



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

“Η ενεργειακή μετάβαση και οι ανάγκες που δημιουργεί σε πρώτες ύλες”

Διπλωματική Εργασία

του

Βίκτωρα Μαρκαντόνη, Αριθμός Μητρώου 00085

που υποβάλλεται στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων
του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας
για τη μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης
του Διπλώματος Μηχανικού Ορυκτών Πόρων ΠΔΜ



Κοζάνη, Ιούνιος 2024

Αφιερώνω την παρούσα εργασία στην οικογένειά μου,
το στήριγμα στην διάρκεια των σπουδών μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή
της πτυχιακής εργασίας κο Ιωάννη Καπαγερίδη
και τους δύο καθηγητές της επιτροπής αξιολόγησης
κο Φραγκίσκο Παυλουδάκη και κο Δημήτριο Μαρινάκη.

Περίληψη

Στις αρχές Οκτωβρίου 2023, ξεκίνησε η παρούσα πτυχιακή εργασία, με την επίσημη ανάθεση που έγινε από το Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Με εφόδιο την φοίτηση οκτώ εξαμήνων στο Τμήμα μας και με τη βοήθεια του επιβλέποντος καθηγητή, προσπαθήσαμε να σχεδιάσουμε μία πορεία και μία δομή για την προσέγγιση του θέματος της πτυχιακής εργασίας.

Ο τίτλος, περιέχει και συνδέει δύο έννοιες: την ενεργειακή μετάβαση και τις πρώτες ύλες. Έτσι με βάση τη λογική σειρά, προσεγγίσαμε αρχικά την έννοια της ενεργειακής μετάβασης. Η μελέτη των πηγών, μας έδωσε εκτός από τον ορισμό, αρκετές παραμέτρους που σχετίζονται με αυτή την μετάβαση. Και σταδιακά, κατάλαβα και εγώ προσωπικά, την παγκόσμια κινητοποίηση που υπάρχει και το πλαίσιο μέσα στο οποίο κινείται και η όλη εργασία.

Η παγκόσμια κοινότητα απευθύνει ένα βασικό ερώτημα σε όλους τους επιστημονικούς κλάδους: “είναι εφικτή η ενεργειακή μετάβαση, πριν οι κλιματικές και περιβαλλοντικές αρνητικές αλλαγές γίνουν μη αναστρέψιμες;” Στην εργασία μας εξετάσαμε τις ανάγκες σε πρώτες ύλες που χρειάζεται η ενεργειακή μετάβαση, με βάση τους στόχους που έχουν τεθεί. Και εξειδικεύσαμε το ερώτημα από την πλευρά των Ορυκτών Πόρων: Ποια θα είναι η ζήτηση ορυκτών πόρων τις επόμενες δεκαετίες και αν θα μπορεί να καλυφθεί από τις διάφορες πηγές (πρωτογενή και δευτερογενή εξόρυξη, βιομηχανική επεξεργασία, ανακύκλωση);

Στη συνέχεια το ερώτημα τέθηκε πιο συγκεκριμένα: ποιο ορυκτό ή ομάδα ορυκτών έχει μεγαλύτερο κίνδυνο να μην ανταποκριθεί στην αναμενόμενη ζήτηση; Εκεί ανακαλύψαμε, κατά τη διάρκεια της μελέτης μας, μία δρομολογημένη προσπάθεια εξασφάλισης από την Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική, εφοδιαστικής αυτονομίας. Αυτό που απέμεινε στην εργασία μας για να φανεί χρήσιμη, ήταν να συγκεντρώσει τα δεδομένα της βιβλιογραφίας και να καταλήξει σε μία βαθμολόγηση του κινδύνου διακοπής εφοδιασμού.

Τέλος, κλείνοντας, διατυπώσαμε προτάσεις τόσο για την ενεργειακή μετάβαση όσο και για την εξασφάλισή της τροφοδοσίας της σε αναγκαίες πρώτες ύλες. Παρόλο που η εργασία έγινε με ενδιαφέρον, αναγνωρίζω προσωπικά και πολλές ελλείψεις που σίγουρα υπάρχουν. Για το λόγο αυτό η παρούσα μελέτη θα ήταν καλό να θεωρηθεί σαν εισαγωγική προσέγγιση για μία πιο εμπειρισταωμένη μελέτη είτε προπτυχιακού είτε μεταπτυχιακού επιπέδου.

Abstract

At the beginning of October 2023, the present thesis began, with the official assignment made by the Department of Mineral Resources Engineering. With the experience of eight

semesters in our Department and with the help of the supervising professor, we tried to design a course and a structure for approaching the topic of our dissertation.

The title of our thesis contains and connects two concepts: energy transition and raw materials. So, based on logical order, we initially approached the concept of energy transition. The study of the sources gave us, in addition to the definition, several parameters related to this transition. And gradually, I personally understood, the global mobilization that exists and the context in which the whole work moves.

The global community addresses a key question to all scientific disciplines: "is an energy transition possible before climate and environmental negative changes become irreversible?" In our work, we examined the raw material needs, required for the energy transition, based on the goals set. And we specialized the question from the point of view of Mineral Resources: What will be the demand for mineral resources in the coming decades and whether it will be able to be covered by the various sources (primary and secondary mining, industrial processing, recycling)?

Then the question was asked more specifically: which mineral or group of minerals has a greater risk of not meeting the expected demand? There, we discovered during our study, a planned effort to secure logistics autonomy by Europe and North America. What remained in order for our work to be useful, was to gather the literature data and arrive at a rating of the supply disruption risk.

Finally, in closing our work, we formulated proposals both for the energy transition and for ensuring its supply of necessary raw materials. Although the work has been done with interest, I personally recognize many shortcomings that certainly exist. For this reason, the present study should be considered as an introductory approach to a more in-depth study at either undergraduate or postgraduate level.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	3
Abstract.....	3
Κεφάλαιο 1 ^ο	8
1.1 Εισαγωγή.....	8
Κεφάλαιο 2ο	10
2.1 Η ενεργειακή μετάβαση	10
2.2 Η ενεργειακή πορεία.....	15
2.3 Νέα δεδομένα	23
Κεφάλαιο 3 ^ο : Οι ανάγκες σε πρώτες ύλες.....	24
3.1 Βασικοί ενεργειακοί τομείς.....	24
3.2 Παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάνελ.....	25
3.2.1 Τεχνολογική εξέλιξη	25
3.2.2 Ανάγκες σε υλικά ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας για τα Φ/Β συστήματα	30
3.2.3 Εκτίμηση συνολικής ποσότητας σε υλικά για τα Φ/Β συστήματα	34
3.3 Παραγωγή ενέργειας από Ανεμογεννήτριες	37
3.3.1 Βασικά μέρη, τύποι Α/Γ και υλικά κατασκευής.....	37
3.3.2 Ανάγκες σε υλικά ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας σε συστήματα Α/Γ.....	42
Κεφάλαιο 4 ^ο : Οι ανάγκες σε πρώτες ύλες από άλλες ανανεώσιμες	49
4.1 Γεωθερμία	49
4.2 Υδροηλεκτρικά και Βιοενέργεια	50
4.3 Συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας CSP	51
4.4 Πυρηνική	52
4.5 Τεχνολογίες Υδρογόνου	54
4.6 Ηλεκτρικά δίκτυα.....	57
Κεφάλαιο 5 ^ο : Η ηλεκτροκίνηση και οι ανάγκες αποθήκευσης της ενέργειας	60
5.1 Ηλεκτρικά οχήματα (EVs)	60

5.2 Μπαταρίες ηλεκτροκίνησης	60
5.3 Εκτίμηση αναγκών.....	65
5.4 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας	67
5.5 Ερωτήματα	70
Κεφάλαιο 6 ^ο : Οι συνολικές ανάγκες της ενεργειακής μετάβασης σε συγκεκριμένες πρώτες ύλες	72
6.1 Μεθοδολογική προσέγγιση.....	72
6.2 Ο χαλκός	73
6.2.1 Εκτίμηση αναγκών.....	73
6.2.2 Εξορυκτικές δυσκολίες	75
6.3 Λίθιο.....	76
6.3.1 Εκτίμηση αναγκών.....	76
6.3.2 Το ερώτημα της επάρκειας.....	77
6.3.3 Η προμήθεια χημικών ουσιών Λιθίου.....	79
6.4 Νικέλιο	80
6.4.1 Εκτίμηση αναγκών.....	80
6.5 Κοβάλτιο	81
6.5.1 Εκτίμηση αναγκών.....	81
6.5.2 Οι αβεβαιότητες στην προσφορά Co.....	82
6.6 Σπάνιες γαίες	83
6.6.1 Γενικά.....	83
Κεφάλαιο 7 ^ο : Κρίσιμες και στρατηγικές πρώτες ύλες	86
7.1 Ευρωπαϊκή προσέγγιση.....	86
7.2 Το κοιτασματολογικό ερώτημα και οι ολοκληρωμένες αλυσίδες αξίας.....	91
7.3 Η Ευρωπαϊκή Συμμαχία για τις Πρώτες Ύλες (ERMA)	93
7.4 Από την θεωρία στην πράξη	97
7.4.1 Cluster για μαγνήτες και κινητήρες σπάνιων γαιών	97

7.4.2 Cluster για πρώτες και προηγμένες ύλες για αποθήκευση και μετατροπή ενέργειας σε σταθερές και μη σταθερές εφαρμογές	99
Κεφάλαιο 8 ^ο : Οι πρώτες ύλες της ενεργειακής μετάβασης στην Ελλάδα	103
8.1 Δυνατότητες της Ελληνικής Μεταλλευτικής/Μεταλλουργικής Βιομηχανίας (GMMI) ..	103
8.2 Η Ελληνική παραγωγή με αριθμούς.....	104
8.3 ΚΟΠΥ και ΣΟΠΥ (ΣΚΟΠΥ) στην Ελλάδα.....	107
8.4 Έρευνες για Γάλλιο και Γερμάνιο στην Ελλάδα.....	109
8.5 Δευτερογενής παραγωγή	112
8.6 Δευτερογενής παραγωγή στην Ελλάδα	113
Κεφάλαιο 9 ^ο : Επίλογος-Συμπεράσματα και προτάσεις	116
9.1 Αβεβαιότητες	116
9.2 Κίνα: ο απρόβλεπτος παράγοντας.....	117
9.3 Η εκπαιδευτική κοινότητα	118
9.4 Οι ευρωπαϊκές προσπάθειες	120
9.5 Ένα τελικό ερώτημα	121
9.6 Σπάνιες γαίες στην Ελλάδα (σύντομο σχόλιο).....	122
9.7 Η τεχνητή νοημοσύνη, η ενεργειακή μετάβαση και οι ανάγκες σε πρώτες ύλες.....	123
Βιβλιογραφία	124

Κεφάλαιο 1^ο

1.1 Εισαγωγή

Η εργασία με την οποία καλούμαστε να ασχοληθούμε, σκοπό έχει να διερευνήσει την σχέση που υπάρχει μεταξύ της ενεργειακής μετάβασης από την μία πλευρά και των αναγκών που αυτή δημιουργεί σε πρώτες ύλες από την άλλη. Η σχέση αυτή συνδέει δύο επικίνδυνες καταστάσεις. Η πρώτη είναι να μην γίνει ή καλύτερα να καθυστερήσει για διάφορους λόγους η ενεργειακή μετάβαση, και η δεύτερη είναι να μην είναι επαρκείς οι παραγόμενες πρώτες ύλες για να καλύψουν τις ανάγκες που χρειάζονται για να επιτευχθεί η ενεργειακή μετάβαση, εντός των χρονικών ορίων που έχουν τεθεί.

Συνεπώς η μελέτη μας βρήκε δεδομένες δύο παραδοχές. Ότι δηλαδή ο κίνδυνος και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να περιοριστεί. Και ξεκινάει με την υπόθεση ότι είναι σωστές. Στα μαθήματα του προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, υπάρχει επαρκής ενημέρωση και για τα δύο αυτά θέματα. Αυτό όμως που αντιμετωπίζουμε στο ξεκίνημα της εργασίας μας είναι ο βαθμός του επείγοντος που η παγκόσμια κοινότητα έχει θέσει. Και ίσως να είναι και ο λόγος ανάθεσης του συγκεκριμένου θέματος για εκπόνηση πτυχιακής μελέτης.

Γιατί όμως ήταν απαραίτητο να ξεκινήσει η ενεργειακή μετάβαση και στην πορεία να αποφασιστεί η επιτάχυνσή της; Η κυριότερη αιτία που αναφέρεται στην βιβλιογραφία είναι η προς το χειρότερο παρατηρούμενη κλιματική αλλαγή και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Τα βίαια και επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα, οι διαταραχές των συνθηκών και ισορροπιών του οικοσυστήματος οι οποίες κλιμακώνονται, ήταν αποφασιστικοί παράγοντες. Δεν είναι όμως ασήμαντες και άλλες παράμετροι. Όπως ότι είναι ορατός πλέον ο ορίζοντας εξάντλησης των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, ο οικονομικός έλεγχος της παγκόσμιας αγοράς καυσίμων από τις χώρες που τα παράγουν, η επιθυμία της Κίνας να πρωταγωνιστήσει γεωστρατηγικά τις επόμενες δεκαετίες.

Όπως είναι φυσικό, αρχικά θα αναφερθούμε στην έννοια της ενεργειακής μετάβασης, τον ορισμό, τους παράγοντες που την συνθέτουν, την ιστορική διαδρομή της και την επιθυμητή πορεία που θέλουμε να έχει τις επόμενες δεκαετίες. Στη συνέχεια στο πρώτο μέρος, θα αφιερώσουμε τρία κεφάλαια για να εξετάσουμε στους βασικούς ενεργειακούς τομείς, τι ανάγκες υπάρχουν και κυρίως τι ανάγκες εκτιμάται ότι θα δημιουργηθούν στο μέλλον. Στο δεύτερο μέρος, θα ακολουθήσει το κεφάλαιο όπου θα εξετάσουμε επιλεκτικά σε συγκεκριμένα

ορυκτά ή ομάδες ορυκτών, την συνολική ζήτηση που εκτιμάται ότι θα έχουν καθώς εξελίσσεται η ενεργειακή μετάβαση.

Το τρίτο μέρος της εργασίας μας θα ολοκληρωθεί με τρία κεφάλαια. Το πρώτο θα εξετάσει τις εξελίξεις στην ΕΕ και την Ευρώπη γενικότερα, το δεύτερο θα εστιάσει στις διεργασίες που γίνονται και στις δυνατότητες που υπάρχουν στην Ελλάδα. Ως επίλογο, θα αναφέρουμε συμπεράσματα που κατά τη γνώμη μας βγαίνουν από την εργασία και θα προσπαθήσουμε να διατυπώσουμε προτάσεις βελτίωσης στην λειτουργία της αλυσίδας ενεργειακή μετάβαση – πρώτες ύλες – περιβάλλον.

Κεφάλαιο 2ο

2.1 Η ενεργειακή μετάβαση

Σε κάθε ενεργειακό σύστημα υπάρχουν οι λειτουργίες της παραγωγής, της μεταφοράς, της κατανάλωσης και της αποθήκευσης ενέργειας. Η έννοια της *ενεργειακής μετάβασης* αναφέρεται στην αλλαγή σε μία από αυτές τις λειτουργίες. Συγκεκριμένα αναφέρεται στην αλλαγή του τρόπου με τον οποίο παράγεται ή μεταφέρεται ή καταναλώνεται ή αποθηκεύεται η ενέργεια. Σε παγκόσμιο επίπεδο, τέτοιες αλλαγές έχουν συμβεί στο παρελθόν, είτε επειδή άλλαξε η πρώτη ύλη με την οποία παράγεται η ενέργεια, είτε βρέθηκε ένας πιο αποδοτικός τρόπος παραγωγής και αξιοποίησης.

Στο 19^ο αιώνα περάσαμε από την καύση των ξύλων στην καύση κάρβουνου και γαιανθράκων. Στον 20^ο αιώνα χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο ως καύσιμη πρώτη ύλη, μαζί βέβαια με τις μηχανές εσωτερικής καύσεως και την επικράτηση του ηλεκτρισμού, που έφεραν μια μεγάλη αλλαγή στην αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας. Με τα ορυκτά καύσιμα ως πρώτη ύλη, προσφέρθηκε όλο και περισσότερη ποσότητα του «χρήσιμου υλικού», το οποίο τροφοδότησε την παγκόσμια ανάπτυξη, χωρίς η διεθνής κοινότητα να εξετάζει τυχόν παρενέργειες που θα είχε η εκτεταμένη χρήση του¹.

Στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, εκδηλώθηκαν ανησυχητικά φαινόμενα που οφείλονταν στα προϊόντα καύσης των ορυκτών πρώτων υλών. Για παράδειγμα το φωτοχημικό νέφος που πρωτοπαρουσιάστηκε στο Λονδίνο και μετά σε άλλες μεγαλουπόλεις, έδωσε ένα σήμα κινδύνου για την δημόσια υγεία, αλλά η βιομηχανική και οικονομική ανάπτυξη του δυτικού κόσμου, δεν άφησε αρχικά περιθώρια ανησυχίας. Στις επόμενες δεκαετίες ήρθαν στην επιφάνεια αφενός περιβαλλοντικά ζητήματα, αφετέρου προβλήματα που έδειχναν ότι η ανάπτυξη δεν είναι βιώσιμη μακροπρόθεσμα.

Κεντρικό ζήτημα που οδήγησε σε αποφάσεις, ήταν οι μετρήσεις για την μείωση του στρώματος στρατοσφαιρικού όζοντος και του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας της γης, παράλληλα με τη συχνή εμφάνιση ασυνήθιστων καιρικών φαινομένων. Η επιστημονική κοινότητα αναγνωρίζει ως κύρια αιτία τις ανθρωπογενείς δράσεις που εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και κυρίως ενοχοποιούν το CO₂. Στην 21^η Διάσκεψη για την Κλιματική Αλλαγή που έγινε στο Παρίσι το 2015, υπογράφηκε μία παγκόσμια συμφωνία με την οποία πρέπει να παρθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα από όλες τις χώρες, για να μην

¹ <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/energy-transition>

ξεπεράσει η άνοδος της θερμοκρασίας τους 2°C (επιθυμητό η άνοδος να μην ξεπεράσει τους 1,5 °C) σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα. Ακόμη περισσότερο στην 26^η διάσκεψη της Γλασκώβης, το 2021, καταγράφηκε η δέσμευση των χωρών που συμμετείχαν για να επιτευχθεί ο στόχος μηδενικών εκπομπών άνθρακα μέχρι το 2050².

Η πρόσφατη 28^η παγκόσμια διάσκεψη κορυφής για την κλιματική αλλαγή (COP28), που πραγματοποιήθηκε στο Ντουμπάι τον Δεκέμβριο του 2023, επαναβεβαίωσε την δέσμευση για τον στόχο των 1,5°C, προσδιορίζοντας πιο φιλόδοξες δράσεις για να μείνει ζωντανός και εφικτός. Επιπλέον:

- Όρισε μία ποσοτική μείωση 22-25 GtCO₂e μέχρι το 2030
- Έγινε συζήτηση για δυναμική μείωση εκπομπών μεθανίου και άλλων (εκτός CO₂) αερίων του θερμοκηπίου (GHG).
- Έθεσε ένα νέο στόχο να τριπλασιαστούν οι ΑΠΕ και να διπλασιαστεί η ενεργειακή απόδοση μέχρι το 2030
- Κατέγραψε πηγές χρηματοδοτήσεων και χρηματοδοτικά εργαλεία που θα υποστηρίξουν αυτές τις αλλαγές
- Συνέδεσε άμεσα αυτές τις αλλαγές με τις τοπικές κοινωνίες, την παγκόσμια ειρήνη, την συμπερίληψη, την ισότητα των φύλων, τον μη αποκλεισμό και γενικά αναφέρθηκε σε μία μετάβαση με δίκαιο, ομαλό και ισότιμο τρόπο³.

Είναι φανερό ότι τόσο οι διασκέψεις για την κλιματική αλλαγή, όσο και η Ατζέντα των Ηνωμένων Εθνών για το 2030, αλλά και περιφερειακές στρατηγικές όπως η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, έχουν δρομολογήσει μία γρήγορη (ίσως και βίαιη) ενεργειακή μετάβαση. Το διαφορετικό αυτή την φορά σε σχέση με τις προηγούμενες μεταβάσεις είναι, ότι η αλλαγή επιβάλλεται από ανάγκη και έχει τον χαρακτήρα του επείγοντος. Αν θέλαμε να δώσουμε έναν ορισμό για να κατανοήσουμε καλύτερα το αντικείμενο της εργασίας μας θα λέγαμε ότι: *Ενεργειακή μετάβαση στον 21ο αιώνα* είναι η μετατόπιση του παγκόσμιου συστήματος ενέργειας από την παραγωγή που έχει βάση την χρήση ορυκτών καυσίμων ως πρώτων υλών, σε παραγωγή με βάση πρώτες ύλες που είναι ανανεώσιμες, δεν εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου και δεν βλάπτουν το περιβάλλον. Εξασφαλίζοντας παράλληλα την ενεργειακή ασφάλεια, την επάρκεια, αλλά και την αειφόρο ανάπτυξη. Αυτός ο μετασχηματισμός επιβάλλει αλλαγές και

² <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/energy-transition>

³ <https://www.cop28.com/en/the-uae-consensus-presidential-action-agenda>

στους άλλους παράγοντες του συστήματος που είναι η μεταφορά (τα δίκτυα μεταφοράς), η κατανάλωση αλλά και η αποθήκευση αυτού του αγαθού⁴.

Στο μονοπάτι αυτών των αλλαγών, καθορίστηκαν ποιες είναι οι «καθαρές» τεχνολογίες και οι κατάλληλες πηγές παραγωγής ενέργειας που προορίζονται να αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα, τους γαιάνθρακες, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Χωρίς να εξαντλήσουμε αυτή την καταγραφή, θα αναφέρουμε:

- Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ)
 - Αιολική ενέργεια (Αιολικά πάρκα με ανεμογεννήτριες (Α/Γ) στην ξηρά και εξωχώρια καθώς και άλλα συστήματα που χρησιμοποιούν τον αέρα ως πηγή)
 - Ηλιακή ενέργεια (εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών πάνελ (Φ/Β) ή συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας)
 - Γεωθερμικά πεδία
 - Βιομάζα
 - Υδροηλεκτρικοί σταθμοί
- Παραγωγή ενέργειας από πυρηνική καύσιμα
- Συμμετοχή του Υδρογόνου στον κύκλο της Ενέργειας (για την διαδικασία Ηλεκτρόλυσης και ως καύσιμο για τις κυψέλες καυσίμου)

Στον κύκλο αυτής της μετάβασης περιλαμβάνονται:

- Μετατροπές στα ηλεκτρικά δίκτυα (μεταφοράς και διανομής ενέργειας)
- Αλλαγές στην τεχνολογία οχημάτων και μεταφορών (έμφαση στην ηλεκτροκίνηση)
- Ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης⁵.

Σε σχέση με την στρατηγική με την οποία θα φτάσουμε στον επιθυμητό στόχο, σχηματίστηκαν διάφορα σενάρια για την πραγματοποίηση των στόχων αυτής της πορείας. Από αυτά, στην εργασία μας θα αναφέρουμε δύο ευρέως χρησιμοποιούμενα:

- α) Αυτό που ονομάζεται STEPS (STated Energies Policies Scenario). Το σενάριο αυτό λαμβάνει υπόψη του ότι θα εφαρμοστούν όλες οι πολιτικές που έχουν αποφασιστεί μέχρι σήμερα, ακόμα και οι πιο πρόσφατες.

⁴ <https://natccc.gov.ng/energy-transition-climate-change/>

⁵ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», World Energy Outlook Special Report, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 21.

β) Αυτό που ονομάζεται SDS (Sustainable Development Scenario), θεωρείται πιο «σφιχτό» από τα υπόλοιπα. Είναι συμβατό με τους στόχους της συμφωνίας στο Παρίσι, με έμφαση να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας προς το κάτω όριο των 1,5 °C, δίνοντας μία πιθανότητα 66% για να σταθεροποιηθεί η αύξηση της θερμοκρασίας στους 1,8 °C στο τέλος του αιώνα. Προβλέπει επίσης μηδενισμό εκπομπών CO₂ το 2070⁶. Στην πιο αυστηρή του μορφή το σενάριο αυτό, προβλέπει ο μηδενισμός να γίνει το 2050 και ονομάζεται Net Zero Scenario (NZS).

Η δέσμευση των χωρών στους στόχους της μετάβασης είναι εθελοντική, χωρίς να υπάρχει υποχρεωτικότητα στην εφαρμογή των μέτρων και στους ρυθμούς βελτίωσης. Ωστόσο υπάρχει ένα παρατηρητήριο της εξέλιξης κάθε χώρας και η θέσπιση τριών δεικτών για την ποσοτικοποίηση της απόκλισης από τον στόχο. Ο δείκτης απόδοσης του συστήματος (SPI), αξιολογεί το κατά πόσον το ενεργειακό σύστημα μιας χώρας έχει την ικανότητα να υποστηρίξει την οικονομική ανάπτυξη, προσφέρει καθολική πρόσβαση σε έναν αξιόπιστο και ασφαλή ενεργειακό εφοδιασμό και υποστηρίζει την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Ο δείκτης ετοιμότητας μετάβασης (TRI), αξιολογεί την ύπαρξη ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για να γίνουν τα βήματα της μετάβασης (πολιτική σταθερότητα και βούληση, επενδυτικό κλίμα και διαθεσιμότητα κεφαλαίων, ανάπτυξη και υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, βαθμός συμμετοχής των χρηστών της ενέργειας). Ο μέσος όρος των δύο αυτών δεικτών μας δίνει τον δείκτη ενεργειακής μετάβασης (ETI) σε ποσοστό %, ο οποίος δείχνει την γενική εικόνα προόδου μιας χώρας προς την ζητούμενη κατεύθυνση⁷.

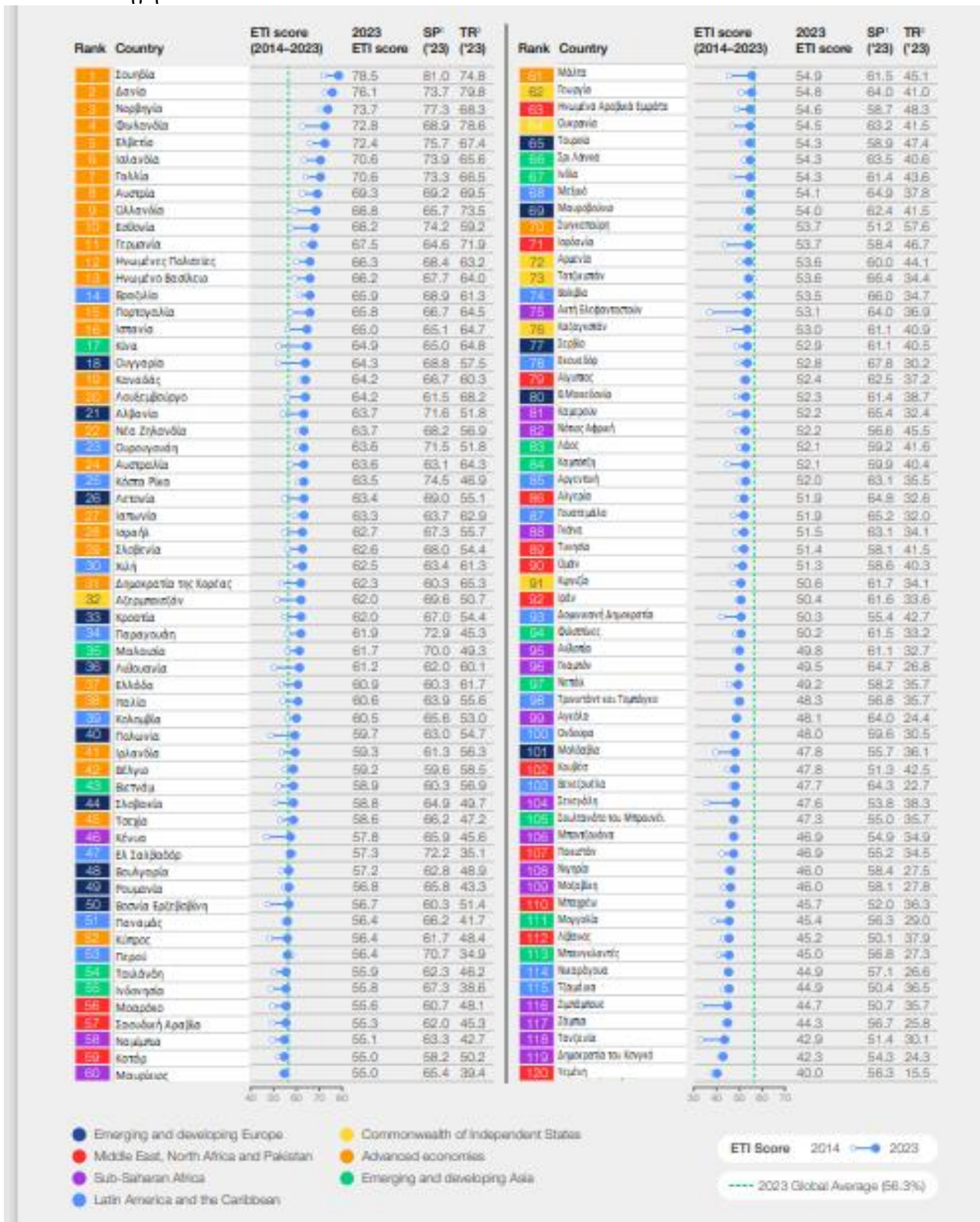
Στον πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε ότι η Σουηδία , μαζί με τις άλλες σκανδιναβικές χώρες, έχουν το μεγαλύτερο βαθμό στον δείκτη ενεργειακής μετάβασης για το έτος 2023 (2023 ETI) και υπάρχουν χώρες της υποσαχάριας Αφρικής οι οποίες χρειάζεται να κάνουν πιο γρήγορα βήματα για να καλυτερέψουν την επίδοσή τους.

⁶ Laura Cozzi, Tim Gould, « *Understanding the World Energy Outlook scenarios*», Commentary, 29 October 2019, <https://www.iea.org/commentaries/understanding-the-world-energy-outlook-scenarios>

⁷ Στέλλα Τσάνη, «*Ενεργειακή μετάβαση: Προκλήσεις και ευκαιρίες για την εγχώρια εφοδιαστική αλυσίδα και την αγορά εργασίας*», άρθρο στον ιστότοπο: [insider.gr](https://www.insider.gr), 13/09/2021, <https://www.insider.gr/opinion/188929/energeiaki-metabasi-prokliseis-kai-eykairies-gia-tin-eghoria-efodiastiki-alytida-kai>

Πίνακας 2.1: Αξιολόγηση των χωρών με βάση τους δείκτες ETI, SPI, TRI.

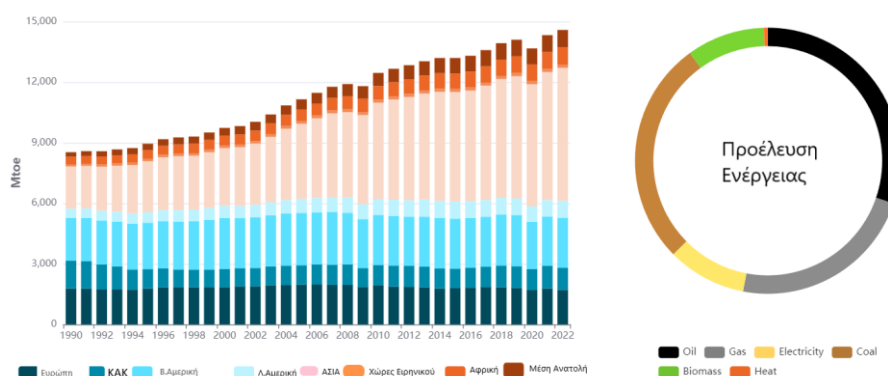
Πηγή: WOF⁸



⁸ «Fostering Effective Energy Transition», WOF INSIGHT REPORT, 2023 Edition, σελ.12, <https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition-2023/>

2.2 Η ενεργειακή πορεία

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μία αύξηση στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας και αυτός είναι ένας επιπλέον παράγοντας δυσκολίας για να αναχαιτίσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ωστόσο, ο ρυθμός αύξησης μειώνεται από 4,9 % που ήταν το 2021 σε 2,1% που έφτασε το 2022.



Διάγραμμα 2.1: Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας σε εκατομμύρια ισοδύναμων τόνων πετρελαίου (Mtoe)

Πηγή: World Energy Consumption Statistics | Enerdata⁹

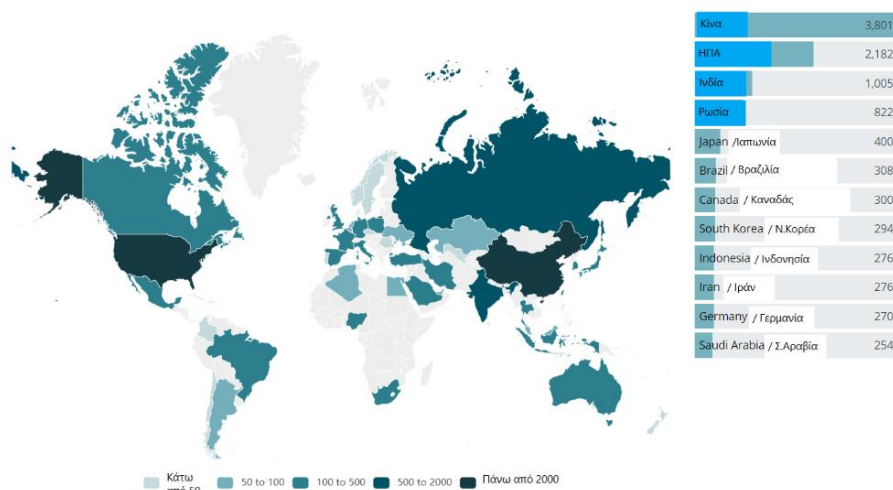
Είναι φανερό ότι η αύξηση στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας οφείλεται στην Ασία και συγκεκριμένα στις ασιατικές χώρες που έχουν αφενός μεγάλη αύξηση πληθυσμού, αφετέρου οικονομική και βιομηχανική ανάπτυξη. Από πλευράς χωρών, αν εξετάσουμε το έτος 2022, Στην Κίνα που είναι η πρώτη σε κατανάλωση χώρα, η αύξηση ήταν 3% (αντί του 5,2% το 2021) και στις ΗΠΑ 1,8% (αντί του 4,9% το 2021). Τα μεγαλύτερα ποσοστά αύξησης είχαν η Ινδία (7,3%), η Ινδονησία (21%) και η Σαουδική Αραβία (8,4%). Μείωση κατανάλωσης ενέργειας είχαμε περίπου -3% σε Ηνωμένο Βασίλειο και Τουρκία.

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε μία τάση μικρής μείωσης της κατανάλωσης που υπάρχει στην Ευρώπη, την ΕΕ και την Ελλάδα την περίοδο 2011-2021.

⁹ «World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2023», στατιστικά δεδομένα από τον ιστότοπο: enerdata.net, <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>

Πίνακας 2.2: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας σε μονάδες εξατζάουλ (10^{18} J)
 Πηγή στοιχείων: Statistical Review of World Energy 2022 (bp.com)¹⁰

	ΕΥΡΩΠΗ	ΕΕ	ΕΛΛΑΔΑ
2011	87,51	63,87	1,32
2012	87,26	63,17	1,24
2013	86,46	62,69	1,17
2014	83,19	60,48	1,10
2015	83,96	61,26	1,11
2016	85,09	61,95	1,09
2017	85,74	62,55	0,95
2018	86,06	62,77	1,15
2019	84,79	61,77	1,12
2020	78,93	57,07	1,00
2021	82,38	60,11	1,05



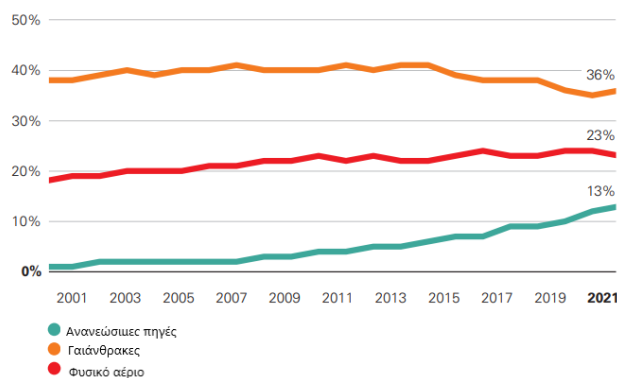
Διάγραμμα 2.2: Κατανάλωση ενέργειας ανά χώρα, σε εκατομμύρια ισοδύναμων τόνων πετρελαίου (Mtoe) για το έτος 2022.

Πηγή: World Energy Consumption Statistics | Enerdata¹¹

Στην πορεία αυτή αξίζει να δούμε το ποσοστό της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Το ποσοστό αυτό συνεχώς αυξάνεται, χωρίς όμως να καλύπτει την αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης. Για το λόγο αυτό, δεν υποχωρεί αισθητά η παραγωγή από γαιάνθρακες, πετρέλαιο, φυσικό αέριο. Επομένως δεν υποχωρούν και οι συνολικά εκπεμπόμενοι ρύποι προς την ατμόσφαιρα.

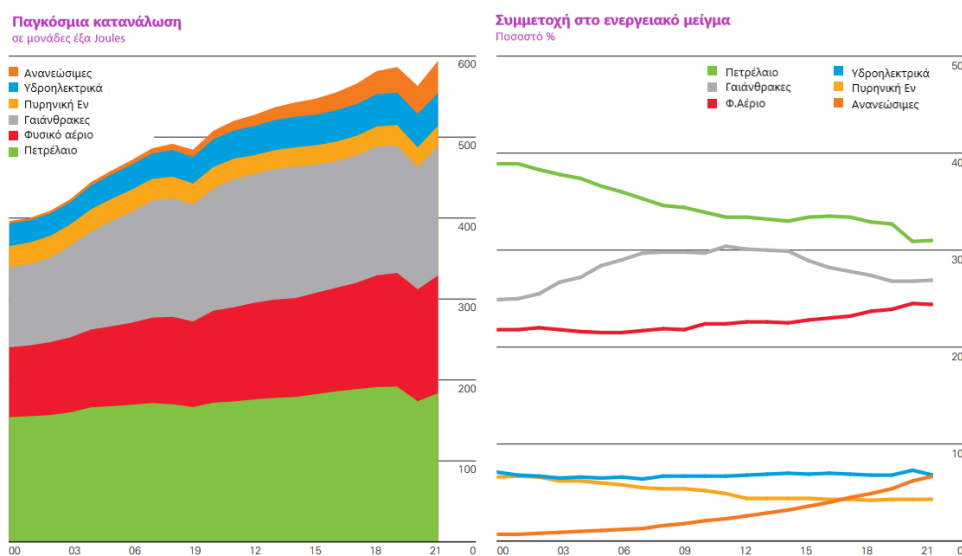
¹⁰ «Statistical Review of World Energy 2022», 71st edition, στατιστικά δεδομένα από τον ιστότοπο: bp.com, Λονδίνο, 2022, σελ. 8, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>.

¹¹ «World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2023», στατιστικά δεδομένα από τον ιστότοπο: enerdata.net, <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>



Διάγραμμα 2.3: Ποσοστό % συμμετοχής στο συνολικό μείγμα ενέργειας
 Πηγή: Statistical Review of World Energy 2022 (bp.com)¹²

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την παγκόσμια κατανάλωση για όλα τα είδη ενέργειας που συμμετέχουν στο μείγμα και τα ποσοστά συμμετοχής για το κάθε είδος. Αξιοσημείωτη είναι η συνεχής μείωση του ποσοστού συμμετοχής της παραγωγής ενέργειας από το πετρέλαιο, στο συνολικό μείγμα.



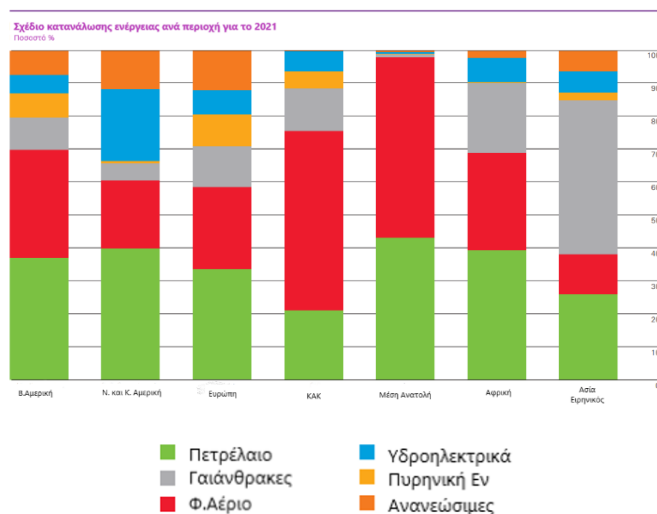
Διάγραμμα 2.4: Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας σε έξα Joules και ποσοστό % συμμετοχής για το κάθε είδος ενέργειας στο συνολικό μείγμα.
 Πηγή: Statistical Review of World Energy 2022 (bp.com)¹³

Σε έναν ιδιότυπο ανταγωνισμό για το ποια περιοχή έχει μεγαλύτερη διείσδυση των ΑΠΕ και γενικά των λιγότερο ρυπογόνων πηγών, θα λέγαμε ότι η περιοχή της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής έχει το μικρότερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας που προέρχεται από ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα. Αυτό εξηγείται από το μεγάλο ποσοστό συμμετοχής των υδροηλεκτρικών

¹² «Statistical Review of World Energy 2022», ό.π., Λονδίνο, 2022, σελ.6.

¹³ «Statistical Review of World Energy 2022» στο ίδιο, Λονδίνο, 2022, σελ.10.

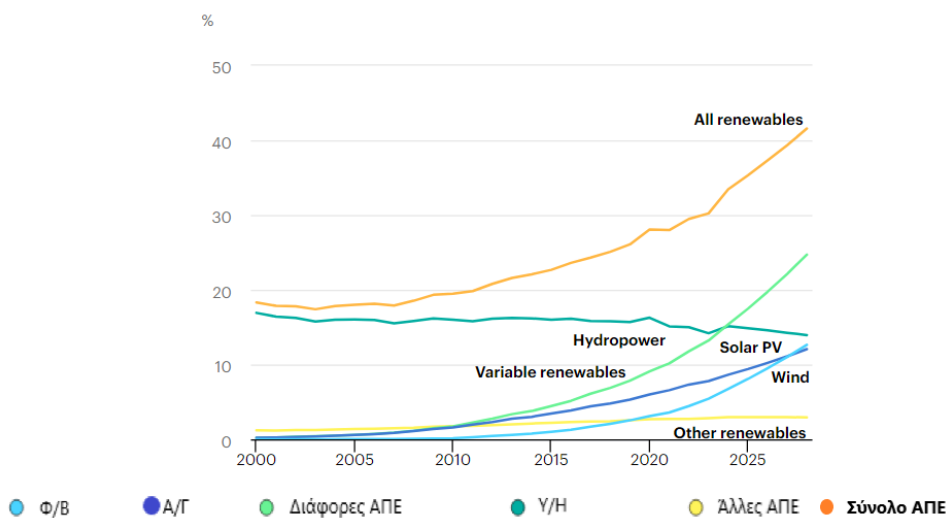
στο μείγμα. Η Ευρώπη έχει ένα περίπου 30% συμμετοχής ΑΠΕ, πυρηνικών και υδροηλεκτρικών πηγών στο μείγμα (με βάση την κατανάλωση του έτους 2021).



Διάγραμμα 2.5: Σχέδιο κατανάλωσης ενέργειας ανά περιοχή για το 2021. Ποσοστό % συμμετοχής για το κάθε είδος ενέργειας στο συνολικό μείγμα.

Πηγή: Statistical Review of World Energy 2022 (bp.com) ¹⁴

Υπάρχει η αισιόδοξη εκτίμηση ότι το συνολικό (παγκόσμιο) ποσοστό των μη ρυπογόνων πηγών στο μίγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα ξεπεράσει το 40% το 2028.



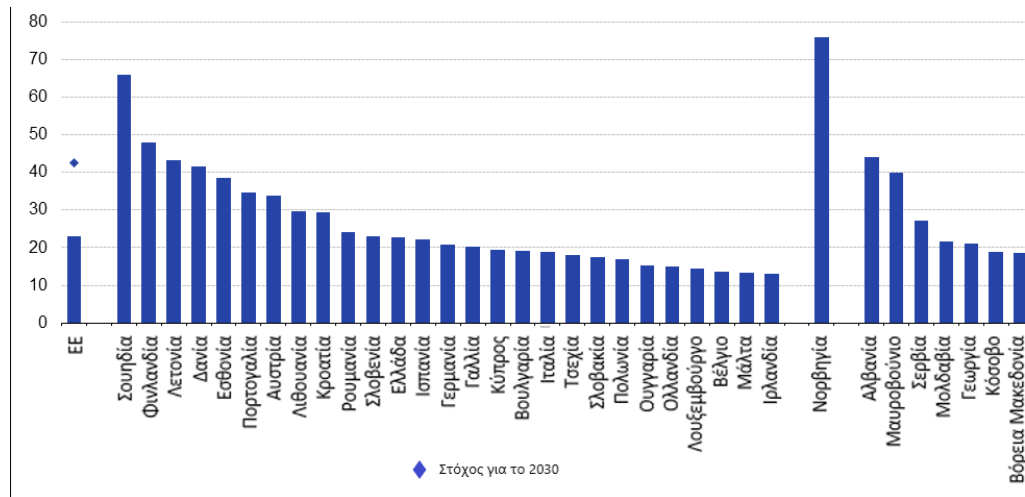
Διάγραμμα 2.6: Ποσοστό % συμμετοχής για το κάθε είδος καθαρών πηγών στο συνολικό μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συνολικό ποσοστό % συμμετοχής για όλες τις ανανεώσιμες στο συνολικό μείγμα.

Πηγή: iea.org ¹⁵

¹⁴ «Statistical Review of World Energy 2022», ό.π., Λονδίνο, 2022, σελ.10.

¹⁵ <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts?page=4>

Στο θέμα της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό μίγμα κατανάλωσης, η Ευρωπαϊκή Ένωση δείχνει μία πρόοδο, με τα στοιχεία του 2022 να δείχνουν ένα μεσοσταθμικό ποσοστό 23%, την Σουηδία να έχει πρωταγωνιστικό ρόλο και την Ελλάδα να βρίσκεται λίγο πιο κάτω από τον μέσο όρο, 22,68%.



Διάγραμμα 2.7: Ποσοστό % συμμετοχής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο συνολικό μείγμα (2022).

Πηγή: eurostat¹⁶

Το ποσοστό αυτό του 23% για την ΕΕ είναι υπερδιπλάσιο από αυτό του 2004. Η Ελλάδα στο ίδιο χρονικό διάστημα κατάφερε να τριπλασιάσει το αντίστοιχο ποσοστό από 7,16% το 2004 σε 22,68% το 2022.

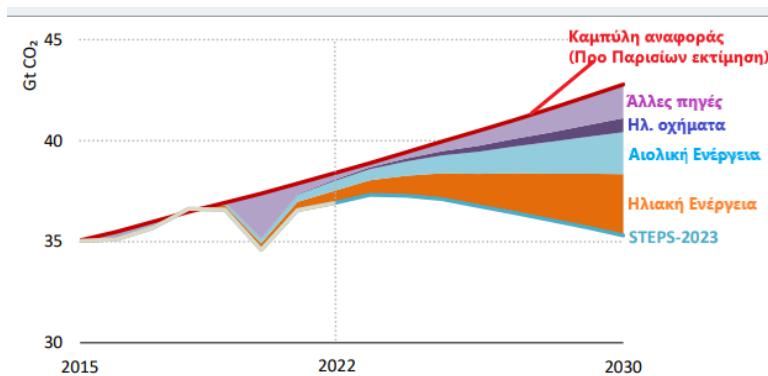
¹⁶ [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Figure_1-Share_of_energy_from_renewable_sources,_2022_\(%25\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Figure_1-Share_of_energy_from_renewable_sources,_2022_(%25).png)

Πίνακας 2.3: Ποσοστό % συμμετοχής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο συνολικό μείγμα (από το 2004 έως το 2022).

Πηγή: eurostat¹⁷

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
ΕΕ	9.605	10.182	10.778	11.749	12.552	13.650	14.405	14.547	16.002	16.659	17.418	17.820	17.978	18.411	19.096	19.887	22.038	21.926	23.020
Αυστρία	1.916	2.325	2.650	3.140	3.611	4.746	6.004	6.302	7.586	7.671	8.038	8.080	8.744	9.138	9.472	9.929	13.000	13.007	13.759
Βουλγαρία	9.231	9.173	9.415	9.098	10.345	12.005	13.927	14.152	15.837	18.898	18.050	18.281	18.780	18.895	20.581	21.545	23.319	19.447	19.095
Τσεχία	6.773	7.113	7.362	7.895	8.674	9.977	10.513	10.945	12.814	13.927	15.074	15.070	14.926	14.789	15.138	16.238	17.303	17.671	18.195
Δανία	14.836	15.955	16.332	17.747	18.543	19.948	21.888	23.389	25.485	27.173	29.310	30.489	31.715	34.387	35.158	37.020	31.681	41.009	41.601
Γερμανία	6.207	7.167	8.486	10.039	10.072	10.851	11.867	12.470	13.549	13.757	14.381	14.501	14.885	15.472	16.660	17.266	19.090	19.385	20.796
Εσθονία	18.420	17.478	16.011	17.139	18.811	23.009	24.575	25.515	25.586	25.356	26.130	28.987	29.232	29.538	29.970	31.730	30.069	37.442	38.472
Ιρλανδία	2.378	2.822	3.073	3.497	3.979	5.243	5.755	6.805	7.529	7.521	8.516	9.083	9.189	10.520	10.942	11.979	16.160	12.376	13.107
Ελλάδα	7.161	7.277	7.458	8.249	8.183	8.731	10.077	11.153	13.741	15.326	15.683	15.890	15.390	17.300	18.001	19.633	21.749	22.017	22.678
Ισπανία	8.345	8.444	9.196	9.667	10.744	12.958	13.782	13.176	14.239	15.081	15.879	16.221	17.015	17.118	17.023	17.852	21.220	20.736	22.116
Ιταλία	9.319	9.272	8.936	9.426	11.188	12.215	12.871	13.013	13.239	13.880	14.362	14.803	15.481	15.847	16.384	17.174	19.109	19.204	20.259
Κροατία	23.404	23.891	22.888	22.161	21.986	23.596	25.103	25.389	26.757	28.040	27.817	28.989	28.286	27.280	28.047	28.466	31.023	31.285	29.354
Λιθουανία	6.316	7.540	8.328	8.807	11.482	12.775	13.023	12.881	15.441	16.741	17.082	17.525	17.415	18.267	17.796	18.181	20.359	19.158	19.006
Λετονία	3.071	3.131	3.263	4.001	5.131	5.920	6.181	6.245	7.111	8.428	9.144	9.903	9.833	10.478	13.873	13.777	16.879	19.089	19.429
Λετονία	32.794	32.264	31.141	29.615	29.811	34.317	30.375	33.478	35.709	37.037	38.629	37.538	37.138	39.008	40.019	40.929	42.132	42.098	43.316
Λιθουανία	17.221	16.768	16.887	16.482	17.824	19.798	19.839	19.943	21.437	22.689	23.592	25.748	25.812	26.038	24.895	25.474	26.773	28.186	29.599
Λουξεμβούργο	0.899	1.402	1.489	2.725	2.809	2.929	2.851	2.855	3.112	3.494	4.471	4.987	5.384	6.194	8.942	7.046	11.899	11.730	14.358
Ουγγαρία	4.364	6.931	7.433	8.575	8.564	11.673	12.742	13.972	15.530	16.205	14.618	14.495	14.377	13.556	12.548	12.634	13.850	14.134	15.190
Πόλακα	0.162	0.123	0.149	0.177	0.195	0.221	0.979	1.850	2.882	3.760	4.744	5.119	6.208	7.219	7.914	8.230	10.714	12.672	13.404
Ολλανδία	2.030	2.478	2.778	3.298	3.596	4.266	3.917	4.524	4.659	4.691	5.415	5.714	5.846	6.507	7.394	8.886	13.999	12.988	14.972
Πορτογαλία	22.553	24.353	26.276	28.144	28.788	31.038	31.205	31.552	32.734	32.665	33.550	33.497	33.370	33.136	33.784	33.759	36.545	34.573	33.758
Ρουμανία	6.882	6.887	6.859	6.903	7.686	8.678	9.281	10.337	10.955	11.452	11.605	11.881	11.398	11.059	14.936	15.377	16.102	15.813	16.873
Ρωσία	19.205	19.523	20.792	21.907	22.929	24.405	24.150	24.603	24.574	25.699	29.508	30.514	30.864	30.811	30.203	30.623	33.982	33.882	34.677
Σλοβενία	18.397	19.808	18.416	19.675	18.648	20.765	21.081	20.837	21.551	23.160	22.459	22.879	21.875	21.658	21.378	21.968	25.000	25.000	22.937
Σλοβακία	8.391	8.360	8.584	7.786	7.723	8.368	9.099	10.348	10.453	10.133	11.713	12.882	12.829	11.485	11.896	16.894	17.345	17.419	17.501
Φινλανδία	29.232	28.814	30.043	29.581	31.071	31.045	32.166	32.832	34.222	36.630	38.633	39.230	38.943	40.857	41.185	42.807	43.939	42.854	47.886
Σουηδία	38.427	39.982	41.734	43.224	43.922	47.024	46.099	47.832	49.403	50.153	51.151	52.220	52.597	53.390	53.916	55.785	60.124	62.686	66.002
Ισπανία	58.699	60.270	60.921	61.625	67.981	70.238	70.908	72.298	73.727	73.787	73.043	71.948	75.329	74.104	77.173	78.402	83.725	85.785	
Νιγηρία	58.417	60.089	60.521	60.398	62.003	65.071	61.888	64.838	64.832	66.480	68.406	68.545	69.235	70.038	71.566	74.816	77.358	74.018	75.820
Μαυροβούνιο	35.694	34.842	32.925	32.290	39.371	40.840	40.848	41.513	43.696	44.098	43.073	41.529	39.653	38.801	37.722	43.770	39.891	39.944	
Ταϊβάνη	12.724	14.257	14.542	14.327	15.888	21.024	19.763	19.118	20.790	21.095	22.864	21.989	21.147	20.287	20.320	21.443	26.297	25.255	27.077
Βραζιλία	29.620	31.387	32.070	32.657	32.448	31.437	31.867	31.187	35.152	33.167	31.856	34.913	38.953	35.778	36.572	38.042	45.015	41.389	44.076
Αίθιοπία	15.702	16.466	16.527	14.976	15.555	17.238	16.451	16.407	18.128	18.509	19.659	19.526	18.944	19.638	18.179	17.486	19.222	17.488	18.682
Κόσσοβο	20.541	19.773	19.511	18.812	18.429	18.230	18.230	17.596	18.625	18.823	19.544	18.484	24.472	23.082	24.616	24.215	24.401	22.140	18.779
Μαλαισία	7.450	6.402	6.960	6.443	6.994	7.924	21.369	22.081	24.328	24.419	26.160	26.173	26.888	27.836	27.476	23.843	25.057	22.202	21.538
Γαλλία																		22.313	21.151

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα, η συμμετοχή μη ρυπογόνων πηγών δεν έχει ακόμα συμβάλει στο να μειωθούν σε ποσότητα τα ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα. Απλώς έχει μειωθεί ο ρυθμός αύξησης στη χρήση τους. Το ίδιο συμβαίνει και με τις εκπομπές CO₂, οι οποίες αναμένεται σαν ποσότητα να κορυφωθούν τα αμέσως επόμενα χρόνια. Η παγκόσμια μείωση εκπομπών CO₂ αναμένεται να φτάσει το 2030 σε μια ποσότητα των 6 γιγατόνων λιγότερη, σε σχέση με την πριν από την συμφωνία του Παρισιού κατάσταση.



