

ΚΥΡΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ
ΑΕΜ::5936

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΣΠΑΝΙΩΝ ΓΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

H	Στοιχεία Σπανίων Γαιών																He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2023





ΚΥΡΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΣΠΑΝΙΩΝ ΓΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ

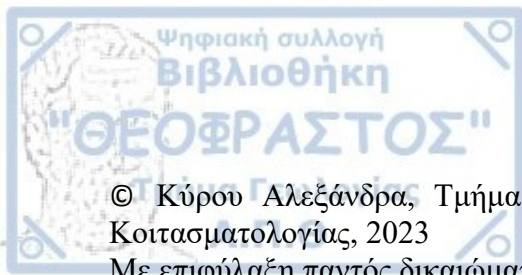
Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Βασίλης Μέλφος, Καθηγητής

© Κύρου Αλεξάνδρα, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



© Κύρου Αλεξάνδρα, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Κοιτάσματα σπανίων γαιών και ενεργειακή μετάβαση

© Alexandra Kyrou, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2023

All rights reserved.

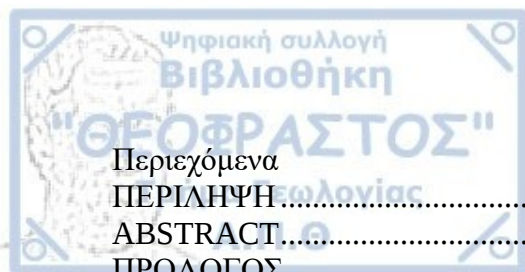
Rare-Earth Elements and energy transition

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: <https://aperopia.fr/09-2017/i-spanies-gaies-aitia-polemon-tou-21ou-aiona/>





Περιεχόμενα	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
Κεφάλαιο 1 ^ο – Ορισμός και χαρακτηριστικά της έννοιας της ενέργειας, οι ανανεώσιμες πηγές καθώς και το πρόβλημα της ενεργειακής διαχείρισης και σχετικοί στόχοι.....	7
1.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά της ενέργειας καθώς και στοιχεία που οριοθετούν την σχετική έννοια.....	7
1.2 Πηγές ενέργειας.....	9
1.3 Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η χρήση τους στις μέρες μας.....	11
1.4 Το πρόβλημα της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας διεθνώς.....	12
1.4.1 Εισαγωγή στα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα και την διαχείριση ενέργειας.....	13
1.5 Το πρόβλημα της εκπομπής αερίων και επιβλαβών ουσιών από τα νοικοκυριά και τη κατανάλωση ενέργειας.....	14
1.5.1. Στόχοι της ενεργειακής διαχείρισης στον οικιακό χώρο.....	14
Κεφάλαιο 2 ^ο – Ορισμός και χαρακτηριστικά της ενεργειακής μετάβασης και στοιχεία που καθορίζουν την επίτευξή της.....	17
2.1 Ορισμός και Χαρακτηριστικά της Κλιματικής Αλλαγής και της Ενεργειακής Μετάβασης.....	17
2.2 Τρέχουσα ενεργειακή μετάβαση.....	19
2.3 Παγκόσμιες ενεργειακές μεταβάσεις.....	19
2.4 Χρήση μη Ανανεώσιμων Πόρων.....	21
2.5 Η μοντελοποίηση των ενεργειακών μεταβάσεων.....	23
Κεφάλαιο 3 ^ο – Κοιτάσματα σπάνιων γαιών και η χρήση τους για την ενεργειακή μετάβαση.....	25
3.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων σπάνιων γαιών.....	25
3.2 Η βιομηχανία των κοιτασμάτων σπάνιων γαιών έως και σήμερα.....	27
3.3 Μελλοντική ζήτηση στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών.....	30
3.4 Το περιβαλλοντικό κόστος στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών.....	31
3.5 Πολιτικές λύσεις για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών.....	32
3.6 Η διαχείριση της ζήτησης για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών.....	34
3.7 Διαχείριση των επιπτώσεων στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών.....	37
Κεφάλαιο 4 ^ο – Επίλογος - Συμπεράσματα.....	39
Βιβλιογραφία.....	45



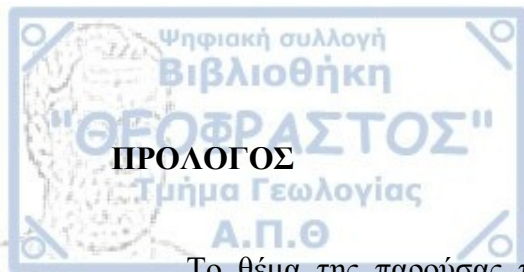
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα επίμονο πρόβλημα για την ανθρώπινη κοινωνία για πάνω από τρεις δεκαετίες και κάθε χρόνο γίνεται ακόμη μεγαλύτερο πρόβλημα. Η ζήτηση για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών αναμένεται να αυξηθεί κατά 400-600% τις επόμενες δεκαετίες και η ανάγκη για στοιχεία όπως το λίθιο και ο γραφίτης που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων, θα αυξηθεί έως και 4.000% αντίστοιχα. Η εξόρυξη των σπάνιων γαιών για βιομηχανική χρήση είναι ένα σχετικά σύγχρονο εγχείρημα. Το πρώτο ορυχείο ήταν το Mountain Pass, που βρίσκεται στην έρημο Mojave της Καλιφόρνια. Το ορυχείο άνοιξε το 1952 για την προμήθεια ουρανίου για στρατιωτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, και αναπτύχθηκαν μέθοδοι για την απομόνωση και την αφαίρεση στοιχείων σπάνιων γαιών για την εξασφάλιση καθαρού εφοδιασμού ουρανίου. Σήμερα, παρόμοιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του ουρανίου και του θορίου κατά την παραγωγή στα σπάνια ορυκτά γαιών. Επί του παρόντος, η παγκόσμια προσφορά στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών είναι σε μεγάλο βαθμό συγκεντρωμένη στην Κίνα, η οποία ελέγχει πάνω από το 90% της αγοράς. Αναπτύσσοντας μια πιο ανθεκτική και αυτόνομη αλυσίδα εφοδιασμού, η κάθε ενέργεια στοχεύει να μετριάσει αυτούς τους κινδύνους και να διασφαλίσει ότι η ενεργειακή μετάβαση της Ευρώπης παραμένει σε θετικό πλαίσιο. Επίσης, μια μελλοντική αυστηροποίηση των περιβαλλοντικών προτύπων που σχετίζονται με αυτόν τον τομέα είναι περισσότερο από πιθανή και αυτό που έχει ερμηνευτεί ως επίδειξη ισχύος, αναμένεται να επαναληφθεί στο μέλλον.



ABSTRACT

Climate change has been a persistent problem for human society for over three decades, and every year it becomes an even bigger problem. Demand for rare earth deposits is expected to increase by 400-600% in the coming decades, and the need for elements such as lithium and graphite used in electric vehicle batteries will increase by up to 4,000% respectively. The mining of rare earths for industrial use is a relatively modern enterprise. The first mine was Mountain Pass, located in California's Mojave Desert. The mine opened in 1952 to supply uranium for military and research purposes, and methods were developed to isolate and remove rare earth elements to ensure a clean supply of uranium. Today, similar methods are used to remove uranium and thorium during the production of rare earth minerals. Currently, the global supply of rare earth deposits is largely concentrated in China, which controls over 90% of the market. By developing a more resilient and self-sufficient supply chain, each action aims to mitigate these risks and ensure that Europe's energy transition remains on a positive footing. Also, a future tightening of environmental standards related to this sector is more than likely and what has been interpreted as a show of strength is expected to be repeated in the future.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου ανατέθηκε από τον Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κ. Βασίλειο Μέλφο τον Οκτώβριο του 2022.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των σπάνιων γαιών και η ενεργειακή μετάβαση.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Β. Μέλφο, που ήταν ο επιβλέπων της πτυχιακής αυτής εργασίας, για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, όπως και για την συνεχή στήριξη του με τις συμβουλές του κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αποτελεί γεγονός πως η σύγχρονη κοινωνία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση ενεργειακών πόρων και η ενέργεια έχει ονομαστεί ακόμη και ως η ψυχή της τεχνολογικής και οικονομικής ανάπτυξης. Το τρέχον παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα κυριαρχείται από ορυκτά καύσιμα και ουσιαστικά υποφέρει από περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από τις αυξανόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, την ατμοσφαιρική ρύπανση σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο καθώς και από ζητήματα ενεργειακής ασφάλειας, ενώ ταυτόχρονα 3 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν ακόμη πρόσβαση σε σύγχρονες ενεργειακές υπηρεσίες (Smil, 2014).

Ως λύση σε αυτά τα ζητήματα, προτείνεται συνήθως ένας μετασχηματισμός του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της μετάβασης από την τρέχουσα κατάσταση σε ένα ενεργειακό σύστημα που βασίζεται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να εξαχθούν από διάφορες πηγές όπως ο άνεμος, τα ποτάμια, τα κύματα των ωκεανών, η βιομάζα από τα δάση ή η γεωργία, η γεωθερμική ενέργεια από το εσωτερικό της Γης ή απευθείας από τον Ήλιο.

Ωστόσο, η αιολική και η ηλιακή ενέργεια συνήθως θεωρείται ότι έχουν το υψηλότερο τεχνικό δυναμικό, ειδικά σε ανεπτυγμένες χώρες όπου οι «παλαιές» ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η υδροηλεκτρική ενέργεια, πλησιάζουν τη μέγιστη εκμετάλλευση (Smil, 2014). Μερικοί πιστεύουν ότι η βιομάζα θα είναι επίσης σημαντική στο μέλλον και έχει προταθεί μια «βιοβασισμένη» οικονομία ως εναλλακτική λύση στην τρέχουσα βασισμένη στα ορυκτά καύσιμα (Vanholme et al., 2013). Ενώ ορισμένοι προτείνουν ότι μια μετάβαση σε ένα παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα που θα κυριαρχείται από την αιολική και την ηλιακή ενέργεια θα μπορούσε να επιτευχθεί σε μερικές δεκαετίες (Jacobson, Delucchi, 2009), άλλοι υποστηρίζουν ότι μια τέτοια μετάβαση θα διαρκέσει πολύ περισσότερο (Kramer, Haigh, 2009).

Ένα πιθανό ζήτημα που θα μπορούσε να περιορίσει μια τέτοια μετάβαση, είναι ότι για να αναπτυχθούν αυτές οι τεχνολογίες σε κλίμακα επαρκή για τον μετασχηματισμό ολόκληρου του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος, θα απαιτούνταν μεγάλες ποσότητες από ένα ευρύ φάσμα πόρων, συμπεριλαμβανομένων των μη - ανανεώσιμων φυσικών πόρων. Όχι μόνο η πλήρης μετάβαση του ενεργειακού συστήματος θα απαιτούσε ανάπτυξη τεχνολογιών που μετατρέπουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε χρήσιμη μορφή, αλλά θα απαιτούσε επίσης αλλαγές στη μεταφορά των μεταφορέων ενέργειας και στη χρήση ενεργειακών υπηρεσιών, κάτι που απαιτεί ανάπτυξη πολλών διαφορετικών ενεργειακών τεχνολογιών (Kleijn et al., 2011).

Έχει επισημανθεί επίσης ότι θα χρειαστούν προσθήκες μετάδοσης μεγάλων αποστάσεων για τη χρήση σημαντικών ποσοτήτων αιολικής και ηλιακής ενέργειας από βέλτιστες τοποθεσίες, οι οποίες θα απαιτούσαν μεγάλες ποσότητες μετάλλων όπως ο χαλκός (Kleijn and van der Voet, 2010). Άλλοι υποστηρίζουν ότι η χρήση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας θα απαιτούσε αποθήκευση ενέργειας για την εξισορρόπηση της προσφοράς με τη ζήτηση ενέργειας (Barnhart και Benson, 2013).

Δεδομένου ότι όλες αυτές οι τεχνολογίες κατασκευάζονται, χρησιμοποιώντας διαφορετικά υλικά, υπάρχουν πολλοί δυνητικά ενδιαφέροντες φυσικοί πόροι προς διερεύνηση στο πλαίσιο των ενεργειακών μεταβάσεων. Μερικά παραδείγματα υλικών και πόρων που έχουν αναφερθεί ως σημαντικά, είναι ο χάλυβας (σιδηρομετάλλευμα) και ο χαλκός για ανεμογεννήτριες και υποδομές (Kleijn, van der Voet, 2010) και το λίθιο για αποθήκευση ενέργειας και ηλεκτρικά οχήματα (Bradshaw, Hamacher, 2012). Επίσης, η ανάπτυξη μη εδώδιμων καλλιεργειών για βιοκαύσιμα που απαιτούν φωσφορούχο λίπασμα, καθώς και η αυξημένη χρήση μπαταριών που περιέχουν φωσφορικά για ηλεκτρικά οχήματα, θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά τη ζήτηση για φωσφορικά πετρώματα (Cordell, White, 2011).

Η κλιματική αλλαγή ωστόσο, φέρνει στους ανθρώπους μια άνευ προηγουμένου πρόκληση, την ανάγκη να ανεξαρτητοποιηθούν από μια ομάδα πολύτιμων φυσικών πόρων, όχι λόγω της σπανιότητας ή του κόστους, αλλά λόγω των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων της παγκόσμιας ρύπανσης. Αν και οι συνδυασμένες δυνατότητες των τεχνολογιών αιολικής, ηλιακής, υδροηλεκτρικής και γεωθερμικής ενέργειας έχουν τη δυνατότητα να αξιοποιήσουν σχεδόν απεριόριστες ποσότητες ενέργειας από το περιβάλλον μας, δεν είναι απαλλαγμένες από τους περιορισμούς της διαθεσιμότητας πόρων.

Αντίθετα, η μετάβαση στην καθαρή ενέργεια, θα απαιτήσει οικονομική κινητοποίηση σε κλίμακα που δεν έχει παρατηρηθεί από τη βιομηχανική επανάσταση και θα επιβαρύνει την παγκόσμια παραγωγή πυριτίου, κοβαλτίου, λιθίου, μαγγανίου και μιας σειράς άλλων κρίσιμων στοιχείων (Behr, 2019). Μια ομάδα φυσικών πόρων που μπορεί να αποδειχθεί απαραίτητη για την επόμενη γενιά ηλεκτρικών κινητήρων και στροβίλων είναι τα στοιχεία σπάνιων γαιών (REEs) στοιχεία που αποτελούνται από σκάνδιο, ύτριο και λανθανίδες (Ινστιτούτο Σπάνιων Γαιών και Στρατηγικών Μετάλλων, 2010).

Τέλος, παρά την παγκόσμια σημασία τους, η παραγωγή των σπάνιων γαιών, έχει συγκεντρωθεί όλο και περισσότερο στην Κίνα τα τελευταία χρόνια. Αυτό όχι μόνο παρουσιάζει γεωπολιτικό και οικονομικό κίνδυνο για το μεγαλύτερο μέρος του ανεπτυγμένου κόσμου, αλλά είναι επίσης ενδεικτικό πιθανών μελλοντικών περιορισμών



εφοδιασμού που θα μπορούσαν να διακόψουν την πρόοδο προς ένα μέλλον χωρίς τη χρήση άνθρακα για τη παραγωγή ενέργειας.

Κεφάλαιο 1^ο – Ορισμός και χαρακτηριστικά της έννοιας της ενέργειας, οι ανανεώσιμες πηγές καθώς και το πρόβλημα της ενεργειακής διαχείρισης και σχετικοί στόχοι

1.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά της ενέργειας καθώς και στοιχεία που οριοθετούν την σχετική έννοια

Η ενέργεια, γενικά, ορίζεται ως εκείνη η ικανότητα εργασίας όπου οριοθετείται ως μια αφηρημένη έννοια, αλλά παρέχει κίνηση σε συγκεκριμένα μεγέθη και φυσικά φαινόμενα γύρω μας, χωρίς βέβαια να είναι πάντα εφικτό να την διακρίνει κανείς. Είναι γνωστό ότι η ενέργεια δεν χάνεται, αλλά μπορεί να μετατραπεί σε μία άλλη μορφή. Οι άνθρωποι χρειάζονται ενέργεια για ό,τι κάνουν για να έχουν μια άνετη ζωή. Για παράδειγμα, χρειάζονται ενέργεια για θέρμανση, φωτισμό, μεταφορά και την ανάγκη χρήσης ηλεκτρονικών συσκευών με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας (Smil, 2014).

Με την ανάπτυξη της ανθρωπότητας και την πρόοδο της τεχνολογίας, η ενέργεια είναι μια από τις πιο απαραίτητες πηγές διεθνώς. Το γεγονός ότι η ενέργεια είναι τόσο σημαντική για τον άνθρωπο, έχει δημιουργήσει μια οικονομική εξάρτηση από εκείνη, μεταξύ των χωρών. Αυτή η εξάρτηση μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τις χώρες, καθώς η ενέργεια είναι σημαντική εισροή για την οικονομική ανάπτυξη. Οι χώρες μπορεί να αντιμετωπίσουν οικονομικά προβλήματα όταν εξαρτώνται από άλλες χώρες όσον αφορά την ενέργεια και όταν δεν έχουν εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως στην πετρελαϊκή κρίση του 1973 και του 1979 (Graedel et al., 2011).

Το 1973 ωστόσο, με την έναρξη του 4^{ου} αραβο-ισραηλινού πολέμου, τα αραβικά έθνη της βιομηχανίας πετρελαίου, επέβαλαν εμπάργκο πετρελαίου σε φιλο-ισραηλινές δυτικές χώρες για να επιτεθούν στο Ισραήλ. Για το λόγο αυτό, οι διεθνείς τιμές του πετρελαίου υπερδιπλασιάστηκαν και προκάλεσαν ενεργειακές και οικονομικές κρίσεις στις δυτικές χώρες (Zhao, 2018). Το πετρελαϊκό σοκ το έτος 1979, συνέβη όταν ξεκίνησε ο πόλεμος Ιράν-Ιράκ. Ήταν το δεύτερο μεγάλο σοκ που σημειώθηκε στην αγορά πετρελαίου. Η προσφορά πετρελαίου έχει μειωθεί και οι τιμές του πετρελαίου έχουν αυξηθεί ραγδαία, προκαλώντας σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις στους παραγωγούς, τους καταναλωτές και τη βιομηχανία πετρελαίου. (Ινστιτούτο Μέσης Ανατολής, 2009).

Η πετρελαϊκή κρίση του 1973 και του 1979 επηρέασε επίσης αρνητικά την Ευρώπη, επειδή η ήπειρος αυτής αποτελείται από χώρες που πρέπει να εισάγουν πετρέλαιο. Ο ρυθμός ανάπτυξης των χωρών της Ευρώπης, που ήταν 7,42% το 1972, μειώθηκε στο 3,2% το 1973 (Senel et al., 2018). Αυτές οι κρίσεις επέτρεψαν στις χώρες να είναι προσεκτικές όσον αφορά

την ενεργειακή ασφάλεια, επειδή τέτοιες κρίσεις είναι πιθανό να επανεμφανιστούν. Επομένως, δεδομένου ότι οι οικονομίες των χωρών εξαρτώνται από την ενέργεια και θα πρέπει να παρέχεται ενεργειακή ασφάλεια, θα πρέπει να αναζητούν εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

Μαζί με την αύξηση του πληθυσμού και την ενίσχυση της ευημερίας, η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται μέρα με τη μέρα. Ταυτόχρονα, η πρόοδος της τεχνολογίας συνεχίζει να αυξάνει τις ενεργειακές απαιτήσεις όλων των χωρών. Σύμφωνα με την έκθεση της British Petroleum (BP) (2019) «η παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας αυξήθηκε με ρυθμό 2,9% το 2018, σχεδόν διπλάσιος μέσος όρος της δεκαετίας του 1,5% ετησίως και ο ταχύτερος από το 2010». Υπό τις συνθήκες αυτές, η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας οδηγεί σε προβλήματα ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού και περιβαλλοντικής ρύπανσης.

Η έκθεση της BP (2019) δείχνει ότι «οι εκπομπές άνθρακα αυξήθηκαν κατά 2%, η ταχύτερη ανάπτυξη εδώ και 7 χρόνια». Μαζί με την αυξημένη ζήτηση ενέργειας, ακόμα κι αν οι άνθρωποι μετακινηθούν σε μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που βασίζονται σε ορυκτά, αντιμετωπίζουν προβλήματα που τελικά θα εξαντληθούν. Η έκθεση του Υπουργείου Ενέργειας και Φυσικών Πόρων της Δημοκρατίας της Τουρκίας (MENR) (2017) επισημαίνει ότι ο άνθρακας θα καταναλωθεί μετά από 114 χρόνια, το φυσικό αέριο 53 και το πετρέλαιο 51 χρόνια (Smil, 2014).

