) , που σκοπό είχαν την στήριξη, αφενός, τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα και, αφετέρου, των καινοτόμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στα πλαίσια των δύο προγραμμάτων, ο στόχος ήταν η διάθεση συνολικών κεφαλαίων ύψους 3.7 δις ευρώ για την εξυπηρέτηση των παραπάνω στόχων, με τα αποτελέσματα, όμως, να είναι ιδιαίτερα φτωχά για την ώρα σε σύγκριση με τους στόχους που είχαν τεθεί.

Αξίζει βεβαίως να αναφερθεί ότι πολλές βιομηχανίες επιμένουν ότι οι τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα αποτελούν και θα αποτελέσουν ουσιαστικό στήριγμα σε αυτήν την προσπάθεια ενεργειακής μετάβασης.

Στην κατεύθυνση αυτή, τον Φεβρουάριο του 2019 η Ευρωπαϊκή Ένωση ανακοίνωσε ότι στο πλαίσιο της στρατηγικής για το 2050, ιδρύει το “Ταμείο Καινοτομίας” (**Innovation Fund**) μέσω του οποίου θα επενδυθούν 10 δις. ευρώ από την επόμενη χρονιά “σε ιδιαίτερα καινοτόμες τεχνολογίες με ευρωπαϊκή προστιθέμενη αξία, που μπορούν να επιφέρουν σημαντικές μειώσεις εκπομπών σε πολλούς τομείς και να απελευθερώσουν περαιτέρω επενδύσεις χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε όλα τα κράτη μέλη” [16].

Οι τομείς στους οποίους αναζητούνται οι καινοτόμες τεχνολογικές εφαρμογές είναι κυρίως οι βιομηχανίες εντάσεως ενέργειας, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποθήκευση ενέργειας, CCS (carbon capture and storage) και CCU (carbon capture and utilization). Δηλαδή, δέσμευση και αποθήκευση ή χρήση του διοξειδίου του άνθρακα αντίστοιχα. Η στήριξη συνίσταται σε επιδότηση μέχρι και του 60 % του κόστους επένδυσης.

4.3 ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ CO₂ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

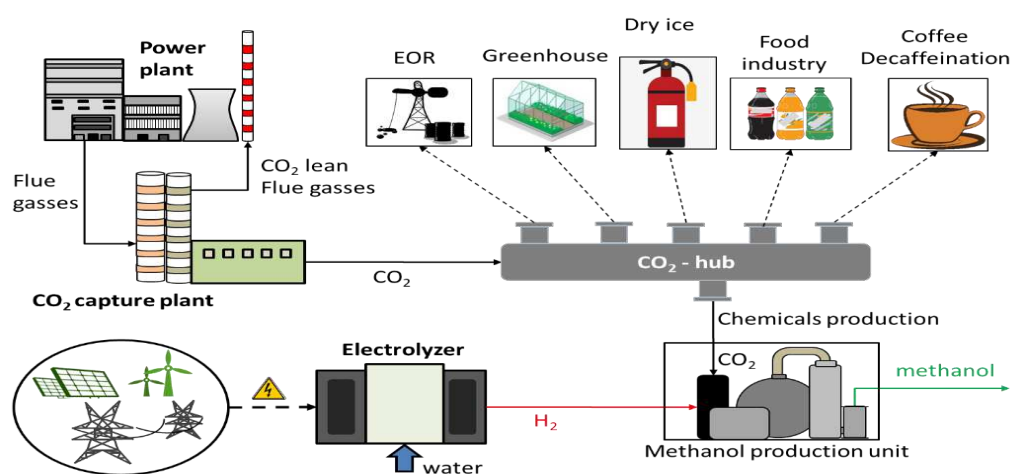
Αν και οι ερευνητικοί και ακαδημαϊκοί φορείς της Ελλάδας έχουν συμμετάσχει και συμμετέχουν σε πολλά και σημαντικά ερευνητικά ευρωπαϊκά projects με αντικείμενο τη δέσμευση, τη μεταφορά, την αποθήκευση και την αξιοποίηση του CO₂, δύσκολα θα ισχυριστεί κανείς ότι διαθέτουμε μια ξεκάθαρη εθνική στρατηγική για τις συγκεκριμένες τεχνολογίες.

Σε κάθε περίπτωση, με πρωτοβουλία του ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ και σε συνεργασία με τη Δ.Ε.Η. Α.Ε. και το Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, βρίσκεται σε φάση ωρίμανσης το έργο “**CO₂-Hub**” που αναμένεται να χρηματοδοτηθεί μέσα από Επιχειρησιακό Πρόγραμμα της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας 2014-2020.