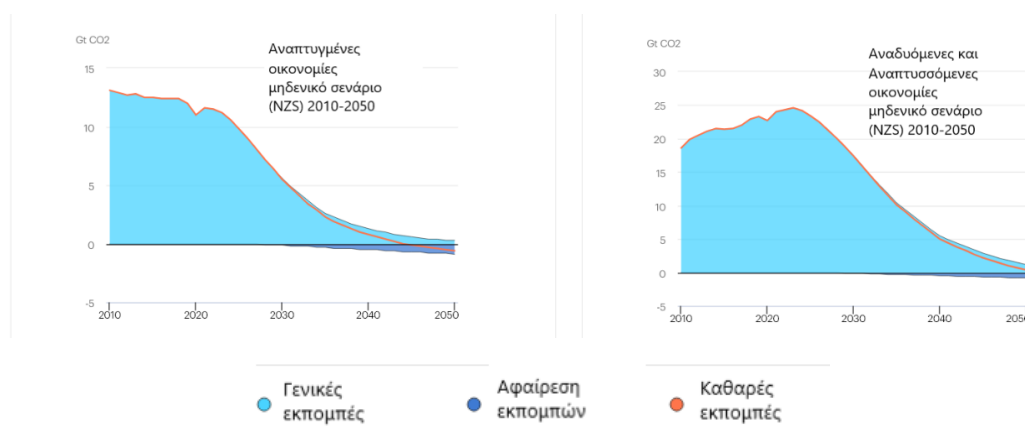
Διάγραμμα 2.8: εκπομπές CO₂ σε γίγα τόνους συνολικά από τον ενεργειακό τομέα. Υπάρχει η καμπύλη αναφοράς με βάση την πριν από την συμφωνία του Παρισιού κατάσταση και η καμπύλη εκπομπών CO₂ όπως προβλέπει το σενάριο STEPS του 2023

Πηγή: iea.org¹⁸

¹⁷ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_more_than_doubled_between_2004_and_2022

¹⁸ https://www.iea.org/data-and-statistics/charts?license_type=cc-by-40&topic%5B0%5D=net-zero-emissions&page=3

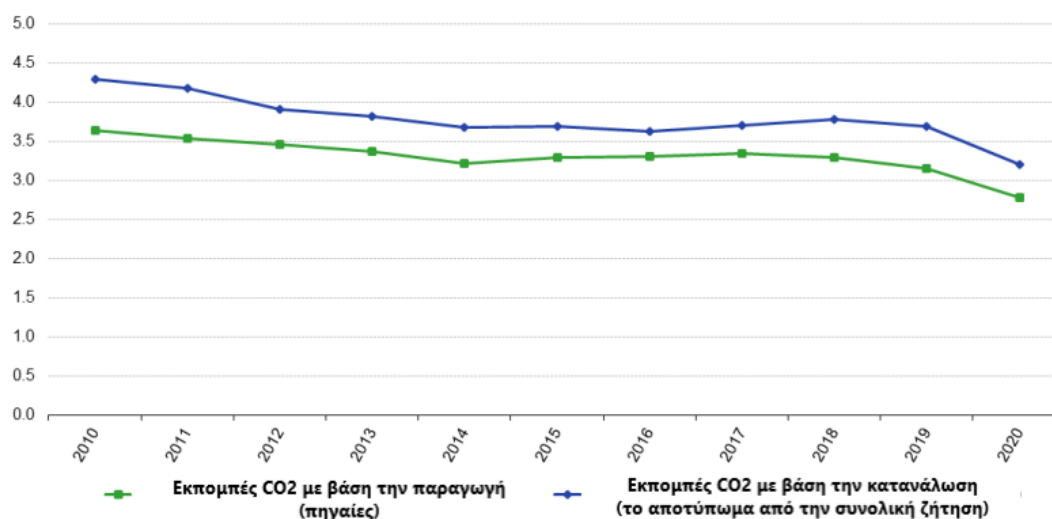
Το παραπάνω συμπέρασμα αφορά στο σύνολο των χωρών. Στις χώρες με τις ανεπτυγμένες οικονομίες, η μείωση των εκπομπών CO₂ έχει ήδη αρχίσει.



Διάγραμμα 2.9: Εκπομπές CO₂ σε γίγα τόνους συνολικά από τον ενεργειακό τομέα. Στις αναπτυγμένες οικονομίες (αριστερά) βλέπουμε ότι οι καθαρές εκπομπές έχουν μία φθίνουσα πορεία μετά το 2022. Το σημείο καμπής για τις αναδυόμενες και αναπτυσσόμενες οικονομίες (δεξιά) δεν έχει ακόμη επιτευχθεί.

Πηγή: iea.org¹⁹

Η ΕΕ είναι από τις περιοχές που δείχνει μία αποκλιμάκωση (μικρή βέβαια) των εκπομπών CO₂ (κατά μέσο όρο).



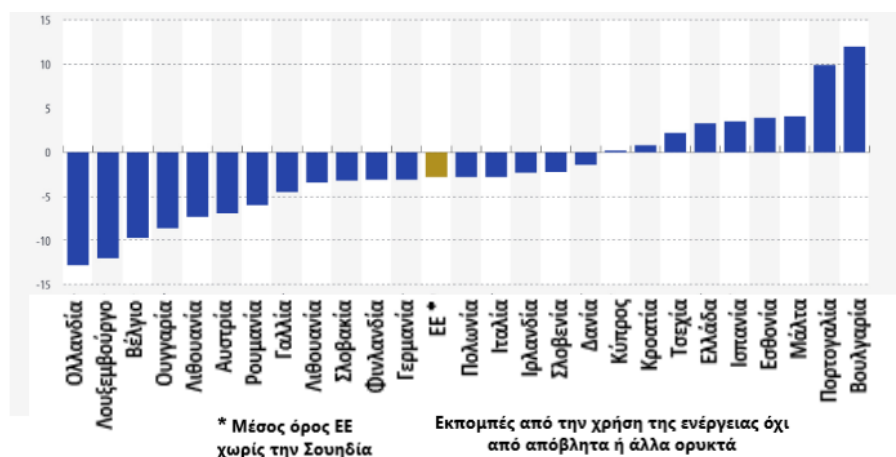
Διάγραμμα 2.10: Εκπομπές CO₂ σε δισεκατομμύρια τόνους στην ΕΕ, α) με βάση την παραγωγή και β) με βάση την κατανάλωση (το αποτύπωμα από την συνολική ζήτηση).

Πηγή: eurostat²⁰

¹⁹ https://www.iea.org/data-and-statistics/charts?license_type=cc-by-40&topic%5B0%5D=net-zero-emissions&page=2

²⁰ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:CO%E2%82%82-emissions_by_perspective,_EU_2010-2020,_billion_tonnes.png

Και σε αυτή την ελαφρώς καθοδική πορεία, κάποιες χώρες της ΕΕ έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο. Από τα αποτελέσματα με τις διαφορές εκπομπών μεταξύ των ετών 2021 και 2022, βλέπουμε την Ολλανδία και το Λουξεμβούργο να επιτυγχάνουν μειώσεις που ξεπερνούν το -10%, ακολουθούν το Βέλγιο και η Ουγγαρία με μειώσεις που ξεπερνούν το -8%. (Το διάγραμμα δεν περιλαμβάνει το αποτέλεσμα της Σουηδίας). Από την άλλη πλευρά η Ελλάδα βρίσκεται με τις χώρες που στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα παρουσίασαν αύξηση (περίπου στο +3%).

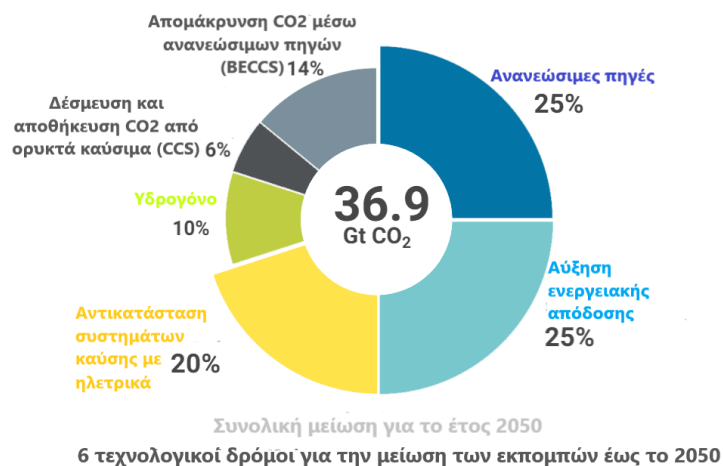


Διάγραμμα 2.11: Ποσοστιαία μεταβολή εκπομπών CO₂ (%) που οφείλονται στην χρήση της ενέργειας, μεταξύ των ετών 2021 και 2022 στην ΕΕ.

Πηγή: eurostat²¹

Με το σενάριο STEPS 2023, που προβλέπει μείωση εκπομπών 6 γιγατόνων CO₂ για το 2030, είναι φανερό ότι αυτή η μείωση σαν ποσότητα, μας απομακρύνει από το στόχο των 1,5°C. Κρατάμε όμως σαν υπόθεση εργασίας ότι θα φτάσουμε σε μηδενισμό των συγκεκριμένων εκπομπών το 2050. Αυτό σημαίνει ότι σε σχέση με τα σημερινά επίπεδα η παγκόσμια κοινότητα θα καταφέρει να μειώσει την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας κατά περίπου 36,9 γιγατόνους CO₂ σε αυτό το ορόσημο. Ο διεθνής οργανισμός για τις ανανεώσιμες ενέργειες (IRENA), μας δίνει την εκτίμηση για την ποσοστιαία συμβολή 6 τεχνολογικών τομέων για την επίτευξη αυτού του στόχου.

²¹ <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/DDN-20230609-2>



Διάγραμμα 2.12: Μείωση εκπομπών CO₂ (σε γιγατόνους) με ορίζοντα το 2050. Ποσοστό συμβολής 6 τεχνολογικών τομέων, που αφορούν στην ενέργεια, για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Πηγή: irena.org²²

2.3 Νέα δεδομένα

Η πορεία της ενεργειακής μετάβασης, τα αισιόδοξα ή μη σενάρια αλλά και οι τεχνολογικές εξελίξεις, έφεραν νέα δεδομένα σε πολλά επίπεδα. Επιχειρούν να ανατρέψουν γεωπολιτικές ισορροπίες, αναπτύσσουν ανταγωνισμό μεταξύ κρατών, επιχειρήσεων και βιομηχανιών, γεννούν ερωτηματικά για την ενεργειακή ασφάλεια, επάρκεια και αυτονομία για την κάθε χώρα αλλά και για το παγκόσμιο σύστημα. Ένα σύστημα που καλείται να ανταποκριθεί στις σύγχρονες απαιτήσεις που θέλουν να είναι στο επίκεντρο ο άνθρωπος, μέσα σε ένα υγιές περιβάλλον και σε καθεστώς κυκλικής οικονομίας και αειφόρου ανάπτυξης.

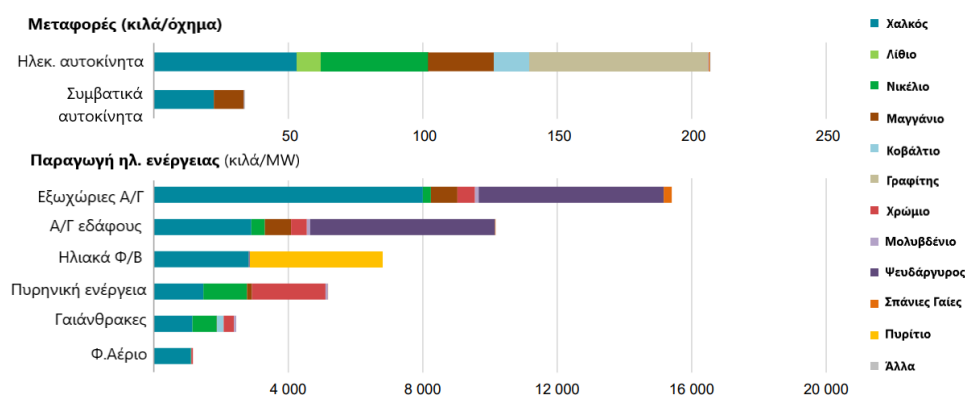
Από την άλλη πλευρά η εξορυκτική βιομηχανία, χωρίς να είναι αμέτοχη σε όλους αυτούς τους πολιτικούς, οικονομικούς και ενίοτε στρατιωτικούς διαγκωνισμούς, καλείται να συμβάλει αποφασιστικά στην επίτευξη των στόχων της μετάβασης. Αφενός να εφαρμόσει περισσότερο αποδοτικές τεχνικές εξόρυξης με ταυτόχρονη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αφετέρου να τροφοδοτήσει με τις απαιτούμενες ποσότητες τις πρώτες ύλες που χρειάζονται για την παραγωγή της καθαρής ενέργειας. Αυτές τις ανάγκες σε πρώτες ύλες, θα προσπαθήσει η εργασία μας να διερευνήσει, εστιάζοντας στο ερώτημα αν υπάρχει ένας αδύναμος κρίκος στην αλυσίδα, με ανασταλτικές συνέπειες για τον ρυθμό με τον οποίο εξελίσσεται η ενεργειακή μετάβαση.

²² «Energy transition outlook/Global outlook», στατιστικά δεδομένα από τον ιστότοπο: irena.org, <https://www.irena.org/Energy-Transition/Outlook>

Κεφάλαιο 3^ο: Οι ανάγκες σε πρώτες ύλες

3.1 Βασικοί ενεργειακοί τομείς

Η μετάβαση, την οποία εξετάζει η μελέτη μας, δεν ξεκινάει τώρα. Έχει διανύσει ένα μέρος του δρόμου (μία πρακτική εκτίμηση το αξιολογεί από 10-20%) και μας έχει δείξει τις δυσκολίες και τα εμπόδια που αντιμετωπίζει. Παράλληλα μας έχει δείξει τις ανάγκες πρώτων υλών που χρειάζεται για να υλοποιηθεί. Και επιτρέπει μία εκτίμηση των αναγκών (σε πρώτες ύλες) για την ολοκλήρωσή της. Στον πιο κάτω πίνακα βλέπουμε τις ανάγκες μετάλλων σε δυο βασικούς τομείς: της παραγωγής ενέργειας και των μεταφορών. Για παράδειγμα, ένα τυπικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο χρειάζεται έξι φορές περισσότερους ορυκτούς πόρους για την κατασκευή του, από ότι ένα συμβατικό. Παρόμοια μία ανεμογεννήτρια στην ξηρά χρειάζεται εννιά φορές περισσότερους ορυκτούς πόρους από ότι ένας σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο φυσικό αέριο. Είναι φανερό ότι η μετάβαση θα οδηγήσει το σύστημα από την ένταση κατανάλωσης καυσίμων σε ένταση κατανάλωσης και χρήσης ορυκτών υλικών και πρώτων υλών²³.



* Δεν συμπεριλαμβάνονται οι Σίδηρος, Χάλυβας και το Αλουμίνιο

Διάγραμμα 3.1: Ορυκτά που χρειάζονται σε μεταφορές και παραγωγή ηλ. ενέργειας.
Πηγή:iea.org²⁴

Συνεπώς βλέπουμε ότι οι ανάγκες σε ορυκτά και γενικά σε πρώτες ύλες για την επόμενη περίοδο θα είναι πολλαπλάσιες. Και αυτό δεν είναι μόνο μία εκτίμηση, αλλά το δείχνουν και τα δεδομένα του μέχρι τώρα ποσοστού της μετάβασης που έχει επιτευχθεί. Η εργασία μας θα επιχειρήσει να ερευνήσει τις ανάγκες αυτές στους βασικούς ενεργειακούς τομείς που θα γίνει η αντικατάσταση, είτε στον τρόπο παραγωγής, είτε μεταφοράς ή αποθήκευσης:

²³ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 28.

²⁴ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 26.

- Ηλιακή ενέργεια (Φωτοβολταϊκά πάνελ και συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας (CSP))
- Αιολική ενέργεια (Ανεμογεννήτριες και άλλα συστήματα διαχείρισης αιολικής ενέργειας)
- Βιοενέργεια (Βιοκαύσιμα, κά)
- Γεωθερμικά πεδία
- Υδροηλεκτρικά
- Πυρηνικά
- Δίκτυα (διανομής και μεταφοράς ενέργειας)
- Συστήματα αποθήκευσης
- Υδρογόνο
- Μεταφορές (Ηλεκτρικά οχήματα κλπ)

3.2 Παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάνελ

3.2.1 Τεχνολογική εξέλιξη

Η παγκόσμια ισχύς που παράγεται από ηλιακά συστήματα, έχει αυξηθεί σχεδόν 20 φορές την δεκαετία 2010-2020, ωθούμενη από τη μείωση του κόστους και την ισχυρή στήριξη πολιτικής σε βασικές περιοχές. Και είναι τέτοια η μείωση του κόστους, ώστε να προσφέρουν τώρα μερικά από τα χαμηλότερα σταθμισμένα κόστη ηλεκτρικής ενέργειας στις περισσότερες χώρες, φθηνότερα και από τους νέους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση γαιανθράκων ή φυσικού αερίου. Γιαυτό και με τα δύο σενάρια (STEPS και SDS ή NZS), η ηλιακή ενέργεια προτείνεται να αντιπροσωπεύει το 45% των συνολικών προσθηκών ισχύος έως το 2040²⁵.

Από την άλλη πλευρά έχουμε και τις εξελίξεις στην τεχνολογία κατασκευής Φ/Β πάνελ, οι οποίες άλλοτε στοχεύουν στην αύξηση της απόδοσης, άλλοτε στην μείωση της χρήσης υλικών κατασκευής. Με γενική κατεύθυνση την μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Δομή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Τα τμήματα που αποτελείται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι:

- α) Η γεννήτρια της ηλεκτρικής ενέργειας (φωτοβολταϊκό πλαίσιο-panel). Μπορεί να βρίσκεται σε μία βάση στήριξης μαζί με ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς (tracker).
- β) Μπαταρίες – Συσσωρευτές
- γ) Ρυθμιστής φόρτισης (προσφέρει προστασία και έλεγχο των μπαταριών)

²⁵ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», όπ. π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 56.

δ) Μετατροπέας τάσης (inverter) από DC (12V/24V/48V) στα 220 V AC.

Βασική μονάδα του συστήματος είναι το panel. Αποτελείται από φωτοβολταϊκές κυψέλες, που κατασκευάζονται με διάφορες τεχνολογίες. Θα δούμε την εξέλιξη των μεθόδων παραγωγής μέχρι την 4^η γενιά που βρισκόμαστε σήμερα. Για κάθε τεχνολογία υπάρχει διαφοροποίηση αναγκών σε πρώτες ύλες²⁶.

1^η τεχνολογική γενιά

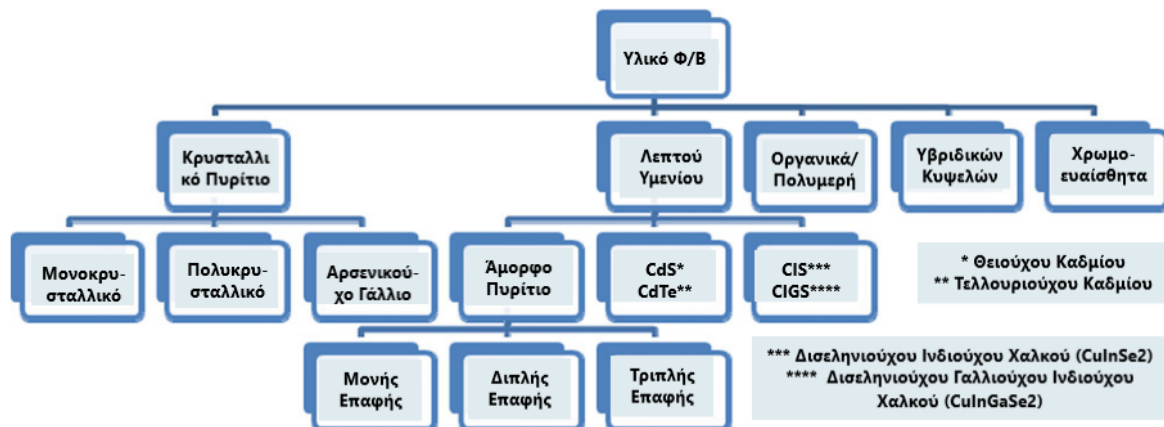
Έχει βάση το κρυσταλλικό πυρίτιο (Si-cSi). Ένα στοιχείο με $E_g=1,1$ eV, το οποίο υπάρχει σε αφθονία. Τα πάνελ με κυψέλες κρυσταλλικού πυριτίου επικρατούν στην αγορά και έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό βιομηχανικής παραγωγής.

Πλεονεκτήματα :

- Απορροφούν φωτόνια από μεγάλο μέρος ενεργειακού φάσματος
- Μεγάλη κινητικότητα φορτίων

Μειονεκτήματα :

- Υψηλό κόστος κατασκευής
- Μεγάλη απώλεια ενέργειας στην δημιουργία και το κόψιμο των ράβδων
- Μεγάλες ενεργειακές απώλειες (σε μορφή θερμότητας) από τα φωτόνια της μπλε περιοχής και τα φωτόνια που είναι προς το τέλος του φάσματος.



Διάγραμμα 3.2: Κατηγορίες Φ/Β κυψελών (εσωτερική δομή/χημικά στοιχεία)

Πηγή: V.V. Tyagi et al.²⁷

Στην κατηγορία αυτή (Si-cSi) κατασκευάζονται τρία είδη κυψελών:

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si)

²⁶ Γεωργία Βλάχου, «Οι τέσσερις γενιές των φωτοβολταϊκών πλαισίων και το Φαινόμενο P.I.D. (Potential Induced Degradation)», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2017, σελ. 21.

²⁷ V.V. Tyagi et al., «Progress in solar PV technology: Research and achievement», άρθρο στο: Renewable and Sustainable Energy Reviews 20 (April 2013), σελ. 446.

- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (pc-Si)
- Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs)

Οι μονάδες που κατασκευάζονται με την τεχνολογία πρώτης γενιάς κυριαρχούν στην αγορά. Γίνεται έρευνα για να μειωθεί το κόστος παραγωγής και να αυξηθεί η απόδοσή τους. Έχουν μικρό βαθμό αντικατάστασης από τις αντίστοιχες μονάδες των επόμενων τριών γενιών ²⁸.

α) Πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si)

Κυριαρχούν στα panel της πρώτης γενιάς και της αγοράς. Έχουν μεγάλη απόδοση αλλά με υψηλό κόστος ρεύματος (4\$/W με τάση μείωσης).

Κυριότερος τρόπος κατασκευής η διαδικασία Csochralski: Λιώνουμε ημιαγώγιμο πυρίτιο καλής καθαρότητας σε κάμινο και προσθέτουμε ως πρόσμιξη άτομα Βορίου. Αυτή η διαδικασία μας δίνει κρυσταλλικό πυρίτιο τύπου-p, ενώ με πρόσμιξη ατόμων Φωσφόρου, παίρνουμε κρυσταλλικό πυρίτιο τύπου-n, το οποίο χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα. Μέσα στο τήγμα αυτό, γίνεται η βύθιση και η άνοδος με περιστροφή μιας πλαισιωμένης ράβδου. Από αυτή τη διαδικασία έχουμε μία μονοκρυσταλλική ράβδο κυλινδρικού σχήματος και μεγάλου μεγέθους η οποία κόβεται σε δίσκους (wafers) πάχους 300 μm. Με τους δίσκους αυτούς παράγεται το στοιχείο από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (mc-Si).

β) Πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου (pc-Si)

Από τα πλεονεκτήματά τους είναι το μικρότερο κόστος κατασκευής, λιγότερη ποσότητα προσμίξεων από την προηγούμενη. Μειονέκτημα η μικρή απόδοση κάτω του 13%.

γ) Πλαίσια Αρσενικούχου Γαλλίου

Το Αρσενικούχο Γάλλιο έχει παρόμοια δομή με το πυρίτιο. Το κράμα As και Ga έχει E_g μεγαλύτερο του 1,43 eV.

Πλεονεκτήματα, υψηλή θερμική αντίσταση, καλύτερη απόδοση και μικρότερο βάρος στην κατηγορία της 1^{ης} γενιάς. Μειονέκτημα το υψηλότερο κόστος κατασκευής²⁹.

Γενικά η πρώτη γενιά πλαισίων χαρακτηρίζεται από:

- Υψηλά αρχικά κεφάλαια για να τα αγοράσουμε
- Μικρά έξοδα συντήρησης και λειτουργίας
- Διάρκεια ζωής από 20 ως 30 χρόνια και μεγάλος χρόνος απόσβεσης

2^η τεχνολογική γενιά των λεπτών υμενίων

Αυτή στηρίζεται στα υλικά:

²⁸ V.V. Tyagi et al., ό.π., (2013), σελ.445.

²⁹ Γεωργία Βλάχου, «Οι τέσσερις γενιές των φωτοβολταϊκών πλαισίων και το Φαινόμενο P.I.D. (Potential Induced Degradation)», ό.π., Αθήνα, 2017, σ.σ. 22-31.

- α) Άμορφο πυρίτιο (a-Si και a-Si/mc-Si)
- β) Τελλουριούχο Κάδμιο και σεληνιούχο Κάδμιο (CdTe /CdSe)
- γ) Δισεληνιούχος ινδιούχος Χαλκός ο CuInSe_2 ή (CIS) και δισεληνιούχος γαλλιούχος ινδιούχος Χαλκός CuInGaSe_2 ή (CIGS).
- δ) Η δομή (p/n) $\text{Cu}_x\text{S}/\text{CdS}$
- ε) Οι ετεροδομές (n/p) AlAs/GaAs και GaAlAs/GaAs

Σε σύγκριση πρώτης και δεύτερης γενιάς, τα στοιχεία της δεύτερης γενιάς:

- Έχουν μικρότερο κόστος από τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου
- Χρειάζονται πολύ μικρότερη πυκνότητα ημιαγωγίμου υλικού
- Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται είναι πιο οικονομικά
- Έχουν μικρότερο χρόνο κατασκευής
- Δίνουν ρεύμα με χαμηλότερο κόστος
- Έχουν μικρή μάζα και βάρος
- Μπορούν να τοποθετηθούν σε στέγες κτιρίων χωρίς να χρειάζονται βάσεις

Μειονεκτήματα δεύτερης γενιάς

- Έχουν συγκριτικά μικρότερη απόδοση από τις κυψέλες πυριτίου
- Το άμορφο πυρίτιο δεν είναι σταθερό
- Υπάρχουν πιθανά θέματα τοξικότητας λόγω της παρουσίας του Καδμίου
- Παρατηρείται μείωση απόδοσης με το πέρασμα του χρόνου

Στην δεύτερη γενιά Φ/Β, (που λέγεται και λεπτών υμενίων) ενδιαφέρουσα είναι η τεχνολογία που βασίζεται στο άμορφο πυρίτιο.

A) Στο άμορφο πυρίτιο έχουμε μεγαλύτερο κατώφλι ενεργοποίησης από το κρυσταλλικό πυρίτιο (1,2 eV - 1,6 eV). Αυτό δίνει δύο πλεονεκτήματα:

- α) καλύτερη συμπεριφορά σε πιο υψηλές θερμοκρασίες (διατηρείται η απόδοση)
- β) καλή ανταπόκριση στην φωτοβολταϊκή παραγωγή (καλύτερος συντελεστής απορρόφησης φωτός)

Σημαντικό μειονέκτημα η πιο μικρή απόδοση (στο 6% περίπου) και μείωση ισχύος με τον χρόνο (>10%).

B) Φωτοβολταϊκά πάνελ Τελλουριούχου καδμίου (CdTe)

Απόδοση > 17 %, $E_g=1,45$ eV , υψηλός συντελεστής απορρόφησης φωτός. Παρουσιάζουν μικρότερο χρόνο ενεργειακής απόσβεσης και μικρότερες εκπομπές ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου. Μειονεκτήματα μικρά αποθέματα ορυκτών για την παραγωγή Τελλουρίου (Te) και είναι σε έρευνα η πιθανή τοξικότητα του Cd.

Γ) Φωτοβολταϊκά πάνελ CIS και CIGS

Οι ενώσεις αυτές είναι ημιαγωγοί και αποτελούν στερεά διαλύματα Χαλκού Ινδίου και Σεληνίου το πρώτο και Χαλκού Ινδίου Γάλλιου και Σεληνίου η δεύτερη περίπτωση³⁰.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της ομάδας είναι:

- Υψηλή απορρόφηση
- Μεγάλη ευλυγισία κυψελών
- Δυνατότητα ρύθμισης στατικών χαρακτηριστικών
- Ικανότητα ρύθμισης ηλεκτρικών χαρακτηριστικών
- Μέτρια απόδοση, μικρές εμπορικές επιδόσεις

3^η τεχνολογική γενιά

Μονάδες με διαφορετικά φωτοβολταϊκά πλαίσια και συγκριτικά πλεονεκτήματα όπως:

1. Χρησιμοποιούν υλικά κατασκευής χαμηλού κόστους (π.χ. πολυμερή)
2. Παράγονται με μικρότερα ποσά ενέργειας, με μικρότερο χρόνο κατασκευής

Πολύ σημαντικά είναι και τα μειονεκτήματα αυτής της ομάδας:

- Έχουν χαμηλή απόδοση σε σχέση με τις κυψέλες πυριτίου
- Παρατηρείται μείωση απόδοσης με το πέρασμα του χρόνου
- Παρουσιάζονται θερμικές απώλειες γιατί έχουν μεγαλύτερη ενέργεια ενεργοποίησης από αυτήν που θεωρείται ιδανική (1,45 eV που έχει το a-Si)
- Δεν έχουμε εμπορικά δεδομένα από την αγορά

Στην τρίτη γενιά ανήκουν και οι περιπτώσεις:

Συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών (CPV)

Φωτοευαίσθητων κυψελών (DSSC)

Οργανικές ηλιακές κυψέλες (OPVC)

Κυψέλες με υλικά νανοτεχνολογίας³¹

4^η τεχνολογική γενιά

Για να μειώσει τα μειονεκτήματα της τρίτης γενιάς η επιστημονική έρευνα αλλάζει την αρχιτεκτονική δομή των συστημάτων. Στη δομή αυτή που λέγεται “inorganics-in-organics”, μέσα σε κυψέλες που αποτελούνται από οργανικά υλικά επιχειρείται να ενσωματωθούν

³⁰ Γεωργία Βλάχου, «Οι τέσσερις γενιές των φωτοβολταϊκών πλαϊσίων και το Φαινόμενο P.I.D. (Potential Induced Degradation)», ό.π., Αθήνα, 2017, σ.σ. 33-46.

³¹ Γεωργία Βλάχου, «Οι τέσσερις γενιές των φωτοβολταϊκών πλαϊσίων και το Φαινόμενο P.I.D. (Potential Induced Degradation)», στο ίδιο, Αθήνα, 2017, σ.σ. 53-71.

ανόργανες νανοδομές. Ο σκοπός αυτής της εισαγωγής είναι να προσδώσει στο οργανικό συστατικό επιπλέον πλεονεκτήματα³².

Πλεονεκτήματα 4^{ης} γενιάς:

- Είναι φθηνότερα και έχουν καλύτερη απόδοση σε σχέση με τα προηγούμενα
- Παρουσιάζουν βελτιωμένη συλλογή ενέργειας στις εγκάρσιες τομές
- Συγκεκριμένα ανόργανα υλικά αυξάνουν τη διάρκεια ζωής αυτών των τύπων πάνελ

3.2.2 Ανάγκες σε υλικά ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας για τα Φ/Β συστήματα

Το ερευνητικό κέντρο «Joint» (JRC) στην ανάλυση που πραγματοποίησε για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, έκανε μία εκτίμηση της εξέλιξης στη ζήτηση των πρώτων υλών. Με βάση τέσσερις παράγοντες, την ποσότητα της ενέργειας που θα μπορέσει να αποδοθεί από τις ΑΠΕ, τον εκτιμώμενο χρόνο ζωής των συστημάτων, ποια τεχνολογία θα επικρατήσει στην αγορά και την ένταση χρήσης των πρώτων υλών, διαμόρφωσε τρία σενάρια πρόβλεψης αναγκών σε υλικά με ορίζοντα το 2050. Και αναφέρεται σε δύο κατηγορίες, αφενός σε κατασκευαστικά-δομικά υλικά, αφετέρου σε εξειδικευμένες τεχνολογικά πρώτες ύλες. Έτσι χρησιμοποιεί τα α) σενάριο χαμηλής ζήτησης LDS, β) σενάριο μέσης ζήτησης MDS και γ) σενάριο υψηλής ζήτησης HDS³³.

Παίρνοντας σαν βάση το έτος 2018, στα παρακάτω διαγράμματα δίνεται η γενική εκτίμηση που προκύπτει από την συγκεκριμένη μελέτη:



Διάγραμμα 3.3: Εκτίμηση αναγκών σε εξειδικευμένα τεχνολογικά υλικά (αριστερά) και σε κατασκευαστικά-δομικά υλικά (δεξιά) χρήσης για τα φ/β. Η έντονα χρωματισμένη περιοχή, αντιπροσωπεύει το MDS σενάριο, πάνω από αυτή βρίσκεται η εκτίμηση HDS και κάτω από αυτή η εκτίμηση LDS. Στον κάθετο άξονα είναι ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας σε σχέση με το 2018.

Πηγή: Ανάλυση JRC³⁴

³² Γεωργία Βλάχου, «Οι τέσσερις γενιές των φωτοβολταϊκών πλαισίων και το Φαινόμενο P.I.D. (Potential Induced Degradation)», ό.π., Αθήνα, 2017, σ.σ. 71 - 96.

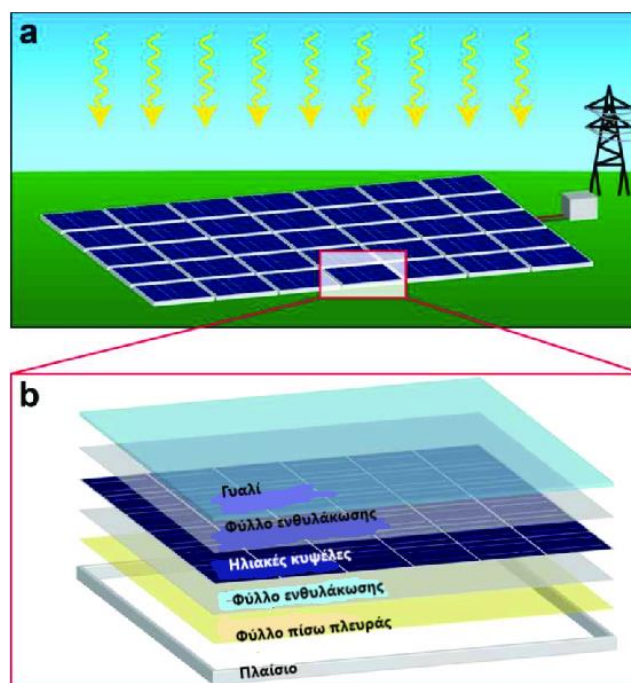
³³ S. Carrara, Dias P. Alves, B. Plazzotta and C. Pavel, «Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonized energy system», EUR 30095 EN, Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2020, σ.σ. 3,8.

³⁴ S. Carrara, et al., στο ίδιο, Luxembourg, 2020, σελ. 3.

Βλέπουμε για παράδειγμα στο σενάριο HDS, το οποίο είναι πολύ φιλόδοξο (με πρόβλεψη μηδενισμού εκπομπών άνθρακα το 2050 και αύξηση της θερμοκρασίας μόλις στους 1,5 °C), να χρειάζονται (για την κατασκευή των Φ/Β που θα διατεθούν στην αγορά) 40 φορές περισσότερα εξειδικευμένα τεχνολογικά υλικά και πάνω από 20 φορές περισσότερα κατασκευαστικά δομικά υλικά σε σχέση με τα επίπεδα αναγκών το 2018.

Η μελέτη που αναφερόμαστε έλαβε υπόψη της τις περισσότερο αναπτυγμένες εμπορικά τεχνολογίες, επισημαίνοντας μία αβεβαιότητα στο πως θα εξελιχθούν οι σήμερα καινοτόμες μέθοδοι, οι οποίες δεν έχουν ακόμη αισθητή εμφάνιση στην αγορά. Η εκτίμηση ζήτησης για το κάθε υλικό ξεχωριστά, βασίστηκε στις μεθόδους κρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si και pc-Si), Τελλουριούχου Καδμίου CdTe, CIGS και άμορφου πυριτίου a-Si. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τρεις τελευταίες μέθοδοι που λέγονται λεπτού υμενίου, αν πάρουν σημαντικό μερίδιο στην αγορά, θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην συγκράτηση της αύξησης της ζήτησης υλικών. Ο λόγος είναι ότι εδώ χρησιμοποιούνται υλικά με 10 - 100 φορές περισσότερη απορροφητική ικανότητα γιατί και η κυψέλη έχει ένα πάχος της τάξεως των λίγων μm (ενώ οι δίσκοι στο cSi έχουν ένα πάχος που κυμαίνεται από 150-200 μm)³⁵.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε απλοποιημένα τα διαφορετικά στρώματα από τα οποία αποτελείται ένα πάνελ. Παρατηρούμε ότι το φύλλο των ηλιακών κυψελών είναι ένα από τα συστατικά του πάνελ.



Σχήμα 3.1: Συστατικά στρώματα ενός Φ/Β πάνελ.

Πηγή: Jean, Brown, Jaffe, Buonassisi and Bulovic (2015)³⁶

³⁵ S. Carrara, et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 31.

³⁶ S. Carrara, et al., στο ίδιο, Luxembourg, 2020, σελ. 32.

Τα αναγκαία υλικά για τα Φ/Β χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

A) Γενικά υλικά

- Σκυρόδεμα, για τις κατασκευές στήριξης
- Χάλυβας, για δομές στήριξης
- Πλαστικές ύλες, για περιβαλλοντική προστασία
- Γυάλινα υποστρώματα, για την ενθυλάκωση της ηλιακής μονάδας
- Al, για κατασκευή πλαισίων της μονάδας, συστήματα tracking και υποστηρίγματα
- Cu, για σύρματα, καλώδια, γειώσεις, μετατροπείς τάσης, μετασχηματιστές και ράβδους του Φ/Β κελιού

B) Ειδικά υλικά για την κατασκευή των κυψελών

Ειδικά υλικά Τεχνολογίες στις οποίες χρησιμοποιούνται

Si	c-Si and a-Si
Ag	c-Si
Ge	a-Si
Cd	CdTe
Te	CdTe
Cu	CIGS
In	CIGS
Ga	CIGS
Se	CIGS

Για πολλά υλικά που η χρήση τους εξαρτάται από την τεχνολογία με την οποία κατασκευάζεται το Φ/Β σύστημα, εννοείται ότι η ζήτηση θα ποικίλει ανάλογα με το μερίδιο αγοράς που θα έχει η αντίστοιχη μέθοδος³⁷. Σε ό,τι αφορά στα γενικά υλικά που είναι κοινά σε όλες τις μεθόδους, γίνεται μία παραδοχή σε ανάγκες για το έτος βάσης 2018 και με βάση αυτή γίνεται η προβολή μέχρι το 2050.

Πίνακας 3.1: Ποσότητες υλικών που χρειάζονται σε tn/MW, για το έτος βάσης 2018.

Πηγή: Jean, Brown, Jaffe, Buonassisi and Bulovic (2015)³⁸

Γενικά υλικά	Ποσότητες που χρειάζονται σε tn/MW
Σκυρόδεμα	60,7
Χάλυβας	67,9
Πλαστικές ύλες	08,6
Γυαλί	46,4
Al	07,5
Cu	04,6

³⁷ S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 32.

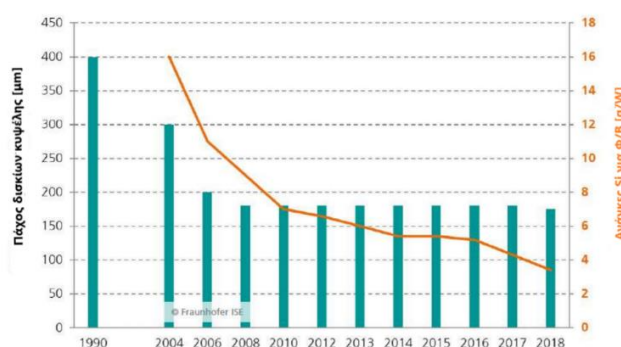
³⁸ S. Carrara et al., στο ίδιο, Luxembourg, 2020, σελ. 36.

Για την μελλοντική προβολή, λαμβάνονται υπόψιν δύο παραδοχές: Πρώτον, ότι ο τρόπος σχεδιασμού των πάνελ δεν θα αλλάξει σε σχέση με τα τωρινά πλαίσια και δεύτερον, ότι οι καινοτομίες που είναι σε πειραματικό και ερευνητικό στάδιο δεν αναμένεται να μειώσουν δραματικά τις αναγκαίες ποσότητες. Έτσι, υπολογίζεται μία μείωση 20% για το σενάριο LDS, 10% στο MDS και καθόλου μείωση για το HDS (για το 2050).

Πίνακας 3.2: Ποσότητες γενικών υλικών που χρειάζονται σε t/MW, για το έτη 2018, 2030, 2050. Πηγή: Ανάλυση JRC³⁹

Τεχνολογίες	Υλικό	Σενάριο	Μονάδα	2018	2030	2050
Όλες	Σκυρόδεμα	LDS	t/MW	60.7	56.2	48.6
		MDS	t/MW	60.7	58.4	54.6
		HDS	t/MW	60.7	60.7	60.7
Όλες	Χάλυβας	LDS	t/MW	67.9	62.8	54.3
		MDS	t/MW	67.9	65.3	61.1
		HDS	t/MW	67.9	67.9	67.9
Όλες	Πλαστικά	LDS	t/MW	8.6	7.9	6.9
		MDS	t/MW	8.6	8.3	7.7
		HDS	t/MW	8.6	8.6	8.6
Όλες	Γυαλί	LDS	t/MW	46.4	42.9	37.1
		MDS	t/MW	46.4	44.7	41.8
		HDS	t/MW	46.4	46.4	46.4
Όλες	Al	LDS	t/MW	7.5	6.9	6.0
	Al	MDS	t/MW	7.5	7.2	6.8
	Al	HDS	t/MW	7.5	7.5	7.5
Όλες	Cu	LDS	t/MW	4.6	4.3	3.7
	Cu	MDS	t/MW	4.6	4.5	4.2
	Cu	HDS	t/MW	4.6	4.6	4.6

Πιο εξειδικευμένοι υπολογισμοί και εκτιμήσεις γίνονται για τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις ηλιακές κυψέλες. Η ποσότητα πυριτίου, για παράδειγμα, που χρειάζεται για τα πάνελ c-Si έχει σημαντική μείωση τα τελευταία 28 χρόνια. Ακολούθησε δηλαδή την μείωση του πάχους των δίσκων και την αύξηση της παρουσίας στην αγορά αυτών των μονάδων. Δεν αποκλείεται το 2028 η κατανάλωση Si να βρεθεί κάτω από τα 3g/W (JRC, 2018b).



Διάγραμμα 3.4: Μεταβολές στο πάχος των δίσκων και στην κατανάλωση Si που χρειάζεται στις μονάδες c-Si

Πηγή: Ινστιτούτο Fraunhofer (ISE, 2019)⁴⁰.

³⁹ S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 39.

⁴⁰ S. Carrara et al., στο ίδιο, Luxembourg, 2020, σελ. 36.

Συνδυάζοντας περασμένες αντίστοιχες μελέτες και αναπτύσσοντας δική του μεθοδολογία, το Ινστιτούτο JRC δίνει τις δικές του εκτιμήσεις και προβολές για τις ανάγκες σε τόνους ειδικών υλικών για κάθε MW ή GW παραγωγής ενέργειας.

Πίνακας 3.3: Ποσότητες ειδικών υλικών που χρειάζονται σε tn/MW ή tn/GW, για το έτη 2018, 2030, 2050.

Πηγή: Ανάλυση JRC⁴¹

Τεχνολογίες	Υλικό	Σενάριο	Μονάδα	2018	2030	2050
c-Si	Si	LDS	t/MW	4.0	2.0	1.0
c-Si	Si	MDS	t/MW	4.0	2.75	2.0
c-Si	Si	HDS	t/MW	4.0	3.5	3.0
c-Si	Ag	LDS	t/GW	20.0	4.0	1.0
c-Si	Ag	MDS	t/GW	20.0	6.0	2.0
c-Si	Ag	HDS	t/GW	20.0	11.0	5.0
CdTe	Cd	LDS	t/GW	35.0	20.0	10.0
CdTe	Cd	MDS	t/GW	50.0	27.0	12.0
CdTe	Cd	HDS	t/GW	85.0	60.0	35.0
CdTe	Te	LDS	t/GW	35.0	20.0	11.0
CdTe	Te	MDS	t/GW	52.0	27.0	15.0
CdTe	Te	HDS	t/GW	95.0	70.0	40.0
CIGS	Cu	LDS	t/GW	20.0	12.5	6.0
CIGS	Cu	MDS	t/GW	22.0	15.0	10.5
CIGS	Cu	HDS	t/GW	24.0	17.5	15.0
CIGS	In	LDS	t/GW	10.0	8.0	5.0
CIGS	In	MDS	t/GW	15.0	10.0	6.0
CIGS	In	HDS	t/GW	27.0	17.0	10.0
CIGS	Ga	LDS	t/GW	3.0	2.0	1.0
CIGS	Ga	MDS	t/GW	4.0	2.5	1.5
CIGS	Ga	HDS	t/GW	7.0	4.5	2.5
CIGS	Se	LDS	t/GW	22.0	17.0	9.0
CIGS	Se	MDS	t/GW	35.0	20.0	12.0
CIGS	Se	HDS	t/GW	60.0	40.0	20.0
a-Si	Si	LDS	t/GW	150.0	75.0	40.0
a-Si	Si	MDS	t/GW	150.0	100.0	75.0
a-Si	Si	HDS	t/GW	150.0	130.0	110.0
a-Si	Ge	LDS	t/GW	48.0	22.0	10.0
a-Si	Ge	MDS	t/GW	48.0	27.0	15.0
a-Si	Ge	HDS	t/GW	48.0	32.0	20.0

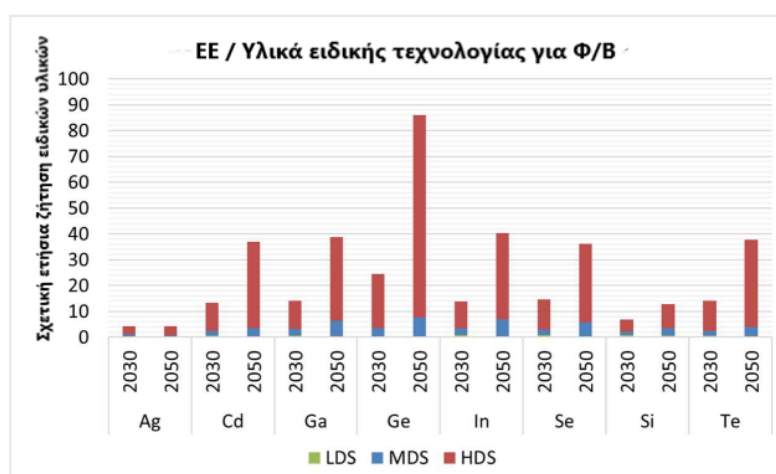
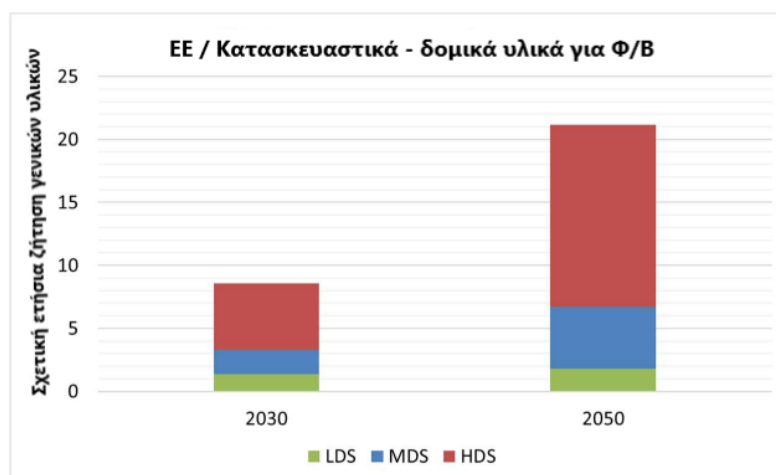
3.2.3 Εκτίμηση συνολικής ποσότητας σε υλικά για τα Φ/Β συστήματα

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, η εκτίμηση των μελλοντικών αναγκών σε υλικά γίνεται με βάση την κατάσταση του έτους 2018. Σε μερικά υλικά δίνονται τρεις τιμές και για το έτος βάσης.