Επιπλέον, οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δημιουργούν εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και αυτό οδηγεί σε ρύπανση του περιβάλλοντος. Προκειμένου να καλυφθεί αυτή η αυξημένη ενεργειακή ανάγκη χωρίς να ρυπαίνει το περιβάλλον, οι χώρες άρχισαν να επιχειρούν τις υπάρχουσες ενεργειακές τους πολιτικές και άρχισαν όλο και περισσότερο να μετακινούνται από τους πόρους που βασίζονται σε ορυκτά σε ανανεώσιμες πηγές. Σύμφωνα με την έκθεση της BP (2019) «η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι 14,5% το 2018 και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έγιναν η ταχύτερα αναπτυσσόμενη πηγή ενέργειας στον κόσμο» (Vella, 2020).

Από τη διαπραγμάτευση του Πρωτοκόλλου του Κιότο (1997), οι χώρες υπογραμμίζουν ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιούνται αντί για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και αυτό το πρωτόκολλο λέει ότι ένας από τους μεγαλύτερους παράγοντες που προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη είναι η χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, πρέπει να μειωθεί και αντ' αυτού να χρησιμοποιηθούν καθαροί ενεργειακοί πόροι.

Ο Halicioğlu (2009) αναφέρει ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι το πιο ρυπογόνο αέριο και υπεύθυνο για το 58,8% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η Ευρωπαϊκή Ένωση συνεχίζει να εφαρμόζει πολιτικές για την αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων

πηγών ενέργειας. Για παράδειγμα, η νέα αναδιατυπωμένη Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001 που προσδιορίζει τη δέσμευση των κρατών μελών να τροφοδοτούν τις ενεργειακές ανάγκες με τουλάχιστον 32% ανανεώσιμες πηγές (14% για τις μεταφορές) μέχρι το 2030 επισημαίνει ιδιαίτερα τη μείωση των εκπομπών θερμοκηπίου (Graedel et al., 2011).

Για παράδειγμα, οι ανακοινώσεις για την ανάμειξη αιθανόλης με βενζίνη από το 2012 και για την ανάμειξη βιοντίζελ με καύσιμα ντίζελ από το 2018 τέθηκαν σε ισχύ για τη μείωση της εξάρτησης από την εισαγόμενη ενέργεια, την αύξηση της ποικιλομορφίας των πόρων, τη διασφάλιση της αποτελεσματικής ανάκτησης των φυτικών χρησιμοποιημένων ελαίων, τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και την ευθυγράμμιση με πολιτικές για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας της Ε.Ε (Vella, 2020).

Η αειφόρος ανάπτυξη αντίστοιχα, είναι μια έννοια που περιλαμβάνει την οικονομική ανάπτυξη με σεβασμό προς το περιβάλλον από τα κράτη μέλη. Η οικονομική ανάπτυξη μπορεί να μετρηθεί βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα, αλλά η αειφόρος ανάπτυξη πρέπει να είναι μακροπρόθεσμη και έτσι, η οικολογική ισορροπία και η οικονομική ανάπτυξη πρέπει να εξετάζονται μαζί για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Η οικονομική ανάπτυξη που είναι οικολογικά βιώσιμη μπορεί να οριστεί ως μια βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη, που προστατεύει τις ανάγκες των γενεών χωρίς κατανάλωση φυσικού κεφαλαίου και δίνει σημασία στην ποιότητα του περιβάλλοντος, δηλαδή παρέχει την ισορροπία μεταξύ οικονομίας και οικοσυστήματος (Gürlük, 2001). Επομένως, η έννοια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μια πηγή ενέργειας που έχει θέση στη βιώσιμη ανάπτυξη (Vella, 2020).

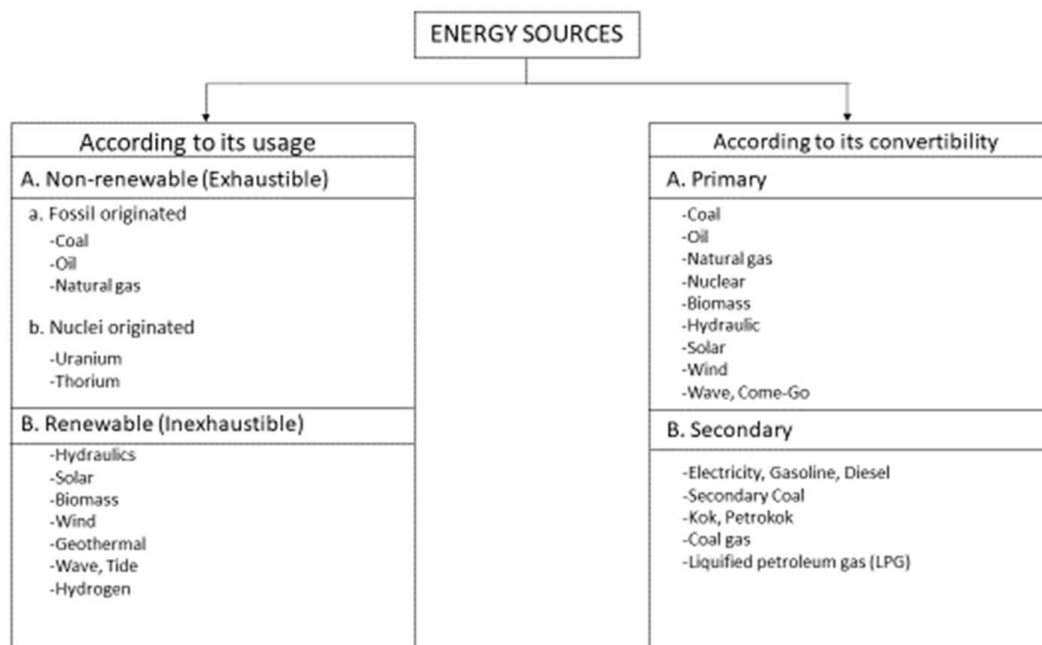
1.2 Πηγές ενέργειας

Οι ενεργειακοί πόροι χωρίζονται σε δύο (2) βασικές πηγές, ανάλογα με τη χρήση και τη μετατρεψιμότητα τους. Ανάλογα με τη χρήση τους, οι πηγές ενέργειας ταξινομούνται σε δύο μη ανανεώσιμες (ανεξάντλητες) και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ανεξάντλητες). Όταν χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι οι πηγές ενέργειας που μπορούν να παραμείνουν ίδιες, δεν μειώνονται, δηλαδή είναι ανεξάντλητες.

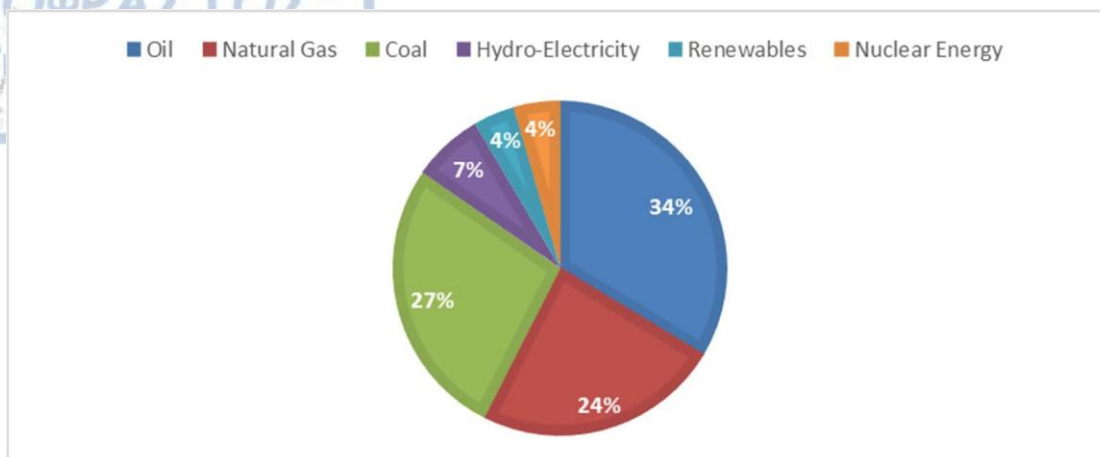
Αντίθετα, οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να οριστούν ως ενεργειακοί πόροι που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν όταν χρησιμοποιούνται ή χρειάζονται πολύ χρόνο για να ανακυκλωθούν και αυτοί οι πόροι χωρίζονται σε δύο. Τα πρώτα από αυτά προέρχονται από ορυκτά και αυτά είναι το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο και ο άνθρακας. Το δεύτερο είναι από πυρήνες και αυτοί είναι το ουράνιο και το θόριο. Επιπλέον, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να θεωρηθούν ως η ηλιακή ενέργεια, ο άνεμος, η

βιομάζα, η υδραυλική, η γεωθερμία, η κυματική παλίρροια και το υδρογόνο (Koc & Senel, 2013).

Σύμφωνα με τη μετατρεψιμότητά τους, οι πηγές ενέργειας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο ως πρωτογενείς πηγές ενέργειας και επίσης ως δευτερογενείς πηγές ενέργειας. Οι πρώτες θεωρούνται ως πηγές ενέργειας που δεν έχουν υποστεί καμία αλλαγή ή μετατροπή και αυτές είναι το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο, ο άνθρακας, η πυρηνική, μεγάλης κλίμακας, η υδραυλική, η ηλιακή, η αιολική, η κυματική και η παλιρροιακή. Οι τελευταίες θεωρούνται ως πηγές ενέργειας που προμηθεύονται ως αποτέλεσμα του μετασχηματισμού των πρωτογενών πηγών ενέργειας και αυτές είναι η ηλεκτρική ενέργεια, το ντίζελ, η βενζίνη, ο δευτερογενής άνθρακας, το αέριο, ο οπτάνθρακας και το υγραέριο όπως αναφέρονται στο Πίνακα No.1 (Koc and Senel, 2013).



Πίνακας 1: Πηγές ενέργειας Πηγή: Koc and Senel, 2013



Σχήμα Νο.1: Η αναλογία των πηγών ενέργειας στην κατανάλωση ενέργειας στον κόσμο το 2018.

Πηγή: BP Statistical Review-2019, υπολογισμός του ίδιου του συγγραφέα

1.3 Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η χρήση τους στις μέρες μας

Αποτελεί γεγονός πως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η χρήση βιομάζας, μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση της διπλής πρόκλησης της ενεργειακής ασφάλειας και της υπερθέρμανσης του πλανήτη, διότι δεν καταστρέφουν τους σχετικούς διαθέσιμους πόρους και παράγουν λιγότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τα ορυκτά καύσιμα (European Commission, Communication for the commission, 2013).

Αναμένεται επίσης ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία θέσεων εργασίας για νέες τεχνολογίες και θα οδηγήσουν την Ευρώπη εκτός οικονομικής κρίσης. Από την ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970, αρκετά βιομηχανικά κράτη έχουν δρομολογήσει προγράμματα για την ανάπτυξη λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά η επιστροφή χαμηλών τιμών πετρελαίου εμπόδισε τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να πάρουν σε μεγάλη εμπορική κλίμακα (European Renewable Energy Council, 2012).

Μια νέα οδηγία της Ε.Ε. για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που συμφωνήθηκε τον Δεκέμβριο του 2008, απαιτεί από κάθε κράτος μέλος να αυξήσει το μερίδιό του στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας - όπως ηλιακή, αιολική ή υδροηλεκτρική - στο ενεργειακό μίγμα του μπλοκ για να αυξήσει το συνολικό μερίδιο από 8,5% σήμερα σε 20% έως το 2020. Ένα ποσοστό 10% των «πράσινων καυσίμων» στις μεταφορές περιλαμβάνεται επίσης στο συνολικό στόχο της ΕΕ (EURACTIV 05/12/08).

Ωστόσο, οι χώρες της ΕΕ είναι ελεύθερες να αποφασίσουν το δικό τους προτιμώμενο «μίγμα» ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, επιτρέποντάς τους να λάβουν υπόψη τις

διαφορετικές τους δυνατότητες. Έπρεπε λοιπόν να υποβάλουν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή τα εθνικά σχέδια δράσης (ΕΣΚ) βάσει των ενδεικτικών πορισμάτων έως τις 30 Ιουνίου 2010, και να ακολουθούν εκθέσεις προόδου που υποβάλλονται ανά διετία. Τα σχέδια θα πρέπει να καθοριστούν σε τρεις τομείς: ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση και ψύξη και μεταφορές (European Renewable Energy Council, 2012).

Έτσι λοιπόν τα κράτη μέλη θα έχουν τη δυνατότητα να συνδέσουν τα εθνικά τους καθεστώτα στήριξης με εκείνα άλλων κρατών της Ε.Ε. και θα επιτρέπεται υπό ορισμένες προϋποθέσεις να εισάγουν «φυσικές» ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από πηγές τρίτων χωρών, όπως μεγάλες ηλιακές εκμεταλλεύσεις στη Βόρεια Αφρική. Ωστόσο, οι αποκαλούμενες «εικονικές» εισαγωγές, που βασίζονται σε επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε τρίτες χώρες, δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη για την επίτευξη εθνικών στόχων.

1.4 Το πρόβλημα της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας διεθνώς

Σύμφωνα με έρευνες έως τις μέρες μας, έχει βρεθεί πως τα νοικοκυριά ευθύνονται για το 20% της κατανάλωσης φυσικού αερίου και το 24% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στις Κάτω Χώρες (Energiezaak, 2011). Η μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι 3.480 kWh και η μέση κατανάλωση φυσικού αερίου είναι 1.617 m³ ανά νοικοκυριό (Energiezaak, 2011).

Υπάρχει έντονη δυνατότητα μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης των νοικοκυριών. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για το σημερινό απόθεμα κατοικιών, εκ των οποίων άνω του 50% χρονολογείται πριν από την εισαγωγή του πρώτου κανονισμού περί μόνωσης το 1975, και το 84% χρονολογείται πριν από την εισαγωγή των κανονισμών ενεργειακής απόδοσης (EPC) το 1995 (MvBZK, 2010). Επομένως, οι παλαιότερες κατοικίες χρειάζονται περισσότερη ενέργεια για θέρμανση (NIBUD, 2009, Guerra Santin, 2010).

Δεδομένου ότι μόνο το 1% του συνολικού αποθέματος κατοικιών προστίθεται κάθε χρόνο με τη μορφή νέων κατοικιών (MvBZK, 2010), η εστίαση στο υφιστάμενο απόθεμα κατοικιών, είναι απαραίτητη για την επίτευξη συνολικής μείωσης της ολλανδικής κατανάλωσης ενέργειας. Οι τεχνολογικές λύσεις, όπως η μετάβαση στις πιο ενεργειακά αποδοτικές διαθέσιμες τεχνολογίες, θα μπορούσαν να εξοικονομήσουν μέχρι και 40% στην οικιακή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (IEA, 2009).

Ειδικά για τη θέρμανση, έχουν αναφερθεί παράγοντες διαφοράς 3-6 (Gram-Hanssen, 2010, Ινστιτούτο παθητικής κατοικίας, 2009). Σύμφωνα με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε από τους Gill et al., (2010), η συμπεριφορά συμπεριφοράς εξήγησε 51%, 37% και 11% της

διακύμανσης, αντίστοιχα, της κατανάλωσης θερμότητας, ηλεκτρισμού και νερού. Όπως αναφέρει ο Crosbie και ο Baker (2009), «δεν έχει σημασία πόσο υποθετικά θα μπορούσε να σωθεί ενέργεια με αποτελεσματικές τεχνολογίες αν κανείς δεν θέλει να ζήσει στις ιδιότητες, να εγκαταστήσει ή να χρησιμοποιήσει αποτελεσματικό φωτισμό και θέρμανση" για την αντιμετώπιση της συμπεριφοράς των νοικοκυριών σε προσεγγίσεις μείωσης της ενέργειας».

1.4.1 Εισαγωγή στα έξυπνα ενεργειακά δίκτυα και την διαχείριση ενέργειας

Στην προσπάθεια μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης των νοικοκυριών και αντιμετώπισης αυτής της διάστασης συμπεριφοράς, τα συστήματα έξυπνης μέτρησης και διαχείρισης ενέργειας, λαμβάνουν ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή τόσο στον ακαδημαϊκό χώρο όσο και στις εμπορικές επιχειρήσεις. Για παράδειγμα, οι περισσότεροι κύριοι προμηθευτές ενέργειας στις Κάτω Χώρες έχουν έναν τύπο οικιακής διαχείρισης ενέργειας που προσφέρουν στους πελάτες τους ή τις δοκιμάζουν και η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου σκοπεύει να δρομολογήσει έξυπνους μετρητές και να συνοδεύσει τα στοιχεία της οικιακής διαχείρισης ενέργειας σε όλα τα βρετανικά νοικοκυριά μέχρι το 2020.

Τα στοιχεία της οικιακής διαχείρισης ενέργειας υποστηρίζονται ότι έχουν υψηλό δυναμικό, με κανόνες για αποταμιεύσεις που αναφέρονται μεταξύ 5 και 15% (Darby, 2006a). Το κάθε σύστημα έξυπνης μέτρησης και διαχείρισης ενέργειας, είναι ένα γενικό όνομα για μια ποικιλία συσκευών που μπορούν να βρεθούν κάτω από ονόματα όπως οθόνες ενέργειας, συσκευές οικολογικής ανάδρασης και δείκτες κατανάλωσης ενέργειας. Τα νοικοκυριά ευθύνονται για το 20% της κατανάλωσης φυσικού αερίου και το 24% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στις Κάτω Χώρες (Energiezaak, 2011). Το αέριο και ο ηλεκτρισμός καταναλώνονται από σχεδόν 7,4 εκατομμύρια νοικοκυριά (CBS, 2013), που αντιστοιχούν σε 3480 kWh ηλεκτρικής ενέργειας και 1617 m³ φυσικού αερίου ανά νοικοκυριό (Energiezaak, 2011).

Το αέριο είναι υπεύθυνο για το 60% περίπου των οικιακών εκπομπών στις Κάτω Χώρες, κυρίως επειδή το φυσικό αέριο είναι η κύρια πηγή θέρμανσης. Η χωρική θέρμανση αντιπροσωπεύει σχεδόν το 73% της συνολικής κατανάλωσης φυσικού αερίου (Εικόνα 8), ενώ το ζεστό νερό και το μαγείρεμα αντιπροσωπεύουν πολύ λιγότερο (23% και 4% αντίστοιχα). Έτσι, η χωρική θέρμανση είναι μια σημαντική περιοχή που πρέπει να αντιμετωπιστεί προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση φυσικού αερίου των νοικοκυριών.

Διάφορες συσκευές και πηγές είναι υπεύθυνες για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και όχι η κύρια πηγή (θέρμανση) που μπορεί να παρατηρηθεί με το αέριο. Παρόμοιες μελέτες βρίσκονται στις γειτονικές χώρες (Leefmilieu Brussel - BIM, 2009,

Zimmermann et al., 2012). Κατά συνέπεια, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των νοικοκυριών συνεπάγεται την αντιμετώπιση του μεγάλου αριθμού πηγών κατανάλωσης.

1.5 Το πρόβλημα της εκπομπής αερίων και επιβλαβών ουσιών από τα νοικοκυριά και τη κατανάλωση ενέργειας

Μία σημαντική πτυχή που συμβάλλει στις εκπομπές των νοικοκυριών, και συνεπώς στην κατανάλωση ενέργειας, είναι η ηλικία της κατοικίας. Υπάρχουν περίπου 7,1 εκατομμύρια ανεξάρτητες κατοικίες στις Κάτω Χώρες (MvBZK, 2010). Περισσότερο από το 50% όλων των οικισμών που χρονολογούνται πριν από τους πρώτους κανονισμούς μόνωσης εισήχθησαν το 1975 και το 84% χρονολογείται πριν από το 1995 (MvBZK, 2010). Ενώ έχουν πραγματοποιηθεί ορισμένοι τύποι ρετρό (μόνωση στέγης, οροφής, τοίχων και παραθύρων), οι κατοικίες που χτίστηκαν πριν από το 1995 και ειδικά πριν από το 1945 (Guerra Santin, 2010) εξακολουθούν να καταναλώνουν περισσότερο αέριο.

Ο Nibud (2009) διαπίστωσε σημαντική διαφορά στην κατανάλωση φυσικού αερίου μεταξύ κατοικιών που χτίστηκαν πριν από το 1945 και μετά το 1980. Παρ'όλα αυτά, οι βελτιώσεις μόνωσης κατοικιών σε υπάρχουσες κατοικίες και ιδιαίτερα η εγκατάσταση λέβητα / φούρνοι συμπύκνωσης υψηλής απόδοσης (Sijbring and Overman, 2011, Energiezaak, 2011) συνέβαλαν στη μείωση της κατανάλωσης αερίου.

Αλλα χαρακτηριστικά του κτιρίου που κατά την κατανάλωση φυσικού αερίου είναι ο τύπος κατοικίας (π.χ. ανεξάρτητα, terraced, at), το μέγεθος της κατοικίας και ο χρήσιμος χώρος διαβίωσης, ο αριθμός των δωματίων και η παρουσία υπόστεγων, γκαράζ ή υπόγειο, όλα των οποίων συμβάλλουν στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση (Guerra Santin et al., 2009, NIBUD, 2009).