4.3.1 Δέσμευση και αξιοποίηση διοξειδίου του άνθρακα από καυσαέρια λιγνιτικών ατμοηλεκτρικών σταθμών (CO₂-Hub)

Κύριος στόχος του έργου είναι η εγκατάσταση μιας πιλοτικής μονάδα δέσμευσης και επαναχρησιμοποίησης CO₂ δίπλα στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου που ανήκει στην Δ.Ε.Η. Α.Ε. με σκοπό την δέσμευση από μέρος των καυσαερίων του σταθμού του βασικού αερίου του θερμοκηπίου, του CO₂. Το δεσμευμένο αέριο θα έχει την κατάλληλη καθαρότητα έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλές διαφορετικές χρήσεις.

Με αυτό τον τρόπο θα δημιουργηθεί ένας κόμβος CO₂ (CO₂ - Hub), στην Δ. Μακεδονία που θα εκκινήσει την οικονομία του CO₂ μέσω της αξιοποίησης του στην Ελλάδα και στην ευρύτερη περιοχή της Ν.Α. Ευρώπης, μειώνοντας παράλληλα τις εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου από τους ΑΗΣ και δημιουργώντας μια καινούργια αλυσίδα αξίας.



Σχήμα 10 : Σχηματικό διάγραμμα της πιλοτικής μονάδας CO₂-Hub.

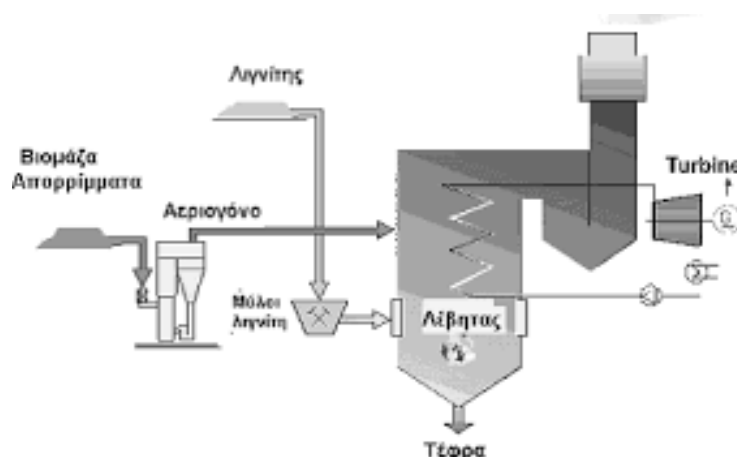
Συγκεκριμένα, μέρος των καυσαερίων θα οδηγείται στην μονάδα δέσμευσης (CO₂-capture plant) όπου θα παράγεται υψηλής καθαρότητας ρεύμα CO₂ (Σχήμα 10). Το ρεύμα αυτό θα είναι διαθέσιμο για πληθώρα επιδεικτικών δράσεων αξιοποίησης. Στο συγκεκριμένο έργο θα επιδειχθεί η αξιοποίηση του CO₂ μέσω της παραγωγής υγρών, και συγκεκριμένα μεθανόλης. Για αυτήν την επιδεικτική εφαρμογή εκτός από την μονάδα παραγωγής μεθανόλης, θα χρειαστεί και μια μονάδα ηλεκτρόλυσης που θα προμηθεύσει το αναγκαίο H₂ για την παραγωγή της μεθανόλης.

Η μονάδα θα εγκατασταθεί σε παραχωρημένη έκταση ιδιοκτησίας ΔΕΗ δίπλα στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου που με βάση το πρόγραμμα Καλλικράτης (Ν. 3852/2010), ανήκει στη Δημοτική Ενότητα Ελλησπόντου, του Δήμου Κοζάνης, της Περιφερειακής Ενότητας Κοζάνης. Η επιδεικτική μονάδα θα τοποθετηθεί σε χώρο πλησίον του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου – Μονάδα V, και θα παραλαμβάνει ένα μικρό κομμάτι των καυσαερίων για να δεσμεύσει το CO₂. Η έκταση του οικοπέδου είναι 4000 m² και εντός αυτού θα εγκατασταθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα για την επιτυχή επιδεικτική εφαρμογή της τεχνολογίας δέσμευσης και αξιοποίησης (CCU) με τελικό προϊόν τη μεθανόλη, που αρθρωτά θα περιλαμβάνει τα παρακάτω συστήματα: Μονάδα δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα, μονάδα

παραγωγής υδρογόνου, μονάδα σύνθεσης μεθανόλης από το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο.