- Σε επίπεδο ΕΕ οι υπολογισμοί δίνονται στο παρακάτω σχήμα

⁴¹ S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σ.σ. 39-40.

Σκυρόδεμα		493 959
Χάλυβας		552 072
Πλαστικό		69 735
Γυαλί		377 734
Ag		155
Al		61 019
Cd	LDS	6.7
Cd	MDS	9.6
Cd	HDS	16.3
Cu		37 777
Ga	LDS	0.5
Ga	MDS	0.6
Ga	HDS	1.1
Ge		1.2
In	LDS	1.6
In	MDS	2.4
In	HDS	4.3
Se	LDS	3.5
Se	MDS	5.5
Se	HDS	9.5
Si		31 045
Te	LDS	6.7
Te	MDS	10.0
Te	HDS	18.2



Σχήμα 3.2: Ετήσια ζήτηση υλικών για Φ/Β για το έτος 2018 (σε τόνους/έτος) στην ΕΕ (Πίνακας αριστερά). Σχετική ζήτηση για τα έτη 2030 και 2050 ως λόγος προς την ζήτηση του έτους βάσης (Διαγράμματα δεξιά).

Πηγή: Ανάλυση JRC⁴²

Για τα κατασκευαστικά-δομικά υλικά βλέπουμε μία σαφή αύξηση και με τα τρία σενάρια: 2 φορές για το LDS, 7 φορές για το MDS και 21 φορές για το HDS για το 2050 σε σχέση με τις ανάγκες του 2018.

Για τα υλικά ειδικής τεχνολογίας ο παράγοντας πολλαπλασιασμού έχει μεγαλύτερες διακυμάνσεις. Στο LDS σενάριο βλέπουμε καθαρή μείωση ποσοτήτων σε όλες τις περιπτώσεις. Εδώ επικρατούν οι σημαντικές μειώσεις στην χρήση των υλικών που θα προκύψουν από τις βελτιώσεις που θα φέρει η τεχνολογία. Στο MDS σενάριο, το ισοζύγιο αύξησης παρουσίας στην αγορά-μείωση χρήσης υλικών, διαμορφώνει μία αύξηση 3-8 φορές στις περισσότερες περιπτώσεις. Εδώ τα στοιχεία με τις μεγαλύτερες αυξήσεις είναι τα Γάλλιο, Γερμάνιο, Ίνδιο και Σελήνιο και το μόνο με μικρή μείωση είναι ο Άργυρος (αυτό αποδίδεται στις αυξήσεις απόδοσης των υλικών). Τέλος, το HDS λαμβάνοντας υπόψη μία πιθανή κατανομή στα μερίδια

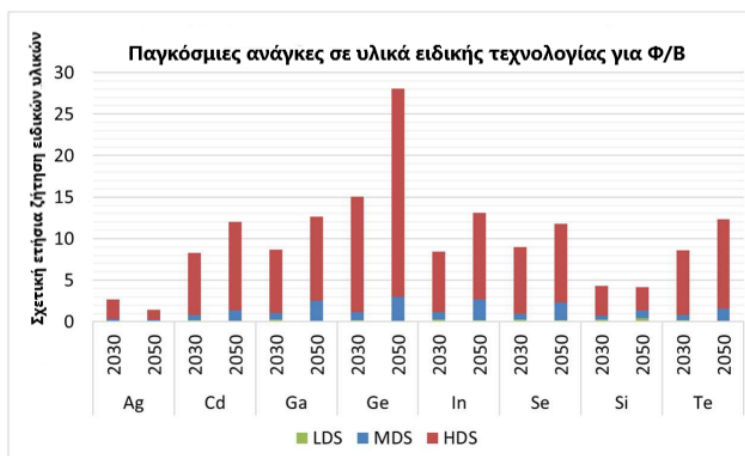
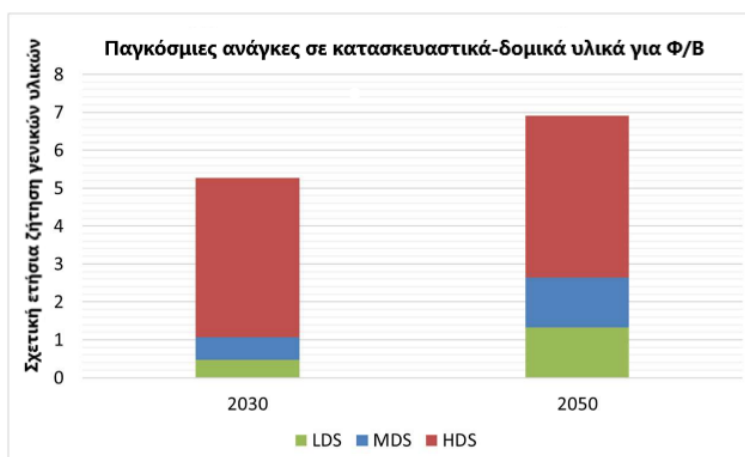
⁴² S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 41.

αγοράς, κάνει πρόβλεψη για αυξήσεις: 4 φορές για τον Ag, 12 φορές για το Si, 40 για τα Cd, Ga, In, Se, Te και 86 φορές για το Ge (σε σχέση με τις ανάγκες του έτους βάσης 2018).

Στο τελευταίο σενάριο μπορούμε να δούμε ποια υλικά υπόκεινται σε δυνητικούς κινδύνους εφοδιασμού σε επίπεδο ΕΕ. Για κατασκευή μόνο ηλιακών Φ/Β στην ΕΕ, τα Ge και Te υπερβαίνουν σημαντικά το όριο διαθεσιμότητας (HDS-2050). Αν λάβουμε υπόψη και άλλα ενεργειακά συστήματα, απειλή για την συνολική αλυσίδα εφοδιασμού τους μπορούν να έχουν και τα στοιχεία Ga, In, Se, Si και σαν υλικό το γυαλί⁴³.

- Σε παγκόσμιο επίπεδο οι υπολογισμοί δίνονται στο παρακάτω σχήμα:

Σκυρόδεμα		6 071 429
Χάλυβας		6 785 714
Πλαστικό		857 143
Γυαλί		4 642 857
Ag		1 908
Al		750 000
Cd	LDS	83
Cd	MDS	118
Cd	HDS	201
Cu		464 329
Ga	LDS	6
Ga	MDS	8
Ga	HDS	14
Ge		15
In	LDS	19
In	MDS	29
In	HDS	53
Se	LDS	43
Se	MDS	68
Se	HDS	117
Si		381 585
Te	LDS	83
Te	MDS	123
Te	HDS	224



Σχήμα 3.3: Ετήσια παγκόσμια ζήτηση υλικών για Φ/Β για το έτος 2018 (σε τόνους/έτος) (Πίνακας αριστερά). Σχετική παγκόσμια ζήτηση για τα έτη 2030 και 2050 ως λόγος προς την ζήτηση του έτους βάσης (Διαγράμματα δεξιά).

Πηγή: Ανάλυση JRC⁴⁴

Με το ίδιο σκεπτικό όπως και στην περίπτωση της ΕΕ, κίνδυνο για την αλυσίδα εφοδιασμού τους μπορεί να έχουν τα στοιχεία Ge, Te, In, Se και Si (HDS-2050).

⁴³ S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σ.σ. 40-41.

⁴⁴ S. Carrara et al., στο ίδιο, Luxembourg, 2020, σελ. 43.

3.3 Παραγωγή ενέργειας από Ανεμογεννήτριες

3.3.1 Βασικά μέρη, τύποι Α/Γ και υλικά κατασκευής

Εξετάζουμε τέσσερα βασικά μέρη των ανεμογεννητριών:

α) Ο ρότορας (περίπου 20% του κόστους)

Αποτελείται από τις πτέρυγες, την πλήμνη (hub) και τον άξονα του δρομέα

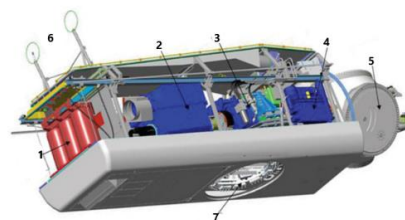


Εικόνα 3.1: Πτέρυγες και πλήμνη ρότορα

Πηγή: Γ. Ξενάκης⁴⁵

β) Η άτρακτος (nacelle) (περίπου 34% του κόστους)

Περιλαμβάνει την ηλεκτρογεννήτρια, διάφορους ελαστικούς ή υδραυλικούς συνδέσμους, δισκόφρενο, εφέδρανα, το κιβώτιο ταχυτήτων, σύστημα προσανατολισμού, τον οδηγό που διευθύνει και μεταδίδει την ταχύτητα και φυσικά τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου. Τέλος υπάρχει και ο μετατροπέας (converter) ο οποίος στέλνει το ρεύμα που παράγεται στον μετασχηματιστή.



Σχήμα 3.4: Μέρη της ατράκτου: 1 Μετασχηματιστής 2 Εναλλάκτης 3 Κιβώτιο ταχυτήτων 4 Υδραυλικός εξοπλισμός 5 Σύστημα ρύθμισης βήματος λεπίδων 6 Αισθητήρες καιρού 7 Σύστημα εκτροπής

Πηγή: J.A.Sainz⁴⁶

⁴⁵ Γεώργιος Ξενάκης, «Ανάλυση πτερυγίου ανεμογεννήτριας GE 1.5XLE με υπολογιστικές μεθόδους για διάφορα σύνθετα υλικά», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2020, σ.σ. 37-38.

⁴⁶ J.A. Sainz, «New wind turbine manufacturing techniques», Procedia Engineering, τ.132, 2015, σελ. 884.

γ) Ο πύργος στήριξης (περίπου 15% του κόστους)

Περιλαμβάνει τον κυρίως πύργο και τον μηχανισμό εκτροπής στροφών. Έχουμε τρεις κατηγορίες πύργων όπως φαίνονται στις πιο κάτω εικόνες:



Εικόνα 3.2: Τρεις κατηγορίες πύργων 1) ο συμπαγής σωληνοειδούς σχήματος με υλικό από χάλυβα 2) ο πύργος δικτύωμα και 3) ο πύργος με τρία πόδια.

Πηγή: Γ. Ξενάκης⁴⁷

δ) Η βάση υποστήριξης (θεμελίωση)

Δύο διαφορετικές περιπτώσεις ανάλογα αν η κατασκευή γίνεται στην στεριά ή στην θάλασσα⁴⁸.



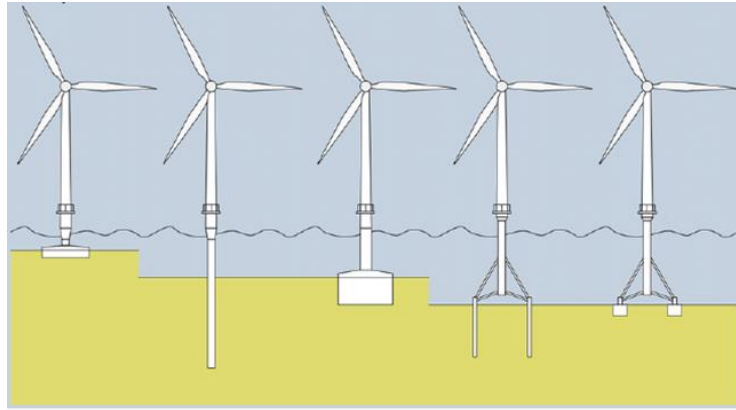
Εικόνα 3.3: Βάση υποστήριξης (θεμελίωση) σε Α/Γ ξηράς

Πηγή: Γ. Ξενάκης⁴⁹

⁴⁷ Γεώργιος Ξενάκης, ό.π., Αθήνα 2020, σελ. 39.

⁴⁸ Γεώργιος Ξενάκης, στο ίδιο, Αθήνα 2020, σ.σ. 36-41.

⁴⁹ Γεώργιος Ξενάκης, στο ίδιο, Αθήνα 2020, σελ. 40.



Σχήμα 3.5: Βάση υποστήριξης (τρόποι θεμελίωσης) σε Α/Γ σε θαλάσσιο σημείο
 Πηγή: Γ. Ξενάκης⁵⁰

Τύποι ανεμογεννητριών σε σχέση με τον τρόπο μετάδοσης κίνησης:

- Με άμεση κίνηση
- Με κιβώτιο ταχυτήτων
- Υβριδικού τύπου (να έχουν και τα δύο).

Στις περιπτώσεις που έχουμε κιβώτιο ταχυτήτων, αυτό ταιριάζει με κινητήρες μεσαίας και υψηλής ταχύτητας. Στην υβριδική τους μορφή οι περιπτώσεις που έχουν κιβώτιο ταχυτήτων, μπορούν να έχουν είτε μόνιμο μαγνήτη ή γεννήτριες ηλεκτρομαγνητών. Εδώ, αν στο σχεδιασμό έχουμε μόνιμο μαγνήτη, αυτός είναι μικρότερος σε μέγεθος (εξοικονόμηση ποσότητας σπάνιων γαιών). Βέβαια το κιβώτιο είναι βαρύ και χρειάζεται συντήρηση. Η περίπτωση αυτή (με κιβώτιο ταχυτήτων) δεν προτιμάται για μεγάλα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής ούτε για υπεράκτιες μονάδες.

Όταν έχουμε άμεση κίνηση, είτε θα υπάρχει σαν βάση μία γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη, ή θα είναι ενσωματωμένη μια ηλεκτρικά διεγερμένη γεννήτρια (χωρίς μόνιμο μαγνήτη). Οι περιπτώσεις αυτές, έχουν μικρότερο μέγεθος και βάρος, λιγότερη ανάγκη για συντήρηση και είναι πιο κατάλληλες για υπεράκτιες εφαρμογές. Έχουν επίσης πιο αξιόπιστο και απλό σχεδιασμό, μπορούν να λειτουργούν σε πιο χαμηλές ταχύτητες με καλύτερο αποτέλεσμα. Η τεχνολογική έρευνα κατευθύνεται σε Α/Γ άμεσης κίνησης με βάση υπεραγωγούς υψηλής θερμοκρασίας (HTS). Αν αυτός ο τύπος φθάσει στην αγορά, θα δούμε μείωση του βάρους και αύξηση απόδοσης, αλλά και εξοικονόμηση υλικών όπως το Νεοδύμιο και Δυσπρόσιο⁵¹.

Ο παρακάτω πίνακας καταγράφει πέντε τύπους Α/Γ που υπάρχουν στην αγορά, μαζί με τον τύπο HTS που βρίσκεται σε ερευνητικό ακόμη στάδιο. Σε αυτούς τους 6 τύπους βασίζονται τα τρία σενάρια των μελλοντικών εκτιμήσεων.

⁵⁰ Γεώργιος Ξενάκης, ό.π., Αθήνα 2020, σελ. 40.

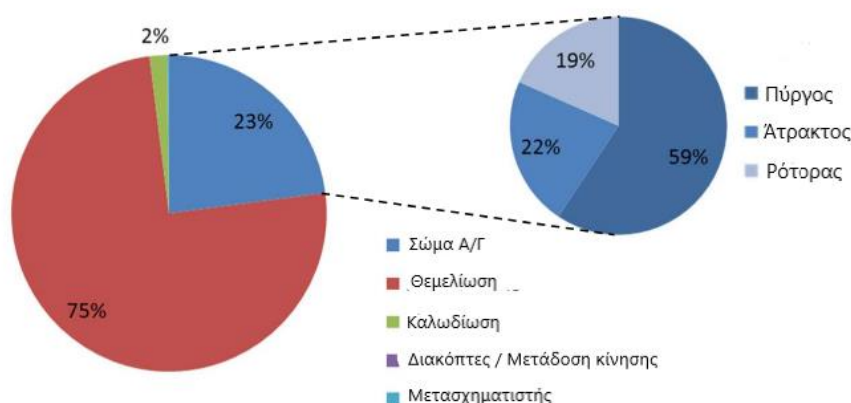
⁵¹ S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 11.

Πίνακας 3.4: Τύποι Α/Γ. Με τα πλάγια γράμματα ο τύπος που βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο.

Πηγή: Pavel et al. (2017), Månberger and Stenqvist (2018)⁵²

Ακρονύμια	Τύποι ανεμογεννητριών	Εφαρμογή
DD - HTS	Άμεσης κίνησης με βάση υπεραγωγούς υψηλής θερμοκρασίας (HTS)	Εκτός ξηράς
DD - EESG	Άμεσης κίνησης με ηλεκτρογεννήτρια σύγχρονης διέγερσης	Ξηράς
DD - PMSG	Άμεσης κίνησης με σύγχρονη γεννήτρια με μόνιμο μαγνήτη	Ξηράς και εκτός ξηράς
GB - PMSG	Σύγχρονη γεννήτρια με μόνιμο μαγνήτη με κιβώτιο ταχυτήτων	Ξηράς και εκτός ξηράς
GB - DFIG	Επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας με κιβώτιο ταχυτήτων	Ξηράς και εκτός ξηράς
GB - SCIG	Επαγωγική γεννήτρια με κλωβούς με κιβώτιο ταχυτήτων	Εκτός ξηράς

Η κατανομή μάζας για μία τυπική Α/Γ (κατά μέσο όρο) είναι 75% περίπου στη θεμελίωση, 23% στο σώμα της Α/Γ και 2% στην καλωδίωση.



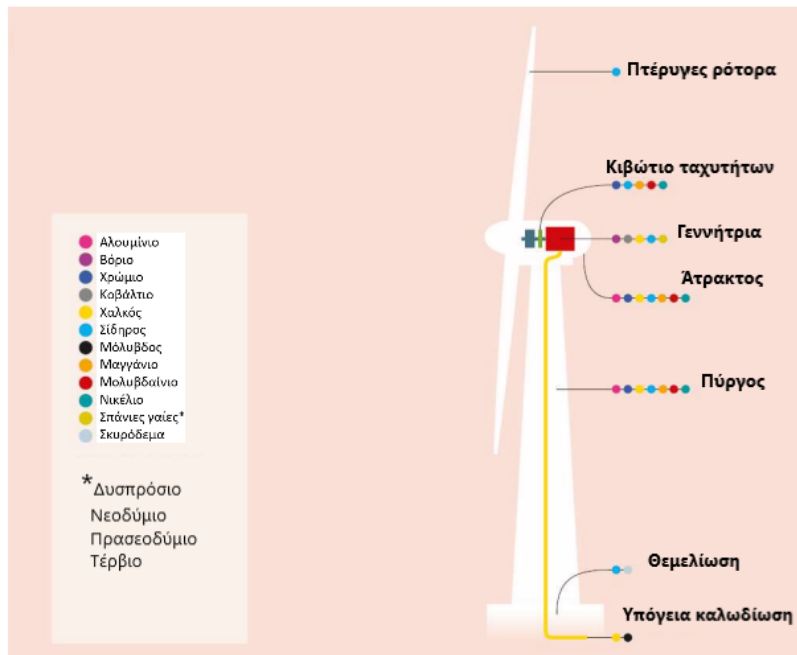
Διάγραμμα 3.5: Κατανομή της μάζας για τα τμήματα μιας Α/Γ ξηράς (μέση, τυπική μονάδα)

Πηγή: JRC⁵³

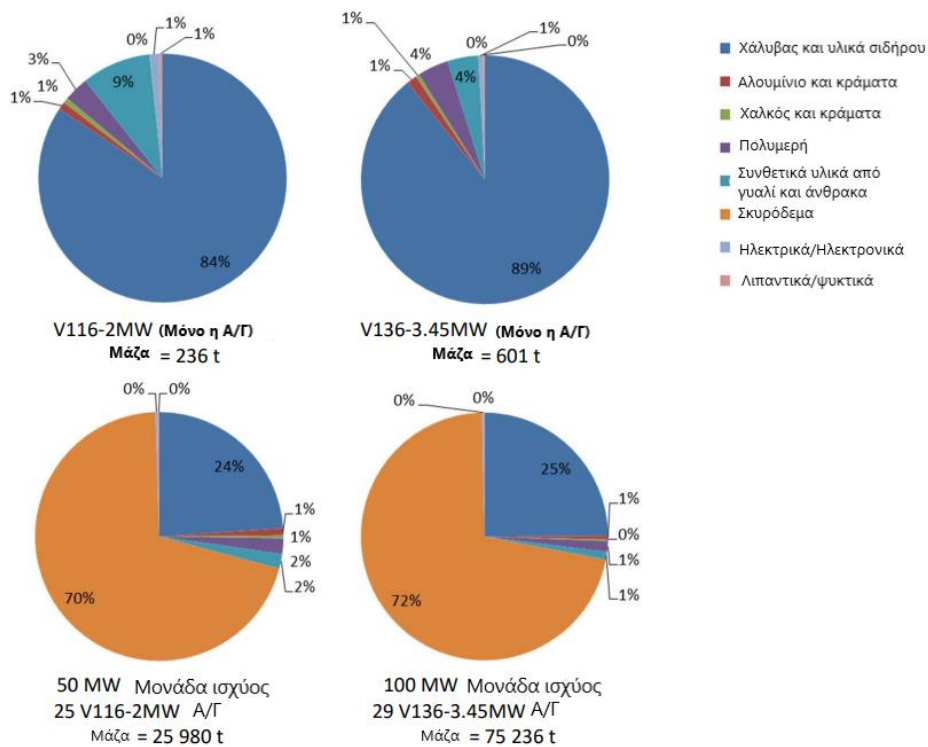
Σε σχέση με τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στις ανεμογεννήτριες, εκτός από το σκυρόδεμα των θεμελιώσεων, κυρίαρχο υλικό είναι ο χάλυβας και ο ανοξείδωτος χάλυβας. Εδώ θα συμπεριλάβουμε και τα βασικά μέταλλα που συμμετέχουν στην παραγωγή του χάλυβα όπως τα Νικέλιο, Χρώμιο, Μαγγάνιο και Μολυβδαίνιο. Το Αλουμίνιο είναι το υλικό με το οποίο παράγονται τα ελαφρά αλλά ανθεκτικά εξαρτήματα. Ο Χαλκός για περιελίξεις πηνίων και καλωδίωση, ο Μόλυβδος για την επένδυση στην υπεράκτια καλωδίωση, οι σπάνιες γαίες και το Βόριο στους μόνιμους μαγνήτες.

⁵² S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 12.

⁵³ S. Carrara et al., στο ίδιο, Luxembourg, 2020, σελ. 13.



Σχήμα 3.6: Πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται σε ανεμογεννήτριες
 Η πηγή δεν αναφέρει τον τύπο της Α/Γ
 Πηγή: SOMO (2018)⁵⁴



Διάγραμμα 3.6: Κατανομή ποσοστού χρήσης των υλικών σε τυπικές χερσαίες ανεμογεννήτριες και μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από αιολική ενέργεια.
 Πηγή: Vestas (2017, 2018a)⁵⁵

⁵⁴ S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 14.

⁵⁵ S. Carrara et al., στο ίδιο, Luxembourg, 2020, σελ. 14.

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται και το σημαντικό ποσοστό 8-12% της μάζας του σώματος της Α/Γ που καταλαμβάνουν τα πολυμερή και τα συνθετικά υλικά (ρητίνες) σε συνδυασμό με ίνες γυαλιού και Άνθρακα (ανθρακονήματα). Τέλος θα αναφερθούμε στα στοιχεία Αλουμίνιο, Κασσίτερος, Ψευδάργυρος, Ταντάλιο και τα πολύτιμα μέταλλα, ως συστατικό των 9 500 περίπου ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών μερών που υπάρχουν σε μία τέτοια ενεργειακή μονάδα.

3.3.2 Ανάγκες σε υλικά ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας σε συστήματα Α/Γ

Όπως κάναμε και στην περίπτωση των Φ/Β, θα δώσουμε μία εκτίμηση χρήσης υλικού ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας και για τις Α/Γ, την οποία θεωρούμε ως τρέχουσα κατάσταση αναφοράς (2018). Εδώ η εκτίμηση θα γίνει για τέσσερις βασικούς τύπους αυτών των μονάδων. Αυτή η ένταση υλικού, δεν είναι αμετάβλητη. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει σε σημαντικές αλλαγές τις τελευταίες δεκαετίες. Όπως και σημαντική βελτίωση έχει γίνει και στον βαθμό απόδοσης σε ηλεκτρική ενέργεια.

Υπάρχει η πρόβλεψη ότι με την πρόοδο του χρόνου, η αποδοτικότητα των υλικών θα αυξηθεί και αυτό θα μειώσει την ζήτηση (σαν ποσότητα) για κάθε ανεμογεννήτρια. Παράλληλα ένα μέρος των αναγκών θα μπορούσε να καλυφθεί από εναλλακτικά και ελαφρύτερα υλικά μικρότερου κόστους. Η τάση για χρήση ελαφρότερων υλικών είναι φανερή και από την μέχρι τώρα πορεία, αλλά αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον. Για παράδειγμα, ο παραδοσιακός χάλυβας θα αντικατασταθεί σε μεγάλο βαθμό από χάλυβα υψηλής αντοχής (HSS), ενώ το αλουμίνιο και τα ανθρακονήματα θα χρησιμοποιηθούν επίσης περισσότερο στην αιολική ενέργεια⁵⁶.

⁵⁶ S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 20.

Πίνακας 3.5: Εκτίμηση χρήσης υλικών σε τόνους / Γιγαβάτ, για διάφορους τύπους Α/Γ (τρέχουσα κατάσταση αναφοράς (2018)).

Πηγή: Carrara S., et al.⁵⁷

Υλικά	Εύρος	DD-EESG	DD-PMSG	GB-PMSG	GB-DFIG
Σκυρόδεμα	243 500-413 000	369 000	243 000	413 000	355 000
Χάλυβας	107 000-132 000	132 000	119 500	107 000	113 000
Πολυμερή	4 600	4 600	4 600	4 600	4 600
Συνθετικά (Γυαλί/Άνθρακας)	7 700-8 400	8 100	8 100	8 400	7 700
Αλουμίνιο (Al)	500-1 600	700	500	1 600	1 400
Βόριο (B)	0-6	0	6	1	0
Χρώμιο (Cr)	470-580	525	525	580	470
Χαλκός (Cu)	950-5 000	5 000	3 000	950	1 400
Δυσπρόσιο (Dy)	2-17	6	17	6	2
Χυτοσίδηρος (Fe)	18 000-20 800	20 100	20 100	20 800	18 000
Μαγγάνιο (Mn)	780-800	790	790	800	780
Μολυβδαίνιο (Mo)	99-119	109	109	119	99
Νεοδύμιο (Nd)	12-180	28	180	51	12
Νικέλιο (Ni)	240-440	340	240	440	430
Πρασεοδύμιο (Pr)	0-35	9	35	4	0
Τέρβιο (Tb)	0-7	1	7	1	0
Ψευδάργυρος (Zn)	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500

Παραδοχές για τους υπολογισμούς του πίνακα 3.5:

- Η περίπτωση της ανεμογεννήτριας DD-HTS θεωρήθηκε ότι έχει τιμές παρόμοιες με τον τύπο DD-EESG, όμως ο τύπος αυτός χρειάζεται και επιπλέον ποσότητα 0,3 τόνους/γιγαβάτ ενός άλλου στοιχείου των σπάνιων γαιών που λέγεται Ύτριο.
- Για την ποσότητα σκυροδέματος και χάλυβα δόθηκε στον πίνακα ένα εύρος τιμών γιατί εξαρτάται από το αν η ανεμογεννήτρια θα είναι ξηράς που χρειάζεται άλλη θεμελίωση από την ανεμογεννήτρια που είναι σε θαλάσσια περιοχή.
- Για το ποσοστό των αναγκών σε σπάνιες γαίες έχει γίνει η παραδοχή μέσω τιμών: για το Νεοδύμιο ότι αποτελεί το 29%, το Δυσπρόσιο αποτελεί το 4%, το Βόριο αποτελεί το 1% και ο Σίδηρος με τον Χάλυβα αποτελούν το 66% του βάρους των μόνιμων μαγνητών που έχουν σαν βάση τις σπάνιες γαίες.
- Τα πολυμερή υλικά εξετάστηκαν ως ομάδα και περιλαμβάνουν θερμοπλαστικά, θερμοπλαστικά ελαστομερή, ελαστομερή / ελαστομερείς ενώσεις, diuomers και πολυμερείς ενώσεις.
- Τα συνθετικά υλικά από ίνες γυαλιού και από ίνες Άνθρακα (ανθρακονήματα) υπολογίστηκαν με την υπόθεση ότι έχουμε περιεκτικότητα 88% σε ίνες γυαλιού και μέγιστο 12% σε ίνες Άνθρακα.

⁵⁷ S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 21.

- Στον παραπάνω πίνακα δεν περιλαμβάνονται υπολογισμοί για υλικά καλωδίωσης που συνδέουν το σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τον μετασχηματιστή και τη σύνδεση από το μετασχηματιστή μέχρι το δίκτυο.
- Στο Ύτριο δεν δόθηκε κάποια εκτίμηση γιατί οι τιμές ήταν οριακά χαμηλές σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά⁵⁸.

Μελλοντική ζήτηση υλικών για την κατασκευή ανεμογεννητριών

Όπως και στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών έτσι και εδώ η έρευνα του ινστιτούτου JRC στηρίχτηκε σε τρία σενάρια το LDS, το MDS και το HDS. Για τα κατασκευαστικά δομικά υλικά όπως είναι το σκυρόδεμα, ο Χάλυβας, τα πλαστικά, τα συνθετικά υλικά γυαλιού και Άνθρακα, το Αλουμίνιο, το Χρώμιο, ο Χαλκός, ο Σίδηρος, το Μαγγάνιο, το Μολυβένιο το Νικέλιο και ο Ψευδάργυρος, υπολογίστηκαν με μία μείωση στην ένταση χρήσης υλικών 20%, 10% και 0% αντίστοιχα.

Στα ειδικά υλικά τεχνολογίας όπως είναι το Βόριο το Δυσπρόσιο το Νεοδύμιο το Πρασεοδύμιο και το Τέρβιο, οι ανάγκες υπολογίστηκαν με μία μείωση 80% για το LDS, 50% για το σενάριο MDS και 0% για το HDS σε σχέση με τα επίπεδα αναφοράς⁵⁹.

Έτσι συντάχθηκαν οι παρακάτω πίνακες και διαγράμματα από τα οποία μπορούμε να βγάλουμε δύο γενικά συμπεράσματα:

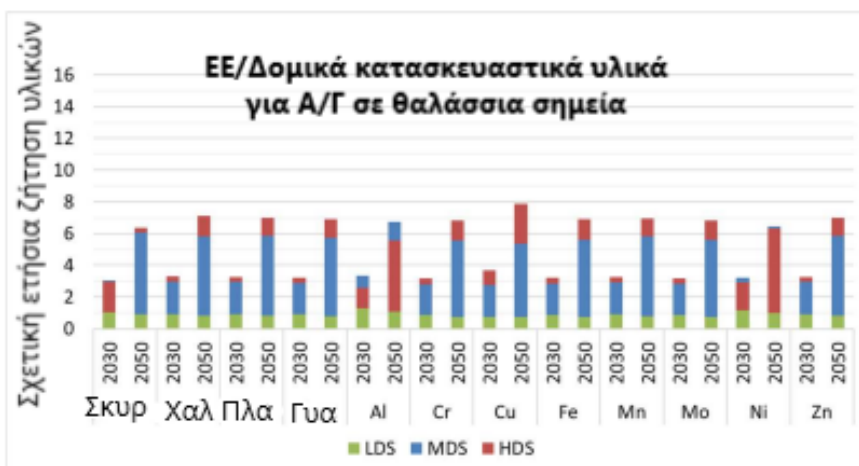
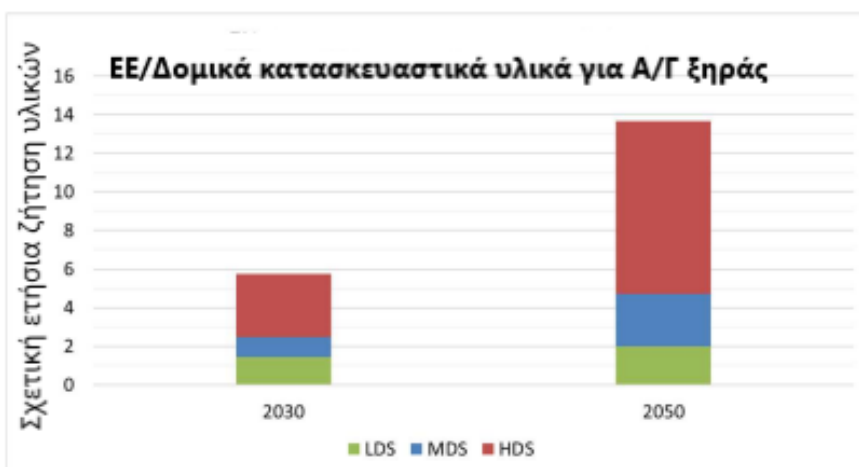
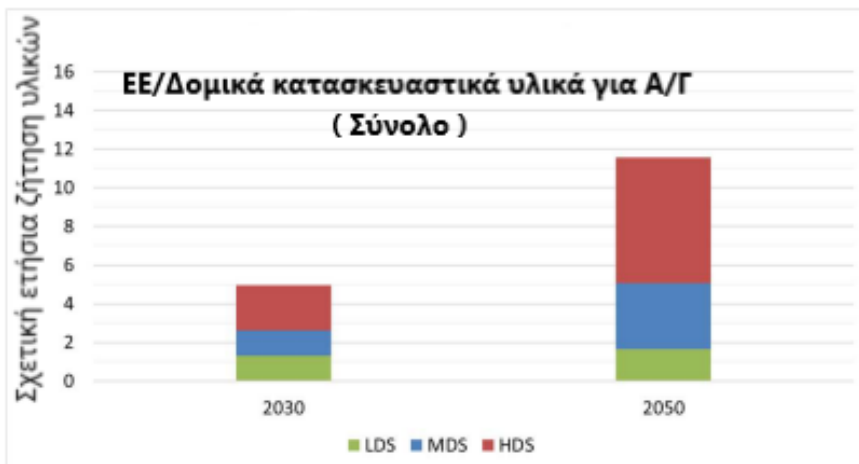
- Σε επίπεδο ΕΕ, ακόμη και με το μεσαίο σενάριο (MDS) βλέπουμε ότι τα στοιχεία Δυσπρόσιο, το Νεοδύμιο, το Πρασεοδύμιο (σε μεγαλύτερο βαθμό) και το Τέρβιο να έχουν μία δυσανάλογη ζήτηση σε σχέση με την τρέχουσα προσφορά (2018). Ειδικότερα, το Δυσπρόσιο και το Τέρβιο φαίνεται ότι υπερβαίνουν και το όριο διαθεσιμότητας. Αυτά τα υλικά υπόκεινται σε δυνητικούς κινδύνους εφοδιασμού σε επίπεδο ΕΕ (για την ανάπτυξη μόνο Α/Γ).
- Διαπιστώθηκε και σε παγκόσμιο επίπεδο η αύξηση της ζήτησης πάνω ή κοντά στα τρέχοντα επίπεδα προσφοράς (2018) για τις σπάνιες γαίες που χρησιμοποιούνται σε μόνιμους μαγνήτες, όπως το Νεοδύμιο, το Πρασεοδύμιο, το Δυσπρόσιο και το Τέρβιο, χωρίς όμως να ξεπερνούν (στο σενάριο MDS) το όριο διαθεσιμότητας τόσο το 2030 όσο και το 2050. Άρα, σε παγκόσμιο επίπεδο, για αυτές τις 4 σπάνιες γαίες μπορεί να έχουμε δυνητικούς κινδύνους εφοδιασμού αν υπολογίσουμε και ανάγκες από άλλους τομείς παραγωγής ή χρήσης ενέργειας⁶⁰.

⁵⁸ S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 21.

⁵⁹ S. Carrara et al., στο ίδιο, Luxembourg, 2020, σελ. 23.

⁶⁰ S. Carrara et al., στο ίδιο, Luxembourg, 2020, σ.σ. 23,25,26,27,30.

Σκυρ/μα	Σύνολο	4 078 129
	Onshore	2 979 731
	Offshore	1 098 398
	Χάλυβας	Σύνολο
	Onshore	961 081
	Offshore	441 507
Πλαστικό	Σύνολο	55 087
	Onshore	37 598
	Offshore	17 489
	Γυαλί	Σύνολο
Onshore		65 429
	Offshore	31 104
	Al	Σύνολο
Onshore		9 645
	Offshore	3 030
	Cr	Σύνολο
Onshore		4 210
	Offshore	2 053
	Cu	Σύνολο
Onshore		20 046
	Offshore	9 302
	Fe	Σύνολο
Onshore		158 566
	Offshore	77 139
	Mn	Σύνολο
Onshore		6 442
	Offshore	3 014
	Mo	Σύνολο
Onshore		876
	Offshore	425
	Ni	Σύνολο
Onshore		3 211
	Offshore	1 118
	Zn	Σύνολο
Onshore		44 954
	Offshore	20 911

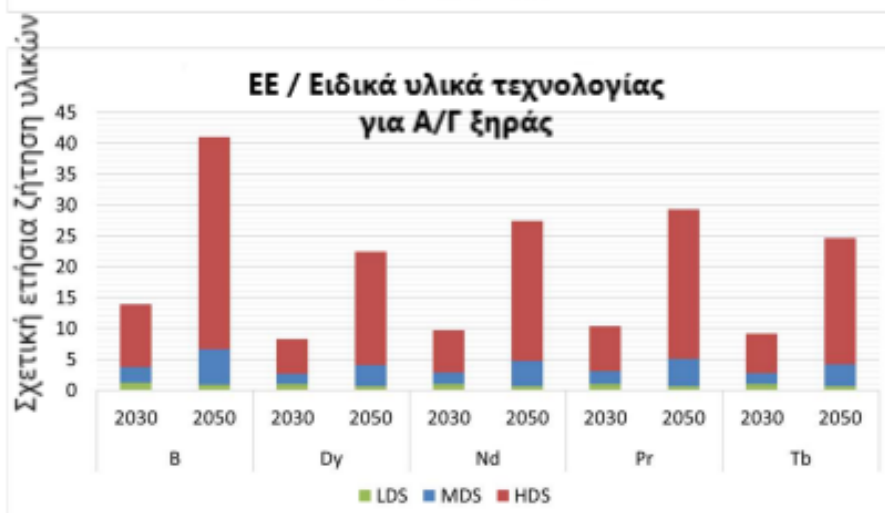
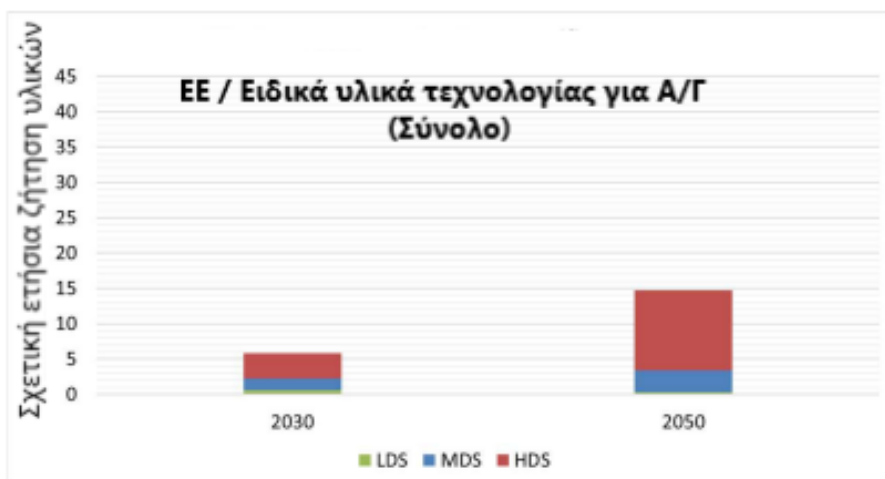


Σχήμα 3.7: Ετήσια ζήτηση δομικών κατασκευαστικών υλικών για Α/Γ για το έτος 2018 (σε τόνους/έτος) στην ΕΕ (Πίνακας αριστερά). Σχετική ζήτηση για τα έτη 2030 και 2050 ως λόγος προς την ζήτηση του έτους βάσης (Διαγράμματα δεξιά: πάνω συνολικές τιμές, στη μέση για Α/Γ ξηράς και κάτω για Α/Γ σε θαλάσσια σημεία).

Πηγή: Ανάλυση JRC⁶¹

⁶¹ S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 24.

B	Σύνολο	23
	Onshore	5
	Offshore	18
Dy	Σύνολο	95
	Onshore	42
	Offshore	53
Nd	Σύνολο	857
	Onshore	305
	Offshore	552
Pr	Σύνολο	150
	Onshore	49
	Offshore	101
Tb	Σύνολο	32
	Onshore	12
	Offshore	20

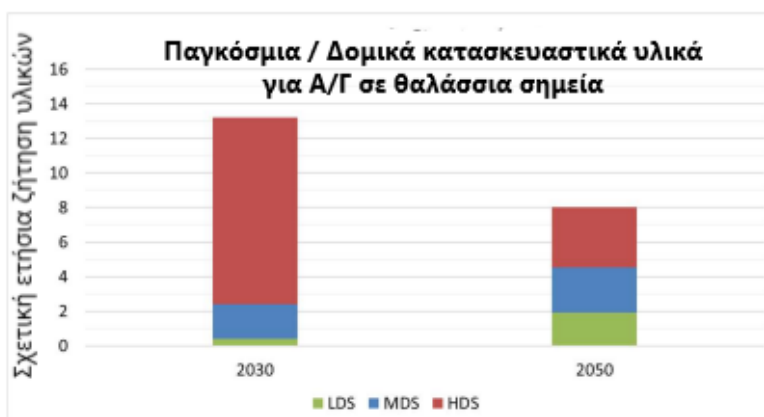
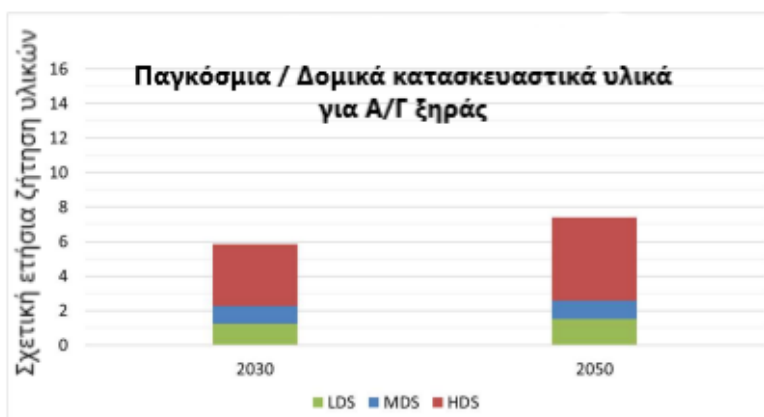
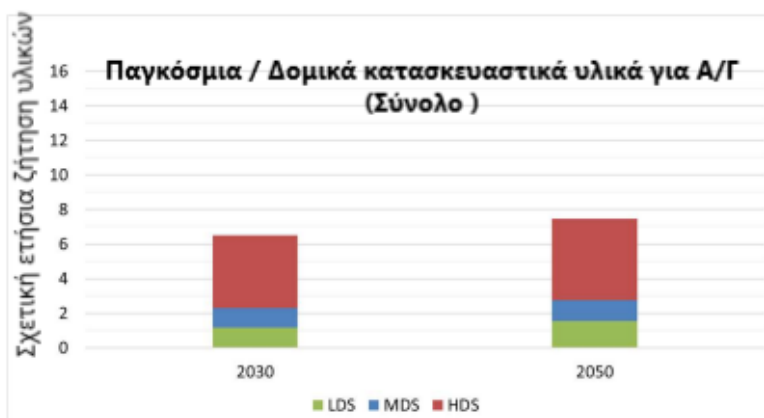


Σχήμα 3.8: Ετήσια ζήτηση ειδικών υλικών τεχνολογίας για Α/Γ για το έτος 2018 (σε τόνους/έτος) στην ΕΕ (Πίνακας αριστερά). Σχετική ζήτηση για τα έτη 2030 και 2050 ως λόγος προς την ζήτηση του έτους βάσης (Διαγράμματα δεξιά: πάνω συνολικές τιμές, στη μέση για Α/Γ ξηράς και κάτω για Α/Γ σε θαλάσσια σημεία).

Πηγή: Ανάλυση JRC⁶²

⁶² S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 25.

Σκυρ/μα	Total	17 551 910
	Onshore	16 171 760
	Offshore	1 380 150
Σκυρ/μα	Total	5 923 708
	Onshore	5 397 950
	Offshore	525 758
Πλαστικό	Total	236 900
	Onshore	216 200
	Offshore	20 700
Γυαλί	Total	407 840
	Onshore	371 394
	Offshore	36 446
Al	Total	60 880
	Onshore	56 870
	Offshore	4 010
Cr	Total	25 861
	Onshore	23 486
	Offshore	2 375
Cu	Total	101 042
	Onshore	89 911
	Offshore	11 131
Fe	Total	979 686
	Onshore	890 086
	Offshore	89 600
Mn	Total	40 471
	Onshore	36 914
	Offshore	3 557
Mo	Total	5 400
	Onshore	4 907
	Offshore	493
Ni	Total	19 772
	Onshore	18 330
	Offshore	1 442
Zn	Total	283 250
	Onshore	258 500
	Offshore	24 750

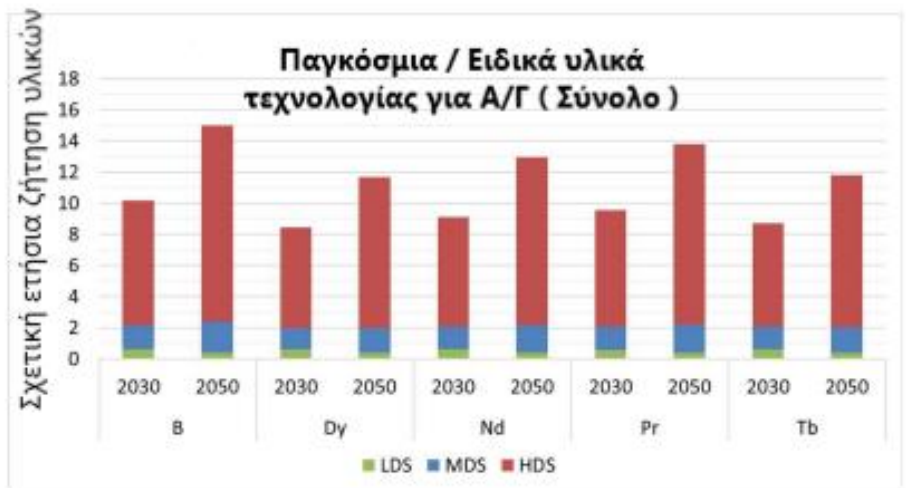


Σχήμα 3.9: Παγκόσμια ζήτηση δομικών κατασκευαστικών υλικών για Α/Γ για το έτος 2018 (σε τόνους/έτος) (Πίνακας αριστερά). Σχετική ζήτηση για τα έτη 2030 και 2050 ως λόγος προς την ζήτηση του έτους βάσης (Διαγράμματα δεξιά: πάνω συνολικές τιμές, στη μέση για Α/Γ ξηράς και κάτω για Α/Γ σε θαλάσσια σημεία).

Πηγή: Ανάλυση JRC⁶³

⁶³ S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 28.

B	Σύνολο	73
	Onshore	57
	Offshore	16
Dy	Σύνολο	314
	Onshore	262
	Offshore	51
Nd	Σύνολο	2 814
	Onshore	2 302
	Offshore	512
Pr	Σύνολο	450
	Onshore	356
	Offshore	94
Tb	Σύνολο	117
	Onshore	98
	Offshore	19



Σχήμα 3.10: Παγκόσμια ζήτηση ειδικών υλικών τεχνολογίας για Α/Γ για το έτος 2018 (σε τόνους/έτος) (Πίνακας αριστερά). Σχετική ζήτηση για τα έτη 2030 και 2050 ως λόγος προς την ζήτηση του έτους βάσης (Διαγράμματα δεξιά: πάνω συνολικές τιμές, στη μέση για Α/Γ ξηράς και κάτω για Α/Γ σε θαλάσσια σημεία).

Πηγή: Ανάλυση JRC⁶⁴

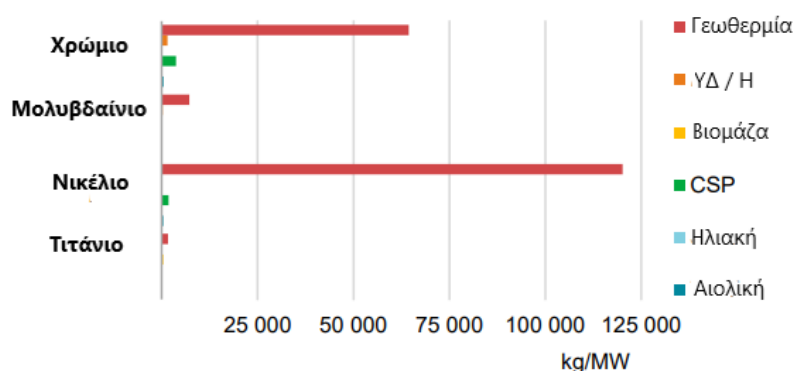
⁶⁴ S. Carrara et al., ό.π., Luxembourg, 2020, σελ. 29.

Κεφάλαιο 4^ο: Οι ανάγκες σε πρώτες ύλες από άλλες ανανεώσιμες

4.1 Γεωθερμία

Οι γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας αναπτύχθηκαν μέχρι το 2020 σε διάφορες χώρες με μία χωρητικότητα 16GW. Το σενάριο SDS προβλέπει το 2040 αυτή η χωρητικότητα να πολλαπλασιαστεί μέχρι και 82GW δηλαδή 5 φορές περισσότερη. Στη γεωθερμική τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι συνθήκες που επικρατούν όσο αφορά στην θερμοκρασία και στο διαβρωτικό περιβάλλον, απαιτούν υλικά ιδιαίτερα ανθεκτικά. Για παράδειγμα ο χάλυβας πρέπει να είναι υψηλής περιεκτικότητας σε Χρώμιο, Μολυβδένιο, Νικέλιο και Τιτάνιο για να αντέξει σε αυτό το περιβάλλον.

Στο σενάριο SDS οι ανάγκες πρώτων υλών σε ορυκτά για τη γεωθερμία αναμένεται να τετραπλασιαστούν μέχρι το 2040. Παρόλο που η γεωθερμία συνεισφέρει λιγότερο από 1% στο μίγμα ηλεκτρικής ενέργειας με όλες τις άλλες τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών Άνθρακα, αναμένεται να χρειάζεται τα τρία τέταρτα της συνολικής ζήτησης σε Νικέλιο, τις μισές ανάγκες σε Χρώμιο και Μολυβδένιο και το 40% του συνολικού Τιτανίου που θα απαιτηθεί από τις ΑΠΕ.



Διάγραμμα 4.1: Ένταση χρήσης υλικών σε απαραίτητα ορυκτά για την γεωθερμία (στοιχεία για το 2019). Για την τεχνολογία CSP τα στοιχεία είναι για συστήματα με κεντρικό πύργο. Για τα φωτοβολταϊκά τα στοιχεία είναι για μεγάλης χρήσης cSi συστήματα και για τις ανεμογεννήτριες αναφέρονται στον τύπο ξηράς GB-DFIG.

Πηγή:iea.org⁶⁵

Η γεωθερμία εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια συμμετέχει και σε συστήματα θέρμανσης και ψύξης στα οποία γίνεται χρήση αντλιών θερμότητας. Από πλευράς σωληνώσεων δεν χρειάζεται χάλυβας γιατί χρησιμοποιούνται πλαστικά υλικά, όμως υπάρχει ανάγκη για χαλκό υψηλής θερμικής αγωγιμότητας για να γίνει εφικτή και αποδοτική η ανταλλαγή θερμικών φορτίων⁶⁶.

⁶⁵ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 71.

⁶⁶ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 71.

4.2 Υδροηλεκτρικά και Βιοενέργεια

Υδροηλεκτρικά

Οι υδροηλεκτρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας έχουν ένα σημαντικό μερίδιο ανάμεσα στις καθαρές τεχνολογίες. Για παράδειγμα το 2020 είχαμε το 17% της παραγωγής από ΑΠΕ. Όμως αυτό το ποσοστό αναμένεται να μειωθεί σύμφωνα με το σενάριο SDS μέχρι το 2040. Και αυτό γιατί οι μονάδες αυτές απαιτούν υψηλά αρχικά κεφάλαια για να κατασκευαστούν και παρουσιάζουν γεωμορφολογικά προβλήματα σε τοπικό επίπεδο. Η πρόβλεψη του σεναρίου δίνει μία μικρή αύξηση 70% μέχρι το 2040 και οι περισσότερες από αυτές προβλέπεται να εγκατασταθούν στην Ασία, με ένα μεγάλο μέρος να γίνονται στην Κίνα.