1.5.1. Στόχοι της ενεργειακής διαχείρισης στον οικιακό χώρο

Η διαχείριση ενέργειας είναι το μέσο για τον έλεγχο και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και ο έλεγχος και η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, είναι σημαντική, επειδή επιτρέπει να επιτευχθούν τα εξής (Tooraj, Michael, 2005):

- Μείωση στο κόστος - αυτό καθίσταται όλο και πιο σημαντικό καθώς αυξάνεται το κόστος ενέργειας λειτουργίας ενός οργανισμού ή οικίας.
- Μείωση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και τις περιβαλλοντικές ζημιές που τις προκαλούν - καθώς και τις σχετικές με το κόστος επιπτώσεις των φόρων άνθρακα και τα παρόμοια, ο οργανισμός σας μπορεί να είναι πρόθυμος να μειώσει το αποτύπωμα άνθρακα για να προωθήσει μια πράσινη, βιώσιμη εικόνα.

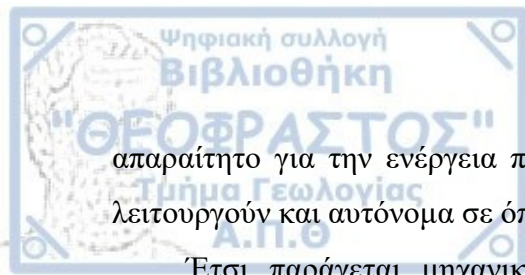
➤ Μείωση στο κίνδυνο μόλυνσης - όσο περισσότερη ενέργεια καταναλώνεται, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος οι αυξήσεις των τιμών της ενέργειας ή οι ελλείψεις στην προσφορά να επηρεάσουν σοβαρά την κερδοφορία σας ή ακόμα και να καταστήσουν αδύνατη την συνέχιση της επιχείρησης / οργανισμού σας. Με την ενεργειακή διαχείριση μπορεί κανείς να μειώσει αυτόν τον κίνδυνο μειώνοντας τη ζήτηση ενέργειας και ελέγχοντας την ώστε να είναι πιο προβλέψιμη.

Οι περισσότερες ενεργειακές πηγές προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από τον ήλιο. Τα ορυκτά καύσιμα είναι απλά αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια, παγιδευμένη στο υπέδαφος για χιλιάδες χρόνια με τη μορφή γαιάνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου. Εντούτοις, μόλις τα σχετικά αποθέματα των πηγών αυτών εξαντληθούν, δεν αντικαθίστανται και χάνονται για πάντα. Ειδικότερα όμως και εκτός των φωτοβολταϊκών συστημάτων, η εξέλιξη που έχει σημειωθεί στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Και αυτό γιατί και η απόδοση των μηχανών από το 1980 μέχρι και σήμερα, έχουν διπλασιασθεί. Όσον αφορά το κόστος κατασκευής τους έχει μειωθεί σημαντικά και πλέον είναι ανταγωνιστική ως προς τις περισσότερες συμβατικές μορφές ενέργειας (Μαρίνου, 2004).

Χαρακτηριστικά στην Καλιφόρνια, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο έχει κόστος της τάξης των 6-7 cents ανά κιλοβατώρα στον οικιακό χώρο. Δηλαδή είναι πολύ πιο χαμηλό από τα 10 cents ανά κιλοβατώρα της πυρηνικής ενέργειας. Αντίστοιχα, σημειώνεται πως η απόδοση αλλά και η αξιοπιστία των ανεμογεννητριών έχει αναβαθμισθεί από τις συνεχείς βελτιώσεις της σχετικής τεχνολογίας (Smil, 2014).

Ωστόσο, η χρήση των ανανεώσιμων αυτών πηγών ενέργειας τα τελευταία χρόνια τείνει να είναι πιο συχνή στην Ευρώπη μέσα από την προώθηση νέων πολιτικών. Με αυτό το σκεπτικό και η χρήση της αιολικής τεχνολογίας, θα αυξηθεί σημαντικά. Ουσιαστικά η τεχνολογία στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας άρχισε με μικρές ανεμογεννήτριες των 20-75 KW. Στη συνέχεια όμως αυξήθηκε. Το τυπικό μέγεθος πριν από μερικά χρόνια ήταν 200-300 KW. Στις μέρες μας ξεπερνά τα 500 κιλοβάτ ενώ μπορεί να φθάσει και το 1 MW (Graedel et al., 2011).

Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μια συστοιχία από πολλές ανεμογεννήτριες, η οποία αφού εγκατασταθεί λειτουργεί σε κάποια συγκεκριμένη θέση με το αιολικό δυναμικό υψηλό. Μέσα από αυτή την εφαρμογή επιτυγχάνεται μια μαζική εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και από τη στιγμή που γίνεται μέσω υποσταθμού είναι απλή. Στον υποσταθμό αυτό τοποθετούνται οι μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης αλλά και τα άλλα αναγκαία συστήματα προστασίας. Έτσι δημιουργείται ένα ξεχωριστό σύστημα διαχείρισης το οποίο είναι



απαραίτητο για την ενέργεια που παράγεται. Φυσικά είναι δυνατό οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν και αυτόνομα σε όποιες περιοχές δεν υπάρχει ηλεκτροδότηση.

Έτσι παράγεται μηχανική ενέργεια που είναι χρήσιμη σε αντλιοστάσια και σε παραγωγή θερμότητας. Επίσης, σε κάποια αγροτικές ή απομονωμένες περιοχές όπου οι απαιτήσεις σε ενέργεια είναι μικρές χρησιμοποιούνται μικρές ανεμογεννήτριες με συνεχές ρεύμα. Κυρίως σε συνδυασμό με μια συστοιχία συσσωρευτών προκειμένου να αποθηκευτεί η πλεονάζουσα ενέργεια. Το σίγουρο είναι όμως ότι η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και η επιλογή του χώρου πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει και η προστασία του περιβάλλοντος. Η ομαλή ένταξη του τοπίου είναι σημαντική για τη δημιουργία αιολικού πάρκου (Graedel et al., 2011).

Κεφάλαιο 2^ο – Ορισμός και χαρακτηριστικά της ενεργειακής μετάβασης και στοιχεία που καθορίζουν την επίτευξή της

2.1 Ορισμός και Χαρακτηριστικά της Κλιματικής Αλλαγής και της Ενεργειακής Μετάβασης

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα επίμονο πρόβλημα για την ανθρώπινη κοινωνία για πάνω από τρεις δεκαετίες και κάθε χρόνο γίνεται ακόμη μεγαλύτερο πρόβλημα (Revkin, 2018). Μέχρι πρόσφατα, πολλές κυβερνήσεις και εταιρείες έχουν λάβει αυτό το ζήτημα πιο σοβαρά. Παλαιότερα οι εταιρείες σκεφτόντουσαν πώς επηρεάζουν οι δραστηριότητές τους τον κόσμο, αλλά πλέον σκέφτονται πώς θα τις επηρεάσει το μέλλον της κλιματικής αλλαγής.

Αυτό το γεγονός έχει πυροδοτήσει την ανάγκη για μια ενεργειακή μετάβαση, η οποία συνίσταται στο να αφήσουμε πίσω τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας με βάση το πετρέλαιο, τον άνθρακα και το φυσικό αέριο και να τις αλλάξουμε για καθαρή και ανανεώσιμη ενέργεια (Bloomberg, 2020). Οι κυβερνήσεις έχουν επίσης κάνει αυτή τη στροφή, δημιουργώντας κανονισμούς και στόχους στο μέλλον για να εξασφαλίσουν την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές σε διάφορους κλάδους όπως η γεωργία, η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα, η κινητοποίηση και η μεταποίηση. Όλη αυτή η διαδικασία είναι εξαιρετικά περίπλοκη καθώς απαιτεί μια μεγάλη αλλαγή και τεράστια συλλογική προσπάθεια για να γίνει δυνατή, αλλά καθώς η κλιματική αλλαγή γίνεται πιο εμφανής και επικίνδυνη για την ανθρώπινη ύπαρξη, αυτές οι οντότητες έχουν αρχίσει να λαμβάνουν μέτρα για να εξασφαλίσουν την απαλλαγή από τον άνθρακα. Μια ενεργειακή μετάβαση έχει ξεκινήσει.

Ωστόσο, οι κύριες πηγές αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούν την κλιματική αλλαγή είναι η θέρμανση (31%), γεωργία (11%), οι μεταφορές (15%), δασοκομία (6%) και μεταποίηση (12%) και παραγωγή ενέργειας όλων των τύπων. Αντιπροσωπεύουν το 72% του συνόλου των εκπομπών (World Resource Institute, 2017). Αυτές οι βιομηχανίες παράγουν περίπου 36 δισεκατομμύρια τόνους αερίων θερμοκηπίου κάθε χρόνο (Ritchie, Roser, 2018). Υπάρχει ένα στοιχείο που υπάρχει στον περιοδικό πίνακα που είναι σε θέση να μετριάσει, σε μεγάλο επίπεδο, δύο από αυτές τις πηγές ρύπανσης, τις μεταφορές και την παραγωγή ενέργειας. Αυτό το στοιχείο είναι το λίθιο.

Το λίθιο είναι ένα κοινό μέταλλο που μπορεί να βρεθεί σε πολλά μέρη στη γη, συμπεριλαμβανομένου του θαλασσινού νερού (Pennel, 2018), και έχει τη δυνατότητα να διαταράξει τον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας και της κινητικότητας σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτό το μέταλλο είναι ένα από τα κύρια συστατικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή λιθίου που υπάρχουν στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και αυτά που χρησιμοποιούνται

για την αποθήκευση ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Πολλοί επαγγελματίες του κλάδου προβλέπουν ότι η ζήτηση για μπαταρίες ιόντων λιθίου θα αυξηθεί την επόμενη δεκαετία, καθώς η τεχνολογία έχει κάνει την παραγωγή αυτών των μπαταριών οικονομική. Το λίθιο έχει τη δυνατότητα να αλλάξει δύο τεράστιες βιομηχανίες: την κινητικότητα και την αποθήκευση ενέργειας.

Αν και η πρόβλεψη για τη ζήτηση αυτού του στοιχείου είναι αυξητική, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλοί παράγοντες και προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να συμβεί αυτή η άνοδος. Ένα από τα πιο σημαντικά είναι η τρέχουσα υποδομή που απαιτείται για την αντιμετώπιση της αυξανόμενης ζήτησης που προβλέπεται (Berry, 2020). Η τρέχουσα αλυσίδα εφοδιασμού των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι παγκόσμια, πράγμα που σημαίνει ότι η παραγωγή τους απαιτεί κοινή προσπάθεια από ανθρώπους και εταιρείες σε όλο τον κόσμο, κάτι που αποτελεί αδυναμία χάρη στον Covid-19 (Berry, 2020).

Οι κύριες πηγές πρώτων υλών συγκεντρώνονται στη Νότια Αμερική, και συγκεκριμένα στη Χιλή, την Αργεντινή και τη Βολιβία (Fathrope, 2020). Αυτή η περιοχή του κόσμου αναφέρεται συχνά ως «τρίγωνο λιθίου». Στη συνέχεια, αυτό το υλικό αποστέλλεται στην Κίνα όπου παράγεται το 90-95% των ανοδίων και καθόδων που απαιτούνται για τις μπαταρίες και στη συνέχεια αποστέλλονται σε εταιρείες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούν τις μπαταρίες για αποθήκευση ενέργειας ή για κατασκευαστές αρχικού εξοπλισμού OEM (Berry, 2020). Μερικά από τα πρόσθετα προβλήματα είναι η εξόρυξη, οι αποκεντρωμένες πηγές πρώτων υλών, τα κοινωνικοπολιτικά ζητήματα και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Παρά όλα τα προβλήματα που αντιμετωπίζει το λίθιο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι προβλέψεις των ειδικών εξακολουθούν να βασίζονται σε υψηλή ζήτηση για αυτό το στοιχείο και υπάρχουν σαφείς ενδείξεις που υποστηρίζουν αυτόν τον ισχυρισμό (Ward, 2020). Επίσης, υπάρχουν πολλές κυβερνήσεις που δηλώνουν ότι θα απαγορεύσουν τα οχήματα ICE μέχρι ορισμένες ημερομηνίες. Επιπλέον, γίνονται τεράστιες προσπάθειες για να μεταφερθούν όλα τα μέσα μαζικής μεταφοράς σε οχήματα με μπαταρία.

Όλα αυτά τα μελλοντικά σχέδια και κανονισμοί βασίζονται μόνο σε πράγματα, και αυτό είναι η παραγωγή μπαταριών ιόντων λιθίου (LIBs). Η συνάφεια αυτού του στοιχείου αρχίζει ήδη να αυξάνεται και θα έχει ακόμη μεγαλύτερη έκρηξη την επόμενη δεκαετία (Berry, 2020). Η αλλαγή που θα φέρει αυτή η αλλαγή στον κόσμο είναι μεγάλη και ένα απίστευτο βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, θα προσφέρει μια τεράστια ευκαιρία σε ιδιώτες και επενδυτές.

2.2 Τρέχουσα ενεργειακή μετάβαση

Είναι σαφές ότι η σύγχρονη κοινωνία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα, προκειμένου να καλύψει τις ενεργειακές της ανάγκες. Από το 1971 μέχρι πρόσφατα περίπου το 80% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας προερχόταν από απολιθώματα (Rathi, 2017). Αυτό έχει δημιουργήσει μια σοβαρή ανισορροπία για το περιβάλλον κυρίως λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αν και αυτό το φαινόμενο ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά το 1859 (Darby, 2016), δεν υπήρξε καμία σημαντική προσπάθεια για να ξεπεραστεί το πρόβλημα μέχρι πρόσφατα.

Ένα από τα πρώτα βήματα που σηματοδοτούν την αλλαγή αυτή, ήταν η δημιουργία της συμφωνίας του Παρισιού, η οποία, σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, έχει στόχο να διατηρήσει τη θερμοκρασία του πλανήτη κάτω από τους 2 βαθμούς Κελσίου πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα. Αυτή η συμφωνία υπεγράφη το 2016 και παρά τη διπλωματική της επιτυχία, η συνολική αποτελεσματικότητά της παρέμεινε υπό έντονη παρατήρηση (Raiser et al, 2020). Πλέον, τα τελευταία δύο χρόνια μεγάλες επενδυτικές εταιρείες και εταιρείες όπως η S&P Global και η Διεθνής Υπηρεσία Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (IRENA) έχουν καθιερώσει έναν όρο που ονομάζεται ενεργειακή μετάβαση.

Με βάση τις πρόσφατες τάσεις και αναλύσεις, μόλις το 2018 οι εταιρείες και οι κυβερνήσεις άρχισαν πραγματικά να παίρνουν σοβαρά αυτό το ζήτημα και ακόμη περισσότερο τώρα το 2020. Για παράδειγμα, πολλές χώρες εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EE) όπως η Δανία, η Ισλανδία, η Ιρλανδία, η Ισπανία, η Σουηδία, η Γαλλία και πολλοί άλλοι έχουν θέσει έναν στόχο να εξαλείψουν την πώληση οχημάτων (ICE) μεταξύ 2032 και 2040 (Wapperlhosrt, 2020). Οι περισσότερες από τις χώρες που συμμετείχαν σε αυτήν την κίνηση το έκαναν μεταξύ 2018 και 2020. Επιπλέον, στις Ηνωμένες Πολιτείες, το δημοκρατικό κόμμα της δυτικής ακτής εισήγαγε πρόσφατα μια ομοσπονδιακή νομοθεσία που στοχεύει στην απαγόρευση της πώλησης οχημάτων ICE έως το 2035 (Noble, 2020).

Ομοίως, ιδιωτικές εταιρείες και αγορές έχουν επίσης υιοθετήσει αυτήν την τάση βιωσιμότητας. Αυτή η πρόσφατα υιοθετηθείσα ενεργειακή μετάβαση προέρχεται τόσο από εταιρείες όσο και από κυβερνήσεις και μπορεί να εντοπιστεί εξετάζοντας μια σειρά νέων στόχων και κανονισμών που γεννήθηκαν μεταξύ 2018 και 2020.

2.3 Παγκόσμιες ενεργειακές μεταβάσεις

Εναλλακτικά παγκόσμια ενεργειακά μελλοντικά συμβόλαια που παρουσιάζουν ευρεία εξάπλωση, τόσο στη μεθοδολογία όσο και στο περιεχόμενο προτείνονται συνήθως στη βιβλιογραφία και χρησιμοποιούνται επίσης για υποστήριξη αποφάσεων (Grunwald, 2011).

Αν και το νόημα μπορεί να ποικίλλει μεταξύ καταστάσεων ή προοπτικών, μια ενεργειακή μετάβαση μπορεί να οριστεί ως η μετάβαση ενός οικονομικού συστήματος από το να εξαρτάται από μία ή περισσότερες ενεργειακές τεχνολογίες σε άλλες (Fouquet, Pearson, 2012). Σε συγκεντρωτικό παγκόσμιο επίπεδο, ένας τέτοιος μετασχηματισμός θα μπορούσε να θεωρηθεί παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση.

Ο Smil (2014) περιγράφει δύο μεγάλες παγκόσμιες ενεργειακές μεταβάσεις από το ένα κυρίαρχο καύσιμο σε ένα άλλο που φαίνεται να έχουν συμβεί στη σύγχρονη ιστορία. Πρώτα η αλλαγή από ξύλο σε κάρβουνο και αργότερα από άνθρακα σε πετρέλαιο, που χρειάστηκαν και τα δύο από 50 έως 60 χρόνια. Παρά αυτές τις ενεργειακές μεταβάσεις, η χρήση άνθρακα συνεχίζει να αυξάνεται σε παγκόσμια κλίμακα και σύμφωνα με τις περισσότερες στατιστικές, η βιομάζα εξακολουθεί να αποτελεί περίπου το 10% του παγκόσμιου εφοδιασμού πρωτογενούς ενέργειας (IEA, 2014). Δεδομένου ότι αυτές οι φαινομενικές ιστορικές ενεργειακές μεταβάσεις έχουν συσχετιστεί με αυξήσεις στην κατανάλωση ενέργειας, η απόλυτη κατανάλωση των επιμέρους πηγών ενέργειας συνέχισε να αυξάνεται, παρά το γεγονός ότι το μερίδιο των μεμονωμένων πηγών ενέργειας μπορεί να έχει μειωθεί (Fouquet, Pearson, 2012).

Πολλές μεταβάσεις που προτείνονται σήμερα, είναι πλήρεις μετασχηματισμοί του ενεργειακού συστήματος, φθάνοντας σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα, όχι απλώς μια αλλαγή στην κυρίαρχη πηγή ενέργειας. Έχει επίσης υποστηριχθεί ότι η στροφή προς την ενέργεια χαμηλών εκπομπών άνθρακα δεν εγγυάται, ωστόσο, τη μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων (Fouquet, Pearson, 2012). Σε ένα πιο αναλυτικό επίπεδο, μια ενεργειακή μετάβαση μπορεί να σημαίνει κάτι εντελώς διαφορετικό.

Για παράδειγμα, σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες με τρέχουσα χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η σημαντική μετάβαση μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η μετάβαση από την παραδοσιακή βιομάζα στις σύγχρονες πηγές ενέργειας (Leach, 1992). Η έννοια της ενεργειακής μετάβασης μπορεί απλώς να σημαίνει διαφορετικά πράγματα σε διαφορετικές καταστάσεις, αλλά αυτό που είναι λίγο-πολύ αναπόφευκτο για όλες τις ενεργειακές μεταβάσεις είναι ότι αυξάνεται η χρήση κάποιων ενεργειακών πόρων, πράγμα που σημαίνει ότι ορισμένες ενεργειακές τεχνολογίες πρέπει να αναπτυχθούν. Η εστίαση σε αυτή τη διατριβή είναι στους ρυθμούς ανάπτυξης της ενεργειακής τεχνολογίας και στις σχετικές απαιτήσεις σε πόρους.

Εφόσον μια ενεργειακή μετάβαση σημαίνει αναπόφευκτα ότι πρέπει να αναπτυχθούν μεμονωμένες ενεργειακές τεχνολογίες, το πόσο γρήγορα μπορεί να συμβεί μια τέτοια μετάβαση πρέπει σε κάποιο βαθμό να εξαρτάται από τους ρυθμούς ανάπτυξης που είναι

δυνατοί για αυτές τις τεχνολογίες. Οι Höök et al. (2011) επισημαίνουν ότι όλα τα πρότυπα ανάπτυξης πρέπει τελικά να υπόκεινται σε κάποια μορφή περιορισμού. Εξετάζοντας τους ιστορικούς ρυθμούς ανάπτυξης των ενεργειακών τεχνολογιών, έχει υποστηριχθεί ότι παρόλο που οι πηγές ενέργειας έχουν αυξηθεί με υψηλούς σχετικούς ρυθμούς στα αρχικά στάδια, καμία πηγή ενέργειας δεν έχει διατηρήσει ανάπτυξη πολλών δεκαετιών μεγαλύτερη από μερικά % (Höök et. al., 2012).