4.3.2 Τεχνολογίες αεριοποίησης στην ηλεκτροπαραγωγή

Στην περίπτωση της Δ. Μακεδονίας, το πρόβλημα του υψηλού κόστους επένδυσης των ολοκληρωμένων συστημάτων αεριοποίησης μπορεί να αντιμετωπισθεί αξιοποιώντας τη δυνατότητα βαθμωτής (modular) κατασκευής των μονάδων αυτών, στηριζόμενοι στην τεχνολογία της παράλληλης αεριοποίησης. Αρχικά κατασκευάζεται μόνο το αεριογόνο τροφοδοτούμενο με αστικά απορρίμματα και λιγνίτη. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης, χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, τροφοδοτείται στους θερμικούς σταθμούς της ΔΕΗ ως υποστηρικτικό καύσιμο κατά την διάρκεια χαμηλής ζήτησης φορτίου, ως καύσιμο εκκίνησης των μονάδων αλλά και στην περίπτωση που η ποιότητα του λιγνίτη δεν είναι μέσα στα όρια των προδιαγραφών. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομούνται ή υποκαθίστανται ολοκληρωτικά σημαντικές ποσότητες πετρελαίου, η προμήθεια του οποίου στοιχίζει ετησίως σημαντικά ποσά στην παραγωγική διαδικασία.

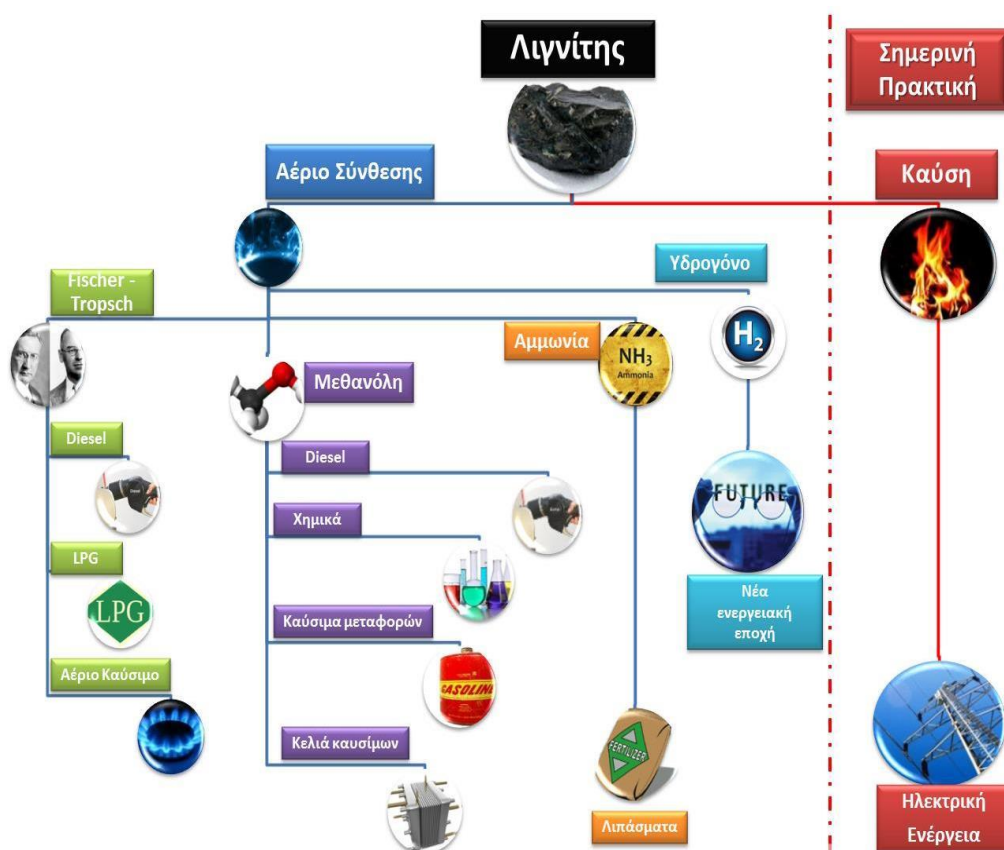


Σχήμα 11: Παράλληλη αεριοποίηση βιομάζας και απορριμμάτων σε συμβατική λιγνιτική μονάδα