Από πλευράς υλικών, οι υδροηλεκτρικές μονάδες χρησιμοποιούν πολύ περισσότερο τσιμέντο και σκυρόδεμα από όλες τις άλλες τεχνολογίες. Όμως έχει πολύ μικρή ένταση χρήσης υλικών από τις υπόλοιπες καθαρές μορφές παραγωγής. Συγκεκριμένα δεν χρησιμοποιεί σπάνιες γαίες, έχει την μικρότερη ζήτηση σε Χαλκό, Μαγγάνιο και Νικέλιο. Το SDS, για τις προσθήκες που θα γίνουν σε Υ/Δ μονάδες, προβλέπει ότι η ζήτηση του Χαλκού θα είναι 2% και του Χρωμίου 11% των συνολικών αναγκών από όλες τις προσθήκες ΑΠΕ.

Βιοενέργεια

Βιοενέργεια είναι βασική πηγή ΑΠΕ συγκρίσιμη σε ποσότητα με τα φωτοβολταϊκά (2019). Στο SDS σενάριο αναμένεται η δυναμικότητά της να τριπλασιαστεί μέχρι το 2040. Το μισό της επιπλέον προσθήκης εκτιμάται ότι θα ανήκει στις Κίνα, ΗΠΑ, Ρωσία και Ινδία.

Από πλευράς υλικών έχουμε και στη Βιοενέργεια μεγάλη ζήτηση σε Χαλκό, συγκρίσιμη σε ποσότητα με τις άλλες τεχνολογίες. Οι καυστήρες που λειτουργούν με βιοκαύσιμα έχουν ίδιες απαιτήσεις σε υλικά όπως οι καυστήρες γαιανθράκων και φυσικού αερίου. Παρόλα αυτά στις μονάδες βιοκαυσίμων υπάρχει σημαντική ζήτηση Τιτανίου περίπου 400 kg ανά μεγαβάτ, το υψηλότερο ποσοστό ζήτησης από όλες τις άλλες ΑΠΕ εκτός της γεωθερμίας.

Η ζήτηση ορυκτών πόρων μέχρι το 2040 (για το SDS) αναμένεται να αυξηθεί πάνω από δύο φορές σε σχέση με το έτος βάσης 2020. Τα 3/4 των πόρων αυτών θα είναι ζήτηση σε Χαλκό που όμως είναι μικρή σε σχέση με τη συνολική ζήτηση των ΑΠΕ (περίπου το 2,5%). Το υλικό με τη μεγαλύτερη ζήτηση θα είναι το Τιτάνιο. Το έτος 2040 ο κλάδος της βιοενέργειας αναμένεται να χρησιμοποιεί το 60% της συνολικής ζήτησης των ΑΠΕ σε Τιτάνιο.

Συμπερασματικά η αύξηση της ζήτησης υλικών και για υδροηλεκτρική και για βιοενέργεια δεν αναμένεται να αντιμετωπίσει έλλειψη εφοδιασμού ή κίνδυνο στην αλυσίδα των ορυκτών που θα χρειαστεί⁶⁷.

⁶⁷ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 72.

4.3 Συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας CSP

Τα περισσότερα συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας (CSP) κατασκευάζονται σε δύο τύπους: Στον έναν τύπο υπάρχουν διατάξεις με κοίλους καθρέφτες. Εκεί πέφτει η ηλιακή ακτινοβολία, συγκεντρώνεται και κατευθύνεται προς έναν κεντρικό αγωγό-δέκτη ο οποίος έχει μέσα ένα ρευστό. Το ρευστό παίρνει τη θερμότητα και οδηγείται στο επόμενο στάδιο όπου παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Ο δεύτερος τύπος έχει δύο χαρακτηριστικά: Πρώτον υπάρχει στενή παρακολούθηση της κίνησης του ήλιου. Δεύτερον η ηλιακή ακτινοβολία από όλα τα κάτοπτρα, κατευθύνεται σε έναν κεντρικό πύργο δέκτη ο οποίος περιέχει ένα ρευστό ανταλλαγής θερμότητας.

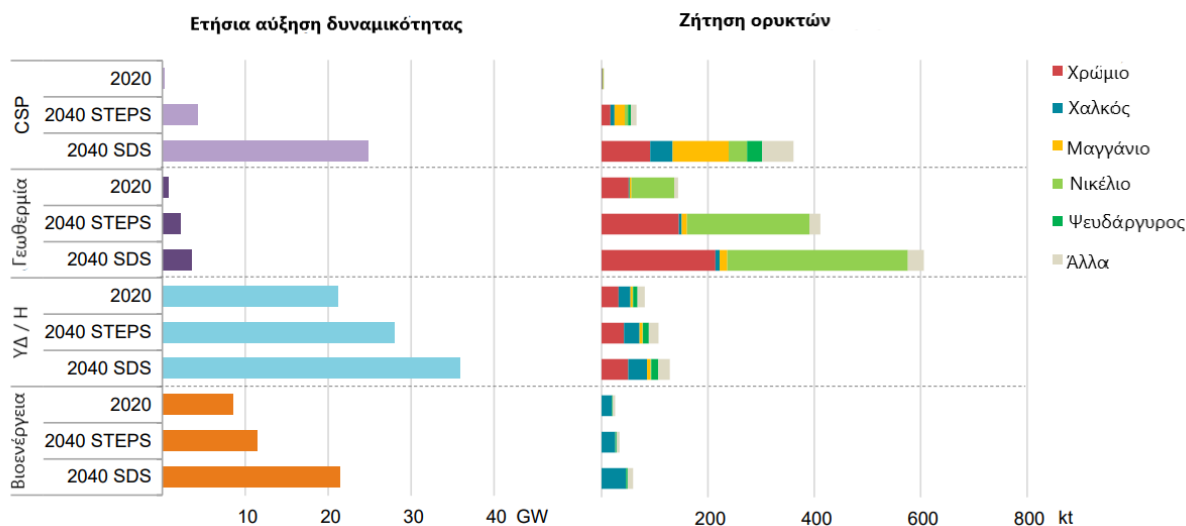
Από το 2010, οι πρωτοβουλίες πολιτικής και χρηματοδότησης στην Ισπανία και τις Ηνωμένες Πολιτείες συνέβαλαν στον υπερδιπλασιασμό της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος των CSP. Ωστόσο, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς παραμένει χαμηλή σε περίπου 7 GW το 2020 λόγω των περιορισμένων κατάλληλων γεωγραφικών περιοχών, του υψηλού κόστους του έργου και των μεγάλων αποστάσεων από τα κέντρα ζήτησης. Στο SDS, η εγκατεστημένη ισχύς αυξάνεται σχεδόν 40 φορές μεταξύ 2020 και 2040 - αν και από χαμηλή βάση - λόγω της ανάπτυξης στη Μέση Ανατολή, την Αφρική και την Ασία-Ειρηνικό.

Στην ομάδα αυτή η πρώτη κατηγορία (με τον κεντρικό αγωγό) αντιπροσώπευε πάνω από το 80% των προσθηκών δυναμικότητας CSP το 2010, αλλά το μερίδιό της μειώνεται σταθερά, παραχωρώντας μερίδιο αγοράς στη δεύτερη κατηγορία με τα κεντρικά συστήματα πύργων, τα οποία έχουν υψηλότερη απόδοση και μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης. Οι κεντρικοί πύργοι αντιπροσώπευαν περίπου το 60 % των προσθηκών δυναμικότητας CSP το 2020 και το μερίδιό τους αναμένεται να αυξηθεί σε 75 % έως το 2040 στο SDS.

Από πλευράς ζήτησης πρώτων υλών, τα κεντρικά συστήματα πύργων απαιτούν γενικά περισσότερα υλικά από τα παραβολικά συστήματα με κεντρικό αγωγό, ενδεικτικά αναφέρουμε ότι χρειάζονται οκτώ φορές περισσότερο Μαγγάνιο, τέσσερις φορές περισσότερο Νικέλιο και διπλάσιο Άργυρο. Ωστόσο, τα παραβολικά συστήματα με κεντρικό αγωγό απαιτούν περισσότερο από το διπλάσιο Χαλκό.

Για ολόκληρη την ομάδα της CSP, η πρόβλεψη για την ανάπτυξή της, συνοδεύεται από σημαντική αύξηση της ζήτησης για Χρώμιο, Χαλκό, Μαγγάνιο και Νικέλιο. Μεταξύ 2020 και 2040 στο SDS, η ζήτηση Χρωμίου από CSP αυξάνεται κατά 75 φορές (σε 91 kt), η ζήτηση Χαλκού αυξάνεται κατά 67 φορές (σε 42 kt), η ζήτηση Μαγγανίου αυξάνεται 92 φορές (σε 105 kt) και η ζήτηση Νικελίου αυξάνεται 89 φορές (σε 35 kt)⁶⁸.

⁶⁸ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 70.



Διάγραμμα 4.2: Ετήσια αύξηση δυναμικότητας και εκτίμηση ζήτησης ορυκτών με βάση τα σενάρια STEPS και SDS, για τέσσερις τεχνολογίες ΑΠΕ

Πηγή:iea.org⁶⁹

4.4 Πυρηνική

Η πυρηνική ενέργεια είναι δεύτερη σε δυναμικότητα από όλες τις ΑΠΕ. Βρίσκεται πίσω από την υδροηλεκτρική με ποσοστό περίπου 10% για το έτος 2020. Αναμένεται να αυξηθεί μέτρια μέχρι το 2040, το σενάριο STEPS δίνει μία αύξηση 16% και το σενάριο SDS δίνει μία αύξηση 45% συγκριτικά με το έτος βάσης 2020. Και αυτό γίνεται γιατί ενώ υπάρχει αύξηση στις αναδυόμενες οικονομίες, προβλέπεται μείωση της δυναμικότητας στις περιοχές της βόρειας Αμερικής και της Ευρώπης.

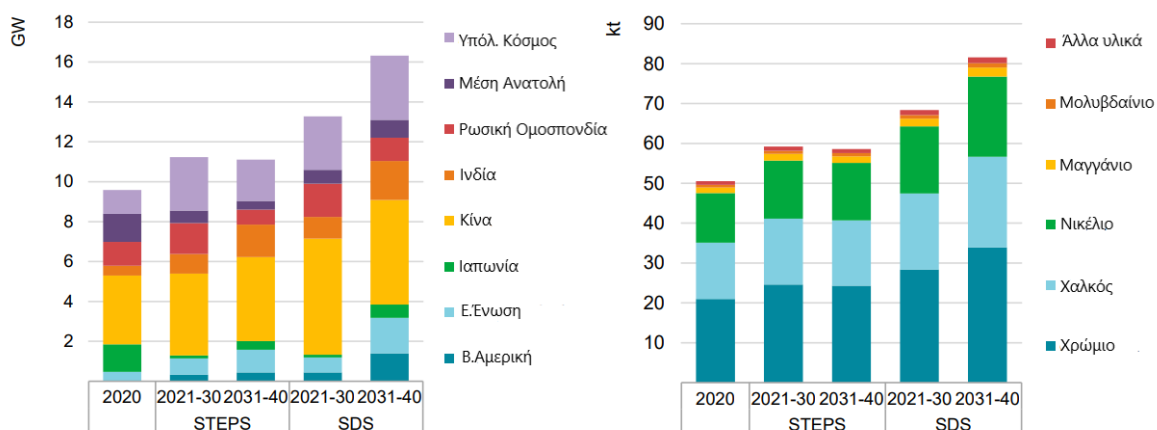
Η Κίνα βρίσκεται σε καλό δρόμο για να γίνει ηγέτης στην πυρηνική ενέργεια γύρω στο 2030, ξεπερνώντας τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρωπαϊκή Ένωση, υπερδιπλασιάζοντας την τρέχουσα ικανότητά της σε περίπου 110 GW στο SDS. Σημαντικά προγράμματα που βρίσκονται σε εξέλιξη στην Ινδία και τη Μέση Ανατολή συμβάλλουν επίσης στην επέκταση της πυρηνικής ενέργειας. Οι προσθήκες δυναμικότητας το 2020 ήταν περίπου 10 GW και προβλέπεται να αυξηθούν κατά μέσο όρο σε 11 GW στο STEPS και 16 GW στο SDS μεταξύ 2031 και 2040.

Η πυρηνική ενέργεια (όπως και η υδροηλεκτρική) είναι τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα με τη χαμηλότερη ένταση ορυκτών. Οι βασικές ανάγκες σε ορυκτά (υπολογισμός 2019) περιλαμβάνουν Χρώμιο (2190 kg/MW), Χαλκό (1470 kg/MW), Νικέλιο (1300 kg/MW), Άφνιο (0,5 kg/MW) και Ύτριο (0,5 kg/MW) (το Ουράνιο δεν εξετάζεται). Περίπου το 16% της παγκόσμιας προσφοράς Άφνιου χρησιμοποιείται επί του παρόντος για εφαρμογές

⁶⁹ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 69.

πυρηνικών αντιδραστήρων. Θα λάβουμε υπόψη και την ζήτηση του Χρωμίου και του Νικελίου για τον χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας που χρειάζεται σε πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

Λαμβάνοντας υπόψη την ωριμότητα της τεχνολογίας, δεν προβλέπεται να υπάρξουν δραστικές μειώσεις στην ένταση των ορυκτών τις επόμενες δεκαετίες. Γιαυτό η ένταση των ορυκτών θεωρείται ότι είναι παρόμοια στα STEPS.



Διάγραμμα 4.3: Αριστερά, Μέσες ετήσιες ενεργειακές προσθήκες από πυρηνική ενέργεια και δεξιά, απαιτήσεις σε ποσότητες ορυκτών

Πηγή: iea.org⁷⁰

Στο SDS, η μέση ετήσια ζήτηση ορυκτών από πυρηνική ενέργεια μεταξύ 2031 και 2040 αυξάνεται κατά περίπου 60% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2020, φθάνοντας τους 82 κιλτοτόνους (kt). Κυριαρχείται από Χρώμιο (42%), Χαλκό (28%) και Νικέλιο (25%). Η ζήτηση Υτρίου το 2040 είναι περίπου 7,7 τόνοι, ή περίπου 0,0015% των σημερινών παγκόσμιων αποθεμάτων.

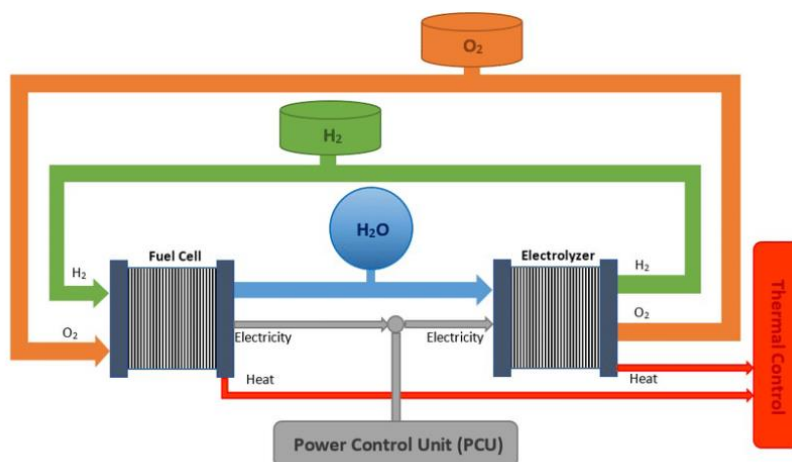
Η αξιολόγηση έγινε με βάση τις ορυκτές απαιτήσεις για την τεχνολογία αντιδραστήρων ελαφρού ύδατος, η οποία είναι κυρίαρχη στον παγκόσμιο πυρηνικό στόλο (80% όλων των αντιδραστήρων σε λειτουργία). Μία άλλη κατηγορία είναι οι αντιδραστήρες πεπιεσμένου ύδατος (η κυρίαρχη επιλογή για μελλοντική επέκταση). Και οι δύο τύποι έχουν παρόμοια ένταση ορυκτών. Δεν υπάρχουν όμως δεδομένα έντασης χρήσης ορυκτών για πιο προηγμένες πυρηνικές τεχνολογίες⁷¹.

⁷⁰ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 73.

⁷¹ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 74.

4.5 Τεχνολογίες Υδρογόνου

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούμε στις τεχνολογίες παραγωγής Υδρογόνου με σκοπό να χρησιμοποιηθεί σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 4.1: Σχηματική παράσταση μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το Η₂

Πηγή⁷²

Η βασική μέθοδος παραγωγής Υδρογόνου είναι η ηλεκτρόλυση νερού. Για εκατό και πλέον χρόνια οι μονάδες αλκαλικής ηλεκτρόλυσης (AEL) είναι σε βιομηχανική και εμπορική χρήση. Αρκετά καλή από πλευράς κόστους, δεν χρειάζεται καταλύτες από πολύτιμα μέταλλα. Μειονέκτημα η χαμηλή πίεση και η μειωμένη πυκνότητα ρεύματος κατά την λειτουργία της. Από πλευράς πρώτων υλών οι ανάγκες σε Νικέλιο στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας υπολογίζεται (2022) σε 1000 τόνους ανά 1GW. Σε μία μελλοντική προβολή, δίνεται μία εκτίμηση 800kg Ni ανά MW, χωρίς βεβαιότητα γιατί εξαρτάται από το ποσοστό που θα έχει η συγκεκριμένη μέθοδος παραγωγής Η₂ στην αγορά. Στην ίδια δυναμικότητα (1MW) θα χρειαστούν επίσης 100kg Zr, 500Kg Al, πάνω από 10 τόνους χάλυβα μαζί με μικρότερες ποσότητες καταλυτών Co και Cu⁷³.

Τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει αισθητή την παρουσία τους στην αγορά και σε μεγάλη κλίμακα, οι ηλεκτρολυτικές κυψέλες μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMEL) ή (PEM). Στις μονάδες αυτές η κάθοδος (συνήθως από Pt) και η άνοδος (τυπικά από Ir) διαχωρίζονται από μια ιοντοαγώγιμη πολυμερική μεμβράνη. Μεταξύ αυτής της μεμβράνης και των πλακών βρίσκονται τα πορώδη στρώματα μεταφοράς. Οι πλάκες των δύο πόλων είναι συνήθως κατασκευασμένες από Τιτάνιο. Το ίδιο υλικό (Ti) χρησιμοποιείται επίσης για τα πορώδη στρώματα μεταφοράς στην πλευρά της ανόδου. Για τα πορώδη στρώματα μεταφοράς που

⁷² Ελευθέριος Κόντης, σημειώσεις μαθήματος «Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας», UOWM, 28/12/2021.

⁷³ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 112.

βρίσκονται προς την πλευρά της καθόδου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν Τιτάνιο ή συνθετικός Γραφίτης ή σύνθετα υλικά Άνθρακα.

Σε αντίθεση με τα συστήματα AEL, εδώ το Υδρογόνο παράγεται στην κάθοδο. Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων PEMEL είναι το μικρότερο μέγεθος των μονάδων, η υψηλότερη πυκνότητα ισχύος μαζί με την ικανότητα ευέλικτης λειτουργίας και υπό διαφορεική πίεση (υψηλή πίεση πλευράς Υδρογόνου). Ωστόσο, τα ευγενή μέταλλα και τα σύνθετα υλικά μεμβράνης αυξάνουν το κόστος των συστημάτων που σήμερα έχουν επίσης μικρότερη διάρκεια ζωής από τα AEL. Εάν η μέθοδος PEM επικρατήσει μελλοντικά στην αγορά Υδρογόνου, θα αυξήσει τη ζήτηση σε Pt και Ir. Στην τρέχουσα χρήση οι ανάγκες είναι περίπου 0,3 kg Pt και 0,7 kg Ir ανά MW. Οι μελέτες αναφέρουν ότι αυτές οι ποσότητες μπορούν μελλοντικά να μειωθούν περίπου στο 10%.

Συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα των δύο αυτών μεθόδων ηλεκτρόλυσης (AEL και PEMEL), βρίσκεται σε ερευνητικό ακόμη στάδιο ανάπτυξης μία νέα μέθοδος (με την οποία δεν θα ασχοληθούμε) που χρησιμοποιεί ηλεκτρολυτικές κυψέλες μεμβράνης ανταλλαγής ανιόντων (AEM). Ένα βασικό σημείο για την μέθοδο αυτή είναι ότι αποφεύγουμε την ταυτόχρονη ζήτηση σε Pt και Ir.

Τρίτη μέθοδος που βρίσκεται ήδη στην αγορά (λιγότερο όμως ώριμη από την AEL και PEMEL), είναι η ηλεκτρόλυση υψηλών θερμοκρασιών (HTEL). Η χρήση Ζιρκονίας σταθεροποιημένης με οξείδιο του Υτρίου (Yttria stabilized Zirconia (YSZ)) ως στερεού ηλεκτρολύτη είναι συνηθέστερη και απαιτεί θερμοκρασίες μεταξύ 650 °C και 850 °C για να γίνει επαρκώς αγωγική. Ως υλικό καθόδου, εφαρμόζονται κυρίως κράματα Νικελίου, ενώ η άνοδος αποτελείται συχνά από Μαγγανίτη Στροντίου Λανθανίου. Οι διασυνδέσεις μεταξύ των μεμονωμένων κελιών είναι συνήθως κατασκευασμένες από Χρωμίτη Λανθανίου ή Χρωμίτη Υτρίου. Κύριο μειονέκτημα είναι η υποβάθμιση των υλικών που συνδέεται με τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας και τον θερμικό κύκλο⁷⁴.

Τέλος θα αναφερθούμε στην μέθοδο ηλεκτρόλυσης με κελιά που έχουν στερεά οξείδια (SOECs). Δοκιμάζεται σε χαμηλότερης κλίμακας μονάδες. Προβλέπεται μελλοντικά να έχει παρουσία στην αγορά (χωρίς να επικρατήσει). Από πλευράς ζήτησης μία πρώτη εκτίμηση είναι για το Ni (150-200 kg ανά MW), το Zr (περίπου 40 kg ανά MW), La (περίπου 20 kg ανά MW) και Ύτριο (λιγότερο από 5 kg ανά MW). Η προσπάθεια θα είναι να μειωθούν οι ποσότητες αυτές και για το Νικέλιο να βρεθεί κάτω από 10 kg ανά MW ⁷⁵.

⁷⁴ Steffen Kiemel et al., «Critical materials for water electrolyzers at the example of the energy transition in Germany», Int J Energy Res. 2021; 45: σ.σ. 9916-9917, <https://doi.org/10.1002/er.6487>.

⁷⁵ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ.113.

Για τις ανάγκες σε πρώτες ύλες των τεχνολογιών που προβλέπεται ότι θα επικρατήσουν στο μέλλον, θα αναφερθούμε συνοπτικά για πέντε επιλεγμένα στοιχεία.

Στην PEMEL τα ηλεκτρόδια και οι επιστρώσεις έχουν ειδικές απαιτήσεις. Χρειάζονται υλικά που να αντέχουν στη διάβρωση σε οξειδωτική ατμόσφαιρα. Τέτοια υλικά βρίσκουμε στην ομάδα της Πλατίνας. Η ίδια η Πλατίνα (Pt) χρησιμοποιείται στα συστήματα ηλεκτρολυτικών κυψελών PEM ως το προτιμώμενο υλικό καθόδου. Τα λεπτά καταλυτικά στρώματα μπορούν να αποτελούνται είτε από καθαρή Πλατίνα, είτε από Πλατίνα που υποστηρίζεται από Άνθρακα. Επιπλέον, το ίδιο υλικό χρησιμοποιείται μερικές φορές ως επίστρωση για τις πλάκες των δύο πόλων και για τα πορώδη στρώματα μεταφοράς (PTL), προκειμένου να μειωθεί η ηλεκτρική αντίσταση της επιφάνειας. Υπάρχει μία εκτίμηση ότι στο μέλλον θα επικρατήσουν τεχνολογίες με πλάκες χωρίς επίστρωση Πλατίνας.

Το Ιρίδιο (ανήκει στην ομάδα Πλατίνας ή PGM) χρησιμοποιείται επίσης ως το κύριο υλικό καταλύτη για την άνοδο. Μέχρι στιγμής, δεν υπάρχουν υλικά με λογικές προοπτικές για την αντικατάσταση του Ιριδίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επικάλυψη των ανόδων PEM θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στη διάβρωση, και να διαθέτει επαρκή ηλεκτροχημική δραστηριότητα (ιδιότητες που ικανοποιούνται επαρκώς μόνο από το Ιρίδιο).

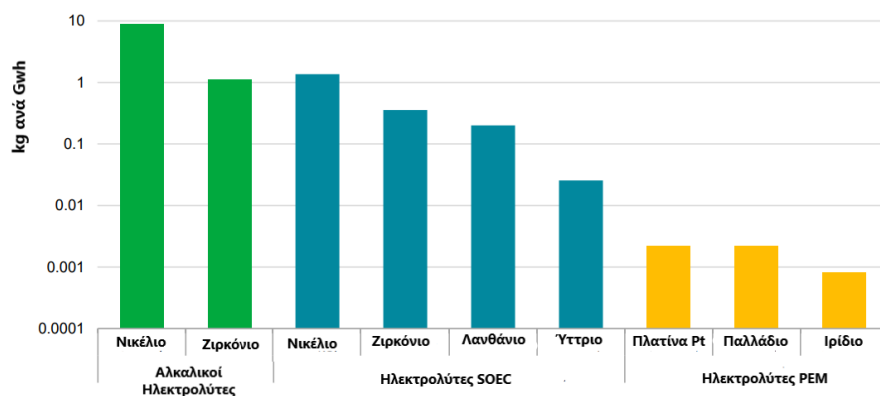
Το Τιτάνιο είναι το βασικό υλικό για τις πλάκες των δύο πόλων στις περισσότερες ηλεκτρολυτικές κυψέλες PEM, καθώς διαθέτει κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες και υψηλή αντοχή στη διάβρωση. Επιπλέον, υλικά που περιέχουν Τιτάνιο, χρησιμοποιούνται για πορώδη στρώματα μεταφοράς (PTL) στην τεχνολογία PEMEL.

Το Σκάνδιο χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις στις κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC), ως υλικό ντόπινγκ του ηλεκτρολύτη διοξειδίου του Ζιρκονίου. Έτσι, είναι ένα πιθανό υποκατάστατο του Υτρίου, το οποίο είναι σήμερα το υπερσύγχρονο υλικό ντόπινγκ των ηλεκτρολυτών HTEL. Ειδικά χαρακτηριστικά και των δύο στοιχείων είναι η υψηλή μηχανική αντοχή και η αγωγιμότητα ιόντων οξυγόνου ενώ είναι χημικά σταθερά.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το Ύτριο χρησιμοποιείται για την ίδια εφαρμογή με το Σκάνδιο. Η ανάμειξη Υτρίου και Σκανδίου θεωρείται ως η πιο ελπιδοφόρα προσέγγιση για το μέλλον. Ωστόσο, το Σκάνδιο προτιμάται σε ορισμένες κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου που διατίθενται σήμερα και είναι πιθανό ένα σενάριο στο οποίο χρησιμοποιείται επίσης ευρέως στα συστήματα HTEL⁷⁶.

⁷⁶ Steffen Kiemel et al., «Critical materials for water electrolyzers at the example of the energy transition in Germany», ό.π., σελ. 9919.

Συμπερασματικά τα συστήματα ηλεκτρόλυσης, θα αυξήσουν μελλοντικά τη ζήτηση σε Ni, Pt και άλλα ορυκτά. Το μέγεθος της ζήτησης θα εξαρτηθεί από τις τεχνολογίες που θα επικρατήσουν στην αγορά. Μία σημερινή (2022) εικόνα βλέπουμε στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.4: Εκτίμηση σημερινών αναγκών σε ορυκτά στα τρία συστήματα ηλεκτρόλυσης

Πηγή: iea.org⁷⁷

Σε σχέση με τον ενεργειακό κύκλο του Υδρογόνου, ανάγκες πρώτων υλών υπάρχουν και στις κυψέλες καυσίμου όπου παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια, αλλά και στην εφαρμογή της αποθήκευσης Υδρογόνου. Στην εργασία μας δεν θα ασχοληθούμε με αυτούς τους δύο τομείς. Οι συνολικές ζητήσεις υλικών από τον ενεργειακό κύκλο του Υδρογόνου θα ενσωματωθούν στο επόμενο συγκεντρωτικό μέρος της εργασίας.

4.6 Ηλεκτρικά δίκτυα

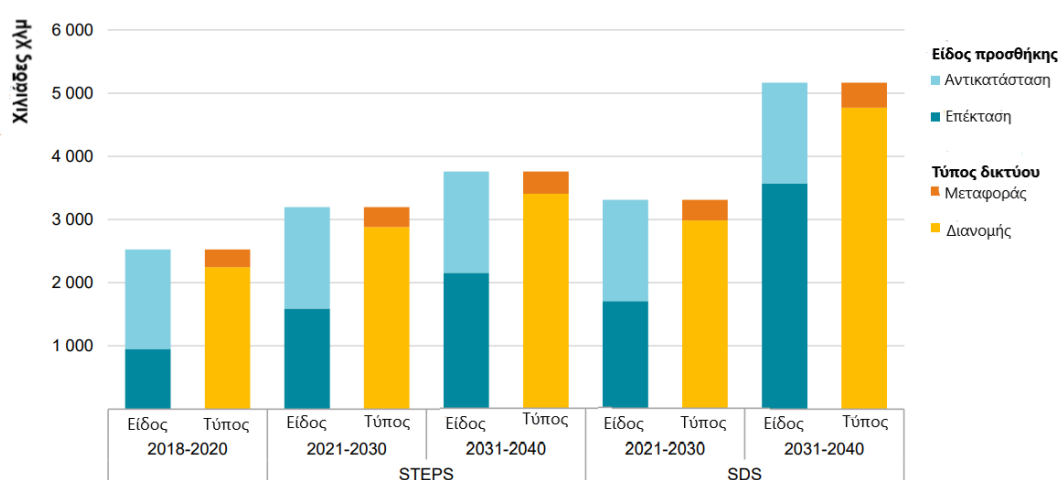
Καθώς αυξάνεται η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας και η αιολική με την ηλιακή ως πηγές παίρνουν όλο και μεγαλύτερα μερίδια, απαιτείται μία σημαντική επέκταση των ηλεκτρικών δικτύων. Τα δίκτυα παίζουν έναν σημαντικό ρόλο και αποτελούν την σπονδυλική στήλη για ασφαλή και αξιόπιστα συστήματα ενεργείας.

Οι γραμμές των δικτύων χρησιμεύουν για μεταφορά και διανομή. Υπολογίζονται σε περίπου 70 εκατομμύρια χιλιόμετρα παγκοσμίως. Τα περισσότερα από αυτά (90% των συνολικών) είναι τα δίκτυα διανομής. Παραδοσιακά, τα δίκτυα διανομής χρησιμοποιούνταν για να παραλάβουν ενέργεια και να την μεταφέρουν στους τελικούς καταναλωτές. Επιπλέον, είναι απαραίτητα για την σωστή λειτουργία οικιακών Φ/Β και Α/Γ ξηράς. Η άλλη κατηγορία των δικτύων μεταφοράς είναι αυτά που χρησιμεύουν για την σύνδεση μεγάλων υδροηλεκτρικών, θερμικών και πυρηνικών μονάδων ισχύος με τα κέντρα φορτίου. Θα προσθέσουμε σε αυτά και την μεταφορά ενέργειας που παράγεται από μεγάλες μονάδες Φ/Β

⁷⁷ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 111.

και Α/Γ (onshore και offshore). Τρίτη εφαρμογή μεταφοράς είναι η διασύνδεση μεταξύ χωρών και η αύξηση της αποτελεσματικότητας των δικτύων ισχύος. Σε αυτή την κατηγορία (δίκτυα μεταφοράς) μία νέα τεχνολογία έχει δυναμική διεξόδου στην αγορά για να υποστηρίξει τις πολλαπλές απαιτήσεις. Πρόκειται για τις γραμμές μεταφοράς υψηλών τάσεων σταθερού ρεύματος (HVDC). Σήμερα τα συστήματα HVDC αποτελούν το 7% των καινούριων εγκατεστημένων, αλλά το μερίδιο αυτό αναμένεται να αυξηθεί.

Συνολικά (για μεταφορά και διανομή) το σενάριο STEPS προβλέπει 80% περισσότερες μονάδες για την δεκαετία (2020-2030) από ό,τι υπήρξαν την προηγούμενη δεκαετία. Και αν αποφασιστεί πιο γρήγορη μετάβαση, προβλέπεται ένας διπλασιασμός της ετήσιας αύξησης στην περίοδο μέχρι το 2040.



Διάγραμμα 4.5: Ετήσιες μέσες ανάγκες επέκτασης και αντικατάστασης δικτύων (σε χιλιάδες χλμ.)

Πηγή: iea.org⁷⁸

Θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι θα δημιουργηθούν επιπλέον γραμμές γιατί θα χρειαστεί και σε υπάρχοντα δίκτυα να γίνει αναβάθμιση, για να ανέβει ο βαθμός αξιοπιστίας και να υπάρχει σταθερότητα από κλιματικές επιρροές και από καιρικά φαινόμενα. Αυτή η αναβάθμιση των δικτύων υποστηρίζεται ακόμη περισσότερο από την ψηφιοποίηση γιατί πηγαίνει μαζί με την ανάγκη για έξυπνα και ευέλικτα δίκτυα. Εκτός από την αξιοπιστία, η αναβάθμιση συμβάλλει στο να μειωθούν τα κόστη της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού. Στον τομέα αυτό αναμένεται να επενδύσουν οι αναπτυγμένες οικονομίες όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση και οι ΗΠΑ.

Κλείνοντας την ενότητα αυτή παραθέτουμε τον παρακάτω πίνακα, ο οποίος περιέχει τον βαθμό αναγκών σε μερικά (κρίσιμα) ορυκτά για τις διάφορες καθαρές τεχνολογίες ενέργειας τις οποίες εξετάσαμε μέχρι τώρα.

⁷⁸ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 76.

Πίνακας 4.1: Βαθμός σπουδαιότητας κάθε ορυκτού για κάθε συγκεκριμένη τεχνολογία
 Ερμηνεία: ● υψηλή σπουδαιότητα ● μέση σπουδαιότητα, ○ χαμηλή σπουδαιότητα
 CSP: Συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας

PGM: Platinum group metals

[Platinum, Palladium, Rhodium, Ruthenium, Iridium, and Osmium]

REEs: Σπάνιες γαίες

Πηγή:iea.org⁷⁹

	Χαλκός	Κοβάλτιο	Νικέλιο	Λίθιο	REEs	Χρώμιο	Zn	PGMs	Al*
Ηλιακά Φ/Β	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Αιολική	●	○	●	○	●	●	●	○	●
Υδροηλεκτρικά	○	○	○	○	○	○	○	○	○
CSP	○	○	●	○	○	●	○	○	●
Βιοενέργεια	●	○	○	○	○	○	○	○	○
Γεωθερμική	○	○	●	○	○	●	○	○	○
Πυρηνική	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ηλεκτρικά δίκτυα	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Ηλεκτρικά οχήματα Μπαταρίες αποθήκευσης	●	●	●	●	●	○	○	○	●
Υδρογόνο	○	○	●	○	○	○	○	●	○

Στον παραπάνω πίνακα βλέπουμε και τις ανάγκες ορυκτών για ηλεκτρικά οχήματα και για μπαταρίες αποθήκευσης. Αυτές τις ανάγκες θα εξετάσουμε στο επόμενο κεφάλαιο κλείνοντας το πρώτο μέρος της εργασίας μας.

⁷⁹ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 45.

Κεφάλαιο 5^ο: Η ηλεκτροκίνηση και οι ανάγκες αποθήκευσης της ενέργειας

5.1 Ηλεκτρικά οχήματα (EVs)

Τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούσαν το 4% ως μερίδιο αγοράς σε αυτά που πουλήθηκαν το έτος 2020. Για να επιτευχθούν οι κλιματικοί στόχοι αυτό το μερίδιο πρέπει να φτάσει το 40 % μέχρι το 2030 (SDS) σε ελαφρά οχήματα, λεωφορεία και νταλίκες. Αρκετές χώρες μάλιστα, έβαλαν στόχο την πλήρη ηλεκτροκίνηση μέχρι το 2050. Αν δεχτούμε ότι θα πραγματοποιηθεί αυτή η αύξηση, θα ερευνήσουμε τις ανάγκες σε ορυκτά που θα χρειαστεί.

Δύο είναι τα μέρη του αυτοκινήτου που έχουν ενδιαφέρον σε σχέση με τα κρίσιμα ορυκτά που χρειάζονται: οι κινητήρες και οι μπαταρίες. Οι δύο πιο κοινές τεχνολογίες ηλεκτρικών κινητήρων για “*plug-in*” ηλεκτρικά οχήματα είναι οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη και οι ασύγχρονοι επαγωγικοί κινητήρες.

Οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη έχουν την υψηλότερη απόδοση και πυκνότητα ισχύος, αλλά η χρήση σπάνιων γαιών τους καθιστά ακριβούς σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες. Εκτός από το Νεοδύμιο (0,25–0,50 kg/όχημα) και άλλες σπάνιες γαίες (0,06–0,35 kg/όχημα), οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη απαιτούν επίσης Χαλκό (3–6 kg/όχημα), Σίδηρο (0,9–2 kg/όχημα) και Βόριο (0,01–0,03 kg/όχημα).

Οι επαγωγικοί κινητήρες έχουν το πλεονέκτημα του χαμηλότερου κόστους, αλλά έχουν μόνο μέτρια απόδοση λόγω ηλεκτρικών απωλειών στις περιελίξεις χαλκού. Παρόλο που δεν χρειάζονται σπάνιες γαίες, απαιτούν σημαντική ποσότητα Χαλκού (11-24 kg/όχημα) για τον κλωβό του ρότορα και τον στάτορα. Μελλοντικά υποθέτουμε ότι οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη θα παραμείνουν στην αγορά ο κυρίαρχος κινητήρας EV⁸⁰.

5.2 Μπαταρίες ηλεκτροκίνησης

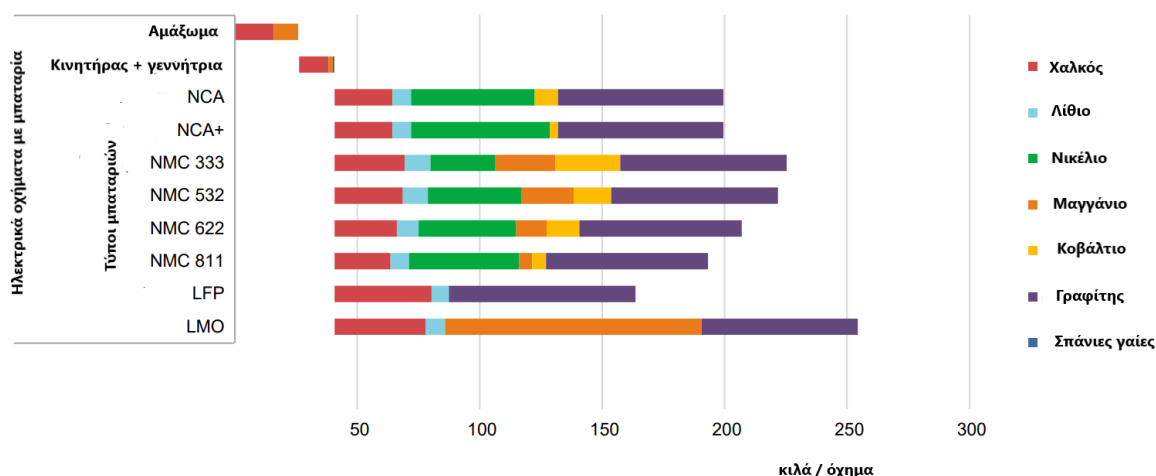
Οι μπαταρίες ιόντων Λιθίου που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα (και στην αποθήκευση ενέργειας) αποτελούνται από κυψέλες που περιέχονται σε θαλάμους. Οι κυψέλες αντιπροσωπεύουν συνήθως το 70% έως 85% του συνολικού βάρους της μπαταρίας και περιέχουν έναν αριθμό ορυκτών στο ενεργό υλικό καθόδου (π.χ. Λίθιο, Νικέλιο, Κοβάλτιο και Μαγγάνιο), στην άνοδο (π.χ. Γραφίτης) και στον συλλέκτη ρεύματος (π.χ. Χαλκός). Οι υπόλοιπες μονάδες και τα εξαρτήματα των μπαταριών αποτελούνται κυρίως από Αλουμίνιο, Χάλυβα, ψυκτικά και ηλεκτρονικά μέρη.

Η ανάγκη για κάθε ορυκτό ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τα στοιχεία της καθόδου και της ανόδου. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες Νικελίου, Μαγγανίου, οξειδίου του Κοβαλτίου

⁸⁰ «*The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σ.σ. 85, 88.

(NMC) 111 απαιτούν συνήθως σχεδόν οκτώ φορές περισσότερο Κοβάλτιο από τις μπαταρίες Νικελίου, Κοβαλτίου, οξειδίου του Αργιλίου (NCA+), αλλά το μισή ποσότητα Νικελίου. Οι μπαταρίες φωσφορικού Σιδήρου και Λιθίου (LFP) δεν έχουν Νικέλιο, Κοβάλτιο ή Μαγγάνιο, αλλά χρειάζονται περίπου 50% περισσότερο Χαλκό από τις μπαταρίες Νικελίου, Μαγγανίου, Κοβαλτίου (NMC)⁸¹.

Στον ακόλουθο πίνακα βλέπουμε ανάγκες (σε κιλά/όχημα) σε βασικά ορυκτά για τα ηλεκτρικά οχήματα, ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας που έχουν:



Διάγραμμα 5.1: Τυπικές ανάγκες σε ορυκτά (σε κιλά / όχημα) για ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρίες. Στο παράδειγμα έχουμε κινητήρα μόνιμου μαγνήτη (Νεοδύμιο, Σίδηρος, Βόριο (NdFeB)) και μπαταρία δυναμικότητας 75 kWh με ανόδους από Γραφίτη.

Πηγή:iea.org⁸²

Στην αγορά των μπαταριών ηλεκτροκίνησης, για την δεκαετία (2010-2020) κυριάρχησε η κατηγορία ιόντων Λιθίου. Κύριο πλεονέκτημά της σε σχέση με εναλλακτικά προϊόντα (συσσωρευτές Μολύβδου οξέος ή Νικελίου Καδμίου) η υψηλή ειδική ενέργεια που κινείται σε ένα εύρος 90–260 Wh/kg. Η χημεία της καθόδου μας επιτρέπει να κάνουμε κατάταξη σε ομάδες :

- LCO Οξείδιο Λιθίου Κοβαλτίου
- LMO Οξείδιο Λιθίου Μαγγανίου
- LFP Φωσφορικού Λιθίου Σιδήρου
- NCA Οξείδιο Λιθίου Νικελίου Κοβαλτίου Αργιλίου
- NMC Οξείδιο Λιθίου Νικελίου Μαγγανίου Κοβαλτίου

⁸¹ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 88.

⁸² «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 89.

Η εξέλιξη στην τεχνολογία αυτής της κατηγορίας σκοπεύει στην βελτίωση της ενεργειακής πυκνότητας, της ανθεκτικότητας, της ασφάλειας και του κόστους, ελαχιστοποιώντας παράλληλα το περιβαλλοντικό, κοινωνικό και πολιτικό κόστος απόκτησης των υλικών που χρειάζονται. Μία πρώτη κατεύθυνση ήταν η μείωση της ποσότητας του Κοβαλτίου, η οποία αύξησε αντίστοιχα την ποσότητα του Νικελίου.










- Από την NCA πήγαμε στην NCA+ (με περισσότερο Ni)
- Από την NMC111 πήγαμε στις NMC532 NMC622 και NMC811 (με περισσότερο Ni).
Με προοπτική να πάμε στην κατηγορία NMC955 (δηλαδή 90% Ni, 5% Co, 5% Mn) ή ακόμη και στην κατηγορία NMC 9525 (δηλαδή 95% Ni, 2,5% Co, 2,5% Mn).

Βλέπουμε ότι όσο μειώνεται η ποσότητα του Κοβαλτίου υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις στην απαίτηση για Νικέλιο. Αυτή η αλληλοσυμπλήρωση γίνεται προσπάθεια να διακοπεί αντικαθιστώντας και τα δύο (Co, Ni) με Μαγγάνιο το οποίο είναι σχετικά άφθονο. Μια κάθοδος πλούσια σε Μαγγάνιο είναι λιγότερο δαπανηρή και ασφαλέστερη από τις πλούσιες σε Νικέλιο χημικές ουσίες, αλλά μειώνει τη σταθερότητα της καθόδου, γεγονός που μπορεί να έχει επιπτώσεις στην απόδοση μακροπρόθεσμα⁸³.

Πίνακας 5.1: Ανάγκες σε ορυκτά (σε kg), ανάλογα με την χημεία και τη σύσταση της καθόδου.

Η σύγκριση έγινε με βάση μία μπαταρία ιόντων Λιθίου, δυναμικότητας 60kWh.

Πηγή: mining.com⁸⁴

	NMC811 Nickel (80%) Manganese (10%) Cobalt (10%)	NMC523 Nickel (50%) Manganese (20%) Cobalt (30%)	NMC622 Nickel (60%) Manganese (20%) Cobalt (20%)	NCA+ Nickel Cobalt Aluminum Oxide	LFP Lithium iron phosphate
 ΛΙΘΙΟ	5KG	7KG	6KG	6KG	6KG
 ΚΟΒΑΛΤΙΟ	5KG	11KG	11KG	2KG	0KG
 ΝΙΚΕΛΙΟ	39KG	28KG	32KG	43KG	0KG
 ΜΑΓΓΑΝΙΟ	5KG	16KG	10KG	0KG	0KG
 ΓΡΑΦΙΤΗΣ	45KG	53KG	50KG	44KG	66KG
 ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	30KG	35KG	33KG	30KG	44KG
 ΧΑΛΚΟΣ	20KG	20KG	19KG	17KG	26KG
 ΧΑΛΥΒΑΣ	20KG	20KG	19KG	17KG	26KG
 ΣΙΔΗΡΟΣ	0KG	0KG	0KG	0KG	41KG

⁸³ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σ.σ. 90-91.

⁸⁴ «The key minerals in an EV battery», άρθρο στον ιστότοπο: mining.com, 2 Μαΐου 2022, <https://www.mining.com/web/the-key-minerals-in-an-ev-battery/>

Στην άνοδο, τα υλικά επιλέγονται με βάση την ικανότητα συλλογής φορτίου. Κυρίαρχη επιλογή υλικού είναι ο Γραφίτης στις περισσότερες μπαταρίες ιόντων Λιθίου. Ορισμένοι κατασκευαστές χρησιμοποιούν επίσης οξείδιο Τιτανίου Λιθίου (LTO) αντί για Γραφίτη. Προσπάθειες για την αντικατάσταση ορισμένων ή περισσότερων ατόμων άνθρακα στην άνοδο Γραφίτη με άτομα Πυριτίου βρίσκονται σε εξέλιξη και αναμένεται να βελτιώσουν δραστικά την ενεργειακή πυκνότητα των κυψελών. Ωστόσο, οι άνοδοι που έχουν και Πυρίτιο διογκώνονται κατά τη φόρτιση, προκαλώντας ρωγμές στην επιφάνειά τους και πτώση της απόδοσης.

Μια άλλη εναλλακτική λύση για την άνοδο Γραφίτη είναι το καθαρό μέταλλο Λιθίου, το οποίο έχει πολύ μεγαλύτερη ικανότητα συλλογής φορτίου από τον Γραφίτη. Αλλά αυτή η άνοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μπαταρίες υγρών ηλεκτρολυτών λόγω ανεπιθύμητων χημικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ του ηλεκτρολύτη και της μεταλλικής ανόδου, γεγονός που μειώνει δραστικά τη διάρκεια ζωής του κελιού. Η χρήση μιας ανόδου μετάλλου Λιθίου μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με την εμφάνιση μπαταριών στερεάς κατάστασης (ASSB). Οι άνοδοι μετάλλου Λιθίου δεν έχουν το πρόβλημα της διαστολής των ανόδων που περιέχουν Πυρίτιο, αλλά είναι ακριβές και παρουσιάζουν άλλα τεχνικά προβλήματα.

Καθώς η τρέχουσα τεχνολογία και τα υλικά μας φέρνουν όλο και πιο κοντά στα θεωρητικά όρια της βελτίωσης της ενεργειακής πυκνότητας και οι τιμές των μπαταριών άρχισαν να σταθεροποιούνται από τα μέσα της δεκαετίας (2010-2020), ο κόσμος πρέπει να κοιτάξει πέρα από τις μπαταρίες ιόντων Λιθίου που βασίζονται σε υγρούς ηλεκτρολύτες. Να αναπτύξει νέες τεχνολογίες που θα προσφέρουν σημαντική βελτίωση στην ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών EV και μια απότομη πτώση στις τιμές τους. Σε αυτή την κατεύθυνση κινούνται οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης (ASSB) και η χρήση της ανόδου από μέταλλο Λιθίου.

Οι περισσότερες υπερσύγχρονες εμπορικές μπαταρίες (NCA, NMC ή LFP), απαιτούν έναν υγρό ηλεκτρολύτη για μεταφορά ιόντων και μια άνοδο με βάση τον Γραφίτη. Αυτά τα δύο, περιορίζουν θεμελιωδώς τη λειτουργικότητα και την ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών ιόντων Λιθίου σήμερα. Η ευφλεκτότητα του διαλύτη στον ηλεκτρολύτη εγείρει πολλές ανησυχίες για την ασφάλεια. Οι ανεπιθύμητες αντιδράσεις μεταξύ του διαλύτη και του αγωγίμου άλατος Λιθίου οδηγούν σε εξασθένιση, γήρανση και μείωση της χωρητικότητας. Επιπλέον, η διαδικασία πλήρωσης ηλεκτρολυτών καθιστά τη γραμμή παραγωγής πιο δυσκίνητη και δαπανηρή. Ένας συμπαγής στερεός ηλεκτρολύτης όχι μόνο παρακάμπτει αυτά τα ζητήματα, αλλά επίσης επιτρέπει τη χρήση μετάλλου Λιθίου ως ανόδου.

Οι ASSB εξοπλισμένες με ανόδους μετάλλου Λιθίου θα μπορούσαν να επιτύχουν ενεργειακή πυκνότητα έως και 70% μεγαλύτερη από τις σημερινές μπαταρίες ιόντων Λιθίου

που έχουν συμβατικές ανόδους Γραφίτη. Αυτό τις καθιστά ιδανικές για ηλεκτρικά οχήματα του μέλλοντος. Ως πρόσθετο πλεονέκτημα, οι ASSB δεν απαιτούν ακριβά συστήματα ψύξης λόγω της απουσίας εύφλεκτου ηλεκτρολύτη. Στην πραγματικότητα έχουν δείξει καλύτερη λειτουργικότητα σε υψηλότερες θερμοκρασίες, λόγω της αυξημένης αγωγιμότητας.

Ενώ οι ειδικοί προβλέπουν ότι οι τρέχουσες μπαταρίες ιόντων Λιθίου θα μπορούσαν να φτάσουν σε μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα 300 Wh / kg μετά το 2025, έχουν ήδη κατασκευαστεί μπαταρίες στερεάς κατάστασης μετάλλου Λιθίου με πυκνότητες 320 Wh / kg και το μέγιστο δυναμικό τους θα μπορούσε να φτάσει τα 480 Wh / kg. Αυτή η βελτίωση της ενεργειακής πυκνότητας θα σήμαινε ότι οι μπαταρίες του ίδιου μεγέθους θα μπορούσαν να περιέχουν πολύ περισσότερη ενέργεια στο μέλλον, με αποτέλεσμα την μείωση του βάρους και του κόστους των νέων μπαταριών. Η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζει αυτή η νέα τεχνολογία είναι η κλιμάκωση της παραγωγής για να καταστεί εμπορικά βιώσιμη⁸⁵.