Οι Kramer και Haigh (2009) προτείνουν ότι η ανάπτυξη της ενεργειακής τεχνολογίας στην ιστορία ήταν αξιοσημείωτα παρόμοια μεταξύ διαφορετικών ενεργειακών τεχνολογιών, όπου μια τεχνολογία έχει περάσει από μερικές δεκαετίες εκθετικής ανάπτυξης με περίπου 26% ετησίως μέχρι να φτάσει περίπου το 1% της παγκόσμιας ενέργειας, μετά την οποία η ανάπτυξη γίνεται γραμμική έως ότου η τεχνολογία κατακτήσει ένα μερίδιο αγοράς.

Η ανανεώσιμη ενέργεια περιγράφεται συνήθως ως προτιμότερη από τα ορυκτά καύσιμα, καθώς βασίζεται σε πηγές ενέργειας που ανανεώνονται συνεχώς, σε αντίθεση με τους μη ανανεώσιμους ή εξαντλητικούς πόρους. Ωστόσο, μερικές φορές επισημαίνεται ότι οι ενεργειακές τεχνολογίες όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια κατασκευάζονται με χρήση μη ανανεώσιμων πόρων. Δεδομένου ότι τα ορυκτά καύσιμα κυριαρχούν στο τρέχον ενεργειακό σύστημα, έχει υποστηριχθεί ότι θα πρέπει επίσης να τροφοδοτήσουν τη μετάβαση σε ένα σύστημα που βασίζεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Moriarty, Honnery, 2009).

Η ενέργεια που απαιτείται ως εισροές για να ληφθούν οι επιθυμητές ενεργειακές υπηρεσίες εκφράζεται συνήθως με όρους καθαρής ενέργειας ή απόδοσης ενέργειας από επένδυση (EROI) (Murphy et al., 2011). Άλλοι επισημαίνουν το γεγονός ότι μια μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα απαιτούσε μεγάλες ποσότητες εξαντλημένων πρώτων υλών, ειδικά μετάλλων, μερικά από τα οποία θεωρούνται ήδη σπάνια (Bradshaw, Hamacher, 2012). Έχει υποστηριχθεί ότι μια διακοπή στην παροχή ενός κρίσιμου υλικού θα μπορούσε να περιορίσει μια ενεργειακή μετάβαση και να θέσει σε κίνδυνο τη μελλοντική ενεργειακή ασφάλεια (Roelich et al., 2014).

2.4 Χρήση μη ανανεώσιμων πόρων

Το εάν η εξάρτηση από μη ανανεώσιμους πόρους θα πρέπει να θεωρείται πρόβλημα ή όχι, εξακολουθεί να αμφισβητείται κάπως στην επιστημονική κοινότητα. Ο Tilton (1996) περιγράφει ακόμη και δύο διαφορετικές σχολές ή παραδείγματα σχετικά με την εξάντληση των πόρων που αποτελούνται από εκείνους που «ανησυχούν» και «αδιαφορούν». Οι ενδιαφερόμενοι ισχυρίζονται ότι η Γη δεν μπορεί να υποστηρίξει την τρέχουσα ή αναμενόμενη μελλοντική ζήτηση για μη ανανεώσιμους φυσικούς πόρους, ενώ οι αδιάφοροι

πιστεύουν ότι τα κίνητρα της αγοράς, η δημόσια πολιτική και η νέα τεχνολογία θα είναι σε θέση να καλύψουν τις ανάγκες της κοινωνίας σε ένα αόριστο μέλλον.

Αυτό θα μπορούσε επίσης να συνδεθεί με την έννοια της αδύναμης και ισχυρής βιωσιμότητας, όπου οι υποστηρικτές της ασθενούς βιωσιμότητας πιστεύουν ότι όλα τα είδη φυσικού κεφαλαίου μπορούν να αντικατασταθούν από ανθρωπογενές κεφάλαιο, ενώ άλλοι πιστεύουν ότι υπάρχουν όρια σε αυτό το είδος υποκατάστασης (Ayres, 2007). Ένα κοινό επιχείρημα κατά των πιθανών περιορισμών για την πρόσβαση σε φυσικούς πόρους, είναι να επισημανθεί απλώς το γεγονός ότι τα αποθέματα ή οι πόροι είναι πολύ μεγάλα ή πολύ μεγαλύτερα από την τρέχουσα παραγωγή.

Αυτό το επιχείρημα ισχύει για πολλούς πόρους, αλλά το πώς θα επηρεάσει τη μελλοντική παραγωγή, δεν είναι σαφώς προβλέψιμο. Λαμβάνοντας ως παράδειγμα τα μεγάλα παγκόσμια αποθέματα και πόρους άνθρακα, έχει υποστηριχθεί ότι επαρκούν για να καλύψουν τη ζήτηση για «πολλές δεκαετίες» (BGR, 2009). Άλλοι επισημαίνουν το γεγονός ότι περισσότερες από 20 χώρες φαίνεται να έχουν ήδη φτάσει σε μια μέγιστη παραγωγή άνθρακα (Lin, Liu, 2010) ή υποστηρίζουν ότι ο διαθέσιμος άνθρακας μπορεί να είναι λιγότερο άφθονος από ό,τι συνήθως υποτίθεται, σε συνδυασμό με μια ταχέως αναπτυσσόμενη παγκόσμια ζήτηση. Η ζήτηση θα μπορούσε να προκαλέσει προβλήματα στο μέλλον (Heinberg, Fridley, 2010).

Ενώ παρόμοιες συζητήσεις έχουν γίνει για ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών φυσικών πόρων, η πιο ζωντανή συζήτηση σχετικά με την εξάντληση των πόρων αφορούσε το πετρέλαιο. Μελέτες σχετικά με το εάν ή ποτέ η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου θα φτάσει σε ένα μέγιστο επίπεδο (αιχμή) καθώς και εάν αυτό είναι πρόβλημα ή όχι, οδηγούν στη διαμόρφωση της έννοιας που συνήθως αναφέρεται ως *peak oil*.

Ο Hubbert (1949) δήλωσε ότι η παραγωγή ορυκτών καυσίμων, που δεν περιορίζεται στο πετρέλαιο, θα αυξηθεί αναπόφευκτα μέχρι να περάσει από ένα ή περισσότερα μέγιστα (κορυφές) και στη συνέχεια να μειωθεί στο μηδέν, όπου η περιοχή κάτω από την καμπύλη πρέπει να είναι ίση ή χαμηλότερη, από την αρχικά παρούσα ποσότητα. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως το θεμέλιο της μοντελοποίησης περιορισμένων πόρων που βασίζεται στην πεπερασμένη φύση του πετρελαίου και άλλων μη ανανεώσιμων πόρων (Jakobsson et al., 2009).

Έκτοτε, έχει διεξαχθεί ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών προσπαθειών για την περιγραφή της πιθανής μελλοντικής παραγωγής πετρελαίου, οδηγώντας σε μια σειρά από διαφορετικά συμπεράσματα. Ωστόσο, σε μια μελέτη που επανεξετάζει περισσότερες από 500 μελέτες για αυτά τα θέματα, το Ερευνητικό Κέντρο Ενέργειας του Ηνωμένου Βασιλείου (UKERC),

καταλήγει στο συμπέρασμα ότι μια κορύφωση στην παραγωγή αυτού που συνήθως αναφέρεται ως συμβατικό πετρέλαιο είναι πιθανό πριν από το 2030, με σημαντικό κίνδυνο να συμβεί. πριν από το 2020 (Sorrell et al., 2010).

Ενώ ορισμένοι υποστηρίζουν ότι επίκειται μια κορύφωση στη συμβατική παραγωγή πετρελαίου, άλλοι υποστηρίζουν ότι αυτή η αιχμή μπορεί να συμβεί λόγω της αιχμής ζήτησης πετρελαίου (Brandt et al., 2013). Οι λόγοι για την κορύφωση της παραγωγής πετρελαίου είναι το αποτέλεσμα μιας αλληλεπίδρασης μεταξύ περιορισμών κάτω από το έδαφος, όπως η φυσική εξάντληση των πόρων και οι υπέργειοι περιορισμοί, για παράδειγμα οι τιμές και η ζήτηση, και θα μπορούσαν επίσης να επηρεαστούν από την αυξημένη παραγωγή αναφέρεται συνήθως ως μη συμβατικοί πόροι (IEA, 2013).

Αν και η εστίαση είναι συνήθως στα ορυκτά καύσιμα και ιδιαίτερα στην παραγωγή πετρελαίου και στην έννοια του πετρελαίου αιχμής, υπάρχει μια αυξανόμενη συζήτηση για την εξάντληση άλλων μη ανανεώσιμων πόρων, που μερικές φορές αναφέρονται ως ορυκτά αιχμής (May et al., 2012). Όσον αφορά τα μη ενεργειακά ορυκτά, μια σημαντική διαφορά είναι ότι ενώ οι ενεργειακοί πόροι, όπως το πετρέλαιο και άλλα ορυκτά καύσιμα, συνήθως καίγονται και καταστρέφονται, τα μέταλλα που παράγονται από άλλα υλικά είναι ανακυκλώσιμα (May et al., 2012). Λόγω της δυνατότητας ανακύκλωσης των μετάλλων, είναι θεωρητικά δυνατό να συνεχιστεί η χρήση των υλικών χωρίς εξόρυξη παρθένου υλικού, αλλά λόγω της αυξημένης χρήσης μετάλλων με την πάροδο του χρόνου σε συνδυασμό με τα μεγάλα χρονικά διαστήματα χρήσης μετάλλων, το πραγματικό ανακυκλωμένο περιεχόμενο είναι συνήθως χαμηλά και αναμένεται να παραμείνουν χαμηλά στο εγγύς μέλλον (Graedel et al., 2011).

Επίσης, ενώ τα μέταλλα είναι ανακυκλώσιμα, τα εξορυκτικά κοιτάσματα είναι μη ανανεώσιμα σε ανθρώπινα χρονικά διαστήματα και μπορούν να θεωρηθούν πεπερασμένα αποθέματα (Prior et al., 2012). Επομένως, μπορεί να υποτεθεί ότι ισχύει η ίδια θεμελιώδης υπόθεση, που σημαίνει ότι η παραγωγή παρθένου μεταλλεύματος θα ξεκινήσει από το μηδέν, κάποια στιγμή θα φτάσει στο μέγιστο, πριν αρχίσει να μειώνεται. Μια άλλη σημαντική διαφορά είναι ότι οι εκτιμήσεις αποθεμάτων και πόρων καθώς και τα δεδομένα ανακάλυψης είναι λιγότερο βέβαια για τα ορυκτά παρά για τα ορυκτά καύσιμα (May et al., 2012).

2.5 Η μοντελοποίηση των ενεργειακών μεταβάσεων

Διαφορετικά είδη μοντέλων, χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση πιθανών μελλοντικών ενεργειακών συστημάτων. Πολλά μοντέλα που χρησιμοποιούνται είναι πολύ περίπλοκα, κάτι που μερικές φορές μπορεί να απαιτηθεί για να γίνει μια πρόβλεψη πιο

ρεαλιστική, αλλά μπορεί επίσης να απαιτήσει αυξημένο αριθμό υποθέσεων, που γενικά επηρεάζουν το ένα το άλλο, το οποίο μπορεί να λειτουργήσει ενάντια στον επιθυμητό ρεαλισμό (Smil, 2000). Οι συνήθειες μέθοδοι σήμερα, περιλαμβάνουν μοντέλα βελτιστοποίησης ενεργειακών συστημάτων, μοντέλα προσομοίωσης ενεργειακών συστημάτων, συστήματα ηλεκτροπαραγωγής και μοντέλα αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και σενάρια ποιοτικών και μικτών μεθόδων (Pfenninger et al., 2014).

Ο Hubbert (1949) δήλωσε ότι η παραγωγή ορυκτών καυσίμων πρέπει αναπόφευκτα να αυξηθεί, να περάσει από ένα ή περισσότερα μέγιστα και στη συνέχεια να μειωθεί στο μηδέν, αλλά αυτό που δεν αναφέρεται συνήθως είναι ότι στην ίδια μελέτη μια καμπύλη ανάπτυξης για την υδροηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιγράφεται επίσης. Προτείνεται ότι η υδροηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να αυξηθεί με παρόμοιο τρόπο όπως τα ορυκτά καύσιμα στην αρχή, αλλά αντί να μειώνεται ξανά στο μηδέν θα πρέπει να εξισορροπηθεί ασυμπτωματικά και να φτάσει στο μέγιστο όταν χρησιμοποιηθούν όλοι οι διαθέσιμοι πόροι.

Αυτό υποδηλώνει ότι μια καμπύλη ανάπτυξης σε σχήμα S, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντί της καμπύλης ανάπτυξης σε σχήμα καμπάνας που προτείνεται για τα ορυκτά καύσιμα. Παρόμοια είδη ανάλυσης καμπύλης ανάπτυξης έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα ενεργειακών μελετών, όπως ανάλυση ενεργειακών πόρων, μοντελοποίηση ενεργειακής ζήτησης, υποκατάσταση καυσίμου και ανάπτυξη ενεργειακής τεχνολογίας (Ang, Ng, 1992). Αυτό γίνεται συνήθως με την προσαρμογή μιας μαθηματικής συνάρτησης σε ιστορικά δεδομένα, που συνήθως αναφέρονται ως μοντέλα προσαρμογής καμπύλης.

Εάν υποθεθεί ότι η ανάπτυξη είναι περιορισμένη με οποιονδήποτε τρόπο, η εκτίμηση αυτού του περιορισμού γίνεται πολύ σημαντική για την ανάλυση. Για τους μη ανανεώσιμους πόρους, αναφέρεται συνήθως ως οι τελικά ανακτήσιμοι πόροι (URR), οι οποίοι μπορούν να εκτιμηθούν με διαφορετικούς τρόπους. Μερικοί συγγραφείς, όπως ο Hubbert (1956), εκτιμούν την τελική ανάκαμψη από την τάση ανακάλυψης, ενώ άλλοι χρησιμοποιούν μεθόδους προσαρμογής καμπύλης για να εκτιμήσουν το ίδιο το URR (Sorrell, Speirs, 2010).

Κεφάλαιο 3^ο – Κοιτάσματα σπάνιων γαιών και η χρήση τους για την ενεργειακή μετάβαση

3.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων σπάνιων γαιών

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα επίμονο πρόβλημα για την ανθρώπινη κοινωνία για πάνω από τρεις δεκαετίες και κάθε χρόνο γίνεται ακόμη μεγαλύτερο πρόβλημα. Η ζήτηση για τα στοιχεία των κοιτασμάτων σπάνιων γαιών αναμένεται να αυξηθεί κατά 400-600% τις επόμενες δεκαετίες και η ανάγκη για ορυκτά όπως το λίθιο και ο γραφίτης που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων, θα μπορούσε να αυξηθεί έως και 4.000% αντίστοιχα (Vella, 2020). Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν μαγνήτες με νεοδύμιο-σίδηρο-βόριο, οι οποίοι περιέχουν τα στοιχεία σπάνιων γαιών νεοδύμιο και πρασεοδύμιο για να τους ενισχύσουν και δυσπρόσιτο και τέρβιο για να τους καταστήσουν ανθεκτικούς στην απομαγνήτιση (Vella, 2020).

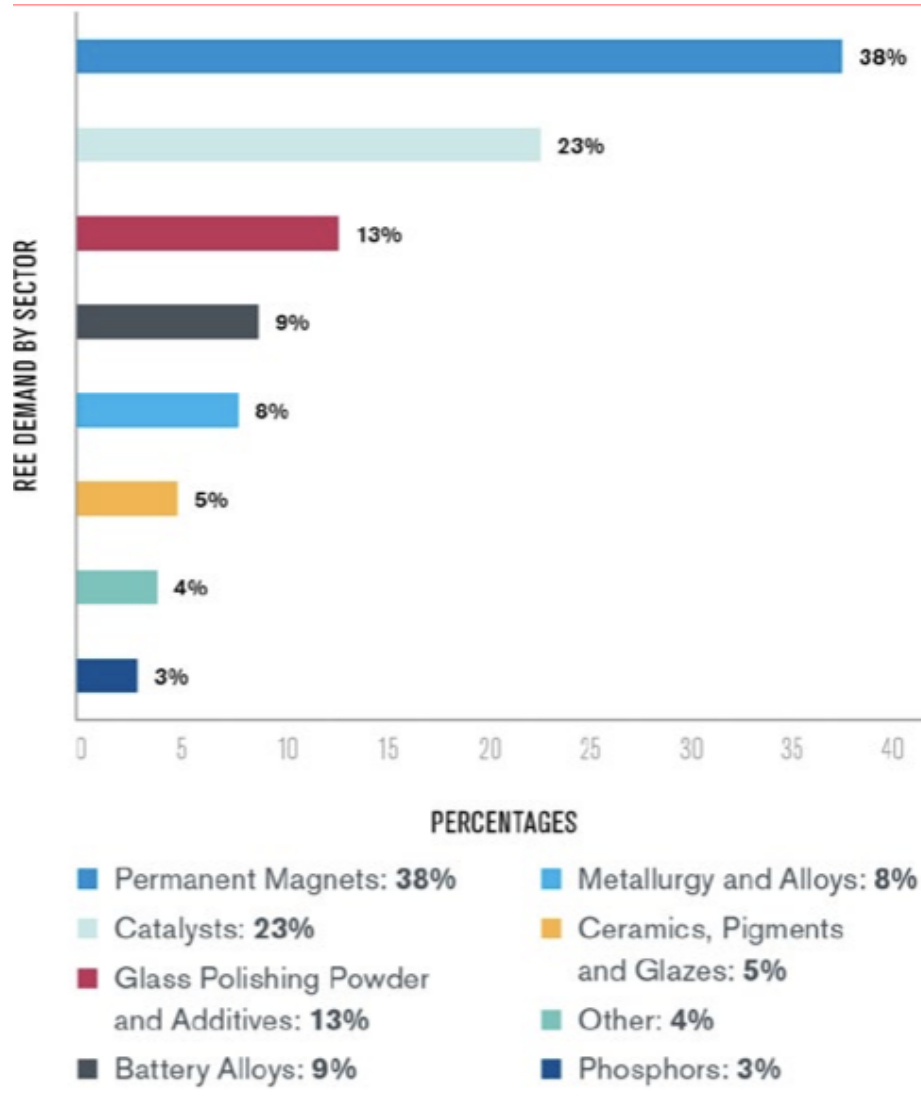
Η παγκόσμια ζήτηση για το νεοδύμιο ως σπάνιο κοιτάσμα γαίας λοιπόν, αναμένεται να αυξηθεί κατά 48% έως το 2050, υπερβαίνοντας την προβλεπόμενη προσφορά κατά 250% έως το 2030. Η ανάγκη για πρασεοδύμιο θα μπορούσε να υπερβεί την προσφορά κατά 175%. Η ζήτηση τερβίου ως κοιτάσμα σπάνιας γαίας, αναμένεται επίσης να υπερβεί την προσφορά. Και για να καλυφθεί η αναμενόμενη ζήτηση έως το 2035 για γραφίτη, λίθιο, νικέλιο και κοβάλτιο, μια ανάλυση προέβλεπε ότι θα χρειαζόνταν 384 νέα ορυχεία (Vella, 2020).

Η Κίνα προμήθευε κάποτε το 97% των στοιχείων σπάνιων γαιών στον κόσμο. Η κρατική υποστήριξη, το φθηνό εργατικό δυναμικό, οι ανεπαρκείς περιβαλλοντικοί κανονισμοί και οι χαμηλές τιμές της επέτρεψαν να μονοπωλήσει την παραγωγή μετάλλων σπάνιων γαιών. Σήμερα η Κίνα παράγει το 60-70% των παγκόσμιων στοιχείων σπάνιων γαιών και επίσης εξασφαλίζει δικαιώματα εξόρυξης στην Αφρική. Οι ΗΠΑ παράγουν λίγο περισσότερο από 14% και η Αυστραλία παράγει το 6% των στοιχείων σπάνιων γαιών.

Το 2018, οι ΗΠΑ ήταν 100% εξαρτημένες από άλλες χώρες για 21 κρίσιμα ορυκτά. Αφού η Κίνα διέκοψε τις εξαγωγές στοιχείων σπάνιων γαιών στην Ιαπωνία σε μια διαμάχη, πολλές χώρες ανησύχησαν για τις πολιτικές και οικονομικές επιπτώσεις της εξάρτησης από μια αγορά και άρχισαν να αναπτύσσουν τη δική τους παραγωγή στοιχείων σπάνιων γαιών. Η κυβέρνηση Μπάιντεν έχει δώσει προτεραιότητα στην ανάπτυξη μιας εγχώριας αλυσίδας εφοδιασμού για μέταλλα σπάνιων γαιών και κρίσιμα ορυκτά.