Στη συγκεκριμένη μέθοδο το παραγόμενο αέριο σύνθεσης εξέρχεται από το αεριογόνο και οδηγείται σε συμβατικούς λέβητες κονιοποιημένου καυσίμου όπου καίγεται ακατέργαστο ως συμπληρωματικό καύσιμο σε συνδυασμό με λιγνίτη [17]. Η τεχνολογία της παράλληλης αεριοποίησης δεν παρέχει τη δυνατότητα χρήσης του παραγόμενου αερίου σύνθεσης για άμεση παραγωγή ενέργειας, λόγω απουσίας μονάδας επεξεργασίας του. Σε αντιδιαστολή, απαιτείται χαμηλό κόστος επένδυσης ενώ ενδεχόμενες διακοπές στην διαδικασία αεριοποίησης δεν αναγκάζουν σε καθολική διακοπή ολόκληρης της μονάδας παραγωγής ενέργειας. Στη συνέχεια, σε ένα επόμενο στάδιο ωρίμανσης, βελτιστοποιώντας και αποκτώντας σημαντική τεχνογνωσία και εμπειρία στην λειτουργία του αεριογόνου, θα μπορούσε να προστεθεί η μονάδα επεξεργασίας του αερίου σύνθεσης. Με τον τρόπο αυτό θα παρέχεται η δυνατότητα χρήσης του αερίου σύνθεσης ως καύσιμο σε σύστημα συνδυασμένου κύκλου, για την παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας όπως υδρογόνο, μεθανόλη, λιπάσματα, καθώς και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από κελιά καυσίμου.

4.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΩ-ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΛΙΓΝΙΤΗ

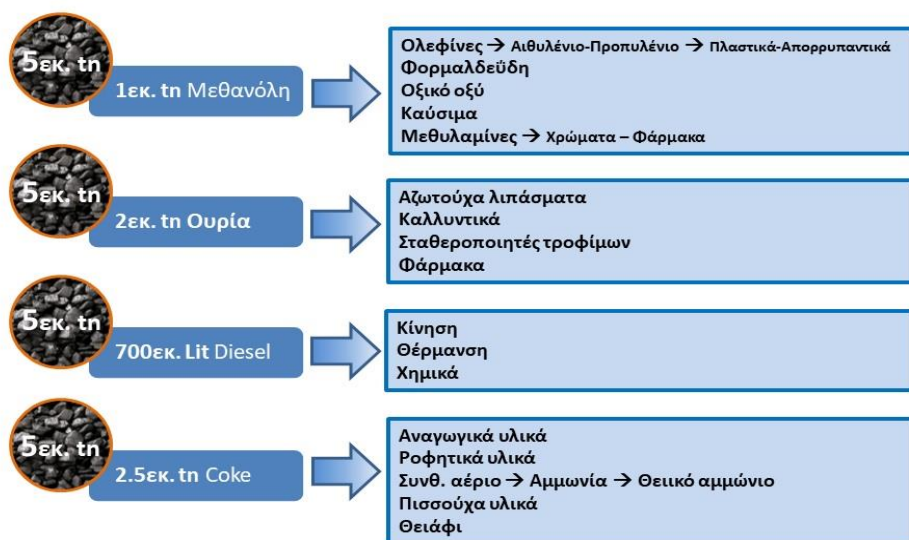
Η μέχρι τώρα αξιοποίηση του λιγνίτη στη Δυτική Μακεδονία, πραγματοποιείται με έναν απόλυτα συμβατικό τρόπο. Εξόρυξη και μεταφορά του λιγνίτη στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, καύση και διαχείριση της τέφρας. Πρακτικά, δεν υφίσταται αξιοποίηση του λιγνίτη σε έξω-ηλεκτρικές χρήσεις, πέραν της καύσης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο λιγνίτης όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη στην παραγωγή μιας σειράς προϊόντων και ενεργειακών φορέων με πολύ υψηλή προστιθέμενη αξία, όπως εποπτικά παρουσιάζεται στο σχήμα 12.