Οι μπαταρίες ανόδου μετάλλου Λιθίου στερεάς κατάστασης σχεδιάζονται κυρίως με καθόδους NMC. Αυτή η σύνθεση είναι σε προχωρημένο στάδιο έρευνας και υπάρχουν αρκετά δεδομένα και πληροφορίες για την αποτελεσματικότητά της. (Και αυτή θα απασχολήσει την εργασία μας). Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι γίνονται έρευνες για καθόδους με άλλη χημική σύσταση. Για παράδειγμα, η χρήση Θείου σε καθόδους με βάση το Λίθιο (Li-S), θεωρείται ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογική εφαρμογή λόγω της πολύ υψηλής θεωρητικής ενεργειακής πυκνότητας. Τα τρέχοντα πρωτότυπα που αναπτύχθηκαν από νεοσύστατες επιχειρήσεις, φθάνουν ήδη σε ενεργειακή πυκνότητα σε επίπεδο κυψέλης άνω των 500 Wh/kg. Ωστόσο, περιορίζονται σε εξειδικευμένες εφαρμογές λόγω της χαμηλής διάρκειας ζωής τους. Μια άλλη μελέτη που δημοσιεύθηκε από την εταιρία Samsung ανέφερε μια άνοδο κατασκευασμένη από αιθάλη και νανοσωματίδια Αργύρου (Ag-C) επικαλυμμένα με ανοξειδωτο Χάλυβα. Αυτό επιτρέπει ακόμα καλύτερη ενεργειακή πυκνότητα από μια άνοδο μετάλλου Λιθίου.

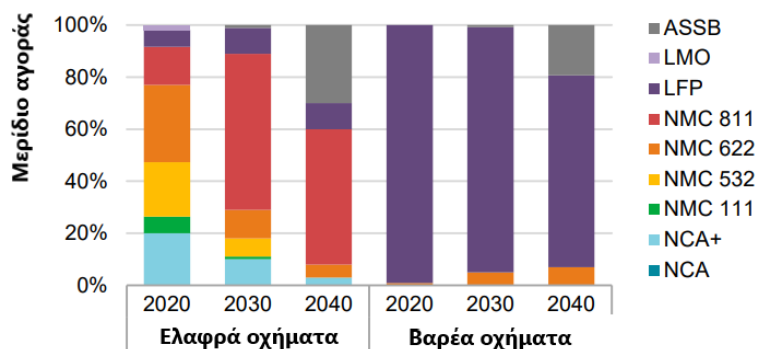
Από τη στιγμή που θα αρχίσει η άνοδος των πωλήσεων αυτών (ASSB) των συσσωρευτών, ο σχεδιασμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων εξοπλισμένων με ASSB θα διαρκέσει από τρία έως πέντε χρόνια. Αυτό εξηγεί γιατί αρκετοί κατασκευαστές έχουν ήδη αρχίσει να επενδύουν στην E & A για αυτή τη νέα τεχνολογία μπαταριών. Οι κατασκευαστές εκτιμούν μείωση κατά 10-15% του συνολικού κόστους μιας μπαταρίας σε σύγκριση με τους αντίστοιχους υγρούς ηλεκτρολύτες, με το μεγαλύτερο μέρος της εξοικονόμησης να προέρχεται από την αυξημένη πυκνότητα ενέργειας. Εάν οι ερευνητές και οι κατασκευαστές βρουν τη λύση για τη μαζική

⁸⁵ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σ.σ. 92-93.

παραγωγή αυτών των νέων μπαταριών μέσα στα επόμενα πέντε χρόνια, η ASSB θα ανταγωνίζεται ισότιμα μετά το 2030 τις παραδοσιακές μπαταρίες ιόντων Λιθίου⁸⁶.

5.3 Εκτίμηση αναγκών

Η εκτίμηση για το ποια τεχνολογία θα επικρατήσει και το μερίδιο αγοράς που κάθε μία θα έχει στο άμεσο μέλλον, είναι αρκετά δύσκολη και πολυπαραμετρική. Στην μελέτη του IEA για παράδειγμα (ως base case) βλέπουμε ότι για τα ελαφρά οχήματα και για το έτος 2040, να επικρατούν οι συσσωρευτές NMC 811 (με περισσότερο Ni στην κάθοδο) με ένα ποσοστό της τάξεως του 50% και οι ASSB (στερεάς κατάστασης) με ένα ποσοστό της τάξεως του 30%. Αντίστοιχα για τα βαριά οχήματα η εκτίμηση (για το 2040) είναι, ότι θα έχουμε επικράτηση του τύπου LFP (Φωσφορικού Λιθίου Σιδήρου) με ένα ποσοστό της τάξεως του 70% και ASSB (στερεάς κατάστασης) με ένα ποσοστό της τάξεως του 20%.



Διάγραμμα 5.2: Μερίδιο αγοράς για τύπους μπαταριών οχημάτων ανάλογα με τον τύπο της σύστασης της καθόδου. Ελαφρά οχήματα: Επιβατικά, βαν, ελαφρά επαγγελματικά, 2 και 3 τροχών. Βαρέα οχήματα: Φορτηγά και λεωφορεία.

Πηγή:iea.org⁸⁷

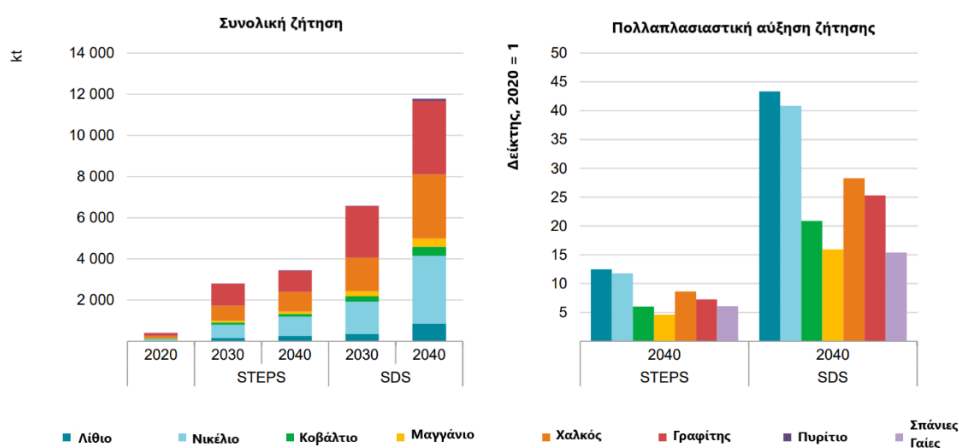
Για την άνοδο, ο φυσικός Γραφίτης αναμένεται να συνεχίσει να αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος του μεριδίου αγοράς. Ακόμη και όταν ο τεχνητός Γραφίτης αρχίζει να αντικαθιστά τον φυσικό, για λόγους βελτιωμένης καθαρότητας και επομένως ενεργειακής πυκνότητας. Επίσης ένας μικρός αριθμός κατασκευαστών επιλέγει οξείδιο Τιτανίου Λιθίου (LTO) αντί για Γραφίτη για βαρύτερα οχήματα λόγω των πλεονεκτημάτων γρήγορης φόρτισης. Η κυριαρχία του Γραφίτη μειώνεται πολύ ελαφρά με την πάροδο των ετών για να ανοίξει ο δρόμος για τον νανοσύνθετο Γραφίτη που είναι ντοπαρισμένος με Πυρίτιο και για το μέταλλο Λιθίου που θα είναι βασική επιλογή στον τύπο ASSB⁸⁸.

⁸⁶ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 94.

⁸⁷ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 96.

⁸⁸ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 96.

Αξιοποιώντας τις προβλέψεις στον τομέα της τεχνολογίας, η έρευνα του ΙΕΑ υπολογίζει ποσότητες υλικών που θα χρειαστούν, δίνοντας σε ορισμένα από τα υλικά έναν πολλαπλασιαστικό δείκτη αύξησης σε σχέση με μία παρούσα (2020) κατάσταση. Στο σενάριο SDS βλέπουμε η συνολική ζήτηση (για το νέα ηλεκτρικά οχήματα που θα πουληθούν) να αυξάνεται περίπου 30 φορές από το 2020 ως το 2040, με το Λίθιο και το Νικέλιο να έχουν το 2040, αύξηση ζήτησης 40 φορές περισσότερη σε σχέση με τα επίπεδα του 2020.



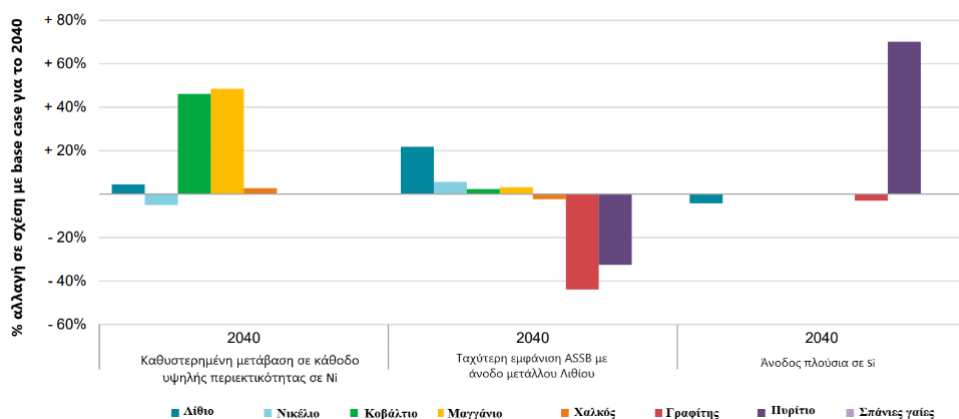
Διάγραμμα 5.3: Ζήτηση ορυκτών για τις καινούριες πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων. Αριστερά: σε καθαρές ποσότητες (kt). Δεξιά: με πολλαπλασιαστικό δείκτη σε σχέση με τη ζήτηση του 2020. Το Πυρίτιο δεν συμπεριλαμβάνεται στο διάγραμμα γιατί ξεκινώντας από μικρή βάση εκτιμήθηκε δυσανάλογα με δείκτη 500πλάσιο.

Πηγή:iea.org⁸⁹

Η αναλυτική παρακολούθηση των τεχνολογικών εξελίξεων δεν περιλαμβάνεται στους σκοπούς της εργασίας μας. Ωστόσο θα σημειώσουμε επιγραμματικά τρεις εναλλακτικές πιθανές καταστάσεις:

- α) Να καθυστερήσει η μετάβαση σε κάθοδο υψηλής περιεκτικότητας σε Ni. Αυτό θα κατέληγε για το 2040 σε μείωση μόνο 5% σε ζήτηση Ni και μία αύξηση 50% σε Co και Mn (σε σχέση με την base case).
- β) Ταχύτερη εμφάνιση και παρουσία στην αγορά μπαταριών στερεάς κατάστασης με χρήση ανόδου μετάλλου Λιθίου. Αυτό θα κατέληγε για το 2040 σε αύξηση 22% σε ζήτηση Li και μία μείωση 44% σε Γραφίτη και μείωση 33% σε Si (σε σχέση με την base case).
- γ) Να κινηθεί η αγορά πιο γρήγορα σε τεχνολογία με άνοδο πλούσια σε Si. Αυτό θα βελτιώνει σημαντικά την ενεργειακή πυκνότητα στις μπαταρίες (20-50%) και θα κατέληγε για το 2040 σε αύξηση ζήτησης Si 70% και μία ελαφρά μείωση ζήτησης Γραφίτη στο 6%.

⁸⁹ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 98.



Διάγραμμα 5.4: Ποσοστιαία αλλαγή στη ζήτηση ορυκτών για ηλεκτρικά οχήματα σε τρεις εναλλακτικές πιθανές καταστάσεις σε σχέση με την base case στο σενάριο SDS.

Πηγή:iea.org⁹⁰

5.4 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

Η πρόοδος στη βελτίωση των μπαταριών EV θα μπορούσε να ωφελήσει τις τεχνολογίες σταθερών συστημάτων αποθήκευσης, ενώ το αντίστροφο μπορεί να μην ισχύει απαραίτητα. Οι μπαταρίες για ηλεκτρικά οχήματα πρέπει να είναι ενεργειακά πυκνές, μικρές, ασφαλείς και ελαφριές και να έχουν υψηλή διάρκεια ζωής. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, αντίθετα, δεν έχουν τόσο αυστηρές απαιτήσεις για το μέγεθος και το βάρος, αλλά δίνουν προτεραιότητα στο κόστος, την ανθεκτικότητα και την ασφάλεια.

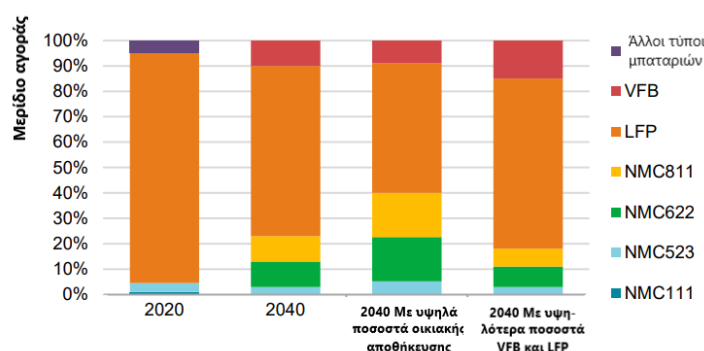
Παρόλο που οι μπαταρίες NCA και NMC μπορεί να θεωρηθούν υπερβολικά ακριβές για τα περισσότερα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας, είναι ιδανικές για επιτοίχιες οικιακές μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ηλιακούς συλλέκτες. Η τιμή τους θα μπορούσε επίσης να δικαιολογηθεί σε ορισμένες εφαρμογές αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας σε πόλεις με υψηλή πυκνότητα πληθυσμού, όπου ο χώρος είναι περιορισμένος και η ενεργειακή πυκνότητα καθίσταται ζωτικής σημασίας. Ένας δίκαιος συμβιβασμός μεταξύ των δύο εφαρμογών είναι η μπαταρία LFP, με χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από το NMC και το NCA (αρκετά μικρή προς το παρόν για λεωφορεία και φορτηγά), εγγενώς ασφαλέστερη χημική σύνθεση, μη εξάρτηση από Κοβάλτιο και Νικέλιο. Έχει χαμηλότερη τιμή και είναι πιο κατάλληλη για σταθερές εφαρμογές.

Εκτός από τις μπαταρίες ιόντων Λιθίου, οι μπαταρίες ροής θα μπορούσαν να αναδειχθούν ως μια επαναστατική τεχνολογία για σταθερή αποθήκευση, καθώς δεν παρουσιάζουν υποβάθμιση της απόδοσης για 25-30 χρόνια και μπορούν να διαστασιολογηθούν ανάλογα με τις ανάγκες αποθήκευσης ενέργειας. Μία από τις πιο σύγχρονες εμπορικές μπαταρίες

⁹⁰ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 102.

οξειδοαναγωγικής ροής Βαναδίου, με διάρκεια ζωής 12000 κύκλων σε πλήρη ισχύ, συνδέθηκε στην ανατολική Ισπανία για να λειτουργήσει με τα αιολικά πάρκα Vega τον Δεκέμβριο του 2019. Ωστόσο, οι μπαταρίες ροής χρησιμοποιούν μια εντελώς διαφορετική τεχνολογία, όπου η συγκεκριμένη ενέργειά τους εξαρτάται από τον όγκο του ηλεκτρολύτη και η ειδική ισχύς εξαρτάται από την επιφάνεια των ηλεκτροδίων και επομένως είναι πολύ μεγάλες για εφαρμογές EV⁹¹.

Μία εκτίμηση είναι ότι οι ασφαλείς και φθηνές μπαταρίες LFP αναμένεται να κυριαρχήσουν στη συνολική αγορά μπαταριών αποθήκευσης. Η υπόλοιπη ζήτηση θα καλυφθεί από τα ακριβότερα, αλλά ενεργειακά πυκνά, NMC 111 και NMC 532 που χρησιμοποιούνται κυρίως για οικιακή αποθήκευση ενέργειας. Οι παραλλαγές NMC μεταβαίνουν προς τα NMC 622 και NMC 811 με παρόμοιο τρόπο με την αγορά μπαταριών EV, αν και με καθυστέρηση λόγω του χρόνου που απαιτείται για τη μεταφορά τεχνολογίας και για να επιτευχθεί επαρκής μείωση των τιμών. Οι μπαταρίες ροής βαναδίου (VFB) εκτιμάται ότι θα γίνουν για πρώτη φορά εμπορικά κατάλληλες το 2030 με μικρό μερίδιο. Στη συνέχεια θα αυξάνεται το μερίδιό τους με αργό ρυθμό. Θα απευθύνονται πιο στοχευμένα στις εφαρμογές αποθήκευσης σε μεγάλα έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας⁹².



Διάγραμμα 5.5: Εκτίμηση μεριδίου αγοράς (σε ποσοστό %) διαφόρων τύπων μπαταριών αποθήκευσης ανάλογα με την χημεία της καθόδου. “Base case”.

Πηγή:iea.org⁹³

Έχοντας κάνει μία πρώτη εκτίμηση για τις εξελίξεις στην τεχνολογία, για να κάνουμε μία εκτίμηση ζήτησης ορυκτών, θα δεχτούμε και μία ερευνητική προσέγγιση ότι σύμφωνα με το σενάριο SDS, στις μπαταρίες αποθήκευσης θα υπάρξει μία 11πλάσια αύξηση στη ζήτηση σε χωρητικότητα ενέργειας. Δηλαδή από τις 37 GWh το 2020 στις 420 GWh το 2040.

Στο πιο κάτω διάγραμμα φαίνεται η συνολική ζήτηση για ορυκτά. Στο βασικό σενάριο αυξάνεται κατά 33 φορές μεταξύ 2020 και 2040, από 26 kt σε σχεδόν 850 kt. Παρατηρούμε

⁹¹ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σ.σ. 94-95.

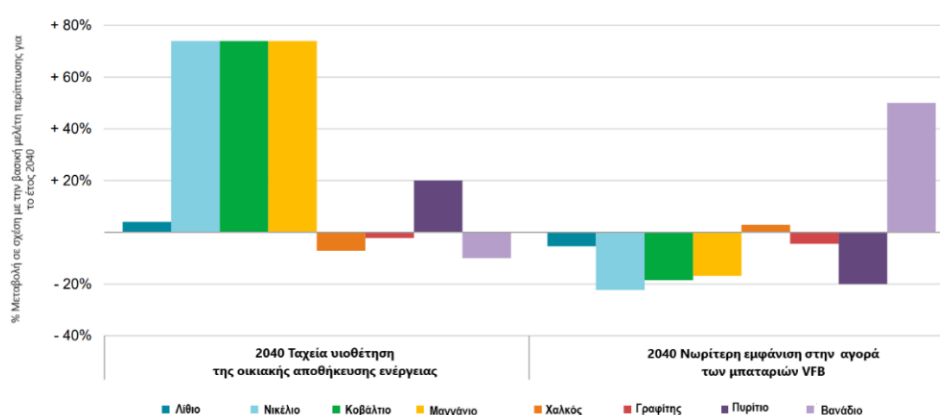
⁹² «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 103.

⁹³ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 103.

η NMC. Αποτέλεσμα να εμφανιστεί 75% υψηλότερη ζήτηση για Νικέλιο, Μαγγάνιο και Κοβάλτιο το 2040 σε σύγκριση την βασική μελέτη περίπτωσης (BMΠ). Παρόμοια η ταχύτερη επιλογή ανόδων πλούσιων σε Πυρίτιο οδηγεί επίσης σε 20% μεγαλύτερη ζήτηση Πυριτίου σε σύγκριση με την BMΠ.

β) Νωρίτερη εμφάνιση στην αγορά των μπαταριών ροής Βαναδίου

Στην περίπτωση αυτή, η τεχνολογία για VFB φθάνει στο επίπεδο ωριμότητας που απαιτείται για να αναπτυχθεί σε έργα μεγάλης κλίμακας νωρίτερα από ό,τι στη βασική μελέτη περίπτωσης. Αυξάνει το μερίδιο αγοράς της από το 2030 και μετά και καταλαμβάνει σχεδόν το ένα τρίτο της αγοράς αποθήκευσης ενέργειας έως το 2040, με μέγιστες εφαρμογές σε μεγάλα αιολικά και ηλιακά πάρκα. Η νωρίτερη εμφάνιση στην αγορά των VFB έχει ως αποτέλεσμα 2,5 φορές μεγαλύτερη ζήτηση για Βανάδιο σε σύγκριση με την BMΠ (base case) το 2030 και 50% μεγαλύτερη ζήτηση το 2040. Επειδή θα χάσει μερίδιο αγοράς ο τύπος NMC, η ζήτηση για Νικέλιο, Κοβάλτιο και Μαγγάνιο εκτιμάται ότι θα είναι περίπου 20% χαμηλότερη το 2040 σε σύγκριση με την BMΠ (base case) ⁹⁶.



Διάγραμμα 5.7: Ποσοστιαία αλλαγή στη ζήτηση ορυκτών για συστήματα αποθήκευσης σε δύο εναλλακτικές πιθανές καταστάσεις σε σχέση με την base case στο σενάριο SDS.

Πηγή:iea.org⁹⁷

5.5 Ερωτήματα

Τρεις παράμετροι θα καθορίσουν κατά κύριο λόγο το μελλοντικό κόστος των μπαταριών. Η οικονομία κλίμακας που θα προκύψει από την αύξηση της παραγωγής και πώλησης των μονάδων αυτών. Η αύξηση της ενεργειακής πυκνότητάς τους. Το κόστος των πρώτων υλών. Τα περισσότερα ερευνητικά μοντέλα εξετάζουν διεξοδικά τους δύο πρώτους παράγοντες. Όμως τι θα συμβεί αν οι τιμές των ορυκτών πόρων πάρουν μία ανοδική πορεία που ξεφεύγει

⁹⁶ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 105.

⁹⁷ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 106.

από τα όρια που έχουν τεθεί ως υπόθεση προσέγγισης; Για παράδειγμα έχει εκτιμηθεί ότι αν διπλασιαστεί η τιμή του Λιθίου ή του Νικελίου, αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση 6% της τιμής των μπαταριών.

Επίσης τι θα συνέβαινε στο κόστος των κινητήρων αυτοκίνησης αν αυξάνονταν υπέρμετρα οι τιμές σπάνιων γαιών όπως το Νεοδύμιο, Πρασεοδύμιο, Δυσπρόσιο και Τέρβιο; Θα έπρεπε είτε να βελτιώσουμε βίαια την απόδοση των υλικών. Είτε να μειώσουμε δραστικά την ποσότητα μαγνήτη τύπου NdFeB που χρειάζεται ένας σύγχρονος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη. Είτε τέλος, θα αναγκαστούμε να οδηγηθούμε σε κινητήρες που δεν χρησιμοποιούν σπάνιες γαίες.

Τέτοιου είδους ερωτήματα θα χρειάζονταν εξειδικευμένη ανάλυση ευαισθησίας, η οποία θα μας έδινε αδύναμους κρίκους αυτής της αλυσίδας, παράλληλα με προληπτικά μέτρα που θα έπρεπε να παρθούν για να μειωθούν οι κίνδυνοι. Η εμπειριστατωμένη εξέταση τέτοιων ερωτημάτων είναι εκτός των ορίων της εργασίας μας. Πολύ περισσότερο από τη στιγμή που υπεισέρχονται και άλλοι ισχυροί παράγοντες όπως γεωπολιτικοί. Ωστόσο, στο δεύτερο μέρος αυτής της μελέτης θα δούμε συγκεντρωτικά τις ανάγκες σε ορυκτά που προέρχονται από όλες τις μορφές παραγωγής, μεταφοράς και χρήσης ενέργειας που εξετάσαμε ως τώρα. Η συνολική εικόνα των αναγκών, πιθανόν να μας οδηγήσει σε μία εκτίμηση της επάρκειας ή της ασφάλειας του εφοδιασμού που είναι απαραίτητη προϋπόθεση επίτευξης των στόχων της ενεργειακής μετάβασης.

Κλείνοντας παραθέτουμε συγκεντρωτικό πίνακα με την χρήση των μετάλλων και υλικών που χρειάζονται για την κάθε τεχνολογία που εξετάσαμε. Παράλληλα, μπορούμε να δούμε το κάθε ορυκτό σε ποιες τεχνολογίες είναι απαραίτητο. Η τελευταία πληροφορία μας χρειάζεται στο δεύτερο μέρος της εργασίας μας όπου θα επιχειρήσουμε να κάνουμε μία συνολική εκτίμηση των αναγκών σε ορυκτούς πόρους, έχοντας υπόψη την μετάβαση που η εργασία μας προσεγγίζει.

Πίνακας 5.2: Ορυκτά που χρειάζονται για κάθε τεχνολογία παραγωγής ή χρήσης ενέργειας. Ο χάλυβας ο οποίος είναι απαραίτητος στις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας, δεν συμπεριλαμβάνεται στον πίνακα.

Πηγή: eurometaux.eu⁹⁸

⁹⁸ «Metals for Clean Energy», άρθρο στον ιστότοπο: eurometaux.eu, <https://eurometaux.eu/metals-clean-energy/>

		ΑΠΕ										
		Ηλιακή	Αιολική	Βιο- νέργεια	CSP	Γεωθερμία	Υ/Η	Πυρηνική	Ηλ. Δίκτυα	Μπαταρίες Αποθήκευσης	Ηλ. Οχήματα	Υδρογόνο
Βασικά μέταλα και Πυρίτιο	Al	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Cu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Zn	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Si	✓								✓	✓	
Πρώτες ύλες για μπαταρίες	Li								✓	✓		
	Ni	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
	Co		✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Σπάνιες γαιές	Dy		✓					✓			✓	
	Nd		✓					✓			✓	
	Pr		✓						✓		✓	
	Ag	✓	✓		✓			✓			✓	
	Au	✓									✓	
	B		✓									✓
	Cd	✓						✓		✓		
Cr		✓		✓	✓	✓	✓				✓	
Ga	✓	✓						✓			✓	
Ge	✓										✓	
In	✓						✓		✓	✓		
Ir											✓	
Mn		✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
Mo	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓			
Pb	✓		✓			✓	✓		✓	✓		
Pd									✓		✓	
Pt											✓	
Sc											✓	
Sn	✓				✓		✓		✓			
Tb		✓									✓	
Te	✓											
V						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Κεφάλαιο 6^ο: Οι συνολικές ανάγκες της ενεργειακής μετάβασης σε συγκεκριμένες πρώτες ύλες

6.1 Μεθοδολογική προσέγγιση

Σαν μία φυσιολογική ακολουθία της εργασίας μας, θα εξετάσουμε την συνολική ζήτηση σε στοχευμένα ορυκτά που χρειάζονται αθροιστικά οι μορφές παραγωγής, μεταφοράς και

αποθήκευσης «καθαρής ενέργειας» που εξετάσαμε στο πρώτο μέρος. Ως επιλογή θα δώσουμε την προτεραιότητα σε αυτά τα υλικά και πρώτες ύλες που οι ανάγκες τροφοδοσίας είναι αρκετά μεγαλύτερες σε σχέση με τα επίπεδα αναγκών των παραδοσιακών μορφών ενέργειας που θέλουμε να αντικατασταθούν.

Στη συνέχεια, σε επόμενο κεφάλαιο, θα υιοθετήσουμε την έμφαση που δίνει η ΕΕ και άλλες χώρες του δυτικού κόσμου στις κρίσιμες πρώτες ύλες (ΚΟΠΥ) αλλά και στις στρατηγικής φύσεως απαραίτητες να εξασφαλιστούν (ΣΟΠΥ) για την εύρυθμη λειτουργία κάθε χώρας (που έχει αποφασίσει να προχωρήσει το δρόμο της ενεργειακής μετάβασης). Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η εξέταση δεν θα επεκταθεί σε οικονομικές προβλέψεις για τις μελλοντικές τιμές ορυκτών. Δεν θα κάνουμε επίσης ανάλυση εις βάθος σε γεωστρατηγικά-γεωπολιτικά θέματα που αφορούν διαγκωνισμούς μεταξύ Κίνας, Ευρώπης, ΗΠΑ, οι οποίοι έχουν ήδη ξεκινήσει από τα πρώτα βήματα της μεταβατικής ενεργειακής πορείας. Θα περιοριστούμε να ερευνήσουμε τις δυνατότητες της εξορυκτικής βιομηχανίας στην εξασφάλιση του εφοδιασμού των αναγκαίων υλικών.

Βασικός στόχος στην εξέταση αυτή είναι να εντοπίσουμε πιθανούς κινδύνους μη επάρκειας ή διακοπής εφοδιασμού για κάποιες αναγκαίες πρώτες ύλες. Εάν βρεθούν τέτοιες περιπτώσεις απειλών, τότε η κατεύθυνση της έρευνάς μας θα έχει ένα πρακτικό όφελος: Να δώσει το μήνυμα ότι χρειάζεται να προστεθούν από πριν προληπτικές λειτουργίες, οι οποίες θα μειώσουν-μετριάσουν ή θα εξαλείψουν αυτές τις απειλές.

6.2 Ο Χαλκός

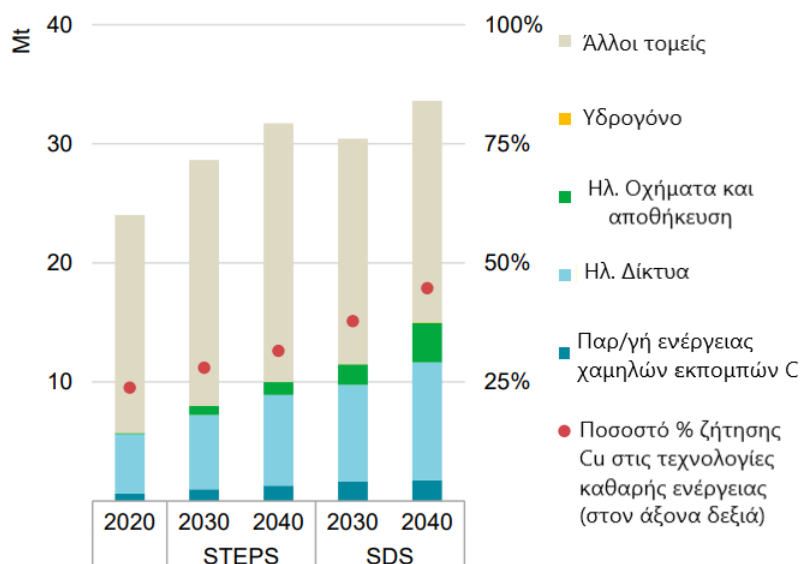
6.2.1 Εκτίμηση αναγκών

Ο Χαλκός είναι ένα υλικό το οποίο εμφανίζει καλύτερη λειτουργία στις ηλεκτρικές εφαρμογές. Πλεονεκτώντας στην θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα έναντι άλλων, χρησιμοποιείται επίσης και σε πολλές ηλεκτρονικές και βιομηχανικές εφαρμογές.

Η πίεση στις αναγκαίες ποσότητες που χρειάζονται, δεν έρχεται από τον ενεργειακό τομέα μόνο, αλλά συνδυαστικά και αθροιστικά με τις υπόλοιπες ζητήσεις. Ενδεικτικά σε σημερινά επίπεδα (2020), το μερίδιο του χαλκού (σε βάρος και σε οικονομική αξία) που πηγαίνει σε «καθαρές ενέργειες» είναι περίπου 24% και αναμένεται να φτάσει το 30% και το 45% το 2040 σύμφωνα με τα σενάρια STEPS και SDS αντίστοιχα.

Δύο είναι οι βασικοί τύποι ορυκτών από τα οποία εξάγεται ο Χαλκός. Το σουλφίδιο (80% της παραγωγής) και το οξειδίο (20% της παραγωγής) του Χαλκού. Βασικοί εξορυκτικοί παίκτες βρίσκονται στη Ν. Αμερική, όπου στην Χιλή και στο Περού έχουμε το 40% της παγκόσμιας εξόρυξης. Υπολογίσιμες ποσότητες παράγονται και στην Κίνα, Κονγκό, ΗΠΑ και

Αυστραλία. Μία σημαντική ποσότητα Cu έρχεται στην αγορά δευτερογενώς, έπειτα από ανακύκλωση. Πρωταγωνίστρια στον τομέα αυτό είναι η Κίνα (παράγει περίπου το 40% της παγκόσμιας ποσότητας Χαλκού από ανακύκλωση)⁹⁹.



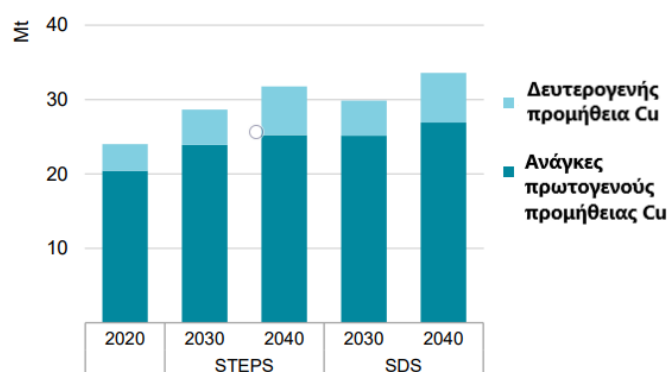
Διάγραμμα 6.1: Συνολική ζήτηση Χαλκού ανά τομέα και ανά σενάριο. Δεν περιλαμβάνεται η ποσότητα επαναρησιμοποιημένου Cu σε ημικατεργασμένη μορφή.

Πηγή:iea.org¹⁰⁰

Η παρούσα κατάσταση έχει ως εξής: Για να καλύψουν τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες σε Χαλκό, λειτουργούσαν το 2020 πάνω από 250 ορυχεία σε περίπου 40 χώρες για να δώσουν 21 Mt υλικό. Η ποσότητα αυτή είναι 30% περισσότερη από τη ζήτηση του 2010. Η πραγματικότητα στο πεδίο δείχνει ότι αυτή η αυξητική τάση δεν μπορεί πλέον να υποστηριχθεί από την πλευρά της παραγωγής. Στην δεκαετία που διανύουμε τα περισσότερα ορυχεία θα φτάσουν το μέγιστο της δυναμικότητάς τους και θα ακολουθήσει μείωση παραγωγής. Και αυτό γιατί στις περισσότερες μονάδες μειώνεται η ποιότητα του ορυκτού και διαφαίνεται εξάντληση αποθεμάτων.

⁹⁹ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 135.

¹⁰⁰ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 134.



Διάγραμμα 6.2: Πρωτογενείς και δευτερογενείς προμήθειες Cu σε παγκόσμια κλίμακα. Η προβολή αφορά σε δύο σενάρια STEPS και SDS.

Πηγή:iea.org¹⁰¹

Παράλληλα, λόγω της αισιοδοξίας για τον ρόλο του Χαλκού στην ενεργειακή μετάβαση, οι επενδύσεις αυξάνονται. Μερικά μεγάλα έργα, όπως το Quellaveco στο Περού και το Kamoa-Kakula στη ΛΔ του Κονγκό, βρίσκονται υπό κατασκευή. Αρκετά έργα επέκτασης, όπως το Oyu Tolgoi στη Μογγολία, βρίσκονται επίσης σε εξέλιξη. Τα έργα αυτά θα μπορούσαν να αποφέρουν σημαντική βραχυπρόθεσμη προσφορά, εάν ολοκληρωθούν σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα. Μετά το 2025, αυτό που αναμένεται να αλλάξει είναι η άνοδος σε παραγωγή στο Κονγκό και την Ινδονησία. Παράλληλα η Κίνα θα αυξήσει την παρουσία της στην επεξεργασία Χαλκού (θα ξεπεράσει το 50% των νέων προσθηκών παγκοσμίως). Θα έχει με αυτό τον τρόπο την δυνατότητα να επηρεάζει το παγκόσμιο εμπόριο και την τιμολογιακή πολιτική των ενδιάμεσων προϊόντων από την επεξεργασία Χαλκού. Κοινή είναι πάντως η διαπίστωση ότι η κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης μακροπρόθεσμα θα απαιτούσε συνεχή ανάπτυξη νέων έργων και παραγωγικών μονάδων¹⁰².

6.2.2 Εξορυκτικές δυσκολίες

Η επέκταση δραστηριότητας σε μονάδες που ήδη λειτουργούν, αλλά και η ανάπτυξη νέων, βρίσκει εμπόδιο άλλοτε στην υποβάθμιση της ποιότητας του μεταλλεύματος και άλλοτε στην μείωση των αποθεμάτων. Η εξαγωγή μετάλλων από χαμηλής ποιότητας μεταλλεύματα, έχει μεγαλύτερο κόστος και χρειάζεται περισσότερη ενέργεια. Το ίδιο παρατηρούμε όταν πηγαίνουμε σε βάθος σε υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Καθώς αυτό έχει αρχίσει να συμβαίνει, οι ελπίδες πέφτουν στην τεχνολογική καινοτομία για να μειώσει το κόστος τόσο στον εντοπισμό αξιόλογων, όσο και στη φάση της εκμετάλλευσης «φτωχών» κοιτασμάτων.

¹⁰¹ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 136.

¹⁰² «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 136.

Υπάρχουν επίσης περιβαλλοντικές προκλήσεις. Μεγάλες περιοχές παραγωγής Χαλκού στη Νότια Αμερική αντιμετωπίζουν προβλήματα με τους υδάτινους πόρους. Σε αυτή την περιοχή και στην Αυστραλία γενικά οι υδάτινοι πόροι είναι ένας παράγοντας πίεσης. Φαίνεται επίσης ότι οι δύο αυτές περιοχές απειλούνται από τις κλιματικές αλλαγές που είναι σε εξέλιξη.

Επιπλέον, επικίνδυνα στοιχεία όπως το Αρσενικό ανησυχούν ιδιαίτερα στη βιομηχανία Χαλκού. Η επιδείνωση των ποιοτήτων μεταλλεύματος προκαλεί πρόβλημα υψηλότερης ακαθαρσίας, συμπεριλαμβανομένης της περιεκτικότητας σε Αρσενικό, η οποία μπορεί να προκαλέσει σοβαρή ρύπανση των υδάτων και του αέρα. Η μέση περιεκτικότητα σε As στο συμπύκνωμα της Χιλής έχει διπλασιαστεί από τις αρχές της δεκαετίας του 2000, οδηγώντας σε υψηλότερο κόστος για τη διαχείριση των λυμάτων και των απορριμμάτων κατεργασίας των ορυχείων. Τα χυτήρια αντιμετωπίζουν επίσης προκλήσεις για να πληρούν τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που σχετίζονται με το As. Για παράδειγμα, τα νέα χυτήρια στη Χιλή υποχρεούνται να δεσμεύουν το 99,97% των εκπομπών Αρσενικού. Ορισμένα από αυτά σκοπεύουν να επανασχεδιάσουν τις διαδικασίες τους, ενώ άλλα χυτήρια επενδύουν στην έρευνα και ανάπτυξη για τεχνολογίες διαχωρισμού Αρσενικού-Χαλκού¹⁰³.

6.3 Λίθιο

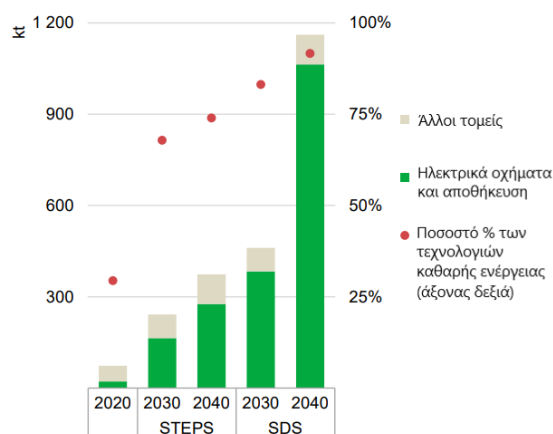
6.3.1 Εκτίμηση αναγκών

Όπως είδαμε, αυτό το ορυκτό είναι βασικό υλικό των μπαταριών ιόντων Λιθίου. Αναμένεται να εκτιναχθεί η ζήτησή του, ακολουθώντας την αλματώδη αύξηση στην χρήση ηλεκτρικών οχημάτων. Οι κυριότερες πηγές παραγωγής των απαραίτητων ποσοτήτων, είναι τα αλγινικά άλατα Λιθίου (άλμες Λιθίου), ο Σποδομενίτης και γενικά τα πεγκματίδια (πηγματίτες) Τανταλίου Λιθίου Καισίου. Η πρώτη κατηγορία κυριαρχεί σε ποσότητα (ενδεικτικά 80%), όμως η δεύτερη κατηγορία έχει σταθερότητα παραγωγής και σε μερικές εφαρμογές κρίνεται αναγκαία.

Το συγκεκριμένο ορυκτό έχει την ταχύτερη αύξηση ζήτησης μεταξύ αυτών που εξετάζουμε. Εδώ έχουμε σαφή εικόνα για τις επιλογές που αφορούν στην χημεία και στην τεχνολογία εφαρμογής. Στην παρούσα φάση, το ανθρακικό Λίθιο είναι το κύριο χημικό προϊόν που χρησιμοποιείται στα ηλεκτρικά οχήματα. Προοδευτικά, το υδροξείδιο του Λιθίου αναμένεται να επικρατήσει, καθώς είναι πιο κατάλληλο για καθόδους μπαταριών με υψηλή περιεκτικότητα σε Νικέλιο. Αυτή η αντικατάσταση είναι συμβατή και με το ενδεχόμενο να υιοθετηθούν ευρέως οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης.

¹⁰³ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 137.

Ποσοστιαία, οι τεχνολογίες καθαρής ενέργειας αντιπροσωπεύουν περίπου το 30% της συνολικής ζήτησης Λιθίου σήμερα (2020), (από ένα μικροσκοπικό μερίδιο το 2010) και η ταχεία υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης, αναμένεται να αυξήσει το μερίδιο σε περίπου 75% στο σενάριο STEPS και πάνω από 90% στο SDS έως το 2040. Στο πιο κάτω διάγραμμα εκτός από αυτά τα ποσοστά, φαίνονται και οι προβλέψεις της συνολικής ζήτησης Λιθίου. Για ηλεκτροκίνηση, αποθήκευση ενέργειας και γενικά για καθαρές τεχνολογίες τα δύο σενάρια δείχνουν περίπου 280 και 1050 kt συνολική ζήτηση αντίστοιχα για το 2040¹⁰⁴.



Διάγραμμα 6.3: Συνολική ζήτηση Λιθίου ανά τομέα και ανά σενάριο. Στον άξονα δεξιά το ποσοστό συμμετοχής των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας στην συνολική ζήτηση.

Πηγή:iea.org¹⁰⁵

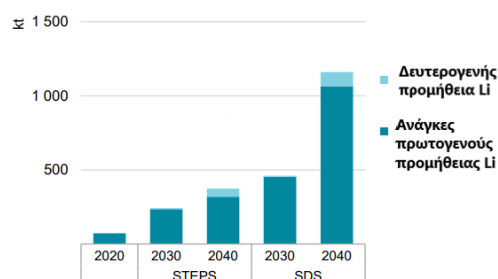
6.3.2 Το ερώτημα της επάρκειας

Στα μέσα της δεκαετίας του 2010 είχαμε εκτίναξη της ζήτησης Λιθίου και τριπλασιασμό των τιμών. Η άμεση αντίδραση της εξορυκτικής βιομηχανίας στην Αυστραλία και αλλού με επενδύσεις, εξισορρόπησε το ισοζύγιο. Έτσι στα τέλη της δεκαετίας του 2010 είχαμε κάλυψη της ζήτησης και μείωση τιμών. Η δυναμική αυτή της αύξησης της παραγωγής αναμένεται να συνεχιστεί από τους μεγάλους παραγωγούς, μέχρι το 2025. Για παράδειγμα τα ορυχεία Greenbushes στην Αυστραλία και Salar de Atacama στη Χιλή, σχεδιάζουν να αυξήσουν 2,5 φορές την προσφορά του υλικού, δηλαδή θα διαθέτουν μία επιπλέον ποσότητα 320 kt ισοδύναμου ανθρακικού Λιθίου ετησίως. Άλλα έξι μεγάλα έργα αύξησης παραγωγικής ικανότητας έχουν προγραμματιστεί να ξεκινήσουν μέχρι το 2025, όπως τα Cauchari-Olaroz στην Αργεντινή και Maricunga στη Χιλή. Αν λάβουμε υπόψη συνδυαστικά το σύνολο των έργων που βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης και θα ολοκληρωθούν μέχρι το 2030, μαζί με τις υπάρχουσες παραγωγικές μονάδες, η εικόνα της προσφοράς στα τέλη της δεκαετίας που

¹⁰⁴ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 139.

¹⁰⁵ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 138.

διανύουμε εκτιμάται ότι θα ανέρχεται συνολικά σε περίπου 2 500 kt ισοδυνάμου ανθρακικού Λιθίου ετησίως.



Διάγραμμα 6.4: Πρωτογενείς και δευτερογενείς προμήθειες Li σε παγκόσμια κλίμακα. Η προβολή αφορά σε δύο σενάρια STEPS και SDS.

Πηγή:iea.org¹⁰⁶

Βέβαια το ερώτημα για την δυνατότητα κάλυψης της μελλοντικής ζήτησης παραμένει. Γιατί δεν μπορούμε να υπολογίσουμε που θα φτάσουν οι ανάγκες που την διαμορφώνουν. Οι αναμενόμενοι όγκοι παραγωγής από υφιστάμενα ορυχεία και έργα υπό κατασκευή, φαίνεται ότι μπορούν να καλύψουν την προβλεπόμενη ζήτηση στα STEPS έως τα τέλη της δεκαετίας του 2020, αλλά δεν επαρκούν για να στηρίξουν την αύξηση της ζήτησης που προβλέπεται στο SDS. Η ικανοποίηση της ζήτησης SDS θα απαιτούσε την ανάπτυξη και νέων έργων.

Οι νέες τεχνολογίες ανάπτυξης πόρων, μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο κατά την επόμενη δεκαετία. Παράλληλα συνεχίζονται οι προσπάθειες για την ανάκτηση Λιθίου από μη συμβατικούς πόρους. Για παράδειγμα, η επεξεργασία αργιλικών ορυκτών είναι απλούστερη και λιγότερο ενεργοβόρα από τον Σποδομενίτη, καθώς δεν απαιτούνται διεργασίες πύρωσης, αλλά οι χαμηλότερες ποιότητες μεταλλεύματος και οι περίπλοκες συνθέσεις τους δυσκολεύουν την εμπορευματοποίηση. Τουλάχιστον τρία έργα ορυκτών αργίλου βρίσκονται υπό ανάπτυξη στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η Rio Tinto έχει επενδύσει 11 εκατομμύρια USD, σε ένα πιλοτικό έργο για την παραγωγή Λιθίου από απόβλητα πετρωμάτων στο ορυχείο Boron στην Καλιφόρνια.

Οι τεχνολογίες άμεσης εξόρυξης Λιθίου είναι επίσης στον ορίζοντα. Αντί να εξατμίζει όλο το νερό και να αφαιρεί χημικά όλες τις ακαθαρσίες, αυτή η διαδικασία εξάγει το Λίθιο απευθείας από μια μη συμπυκνωμένη άλμη για να παράγει ένα έκλουσμα Λιθίου. Στη συνέχεια το ενδιάμεσο αυτό προϊόν, μπορεί να υποβληθεί σε επεξεργασία και να δώσει χημικές ουσίες Λιθίου χωρίς δεξαμενές εξάτμισης. Αυτό έχει τη δυνατότητα να μειώσει το κόστος και τους χρόνους παράδοσης, καθώς η συσσώρευση άλμης διαρκεί περισσότερο από ένα έτος και

¹⁰⁶ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 140.

αντιπροσωπεύει σημαντικό μέρος των κεφαλαιουχικών δαπανών ενός έργου άλμης. Άλλοι ερευνητές επιδιώκουν την ανάκτηση Λιθίου από πετρέλαιο και φυσικό αέριο, παραγόμενο νερό και γεωθερμική άλμη. Μαζί, αυτές οι νέες τεχνολογίες θα μπορούσαν να διευρύνουν τη δεξαμενή της μελλοντικής προσφοράς Λιθίου¹⁰⁷.

6.3.3 Η προμήθεια χημικών ουσιών Λιθίου

Ενώ η πρώτη ύλη Λιθίου αναμένεται να παραμείνει καλά εφοδιασμένη βραχυπρόθεσμα, σημαντικές πιέσεις είναι πιθανό να προέλθουν από την αλυσίδα αξίας midstream που μετατρέπει τις πρώτες ύλες σε χημικές ουσίες Λιθίου. Μόνο λίγες εταιρείες μπορούν να παράγουν χημικά προϊόντα Λιθίου υψηλής ποιότητας και υψηλής καθαρότητας (πέντε μεγάλες εταιρείες είναι υπεύθυνες για τα τρία τέταρτα της παγκόσμιας παραγωγικής ικανότητας). Ενώ αρκετά προγραμματισμένα έργα επέκτασης βρίσκονται σε εξέλιξη, υπάρχει ένα ερωτηματικό σχετικά με το πόσο γρήγορα μπορεί να συνδεθεί η δυναμικότητά τους για να συμβαδίσει με την αύξηση της ζήτησης, δεδομένου ότι υπάρχουν λίγες εταιρείες που μπορούν να χρηματοδοτήσουν έργα επέκτασης, ειδικά μετά από αρκετά χρόνια συμπιεσμένων τιμών. Πολλές μικρότερες εταιρείες έχουν καθυστερήσει τα προγραμματισμένα έργα επέκτασης (λόγω οικονομικών πιέσεων). Το πρόσφατο ράλι των τιμών του ανθρακικού Λιθίου αντανακλά εν μέρει τις πιθανές ανησυχίες. Κοιτάζοντας μπροστά, βλέπουμε ότι οι ανάγκες θα είναι ιδιαίτερα υψηλές για το υδροξείδιο του Λιθίου (καθώς ενονοείται για χημικές ουσίες καθόδου υψηλής περιεκτικότητας σε Νικέλιο)

Σχεδόν το 60% των παγκόσμιων χημικών ουσιών Λιθίου παράγονται στην Κίνα. Κινεζικές εταιρείες έχουν επίσης επενδύσει σε εταιρείες στη Νότια Αμερική. Για παράδειγμα, η Tianqi Lithium, ένας μεγάλος παραγωγός χημικών Λιθίου στην Κίνα, απέκτησε μειοψηφικό μερίδιο (23,8%) της εταιρίας από την Χιλή, SQM. Η εικόνα είναι ακόμη πιο ασύμμετρη για το υδροξείδιο του Λιθίου - το 2019 πάνω από το 80% του υδροξειδίου του Λιθίου παρήχθη στην Κίνα. Ορισμένα έργα για την παραγωγή υδροξειδίου του Λιθίου σχεδιάζονται στην Αυστραλία, τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Ευρωπαϊκή Ένωση και αλλού, τα οποία θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη διαφοροποίηση των πηγών εφοδιασμού, εάν εφαρμοστούν επιτυχώς.

Όπως και στην περίπτωση του Χαλκού, η διαθεσιμότητα του νερού αποτελεί περαιτέρω πρόκληση για τους παραγωγούς πρώτων υλών Λιθίου σε περιοχές που πλήττονται από ξηρασία, (π.χ. νότια Αμερική και η Αυστραλία). Στην περίπτωση των πόρων άλμης, οι δραστηριότητες παραγωγής ενδέχεται να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στο υδατικό ισοζύγιο

¹⁰⁷ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σ.σ. 140-141.

της περιοχής. Πρόσφατες μελέτες εντόπισαν αρνητική συσχέτιση μεταξύ της συνεχούς επέκτασης των δραστηριοτήτων εξόρυξης Λιθίου και του δείκτη υγρασίας του εδάφους, ενός υποκατάστατου για τις συνθήκες ξηρασίας. Οι νέες τεχνολογίες άμεσης εξόρυξης Λιθίου θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην ανακούφιση της πίεσης γύρω από την προμήθεια νερού¹⁰⁸.

6.4 Νικέλιο

6.4.1 Εκτίμηση αναγκών

Είναι γνωστό ότι η βασική εφαρμογή του Νικελίου είναι στην μεταλλουργία ως συστατικό κραμάτων του Χάλυβα και άλλων. Οι ανάγκες βέβαια αυξήθηκαν αφού αποτελεί βασικό συστατικό στις μπαταρίες ιόντων Λιθίου. Στην εφαρμογή αυτή προς το παρόν κατευθύνεται ένα ποσοστό 7% της ζήτησης. Αν προσθέσουμε και τα κράματα που κατευθύνονται για κατασκευές που αφορούν σε μονάδες ΑΠΕ και τεχνολογίες Υδρογόνου, ξεπερνάμε το 10% των συνολικών αναγκών σε επίπεδα του 2020 για τις καθαρές τεχνολογίες. Στο σενάριο STEPS αυτό το ποσοστό θα ξεπεράσει το 30% και στο SDS θα κινηθεί στο 60% το 2040. Δηλαδή στο SDS εκτιμάται ότι περισσότερο Νικέλιο θα κατευθύνεται στις ανάγκες της ενεργειακής μετάβασης και λιγότερο στην μεταλλουργία.