Ιστορικά λοιπόν, τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως σε βιομηχανικές διεργασίες για τις καταλυτικές τους ιδιότητες. Είναι απαραίτητα για την

πετροχημική βιομηχανία για τη διάσπαση μεγάλων μορίων σε μικρότερους υδρογονάνθρακες κατάλληλους για χρήση σε καύσιμα (Aka, 2017). Πρόσφατα, η ζήτηση για τα σπάνια ορυκτά γαιών έχει αυξηθεί δραματικά λόγω της μόνιμης μαγνητικότητας που παρουσιάζουν τα κράματά τους (Σχήμα 2).



Σχήμα 2 – Ζήτηση για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών ανά τομέα για το 2019

Πηγή: Koc and Senel, 2013

Τα κράματα νεοδυμίου (Nd) και σαμαρίου (Sm) ως κοιτάσματα σπάνιων γαιών, είναι ισχυροί μαγνήτες που αντέχουν σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, καθιστώντας τους

ιδανικούς για μια μεγάλη ποικιλία ηλεκτρονικών και αμυντικών εφαρμογών. Ο ισχυρότερος γνωστός μαγνήτης είναι ένα κράμα νεοδυμίου με σίδηρο (Fe) και βόριο (B), με συντομογραφία NdFeB. Άλλα σπάνια ορυκτά γαιών όπως το δυσπρόσιο (Dy) και το πρασεοδύμιο (Pr) μπορούν να προστεθούν στο NdFeB για να αλλάξουν τις ιδιότητες απόδοσης αυτών των μαγνητών (Constantinides, 2012).

Ο τομέας των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τη ζήτηση για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, επειδή οι ισχυροί μαγνήτες είναι κρίσιμοι για την κατασκευή ανεμογεννητριών άμεσης κίνησης και κινητήρων μόνιμου μαγνήτη για ηλεκτρικά οχήματα (DOE, 2019, Hanejko 2020). Οι ανεμογεννήτριες απευθείας μετάδοσης κίνησης αποτελούν επί του παρόντος ένα μικρό κλάσμα της συνολικής χωρητικότητας αιολικής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ωστόσο, η υψηλή τους απόδοση και οι σχετικά χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες ανεμογεννητριών έχουν θέσει τις ανεμογεννήτριες άμεσης μετάδοσης υπόψη για μεγάλης κλίμακας υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις.

Ομοίως, οι κινητήρες που περιέχουν μόνιμους μαγνήτες από τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, έχουν γίνει πρόσφατα η τυπική επιλογή για ηλεκτρικά οχήματα λόγω των υψηλών αποδόσεων τους. Με την αυξανόμενη ανάγκη παραίτησης από τα ορυκτά καύσιμα, η ζήτηση για τα σπάνια ορυκτά γαιών από τις βιομηχανίες αιολικών και ηλεκτρικών οχημάτων προβλέπεται να αυξηθεί στο εγγύς μέλλον (Alonso et al., 2012). Την τελευταία δεκαετία, για παράδειγμα, παρά την αυξανόμενη ζήτηση, οι τιμές παρέμειναν σχετικά σταθερές λόγω της φθηνής κινεζικής παραγωγής (Bloomberg, 2021).

3.2 Η βιομηχανία των κοιτασμάτων σπάνιων γαιών έως και σήμερα

Τα στοιχεία για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών είναι ευρέως κατανεμημένα σε όλο τον φλοιό της γης, αλλά γενικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Η συγκέντρωση των μεμονωμένων στα σπάνια ορυκτά γαιών, εξαρτάται από τον τύπο του κοιτάσματος ορυκτών που εξορύσσεται και βρίσκονται συχνά μαζί με ραδιενεργά στοιχεία όπως το θόριο και το ουράνιο (Ρόδος 2011). Επομένως, η παραγωγή περιορίζεται γεωγραφικά σε ορισμένα κοιτάσματα ορυκτών πλούσια στα σπάνια ορυκτά γαιών και συχνά απαιτεί τον διαχωρισμό και την ασφαλή διάθεση επικίνδυνων αποβλήτων.

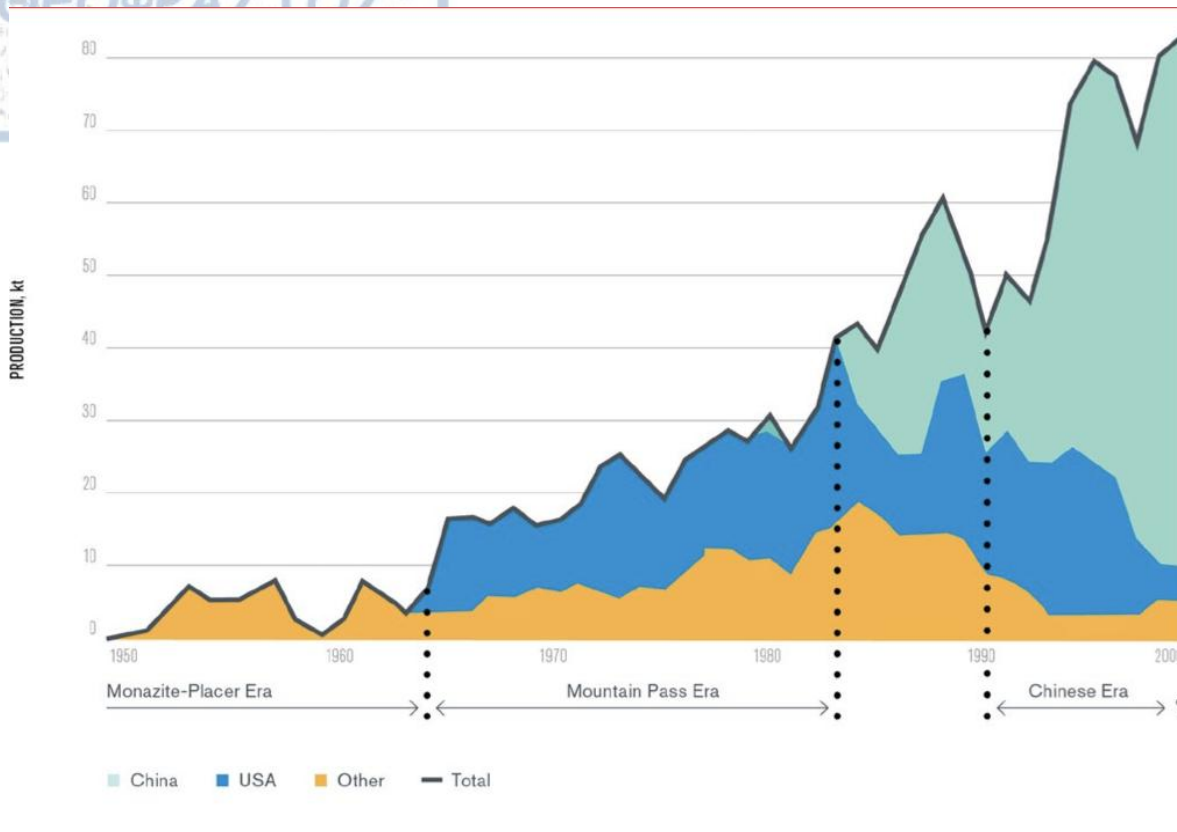
Η εξόρυξη στοιχείων στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών για βιομηχανική χρήση είναι ένα σχετικά σύγχρονο εγχείρημα. Το πρώτο ορυχείο ήταν το Mountain Pass, που βρίσκεται στην έρημο Mojave της Καλιφόρνια (Green, 2019). Το ορυχείο άνοιξε το 1952 για την προμήθεια ουρανίου για στρατιωτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, και αναπτύχθηκαν μέθοδοι για την

απομόνωση και την αφαίρεση στοιχείων σπάνιων γαιών για την εξασφάλιση καθαρού εφοδιασμού ουρανίου. Σήμερα, παρόμοιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του ουρανίου και του θορίου κατά την παραγωγή στα σπάνια ορυκτά γαιών.

Μόνο στις αρχές της δεκαετίας του 1960, με την ευρεία υιοθέτηση της έγχρωμης τηλεόρασης, η εμπορική χρήση για στοιχεία σπάνιων γαιών «απογειώθηκε» τελικά (Mills 2019). Το Europium, που συγκαταλέγεται στα σπάνια ορυκτά γαιών που βρέθηκε σε μεγάλες ποσότητες στο Mountain Pass, ήταν απαραίτητο για την παραγωγή των κόκκινων φωσφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στις πρώιμες έγχρωμες τηλεοράσεις (Encyclopedia Britannica, 2010). Έκτοτε, ο αριθμός των εφαρμογών για στοιχεία στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών συνέχισε να αυξάνεται και σήμερα αρκετά στα σπάνια ορυκτά γαιών (συμπεριλαμβανομένου του δυσπρόσιο, νεοδύμιο, τέρβιο, ευρώπιο και ύτριο) θεωρούνται κρίσιμα υλικά παγκοσμίως (Bauer et al., 2011).

Από τη δεκαετία του 1960 έως τη δεκαετία του 1990, το Mountain Pass παρέμεινε η μόνη μεγάλης κλίμακας πηγή στοιχείων σπάνιων γαιών παγκοσμίως (Εικόνα 1). Ωστόσο, γύρω στο τέλος της χιλιετίας, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και οι κατασκευαστές αποφάσισαν ότι δεν είχε πλέον νόημα να πληρώνουν για τα σπάνια ορυκτά γαιών που εξορύσσονται σύμφωνα με τους σχετικά αυστηρούς νόμους προστασίας του περιβάλλοντος στις Ηνωμένες Πολιτείες (Hudson et al., 1999).

Μέχρι το 2002, το ορυχείο Mountain Pass είχε καταστραφεί και μέχρι το 2010 η Κίνα είχε καταστρέψει το 95% της παγκόσμιας παραγωγής στα σπάνια ορυκτά γαιών, παρέχοντας το φθηνότερο υλικό (King, 2012). Η ανάπτυξη αυτού του τομέα στην Κίνα, αποκάλυψε στη συνέχεια το σοβαρό περιβαλλοντικό κόστος της μεγάλης κλίμακας παραγωγής και άλλαξε σημαντικά την παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού (Ives, 2013).



Εικόνα 1 – Διεθνής παραγωγή στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών μεταξύ 1985 και 2000.

Πηγή: Bradsher, Wong, 2010

Την τελευταία δεκαετία, τα έθνη υπολογίζουν με την υπερμεγέθη δύναμη που έχει η Κίνα στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών. Μετά από ένα κινεζικό εμπάργκο στις πωλήσεις στην Ιαπωνία το 2010, οι χώρες σε όλο τον κόσμο ενημερώθηκαν για τους οικονομικούς κινδύνους που υπάρχουν στον έλεγχο της προμήθειας και διανομής αυτών των κρίσιμων υλικών από μια ξένη δύναμη (Bradsher, Wong, 2010).

Έκτοτε υπήρξαν εκκλήσεις προς τον Παγκόσμιο Οργανισμό Εμπορίου να εμποδίσει την Κίνα να περιορίσει τις εξαγωγές στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών. Εν τω μεταξύ, η Κίνα έχει αρχίσει να αντιμετωπίζει την παράνομη εξόρυξη εντός των συνόρων της και επανεξετάζει την προθυμία της να αποδεχθεί τη ρύπανση και την καταστροφή του οικοσυστήματος με αντάλλαγμα το οικονομικό κέρδος (Standaert, 2019).

Ακόμη και με την εμφάνιση νέων εμπορικών εταιρικών σχέσεων και τη μέτρια ανάπτυξη της παραγωγής στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών στις ΗΠΑ, την Αυστραλία και τη Βραζιλία, το μέλλον της διεθνούς αγοράς παραμένει εξαιρετικά αβέβαιο (Vella 2020, Boyd, 2020). Οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι, το ρυθμιστικό κόστος και οι καταθέσεις χαμηλής

πυκνότητας εξακολουθούν να εμποδίζουν τις περισσότερες χώρες να ανταγωνίζονται άμεσα την Κίνα.

Εάν η δέσμευση της Κίνας για ένα καθαρότερο και υγιέστερο περιβάλλον επιμείνει, ο κόσμος θα μπορούσε να δει μια δραματική αύξηση των τιμών στα σπάνια ορυκτά γαιών. Από την άλλη πλευρά, εάν η Κίνα δεν θεσπίσει μόνιμους κανονισμούς για τη βιομηχανία εξόρυξης στα σπάνια ορυκτά γαιών και άλλες χώρες χαλαρώσουν τους υφιστάμενους περιβαλλοντικούς ελέγχους και επιτρέπουν περιορισμούς προκειμένου να αυξηθεί ο ανταγωνισμός, η παγκόσμια παραγωγή θα μπορούσε να αυξηθεί και οι τιμές θα μπορούσαν να μειωθούν. Αυτοί οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι μπορεί να είναι δύσκολο να αποφευχθούν, καθώς η ασφαλής προμήθεια στα σπάνια ορυκτά γαιών θα είναι απαραίτητη για ένα πλήρως απελευθερωμένο ενεργειακό σύστημα (Bradsher, Wong, 2010).

3.3 Μελλοντική ζήτηση στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών

Η ιστορία και η παρούσα κατάσταση της εφοδιαστικής αλυσίδας τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, καταδεικνύει τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν ήδη αυτά τα υλικά στην παγκόσμια οικονομία. Οι προβλέψεις για απότομη αύξηση της ζήτησης τις επόμενες δεκαετίες εγείρουν πολλά ερωτήματα σχετικά με τις μελλοντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τους κινδύνους προσφοράς σε αυτόν τον κλάδο. Μια μελέτη του MIT του 2012 από τους Alonso et al (2009), διερευνά διεξοδικά αυτό το ζήτημα της μελλοντικής προσφοράς και προβλέπει τη συνολική παγκόσμια ζήτηση έως το 2035 υπό διαφορετικά σενάρια.

Ένα από αυτά τα σενάρια χρησιμοποιεί το σενάριο του Μπλε Χάρτη του IEA για την εκτίμηση της μελλοντικής αιολικής και ηλεκτρικής ενέργειας των αυτοκινήτων (IEA 2010). Αυτό το μοντέλο επιδιώκει μόνο να μειώσει τις παγκόσμιες εκπομπές άνθρακα κατά 50% έως το 2050. Δεδομένης της κατανόησης των ευαισθησιών του κλίματος το 2021, αυτές οι προβλέψεις θα πρέπει να θεωρηθούν υπερβολικά περιορισμένες για την επίτευξη των παγκόσμιων στόχων εκπομπών. Μας παρέχουν μια συντηρητική εκτίμηση της ζήτησης για τους σκοπούς αυτής της ανάλυσης (IPCC, 2018).

Σύμφωνα με αυτό το σενάριο, η μελέτη προβλέπει ότι μέχρι το 2035 η παγκόσμια ζήτηση για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, θα φτάσει κοντά στους 450.000 τόνους ετησίως, σε σύγκριση με περίπου 200.000 τόνους ετησίως σήμερα (USGS, 2021). Αυτό αντιπροσωπεύει περισσότερο από έναν διπλασιασμό του μεγέθους της βιομηχανίας μέσα σε μόλις 15 χρόνια, κάτι που είναι και πάλι υπερβολικά συντηρητικό σύμφωνα με τους σημερινούς στόχους απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές.

Επιπλέον, ο ρυθμός αύξησης της ζήτησης στους Alonso et al. (2009) επιταχύνεται γρήγορα, όπως και οι προβλέψεις για την παραγωγή ανεμογεννητριών και ηλεκτρικών οχημάτων έως το 2050, υποδεικνύοντας ότι αυτή η αύξηση της ζήτησης του κλάδου είναι μόνο η αρχή ενός προτύπου επιταχυνόμενης ανάπτυξης που πιθανότατα θα διαρκέσει για δεκαετίες (Larson et al., 2020).

Καθώς η τεχνολογία προχωρά και η ζήτηση για λύσεις καθαρής ενέργειας εντείνεται, η συνολική παραγωγή στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, θα πρέπει να κλιμακωθεί για να καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση μόνο για μια μικρή χούφτα στοιχείων που απαιτούνται για μαγνήτες - συγκεκριμένα νεοδύμιο (Nd) και δυσπρόσιο (Dy). Ενώ οι Alonso et al. προβλέπει ότι το 2035 η ζήτηση για ύτριο (Y) και τέρβιο (Tb) θα είναι μόνο περίπου το 250% της προσφοράς του 2010, το 2035 η ζήτηση για Dy θα είναι πάνω από το 2500% της προσφοράς του Dy το 2010. Τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών συνήθως συστεγάζονται σε μικρές συγκεντρώσεις, επομένως οι παγκόσμιες εργασίες ορυχείων μπορεί να χρειαστεί να παράγουν μια σημαντική περίσσεια πολλών λιγότερο χρησιμοποιούμενων στοιχείων για την παραγωγή επαρκούς κοιτάσματος.

Η βιομηχανική χρήση στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών είναι μια σχετικά πρόσφατη οικονομική εξέλιξη και οι χρήσεις αυτών των στοιχείων αναπτύχθηκαν για να προσαρμόσουν τη φυσική τους αφθονία και να επωφεληθούν από τις χαμηλές τιμές της αγοράς. Επομένως, είναι αβέβαιο πώς θα ανταποκριθεί η παγκόσμια αγορά στην πλεονάζουσα προσφορά και στις χαμηλότερες τιμές στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών που δεν χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μαγνητών, καθώς οι χρήσεις πολλών άλλων ποσοτήτων στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών είναι ακόμη περιορισμένες. Επειδή η παραγωγή αυτών των ορυκτών είναι σχεδόν πάντα συμπληρωματική, η ζήτηση της αγοράς για κάθε στοιχείο είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη κατά τη λήψη επενδυτικών και λειτουργικών αποφάσεων.

Εάν προκύψει ανεπαρκής ζήτηση για αυτά τα άλλα στοιχεία, θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά το μακροπρόθεσμο κόστος κρίσιμων στοιχείων όπως το νεοδύμιο και το δυσπρόσιο. Για αναδυόμενες και βιώσιμες ενεργειακές λύσεις για την αποτελεσματική χρήση στοιχείων σπάνιων γαιών, πιθανότατα θα χρειαστεί υψηλότερη τιμή για αυτά τα υλικά.

3.4 Το περιβαλλοντικό κόστος στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών

Τα περιφερειακά οικοσυστήματα μπορούν να αλλοιωθούν σημαντικά από την παρουσία ορυχείων, τόσο φυσικά όσο και χημικά. Η προετοιμασία της τοποθεσίας, οι δρόμοι πρόσβασης και οι βοηθητικές εγκαταστάσεις οδηγούν σε άμεση —και συχνά απόλυτη— καταστροφή του κοντινού περιβάλλοντος, ενώ η ρύπανση από τις διεργασίες ορυχείων και

την αποθήκευση των υπολειμματικών απορριμμάτων μπορεί να οδηγήσει σε εκτεταμένες χημικές ανισορροπίες και τοξική μόλυνση (Filho 2016, Xiang 2016, Ganguli 2018).

Τα απορρίμματα ορυχείων για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών περιέχουν χημικές ουσίες επεξεργασίας, άλατα και ραδιενεργά υλικά. Τα απορρίμματα είναι ιδιαίτερα προβληματικά στην εξόρυξη στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, λόγω του σημαντικού ποσοστού απόδοσης των αποβλήτων (Filho 2016, Xiang 2016). Για κάθε τόνο στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών που παράγονται, υπάρχουν 2.000 τόνοι απορριμμάτων ορυχείων, συμπεριλαμβανομένων 1 έως 1,4 τόνων ραδιενεργών αποβλήτων (Filho, 2016).

Τα απορρίμματα συνήθως αποθηκεύονται σε απομονωμένες περιοχές κατακράτησης που ονομάζονται αποθήκες απορριμμάτων. Αυτές οι λίμνες απαιτούν πολύπλοκη διαχείριση, ειδικά εάν τα απορρίμματα περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις ουρανίου ή θορίου. Η κακή κατασκευή ή η καταστροφική αστοχία μπορεί να οδηγήσει σε μακροπρόθεσμη και εκτεταμένη περιβαλλοντική ζημιά και μόλυνση των επιφανειακών ή υπόγειων υδάτων (Filho, 2016). Άλλες σημαντικές πηγές ρύπανσης περιλαμβάνουν τα αερολύματα και τη διαφυγή σκόνης από λίμνες, οι οποίες δημιουργούνται από την κοπή, τη διάτρηση και την ανατίναξη πετρωμάτων. Αυτή η ρύπανση μπορεί να συσσωρευτεί στις γύρω περιοχές (Filho, 2016), προκαλώντας αναπνευστικά προβλήματα και επίσης μολύνοντας πηγές τροφίμων - καθώς τα φυτά απορροφούν τους ατμοσφαιρικούς ρύπους.