Σχήμα 12: Εναλλακτικές τεχνικές και διαδικασίες αξιοποίησης του λιγνίτη

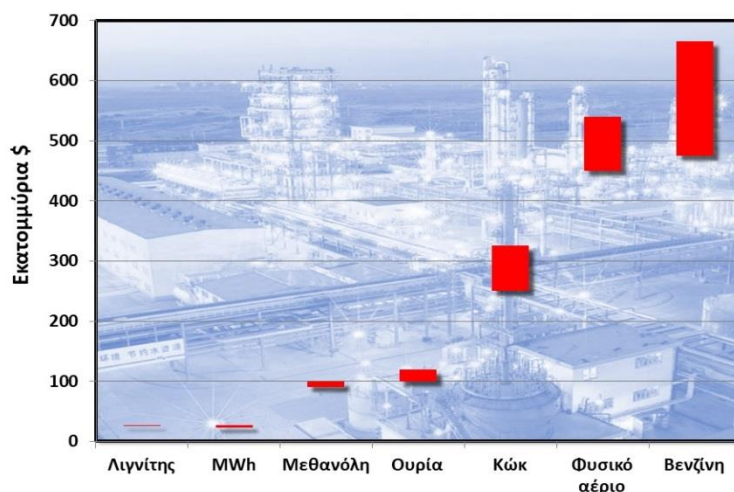
Με τη διαδικασία της αεριοποίησης (gasification) ο λιγνίτης μετατρέπεται σε αέρια προϊόντα όπως το αέριο σύνθεσης ($\text{CO} + \text{H}_2$), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το μεθάνιο (CH_4). Το αέριο σύνθεσης στη συνέχεια, μπορεί να μετατραπεί σε υγρούς υδρογονάνθρακες μέσω της σύνθεσης Fischer-Tropsch, μια ώριμη τεχνολογία γνωστή από το 1925. Το αέριο σύνθεσης αποτελεί την πρώτη ύλη για την παραγωγή πολλών βιομηχανικών προϊόντων όπως η αμμωνία (NH_3) και η μεθανόλη (CH_3OH). Η μεθανόλη στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση αλκενίων, αρωματικών ενώσεων, οξικού οξέος, φορμαλδεΐδης και μια σειρά σημαντικών προϊόντων και πρώτων υλών για τη χημική βιομηχανία. Στην περίπτωση των λιγνιτών της Δυτικής Μακεδονίας, λαμβάνοντας ως βάση υπολογισμών 5 Mt λιγνίτη και εφαρμόζοντας τις εξισώσεις μετατροπής με τη

βάση τη βιβλιογραφία, μπορούν να παραχθούν 1 Mt μεθανόλη ή εναλλακτικά 2 Mt ουρία, 700 εκατομμύρια λίτρα diesel, ή 2,5 Mt coke [18], [19].



Σχήμα 13: Ποσοτικοποίηση της θεωρητικής δυνατότητας μετατροπής λιγνίτη Πτολεμαΐδας σε προϊόντα και υλικά προστιθέμενης αξίας

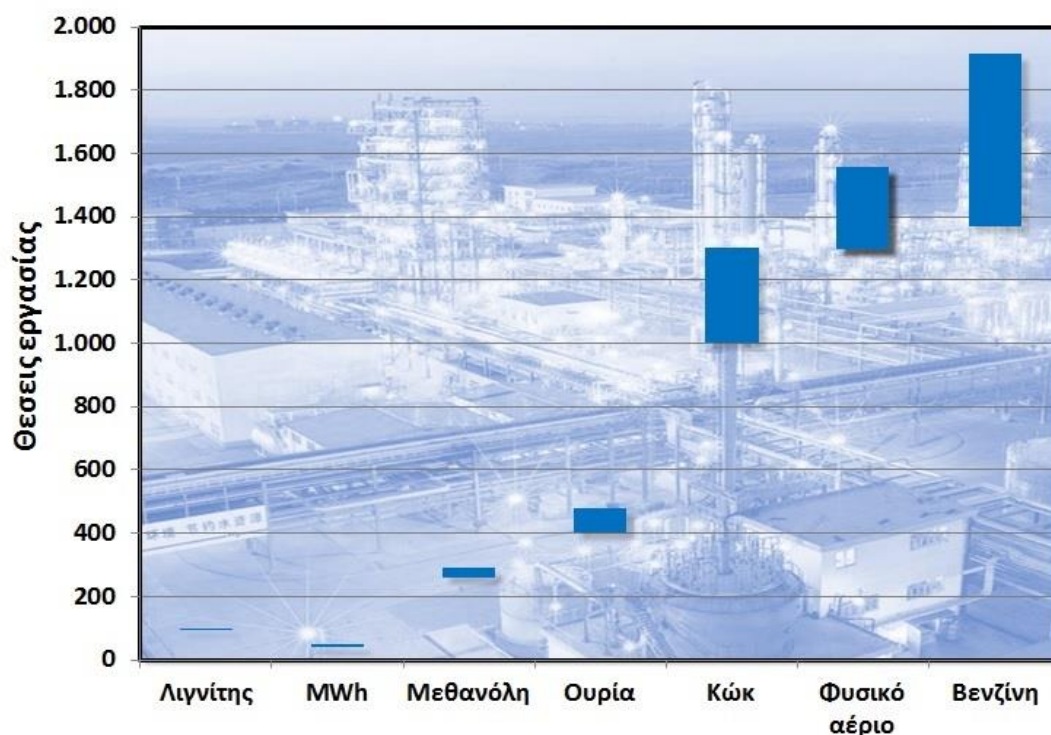
Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 13, η μετατροπή του εγχώριου λιγνίτη σε μεθανόλη, καύσιμα κίνησης, ουρία ή coke, δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας καθετοποιημένων μονάδων παραγωγής δευτερογενών προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας, ανοίγοντας νέες προοπτικές για τη βιομηχανική δραστηριότητα στη Δυτικής Μακεδονία.