Μέσα σε μία πενταετία (2015-2020) παρατηρήθηκε μία αύξηση παραγωγής 20%, με πρωταγωνιστές της αύξησης να είναι δύο χώρες, η Ινδονησία και οι Φιλιππίνες. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2025 αυτές οι χώρες θα αναλάβουν το 70% της αύξησης που θα προκύψει. Στην παρούσα φάση στην περιοχή αυτή του Ειρηνικού εξορύσσεται το 45% της παγκόσμιας ποσότητας του υλικού. Με την Ινδονησία να φαίνεται ως η χώρα κλειδί για τις μελλοντικές εξελίξεις.

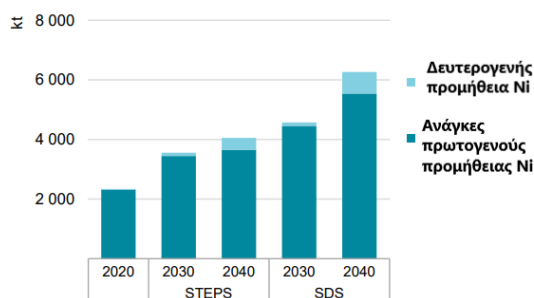
Διακρίνουμε δύο τύπους προϊόντων:

- 1^{ης} τάξης με περιεκτικότητα άνω του 99,8% σε Νικέλιο
- 2^{ης} τάξης με περιεκτικότητα κάτω του 99,8% σε Νικέλιο

Η κάθοδος των μπαταριών χρειάζεται σουλφίδιο του Νικελίου που παράγεται από 1^{ης} τάξης προϊόντα. Εξετάζοντας το θέμα της επάρκειας, θα λέγαμε ότι για προϊόντα 2^{ης} τάξης είναι εξασφαλισμένη. Στα προϊόντα 1^{ης} τάξης παρόλο που υπάρχει προς το παρόν επάρκεια, η αύξηση στην ζήτηση μπαταριών θα δημιουργήσει έλλειμα. Κι αυτό γιατί η αύξηση της παραγωγής που αναφέραμε νωρίτερα, αφορά κατά κύριο λόγο σε κοιτάσματα λατερίτη και όχι σουλφιδίου από το οποίο παράγεται Νικέλιο 1^{ης} τάξεως¹⁰⁹.

¹⁰⁸ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 142.

¹⁰⁹ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 146.

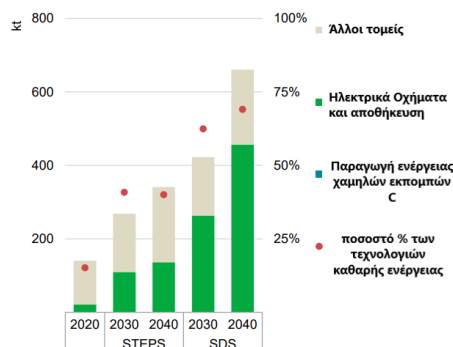


Διάγραμμα 6.5: Πρωτογενείς και δευτερογενείς προμήθειες Ni σε παγκόσμια κλίμακα. Η προβολή αφορά σε δύο σενάρια STEPS και SDS.

Πηγή:iea.org¹¹⁰

6.5 Κοβάλτιο

6.5.1 Εκτίμηση αναγκών



Διάγραμμα 6.6: Συνολική ζήτηση Κοβαλτίου ανά τομέα και ανά σενάριο. Στον άξονα δεξιά το ποσοστό συμμετοχής των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας στην συνολική ζήτηση.

Πηγή:iea.org¹¹¹

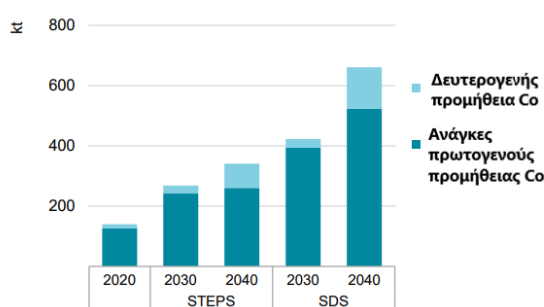
Οι μπαταρίες ιόντων Λιθίου είναι ο κύριος χρήστης Κοβαλτίου σήμερα. Όμως, ανάγκες υπάρχουν και για τα υπερκράματα, τα εργαλεία καρβιδίου και τους μαγνήτες. Το Κοβάλτιο παράγεται είτε ως παραπροϊόν ορυχείων Χαλκού, είτε ως παραπροϊόν ορυχείων Νικελίου ή ως πρωτογενές προϊόν. Η Κίνα επεξεργάζεται περίπου το 70% του εξορυσσόμενου Κοβαλτίου παγκοσμίως, ακολουθούμενη από τη Φινλανδία, το Βέλγιο και τον Καναδά. Η ΛΔ του Κογκό εξαγει ενδιάμεσα χημικά προϊόντα (υδροξείδιο του Κοβαλτίου) στην Κίνα, τα οποία στη συνέχεια μετατρέπονται σε θεϊκό Κοβάλτιο για χρήση σε μπαταρίες. Η εξέλιξη της ζήτησης Κοβαλτίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επιλογή των χημικών ουσιών που θα αποτελούνται οι κάθοδοι των μπαταριών που θα παραχθούν. Η τάση πηγαίνει προς εκείνες τις

¹¹⁰ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 145.

¹¹¹ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 148.

καθόδους, με υψηλή περιεκτικότητα σε Νικέλιο. Η ισχυρή αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων θα επταπλασιάσει την ζήτηση Κοβαλτίου για τεχνολογίες καθαρής ενέργειας στα STEPS και θα οδηγήσει σε πάνω από είκοσι φορές αύξηση στο SDS έως το 2040. Αυτό αυξάνει το μερίδιο των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας στη συνολική ζήτηση από 15% σήμερα σε 40% έως το 2040 στα STEPS και πάνω από τα δύο τρίτα στην SDS.

Συνολικά, η αναμενόμενη παραγωγή από υφιστάμενα ορυχεία και έργα υπό κατασκευή θα ήταν επαρκής για να εξυπηρετήσει τη ζήτηση STEPS μεσοπρόθεσμα, αλλά η κάλυψη της ζήτησης που προβλέπει το SDS απαιτεί περαιτέρω επιτάχυνση της ανάπτυξης νέων μονάδων παραγωγής. Να σημειώσουμε τέλος ότι το παγκόσμιο επίκεντρο παραγωγής και επεξεργασίας Κοβαλτίου βρίσκεται σε δύο χώρες: Στην Κίνα και την ΛΔ του Κογκό¹¹².



Διάγραμμα 6.7: Πρωτογενείς και δευτερογενείς προμήθειες Co σε παγκόσμια κλίμακα. Η προβολή αφορά σε δύο σενάρια STEPS και SDS.

Πηγή: iea.org¹¹³

6.5.2 Οι αβεβαιότητες στην προσφορά Co

Στην ΛΔ του Κογκό λειτουργεί ένας μεγάλος αριθμός μονάδων μικρής κλίμακας εξόρυξης (βιοτεχνικής θα λέγαμε μορφής). Αυτές οι μονάδες (ASM) έχουν τοπικό χαρακτήρα, είναι πιο ευάλωτες σε διακυμάνσεις της αγοράς λόγω οικονομικών-κοινωνικών γεγονότων (π.χ. πανδημία Covid-19). Οι εγκαταστάσεις ASM μη έχοντας επίσημη έγκριση και παρακολούθηση, λειτουργούν ανεξέλεγκτα. Εκτός του ότι δεν τηρούνται οι απαραίτητοι κανόνες υγιεινής και ασφάλειας και τα περιβαλλοντικά πρωτόκολλα, αρκετά εκτεταμένο είναι και το φαινόμενο της παιδικής απασχόλησης.

Δεν είναι ακόμη ξεκάθαρο αν μελλοντικά οι εταιρίες που χρειάζονται Co θα εγκαταλείψουν την προμήθεια του υλικού από τις μονάδες ASM. Αν οι ανάγκες σε υλικό αυξηθούν, μπορεί να υπάρξει παρέμβαση στις μονάδες αυτές με σκοπό την εύρυθμη λειτουργία τους. Αυτό

¹¹² «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 150.

¹¹³ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 150.

προϋποθέτει αρχικά την κρατική παρέμβαση, για να γίνει αυτός ο κλάδος νόμιμος, να έχει κρατική αρωγή, καθοδήγηση ανάπτυξης, αλλά και επίβλεψη. Από πλευράς επιχειρηματικών ομίλων προκρίνεται η ανάπτυξη παρεμβατικών projects στα πρότυπα του ήδη υπάρχοντος που λέγεται "Cobalt for Development". Εδώ η παρέμβαση δεν αφορά μόνο τη βελτίωση των συνθηκών εργασίας και την πρόληψη ανεύθυνων πρακτικών. Η προσπάθεια διευρύνεται και στις κοινότητες που βρίσκονται γύρω από μία παραγωγική μονάδα. Να λυθούν κοινωνικά προβλήματα που μπορεί να υπάρχουν και κυρίως δίνεται έμφαση στην εξάλειψη της φτώχειας.

Μία άλλη αβεβαιότητα που έχει η αγορά του Κοβαλτίου, είναι η μη αυτογενής εξόρυξή του. Η κύρια παραγωγή του γίνεται ως παραπροϊόν του Χαλκού και του Νικελίου. Οι επενδυτικές αποφάσεις για αύξηση παραγωγής δεν είναι πρωτογενείς. Εξαρτώνται από τις συνθήκες της αγοράς Χαλκού και Νικελίου. Για το λόγο αυτό οι προσπάθειες που γίνονται κατευθύνονται στην υιοθέτηση μεθόδων επεξεργασίας, που μεγιστοποιούν την ανάκτηση Κοβαλτίου από αυτά τα δύο υλικά. Για παράδειγμα, η εταιρεία Χαλκού Kamoto (ΛΔ του Κονγκό), έχει υιοθετήσει μια νέα μέθοδο πλυσίματος που γίνεται σε όλο το μέταλλευμα. Αυτή η λειτουργία έχει αυξήσει τα ποσοστά ανάκτησης Κοβαλτίου από 34% σε 65% ¹¹⁴.

6.6 Σπάνιες γαίες

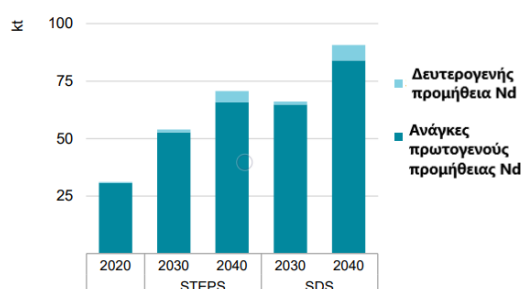
6.6.1 Γενικά

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται 17 στοιχεία. Οι 15 Λανθανίδες και άλλα δύο το Σκάνδιο και το Ύτριο. Από τις Λανθανίδες τα 6 στοιχεία με το μικρότερο AB λέγονται ελαφριές και τα υπόλοιπα 11 βαριές σπάνιες γαίες (LREEs και HREEs αντίστοιχα). Στο ίδιο μέταλλευμα βρίσκονται σχεδόν όλα τα στοιχεία REE, με διαφορετική κάθε φορά αναλογία. Η τυπική σύνθεση είναι να υπάρχει μεγάλη ποσότητα LREEs (με κύριο ποσοστό το Δημήτριο και το Λανθάνιο), μία μέτρια ποσότητα μαγνητικών σπάνιων γαιών και μία μικρή ποσότητα HREEs.

Για τις ανάγκες της ενεργειακής μετάβασης, από την οικογένεια αυτή μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε τέσσερα στοιχεία (Νεοδύμιο, Δυσπρόσιο, Πρασεοδύμιο και Τέρβιο). Η εφαρμογή που αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό της ζήτησης είναι η κατασκευή μόνιμων μαγνητών για κινητήρες. Και αυτή η ζήτηση προβλέπεται να αυξηθεί με μεγαλύτερους ρυθμούς στο μέλλον. Πιο συγκεκριμένα θα αναφερθούμε ενδεικτικά στο Νεοδύμιο από 30 kt που είναι η ζήτηση στα σημερινά επίπεδα για τις καθαρές τεχνολογίες (15% της συνολικής ζήτησης), προβλέπεται για το 2040 από το σενάριο STEPS να φτάσει στους 70 kt (25% της

¹¹⁴ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 151.

συνολικής ζήτησης) και από το σενάριο SDS σε 90kt (πάνω από το 40% της συνολικής ζήτησης).



Διάγραμμα 6.8: Πρωτογενείς και δευτερογενείς προμήθειες Νεοδυμίου σε παγκόσμια κλίμακα. Η προβολή αφορά σε δύο σενάρια STEPS και SDS.

Πηγή: iea.org¹¹⁵

Αρχικά στην δεκαετία του 1990 οι ΗΠΑ ήταν ο ηγέτης στην παραγωγή REEs, ενώ η Κίνα με σταδιακή ανάπτυξη έφτασε να παράγει το 95% το 2010. Στην παρούσα φάση (περί το 2020) η ισορροπία βρίσκεται σε ποσοστά περίπου 60% για την Κίνα και το υπόλοιπο ΗΠΑ, Μιανμάρ και Αυστραλία. Βέβαια η Κίνα εξακολουθεί να κατέχει το 90% της επεξεργασίας του υλικού (κάνοντας διαχωρισμό και διύλιση). Συγκεκριμένα το ποσοστό που γίνεται σε 4 εργοστάσια εκτός Κίνας αφορά σε επεξεργασία μόνο LREEs. Για το σύνολο των ποσοτήτων HREEs γίνεται επεξεργασία σε εργοστάσια εντός Κίνας¹¹⁶.

Είναι γνωστό ότι η κυρίαρχη θέση της Κίνας στην αγορά REEs έχει κινητοποιήσει το παγκόσμιο πολιτικό και οικονομικό σύστημα. Ιδιαίτερα όταν το 2010 η χώρα αυτή αποφάσισε να περιορίσει τις εξαγωγές σπάνιων γαιών. Από τότε πολλές χώρες σχεδίασαν επιλογές για την μείωση της έντασης χρήσης των υλικών, την εξεύρεση υποκατάστατων, τη διαφοροποίηση των πηγών παραγωγής και εφοδιασμού, ενδεχομένως την μείωση της κατανάλωσης και φυσικά την προώθηση της ανακύκλωσης. Αποτέλεσμα της κινητοποίησης ήταν να σχεδιαστούν 20 νέα έργα παραγωγής REEs εκτός Κίνας, σε Αυστραλία, Καναδά και ΗΠΑ, 5 από τα οποία άρχισαν λειτουργούν από το 2020. Και από την πλευρά της επεξεργασίας υπάρχει η ανάλογη κινητοποίηση. Ενώ σήμερα λειτουργεί ένα εργοστάσιο εκτός Κίνας (στην Μαλαισία), σχεδιάζονται άλλα δύο στις ΗΠΑ με κρατική ενίσχυση και άλλο ένα με ιδιωτικές επενδύσεις¹¹⁷. Σε επόμενο κεφάλαιο θα εξετάσουμε τις κινήσεις της ΕΕ και το τι γίνεται στον Ελληνικό μεταλλευτικό χώρο σε σχέση με τις σπάνιες γαίες.

¹¹⁵ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 154.

¹¹⁶ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 153.

¹¹⁷ «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions», ό.π., Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 154.

Η εργασία μας εντοπίζει, βιβλιογραφικά, μία ισχυρή αβεβαιότητα στο εάν η προσφορά των σπάνιων γαιών θα συμβαδίσει με την μελλοντική αναμενόμενη αυξημένη ζήτηση. Φαίνεται ότι υπάρχουν δυσκολίες που αναστέλλουν τις επενδυτικές αποφάσεις. Θα θέλαμε να επαναλάβουμε τρεις από αυτές τις βασικές δυσκολίες:

- Τα στάδια παραγωγής των REEs είναι τρία: α) η εξόρυξη β) η αρχική επεξεργασία και γ) η τελική επεξεργασία. Η μόνη χώρα που έχει παρουσία και ελέγχει και τα τρία στάδια είναι η Κίνα. Είναι πολύ δύσκολο μία επένδυση εκτός Κίνας να καλύψει και τα τρία στάδια και να είναι επικερδής. Αν μία παραγωγική μονάδα καλύπτει τα δύο πρώτα στάδια, το παραγόμενο υλικό αναγκαστικά θα αποσταλεί για να υποστεί την τελική επεξεργασία στην Κίνα. Εκεί υπάρχουν ενδοιασμοί πως θα διοχετεύει και πως θα τιμολογεί το τελικό προϊόν η ελεγχόμενη πολιτικά παραγωγική μονάδα.
- Η εξόρυξη σπάνιων γαιών γίνεται σε ομάδες. Δηλαδή μαζί με τα τέσσερα στοιχεία που έχουν και θα έχουν στο μέλλον μεγάλη ζήτηση (και καλά επίπεδα τιμών), παράγονται και άλλα όπως το Δημήτριο και Λανθάνιο με όχι υψηλή ζήτηση (και μη κερδοφόρα τιμή πώλησης). Η επένδυση πρέπει να λάβει υπόψιν ενδεχόμενες ζημιές από τις ποσότητες που θα διατεθούν χωρίς κέρδος.
- Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι κυρίως στις φάσεις της αρχικής και τελικής επεξεργασίας. Αναφέρεται παραγωγή τοξικών και ραδιενεργών υλικών τα οποία αν μολύνουν υπόγεια ύδατα θα μπορούσαν να προκαλέσουν κινδύνους στην υγεία και την ασφάλεια. Άρα μία επένδυση χρειάζεται να λάβει υπόψιν της, την αυστηροποίηση των περιβαλλοντικών όρων (ακόμη και στην επικράτεια της Κίνας), η οποία θεωρείται σίγουρη για τον κύκλο της παραγωγής σπάνιων γαιών. Αυτή η εξέλιξη δεν είναι κατ' ανάγκην εμπόδιο για τις επενδύσεις. Αντίθετα, βοηθάει να ξεκαθαρίσει το τοπίο από ανεξέλεγκτες μονάδες παραγωγής.

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο σημείο της εργασίας μας, υπάρχει σε εξέλιξη προσπάθεια διαφοροποίησης των πηγών εφοδιασμού. Προς αυτή την κατεύθυνση μπορεί να συμβάλλουν και νέες τεχνολογίες που βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο. Δύο παραδείγματα είναι η έρευνα για ανάκτηση REEs από κοιτάσματα πυρηνικών καυσίμων, καθώς και η εξόρυξη σπάνιων γαιών από πηγές Άνθρακα και υποπροϊόντων Άνθρακα¹¹⁸.

¹¹⁸ «*The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*», στο ίδιο, Παρίσι, Μάρτιος 2022, σελ. 155.

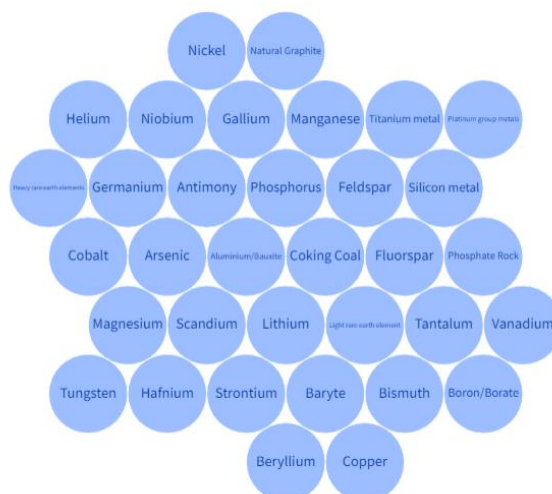
Κεφάλαιο 7^ο: Κρίσιμες και στρατηγικές πρώτες ύλες

7.1 Ευρωπαϊκή προσέγγιση

Οι ανάγκες σε ορυκτές πρώτες ύλες για την ενεργειακή μετάβαση, την αντιμετώπιση των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή και την προστασία του περιβάλλοντος, δεν είναι οι μόνες που χρειάζεται να εξασφαλίσει μία οικονομία, μία χώρα ή μία περιοχή. Λειτουργούν αθροιστικά με τις ανάγκες σε πρώτες ύλες για τον εφοδιασμό της βιομηχανίας σε όλα τα στάδια της, αλλά και τους στρατηγικούς τομείς της άμυνας και τις διαστημικές τεχνολογίες που ενδέχεται να αναπτύσσει κάθε χώρα.

Η εργασία μας αναφέρεται στην πρώτη κατηγορία αναγκών που αφορούν στην ενεργειακή μετάβαση. Η επάρκεια ή μη του ανεφοδιασμού θα απαιτούσε μία συνδυαστική ανάλυση την οποία δεν θα μπορούσαμε να προσεγγίσουμε. Για να μειώσουμε την έκταση της μελέτης μας θα αναζητήσουμε ισορροπίες προσφοράς ζήτησης και ενδεχόμενων κινδύνων στην αλυσίδα εφοδιασμού εντός των ορίων της ΕΕ. Γιατί κάθε περιοχή έχει την δική της εγχώρια παραγωγή, δικές της συμμαχίες και προοπτικές.

Κάνοντας τη δική της ανάλυση η ΕΕ επιλέγει ορισμένες πρώτες ύλες και τις χαρακτηρίζει ως κρίσιμες CRM ή ΚΟΠΥ και από αυτές ορισμένες τις ονομάζει στρατηγικές SCRM ή ΣΟΠΥ..



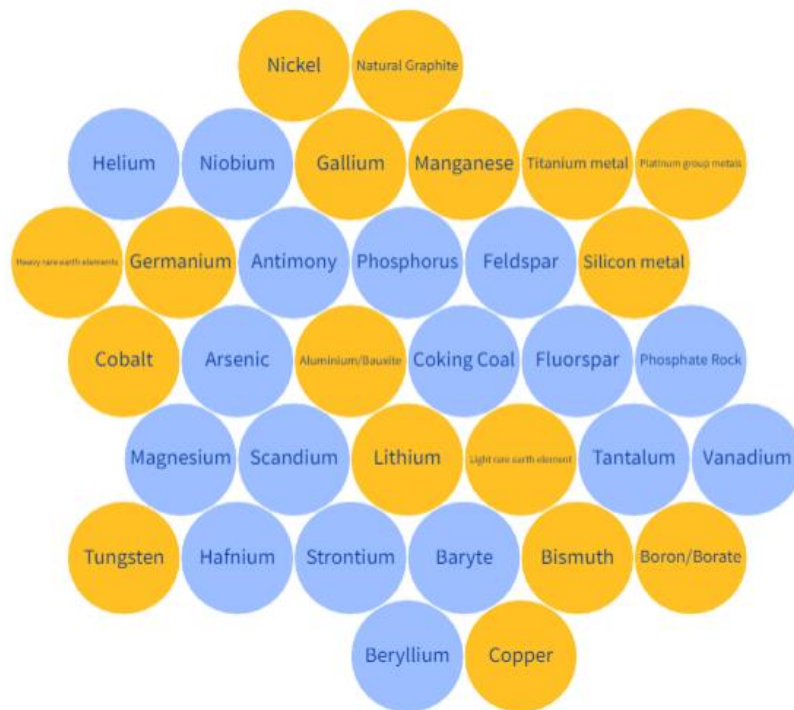
Σχήμα 7.1: Περιλαμβάνει 34 κρίσιμες ορυκτές πρώτες ύλες, Αλουμίνιο/Βωξίτης/Αλουμίνα, Άνθρακας οπτανθρακοποίησης, Λίθιο, Φώσφορος, Αντιμόνιο, Άστριοι, ελαφρές σπάνιες γαίες, Σκάνδιο, Αρσενικό, Αργυραδάμας, Μαγνήσιο, μέταλλο Πυριτίου, Βαρύτης, Γάλλιο, Μαγγάνιο, Στρόντιο, Βηρύλλιο, Γερμάνιο, φυσικός Γραφίτης, Ταντάλιο, Βισμούθιο, Άφνιο, Νιόβιο, μέταλλο Τιτανίου, Βόριο, Ήλιο, μέταλλα της ομάδας Πλατίνας, Βολφράμιο, Κοβάλτιο, βαριές σπάνιες γαίες, φωσφορικό πέτρωμα, Βανάδιο, Χαλκός, Νικέλιο.

Πηγή¹¹⁹

¹¹⁹ <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/critical-raw-materials/#0>

Στην κατηγορία ΚΟΠΥ περιλαμβάνονται όλα τα υλικά που είναι απαραίτητα και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή προϊόντων απόλυτα χρήσιμα για την καθημερινή ζωή. Προϊόντα απαραίτητα για να λειτουργήσει η οικονομία μιας χώρας, αλλά και προϊόντα που έχουν ή θα έχουν υψηλό ρίσκο στην αλυσίδα εφοδιασμού στο μέλλον. Σε πρώτη φάση ο κατάλογος (ο οποίος δεν θα είναι στατικός και θα αναθεωρείται συνεχώς), περιλαμβάνει 34 ΚΟΠΥ.

Εξετάζοντας αυτόν τον κατάλογο το Συμβούλιο της ΕΕ, ξεχώρισε 17 ύλες τις οποίες ονόμασε στρατηγικές SCRM ή ΣΟΠΥ ή ΣΚΟΠΥ, με κριτήριο του ότι οι ανάγκες εφοδιασμού θα αυξηθούν εκθετικά, καθώς και του γεγονότος ότι παρουσιάζουν μία συνθετότητα στις απαιτήσεις για την παράγωγή τους. Αυτά τα κριτήρια προσδιορίζουν ένα υψηλότερο ρίσκο ανεφοδιασμού. Και αυτός ο κατάλογος δεν είναι στατικός και μπορεί να ανανεωθεί¹²⁰.



Σχήμα 7.2: Περιλαμβάνει 17 στρατηγικές κρίσιμες ορυκτές πρώτες ύλες (σημειώνονται με κίτρινο χρώμα), Αλουμίνιο/Βωξίτης/Αλουμίνα, Λίθιο, ελαφρές σπάνιες γαίες, μέταλλο Πυριτίου, Γάλλιο, Μαγγάνιο, Γερμάνιο, φυσικός Γραφίτης, Βισμούθιο, μέταλλο Τιτανίου, Βόριο, μέταλλα της ομάδας Πλατίνας, Βολφράμιο, Κοβάλτιο, βαριές σπάνιες γαίες, Χαλκός, Νικέλιο.

Στις στρατηγικές κρίσιμες πρώτες ύλες των ομάδων HREE και LREE περιλαμβάνονται τα ορυκτά: Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Sm, και Ce.

Πηγή¹²¹

¹²⁰ <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/critical-raw-materials/#0>

¹²¹ <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/critical-raw-materials/#0>

Τον Μάρτιο του 2024, το ευρωπαϊκό Συμβούλιο της ΕΕ εγκρίνει για εφαρμογή την Δράση για τις Κρίσιμες Ορυκτές Πρώτες Ύλες (ΔΚΟΠΥ ή CRMA), η οποία αναγνωρίζει τον κίνδυνο της διακοπής ανεφοδιασμού στα συγκεκριμένα ορυκτά, είτε λόγω εκρηκτικής αύξησης της ζήτησης, είτε από αδυναμία επαρκούς παραγωγής, είτε από την ισχυρή εξάρτηση στον ανεφοδιασμό από την εκτός της ΕΕ αγοράς. Οι ανάγκες της ενεργειακής μετάβασης (τις οποίες εξετάζουμε), της πράσινης μετάβασης γενικότερα, ενσωματώνονται αθροιστικά με αυτές που χρειάζονται η ψηφιακή μετάβαση, η αμυντική και αεροδιαστημική τεχνολογία αλλά και η ευρωπαϊκή βιομηχανία γενικότερα¹²².

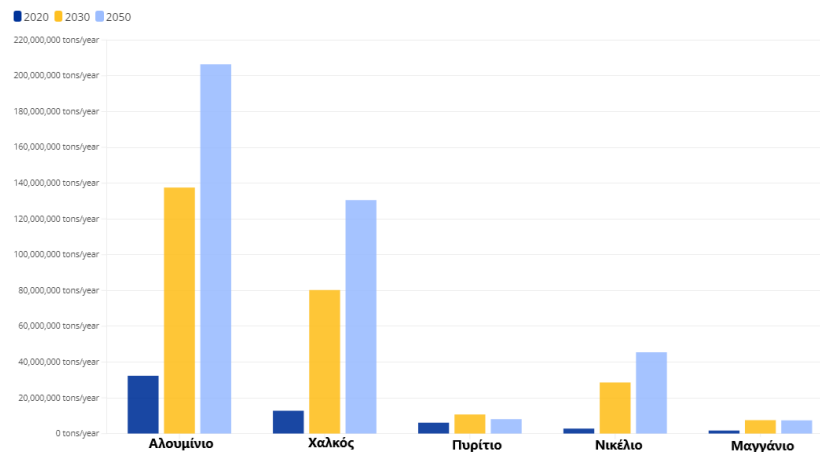
Η ανάγκη αυτής της δράσης, η οποία κατά τη γνώμη μας προέκυψε καθυστερημένα, προήλθε, εκτός από την πρόβλεψη για εκτίναξη της ζήτησης ακόμη και στο άμεσο μέλλον, από την επικίνδυνη διαπίστωση της ΕΕ ότι είναι σε μέγιστο ποσοστό εξαρτημένη από εκτός της ΕΕ παραγωγούς και προμηθευτές. Ενδεικτικά αναφέρεται σε τρεις περιπτώσεις μέγιστης εξάρτησης: 100% προμηθευτής σπάνιων γαιών της ΕΕ είναι η Κίνα, 98% προμηθευτής Βορίου η Τουρκία, 71% Pt η νότιος Αφρική. Η δράση θέτει άμεσους στόχους για το 2030 για να μειώσει την ισχυρή εξάρτηση και να αυξήσει την εφοδιαστική αυτονομία.

- Τουλάχιστον 10% της ετήσιας κατανάλωσης θα προέρχεται από εξόρυξη εντός ΕΕ
- Τουλάχιστον 40% της ετήσιας κατανάλωσης θα προέρχεται από επεξεργασία εντός ΕΕ
- Τουλάχιστον 25% της ετήσιας κατανάλωσης θα προέρχεται από εγχώρια (ΕΕ) ανακύκλωση
- Ειδικά για όλες τις ΣΟΠΥ, κανένα στάδιο επεξεργασίας δεν θα γίνεται σε τρίτη χώρα (εκτός ΕΕ) σε ποσοστό άνω του 65%.

Αυτή η στόχευση είναι σε συνάρτηση με τη δέσμευση της ΕΕ για μείωση 55% των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2030, για να κρατήσει ζωντανή τη δυνατότητα επίτευξης κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2050. Αξίζει να αναφερθούμε και στα δεδομένα εκτίμησης (πρόβλεψης) ζήτησης για 5 υλικά, που δίνει η έγκριση της δράσης CRMA από το ευρωπαϊκό Συμβούλιο. Και αφορούν αθροιστικά στους στρατηγικούς τομείς που τα χρειάζονται¹²³.

¹²² <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/03/18/strategic-autonomy-council-gives-its-final-approval-on-the-critical-raw-materials-act/>

¹²³ <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/critical-raw-materials/#0>



Διάγραμμα 7.1: Εκτίμηση ζήτησης 5 υλικών στην ΕΕ σε μονάδες τόνους/έτος με βάση το σενάριο υψηλής ζήτησης. Αφορά αθροιστικά στους πέντε στρατηγικούς τομείς: ΑΠΕ, Ηλεκτρικά οχήματα, (e-mobility), βιομηχανία, τεχνολογίες για πληροφορική και επικοινωνία (ICT), άμυνα και αεροδιαστημική.

Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή¹²⁴.

Αν θέλουμε να διαβάσουμε πίσω από τις γραμμές αυτής της δράσης κάποια μηνύματα που εκπέμπει, θα βλέπαμε την άρρηκτη διασύνδεση της επάρκειας εφοδιασμού των 34 συγκεκριμένων (κρίσιμων υλικών) με την εξάλειψη εφοδιαστικών κινδύνων. Αυτή η συνειδητοποίηση πιθανόν να προέκυψε πρόσφατα με την επίδειξη γεωπολιτικής δύναμης από την Ρωσία, την απρόβλεπτη γεωπολιτική στάση της Κίνας, αλλά και την εκμετάλλευση της κορυφαίας θέσης στην παραγωγή και επεξεργασία που έχει (η Κίνα) σε κρίσιμες και στρατηγικές ύλες. Και τις μη προβλέψιμες κινήσεις της. Αφήνοντας όμως τον γεωπολιτικό παράγοντα, πίσω από τα γράμματα μπορούμε να διαβάσουμε την αποτυχία της ΕΕ τις προηγούμενες δεκαετίες να προωθήσει και να αναπτύξει την εξορυκτική της βιομηχανία, με βάση ένα στρατηγικό σχέδιο το οποίο τώρα πιεζόμενη και συρόμενη από τις εξελίξεις προσπαθεί να συντάξει. Επειδή δεν είναι μέσα στους σκοπούς της εργασίας μας η ιστορική αναδρομή σε λάθη από πλευράς ΕΕ για την εξορυκτική βιομηχανία, θα δούμε κάποια μέτρα που προβλέπει η CRMA.

Η CRMA προβλέπει για την κάθε χώρα να συσταθεί μία αρμόδια ρυθμιστική Αρχή (με την φιλοσοφία της λειτουργίας μίας στάσης). Εισάγει σαφείς προθεσμίες για τις διαδικασίες αδειοδότησης έργων εξόρυξης της ΕΕ, επιτρέπει στην Επιτροπή και τα κράτη μέλη να αναγνωρίζουν ένα έργο ως στρατηγικό, απαιτεί εκτιμήσεις κινδύνου στην αλυσίδα εφοδιασμού, συστήνει από τα κράτη μέλη να διαθέτουν εθνικά σχέδια εξερεύνησης. Επίσης διασφαλίζει την πρόσβαση της ΕΕ σε κρίσιμες και στρατηγικές πρώτες ύλες μέσω φιλόδοξων

¹²⁴ <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/critical-raw-materials/#0>

σημείων αναφοράς για την εξόρυξη, την επεξεργασία, την ανακύκλωση και τη διαφοροποίηση των πηγών εισαγωγής. Σε σχέση με τα χρονικά όρια, τα έργα εξόρυξης θα λαβαίνουν τις άδειές τους εντός μέγιστης περιόδου 27 μηνών, ενώ τα έργα ανακύκλωσης και επεξεργασίας θα λαβαίνουν τις άδειές τους εντός 15 μηνών. Θα υπάρχουν και εξαιρέσεις που αποσκοπούν στη διασφάλιση ουσιαστικής συνεργασίας με τις τοπικές κοινότητες που επηρεάζονται από τα έργα και για την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων όταν έχουμε περίπλοκες περιπτώσεις.

Προβλέπει ακόμη ότι οι μεγάλες εταιρείες που κατασκευάζουν στρατηγικές τεχνολογίες (δηλ. παραγωγοί συσσωρευτών, Υδρογόνου ή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) θα διενεργούν εκτίμηση κινδύνου των αλυσίδων εφοδιασμού τους, για τον εντοπισμό τρωτών σημείων. Αναφέρουμε τέλος και τα μέτρα για την εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας (ανακύκλωση κ.ά.), που θα εξασφαλίσουν την βιωσιμότητα των κρίσιμων πρώτων υλών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αναφορά στην ανάκτηση ΚΟΠΥ από εξορυκτικά απόβλητα αλλά και στην ανακύκλωση των μονίμων μαγνητών.

Αυτή η ξαφνική «αφύπνιση» που έρχεται με αυτή την Δράση, φιλοδοξεί να μετατρέψει τις προκλήσεις των εξαρτήσεων εφοδιασμού σε στρατηγική αυτονομία. Να δώσει μία ώθηση στην οικονομία και να τονώσει τον εξορυκτικό τομέα. Παράλληλα, αυτή η αφύπνιση αναμένεται να ενισχύσει τις ικανότητες της ΕΕ στην ανακύκλωση και επεξεργασία ορυκτών πόρων, να δημιουργήσει σε τοπικό επίπεδο ποιοτικές θέσεις εργασίας, εξασφαλίζοντας για την βιομηχανία την ετοιμότητα να λειτουργήσει με τις επιταγές της ψηφιακής και ενεργειακής – πράσινης μετάβασης¹²⁵.

Στην αξιολόγηση αυτού του Κανονισμού (CRMA) που γίνεται σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, μαζί με την απαρίθμηση θετικών στοιχείων, επισημαίνονται αμφιβολίες για την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί. Σημεία κριτικής αποτελούν:

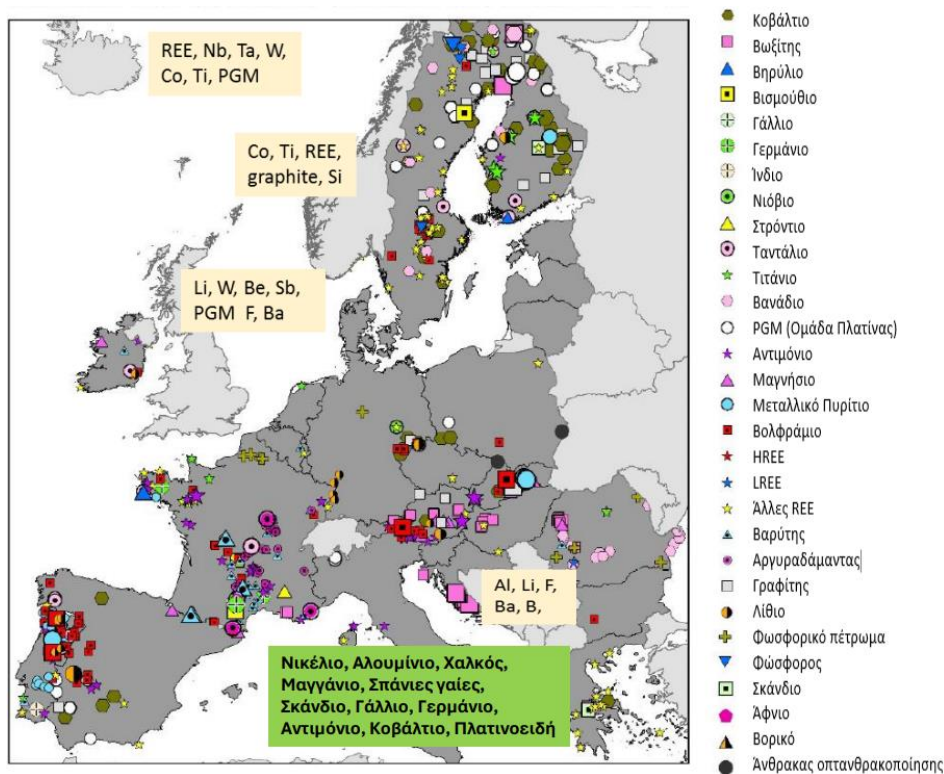
- Η στελέχωση της ρυθμιστικής Αρχής που θα συσταθεί στην κάθε χώρα της ΕΕ
- Η περιβαλλοντική αδειοδότηση, η οποία θα έχει πορεία ανεξάρτητη της ρυθμιστικής Αρχής
- Το γεγονός ότι εστιάζεται στην εξορυκτική βιομηχανία, ενώ χρειάζεται η εμπλοκή τόσο των σχετικών φορέων (Πανεπιστήμια, κέντρα Έρευνας κλπ) όσο και το σύνολο της βιομηχανίας που επεξεργάζεται τα προϊόντα της εξόρυξης.

¹²⁵ <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/03/18/strategic-autonomy-council-gives-its-final-approval-on-the-critical-raw-materials-act/>

- Είναι απαραίτητη η ανάγκη συναίνεσης της κοινωνίας των πολιτών, η οποία σε επίπεδο ΕΕ δεν υπάρχει, ενώ δεν είναι λίγα τα εξορυκτικά projects που συνάντησαν πολεμική και άρνηση υλοποίησης από τις τοπικές και όχι μόνο κοινωνίες¹²⁶.

7.2 Το κοιτασματολογικό ερώτημα και οι ολοκληρωμένες αλυσίδες αξίας

Η ανεπάρκεια εξόρυξης και παραγωγής ΚΟΠΥ στην Ευρώπη δεν οφείλεται ούτε σε γεωλογικούς ούτε σε μεταλλογενετικούς παράγοντες. Αντίθετα αυτοί οι παράγοντες είναι ευνοϊκοί και υπάρχουν βάσιμες ενδείξεις ότι η Ευρώπη μπορεί να γίνει αυτάρκης, ασφαλής και βιώσιμη με τα δικά της κοιτάσματα. Υπάρχουν καταγραφές για οικονομικά και γεωλογικά δεδομένα για τις μεταλλοφόρες εμφανίσεις Λιθίου, Κοβαλτίου και σπανίων γαιών σε διάφορες περιοχές της Ευρώπης. Γενικότερα οι κυριότερες ευρωπαϊκές μεταλλογενετικές ζώνες, περιέχουν συστήματα ΚΟΠΥ με υψηλό δυναμικό.



Σχήμα 7.3: Κοιτασματολογικό αποθεματικό δυναμικό ΚΟΠΥ εντός της ΕΕ

Πηγή: EuroGeoSurveys / Mineral Resources Expert Group

Αυτό που χρειάζεται η ΕΕ δεν είναι η εξασφάλιση μιας αυτόνομης εξόρυξης ή προμήθειας ή εφοδιασμού ορυκτών πρώτων υλών. Εδώ οι ανάγκες επιτάσσουν την εγκατάσταση αλυσίδων αξίας ΟΠΥ. Δηλαδή η παραγωγική εκμετάλλευση (ως σύνολο διαδοχικών σταδίων) να

¹²⁶ Δρ. Πέτρος Τζεφέρης, «Ο νέος Ευρωπαϊκός Κανονισμός για τις κρίσιμες και στρατηγικές πρώτες ύλες (CRMA 2023): Ναι μεν, αλλά...», άρθρο στον ιστότοπο: rawmathub.gr, 29 Μαρτίου 2023, <https://rawmathub.gr/epistimonika-kai-epixeirimatika-afieromata/krisimes-oryktes-protos-yles-ena-stoiximasia-tin-evropi/o-neos-evropaikos-kanonismos-gia-tis-krisimes-kai-stratigikes-protos-yles-crma-2023-nai-men-alla>

πλαισιώνεται με δραστηριότητες που να προσθέτουν αξία σε κάθε στάδιο. Συνεπώς όταν αναφερόμαστε στις αλυσίδες αξίας ΚΟΠΥ, αυτές περιλαμβάνουν την κοιτασματολογική έρευνα, την εξόρυξη, την επεξεργασία, την βιομηχανική μεταποίηση, την ανακύκλωση ακόμη και την περιβαλλοντική αποκατάσταση. Και όλα αυτά τα στάδια να γίνονται εντός της ΕΕ ή έστω εντός της Ευρώπης. Για παράδειγμα, οι αλυσίδες αξίας μπαταριών Λιθίου και μαγνητών Νεοδυμίου. Να μπορούν να παράγονται εντός Ευρώπης (από την αρχή ως το τέλος). Τουλάχιστον για τις ΣΟΠΥ και τα στρατηγικά προϊόντα της ενεργειακής μετάβασης, αξίζει και επιβάλλεται να γίνει αυτή η αντιμετώπιση. Εκτός από την επιδιωκόμενη αυτονομία και ασφάλεια, θα συμβάλλει σημαντικά στην οικονομική ανάπτυξη και στην αύξηση της απασχόλησης.

Η φιλοσοφία και οι κανόνες της κυκλικής οικονομίας είναι έννοιες στις οποίες έχει δεσμευτεί η ΕΕ. Στην εκμετάλλευση των ΚΟΠΥ υπάρχει σημαντικό πεδίο εφαρμογής ολιστικών και βιώσιμων πρακτικών. Είναι γνωστό ότι τα απόβλητα εξόρυξης και επεξεργασίας ορυκτών βασικών μετάλλων (στείρα εξόρυξης, μεταλλευτικά κατάλοιπα, τέλματα εμπλουτισμού) περιέχουν αρκετές ποσότητες ΚΟΠΥ. Υπάρχει δυνατότητα από την επεξεργασία των αποβλήτων αυτών να ανακτηθούν ικανές ποσότητες χρήσιμων πόρων. Μαζί με την ανακύκλωση άχρηστων καταναλωτικών προϊόντων μπορούν να καλύψουν ένα μέρος της ζήτησης.

Στην ανακύκλωση προϊόντων που βρίσκονται στο τέλος του κύκλου ζωής τους, η ΕΕ έχει προχωρήσει αρκετά. Σε ορισμένα μέταλλα (Fe,Zn,Pt) γίνεται σε ποσοστό 50%, καλύπτοντας 25% της ζήτησης. Παράλληλα καταβάλλεται προσπάθεια οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται να είναι φιλικές προς το περιβάλλον και βιώσιμες οικονομικά. Σημαντική υστέρηση υπάρχει στην ανάκτηση υλικών από επεξεργασία των αποβλήτων εξόρυξης. Το ποσοστό είναι ελάχιστο (ανάκτηση της τάξεως του 1%) μη ικανό να καλύψει κάποιο μέρος, της αυξανόμενης ζήτησης. Επειδή υπάρχουν πολλοί χώροι απόθεσης ενεργοί (πάνω από 3500) και ένας μεγαλύτερος αριθμός ιστορικών (παλαιότερων) χώρων αποβλήτων, υπάρχει μία κινητικότητα η οποία περιλαμβάνει την χαρτογράφησή τους, γεωχημική έρευνα και δοκιμές που θα δρομολογήσουν βιώσιμα έργα ανακύκλωσης (από απόβλητα εξόρυξης). Βέβαια, με την εμπειρία που έχει συσσωρευτεί, είναι πλέον απαίτηση όλα τα νέα έργα εξόρυξης και μεταλλευτικής παραγωγής, από την αρχή να σχεδιάζονται στη βάση της κυκλικής οικονομίας. Και να γίνεται η εξαγωγή και των κύριων προϊόντων και των παραπροϊόντων και ό,τι περισσεύει να οδηγείται στα απόβλητα.

Το ζητούμενο είναι αφενός να γίνει ολοκληρωμένη, ανθεκτική και βιώσιμη εφαρμογή Ευρωπαϊκών στρατηγικών τεχνολογικών αλυσίδων αξίας, αφετέρου το ίδιο να υλοποιηθεί και για τα βιομηχανικά οικοσυστήματα¹²⁷.

7.3 Η Ευρωπαϊκή Συμμαχία για τις Πρώτες Ύλες (ERMA)

Το 2020 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ίδρυσε την Ευρωπαϊκή Συμμαχία για τις Πρώτες Ύλες με σκοπό την αντιμετώπιση των προκλήσεων στον εφοδιασμό με πρώτες ύλες κρίσιμης σημασίας. Έχει ως στόχο να καταστήσει την Ευρώπη οικονομικά πιο ανθεκτική μέσω: της διαφοροποίησης των αλυσίδων εφοδιασμού της, της δημιουργίας θέσεων εργασίας, της προσέλκυσης επενδύσεων στην αξιακή αλυσίδα των πρώτων υλών, της προώθησης της καινοτομίας και της συμβολής στο καλύτερο ευνοϊκό πλαίσιο για τις πρώτες ύλες και την κυκλική οικονομία. Η συμμαχία αντιμετωπίζει την πρόκληση της εξασφάλισης πρόσβασης σε βιώσιμες πρώτες ύλες, προηγμένα υλικά και τεχνογνωσία βιομηχανικής επεξεργασίας.

Έως το 2030, οι δραστηριότητες της ERMA θα αυξήσουν την παραγωγή πρώτων και προηγμένων υλικών και θα δώσουν έμφαση στην κυκλική οικονομία, ενισχύοντας την ανάκτηση και ανακύκλωση κρίσιμων πρώτων υλών. Πιο συγκεκριμένα, η συμμαχία στοχεύει στην:

- ενίσχυση της δημιουργίας περιβαλλοντικά βιώσιμων και κοινωνικά δίκαιων καινοτομιών και υποδομών
- εφαρμογή μιας κυκλικής οικονομίας σύνθετων προϊόντων, όπως ηλεκτρικά οχήματα, καθαρή τεχνολογία και εξοπλισμός υδρογόνου
- στήριξη της ικανότητας της ευρωπαϊκής βιομηχανίας πρώτων υλών να εξορύσσει, να σχεδιάσει, να κατασκευάσει και να ανακυκλώσει υλικά
- προώθηση της καινοτομίας, των στρατηγικών επενδύσεων και της βιομηχανικής παραγωγής σε συγκεκριμένες αξιακές αλυσίδες¹²⁸

Με την ERMA έχουν συνδεθεί, συμμετέχουν και την υποστηρίζουν πλήθος εταιριών και επιχειρηματικών ομίλων, Οργανισμών, Συνδέσμων, αλλά και εκπαιδευτικών και άλλων Ιδρυμάτων. Ενδεικτικά θα αναφέρουμε τις ελληνικές συμμετοχές στις 4 κατηγορίες παραγωγής προϊόντων που η Συμμαχία δραστηριοποιείται:

¹²⁷ Δρ. Νικόλαος Αρβανιτίδης και Δρ. Δημήτριος Κ. Κωνσταντινίδης, «Εκμετάλλευση κοιτασμάτων ΚΟΠΥ στην ΕΕ: Το πολύκλειδο για γηγενείς, ολιστικές και βιώσιμες αλυσίδες αξίας», άρθρο στον ιστότοπο: rawmathub.gr, 29 Μαρτίου 2023, <https://rawmathub.gr/epistimonika-kai-epixeirimatika-afieromata/krisimes-oryktes-protesy-ena-stoixima-gia-tin-evropi/ekmetallefsi-koitasmaton-kopy-stin-ee-to-polykleido-gia-gigeneis-olistikes-kai-viosimes-alyssides-aksias>

¹²⁸ https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-raw-materials-alliance_en

α) Πρωτογενείς πρώτες ύλες

- Εταιρίες - Όμιλοι εταιριών
Ecoresources IKE
Hellas Gold
Metallon Ecosystems IKE
Mytilineos
ORYKTON Consulting MON.I.K.E
Vlysis
GEOTEST S.A.
BD Inventions SMPC
- Ενώσεις – Πλατφόρμες - Επιμελητήρια
Δεν υπάρχει ελληνική συμμετοχή
Ενδεικτικά αναφέρουμε
Ευρωπαϊκή τεχνολογική πλατφόρμα για βιώσιμους ορυκτούς πόρους
DeepSea Mining Alliance (DSMA)
Ουκρανική Ένωση Γεωλόγων
Επιμελητήριο Γεωλόγων Μάλτας
- Πανεπιστήμια – Ερευνητικά κέντρα
ΕΜΠ
Σχολή ΜΟΠ Πανεπιστημίου Κρήτης
GRawMat Innovation Cluster
- Εθνικές Αρχές και Υπουργεία
Ελληνική Αρχή Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ)

β) Προηγμένα υλικά και ενδιάμεσα προϊόντα

- Εταιρίες - Όμιλοι εταιριών
AMEN NEW TECHNOLOGIES
Monolithos
NANOVIIS
PCN Materials IKE
Vlysis
- Ενώσεις – Πλατφόρμες – Επιμελητήρια – Εκπ.Ιδρύματα – Ερευνητικά Κέντρα
ΕΜΠ
Σχολή ΜΟΠ Πανεπιστημίου Κρήτης
GRawMat Innovation Cluster

γ) Τελικά προϊόντα

- Εταιρίες – Όμιλοι εταιριών
Metallon Ecosystems IKE
NANOVIIS
Vlysis
- Ενώσεις – Πλατφόρμες – Επιμελητήρια – Εκπ.Ιδρύματα – Ερευνητικά Κέντρα
Σχολή ΜΟΠ Πανεπιστημίου Κρήτης

δ) Τομέας ανακύκλωσης

The Hellenic Society for the Promotion of Research
and Development Methodologies (PROMEA)

GRawMat Innovation Cluster

ΕΜΠ

Σχολή ΜΟΠ Πανεπιστημίου Κρήτης

Ελληνική Αρχή Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ)¹²⁹

Η ERMA είναι μια ανοικτή και χωρίς αποκλεισμούς συμμαχία που παρέχει ένα ανοικτό και ανεξάρτητο φόρουμ συζήτησης και ανάλυσης, καθώς και έναν μηχανισμό για τη μετατροπή δυνητικών έργων σε πραγματικές δραστηριότητες και υποδομές. Στόχος η συμβολή στη δημιουργία μακροχρόνιας προστιθέμενης αξίας και θέσεων εργασίας για την Ευρώπη.