Ένα παράδειγμα αυτού είναι η λιμνούλα για το ορυχείο Bayan Obo στην Κίνα. Τα χωριά στη γύρω περιοχή έχουν παρουσιάσει αυξημένα ποσοστά τόσο καρκίνου όσο και αναπνευστικών ασθενειών, γεγονός που δείχνει ότι τα απορρίμματα δεν αποθηκεύονται σωστά (Xiang, 2016). Ενώ πολλά από αυτά τα ζητήματα υπάρχουν για άλλους τύπους εξόρυξης, είναι ιδιαίτερα προβληματικά για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών λόγω του μεγάλου όγκου και της ραδιενέργειας των απορριμμάτων.

3.5 Πολιτικές λύσεις για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών

Καθώς κοιτάμε το μέλλον της καθαρής ενέργειας και τον ρόλο των στοιχείων σπάνιων γαιών στην απεξάρτηση από τις ανθρακούχες εκπομπές, βρισκόμαστε αντιμέτωποι με ένα δύσκολο συμβιβασμό για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών όπως το δυσπρόσιο και το νεοδύμιο, προσφέρουν έναν αποτελεσματικό τρόπο βελτίωσης της αποδοτικότητας και της απόδοσης των ζωτικών τεχνολογιών καθαρής ενέργειας. Ωστόσο, η παραγωγή αυτών των στοιχείων είναι περιβαλλοντικά και οικονομικά δαπανηρή. Οι παγκόσμιες τιμές παρέμειναν σχετικά προσιτές τα τελευταία χρόνια μόνο λόγω των χαλαρών περιβαλλοντικών κανονισμών της

Κίνας και των παράνομων εργασιών εξόρυξης. Αλλά η Κίνα υπολογίζει τώρα το πραγματικό κόστος της τοξικής, όξινης και ραδιενεργής απορροής και έκπλυσης.

Εάν η ζήτηση για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών συνεχίσει να αυξάνεται όπως αναμενόταν, η πίεση στα έθνη να αυξήσουν την εγχώρια παραγωγή σε βάρος του περιβάλλοντος, θα αυξηθεί αντίστοιχα. Για παράδειγμα, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την επέκταση της παραγωγής στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών στις ΗΠΑ πέρα από το Mountain Pass (Garcia, Smith, 2020).

Η αποτυχία να αποφευχθεί η αύξηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή μεγαλύτερης κλίμακας, θα έθετε σε κίνδυνο τη βιωσιμότητα των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούν στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών και θα μπορούσε να αντισταθμίσει εν μέρει τα οφέλη των εκπομπών τους. Αυτό θα υπονόμει από πολλές απόψεις τους στόχους της απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές και θα στρέψει περαιτέρω τα οικοσυστήματα και τις κοινότητες που έχουν ήδη επηρεαστεί από την κλιματική αλλαγή. Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η μετάβαση σε ενέργεια χωρίς άνθρακα ελαχιστοποιεί το περιβαλλοντικό κόστος και προωθεί την παγκόσμια βιωσιμότητα, η πολιτική υποστήριξη για λύσεις καθαρής ενέργειας θα πρέπει να συνδυαστεί με εξορθολογισμένες περιβαλλοντικές ρυθμίσεις και κίνητρα αειφορίας. Βασικά, όλη η ανθρώπινη ανάπτυξη έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Στην περίπτωση των στοιχείων σπάνιων γαιών, οι πολιτικές που αποσκοπούν στην ενθάρρυνση της παραγωγής και πώλησης ανεμογεννητριών και ηλεκτρικών οχημάτων θα πρέπει να σχεδιάζονται με τρόπο που να ενθαρρύνει τη συνεχή καινοτομία στον βιώσιμο σχεδιασμό κινητήρων και στην ανακύκλωση στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών.

Αυτό το σχέδιο πολιτικής είναι διακριτικά διαφορετικό από μια πολιτική που θα μπορούσε να σχεδιαστεί με αποκλειστική πρόθεση να ενθαρρύνει την ταχεία υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων και ανεμογεννητριών. Μια τέτοια πολιτική απλώς θα παρότρυνε τους παραγωγούς να χρησιμοποιήσουν τις καλύτερες και πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες—στην περίπτωση αυτή, κινητήρες και γεννήτριες με μαγνήτες στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών. Στη συνέχεια, εναπόκειται στην αγορά να σηματοδοτήσει μια αύξηση της παραγωγής στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών για την κάλυψη αυτής της ζήτησης και θα προκύψει μια αναπόφευκτη ένταση μεταξύ της προσφοράς πόρων, της οικονομικής προσιτότητας και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας.

Συνδυάζοντας κίνητρα υιοθέτησης τεχνολογίας με πολιτικές διαχείρισης ζήτησης και περιβαλλοντικούς κανονισμούς, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής μπορούν να βελτιστοποιήσουν την ταχύτητα και τη βιωσιμότητα της μετάβασης στην καθαρή ενέργεια

αντιμετωπίζοντας εκ των προτέρων αυτές τις ανταγωνιστικές περιβαλλοντικές προτεραιότητες.

Εκτός από τα φορολογικά κίνητρα, τον εξορθολογισμό των αδειών και την τιμολόγηση του άνθρακα για την αιολική ενέργεια και τα ηλεκτρικά οχήματα, μια βιώσιμη σειρά πολιτικών για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, θα περιλαμβάνει αυξημένους περιβαλλοντικούς κανονισμούς για την εξόρυξη. Αυτοί οι κανονισμοί θα ελέγχουν με τη σειρά τους την προμήθεια στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών και, κατά συνέπεια, θα προωθούν την καινοτομία σε μαγνήτες χρησιμοποιώντας ανεπαρκώς χρησιμοποιούμενα στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών ή μικρότερες ποσότητες στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών συνολικά.

3.6 Η διαχείριση της ζήτησης για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών

Ενώ εταιρείες όπως η Siemens Gamesa και η Tesla υποστηρίζουν σθεναρά την πρόσθετη απόδοση και απόδοση των μόνιμων μαγνητών, οι μικρές απώλειες απόδοσης μπορεί να είναι μια αποδεκτή αντιστάθμιση για την αποφυγή σκληρού ανταγωνισμού σε έναν παγκοσμίως περιορισμένο πόρο (Siemens Gamesa, Desai, 2018). Η περίπτωση των στοιχείων σπάνιων γαιών υποδηλώνει ότι η νεότερη ή αντικειμενικά «καλύτερη» τεχνολογική λύση μπορεί να μην είναι πάντα η πιο πρακτική ή βιώσιμη λύση.

Επειδή οι περιβαλλοντικές εξωτερικές επιδράσεις, ως επί το πλείστον, δεν τιμολογούνται κατάλληλα, οι τεχνολογίες συνήθως αξιολογούνται μόνο σύμφωνα με το κόστος παραγωγής και την απόδοσή τους. Με το να σκεφτόμαστε εκ των προτέρων τις απαιτήσεις σε πόρους της ενεργειακής μετάβασης, μπορεί κανείς να αναγνωρίσει την αξία και τη σημασία των απλών τεχνολογιών με μικρή εξάρτηση από σπάνιους ή δύσκολα ασφαλείς πόρους, ακόμα κι αν αυτή η βιωσιμότητα συνοδεύεται από συμβιβασμούς στην τιμή ή την απόδοση.

Ένας τρόπος για τη μείωση της ζήτησης είναι η αύξηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών στα υπάρχοντα σχέδια μαγνητών. Μέσω καινοτομιών στη σύνθεση των υλικών και στις διαδικασίες παραγωγής, ορισμένοι κατασκευαστές μπόρεσαν να συνθέσουν μαγνήτες παρόμοιας ισχύος με τους σημερινούς μαγνήτες τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, αλλά με πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών (Toyota, 2018). Οι μόνιμοι μαγνήτες μπορούν επίσης να κατασκευαστούν εξ ολοκλήρου χωρίς τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, αλλά αυτά τα σχέδια συνήθως παρουσιάζουν πρόσθετα μειονεκτήματα (Widmer, 2015).

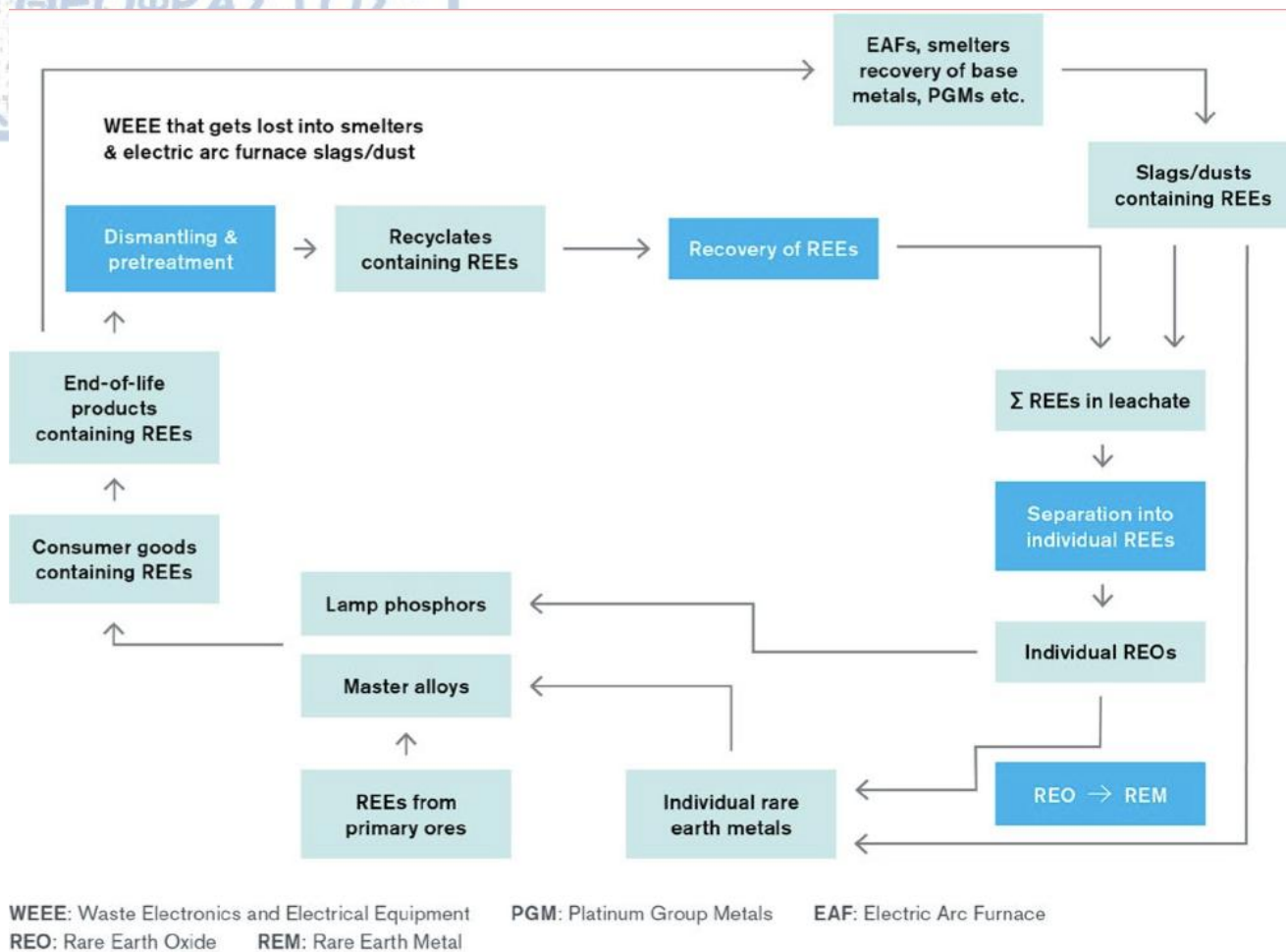
Μια άλλη επιλογή είναι η περαιτέρω ανάπτυξη και ενθάρρυνση στη χρήση τεχνολογιών κινητήρων και γεννητριών που δεν χρησιμοποιούν μόνιμους μαγνήτες. Οι

ανεμογεννήτριες με κιβώτιο ταχυτήτων που διαθέτουν γεννήτριες επαγωγής δεν χρησιμοποιούν σχεδόν καθόλου στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών. Το κύριο μειονέκτημα αυτού του σχεδιασμού είναι η ανάγκη για μηχανικά κιβώτια ταχυτήτων για να επιταχύνουν τις σχετικά αργές περιστροφές του ρότορα του στροβίλου. Αυτά τα κιβώτια ταχυτήτων φθείρονται με την πάροδο του χρόνου και απαιτούν τακτική συντήρηση. Οι κινητήρες ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν επίσης να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας επαγωγικά σχέδια που απαιτούν ελάχιστα ή καθόλου REE, αν και με χαμηλότερη απόδοση.

Παρά αυτά τα μειονεκτήματα, οι γεννήτριες και οι κινητήρες που βασίζονται στην ηλεκτρομαγνητική επαγωγή χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες και εξακολουθούν να είναι γενικά φθηνότερες από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών (Widmer, 2015). Η τρέχουσα αιολική δυναμικότητα στις ΗΠΑ υποστηρίζεται κυρίως με επαγωγικές γεννήτριες και τα περισσότερα από τα προηγούμενα μοντέλα της Tesla (Roadster, Model S και Model X) λειτουργούν με επαγωγικούς κινητήρες. Περαιτέρω τεχνολογικές εξελίξεις σε αυτούς τους τομείς ή η χρήση υβριδικών σχεδίων που ενσωματώνουν μικρές ποσότητες REE για την αύξηση της απόδοσης μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση της συνολικής ζήτησης στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών.

Μια εθνική μέθοδος για τη μείωση της ζήτησης για τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών στις αγορές αιολικής ενέργειας και ηλεκτροκίνησης θα ήταν η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση υπαρχόντων μαγνητών σπάνιων γαιών. Δυστυχώς, η υποδομή και τα συστήματα που απαιτούνται για την επίτευξη επανεπεξεργασίας στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών είναι πολύ ανεπαρκώς ανεπτυγμένα.

Η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών περιορίζεται από την αναποτελεσματική και δαπανηρή συλλογή, τους παγκόσμιους περιορισμούς αποστολής, τη χαμηλή συγκέντρωση στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών στα περισσότερα προϊόντα και τη μεγάλη διάρκεια ζωής προϊόντων (Filho, 2016). Το Σχήμα 3 δείχνει τον κύκλο ζωής στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, συμπεριλαμβανομένων των υφιστάμενων μεθόδων ανακύκλωσης.



Σχήμα 3 – Ο Κύκλος ζωής στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών - Πηγή Bradsher, Wong, 2010

Οι αποσυρθείσες ανεμογεννήτριες και οι κινητήρες ηλεκτρικών αυτοκινήτων αποτελούν πηγή ανακυκλώσιμων στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, καθώς οι μαγνήτες τους είναι σχετικά μεγάλοι και μπορούν να ανακτηθούν χωρίς μεγάλη δυσκολία. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι μεγάλοι μαγνήτες μπορούν απλώς να επαναχρησιμοποιηθούν και δεν χρειάζεται να υποβληθούν σε διαδικασία ανακύκλωσης (Binnemans, 2013). Ωστόσο, οι εφαρμογές καθαρής ενέργειας στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, αντιμετωπίζουν ένα άλλο εμπόδιο για την κλιμακούμενη ανακύκλωση, το ανεπαρκές απόθεμα υλικού.

Οι ανακυκλωμένοι πόροι στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών μπορούν ποτέ να καλύψουν μόνο ένα μέρος της ζήτησης που ισοδυναμεί με το συνολικό απόθεμα στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών στον επί του παρόντος διαθέσιμο εξοπλισμό απόσυρσης. Ανακύκλωση σε βιομηχανίες όπως η αιολική ενέργεια και τα ηλεκτρικά οχήματα, όπου η ζήτηση αυξάνεται εκθετικά και ο κατασκευασμένος εξοπλισμός έχει σχεδιαστεί για μια δεκαετία χρήσης ή περισσότερο, είναι εγγενώς περιορισμένες με αυτόν τον τρόπο. Ως εκ τούτου, θα περάσουν

δεκαετίες πριν το απόθεμα μαγνητών που αποσύρονται είναι αρκετό για να καλύψει ένα σημαντικό μερίδιο της νέας ζήτησης.

3.7 Διαχείριση των επιπτώσεων στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών

Ένα από τα πιο ισχυρά και αποτελεσματικά εργαλεία για τη ρύθμιση των περιβαλλοντικά επικίνδυνων και μεγάλης κλίμακας βιομηχανικών λειτουργιών, είναι η εφαρμογή ενός συστήματος τιμολόγησης ρύπανσης ή φόρου. Σε πρόσφατες συζητήσεις πολιτικής, αυτό το εργαλείο πολιτικής συζητείται συνήθως στο πλαίσιο των εκπομπών άνθρακα, αλλά ένα παρόμοιο σχέδιο θα μπορούσε να εφαρμοστεί στην εξόρυξη ορυχείων και στα λύματα από τις εργασίες εξόρυξης στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών.

Αποτελεσματικές και ορθές πολιτικές θα πρέπει να φορολογούν τα απόβλητα των ορυχείων σύμφωνα με την ευπάθεια και την αξία του περιβάλλοντος και της κοινότητας εντός της δυνητικά πληγείσας περιοχής. Η επιβολή αυστηρών τελών ρύπανσης για βασικούς ρύπους των εργασιών εξόρυξης θα μπορούσε να δημιουργήσει κίνητρο στην αγορά για τους παραγωγούς πόρων να λάβουν πρόσθετα μέτρα για να περιορίσουν τη ρύπανση και να παρέχουν μια πηγή χρηματοδότησης για ομοσπονδιακές ή περιφερειακές ρυθμιστικές προσπάθειες. Η ύπαρξη ειδικής γεωγραφικής τιμολόγησης δίνει επίσης κίνητρα για την εξόρυξη να πραγματοποιηθεί σε περιοχές με χαμηλότερο περιβαλλοντικό και κοινοτικό κίνδυνο. Υπάρχουν πολλές καινοτόμες μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι φορείς εκμετάλλευσης ορυχείων για να μειώσουν τις περιβαλλοντικές και κοινοτικές επιπτώσεις τους. Μια δυνατότητα είναι η αξιοποίηση αποθεμάτων αντισυμβατικών κοιτασμάτων REE. Αυτό περιλαμβάνει κοιτάσματα βαθέων ωκεανών ή ροές αποβλήτων από σκωρίες ή απορρίμματα σιδηρομεταλλεύματος (Filho 2016, Xiang 2016, Cook 2016, Peelman 2018).

Σε ορισμένες μελέτες, τα απορρίμματα σιδηρομεταλλεύματος έχουν βρεθεί να έχουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις REE (Peelman, 2018). Ο άνθρακας και η τέφρα άνθρακα, η οποία μπορεί να περιέχει 68 έως 404 ppm στοιχεία σπάνιων γαιών, έχει παρόμοια περιεκτικότητα σε REE με τις αργίλους που εξορύσσονται ήδη στην Κίνα (Cook, 2016). Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένες περιβαλλοντικές ανησυχίες με όλες αυτές τις επιλογές και οι διαδικασίες για την εξόρυξη στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών από αυτές τις πηγές είναι ακόμη εκκολαπτόμενες (Filho, 2016). Δεν είναι ακόμη σαφές εάν το κόστος από αυτές τις μεθόδους θα αξίζουν τον κόπο να ακολουθήσουν οι παραγωγοί στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών.

Άλλες δυνατότητες για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εξόρυξης REE περιλαμβάνουν τη βελτίωση της τεχνολογίας και των διαδικασιών που

χρησιμοποιούνται στις υπάρχουσες προσπάθειες εξόρυξης, συμπεριλαμβανομένης της εξεύρεσης τρόπων για τη μεγιστοποίηση της ανάκτησης των REE από εξορυσσόμενο υλικό, την αναβάθμιση των οδών ανακύκλωσης ηλεκτρονικών αποβλήτων και απορριμμάτων για τη μείωση της διάθεσης αποβλήτων και βελτίωση της επεξεργασίας της ουράς και της ασφάλειας της λίμνης ή του φράγματος (όπως καλύτερη παρακολούθηση, υποδομές κ.λπ.) (Xiang, 2016).

Τέλος, έχει γίνει κάποια εργασία που εξετάζει τη δυνατότητα ανάκτησης θορίου από απόβλητα στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών. Αυτό θα μπορούσε όχι μόνο να εξαλείψει μέρος των ραδιενεργών αποβλήτων από την εξόρυξη στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών αλλά θα μπορούσε επίσης να αντισταθμίσει το κόστος εάν εμφανιστεί μια αξιόπιστη αγορά για το θόριο ως μέρος της ενεργειακής μετάβασης. Αυτή είναι μια πιθανή τεχνική λύση που αξίζει περαιτέρω εξερεύνηση από ερευνητές στη χημεία και τη χημική μηχανική.