Σχήμα 14: Εμπορική αξία παραγόμενων προϊόντων για 1 εκ. τόνους λιγνίτη Πτολεμαΐδας

Η «προστιθέμενη αξία» των συγκεκριμένων προϊόντων παρουσιάζεται συγκριτικά και ποσοτικοποιημένα στο σχήμα 14. Η εμπορική αξία ενός τόνου λιγνίτη Πτολεμαΐδας είναι περίπου 25 ευρώ. Κατά την καύση στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς ο λιγνίτης μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια αξίας 45-55 ευρώ, όση είναι η αξία της MWh στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίθετα, με την ίδια ποσότητα λιγνίτη μπορεί να παραχθεί

μεθανόλη εμπορικής αξίας περίπου 100 ευρώ, ή εναλλακτικά συνθετική βενζίνη αξίας έως και 650 ευρώ [18].



Σχήμα 15: Συνολικές θέσεις εργασίας για 1 εκ τόνους λιγνίτη Πτολεμαΐδας

Πέραν της παραγωγής προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας, οι έξω-ηλεκτρικές χρήσεις του εγχώριου λιγνίτη παρουσιάζουν υψηλή θετική επίπτωση με όρους απασχόλησης και δημιουργίας θέσεων εργασίας, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 15. Ενώ η μετατροπή 1 Mt λιγνίτη σε ηλεκτρική ενέργεια διατηρεί περίπου 150 άμεσες, έμμεσες και επαγόμενες θέσεις εργασίας, η παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας αυξάνει σημαντικά το ποσοστό απασχόλησης. Στην περίπτωση της παραγωγής συνθετικής βενζίνης, το ποσοστό απασχόλησης αυξάνεται κατά τάξη μεγέθους, δημιουργώντας πολύπλευρη δορυφορική επιχειρηματικότητα και νέες θέσεις εργασίας υψηλής ειδίκευσης [18].

Σε κάθε περίπτωση, οι προαναφερόμενες διαθέσιμες τεχνολογίες είναι εμπορικά ώριμες και απαιτούν επενδύσεις έντασης κεφαλαίου. Ωστόσο, με τις τιμές πετρελαίου να υπερβαίνουν τα \$ 90 ανά βαρέλι, η χρήση λιγνίτη σε προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας θα γίνεται όλο και περισσότερο ελκυστική στο μέλλον [20].

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το γερμανικό κρατίδιο Saxony-Anhalt ενέκρινε το δικό του σχέδιο μετάβασης στη μεταλιγνιτική εποχή, με τον εμβληματικό τίτλο «CARBONTRANS». Κεντρική δράση του σχεδίου (Δράση-Γέφυρα) αποτελεί η αξιοποίηση του τοπικού τους λιγνίτη σε συνδυασμό με κάθε είδους απορρίμματα, στην παραγωγή αερίου σύνθεσης, με στόχο να καλύπτει τις μελλοντικές απαιτήσεις της Βιομηχανίας 4.0 στην κατεύθυνση της πλήρους απεξάρτησης από το εισαγόμενο πετρέλαιο [21].

Για τη Γερμανία, όπως και για πολλές χώρες όπως ή Κίνα οι ΗΠΑ και προσφάτως η Πολωνία, η μεταλιγνιτική εποχή δεν επικεντρώνεται σε μια καθολική απαξίωση του λιγνίτη αλλά σε

μια στοχευμένη τεχνολογική και περιβαλλοντικά φιλική χρήση. Κεφαλαιοποιείται η τεχνογνωσία και αξιοποιούνται επενδύσεις εκατοντάδων δισ. ευρώ. Δρομολογείται μια «γέφυρα» μετάβασης χιλιάδων λιγνιτωρύχων και των περιοχών τους σε μια νέα εποχή.