Η ERMA θα εντοπίσει εμπόδια, ευκαιρίες και επενδυτικές περιπτώσεις για την ανάπτυξη ικανοτήτων σε όλα τα στάδια της αλυσίδας αξίας των πρώτων υλών, από την εξόρυξη έως την ανάκτηση αποβλήτων. Συμμορφώνεται με τους κανόνες ανταγωνισμού της ΕΕ και τις διεθνείς εμπορικές δεσμεύσεις της ΕΕ.

Οι βασικές προϋποθέσεις για όλους τους συνεργατικούς σχηματισμούς είναι η βιωσιμότητα (κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική) (σύμφωνα με τους αναπτυξιακούς στόχους βιωσιμότητας των Ηνωμένων Εθνών), η ψηφιοποίηση (σύμφωνα με την ψηφιακή στρατηγική της ΕΕ) και η κυκλικότητα (σύμφωνα με το σχέδιο δράσης της ΕΕ για την κυκλική οικονομία). Το έργο των συνεργατικών σχηματισμών θα συμβάλει στην ανάπτυξη ικανοτήτων και στην επίτευξη των στόχων του ταμείου δίκαιης μετάβασης της ΕΕ μέσω της εκπαίδευσης, της κατάρτισης, της έρευνας και της καινοτομίας προς όφελος ολόκληρης της ευρύτερης κοινωνίας.

Οι στόχοι θα επιτευχθούν μέσω δύο σημαντικών αξόνων εργασίας:

1) Διαδικασίες διαβούλευσης για συγκεκριμένες αλυσίδες αξίας:

¹²⁹ <https://erma.eu/network/>

- Εντοπισμός και ανταπόκριση στις προκλήσεις των πρώτων υλών κατά μήκος των βιομηχανικών οικοσυστημάτων και εντός της ευρύτερης κοινωνίας
- Παροχή προσαρμοσμένων λύσεων στις ανάγκες της βιομηχανίας
- Εξάλειψη των ρυθμιστικών σημείων συμφόρησης
- Προώθηση της ισχυρής εμπλοκής και δέσμευσης των ενδιαφερόμενων μερών μέσω ανοικτής διαδικασίας

2) Επενδυτικό κανάλι για έργα πρώτων υλών:

- Επιλογή και ιεράρχηση περιπτώσεων για τη διασφάλιση του εφοδιασμού με πρωτογενείς και δευτερογενείς πρώτες ύλες για τα ευρωπαϊκά βιομηχανικά οικοσυστήματα
- Εγκατάσταση επενδυτικής πλατφόρμας πρώτων υλών (RMIP) για την προσέγγιση επενδυτών και ενδιαφερομένων για υλοποίηση επενδύσεων
- Καθορισμός στρατηγικών και μηχανισμών χρηματοδότησης ανά περίπτωση
- Αξιολόγηση των ευκαιριών χρηματοδότησης της ΕΕ και των πηγών χρηματοδότησης, για επενδυτικές ευκαιρίες εντός και εκτός Ευρώπης

Οι δραστηριότητες της ERMA θα διεξαχθούν σε «ομάδες» “clusters” που ορίζονται γύρω από συγκεκριμένες αλυσίδες αξίας. Η πρώτη ομάδα ασχολείται με την πιο κρίσιμη αξιακή αλυσίδα για πολλά βιομηχανικά οικοσυστήματα της ΕΕ – *μαγνήτες και κινητήρες σπάνιων γαιών*. Η δεύτερη ομάδα θα εξετάσει πρώτες και προηγμένες ύλες για *αποθήκευση και μετατροπή ενέργειας σε σταθερές και μη σταθερές εφαρμογές*. Πρόσθετες ομάδες θα καθοριστούν αργότερα¹³⁰.

Η σκόπιμη αναφορά μας στην ERMA και τον τρόπο δράσης της, μας έδωσε μία καλύτερη εικόνα της κατάστασης σε σχέση με τις άμεσες ανάγκες σε πρώτες ύλες, μία καλύτερη εικόνα των κινδύνων εξάρτησης, μία καλύτερη εικόνα για τα εργαλεία που υπάρχουν για να αναστραφεί η κατάσταση και να ελεγχθούν οι κίνδυνοι.

Η επιλογή της Συμμαχίας να συστήσει το πρώτο cluster σε εφαρμογές που χρειάζονται σπάνιες γαίες, έρχεται να επαληθεύσει αυτό που η εργασία μας είχε εντοπίσει από διάφορες πηγές. Η ζήτηση σε συγκεκριμένα στοιχεία σπάνιων γαιών θα αυξηθεί ραγδαία. Ακόμη, η σύσταση ενός τέτοιου Οργανισμού, δείχνει ότι η εξάρτηση της ΕΕ για αρκετές ΚΟΠΥ από χώρες με γεωπολιτικές φιλοδοξίες, έχει ήδη αρχίσει να έχει βλαβερές συνέπειες στην οικονομία της. Παράλληλα, ενισχύει τον κίνδυνο να μην επιτευχθούν οι στόχοι της κλιματικής ουδετερότητας. Επίσης η προμήθεια από χώρες εκτός ΕΕ των αναγκαίων ποσοτήτων, δεν

¹³⁰ <https://erma.eu/workstreams/>

βοηθάει στο να αναπτύσσεται ο δικός της κλάδος εξόρυξης και βιομηχανικής επεξεργασίας ορυκτών πρώτων υλών.

Πολύ σημαντική είναι η διαπίστωση από την ηγετική ομάδα της ΕΕ ότι η κατάσταση δεν είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί αν δεν υπάρξει συνένωση δυνάμεων και μη γραφειοκρατική καθοδήγηση. Η αντιμετώπιση επίσης θα γίνει χωρίς η ΕΕ να απαρνηθεί την προσήλωσή της στην εφαρμογή των αρχών της κυκλικής οικονομίας και της αειφόρου ανάπτυξης. Μπορεί να μην γνωρίζουμε πόσο θα αποδώσουν οι ενέργειες και οι δράσεις της ERMA, δεν μπορούμε όμως να αμφισβητήσουμε ότι είναι προς τη σωστή κατεύθυνση.

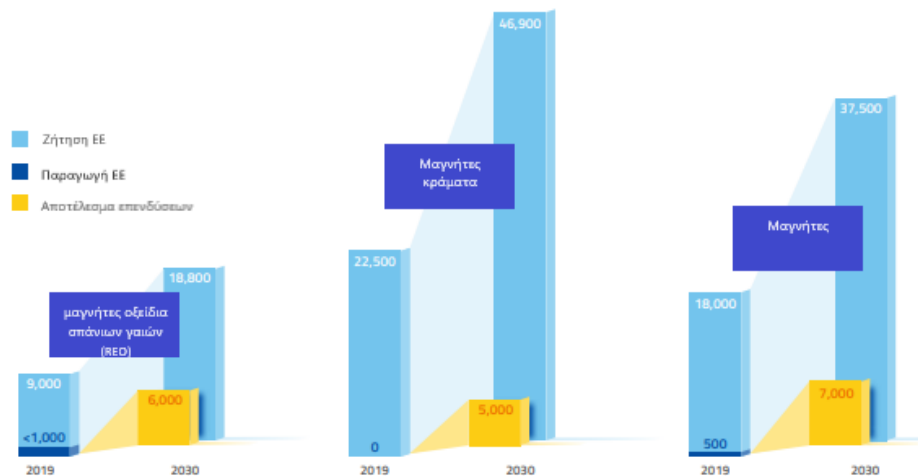
7.4 Από την θεωρία στην πράξη

7.4.1 Cluster για μαγνήτες και κινητήρες σπάνιων γαιών

Για την ΕΕ όλα δείχνουν ότι η εγκατάσταση λειτουργικής και αποτελεσματικής αλυσίδας αξίας σπάνιων γαιών και προϊόντων που χρησιμοποιούν σπάνιες γαίες αποτελεί ύψιστη προτεραιότητα. Και αυτό γιατί εντοπίζονται σε πολλαπλές έρευνες και αναλύσεις, υψηλοί κίνδυνοι στην εφοδιαστική αλυσίδα. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, το πρώτο “cluster” που οργανώθηκε από την ERMA, αφορά στους μαγνήτες και κινητήρες σπάνιων γαιών.

Με σημαντικά αποθέματα σπάνιων γαιών στην Ευρώπη, αλλά μηδαμινή εξορυκτική δραστηριότητα, με μη σημαντική ποσότητα ανακύκλωσης μόνιμων μαγνητών που περιέχουν REEs (<1%) και με αποκλειστικό προμηθευτή μόνιμων μαγνητών REEs (98%) μία χώρα εκτός ΕΕ, σίγουρα είναι πολλά που χρειάζονται να γίνουν. Μέχρι τώρα (2021) έχουν δρομολογηθεί 14 μεγάλα έργα αλυσίδας αξίας. Περιλαμβάνουν όλον τον άξονα από την εξόρυξη (επιφανειακή ή υπόγεια) μέχρι την παραγωγή μαγνητών αυτού του είδους. Αυτά τα projects αντιστοιχούν σε όγκο επενδύσεων 1,7 δις € και φιλοδοξούν να βάλουν τα θεμέλια μιας ευρωπαϊκής βιομηχανίας σπάνιων γαιών. Ένα σύνολο παρεμβάσεων που σκοπό έχει προς το έτος 2030 να καλύψει το 20% της ζήτησης σε επίπεδο ΕΕ. Με σημαντικό πρόσθετο όφελος 400 δις € για την βιομηχανία που χρησιμοποιεί σπάνιες γαίες. Οι παρεμβάσεις αυτές εκτιμάται ότι θα οδηγήσουν στην ανάπτυξη περίπου 6 εκατομμυρίων νέων θέσεων εργασίας (σε επίπεδο ΕΕ των 27) στην αυτοκινητοβιομηχανία και στον τομέα μεταφορών γενικότερα¹³¹.

¹³¹ «Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action», A report by the Rare Earth Magnets and Motors Cluster of the European Raw Materials Alliance, Berlin 2021, σελ. 5, https://eit.europa.eu/sites/default/files/2021_09-24_ree_cluster_report2.pdf



Διάγραμμα 7.2: Συνολική ζήτηση υλικών από σπάνιες γαίες (σε τεμάχια) στην ΕΕ και πόσο, εν δυνάμει, μπορούν να συμβάλλουν οι μέχρι τώρα δρομολογημένες επενδύσεις.

Πηγή¹³²

Τα έτη 2022 και 2023 πάρθηκαν αποφάσεις για τις επενδύσεις που είναι απαραίτητες να πραγματοποιηθούν. Αξίζει να αναφέρουμε ότι ο χρόνος εγκατάστασης μιας ολοκληρωμένης μονάδας επεξεργασίας ή παραγωγής μαγνητών ή ανακύκλωσης είναι 2-5 χρόνια. Για μία νέα μονάδα πρωτογενούς εξόρυξης σπάνιων γαιών από την αρχή αλλά και για μία μονάδα εξόρυξης REEs ως παραπροϊόν σε υπάρχουσα εξόρυξη, η εκτίμηση για τον χρόνο υλοποίησης είναι 8-15 χρόνια.

Η επενδυτική κατεύθυνση δεν είναι μονοσήμαντη για τον τομέα παραγωγής. Ικανά ποσά θα κατευθυνθούν στην υλοποίηση εμπορικών συμμαχιών και συνεργασιών, στο άνοιγμα νέων καναλιών εφοδιασμού, στην επέκταση προγραμμάτων ανακύκλωσης. Θα ενισχυθεί επίσης η Έρευνα και Ανάπτυξη για τεχνολογίες, μεθόδους και αναζήτηση εναλλακτικών υλικών και προϊόντων. Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε τις πρώτες επενδύσεις οι οποίες ήδη έχουν δρομολογηθεί.

¹³² «Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action», ό.π., Berlin 2021, σελ. 29.



Σχήμα 7.4: Περιπτώσεις επένδυσης που η ERMA ταυτοποίησε μέχρι τώρα και που βρίσκονται σε διάφορες περιοχές της Ευρώπης.

Πηγή¹³³

Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα, προς το τέλος του 2024, ξεκινάει τη λειτουργία του το Ευρωπαϊκό εργοστάσιο έρευνας για τις σπάνιες γαίες. Μια ευέλικτη τεχνολογική πλατφόρμα που επιτρέπει την κατασκευή και τη δοκιμή νέων διεργασιών και υλικών σε βιομηχανική πιλοτική κλίμακα. Αυτή η πλατφόρμα είναι συνδεδεμένη με ψηφιακό τρόπο με συγκεκριμένα υπάρχοντα εργαστήρια, πιλοτικές γραμμές και κλίνες δοκιμών, προκειμένου να διευκολυνθεί μια πανευρωπαϊκή συνεργατική και εμπιστευτική προσέγγιση, για τις κατά περίπτωση έρευνες που θα διεξαχθούν¹³⁴.

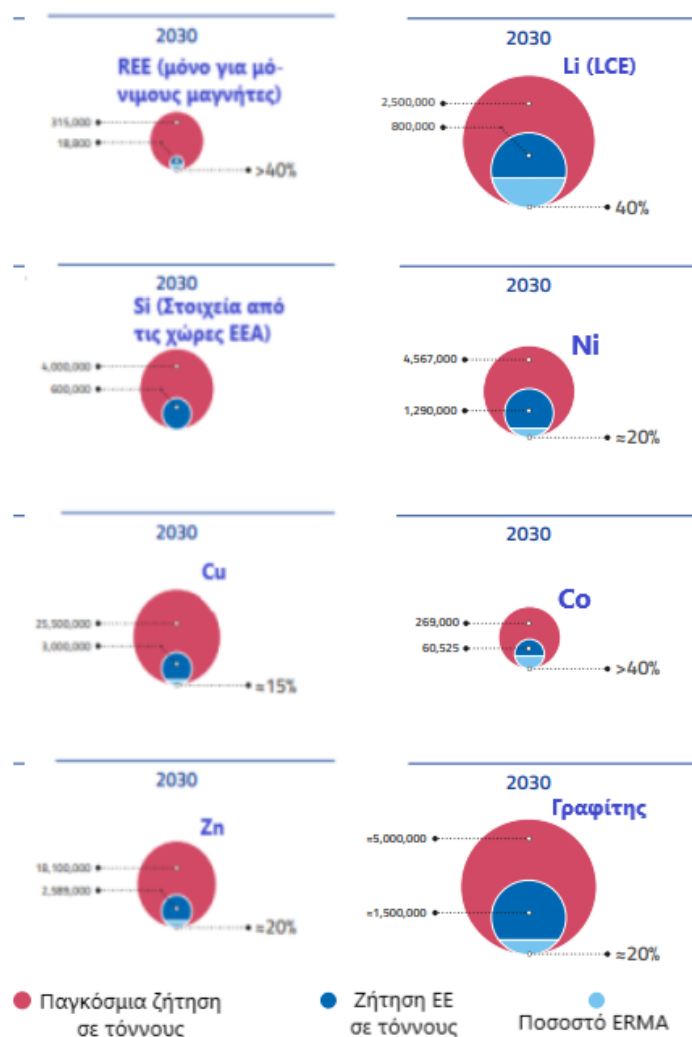
7.4.2 Cluster για πρώτες και προηγμένες ύλες για αποθήκευση και μετατροπή ενέργειας σε σταθερές και μη σταθερές εφαρμογές

Πραγματοποιεί δράσεις σε τέσσερις πρωτογενείς στρατηγικούς τομείς: 1) Υλικά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα που δέχονται την ηλιακή ενέργεια 2) Υλικά για μπαταρίες

¹³³ «Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action», ό.π., Berlin 2021, σελ. 20.

¹³⁴ «Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action», στο ίδιο, Berlin 2021, σελ. 26.

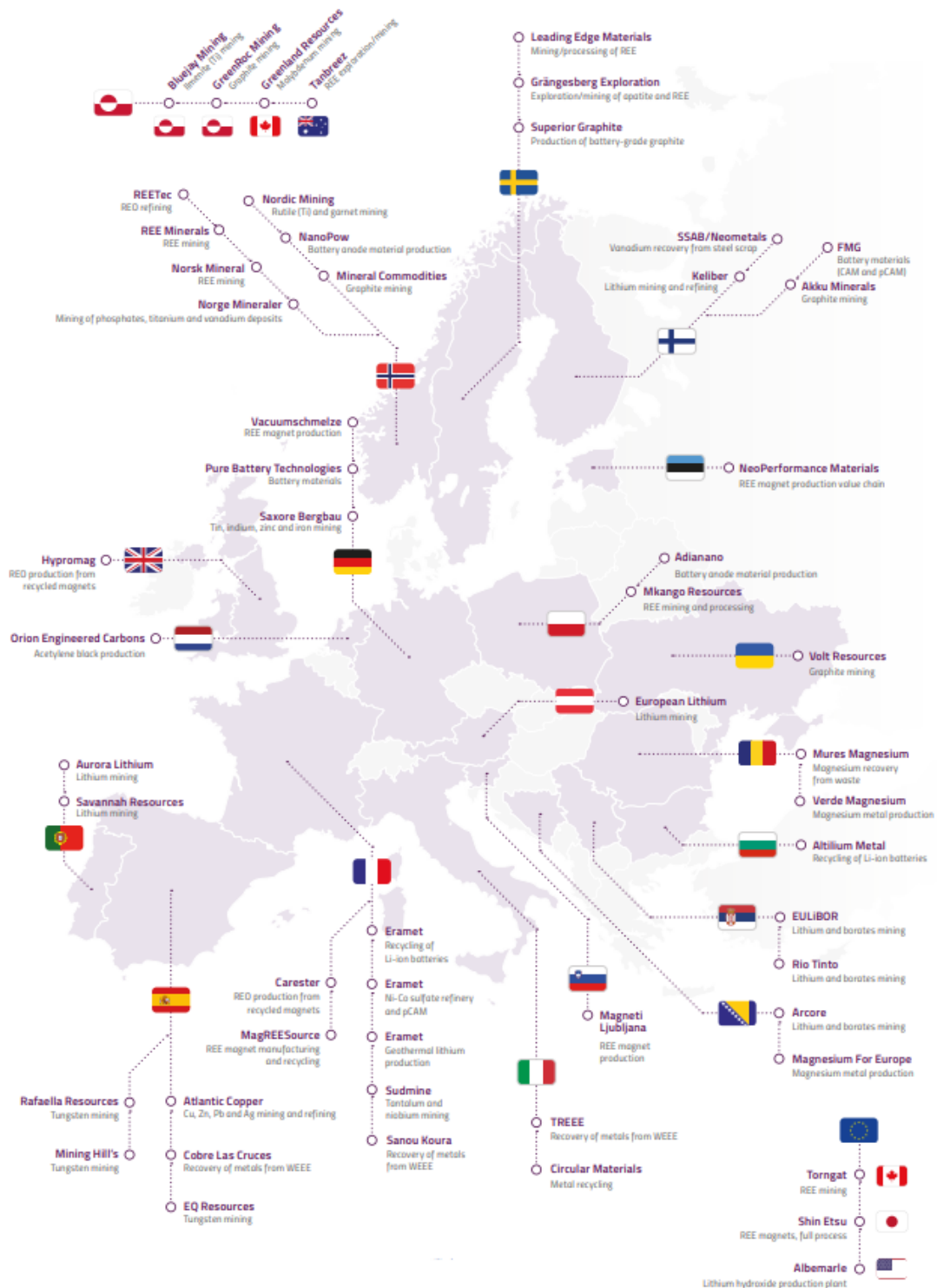
3) Κυψέλες καυσίμου και μονάδες ηλεκτρόλυσης και 4) Εναλλακτικές μορφές αποθήκευσης και μετατροπής ενέργειας. Και στην περίπτωση αυτού του τομέα οι ίδιες καταστάσεις προκάλεσαν την άμεση λήψη μέτρων: Περιορισμένη πρωτογενής παραγωγή εντός ΕΕ, σε μερικά υλικά που αφορούν στον τομέα αποθήκευσης ενέργειας υπάρχει σχεδόν ολοκληρωτική εξάρτηση από εισαγωγές από χώρες εκτός ΕΕ, καθώς επίσης και έλλειψη παρουσίας όλων των κρίκων της αλυσίδας αξίας. Δηλαδή η αλυσίδα που περιλαμβάνει την κοιτασματολογική έρευνα, την εξόρυξη, διαχωρισμό, επεξεργασία, λειτουργία του κλάδου σε συμμόρφωση με τις σύγχρονες περιβαλλοντικές απαιτήσεις, συλλογή προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής και τέλος αποτελεσματικά συστήματα ανακύκλωσης.



Σχήμα 7.5: Πρόβλεψη ποσοστού της ζήτησης που θα καλύψουν οι δράσεις ERMA από τις ανάγκες της ΕΕ με ορίζοντα το έτος 2030. Στο σχήμα φαίνονται επίσης οι προβλέψεις για την ζήτηση (σε τόννους) για την ΕΕ και παγκόσμια το 2030.

Πηγή¹³⁵

¹³⁵ «Materials for Energy Storage and Conversion: A European Call for Action», A report by the Materials for Energy Storage and Conversion Cluster of the European Raw Materials Alliance, Berlin 2023, σελ 12, <https://eitrawmaterials.eu/wp-content/uploads/2023/05/FINAL-ERMA-Cluster-2-DIGITAL.pdf>.



Σχήμα 7.6: Γεωγραφική κατανομή για projects πρώτων υλών που «τρέχουν» και για εν δυνάμει να ενεργοποιηθούν. Υπάρχουν και μερικά έργα που δεν βρίσκονται στον συγκεκριμένο χάρτη για λόγους εμπιστευτικότητας. Περιλαμβάνει την ονομασία της εταιρίας ή του ομίλου που επενδύει καθώς και τα υλικά τα οποία παράγονται, εξορύσσονται ή υποβάλλονται σε επεξεργασία ή ανακυκλώνονται.

Πηγή¹³⁶

¹³⁶ «Materials for Energy Storage and Conversion: A European Call for Action», ό.π., Berlin 2023, σελ 13.

Προχωρώντας σε πρακτικά βήματα το συγκεκριμένο cluster της ERMA, τον Μάιο του 2023, ταυτοποιεί και ενεργοποιεί 50 επενδυτικές περιπτώσεις με επενδυτικά ποσά που υπερβαίνουν τα 15 δις €, στοχεύοντας σε υλικά του τομέα αποθήκευσης και μετατροπής ενέργειας, εντός ΕΕ αλλά και εκτός αυτής¹³⁷. Αυτές οι επενδύσεις που είναι διασκορπισμένες γεωγραφικά, αλλά απλώνονται και σε όλα τα στάδια της αξιακής αλυσίδας, αποσκοπούν στο να καλύψουν ένα σημαντικό μέρος της ζήτησης στο άμεσο μέλλον.

Κλείνοντας την αναφορά μας στις κινήσεις που γίνονται σε επίπεδο ΕΕ, αξίζει να αναφέρουμε τις στρατηγικές συνεργασίες που χτίζονται για την αντιμετώπιση των αναγκών της ενεργειακής μετάβασης. Μέσω της ERMA υπάρχει εταιρική-συνεταιρική σχέση με τον Καναδά. Αυτή η σχέση αφορά ακόμη και στις αποφάσεις για την επενδυτική στόχευση. Μνημόνιο συνεργασίας για τις πρώτες ύλες έχει υπογραφεί και με την Ουκρανία. Στον κύκλο των στρατηγικών εταίρων ανήκουν και το Καζακστάν, η Ναμίμπια, η Γροιλανδία και η Νορβηγία. Έχει επίσης δρομολογηθεί και η διασύνδεση με την Αργεντινή, την Αυστραλία, την Χιλή, την Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό και την Ρουάντα.

Τέλος να αναφέρουμε ότι εκτός από τη στήριξη της βιομηχανίας για μεμονωμένες επενδυτικές περιπτώσεις, η ERMA βοηθά την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στον εντοπισμό αναδυόμενων τεχνολογιών και ερευνητικών θεμάτων που θα αναβαθμίσουν την τεχνογνωσία και την ικανότητα καινοτομίας της ΕΕ. Αυτές περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την εξερεύνηση, την εξόρυξη, την επεξεργασία και την ανακύκλωση υλικών που χρησιμοποιούνται στην ηλιακή ενέργεια, την αιολική ενέργεια και τις τεχνολογίες που σχετίζονται με το Υδρογόνο¹³⁸.

¹³⁷ «*Materials for Energy Storage and Conversion: A European Call for Action*», ό.π., Berlin 2023, σελ 12.

¹³⁸ «*Materials for Energy Storage and Conversion: A European Call for Action*», στο ίδιο, Berlin 2023, σελ 17.

Κεφάλαιο 8^ο: Οι πρώτες ύλες της ενεργειακής μετάβασης στην Ελλάδα

8.1 Δυνατότητες της Ελληνικής Μεταλλευτικής/Μεταλλουργικής Βιομηχανίας (GMMI).

Η Ελλάδα συνεχίζει να διατηρεί ηγετική θέση παγκοσμίως στην παραγωγή και εξαγωγή πολλών βασικών ορυκτών (μεταλλικών και λατομικών) διατηρώντας έτσι ένα ισχυρό συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι άλλων χωρών της ΕΕ. Η ελληνική μεταλλευτική και μεταλλουργική βιομηχανία (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο τομέας των υδρογονανθράκων), αποτελεί σημαντικό τομέα της οικονομικής δραστηριότητας της χώρας, καθώς προμηθεύει βασικές πρώτες ύλες για πρωτογενείς βιομηχανίες και διάφορους downstream χρήστες.

Καλύπτει μέταλλα (Βωξίτη, Νικέλιο, Μόλυβδο, Ψευδάργυρο, Χρυσό, Χαλκό κ.λπ.), βιομηχανικά ορυκτά (Μπεντονίτη, Περλίτη, Μαγνησίτη, Ελαφρόπετρα, Γύψο, ανθρακικό Ασβέστιο, Χουντίτη και βιομηχανική Άργιλο), μάρμαρα, διακοσμητικούς λίθους και αδρανή υλικά.

Η ελληνική εξορυκτική βιομηχανία με μια ματιά:

- Αντιπροσωπεύει σχεδόν το 3% του ελληνικού ΑΕΠ
- Παράγει συνολική αξία άνω των 2 δισεκατομμυρίων ευρώ ετησίως, εκ των οποίων περίπου το 50% εξάγεται
- Αποτελεί σχεδόν το 5% των συνολικών ελληνικών εξαγωγών
- Απασχολεί άμεσα περίπου 20.000 άτομα και έμμεσα 80.000 άτομα¹³⁹

Θα μπορούσε ο κλάδος αυτός να συνεισφέρει στον ευρωπαϊκό σχεδιασμό για εξεύρεση και παραγωγή πρώτων υλών που είναι απαραίτητες για την ενεργειακή μετάβαση;

Υπάρχουν δυνατότητες αύξησης της υπάρχουσας παραγωγής;

Υπάρχουν δυνατότητες εξεύρεσης νέων κοιτασμάτων;

Υπάρχουν δυνατότητες δευτερογενούς παραγωγής;

Υπάρχουν δυνατότητες επεξεργασίας εξορυκτικών αποβλήτων και εγκατάστασης συστημάτων ανακύκλωσης;

Πριν προχωρήσουμε στην εξέταση των ερωτημάτων αυτών, θα θέλαμε να καταγράψουμε βασικά θέματα που αντιμετωπίζει ο τομέας εξόρυξης όπως:

- Απαιτούμενες αλλαγές του Λατομικού-Μεταλλευτικού Νόμου
- Απλοποίηση και επιτάχυνση της Περιβαλλοντικής Αδειοδότησης
- Ολοκλήρωση του Ειδικού Χωροταξικού Σχεδιασμού για τις Ορυκτές Πρώτες Ύλες

¹³⁹ Dr Peter Tzeferis, «The licensing system for Mining and Quarrying works in Greece», άρθρο στον ιστότοπο: [oryktosploutos.net](https://www.oryktosploutos.net), 9 Ιουνίου 2018, <https://www.oryktosploutos.net/2018/06/the-licensing-system-for-mining-and/>

- Ευθυγράμμιση με το Ευρωπαϊκό πλαίσιο για περιοχές Natura 2000
- Επιτάχυνση των διαδικασιών ανάθεσης έργων υποδομής
- Εύρεση εξειδικευμένου προσωπικού
- Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (ιδιαίτερα για υπόγειες εξορύξεις), στην προοπτική αντικατάστασης εξοπλισμού και οχημάτων με ηλεκτροκίνητα
- Εξασφάλιση και διατήρηση της κοινωνικής άδειας λειτουργίας (Social License to Operate)¹⁴⁰

Στην κρίσιμη καμπή του κλάδου, η μεταλλευτική – εξορυκτική Ελλάδα έρχεται πληγωμένη από δύο σημαντικές εξελίξεις: την απότομη εγκατάλειψη των λιγνιτικών κοιτασμάτων ως τροφοδότη παραγωγής ενέργειας και φυσικά το οριστικό κλείσιμο της ΛΑΡΚΟ. Δεν είναι άσχετο με την εργασία μας το γεγονός ότι πολλοί αποδίδουν την βασική αιτία του οριστικού κλεισίματος, στην κατάρρευση των τιμών Νικελίου παγκοσμίως. 23.000 πριν την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία, 48.000 μετά την εισβολή, με σημερινά επίπεδα 17.000 \$/τόνο. Και αυτή η εξέλιξη των τιμών έρχεται μετά την απόφαση της χώρας που ηγείται στην παγκόσμια αγορά (της Ινδονησίας), για την θεαματική αύξηση της παραγωγής. Η ΛΑΡΚΟ δεν είναι το μόνο θύμα. Έχουν οδηγηθεί σε κλείσιμο ή αναστολή εργασιών αρκετές μονάδες σε διάφορες χώρες¹⁴¹. Το παράδειγμα αυτό δείχνει πόσο ευαίσθητη είναι η ανάλυση και προσέγγιση στο αντικείμενο της εργασίας μας.

8.2 Η Ελληνική παραγωγή με αριθμούς

Στην ετήσια έκθεση 2019 της USGS, γίνεται η αναφορά στην Ελλάδα ως ο τρίτος παραγωγός Περλίτη και Ελαφρόπετρας στον κόσμο, ο τέταρτος παραγωγός Μπεντονίτη και ο έβδομος παραγωγός Μαγνησίτη (μη συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής από τις Ηνωμένες Πολιτείες). Η ελληνική παραγωγή σε αυτά τα ορυκτά, αντιπροσώπευε (2019) το 21% της παγκόσμιας παραγωγής Περλίτη, Μπεντονίτη το 8% και Ελαφρόπετρας το 5%. Και ήταν ο μοναδικός παραγωγός Χουντίτη στον κόσμο. Η Ελλάδα ήταν η κύρια πηγή Ελαφρόπετρας και Περλίτη για τις Ηνωμένες Πολιτείες, αντιπροσωπεύοντας το 93% και το 90% των εισαγωγών των ΗΠΑ, αντίστοιχα¹⁴².

Ας δούμε όμως την συνολική εικόνα της παραγωγής ΟΠΥ στην Ελλάδα για το έτος 2022:

¹⁴⁰ «Συνεισφορά της Μεταλλευτικής Βιομηχανίας/Εξορυκτικού Κλάδου στην Πράσινη Μετάβαση», ομιλία στο: DELPHI ECONOMIC FORUM IX, 10-13 Απριλίου 2024, <https://www.sme.gr/omilies-delphi-forum-2024/>

¹⁴¹ «Γιατί κινδυνεύει να μείνει στα αζήτητα η ΛΑΡΚΟ», άρθρο στον ιστότοπο: sofokleousin.gr, <https://www.sofokleousin.gr/giati-kindynevei-na-meinei-sta-azitita-i-larko>, 4 Απριλίου 2024.

¹⁴² Sinan Hastorun, «The Mineral Industry of Greece», 2019 Minerals Yearbook, USGS, Ιούλιος 2022, σελ. 19.1.

Πίνακας 8.1: Παραγωγή μεταλλευτικών μη ενεργειακών ορυκτών, για το έτος 2022, μονάδες μετρικοί τόνοι, εκτός αν σε κάποιο ορυκτό αναφέρεται διαφορετικά.

Πηγή ΥΠΕΝ¹⁴³

Μεταλλευτικά μη Ενεργειακά Ορυκτά	Παραγωγή
Βωξίτης	1 173 319
Αλουμίνα Ένυδρη	861 000
Αλουμίνα Άνυδρη	647 790
Αλουμίνιο	196 927
Ωμός Λευκόλιθος	393 287
Δίπυρος Μαγνησία	23 821
Καυστική Μαγνησία	85 033
Πορίμαχες Μάζες	39 643
Μεικτά θειούχα (εν ξηρώ)	465 258
Αρσеноπορίτης (εν ξηρώ)	114 685
Γαληνίτης (εν ξηρώ)	19 077
Σφαλερίτης (εν ξηρώ)	24 932
Λατερίτης	193 494
Fe-Ni	6 881
Νικέλιο (στο κράμα FeNi)	1 445
Χουοντίτης - Υδρομαγνησίτης	7 840
CO ₂ (g)	8 673
CO ₂ (l)	8 538
CO ₂ (s)	92

¹⁴³ « ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΛΑΤΟΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ », Ετήσια έκθεση για το 2022, ΥΠΕΝ, Αθήνα, Ιανουάριος 2024, σελ.13, <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2023/03/EKΘΕΣΗ-ΟΠΥ-2021.pdf>

Πίνακας 8.2: Παραγωγή ενεργειακών ορυκτών, βιομηχανικών ορυκτών καθώς και αδρανών υλικών, μαρμάρων και σχιστολιθικών πλάκων, για το έτος 2022, μονάδες μετρικοί τόνοι, εκτός αν σε κάποιο ορυκτό αναφέρεται διαφορετικά. Τα δεδομένα του ΦΑ υπάρχουν στην Δ/ση υδρογονανθράκων του ΥΠΕΝ.

Πηγή ΥΠΕΝ¹⁴⁴

Ενεργειακά ορυκτά	
Λιγνίτης	14 340 293
Γεωθερμία (MW _{th})	283
Αργό Πετρέλαιο (bbbls)	na
Φυσικό Αέριο [3] (Nm ³)	0
Βιομηχανικά ορυκτά	
Άργιλος Τσιμεντοβιομηχανίας	1 130 950
Άργιλος Κεραμοποιίας	899 457
Λοιπές Άργιλοι	48 780
Ανθρακικό ασβέστιο	141 768
Γύψος	656 296
Χαλαζιακά ορυκτά	
Ζεόλιθος	4 558
Κερατόλιθος	26 610
Κίσηρις	1 263 870
Μπεντονίτης	1 106 201
Περλίτης	839 108
Ποζολάνη	79 500
Σχιστόλιθος	38 211
Ψαμμίτης	389
Ολιβινίτης/Ολιβίνης	10 000
Αμφιβολίτης	26 892
Μάρμαρα, Σχιστολιθικές Πλάκες	
Μορφωμένα Ογκομάρμαρα (m ³)	244 187
Ξοφάρια	245 268
Λατόπες	704 275
Σχιστολιθικές Πλάκες (m ³)	120 273
Αδρανή υλικά	
Αδρανή	50 887 047
Άμμος	10 977 010
Ασβέστης	95 759
Έτοιμο Μπετόν	121 521
Ασφαλτόμιγμα	255 884
Μαρμαροψηφίδα-Μαρμαροσκόνη	173 928
Υλικά Ειδικών Χρήσεων	1 008 927

¹⁴⁴ « ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΛΑΤΟΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ », Ετήσια έκθεση για το 2022, ό.π., σ.σ.13-14.

8.3 ΚΟΠΥ και ΣΟΠΥ (ΣΚΟΠΥ) στην Ελλάδα

Στα πλαίσια της στρατηγικής δράσης σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, το ενδιαφέρον για την Ελλάδα δεν είναι μόνο να αυξήσει την παραγωγή ΟΠΥ, αλλά στοχευμένα να κινητοποιήσει επενδύσεις σε εκείνα τα υλικά που πρωταγωνιστούν και υποστηρίζουν το δρόμο της ενεργειακής μετάβασης. Η κατεύθυνση της επενδυτικής δραστηριότητας θα έχει τρεις άξονες. Αύξηση δραστηριότητας σε υπάρχουσες εξορύξεις. Αναζήτηση νέων κοιτασμάτων για εξόρυξη. Οργάνωση σημείων αξιοποίησης δευτερογενών κοιτασμάτων και ανάπτυξη συστημάτων ανακύκλωσης.

Από τις κρίσιμες ΟΠΥ, υπάρχει η παραγωγή Βωξίτη, 2 εκατ. τόνοι περίπου ετησίως. Είναι η Ελλάδα πρώτη χώρα σε παραγωγή σε επίπεδο ΕΕ. Και μάλιστα υπάρχει εγχώρια βιομηχανική επεξεργασία, με προϊόντα την Αλουμίνα και το Αλουμίνιο. Επίσης στη χώρα μας παράγεται και Μαγνησίτης ή Λευκόλιθος. Γίνεται επίσης και βιομηχανική επεξεργασία του Μαγνησίτη και παράγονται ενδιάμεσα προϊόντα όπως, πυρίμαχες μάζες, δίπυρος Μαγνησία και καυστική Μαγνησία. Δεν παράγεται μεταλλικό Μαγνήσιο.

Εντός των ελληνικών Δημόσιων Μεταλλευτικών Χώρων (ΔΜΧ), υπάρχει δυνατότητα να παραχθούν (εκτός των Βωξίτη και Μαγνησίτη), PGM, REEs, Βολφράμιο, Γραφίτης, Φωσφορίτης, Πυρίτιο, Κοβάλτιο, Βαρύτης και Αντιμόνιο. Υπάρχουν ελπιδοφόρα κοιτάσματα Αντιμονίτη (Ροδόπη, Χίος, Κιλκίς), Γραφίτη (Ξάνθη), Βολφραμίτη (Χαλκιδική), Φωσφορίτη (Ήπειρος), Πυριτίου (Δράμα, Κιλκίς, Χαλκιδική), Βαρύτη (Κυκλάδες). Επίσης υπάρχουν πολυμεταλλικά κοιτάσματα (PGMs) (Χαλκιδική και αλλού) που περιέχουν και Au.

Για την περιεκτικότητα τους σε σπάνιες γαίες, στο στόχαστρο της κοιτασματολογικής έρευνας έχουν μπει οι προσχωσιγενείς αποθέσεις μεταξύ Χαλκιδικής και Αλεξανδρούπολης και τα λατεριτικά και βωξιτικά μεταλλοφόρα συστήματα στην Στερεά Ελλάδα. Για τα μέταλλα της ηλεκτροκίνησης (μέταλλα μπαταριών και EVs metals) στην Ελλάδα και σε ΔΜΧ έχουμε Μαγγάνιο (Δράμα), Νικέλιο και Κοβάλτιο (στους Λατερίτες). Στο παρελθόν στην Δράμα υπήρξε εξόρυξη ορυκτών παραγωγής Μαγγανίου. Η ποιότητα υλικού κατηγορίας μπαταριών είχε πολύ καλά χαρακτηριστικά, τέτοια ώστε με τον κατάλληλο εμπλουτισμό να μπορεί να δώσει εμπορεύσιμο συμπύκνωμα. Οι ελληνικοί Λατερίτες (στις περιοχές Εύβοια και Άγιο Ιωάννη) έχουν μικρή περιεκτικότητα σε Ni (0,4 – 0.8 %) και Co (0,01 %). Για την παραγωγή των καθαρών μετάλλων, χρειάζεται εκτός από την εξόρυξη, να συνυπάρχει βιομηχανική μονάδα υδρομεταλλουργικής διεργασίας.

Ο ελάχιστος χρονικός κύκλος για την αξιοποίηση ενός κοιτάσματος (κοιτασματολογική έρευνα-εξόρυξη) για την Ελλάδα είναι 10 έτη. Σε ένα υποτιθέμενο διαγωνισμό για ανάθεση

των δικαιωμάτων έρευνας και εκμετάλλευσης, είναι φυσικό η επιλογή να λάβει υπόψη τα εξής κριτήρια:

- 1) Την κρισιμότητα του υλικού σε εθνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο
- 2) Την κοιτασματολογική ωριμότητα
- 3) Την κοινωνική άδεια/ανεκτικότητα από τις τοπικές κοινωνίες
- 4) Το επενδυτικό ενδιαφέρον¹⁴⁵

Εννοείται ότι στην Ελλάδα (όπως και σε όλη την ΕΕ), δεν υπάρχει ακόμη εξορυκτική δραστηριότητα σπάνιων γαιών.



Χάρτης 8.1: Γεωγραφική κατανομή 1701 ερευνητικών κοιτασματολογικών γεωτρήσεων
 Πηγή Ε.Α.Γ.Μ.Ε.- Δ.Ο.Π.Μ.Ε.¹⁴⁶

¹⁴⁵ Δρ Πέτρος Τζεφέρης, «Ελλάδα και Κρίσιμες Ορυκτές Πρώτες Ύλες της ΕΕ», άρθρο στον ιστότοπο: www.oryktosploutos.net, 28 Μαΐου 2022, <https://www.oryktosploutos.net/2022/05/ελλάδα-και-κρίσιμες-ορυκτές-πρώτες-υλ/>.

¹⁴⁶ Ε.Α.Γ.Μ.Ε.- Δ.Ο.Π.Μ.Ε., *Ερευνητικές Γεωτρήσεις*, δεδομένα από τον ιστότοπο: gaia.igme.gr, <https://gaia.igme.gr/portal/apps/dashboards/307f3f4f998b40cab2d13a04bc342ac>

8.4 Έρευνες για Γάλλιο και Γερμάνιο στην Ελλάδα

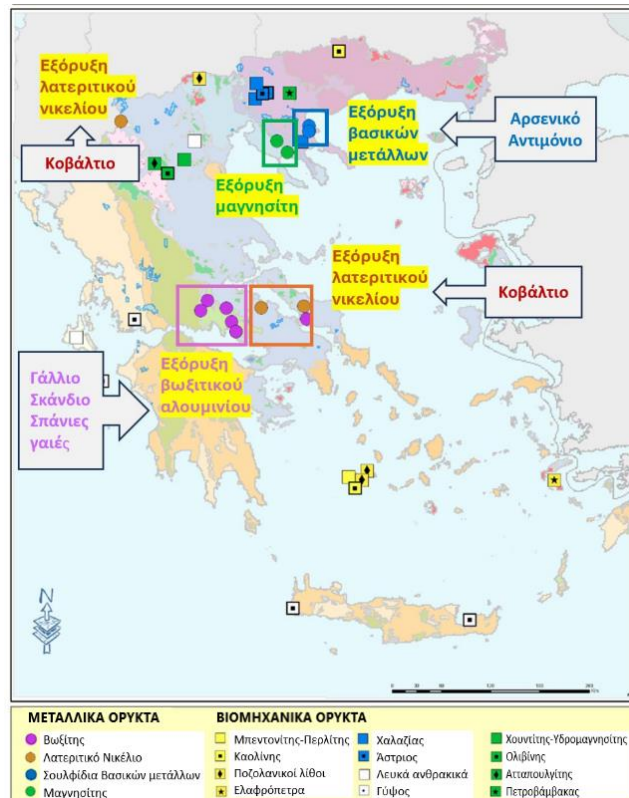
Η εταιρία που διεξάγει κοιτασματολογικές έρευνες στην περιοχή των Μολάων Λακωνίας, μετά από τις σχετικές αναλύσεις, ανακοίνωσε ότι το συγκεκριμένο κοίτασμα είναι υψηλής ποιότητας σε Ψευδάργυρο, Μόλυβδο, Άργυρο αλλά και σε προσθήκη Γερμανίου. Συγκεκριμένα για το Γερμάνιο, ο σταθμισμένος μέσος όρος των 51 δειγμάτων που συλλέχθηκαν κατά την εκ νέου ανάλυση του πυρήνα από τους Μολάους, είναι 51 γραμμάρια ανά τόνο (g/t) Ge, με μέγιστη τιμή 197 g/t Ge. Το 41% των δειγμάτων έδωσαν τιμές Γερμανίου πάνω από 50 g/t. Το συγκεκριμένο υλικό δεν παράγεται αυτογενώς από κάποιο ορυκτό. Οι μεγαλύτερες ποσότητες Ge, είναι παραπροϊόν της μεταλλουργίας κυρίως των Ψευδαργύρου, Χαλκού και Μολύβδου. Η μεταλλουργική κατεργασία αφήνει ένα συμπύκνωμα που περιέχει Ge. Για την ανάκτηση του Ge ακολουθούν υδρομεταλλουργικές διεργασίες (με οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος). Επομένως και στην περίπτωση αυτή, καθοριστική σημασία για την υλοποίηση μιας τέτοιας επένδυσης, θα είναι η πρόβλεψη για την εμπορευσιμότητα ή μη των προϊόντων που παράγονται¹⁴⁷.

Η μελέτη των ελληνικών κοιτασμάτων Βωξίτη, έδειξε ότι περιέχει εκτός από Αλουμίνιο και πλούσιες ποσότητες Γαλλίου. Περιέχει επίσης και σημαντικές ποσότητες σε σπάνιες γαίες (Sc, La και άλλες). Η παραγωγός εταιρία αναφέρει ότι οι ποσότητες Ga είναι τέτοιες ώστε να μπορούν να καλύψουν την ετήσια ζήτηση της ΕΕ. Γι' αυτό και υποβάλλει στο Ταμείο Καινοτομίας, επενδυτικό project 350 εκ. ευρώ για το Βωξίτη, το Γάλλιο και το Αλουμίνιο, ζητώντας και ανάλογη χρηματοδότηση¹⁴⁸.

Υπάρχει κινητικότητα και για έναρξη κοιτασματολογικών ερευνών για Αντιμόνιο στην Ελλάδα, αλλά αφήνουμε την περίπτωση αυτού του ορυκτού γιατί δεν συνδέεται άμεσα με την ενεργειακή μετάβαση.

¹⁴⁷ «Γερμάνιο (Ge) βρέθηκε στο κοίτασμα των Μολάων», άρθρο στον ιστότοπο: oryktosploutos.net, 10 Μαΐου 2022, <https://www.oryktosploutos.net/2022/05/rockfire-resources-plc-germanio-brēthke-sto-koitasma-tw/>.

¹⁴⁸ «E. Μυτιληναίος στο Raw Materials 2030: επενδύουμε 350 εκατ. σε γάλλιο-βωξίτη-αλουμίνιο – Χρειαζόμαστε τη στήριξη της Ευρώπης», απόσπασμα ομιλίας στο: oryktosploutos.net, 19 Απριλίου 2024, <https://www.oryktosploutos.net/2024/04/ευάγγελος-μυτιληναίος-επενδύουμε-350-εκ/>.

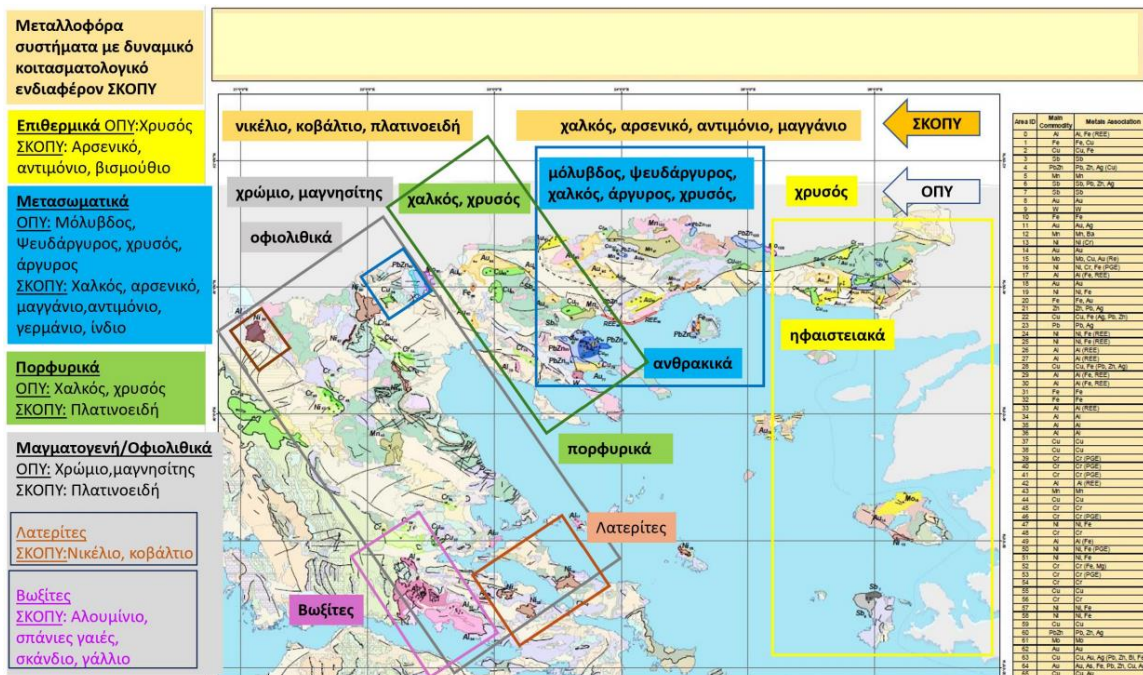


Χάρτης 8.2 : Ορυκτά (μη ενεργειακής χρήσης) σε ορυχεία σε λειτουργία στην Ελλάδα.
 Πηγή: Επιμέλεια Δρ.Ν.Αρβανιτίδης

Προς το τέλος του 2024, ξεκινάει διαγωνισμός ανάθεσης για τον δημόσιο μεταλλευτικό χώρο των Κιμμερίων Ξάνθης. Για την περιοχή αυτή η ΕΑΓΜΕ έχει εκπονήσει πλήρη κοιτασματολογική μελέτη, που αναφέρει ότι υπάρχει μεταλλοφορία Μαγνητίτη, Σιδηροπυρίτη, Χαλκοπυρίτη και Μολυβδαίνιτη, με μικρά ποσοστά συμμετοχής Σεελίτη. Αξίζει να αναφέρουμε ότι οι έρευνες που γίνονται από την ΕΑΓΜΕ, για τον εντοπισμό και επιβεβαίωση κοιτασμάτων στην Ελλάδα, χρηματοδοτούνται με περίπου 15 εκατ. ευρώ που έχουν δεσμευτεί για το 2024, από τα έσοδα των πλειστηριασμών δικαιωμάτων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Σε σχέση με τις σπάνιες γαίες, πανεπιστημιακές μελέτες εντοπίζουν, κυρίως στη Θράκη, κοιτασματολογικούς τύπους με σημαντικές περιεκτικότητες σε Βολφράμιο, Τελλούριο, Ρήνιο, Μολυβδαίνιο, Γάλλιο, Γερμάνιο κ.ά.¹⁴⁹.

Σε μία πιο συστηματική απεικόνιση, καταγράφονται στον χάρτη που είναι παρακάτω περιοχές όπου στο παρελθόν έχει υπάρξει μεταλλευτική δραστηριότητα ή/και έχουν προηγηθεί γεωλογικές έρευνες. Καταγράφεται επίσης ο εκάστοτε κοιτασματολογικός στόχος και ο βαθμός κοιτασματολογικής ωριμότητας που έχει προκύψει.

¹⁴⁹ «Ορυκτές πρώτες ύλες: Στα σκαριά διαγωνισμοί εξόρυξης σε Χίο και Ξάνθη», άρθρο στον ιστότοπο: [orgyktosploutos.net](https://www.orgyktosploutos.net), 7 Μαΐου 2024, <https://www.orgyktosploutos.net/2024/05/ορυκτές-πρώτες-ύλες-στα-σκαριά-διαγων/>.



Χάρτης 8.3 : Δυναμικά κοιτασματολογικά συστήματα με Στρατηγικές και Κρίσιμες Πρώτες Ύλες στην Ελλάδα: Βωξίτες με Αλουμίνιο, Σκάνδιο και Γάλλιο, Λατερίτες με Νικέλιο και Κοβάλτιο, προρφυρικά με Χαλκό και Χρυσό, ανθρακικά με Μόλυβδο, Ψευδάργυρο, Χαλκό-Χρυσό και Άργυρο, ηφαιστειακά επιθερμικά με Χρυσό, Αρσενικό, Αντιμόνιο και Βισμούθιο. Πηγή: ΕΑΓΜΕ/Promine database
 Επιμέλεια χάρτη : Δρ. Ν. Αρβανιτίδης.