Κεφάλαιο 4^ο – Επίλογος - Συμπεράσματα

Τα κοιτάσματα σπανίων γαιών είναι χημικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένου του υττρίου και των 15 στοιχείων λανθανίδων (λανθάνιο, δημήτριο, πρασεοδύμιο, νεοδύμιο, προμήθειο, σαμάριο, ευρώπιο, γαδολίνιο, τέρβιο, δυσπρόσιο, όλμιο, έρβιο, θούλιο, υτέρβιο και λουτέτσιο). Τα κοιτάσματα σπανίων γαιών είναι όλα μέταλλα και έχουν πολλές παρόμοιες ιδιότητες γεγονός που τα κάνει να βρίσκονται μαζί σε διάφορες γεωλογικές αποθέσεις.

Αναφέρονται επίσης ως «οξειδία σπάνιων γαιών» επειδή πολλά από αυτά πωλούνται συνήθως ως ενώσεις οξειδίων. Τα οξειδία σπάνιων γαιών όπως το νεοδύμιο και το πρασεοδύμιο, αναμένεται να αυξηθούν σε ζήτηση λόγω της χρήσης τους σε τεχνολογίες όπως μαγνήτες, κινητήρες αεροσκαφών και εξειδικευμένο γυαλί, καθώς και πράσινες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των ανεμογεννητριών και των υβριδικών αυτοκινήτων.

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, οι κύριες χρήσεις των κοιτάσματα σπανίων γαιών, με βάση το 95% της κατανάλωσης για τα δέκα (10) προηγούμενα χρόνια, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε οκτώ (8) κατηγορίες ως εξής:

Κράματα μπαταριών: Χρησιμοποιούνται σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, ηλεκτρικά εργαλεία κ.λπ.

Καταλύτες: Χρησιμοποιούνται σε καταλυτικούς μετατροπείς, καταλύτες πυρόλυσης καυσίμου κ.λπ.

Κεραμικά, χρωστικές και υαλοπίνακες: χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες

Σκόνες και πρόσθετα γυαλίσματος γυαλιού: χρησιμοποιούνται σε οπτικά γυαλιά σε κινητά τηλέφωνα και οθόνες LCD

Μεταλλουργία και κράματα: προστίθεται σε υγρό χάλυβα κατά την παραγωγή χάλυβα

Φώσφοροι: χρησιμοποιούνται σε λαμπτήρες και οπίσθιο φωτισμό

Ωστόσο, τα κοιτάσματα σπανίων γαιών βρίσκονται επί του παρόντος σε ανισορροπία προσφοράς/ζήτησης. Για την κάλυψη της παγκόσμιας ζήτησης, απαιτείται ένα νέο ορυχείο με παραγωγή 20.000 t REO/έτος κάθε χρόνο από το 2020 έως το 2025. Η Κίνα προβλέπεται να είναι καθαρός εισαγωγέας σπάνιων γαιών έως το 2025 και εξαγοράζει έργα εκτός Κίνας.

Τα κοιτάσματα των σπανίων γαιών είναι απαραίτητα συστατικά περισσότερων από 200 προϊόντων σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, ειδικά καταναλωτικών προϊόντων υψηλής τεχνολογίας, όπως κινητά τηλέφωνα, σκληροί δίσκοι υπολογιστών, ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα και στοιχεία επίπεδης οθόνης και τηλεοράσεις. Σημαντικές αμυντικές εφαρμογές

περιλαμβάνουν ηλεκτρονικές οθόνες, συστήματα καθοδήγησης, λέιζερ και συστήματα ραντάρ και σόναρ. Αν και η ποσότητα στα κοιτάσματα σπανίων γαιών που χρησιμοποιείται σε ένα προϊόν μπορεί να μην αποτελεί σημαντικό μέρος αυτού του προϊόντος κατά βάρος, αξία ή όγκο, τα κοιτάσματα σπανίων γαιών μπορεί για παράδειγμα, οι μαγνήτες από τα κοιτάσματα σπανίων γαιών να αντιπροσωπεύουν συχνά μόνο ένα μικρό κλάσμα του συνολικού βάρους, αλλά χωρίς αυτούς, οι κινητήρες ατράκτου και τα πηνία ήχου των επιτραπέζιων και φορητών υπολογιστών, δεν θα ήταν δυνατά.

Το 1993, το 38% της παγκόσμιας παραγωγής στα κοιτάσματα σπανίων γαιών ήταν στην Κίνα, το 33% ήταν στις Ηνωμένες Πολιτείες, το 12% ήταν στην Αυστραλία και το 5% ήταν το καθένα στη Μαλαισία και την Ινδία. Αρκετές άλλες χώρες, όπως η Βραζιλία, ο Καναδάς, η Νότια Αφρική, η Σρι Λάνκα και η Ταϊλάνδη, αποτελούσαν το υπόλοιπο. Ωστόσο, το 2008, η Κίνα αντιπροσώπευε περισσότερο από το 90 % της παγκόσμιας παραγωγής REE και μέχρι το 2011, η Κίνα αντιπροσώπευε το 97% της παγκόσμιας παραγωγής. Από το 1990 και μετά, οι προμήθειες στα κοιτάσματα σπανίων γαιών έγιναν ζήτημα καθώς η κυβέρνηση της Κίνας άρχισε να αλλάζει την ποσότητα στα κοιτάσματα σπανίων γαιών που επιτρέπει να παράγονται και να εξάγονται. Η κινεζική κυβέρνηση άρχισε επίσης να περιορίζει τον αριθμό των κινεζικών και ξένων εταιρειών κοινοπραξίας που θα μπορούσαν να εξάγουν κοιτάσματα σπανίων γαιών από την Κίνα.

Τα κοιτάσματα σπανίων γαιών είναι βασικά συστατικά σε πολλές σύγχρονες τεχνολογίες, ιδιαίτερα εκείνες που σχετίζονται με την επανάσταση της πράσινης ενέργειας. Καθώς η Ευρώπη διέρχεται μια φιλόδοξη ενεργειακή μετάβαση, η ανάγκη για ασφαλή και αξιόπιστη προμήθεια REE γίνεται όλο και πιο εμφανής. Η σημασία της εξασφάλισης μιας αλυσίδας εφοδιασμού στα κοιτάσματα σπανίων γαιών για την ενεργειακή μετάβαση της Ευρώπης, δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί. Καθώς ο κόσμος στρέφεται προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τα ηλεκτρικά οχήματα, η ζήτηση για κοιτάσματα σπανίων γαιών, που αποτελούν βασικά συστατικά σε ανεμογεννήτριες και ηλεκτρικούς κινητήρες, συνεχίζει να αυξάνεται. Οι φιλοδοξίες της Ευρώπης για την πράσινη ενέργεια θα μπορούσαν να τεθούν σε κίνδυνο χωρίς σταθερό εφοδιασμό κοιτάσματα σπανίων γαιών.

Επί του παρόντος, η παγκόσμια προσφορά στα κοιτάσματα σπανίων γαιών είναι σε μεγάλο βαθμό συγκεντρωμένη στην Κίνα, η οποία ελέγχει πάνω από το 90% της αγοράς. Αναπτύσσοντας μια πιο ανθεκτική και αυτόνομη αλυσίδα εφοδιασμού, η κάθε ενέργεια στοχεύει να μετριάσει αυτούς τους κινδύνους και να διασφαλίσει ότι η ενεργειακή μετάβαση της Ευρώπης παραμένει σε θετικό πλαίσιο.

Η εξορυκτική παραγωγή σπάνιων γαιών σχεδόν τριπλασιάστηκε μέσα σε 25 χρόνια, αυξάνοντας από 80.000 τόνους το 1995 σε 213.000 τόνους το 2019 και χαρακτηρίζεται από υψηλό επίπεδο συγκέντρωσης (HHI 4.199). Η Κίνα κυριαρχεί σε μεγάλο βαθμό στην παραγωγή (62%), ακολουθούμενη από τις Ηνωμένες Πολιτείες (12%) και τη Μιανμάρ (10%), μια νεοεισερχόμενη στην αγορά.

Με εξαίρεση την Κίνα, οι ηγετικές θέσεις δεν αντικατοπτρίζουν την κατανομή των αποθεμάτων (120 εκατομμύρια τόνοι σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του USGS) τα οποία είναι περισσότερα από τα τρία τέταρτα που κατέχουν μόνο τρεις χώρες –Κίνα, Βραζιλία και Βιετνάμ– αλλά δεν είναι τόσο συγκεντρωμένα όσο παραγωγή εξόρυξης σπάνιων γαιών. Σημαντικά αποθέματα καταγράφονται επίσης στη Ρωσία και την Ινδία. Αυτά τα αποτελέσματα μπορεί να φαίνονται εκπληκτικά σε σχέση με την έντονη κάλυψη των σπάνιων γαιών από τα μέσα ενημέρωσης την τελευταία δεκαετία. Οι λόγοι για την ανησυχία που συνδέονται με αυτά τα μέταλλα πρέπει να διευκρινιστούν, φαίνεται ότι η ασφάλεια του εφοδιασμού τους απειλείται περισσότερο από την εκτεταμένη συμμετοχή της Κίνας στην αλυσίδα αξίας και από τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς που συνδέονται με τις εργασίες εξόρυξης και επεξεργασίας.

Ωστόσο, για να αντιμετωπίσει την αύξηση της εγχώριας ζήτησης για κοιτάσματα σπάνιων γαιών και ως απάντηση στα αυξανόμενα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από την εκμετάλλευσή τους, η Κίνα εισήγαγε περιορισμούς στις εξαγωγές το 2010. Την ίδια χρονιά, η Κίνα ανέστειλε επίσης τις αποστολές σπάνιων γαιών στη γειτονική Ιαπωνία λόγω διπλωματική κρίση που σχετίζεται με εδαφικά ζητήματα.

Αυτά τα γεγονότα οδήγησαν στην υποβολή καταγγελίας στον ΠΟΕ από τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Ευρώπη και την Ιαπωνία, οι οποίες κατήγγειλαν αυτά τα μέτρα, τα οποία, όπως ισχυρίζονται, έχουν σχεδιαστεί για να ευνοήσουν τις κινεζικές εταιρείες που βρίσκονται κατάντη στην αλυσίδα αξίας. Η ανταπόκριση της αγοράς δεν άργησε να έρθει, αφού οι τιμές εκτινάχθηκαν στα ύψη και, αναμένοντας ευκαιρίες για σημαντικά μελλοντικά κέρδη, πολλαπλασιάστηκαν τα έργα εξερεύνησης και το άνοιγμα ή το εκ νέου άνοιγμα των τοποθεσιών εξόρυξης (Mountain Pass στην Καλιφόρνια, Mount Weld στην Αυστραλία). Ως αποτέλεσμα, οι επενδύσεις στον τομέα της εξερεύνησης εξόρυξης πολλαπλασιάστηκαν επί 18 μεταξύ 2009 και 2010.

Η «κρίση στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών» έχει επισημάνει τον κίνδυνο που εγκυμονεί η συγκέντρωση της παραγωγής σε κινεζικά χέρια, που εκείνη την εποχή αντιπροσώπευε περισσότερο από το 97% της εξόρυξης ορυχείων, και το αυξανόμενο βάρος της κινεζικής κατανάλωσης .

Από προμηθευτής στον κόσμο, η Κίνα έχει γίνει πλέον ο κύριος καταναλωτής κοιτασμάτων σπάνιων γαιών. Με την αυξανόμενη ζήτηση, οι κινεζικές εταιρείες επιδιώκουν τώρα να εξασφαλίσουν τον εφοδιασμό τους από ξένα ορυχεία. Ως αποτέλεσμα, η Κίνα αναμένεται να γίνει σημαντικός εισαγωγέας σε κοιτάσματα σπάνιων γαιών τα επόμενα χρόνια, αλλάζοντας έτσι τη θέση και την επιρροή της στην αλυσίδα αξίας. Η εισαγωγή αυστηρότερων περιβαλλοντικών προτύπων αναμένεται να περιορίσει περαιτέρω τις ποσότητες που είναι διαθέσιμες σε άλλους παράγοντες της αγοράς. Το παράδειγμα της κρίσης στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών το 2010, αποτελεί μια καλή απεικόνιση του αντίκτυπου των τάσεων της αγοράς στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία στη διαφοροποίηση των πηγών εφοδιασμού. Ενώ το κλίμα μετά την κρίση ευνοούσε τις επενδύσεις στον τομέα αυτό, η αναμενόμενη έλλειψη προσφοράς δεν υλοποιήθηκε και η πτώση των τιμών που παρατηρήθηκε το 2013 οδήγησε πολλά έργα σε ξαφνική διακοπή.

Αν και τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, έχουν γίνει μια αυξανόμενη ανησυχία για τα κράτη που εξαρτώνται από κινεζικές εισαγωγές (με τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Αυστραλία και την Ιαπωνία να πρωτοστατούν), ο ρυθμός ανάπτυξης της εξερεύνησης και τα διάφορα έργα εξόρυξης εξακολουθούν να εξαρτώνται από τις τιμές των πρώτων υλών και τη στρατηγική αγοράς της Κίνας. Αυτό συμβαίνει, για παράδειγμα, με το ορυχείο Kirawa στο Κεμπέκ, του οποίου η εκκίνηση βρίσκεται στην ημερήσια διάταξη εδώ και αρκετά χρόνια, αλλά δεν έχει ακόμη ξεκινήσει. Πιο πρόσφατα, το «πρόβλημα των σπάνιων γαιών» επανήλθε στο προσκήνιο με τον εμπορικό πόλεμο μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών και της Κίνας.

Ενώ το βάρος της Κίνας στην παγκόσμια παραγωγή έχει μειωθεί από το 2010 (από 97% της παγκόσμιας παραγωγής εκείνη την εποχή σε 62% το 2019), η επιρροή της δεν περιορίστηκε στο ανοδικό άκρο της αλυσίδας αξίας. Το Πεκίνο έχει σχεδόν μονοπώλιο στον διαχωρισμό των σπάνιων γαιών και την παραγωγή ενδιάμεσων προϊόντων.

Η τοποθεσία Mountain Pass στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι ένα σημαντικό παράδειγμα της εξάρτησής της από την Κίνα για εξαιρετικά τεχνικές δραστηριότητες, αφού όλα τα εξαγόμενα στοιχεία αποστέλλονται στην Κίνα για επεξεργασία και διαχωρισμό. Αυτό το ορυχείο εξαγοράστηκε επίσης από την κοινοπραξία MP Mine Operations στην οποία η κινεζική εταιρεία Shenghe Resources Holding Co κατέχει μερίδιο λίγο κάτω από το 10%³. Έργα που έχουν σχεδιαστεί για να ανταγωνιστούν την κινεζική κυριαρχία σε αυτόν τον τομέα βρίσκονται σε εξέλιξη, αλλά δεν είναι ακόμη λειτουργικά (π.χ. η συνεργασία μεταξύ της Αυστραλιανής Lynas Corp και της Τεξανικής εταιρείας Blue Line για την κατασκευή μιας μονάδας διαχωρισμού βαρέων σπάνιων γαιών).

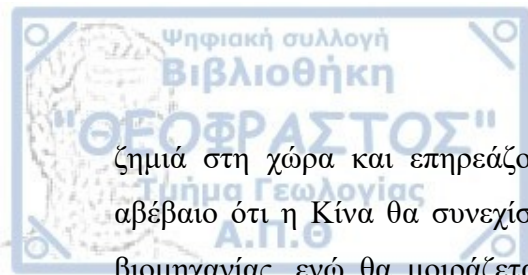
Η Κίνα στοχεύει επίσης τόσο να επενδύσει περισσότερα κατάντη στην αλυσίδα αξίας, όσο και να περιορίσει τις αυξανόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εξορυκτικών της δραστηριοτήτων, γεγονός που θα μπορούσε να ενισχύσει την επιθυμία της να διατηρήσει την εγχώρια παραγωγή της για τη βιομηχανία της. Αυτή η στρατηγική οδήγησε σε απότομη αύξηση του ρυθμού υποβολής διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας από το 2011, καθώς και σε μια κίνηση ομαδοποίησης οντοτήτων στον τομέα της εξόρυξης σε έξι κρατικές επιχειρήσεις. Μεταξύ 1950 και Οκτωβρίου 2018, η Κίνα κατέθεσε 25.911 διπλώματα ευρεσιτεχνίας σχετικά με σπάνιες γαίες, σε σύγκριση με 9.810 για τις Ηνωμένες Πολιτείες, 13.920 για την Ιαπωνία και 7.280 για την Ευρωπαϊκή Ένωση. Το ποσοστό υποβολής διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας στην Κίνα έχει αυξηθεί δραματικά από το 2011.

Τέλος, καθοδηγούμενη από μια φιλόδοξη βιομηχανική πολιτική, η Κίνα έχει επενδύσει στον τομέα των ΑΠΕ, και ειδικότερα στην αγορά ανεμογεννητριών με τον εθνικό της πρωταθλητή Goldwind. Μέσω της προορατικής βιομηχανικής στρατηγικής της, η Κίνα έχει ενσωματώσει ολόκληρη την αλυσίδα αξίας των ορυκτών σπάνιων γαιών, από μόνιμους μαγνήτες έως εταιρείες που εξάγουν τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Η βιομηχανία στα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, απαιτεί επίσης μεγάλες ποσότητες νερού. Ωστόσο, αυτή η κατανάλωση αναμένεται να αυξηθεί παράλληλα με την προσφορά σπάνιων γαιών. Τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν την αυξημένη πίεση στους υδάτινους πόρους σε τουλάχιστον δύο χώρες που ήδη υπόκεινται σε υψηλό υδατικό περιορισμό.

Το περιβαλλοντικό ζήτημα έχει γίνει επίσης μια πραγματική ανησυχία για την Κίνα. Για αρκετά χρόνια, η έννοια του «οικολογικού πολιτισμού» βρίσκεται στο επίκεντρο της ρητορικής του Κινεζικού Κομμουνιστικού Κόμματος. Αυτή η ιδέα γεννήθηκε ως απάντηση στον αυξανόμενο ανταγωνισμό μεταξύ, αφενός, ενός αναπτυξιακού μοντέλου που επέτρεψε στην Κίνα να βγει από τη φτώχεια και να επιβληθεί στη διεθνή σκηνή και, από την άλλη, στον αυξανόμενο κίνδυνο εσωτερικής αποσταθεροποίησης της καθεστώς που προκαλείται από τις εξωτερικές επιδράσεις του περιβάλλοντος και της υγείας που δημιουργούνται από αυτό ακριβώς το μοντέλο. Οι κινεζικές αρχές εργάζονται σκληρά για να αντιμετωπίσουν την ατμοσφαιρική ρύπανση, ένα θέμα ευρέως δημοσιευμένο, αλλά αντιμετωπίζουν επίσης την κρίση των φυσικών οικοσυστημάτων και πιο συγκεκριμένα το ζήτημα της μόλυνσης των υδάτων και του εδάφους.

Τέλος, όσον αφορά τα κοιτάσματα σπάνιων γαιών, η σημασία της παράνομης παραγωγής, το ανεπαρκές επίπεδο καινοτομίας και η πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα, σε συνδυασμό με την αδυναμία των νομικών και κανονιστικών μηχανισμών σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτής της βιομηχανίας, προκαλούν τρομερή περιβαλλοντική

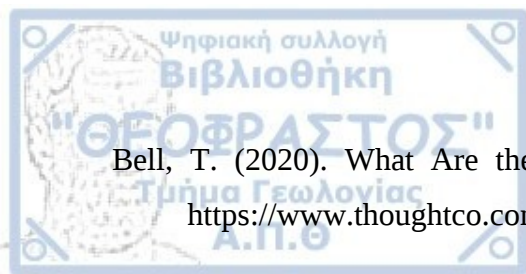


ζημιά στη χώρα και επηρεάζουν την υγεία του πληθυσμού. Φαίνεται περισσότερο από αβέβαιο ότι η Κίνα θα συνεχίσει να φέρει τις αρνητικές εξωτερικές επιδράσεις αυτής της βιομηχανίας, ενώ θα μοιράζεται τα οφέλη, δηλαδή τη φθηνή παραγωγή σπάνιων γαιών. Επίσης, μια μελλοντική αυστηροποίηση των περιβαλλοντικών προτύπων που σχετίζονται με αυτόν τον τομέα είναι περισσότερο από πιθανή και αυτό που έχει ερμηνευτεί ως επίδειξη ισχύος, αναμένεται να επαναληφθεί στο μέλλον.