Για τη Δυτική Μακεδονία, τα απαραίτητα βήματα στην κατεύθυνση μιας συντονισμένης πολιτικής αξιοποίησης του λιγνίτη σε έξω-ηλεκτρικές χρήσεις, συνοψίζονται συνοπτικά ως εξής:

- Ανάλυση των οικονομικών, περιβαλλοντικών, τεχνικών και κοινωνικών παραμέτρων των νέων τεχνολογιών αξιοποίησης του λιγνίτη
- Αξιολόγηση, κατάταξη και ιεράρχηση των τεχνολογιών με όρους και απαιτήσεις **Τεχνολογικής Προοπτικής Διερεύνησης**
- Ενσωμάτωση των πλέον υποσχόμενων τεχνολογιών σε ένα σχέδιο παραγωγικής ανασυγκρότησης για τη Δυτική Μακεδονία
-

Στην κατεύθυνση μιας αποτελεσματικής αξιοποίησης του εγχώριου λιγνίτη σε προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας, απαιτούνται δράσεις μακράς πνοής οι οποίες προϋποθέτουν άριστο σχεδιασμό, συνεκτικότητα στην υλοποίηση και διαχρονική αποδοχή από την πλευρά της περιφερειακής και τοπικής αυτοδιοίκησης. Προϋποθέτουν σημαντικές επενδύσεις σε θέματα έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης, ισχυρή εξωστρέφεια, διεθνείς συμμαχίες και κυρίως, στήριξη και υποστήριξη από την πλευρά των Ελληνικών Κυβερνήσεων. Απαιτείται μια προσέγγιση που θα λαμβάνει υπόψη τις τεχνολογικές εξελίξεις, τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς, τις εθνικές και ευρωπαϊκές ενεργειακές πολιτικές, τη γεωστρατηγική της Ενέργειας. Ολοκληρωμένες παρεμβάσεις που θα αλλάξουν ριζικά τον συμβατικό ενεργειακό χαρακτήρα της Δυτικής Μακεδονίας.

5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι απαιτήσεις της απανθρακοποίησης διαμορφώνουν ένα εξαιρετικά πειστικό περιβάλλον για τη βιομηχανία των στερεών ορυκτών καυσίμων στις περιφέρειες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι οικονομίες των οποίων στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στη συγκεκριμένη παραγωγική δραστηριότητα, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται και η Ελλάδα.

Για τη Δυτική Μακεδονία, όπως προβλέπεται και στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), ο λιγνίτης θα καλύπτει το 2030 μόλις το 17% της εθνικής ηλεκτροπαραγωγής. Μια προοπτική με ισχυρές αρνητικές επιπτώσεις με όρους απασχόλησης και απώλειας πλούτου για την περιοχή. Επιπλέον, δεδομένου ότι τα αποθέματα λιγνίτη που απομένουν στα ήδη ανοιχτά και ενεργά ορυχεία της Δυτικής Μακεδονίας ξεπερνούν τα 800 εκατομμύρια τόνους, η μη ολοκληρωμένη αξιοποίησή τους θα σημάνει την απώλεια μιας πρωτογενούς πηγής ενέργειας υψηλής αξίας, ενώ ταυτόχρονα ελλοχεύει σημαντικούς περιβαλλοντικούς κινδύνους τοπικής κλίμακας, που σχετίζονται με την ορθή και προβλεπόμενη διαδικασία διαχείρισης των εξαντλημένων ορυχείων.

Κατά συνέπεια, για την περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας, η τεχνολογική διερεύνηση των μη συμβατικών τεχνολογικών λύσεων και πρακτικών που επιτρέπουν την αξιοποίηση των εγχώριων λιγνιτικών κοιτασμάτων με περιβαλλοντικά αποδεκτούς και οικονομικά βιώσιμους τρόπους, οφείλει να αποτελεί στρατηγική προτεραιότητα για λόγους οικονομικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς.

Στην κατεύθυνση αυτή, τόσο οι νέες Τεχνολογίες Καθαρού Άνθρακα με έμφαση στις τεχνικές δέσμευσης και αξιοποίησης διοξειδίου του άνθρακα, όσο και οι τεχνολογίες αξιοποίησης του λιγνίτη σε προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας με βάση την τεχνική της αεριοποίησης, μπορούν να αποτελέσουν δράσεις-γέφυρα μετάβασης της Δυτικής Μακεδονίας σε μια νέα ενεργειακή εποχή.

Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες είναι εμπορικά ώριμες και αναμένεται να καταστούν οικονομικά πλήρως ανταγωνιστικές, με τιμές πετρελαίου που θα ξεπερνούν τα 90 δολάρια το βαρέλι. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των τεχνολογιών αυτών εντοπίζεται στην υψηλή θετική επίπτωση στην απασχόληση καθώς και στην δυνατότητα αξιοποίησης του λιγνίτη με όρους και απαιτήσεις Κυκλικής Οικονομίας. Πλεονεκτήματα που σχετίζονται ευθέως με την αναγκαιότητα μια αποτελεσματικής και βιώσιμης παραγωγικής ανασυγκρότησης της Δυτικής Μακεδονίας. Μειονεκτήματα των τεχνολογιών αυτών αποτελούν το υψηλό κόστος επένδυσης και η διαθεσιμότητα ανθρώπινου δυναμικού υψηλής εξειδίκευσης.

Σε κάθε περίπτωση, η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας προϋποθέτει άριστο σχεδιασμό, συνεκτικότητα στην υλοποίηση και διαχρονική αποδοχή από την πλευρά της περιφερειακής και τοπικής αυτοδιοίκησης. Προϋποθέτει σημαντικές επενδύσεις σε θέματα έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης, ισχυρή εξωστρέφεια, διεθνείς συμμαχίες και κυρίως, στήριξη και υποστήριξη από την πλευρά των Ελληνικών Κυβερνήσεων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. «Εκτίμηση του κόστους μετάβασης της Δυτικής Μακεδονίας σε καθεστώς χαμηλής λιγνιτικής παραγωγής», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας/τμήμα Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη 2012
2. «World Energy Outlook 2018», International Energy Agency, IEA Publications
3. «The world's biggest coal consumers», Mining-Technology, August 2014, (<https://www.mining-technology.com>)
4. C. Brognaux, E. Boudier, T. Moenks, and M. Gerecs., «Why Coal Will Keep Burning», BCG Henderson Institute, Boston, March 2018
5. Coal and lignite production and imports in Europe, “Coal in Europe 2017”, EURACOAL, Annual Report 2017
6. EU coal regions: opportunities and challenges ahead, (<https://ec.europa.eu/jrc/en/news/eu-coal-regions-opportunities-and-challenges-ahead>), July 2018
7. National coal phase-out announcements in Europe, «Europe Beyond Coal», December 2017
8. Προσωπική επικοινωνία με ΔΣ ΔΕΗ ΑΕ, Δεκέμβριος 2018
9. «Αποτίμηση της συνεισφοράς των οικονομικών κλάδων στο παραγωγικό μοντέλο της Δυτικής Μακεδονίας με έμφαση στην επίδραση της λιγνιτικής βιομηχανίας», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας/τμήμα Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη 2018
10. «REDUCING THE COST OF CCS DEVELOPMENTS IN CAPTURE PLANT TECHNOLOGY», Energy Technologies Institute, 2016
11. IPCC, 2005, IEA 2013
12. <https://energyathaas.wordpress.com/2015/05/18/is-clean-coal-too-expensive>
13. <https://www.energy.gov/fe/science-innovation/carbon-capture-and-storage-research/carbon-capture-rd/pre-combustion-carbon>
14. Davison et al, «Costs of CO2 capture technologies in coal fired power and hydrogen plants», Energy Proceedings 63 (2014) 7598 – 7607
15. McKinsey and Company, “Decarbonization of industrial sectors: the next frontier”, 2018
16. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-19-1381_en.htm?locale=en
17. Καρλόπουλος Ε., Κακαράς Ε., (2002) “Συνδυασμένη Αεριοποίηση Ανθρακα και Απορριμμάτων για Παραγωγή Ενέργειας”, THERMIE-SF/08/98/D, Final Report, ΕΚΕΤΑ/ΙΤΕΣΚ, Πτολεμαίδα

18. D. Sotiropoulos, E. Karlopoulos, D. Giannakopoulos, D. Mavromatidis, Towards a New Deal for the Lignite Industry in Western Macedonia, 14th International Symposium of Continuous Surface Mining, ISCSM2018, Thessaloniki, 23-26 September 2018
19. «TEXACO COAL GASIFICATION PROCESS: COMMERCIAL PLANT APPLICATIONS», TEXACO INC, 1986
20. Saxony-Anhalt Approves Funding for Fraunhofer's CARBONTRANS Pilot Plant in Leuna, <https://www.imws.fraunhofer.de/en/presse/pressemitteilungen/carbontrans-pilot-plant.html>, June 2018
21. isw-Gesellschaft für wissenschaftliche Beratung und Dienstleistung mbH. «Regionalwirtschaftliche Effekte der Nutzung von Braunkohle als Chemierohstoff», Studie-stand 27/02/2015