Όπως έχουμε αναφέρει και πιο πάνω, ο στόχος είναι η δημιουργία ανθεκτικών, ολοκληρωμένων και βιώσιμων αλυσίδων αξίας που χρειάζονται ΣΚΟΠΥ. Θα μπορούσε άραγε η χώρα μας να γίνει παραγωγός μπαταριών Li, ηλεκτρικών οχημάτων, Φ/Β ή Α/Γ ; Πάρα πολύ κοντά στην υλοποίηση λειτουργίας παραγωγικής μονάδας βρίσκεται ο όμιλος SUNLIGHT, ο οποίος όπως αναφέρει στην ιστοσελίδα του «*Βασιζόμενοι στην πολυετή υψηλού επιπέδου έρευνα που έχουμε διεξαγάγει στον κλάδο της τεχνολογίας Λιθίου, επενδύουμε στην ανάπτυξη και παραγωγή μπαταριών ιόντων Λιθίου και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας*»¹⁵⁰.

Δυσκολότερο εγχείρημα, για την Ελλάδα, είναι η παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Στον τομέα αυτό, δεν υπάρχει ιστορικό επιτυχίας. Πολλοί λόγοι δεν καθιστούν μία τέτοια επένδυση κερδοφόρα και βιώσιμη. Όμως αξίζει να σημειωθεί ότι η γειτονική Τουρκία κατάφερε να οργανώσει βιομηχανία αυτοκινήτων. Αυτό το εγχείρημα είναι στο ξεκίνημά του και δεν υπάρχουν δεδομένα εμπορικών αποτελεσμάτων. Σίγουρα και αυτή η βιομηχανία αυτοκινήτων θα παρακολουθήσει και θα αξιοποιήσει τις εξελίξεις που φέρνει η ενεργειακή μετάβαση.

¹⁵⁰ <https://www.the-sunlight-group.com/el/global/lithium-ion/>

Εκτός από τις δυνατότητες παραγωγής ορυκτών πρώτων υλών και της παραγωγής τελικών προϊόντων χρήσιμων να επιτευχθούν οι ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί στόχοι, η προσπάθεια στην Ελλάδα είναι καλό να γίνει και προς την κατεύθυνση της ενίσχυσης κάποιων από τα επιμέρους στάδια της όλης αλυσίδας. Είναι εφικτός στόχος να ενδυναμωθεί η βιομηχανική επεξεργασία ορυκτών, η δευτερογενής παραγωγή αλλά και όπου είναι δυνατόν να εγκατασταθούν μονάδες ανακύκλωσης προϊόντων στο τέλος κύκλου ζωής τους (πχ μπαταρίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων, μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας, μαγνήτες, Φ/Β, Α/Γ);

Αξίζει να σημειωθεί ότι η πρόοδος στον τομέα εγκατάστασης βιώσιμων αλυσίδων αξίας που χρειάζονται ΣΚΟΠΥ για την Ελλάδα, δεν γίνεται ξεκομμένα και αυτόνομα. Γίνεται σε συνεργασία με το υπόλοιπο δίκτυο που αναπτύσσεται εντός της ΕΕ. Και αυτό γιατί αν δεν μπορέσει μία χώρα να έχει σε λειτουργία όλα τα στάδια της αλυσίδας, τουλάχιστον η αλυσίδα αξίας συνολικά να βρίσκεται εντός της ΕΕ. Απώτερος δηλαδή στόχος να είναι η μείωση της εξάρτησης από χώρες εκτός ΕΕ. Άλλωστε και η δράση για τις ορυκτές πρώτες ύλες (CRMA), σχεδιάζει, οργανώνει και παρακολουθεί τις εξελίξεις σε κάθε χώρα και προτείνει ακόμη και διακρατικές συνεργασίες. Για παράδειγμα, χρηματοδοτεί διασυνοριακή κοιτασματολογική έρευνα δύο ή περισσότερων χωρών, όπως έγινε με τις Σουηδία, Νορβηγία και Φινλανδία, οι οποίες έχουν αναλάβει κοινές προσπάθειες κοιτασματολογικής έρευνας και αξιολόγησης, για την αύξηση του δυναμικού ΣΚΟΠΥ μπαταριών και μαγνητών.

8.5 Δευτερογενής παραγωγή

Μία άλλη παράμετρος επιτυχίας της ενεργειακής μετάβασης και επίτευξης των περιβαλλοντικών στόχων είναι, οι χώρες που το επιθυμούν, να ενστερνιστούν τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης. Χωρίς να επεκταθούμε σε όλο το φάσμα της αειφορίας, εστιάζομαστε στην ζωτική λειτουργία της κυκλικής οικονομίας. Αυτό δεν σημαίνει ότι είναι έξω από τα όρια της εργασίας μας έννοιες όπως η ηθική της εξόρυξης, η εταιρική ευθύνη για την κοινωνική βελτίωση και πρόοδο, κοινωνική άδεια και συναίνεση κ.ά.

Στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας, η αξιοποίηση των ΟΠΥ είναι απαραίτητο να είναι καθολική και κυκλική. Να περιλαμβάνει δηλαδή πρωτογενή και δευτερογενή εξόρυξη, αλλά και ανάκτηση και ανακύκλωση υλικών. Στην καθολικότητα εντάσσεται και η απόφαση να εξορύσσονται πρωτογενώς όσα υλικά είναι τεχνολογικά και οικονομικά εφικτά. Το ίδιο και για την δευτερογενή εξόρυξη, πρώτον να οργανωθεί όπου δεν υπάρχει (εάν και αυτή είναι τεχνολογικά και οικονομικά εφικτή) και μετά να εξάγει όσα υλικά είναι εφικτά. Στην κυκλικότητα εντάσσεται το δυναμικό ανακυκλωμένων ΣΚΟΠΥ που προέρχεται από τρεις δευτερογενείς «κοιτασματολογικές» πηγές, (1) τα μεταλλευτικά απόβλητα, (2) τα βιομηχανικά

απόβλητα και (3) «ξοφλημένα» προϊόντα/EoL. Το παραγωγικό τους δυναμικό σύμφωνα με τον Κανονισμό (Δράση) πρέπει να αυξηθεί πάρα πολύ και να φτάσει το 15% (επιθυμητό 25%). Εδώ χρειάζεται να επιστρατευτεί η συνέργεια όλων των φάσεων του μεταλλευτικού κύκλου ζωής: της εξόρυξης, της βιομηχανικής επεξεργασίας, της μεταποίησης και της ανάκτησης - ανακύκλωσης. Υπεύθυνη και βιώσιμη μεταλλευτική δραστηριότητα. Ιχνηλασιμότητα σε όλα τα στάδια αλλά και διαρκής έρευνα-αναζήτηση για τεχνολογική καινοτομία και ανάπτυξη, είναι «υλικά» που συνθέτουν και συμβάλλουν σε μία επιτυχημένη πορεία.



Σχήμα 8.1 : Τα στάδια του μεταλλευτικού κύκλου ζωής.
Πηγή : Δρ. Ν. Αρβανιτίδης

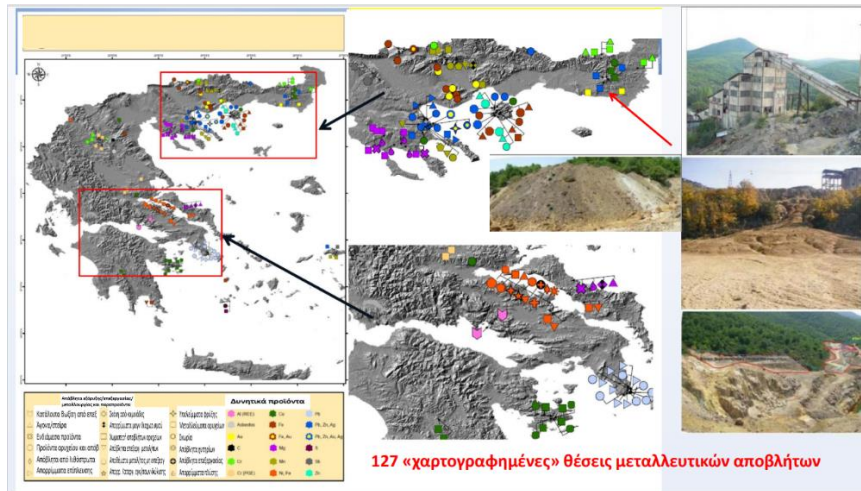
8.6 Δευτερογενής παραγωγή στην Ελλάδα

Στο πρόσφατο DELPHI ECONOMIC FORUM IX, καταγράφηκε η άποψη του ΣΜΕ για την παρούσα κατάσταση του κλάδου, αλλά και οι γενικές κατευθύνσεις που δεσμεύονται οι επιχειρήσεις να ακολουθήσουν. Χαρακτηριστική είναι η αναφορά προέδρου ιδιωτικής εξορυκτικής εταιρίας: «τα μέλη του Συνδέσμου Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων υιοθέτησαν τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης ήδη από το 2006. Η κυκλική οικονομία είναι ήδη παρούσα στο κλάδο μας όχι επειδή “είναι μόδα” αλλά γιατί “αυτό χρειαζόμαστε”. Οι επιχειρήσεις που ανήκουν στον Σύνδεσμο μεταξύ άλλων εφαρμόζουν:

- “Όχι μία τρύπα στο έδαφος, όχι μια τρύπα στην κοινωνία”, όταν με την ολοκλήρωση της εξόρυξης η έκταση επιστρέφεται σε μεγάλο βαθμό στη προηγούμενη χρήση ή και σε μετα-μεταλλευτικές χρήσεις με υψηλότερη προστιθέμενη αξία.
- Αξιοποίηση «δευτερογενών κοιτασμάτων», δηλαδή κοιτασμάτων που δεν δημιουργήθηκαν από τις γεωλογικές διεργασίες αλλά είναι παραπροϊόντα παλιότερων διεργασιών. Παράδειγμα

τέτοιας αξιοποίησης είναι η σχεδιαζόμενη ανάκτηση των σπανίων γαιών Σκάνδιο και Γερμάνιο από τα παραπροϊόντα της Ελληνικής μεταλλουργίας Αλουμίνας-Αλουμινίου»¹⁵¹.

Ανεξάρτητα εάν είναι γρήγοροι οι ρυθμοί ή όχι, έχει αρχίσει η καταγραφή των χώρων απόθεσης αποβλήτων από το παρελθόν, αλλά και των χώρων απόθεσης μη επεξεργασμένων προϊόντων εξόρυξης. Μέχρι στιγμής έχουν χαρτογραφηθεί 127 τέτοιες θέσεις.



Χάρτης 8.4: Γεωγραφική κατανομή χαρτογραφημένων θέσεων όπου υπάρχουν αποθέσεις μεταλλικών αποβλήτων.

Πηγή: Δρ. Ν. Αρβανιτίδης

Το δυναμικό αυτών των χώρων σε ποσότητες είναι ικανοποιητικό, για να ξεκινήσει η δευτερογενής επεξεργασία τους. Αλλά και τα απόβλητα από την παρούσα “φρέσκια” παραγωγή, είναι υποχρεωτικό πλέον (για μία εταιρία που έχει υπευθυνότητα) να υποβάλλονται σε δεύτερη επεξεργασία. Όμως μία τέτοια λειτουργία για να είναι βιώσιμη χρειάζεται να προηγηθεί λεπτομερής έρευνα. Το τεχνολογικό επίπεδο για τον διαχωρισμό και την επεξεργασία, οι διεθνείς τιμές των πρώτων υλών, ακόμη και το περιβαλλοντικό κόστος, είναι μερικές από τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την πραγματοποίηση μίας μη ζημιογόνου μονάδας δευτερογενούς επεξεργασίας.

Παράλληλα με την δυναμική πορεία της εξορυκτικής βιομηχανίας και την κινητικότητα που παρατηρείται σε Ελληνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο, συνεχίζεται εντατικά και η έρευνα για ανεύρεση και άλλων τρόπων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Είναι και αυτή μία παράμετρος στην εξίσωση της ενεργειακής μετάβασης. Η ανάπτυξη αυτού του παράγοντα συμβάλλει στην μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Επιπλέον, αν αναπτυχθούν συμπληρωματικές εφαρμογές ΑΠΕ, θα μειωθεί η ένταση ζήτησης υλικών που ανήκουν στην κρίσιμη ομάδα. Η εργασία μας δεν θα συμπεριλάβει τις εξελίξεις στον τομέα αυτό. Άλλωστε στον τομέα

¹⁵¹ «Συνεισφορά της Μεταλλευτικής Βιομηχανίας/Εξορυκτικού Κλάδου στην Πράσινη Μετάβαση», ομιλία στο: DELPHI ECONOMIC FORUM IX, 10-13 Απριλίου 2024, <https://www.sme.gr/omilies-delphi-forum-2024/>.

ανάπτυξης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, η χώρα μας κάνει σημαντικά βήματα αφού κατάφερε να επιτύχει από τώρα τον στόχο του έτους 2030 για την εγκατεστημένη ισχύ (28 GW σήμερα έναντι στόχου 23,5 GW για το 2030)¹⁵².

¹⁵² «ΑΠΕ: Υπέρβαση του στόχου για το 2030 επτά χρόνια νωρίτερα», άρθρο στον ιστότοπο: energygame.gr, 22 Μαρτίου 2024, <https://www.energygame.gr/ananeosimes-piges-ape/371369/ape-ypervasi-tou-stochou-gia-to-2030-epta-chronia-noritera/>.

Κεφάλαιο 9^ο: Επίλογος-Συμπεράσματα και προτάσεις

9.1 Αβεβαιότητες

Το ξεκίνημα της εργασίας μας κατέγραψε τη στόχευση της παγκόσμιας κοινότητας, να κρατηθεί η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη μέχρι το 2100, στα όρια των 1,5-2°C, σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Η στόχευση αυτή καθόρισε την ταχύτητα με την οποία είναι επιθυμητό να εξελιχθεί η ενεργειακή μετάβαση. Στη συνέχεια τέθηκε ένα περιβαλλοντικό χρονικό όριο για το 2050, να υπάρχει μηδενικό αποτύπωμα στην εκπομπή αερίων θερμοκηπίου. Με αυτή την υποδομή, έγινε η προβολή των αναγκών σε πρώτες ύλες με ορίζοντα το 2050. Όλες αυτές οι παραδοχές είναι κάπως αυθαίρετες, και δίνουν στις εκτιμήσεις της μελλοντικής προβολής μικρή πιθανότητα επαλήθευσης.

Πρώτη αυθαίρετη παραδοχή είναι ότι η παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας, εξαρτάται μονοσήμαντα από την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου και από τον τρόπο παραγωγής ενέργειας. Δεν υπάρχουν άλλοι παράγοντες διαταραχής του οικοσυστήματος. Και επίσης παραδεχόμαστε ότι η μέχρι τώρα ζημιά είναι αναστρέψιμη. Δηλαδή, αν καλυφθεί η απαιτούμενη ζήτηση πρώτων υλών και επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός της ενεργειακής μετάβασης, τότε θα έχουμε μικρή θερμοκρασιακή αύξηση. Η μικρή πιθανότητα επιτυχίας αποδεικνύεται από τα μέχρι τώρα ρεαλιστικά δεδομένα. Για παράδειγμα το έτος 2020 μαζί με το έτος 2006, καταγράφηκαν οι υψηλότερες θερμοκρασίες επιφάνειας της γης. Συγκεκριμένα, το 2020 η μέση θερμοκρασία ήταν 1,02°C υψηλότερη από τον μέσο όρο των ετών 1951-1980 που παίρνουμε σαν βάση¹⁵³.

Δεύτερη αυθαίρετη παραδοχή είναι ότι θα συγκεντρωθούν οι αναγκαίες ορυκτές πρώτες ύλες που θα καλύψουν τον ρυθμό και τις ποσοτικές απαιτήσεις της ενεργειακής μετάβασης. Αυτό δεν προκύπτει επίσης από τα μέχρι τώρα πραγματικά δεδομένα. Υπάρχει ένας κύκλος που συνδέει την αυξημένη προσφορά των πρώτων υλών. Ξεκινά από την πολιτική βούληση αρχών και κυβερνήσεων, συνδέεται με το επενδυτικό ενδιαφέρον, επηρεάζεται από τις τεχνολογικές και ποσοτικές δυνατότητες της εξορυκτικής βιομηχανίας, έχει άμεση εξάρτηση από τις διεθνείς τιμές των πρώτων υλών στην παγκόσμια αγορά, απαιτεί την κοινωνική συναίνεση σε τοπικό επίπεδο παραγωγής. Βασικός όμως παράγοντας αβεβαιότητας είναι η γεωστρατηγική σπουδαιότητα που απέκτησαν οι πρώτες ύλες, θέμα για το οποίο θα αναφερθούμε παρακάτω.

¹⁵³ <https://earthobservatory.nasa.gov/images/147794/2020-tied-for-warmest-year-on-record>

Τρίτη αυθαίρετη παραδοχή είναι ότι εάν υπάρχει η αναγκαία διαθεσιμότητα των πρώτων υλών, σε κανονικά επίπεδα τιμών, θα παραχθούν, θα πουληθούν και θα χρησιμοποιηθούν ή θα μπουν σε λειτουργία, οι αναγκαίες ποσότητες μηχανημάτων, συσκευών, αυτοκινήτων και άλλων προϊόντων που χρειάζονται για την ενεργειακή μετάβαση, στην προβλεπόμενη χρονική περίοδο. Το μοντέλο αλλαγών της περιόδου 1945-1995, σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να το εφαρμόσουμε για την περίοδο 2025-2075. Η πληθυσμιακή έκρηξη, η οικονομική αστάθεια με κρίσεις περίπου κάθε δεκαετία, η γεωπολιτική αστάθεια, συνθέτουν συνθήκες που επηρεάζουν άμεσα την εξορυκτική βιομηχανία, την βιομηχανική παραγωγή και τις καταναλωτικές συνήθειες και επιλογές. Με επιπλέον παράγοντα την αυξημένη περιβαλλοντική ευαισθησία αλλά και την σταδιακά αυξανόμενη ανησυχία της παγκόσμιας κοινότητας για την ηθική πλευρά της ενεργειακής μετάβασης. Και αναφερόμαστε στην παιδική απασχόληση, τις συνθήκες εργασιακής εκμετάλλευσης, την ισχυροποίηση αυταρχικών καθεστώτων, αλλά και την αύξηση του χάσματος μεταξύ πλούσιων και φτωχών χωρών. Ακόμη περισσότερο όταν υπάρχουν φτωχές χώρες με πλούσιο υπέδαφος.

Πάντως οι υπάρχοντες στόχοι, ανεξάρτητα από την αβεβαιότητα που έχουν, είναι χρήσιμοι. Πρώτον για να υπάρχει μετρήσιμη πρόοδος και δεύτερον να υπολογίσουμε το ποσοστό επιτυχίας στο τέλος της χρονικής περιόδου που προβλέπεται.

9.2 Κίνα: ο απρόβλεπτος παράγοντας

Η Κίνα, τις πρώτες δεκαετίες της μετακομμουνιστικής εποχής, έδειξε μία συμπόρευση με τη δύση, από την οποία πήρε μία τεχνογνωσία και η οποία δύση, βοήθησε να στηθεί μία βιομηχανική υποδομή. Προχώρησε με γρήγορα βήματα και με υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης σε μία αξιοσημείωτη οικονομική πρόοδο. Όμως για την Κίνα αυτή η συμπόρευση δεν είχε μόνιμο χαρακτήρα. Με αφορμή την διένεξη Ρωσίας Ουκρανίας, φάνηκε μία διάθεση να αποφασίζει και να διαμορφώνει συμμαχίες, χωρίς να επηρεάζεται από οικονομικούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς συμμάχους. Την συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η παγκόσμια κοινότητα που είναι προσηλωμένη στην ενεργειακή μετάβαση, συνειδητοποίησε ότι η Κίνα είναι παραγωγός χώρα πρώτων υλών που είναι απόλυτα απαραίτητες για τους ενεργειακούς στόχους. Και επιπλέον είναι παγκόσμιος ηγέτης στην βιομηχανική επεξεργασία κρίσιμων πρώτων υλών.

Αυτό που ενδιαφέρει την εργασία μας, είναι η υποψία που υπάρχει ότι οι κρίσιμες πρώτες ύλες για την Κίνα δεν είναι μόνο ένα εμπορικό αγαθό. Μπορεί να είναι εργαλείο γεωστρατηγικής επιρροής, ελέγχου αμυντικής τεχνολογίας και πιθανόν το όχημα για να γίνει η δεύτερη ή η πρώτη υπερδύναμη στον πλανήτη. Ο έλεγχος από το κράτος στις εξαγωγές

ΚΟΠΥ, ίσως είναι ένα πρώτο βήμα σε αυτή την κατεύθυνση. Παρακάμπτοντας αυτή τη διάσταση, η εργασία μας καταγράφει την καθυστερημένη αντίδραση της ΕΕ και γενικότερα της δύσης, να μειώσουν το ποσοστό εξάρτησης από τις πρώτες ύλες ΚΟΠΥ της Κίνας και το μονοπώλιο που έχει σε μερικές από αυτές στην βιομηχανική επεξεργασία τους.

Η καθυστερημένη αντίδραση της δύσης, φανέρωσε και τις συσσωρευμένες αδυναμίες που κρύβονταν. Αν αναφερθούμε στην ΕΕ που γνωρίζουμε καλύτερα, η αδυναμία πρόβλεψης και η εκ των υστέρων αντιδραστικές-αντανακλαστικές κινήσεις, δείχνουν έναν καλά στημένο γραφειοκρατικό μηχανισμό, χωρίς προβλεπτική ηγεσία. Παράλληλα με αυτό τον μηχανισμό, έδειξε μία εξαρτώμενη εξορυκτική βιομηχανία που δεν έδωσε δείγματα πρωτοπορίας και ανάπτυξης. Χωρίς να θίξει την κατεστημένη κατάσταση, έστω και αν υπήρχαν εξόφθαλμες καταστάσεις, όπως ήταν και είναι ακόμη οι υπερβολικοί χρόνοι αδειοδότησης. Στο ίδιο μοτίβο και η ακαδημαϊκή κοινότητα, εξαρτώμενη από τα κονδύλια της ΕΕ, απέτυχε να συνδεθεί με τον ιδιωτικό τομέα και τις ανάγκες του και κυρίως να προσφέρει το συγκριτικό πλεονέκτημα που έχει η Ευρώπη, την δυνατότητα παραγωγής τεχνογνωσίας και την προσφορά λύσεων μέσω της έρευνας, που θα υπερκαλύπτουν το φθινό κόστος της ασιατικής πλευράς.

Αφήνοντας την κριτική, θα θέλαμε να αναφερθούμε σε προτάσεις προς την κατεύθυνση της βελτίωσης των συνθηκών της ενεργειακής μετάβασης. Σε πρώτη φάση προτείνουμε την δικτύωση των σημείων έρευνας, αλλά και την δικτύωση των εξορυκτικών επιχειρήσεων. Κάθε ερευνητικός οργανισμός χρειάζεται να γνωρίζει τις παράλληλες και συμπληρωματικές ερευνητικές προσπάθειες που γίνονται την ίδια περίοδο. Οι παρόμοιες έρευνες θα μπορούσαν να γίνονται από κοινού και οι συμπληρωματικές προσπάθειες θα ήταν καλό να αλληλεπιδράσουν με βάση τις αρχές της εμπιστευτικότητας φυσικά.

Το ίδιο αναγκαίες είναι και οι συμπράξεις εξορυκτικών εταιριών. Για παράδειγμα ένας αριθμός εταιριών που παράγουν το ίδιο μέταλλευμα να συμπράξουν επενδυτικά και επιχειρηματικά για να ιδρύσουν μονάδα βιομηχανικής επεξεργασίας του μεταλλεύματος, αντί όλες να στέλνουν το προϊόν τους, στην Κίνα για παράδειγμα, για επεξεργασία. Στην νέα περίοδο που διανύουμε, χρειάζεται η στενή συνεργασία ακόμη και για μία τέτοια προσπάθεια με έναν εκπαιδευτικό-ερευνητικό οργανισμό. Για όλο αυτό το πλέγμα συνεργασιών και συμπράξεων είναι απαραίτητος βοηθός ένα εξειδικευμένο πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης. Για το θέμα αυτό θα αναφερθούμε στο τέλος κλείνοντας την εργασία μας.

9.3 Η εκπαιδευτική κοινότητα

Στις προτάσεις μας για την εκπαιδευτική κοινότητα, θα αναφερθούμε αντιπροσωπευτικά στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας. Ένα ίδρυμα το οποίο έχει πολυτεχνικές σχολές και

εμπλέκεται άμεσα στο ζήτημα της ενεργειακής μετάβασης, δεσμευόμενο επίσης να σέβεται και να ακολουθεί τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης.

Αρχικά θα προτεινάμε η σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων να συνδεθεί και να γίνει μέλος της Συμμαχίας για τις ΚΟΠΥ και ΣΟΠΥ, όπως είναι και η αντίστοιχη σχολή της Κρήτης. Εκεί θα γίνει συνδιαμορφωτής των εξελίξεων της ενεργειακής μετάβασης. Θα παρακολουθεί από κοντά τους κύκλους των πρώτων υλών και τις προσπάθειες εγκατάστασης αλυσίδων αξίας ΚΟΠΥ, εντός των ορίων της ΕΕ. Θα μπορεί να αλληλοεπιδρά με προγράμματα έρευνας και εκπαίδευσης σε θέματα ενεργειακής μετάβασης και ορυκτών πόρων που την αφορούν άμεσα.

Το πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας πρόσφατα εγκαταστάθηκε στους νέους χώρους του. Άραγε η κατασκευή αυτών των χώρων, έλαβε υπόψιν την αειφορία και τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης; Διαπνέεται το προσωπικό του Ιδρύματος από αυτές τις αρχές; Δεν μας ενδιαφέρει να απαντήσουμε σε τέτοιου είδους ερωτήματα. Ενδεικτικά όμως θα κάνουμε κάποιες προτάσεις:

- A) Οριστική απαγόρευση εισόδου εντός του χώρου του Ιδρύματος (με ορίζοντα το έτος 2030) κάθε οχήματος που δεν κινείται με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον. Είτε πρόκειται για οχήματα καθηγητών, φοιτητών, μεταφοράς προσωπικού, εφοδιασμού, είτε αστικών και άλλης δημόσιας χρήσης οχήματα.
- B) Να γίνει με πρωτοβουλία του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών πόρων, ενημέρωση σε καθηγητές και φοιτητές, των ενεργειακών προδιαγραφών που είναι απαραίτητο να έχουν ιδιωτικές κατοικίες που νοικιάζονται αλλά και οι φοιτητικές Εστίες. Δεν νοείται Πανεπιστήμιο με τμήμα Ορυκτών Πόρων στις τάξεις του, να μην έχει εγκαταστήσει έστω συμβολικά εφαρμογή γεωθερμίας ή κάποια άλλη ΑΠΕ σε χώρο δικαιοδοσίας του. Ακόμη και για εκπαιδευτικούς λόγους. Μπορεί να φαίνεται μη πιστευτό, αλλά θα απαιτηθεί (με ορίζοντα το 2050) ένα τέτοιο κτιριακό σύμπλεγμα να λειτουργεί με ενεργειακή ουδετερότητα. Δηλαδή να μπορεί να παράγει (από ανανεώσιμες πηγές) όση ενέργεια του χρειάζεται.
- Γ) Επειδή οι εξελίξεις στην παραγωγή και την αξιοποίηση των ορυκτών πόρων θα είναι ραγδαίες και σε επίπεδο ΕΕ αλλά και διεθνώς, χρειάζεται να υπάρχει εντός του τμήματος ένα παρατηρητήριο καταγραφής όλων των εξελίξεων. Οι Ελληνικές σχολές ΜΗΧΟΠ έχουν τον πρώτο λόγο να προτείνουν τομείς αυτής της μετάβασης που μπορεί να εκμεταλλευτούμε στον Ελληνικό χώρο.
- Δ) Να υπάρχει πρόβλεψη οικονομικού επάθλου σε όποια ερευνητική εργασία προάγει καθοριστικά το στόχο να εγκατασταθούν ολοκληρωμένες αλυσίδες αξίας ΚΟΠΥ εντός

ΕΕ. Η επιτροπή βέβαια που θα αποφασίσει κάτι τέτοιο θα αποτελείται από ειδικούς του κλάδου και εννοείται ότι τα κριτήρια θα είναι αξιοκρατικά.

9.4 Οι ευρωπαϊκές προσπάθειες

Πρόσφατα ανακοινώθηκε στον τύπο η αδυναμία να καταλήξουν σε συμφωνία, μετά από μήνες διαπραγματεύσεων, δύο κορυφαίες ευρωπαϊκές αυτοκινητοβιομηχανίες στην δημιουργία και κατασκευή ενός μοντέλου ηλεκτρικού αυτοκινήτου χαμηλού-προσιτού κόστους. Και αυτό γιατί ο ανταγωνισμός από τα κινεζικά φθηνότερα μοντέλα είναι μία πρόκληση για την ευρωπαϊκή βιομηχανία αυτοκινήτων, ιδιαίτερα την Γερμανική, η οποία αισθάνεται πλέον την ασφυκτική πίεση των κινέζων κατασκευαστών που έχουν στόχο την ευρωπαϊκή αγορά¹⁵⁴. Αυτοί είναι (κατά την γνώμη μας) επιχειρηματικοί διαξιφισμοί χωρίς νόημα και κατώτεροι των περιστάσεων. Το μόνο αποτέλεσμα είναι η σπατάλη χρόνου, γιατί είναι βέβαιο ότι όλοι οι φορείς, Οργανισμοί και επιχειρηματικοί Όμιλοι, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, θα συρθούν αναγκαστικά σε συμπράξεις, κάτω από την πίεση των εξελίξεων.

Η σπατάλη χρόνου, δυνάμεων και πόρων χαρακτηρίζει και άλλους τομείς της ενεργειακής μετάβασης στην Ευρώπη. Για παράδειγμα, ένας Όμιλος εξερευνά δυνατότητα παραγωγής κρίσιμων ΟΠΥ από υποθαλάσσια κοιτάσματα και αποθέσεις στις σκανδιναβικές θάλασσες, ένας άλλος Όμιλος ερευνά δυνατότητα παραγωγής των ίδιων ΟΠΥ από απόβλητα μεταλλείων σε Ιταλία και Ελλάδα. Παρόμοια, μία εταιρία υπόσχεται να παράγει ηλεκτρική ενέργεια σε παραθαλάσσιες περιοχές από την δυναμική ενέργεια των κυμάτων, ενώ παράλληλα μία άλλη προσπαθεί να αυξήσει την απόδοση σε ενέργεια, των τουρμπινών βυθού που εκμεταλλεύονται τις κινήσεις θαλασσιών ρευμάτων. Αυτός ο πλουραλισμός που κάποτε ήταν πλεονέκτημα για την Ευρώπη, σε αυτές τις συνθήκες και εξελίξεις είναι μία πολυτέλεια. Γι' αυτό και θεωρούμε σωστό, κάτι που ήδη γίνεται, να υπάρχουν στοχευμένες χρηματοδοτήσεις, οι οποίες λαμβάνουν υπόψιν την σπουδαιότητα και τον ρόλο που θα παίζει η κάθε κίνηση και επιχειρηματική δραστηριότητα στην εξυπηρέτηση του ευρωπαϊκού οράματος της (γρήγορης) μείωσης της εξάρτησης σε πρώτες ύλες από τρίτες χώρες.

Μία πρόταση που η εργασία μας θα μπορούσε να κάνει, είναι η καθιέρωση, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, της ενεργειακής φορολογίας. Αρχικά αυτό θα μπορούσε να υλοποιηθεί στις βιομηχανίες, στις εξορυκτικές επιχειρήσεις και σε μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα. Το σκεπτικό αυτής της πρότασης είναι το εξής: ένας τέτοιος καταναλωτής ενέργειας να είναι υποχρεωμένος να παράγει ένα ποσοστό της τάξεως του 10% της ηλεκτρικής ενέργειας που

¹⁵⁴ «Χάλασε η συνεργασία του... αιώνα», άρθρο από τον ιστότοπο: [newsauto.gr](https://www.newsauto.gr/news/giati-den-prochorise-i-sinergasia-tou-eona-gia-ta-ilektrika/), 20 Μαΐου 2024, <https://www.newsauto.gr/news/giati-den-prochorise-i-sinergasia-tou-eona-gia-ta-ilektrika/>.

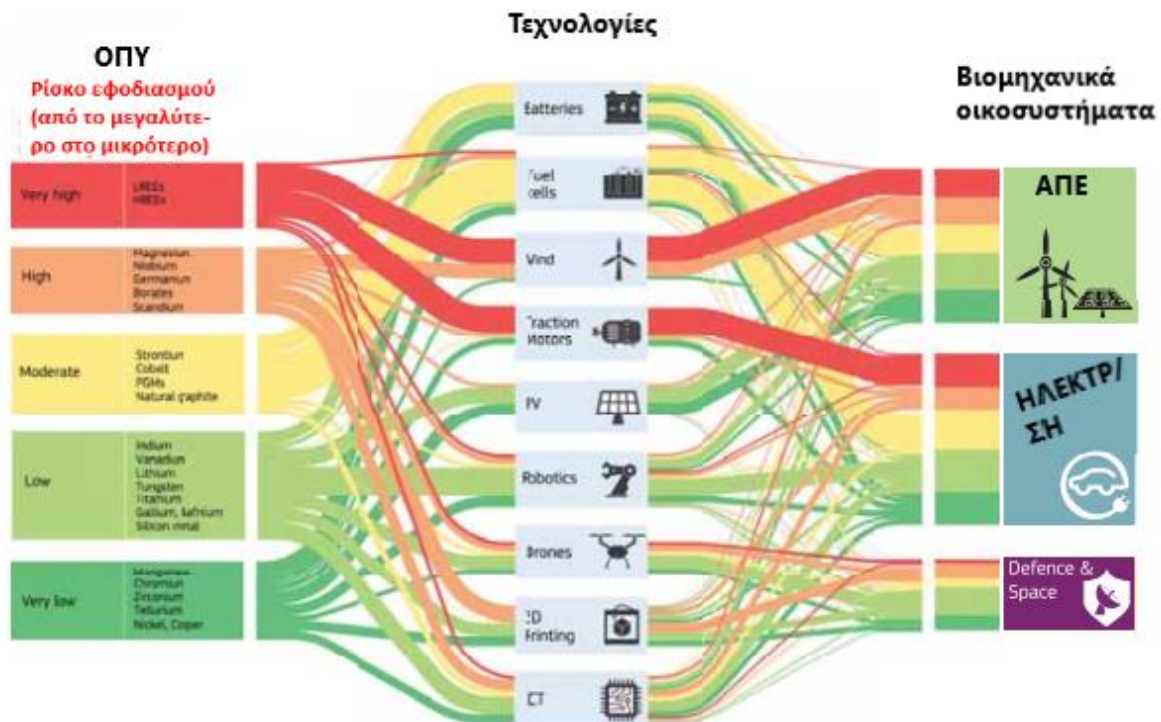
χρειάζεται, με τρόπους φιλικούς προς το περιβάλλον. Ειδικά για τις εξορυκτικές επιχειρήσεις, είναι σίγουρο ότι τις επόμενες δεκαετίες θα υποχρεωθούν και σε κάτι άλλο: να φιλοξενήσουν στους χώρους τους, εγκαταστάσεις ανακύκλωσης υλικών ή προϊόντων που είναι σχετικά με το αντικείμενό τους.

Το θέμα της ανακύκλωσης υλικών και προϊόντων είναι πολύ σημαντικό. Θα παίξει σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση κρίσιμων πρώτων υλών, ιδιαίτερα όταν μετά από δύο δεκαετίες θα έχει κλείσει ο κύκλος της πρώτης και δεύτερης γενιάς προϊόντων που ήδη υπάρχουν στην αγορά. Είτε είναι εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά ή ανεμογεννήτριες είτε είναι ηλεκτρικά αυτοκίνητα ή άλλες εφαρμογές και υλικά. Η εργασία μας δεν κατάφερε να αναπτύξει το θέμα της ανακύκλωσης αρκετά. Ίσως χρειάζεται μία αυτόνομη και εξειδικευμένη προσέγγιση στο θέμα αυτό.

9.5 Ένα τελικό ερώτημα

Αν υποθέσουμε ότι η ενεργειακή μετάβαση θα εξελιχθεί ομαλά, σύμφωνα με τις προβλέψεις, επίσης η ζήτηση πρώτων υλών και προϊόντων θα είναι αυτή που οι υπάρχουσες μελέτες υπολογίζουν, ότι η Κίνα δεν θα διαταράξει τις ισορροπίες και θα συμπορευθεί με την διεθνή κοινότητα. Σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο, ποιο ορυκτό ή ομάδα ορυκτών κινδυνεύει περισσότερο να μην είναι σε επάρκεια και να διακόψει την εφοδιαστική αλυσίδα;

Η απάντηση της εργασίας μας είναι ότι η ομάδα υψηλού κινδύνου είναι οι σπάνιες γαίες. Όπως αναφέραμε και προηγούμενα, δεν είναι μόνο η δεσπόζουσα θέση της Κίνας στην παγκόσμια αγορά. Είναι και οι υπόλοιποι παράγοντες του κύκλου εξόρυξης και χρήσης, που δημιουργούν αυτή την πιθανότητα κινδύνου.



Σχήμα 9.1 : Αποτύπωση των ροών πρώτων υλών, (χωρίς ακριβή ποσοτική αναλογία), και το σημερινά υπολογιζόμενο ρίσκο. Έχουν επιλεγεί 9 τεχνολογίες και τρεις τομείς χρήσης πρώτων υλών. Η κατάταξη ρίσκου έγινε για 25 επιλεγμένες πρώτες ύλες. Στην πιο υψηλή θέση είναι τα υλικά με το μεγαλύτερο ρίσκο.

Πηγή¹⁵⁵

Και αν θέλαμε να διαλέξουμε ένα από τα στοιχεία των σπάνιων γαιών, θα υποδεικνύαμε το Δυσπρόσιο, το οποίο εμφανίζει το υψηλότερο ρίσκο για να διακοπεί η αλυσίδα εφοδιασμού του. Και αυτό λόγω του υψηλού ρυθμού αύξησης της ζήτησης που έχει και λόγω του ότι βρίσκεται σε μικρή αναλογία μέσα στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών¹⁵⁶.

9.6 Σπάνιες γαίες στην Ελλάδα (σύντομο σχόλιο)

Το στοίχημα παραγωγής σπάνιων γαιών στην Ελλάδα δεν μπορεί να αφορά μόνο ένα ιδιωτικό όμιλο και από την διάθεσή του να επενδύσει ή όχι στην παραγωγή τους. Σε όλα τα σημεία της μελέτης μας πήραμε το μήνυμα ότι αυτές οι μεμονωμένες κινήσεις είναι σε λάθος κατεύθυνση. Αν δεν γίνει μία πανστρατιά με συνένωση και αλληλοσυμπλήρωση δυνάμεων, θα πρόκειται για μία καταδικασμένη προσπάθεια.

Επειδή αυτό είναι κεντρικό συμπέρασμα της εργασίας μας, θα θέλαμε να το επαναλάβουμε με άλλα λόγια. Εάν μία ιδιωτική εταιρία ανακοινώσει μόνη της ότι θα

¹⁵⁵ «European Commission. Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU», A Foresight Study, Λουξεμβούργο, 2020, σελ. 10, https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/-/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf

¹⁵⁶ «European Commission. Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU», Λουξεμβούργο, 2020, στο ίδιο, σ.σ. 9-10.

αξιοποιήσει το κοίτασμα των Μολάων και θα παράγει Γερμάνιο, αυτή η κίνηση (κατά τη γνώμη μας) είναι σε λάθος κατεύθυνση. Μπορεί αυτός ο όμιλος να αποκτήσει κάποια οικονομικά οφέλη από ενδεχόμενη εκμετάλλευση κοιτάσματος. Αλλά πολύ θα απέχει αυτή η δράση και θα είναι εκτός του δυναμικού οράματος της Ελληνικής και Ευρωπαϊκής ενεργειακής και όχι μόνο ανάπτυξης.

9.7 Η τεχνητή νοημοσύνη, η ενεργειακή μετάβαση και οι ανάγκες σε πρώτες ύλες

Η πολυπλοκότητα της ανάλυσης για την εκτίμηση των αναγκών σε πρώτες ύλες, και οι αβεβαιότητες στην εξέλιξη της ενεργειακής μετάβασης, οδήγησε την σκέψη μας σε μία εξέταση των δυνατοτήτων της τεχνητής νοημοσύνης. Έτσι σε ένα μεταπτυχιακό στάδιο έρευνας, κρίνουμε ενδιαφέρον να χρησιμοποιήσουμε ένα εξειδικευμένο πρόγραμμα που βασίζεται στην τεχνική νοημοσύνη και την μηχανική μάθηση. Σε αυτό το πρόγραμμα θα εισαχθούν με την κατάλληλη μορφή όλοι οι γνωστοί παράγοντες που διαμορφώνουν τον κύκλο ενεργειακή μετάβαση - πρώτες ύλες. Και σε πρώτη φάση θα πραγματοποιεί μελλοντικές προβολές. Σε δεύτερη φάση όμως, θα τροφοδοτείται ανά εξάμηνο με τα πραγματικά δεδομένα που θα υπάρχουν και εκεί, όχι μόνο θα επικαιροποιεί τις μελλοντικές προβολές, αλλά θα υποδεικνύει μέτρα, δράσεις, αλλαγές, και εναλλακτικά σενάρια επίτευξης στόχων ή αποφυγής κινδύνων.

Μία τέτοια πρόταση χρειάζεται πρώτα να αξιολογηθεί αρμοδίως ως χρήσιμη, και στη συνέχεια να έλξει το ενδιαφέρον κάποιων που θα αξιοποιήσουν το αποτέλεσμά της. Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο σημείο της μελέτης μας, μία ερευνητική πορεία δεν μπορεί να είναι αυτόνομη και ξεκομμένη από το υπόλοιπο ερευνητικό, εξορυκτικό, βιομηχανικό και ενεργειακό γίγνεσθαι. Χρειάζεται να εξελίσσεται διαδραστικά, με διαρκή απόδειξη της αναγκαιότητας και της χρησιμότητάς της.

Βιβλιογραφία

1. Δρ. Αρβανιτίδης Νικόλαος και Κωνσταντινίδης Δημήτριος Κ., «*Εκμετάλλευση κοιτασμάτων ΚΟΠΥ στην ΕΕ: Το πολύκλειδο για γηγενείς, ολιστικές και βιώσιμες αλυσίδες αξίας*», άρθρο στον ιστότοπο: rawmathub.gr, 29 Μαρτίου 2023, <https://rawmathub.gr/epistimonika-kai-epixeirimatika-afieromata/krisimes-oryktes-protos-yles-ena-stoixima-gia-tin-evropi/ekmetallefsi-koitasmaton-kopy-stin-ee-to-polykleido-gia-gigeneis-olistikes-kai-viosimes-alsyides-aksias>.
2. Βλάχου Γεωργία, «*Οι τέσσερις γενιές των φωτοβολταϊκών πλασιών και το Φαινόμενο P.I.D. (Potential Induced Degradation)*», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2017.
3. Ξενάκης Γεώργιος, «*Ανάλυση περυγίου ανεμογεννήτριας GE 1.5XLE με υπολογιστικές μεθόδους για διάφορα σύνθετα υλικά*», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2020.
4. Δρ. Τζεφέρης Πέτρος, «*Ο νέος Ευρωπαϊκός Κανονισμός για τις κρίσιμες και στρατηγικές πρώτες ύλες (CRMA 2023): Ναι μεν, αλλά...*», άρθρο στον ιστότοπο: rawmathub.gr, 29 Μαρτίου 2023, <https://rawmathub.gr/epistimonika-kai-epixeirimatika-afieromata/krisimes-oryktes-protos-yles-ena-stoixima-gia-tin-evropi/oneos-evropaikos-kanonismos-gia-tis-krisimes-kai-stratigikes-protos-yles-crma-2023-nai-men-alla>.
5. Δρ. Τζεφέρης Πέτρος, «*Ελλάδα και Κρίσιμες Ορυκτές Πρώτες Ύλες της ΕΕ*», άρθρο στον ιστότοπο: oryktosploutos.gr, 28 Μαΐου 2022, <https://www.oryktosploutos.net/2022/05/ελλάδα-και-κρίσιμες-ορυκτές-πρώτες-υλ/>.
6. Τσάνη Στέλλα, «*Ενεργειακή μετάβαση: Προκλήσεις και ευκαιρίες για την εγχώρια εφοδιαστική αλυσίδα και την αγορά εργασίας*», άρθρο στον ιστότοπο: insider.gr, 13/09/2021, <https://www.insider.gr/opinion/188929/energeiaki-metabasi-prokliseis-kai-eykairies-gia-tin-eghoria-efodiastiki-alsyida-kai>.
7. Carrara S., Alves Dias P., Plazzotta B. and Pavel C., «*Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonized energy system*», EUR 30095 EN, Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2020.
8. Cozzi Laura, Gould Tim, «*Understanding the World Energy Outlook scenarios*», Commentary, 29 October 2019, <https://www.iea.org/commentaries/understanding-the-world-energy-outlook-scenarios>.
9. Hastorun Sinan, «*The Mineral Industry of Greece*», 2019 Minerals Yearbook, USGS, Ιούλιος 2022.
10. Kiemel Steffen, Smolinka Tom, Lehner Franz, Full Johannes, Sauer Alexander, Mieke Robert, «*Critical materials for water electrolyzers at the example of the energy transition in Germany*», Int J Energy Res. 2021; 45: 9914–9935. <https://doi.org/10.1002/er.6487>.
11. Sainz J.A., «*New wind turbine manufacturing techniques*», Procedia Engineering, τ.132, 2015, σ.σ. 880 – 886.

12. Tyagi Vineet V., Rahim Nasrudin Abd., Selvaraj Jeyraj, «*Progress in solar PV technology: Research and achievement*», άρθρο στο: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 20 (April 2013), σ.σ. 443–461, DOI: 10.1016/j.rser.2012.09.028.
13. Dr Tzeferis Peter, «*The licensing system for Mining and Quarrying works in Greece*», άρθρο στον ιστότοπο: oryktosploutos.gr, 9 Ιουνίου 2018, <https://www.oryktosploutos.net/2018/06/the-licensing-system-for-mining-and/>.

ΜΕΛΕΤΕΣ, REPORTS, REVIEWS, ΟΜΙΛΙΕΣ

14. «*Συνεισφορά της Μεταλλευτικής Βιομηχανίας/Εξορυκτικού Κλάδου στην Πράσινη Μετάβαση*», ομιλία στο: DELPHI ECONOMIC FORUM IX, 10-13 Απριλίου 2024, <https://www.sme.gr/omilies-delphi-forum-2024/>.
15. «*ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΛΑΤΟΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ*», Ετήσια έκθεση για το 2022, ΥΠΕΝ, Αθήνα, Ιανουάριος 2024, <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2023/03/EKΘΕΣΗ-ΟΠΥ-2021.pdf>.
16. Ε.Α.Γ.Μ.Ε.- Δ.Ο.Π.Μ.Ε., *Ερευνητικές Γεωτρήσεις*, δεδομένα από τον ιστότοπο: gaia.igme.gr, <https://gaia.igme.gr/portal/apps/dashboards/307f3f4f998b40cabc2d13a04bc342ac>.
17. «*Ε. Μυτιληναίος στο Raw Materials 2030: επενδύουμε 350 εκατ. σε γάλλιο-βωξίτη-αλουμίνιο – Χρειαζόμαστε τη στήριξη της Ευρώπης*», απόσπασμα ομιλίας στο: oryktosploutos.net, 19 Απριλίου 2024, <https://www.oryktosploutos.net/2024/04/ευάγγελος-μυτιληναίος-επενδύουμε-350-εκ/>.
18. «*European Commission. Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU*», A Foresight Study, Λουξεμβούργο, 2020, https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf.
19. «*The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*», World Energy Outlook Special Report, Παρίσι, Μάρτιος 2022, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.
20. «*Fostering Effective Energy Transition*», WEFForum INSIGHT REPORT, 2023 Edition, <https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition-2023/>.
21. «*World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2023*», στατιστικά δεδομένα από τον ιστότοπο: enerdata.net, <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>.
22. «*Statistical Review of World Energy 2022*», 71st edition, στατιστικά δεδομένα από τον ιστότοπο: bp.com, Λονδίνο, 2022, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>.

23. «*Energy transition outlook/Global outlook*», στατιστικά δεδομένα από τον ιστότοπο: irena.org, <https://www.irena.org/Energy-Transition/Outlook>.
24. «*Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action*», A report by the Rare Earth Magnets and Motors Cluster of the European Raw Materials Alliance, Berlin 2021, https://eit.europa.eu/sites/default/files/2021_09-24_ree_cluster_report2.pdf.
25. «*Materials for Energy Storage and Conversion: A European Call for Action*», A report by the Materials for Energy Storage and Conversion Cluster of the European Raw Materials Alliance, Berlin 2023, <https://eitrawmaterials.eu/wp-content/uploads/2023/05/FINAL-ERMA-Cluster-2-DIGITAL.pdf>.

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

26. <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/energy-transition>
27. <https://www.cop28.com/en/the-uae-consensus-presidential-action-agenda>
28. <https://natccc.gov.ng/energy-transition-climate-change/>
29. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts?page=4>
30. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Figure_1-Share_of_energy_from_renewable_sources,_2022_\(%25\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Figure_1-Share_of_energy_from_renewable_sources,_2022_(%25).png)
31. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_more_than_doubled_between_2004_and_2022
32. https://www.iea.org/data-and-statistics/charts?license_type=cc-by-40&topic%5B0%5D=net-zero-emissions&page=3
33. https://www.iea.org/data-and-statistics/charts?license_type=cc-by-40&topic%5B0%5D=net-zero-emissions&page=2
34. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:CO%E2%82%82-emissions_by_perspective,_EU_2010-2020,_billion_tonnes.png
35. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/DDN-20230609-2>
36. <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/critical-raw-materials/#0>
37. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/03/18/strategic-autonomy-council-gives-its-final-approval-on-the-critical-raw-materials-act/>
38. https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-raw-materials-alliance_en
39. <https://erma.eu/network/>

40. <https://erma.eu/workstreams/>
41. <https://www.the-sunlight-group.com/el/global/lithium-ion/>
42. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/147794/2020-tied-for-warmest-year-on-record>

ΑΡΘΡΑ

43. «*Γιατί κινδυνεύει να μείνει στα αζήτητα η ΛΑΡΚΟ*», άρθρο στον ιστότοπο: [sofokleousin.gr](https://www.sofokleousin.gr), 4 Απριλίου 2024, <https://www.sofokleousin.gr/giati-kindynevei-na-meinei-sta-azitita-i-larko>.
44. «*Γερμάνιο (Ge) βρέθηκε στο κοίτασμα των Μολάων*», άρθρο στον ιστότοπο: [oryktosploutos.net](https://www.oryktosploutos.net), 10 Μαΐου 2022, <https://www.oryktosploutos.net/2022/05/rockfire-resources-plc-germanio-brēthke-sto-koitasma-tō/>.
45. «*Ορυκτές πρώτες ύλες: Στα σκαριά διαγωνισμοί εξόρυξης σε Χίο και Ξάνθη*», άρθρο στον ιστότοπο: [oryktosploutos.net](https://www.oryktosploutos.net), 7 Μαΐου 2024, <https://www.oryktosploutos.net/2024/05/ορυκτές-πρώτες-ύλες-στα-σκαριά-διαγων/>.
46. «*ΑΠΕ: Υπέρβαση του στόχου για το 2030 επτά χρόνια νωρίτερα*», άρθρο στον ιστότοπο: [energygame.gr](https://www.energygame.gr), 22 Μαρτίου 2024, <https://www.energygame.gr/ananeosimes-piges-ape/371369/ape-ypervasi-tou-stochou-gia-to-2030-epta-chronia-noritera/>.
47. «*Χάλασε η συνεργασία του... αιώνα*», άρθρο από τον ιστότοπο: [newsauto.gr](https://www.newsauto.gr), 20 Μαΐου 2024, <https://www.newsauto.gr/news/giati-den-prochorise-i-sinergasia-tou-eona-giata-ilektrika/>.
48. «*The key minerals in an EV battery*», άρθρο στον ιστότοπο: [mining.com](https://www.mining.com), 2 Μαΐου 2022, <https://www.mining.com/web/the-key-minerals-in-an-ev-battery/>.
49. «*Metals for Clean Energy*», άρθρο από τον ιστότοπο: eurometaux.eu, <https://eurometaux.eu/metals-clean-energy/>.