Βιβλιογραφία

- Agusdinata, D. B. (2018). Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: towards a research agenda. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aae9b1/pdf>.
- Ahmad, S. (2020, January 18). The Lithium Triangle: Where Chile, Argentina, and Bolivia Meet. Harvard International Review. <https://hir.harvard.edu/lithium-triangle/>.
- Ali, U. (2020, December 9). Beyond lithium: alternative materials for the battery boom. Power Technology@2x. <https://www.power-technology.com/features/lithium-battery-alternatives/>.
- Andoura, S., Hancher, L., van der Woude, M., 2010. Towards a European energy community: a policy proposal by Jacques Delors. Notre Europe. Energy Charter, 2010. 'What is Russia's status with the Energy Charter', available at: <http://www.encharter.org/index.php?id=18S>.
- Akah, Aaron. 2017. "Application of Rare Earths in Fluid Catalytic Cracking—A Review." Journal of Rare Earths 35, no. 10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002072117609980>.
- Alonso, Elisa, A. Sherman, T. Wallington, M. Everson, F. Field, R. Roth, and R. Kirchain. 2012. "Evaluating Rare Earth Element Availability: A Case with Revolutionary Demand from Clean Technologies." Environmental Science and Technology 46, no. 6. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es203518d>.
- Alonso, E., Sherman, A. M., Wallington, T. J., Everson, M. P., Field, F. R., Roth, R., & Kirchain, R. E. (2012). Evaluating rare earth element availability: A case with revolutionary demand from clean technologies. Environmental science & technology, 46(6), 3406-3414.
- Barrera, P. (2020, August 27). 5 Basic Lithium Facts Investors Should Know: INN. Investing News Network. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/lithium-investing/five-basic-facts-about-lithium/>.



Bell, T. (2020). What Are the Basics of Commercial Lithium Production? ThoughtCo. <https://www.thoughtco.com/lithium-production-2340123>.

Berry, C. (2020). Taming the Hydra: Funding the Lithium Ion Supply Chain in an Era of Unprecedented Volatility. <https://static1.squarespace.com/static/52efc154e4b0c6787ab52ec3/t/5f0461316344c00bc2366328/1594122546505/Taming+the+Hydra+2020.pdf>.

Besta, S. (2020, November 23). Profiling the top six lithium-producing countries in the world. NS Energy. <https://www.nsenergybusiness.com/features/top-lithium-producing-countries/>.

Brown, J. (2016, September 30). Past Performance Is Not Indicative of Future Results. <https://www.forbes.com/sites/johnbrown/2016/09/29/past-performance-is-not-indicative-of-future-results/?sh=5d82ba513bf5>.

Bauer, Diana, D. Diamond, J. Li, M. McKittrick, D. Sandalow, and P. Telleen. 2011. "Critical Material Strategy." U.S. Department of Energy. https://www.energy.gov/sites/prod/files/DOE_CMS2011_FINAL_Full.pdf.

Behr, Peter. 2019. "100% Renewable Grid Could Cost Trillions— Study" E&E News. <https://www.eenews.net/energywire/2019/07/01/stories/1060678667>.

Binnemans, Koen, P. Jones, B. Blanpain, T. Gerven, Y. Yang, A. Walton, and M. Buchert. 2013. "Recycling of Rare Earths: A Critical Review." Journal of Cleaner Production. https://solvomet.eu/wp-content/uploads/2017/05/JCLEPRO_Binnemans_REE_Recycling_May2013.pdf.

Boyd, John. 2020. "U.S. and Japan Seeking to Break China's Grip on Rare Earths Production." IEEE Spectrum. <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/semiconductors/materials/us-and-japan-seeking-to-break-chinas-grip-on-rare-earth>.

Bradsher, Keith and Edward Wong. 2010. "China's Ban on Selling Rare Earth Minerals to Japan Continues." The New York Times. <https://www.nytimes.com/2010/10/11/business/global/11rare.html>.

Constantinides, Steve. 2012. "The Demand for Rare Earth Materials in Permanent Magnets."



Arnold Magnetic Technologies Corporation. <https://www.arnoldmagnetics.com/wp-content/uploads/2017/10/Demand-for-rare-earth-materials-in-permanent-magnets-Constantinides-COM-2012-psn-hi-res.pdf>.

California, S. of. (2020, September 23). Governor Newsom Announces California Will Phase Out Gasoline-Powered Cars & Drastically Reduce Demand for Fossil Fuel in California's Fight Against Climate Change.

CaliforniaGovernor.<https://www.gov.ca.gov/2020/09/23/governor-newsom-announce-s-california-will-phase-out-gasoline-powered-cars-drastically-reduce-demand-for-fossil-fuel-in-californias-fight-against-climate-change/>.

Center for climate and energy solutions. (2020, January 7). Global Emissions. <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>.

Chatsko, M. (2020, February 24). Lithium: 3 Things Investors Need to Know. The Motley Fool. <https://www.fool.com/investing/2020/02/24/lithium-3-things-investors-need-to-know.aspx>.

EurActiv, 2011. 'Baltic countries ask EU to solve LNG terminal row'. 15 November. Europa, 2011. Günther Oettinger EU Commissioner for Energy the completion of the EU Internal Energy Market 'Getting to 2014' DG Energy Internal Market Conference. 29 September, available at: http://europa.eu/rapid/pressrelease_saction.do?reference=speech/11/614&type=html, stable URL.

Desai, Pratima. 2018. "Tesla's Electric Motor Shift to Spur Demand for Rare Earth Neodymium." Reuters. <https://www.reuters.com/article/us-metals-autos-neodymium-analysis/teslas-electric-motor-shift-to-spur-demand-for-rare-earth-neodymium-idUSKCN1GO28I>.

Editorial Board. 2021. "How to Ease China's Hold on Rare Earths" Bloomberg Opinion. <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2021-03-25/how-us-should-ease-china-s-rare-earth-dominance>.

Encyclopedia Britannica. n.d. "Phosphor." <https://www.britannica.com/science/phosphor>.

Filho, Walter. 2016. "Chapter 17: An Analysis of the Environmental Impacts of the Exploitation of Rare Earth Materials." Rare Earths Industry. Elsevier Inc. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/B9780128023280000176?token=A3FA7CD540E2219F8565ABE4F8FFB625CBBFC6CD4B335DCF85C020F4A6A6C37DE18DFC410761193E3B12A33F37FCEFE0&originRegion=us-east-1&originCreation=20210407161907>.

Fawthrop, A. (2020, November 19). Top six countries with the largest lithium reserves in the world. <https://www.nsenergybusiness.com/features/six-largest-lithium-reserves-world/>.

Flexer, V., Baspineiro, C. F., & Galli, C. I. (2018, May 26). Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. *Science of The Total Environment*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718318746>.

Fortum. (2019). Lithium-ion Battery Recycling Solution. Fortum. <https://www.fortum.com/products-and-services/fortum-battery-solutions/recycling/lithium-ion-battery-recycling-solution>.

FT Guide: The Energy Transition. (2019, January 22). <https://www.ft.com/reports/energy-transition-guide>.

Gersdorf, T., Schaufuss, P., Schenk, S., & Hertzke, P. (2020, July 17). McKinsey Electric Vehicle Index: Europe cushions a global plunge in EV sales. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mckinsey-electric-vehicle-index-europe-cushions-a-global-plunge-in-ev-sales>.

Ganguli, Ranjive and Douglas R. Cook. 2018. "Rare Earths: A Review of the Landscape." *MRS Energy & Sustainability*. <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/4F699CE5A563C492E7E654FDA4D0D78E/S2329222918000077a.pdf/div-class-title-rare-earths-a-review-of-the-landscape-div.pdf>.

Garcia, Cardiff and Stacey Vanek Smith. 2020. The Strategic Value of Rare Earths." *National Public Radio*. <https://www.npr.org/transcripts/949590270>.

Green Jeffery. 2019. "The Collapse of American Rare Earth Mining—and Lessons Learned." *Defense News*. <https://www.defensenews.com/opinion/commentary/2019/11/12/the->

collapse-of-american-rare-earth-mining-and-lessons- learned/.

Hanejko, Fran. 2020. "Induction vs. Permanent Magnet Motor Efficiency: Auto Electrification." Horizon Technologies. <https://www.horizontechnology.biz/blog/induction-vs-permanent-magnet-motor-efficiency-auto-electrification>.

Haxel, Gordon, J. Hedrick, and G. Orris. 2005. "Rare Earth Elements—Critical Resources for High Technology." U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs087-02/>.

Hudson, T., F. Fox, and G. Plumlee. 1999. "Metal Mining and the Environment." American Geosciences Institute. <https://www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/what-are-regulations-mining-activities>.

IRENA. (2020). Energy Transition. <https://www.irena.org/energytransition>.

Igogo, T., Sandor, D., Mayyas, A., & Cox, J. E. (2019). SUPPLY CHAIN OF RAW MATERIALS USED IN THE MANUFACTURING OF LIGHT-DUTY VEHICLE LITHIUM-ION BATTERIES. <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73374.pdf>.

International Energy Agency. 2010. Energy Technology Perspectives 2010. IEA. Accessed April 6, 2021, <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2010>.

IPCC. 2018. Summary for Policymakers—Special Report: Global Warming of 1.5°C. IPCC. Accessed April 6, 2021, <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>.

Institute for Rare Earths and Strategic Metals. "Rare Earths/Rare Earth Elements/REE." Accessed April 6, 2021, <https://en.institut-seltene-erden.de/rare-earths-and-metals/rare-earth/>.

Ives, Mike. 2013. "Boom in Mining Rare Earths Poses Mounting Toxic Risks." Yale Environment 360. https://e360.yale.edu/features/boom_in_mining_rare_earths_poses_mounting_toxic_risks.

Jowitt, Simon, T. Werner, Z. Weng, and G. Mudd. 2018. "Recycling of the Rare Earth Elements." Green and Sustainable Chemistry. https://www.researchgate.net/publication/323502917_Recycling_of_the_Rare_Earth_Elements.

Johnston, M. (2020, August 28). Why Lithium Stocks Are Plunging Amid Electric Car



Boom. Investopedia. <https://www.investopedia.com/investing/why-lithium-stocks-are-plunging-amid-electric-car-boom/>.

Kilbey, B. (2020, June 18). Infinity Lithium secures EU-backing for Spanish project. Infinity Lithium secures EU-backing for Spanish project | S&P Global Platts. <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/metals/061820-infinity-lithium-secures-eu-backing-for-spanish-project>.

Kraan, O., Chappin, E., Kramer, G. J., & Nikolic, I. (2019, May 17). The influence of the energy transition on the significance of key energy metrics. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119302448>.

Kubik, M. (2020, January 9). This Breakthrough Lithium Extraction Technology Could Accelerate the Sustainable Energy Transition. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/marekkubik/2019/09/24/this-breakthrough-lithium-extraction-technology-could-accelerate-the-sustainable-energy-transition/?sh=5201b73875fc>.

King, Hobart. n.d. “REE – Rare Earth Elements and their Uses.” Geology.com. Accessed April 6, 2021, <https://geology.com/articles/rare-earth-elements/>.

Larson E. Larson, C. Greig, J. Jenkins, E. May eld, A. Pascale, C. Zhang, J. Drossman, R. Williams, S. Pacala, R. Socolow, EJ Baik, R. Birdsey, R. Duke, R. Jones, B. Haley, E. Leslie, K. Paustian, and A. Swan. 2020. “Net-Zero America: Potential Pathways, Infrastructure, and Impacts, interim report” Princeton University. Accessed April 6, 2021, https://netzeroamerica.princeton.edu/img/Princeton_NZA_Interim_Report_15_Dec_2020_FINAL.pdf.

Mills, Rick. 2019. “How the U.S. Lost the Plot on Rare Earths.” Mining.com. Accessed April 6, 2021, <https://www.mining.com/web/us-lost-plot-rare-earths/>.

Motivalli, Jim. 2010. “Forget Lithium—It’s Rare Earth Minerals That Are in Short Supply for EVs.” CBS News. <https://www.cbsnews.com/news/forget-lithium-its-rare-earth-minerals-that-are-in-short-supply-for-evs/>.

Khanfar, A 2014 Environmental Economics “Green Economy.” Assiut Journal,

Environmental Studies, 39, Egypt, pp.55-57,59.

Likos, P. (2020). How to Invest In Lithium Stocks. U.S. News & World Report.
<https://money.usnews.com/investing/investing-101/articles/how-to-invest-in-lithium-stocks>.

Liu, W., Agusdinata, D. B., & Myint, S. W. (2019, April 29). Spatiotemporal patterns of lithium mining and environmental degradation in the Atacama Salt Flat, Chile. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243419300996>.

Littoz-Monnet, A., 2012. Agenda-setting dynamics at the EU level: the case of the EU cultural policy. Journal of European Integration 34 (5), 505–522.
Panke, D., 2010. Small states in the European Union structural disadvantages in EU policy-making and counter-strategies. Journal of European Public Policy 17 (6), 799–817.

Princen, S., 2011. Agenda-setting strategies in EU policy processes. Journal of European Public Policy 18 (7), 927–943.

Kolk, A. (2000). Green reporting. Harvard Business Review, 78(1), 15-15.

Kolstad C.D., (2000), Environmental Economics, Oxford University

Lavrinenko O, Ignatjeva S, Ohotina A, Rybalkin O and Lazdans D 2019 The Role of Green Economy in Sustainable Development (Case Study: The EU States), *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, **6** (3):1115.

Mohammad W 2015 The Economic Impact of Green Tourism in Achieving Sustainable Development in the Egyptian Economy - A Case Study of the Red Sea Region, Master Thesis, Ain Shams University, College of Environmental Studies and Research / Department of Economic and Legal Sciences, Egypt, pp. A-B.

Makofske W.J., Karlin E.F., 2008, Τεχνολογία και Παγκόσμια Περιβαλλοντικά Προβλήματα

Pearce D., Turner K., 1989, Economics of Natural Resources and the Environment, Harvester Wheatsheaf



Miller, E. (2018, April 3). 10 Facts About Lithium. Mental Floss. <https://www.mentalfloss.com/article/527936/facts-about-lithium>.

Noble, B. (2020, October 22). Federal bill seeks to ban gas-powered vehicles by 2035. [https://eu.detroitnews.com/story/business/autos/2020/10/22/federal-bill-seeks-ban-gas - powered-vehicles-2035/3726009001/](https://eu.detroitnews.com/story/business/autos/2020/10/22/federal-bill-seeks-ban-gas-powered-vehicles-2035/3726009001/).

Obbekær, M. (2019, December 1). How much water is used to make the world's batteries? Danwatch. <https://danwatch.dk/en/undersogelse/how-much-water-is-used-to-make-the-worlds-batteries/>.

Praskova, T. P. (2020). This tech breakthrough could revolutionize lithium extraction. Greenbiz. [https://www.greenbiz.com/article/tech-breakthrough-could-revolutionize-lithium-extr action](https://www.greenbiz.com/article/tech-breakthrough-could-revolutionize-lithium-extraction).

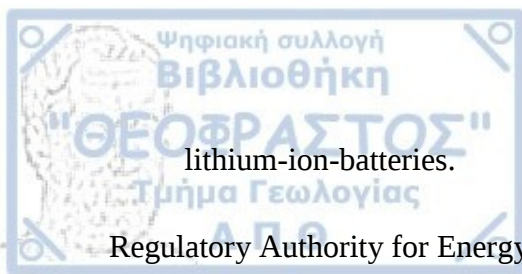
Paul, L. F. (2019). Press Release: Energy Storage Tracker 4Q19. Guidehouse Insights. <https://guidehouseinsights.com/news-and-views/lithium-ion-batteries-are-expected-to-account-for-85-of-newly-installed-energy-storage-capacity>.

Pennell, K. (2020, February 7). How Does Lithium Mining Actually Work and Will We Have Enough? GrabCAD Blog. <https://blog.grabcad.com/blog/2018/02/20/how-does-lithium-mining-work/>.

Pennell, K. (2020, February 7). How Does Lithium Mining Actually Work and Will We Have Enough? <https://blog.grabcad.com/blog/2018/02/20/how-does-lithium-mining-work/>. Plan for Climate Change and Environmental Justice: Joe Biden. Joe Biden for President: Official Campaign Website. (2020, October 29). <https://joebiden.com/climate-plan/>.

Ponciano, J. (2020, November 24). Dow Jones Industrial Average Hits Record 30,000—Reaching A Historic Milestone As 11 Million Americans Remain Unemployed Amid Pandemic. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/jonathanponciano/2020/11/24/dow-jones-industrial-average-hits-record-30000/?sh=302845861b4e>. The Project San José Valdeflórez. (2020). <https://www.sanjosevaldeflorez.es/project.html>.

Puiu, T. (2020, February 4). The Future is Bright for Lithium-Ion Batteries. The Lindau Nobel Laureate Meetings. <https://www.lindau-nobel.org/blog-the-future-is-bright-for->



lithium-ion-batteries.

Regulatory Authority for Energy (RAE), General information on the Cypriot electricity sector for the period 2000-2003: Installed capacity, production and consumption level, renewable energy sources and long-term energy planning, 2009

Rhodes, Chris. 2011. "Rare Earth Elements and Thorium Power." Forbes. <https://www.forbes.com/sites/energysource/2011/03/28/rare-earth-elements-and-thorium-power/?sh=3d60a6952d76>.

Siemens Gamesa. n.d. "SG 8.0-167 DD Offshore Wind Turbine." 2021, <https://www.siemensgamesa.com/en-int/products-and-services/offshore/wind-turbine-sg-8-0-167-dd>.

Standaert, Michael. 2019. "China Wrestles with the Toxic Aftermath of Rare Earth Mining." Yale Environment 360. <https://e360.yale.edu/features/china-wrestles-with-the-toxic-aftermath-of-rare-earth-mining>.

Toyota. 2018. "Toyota Develops New Magnet for Electric Motors Aiming to Reduce Use of Critical Rare-Earth Element by up to 50%." Accessed April 7, 2021, <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/21139684.html>.

Seuring, S. and Muller, M., (2008). "From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management", Journal of Cleaner Production, Vol. 16, Issue 15, pp 1699-1710.

S&P Global. (2020). What is Energy Transition? What is Energy Transition? | S&P Global. <https://www.spglobal.com/en/research-insights/articles/what-is-energy-transition>. Subiacco. <https://www.infinitylithium.com/>.

Sykes, N. (2020, April 20). Are Electric Cars REALLY Better for the Environment? YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=G67i_Z8ukD4.

Tennant Company. (2019). What are the Benefits of Lithium-Ion Batteries? Benefits of Lithium-Ion Batteries | Tennant Blog. https://www.tennantco.com/en_us/blog/2019/11/lithium-ion-battery-benefits.html.

Trahey, L., Brushett, F. R., Balsara, N. P., Ceder, G., Cheng, L., Chiang, Y.-M., Crabtree, G. W. (2020, June 9). Energy storage emerging: A perspective from the Joint Center for Energy Storage Research. PNAS. <https://www.pnas.org/content/117/23/12550>.

Tooraj J., Michael P., (2005), Electricity Market Reform in the European Union: Review of progress toward liberalization & Integration. Macmillan Publications

Wappelhorst, S. (2020). The end of the road? An overview of combustion engine car phase-out announcements across Europe. <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Combustion-engine-phase-outs-EU-May2020.pdf>.

Ward, P. (2020, December). Honda to stop selling pure petrol and diesel cars in Europe in 2022. <https://www.autocar.co.uk/car-news/electric-cars/honda-stop-selling-pure-petrol-and-diesel-cars-europe-2022>.

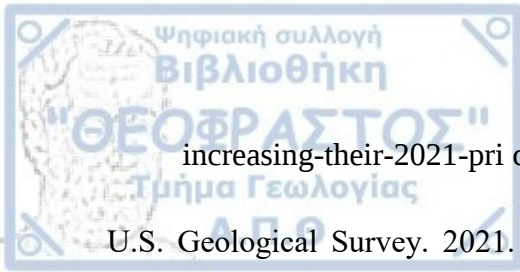
Wyman, O., Staeglich, J., & Knopf, M. (2020). Industry's Quest for Zero. Oliver Wyman - Impact-Driven Strategy Advisors. <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2020/dec/energys-eleventh-hour/industry-quest-for-zero.html>.

Natural Resources Canada. 2021. "Rare Earth Elements." Government of Canada. <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/minerals-mining/minerals-metals-facts/rare-earth-elements-facts/20522>.

Peelman, S., D. Kooijman, J. Sietsman, and Y. Yang. 2018. "Hydrometallurgical Recovery of Rare Earth Elements from Mine Tailings and WEEE." Journal of Sustainable Metallurgy. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40831-018-0178-0.pdf>.

U.S. Department of Energy. 2019. "Advanced Wind Turbine Drivetrain Trends and Opportunities." Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. <https://www.energy.gov/eere/articles/advanced-wind-turbine-drivetrain-trends-and-opportunities>.

Udland, M. (2020). Wall Street is already increasing its 2021 price targets: Morning Brief. Yahoo! Finance. <https://finance.yahoo.com/news/stock-market-strategists-are->



increasing-their-2021-price-targets-morning-brief-111732792.html.

U.S. Geological Survey. 2021. "Mineral Commodities Summaries 2021." U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

Vella, Heidi. 2020. "Australia and the U.S.: A Rare, Rare-Earth Partnership." Mining Technology. <https://www.mining-technology.com/features/australia-and-the-us-a-rare-rare-earth-partnership/>.

Xiang, Huang, G. Zhang, A. Pan, F. Chen, and C. Zheng. 2016. "Protecting the Environment and Public Health from Rare Earth Mining." Earth's Future. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016EF000424>.