



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΜΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

**«ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ»**

ΣΥΓΓΡΑΦΗ-ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΤΑΡΟΣ ΜΑΡΙΟΣ – ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (ΤΜΣ2208)

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΣΙΟΝΤΟΡΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ, ΕΙΡΗΝΑΚΗΣ
ΠΑΥΛΟΣ**

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2024, ΠΕΙΡΑΙΑΣ

ΔΗΛΩΣΗ

«Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου».

«Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του μη πρωτότυπου υλικού ΜΔΕ ανήκουν στον μεταπτυχιακό φοιτητή και στα συνεπιβλέποντα μέλη ΔΕΠ εις ολόκληρο, δηλαδή εκάτερος μπορεί να κάνει χρήση αυτών χωρίς τη συναίνεση άλλου. Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του πρωτότυπου μέρους ΜΔΕ ανήκουν στον μεταπτυχιακό φοιτητή και στους συνεπιβλέποντες από κοινού, δηλαδή δεν μπορεί ο ένας από τους τρεις να κάνει χρήση αυτού χωρίς τη συναίνεση των άλλων. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η δημοσίευση του πρωτότυπου μέρους της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου από τον ένα εκ των τριών, με την προϋπόθεση ότι αναφέρονται τα ονόματα και των τριών ως συν-συγγραφέων. Στην περίπτωση αυτή προηγείται γραπτή ενημέρωση του/της μη συμμετέχοντα/ουσας στη συγγραφή του επιστημονικού άρθρου. Δεν επιτρέπεται η κατά οποιοδήποτε τρόπο δημοσιοποίηση υλικού το οποίο έχει δηλωθεί εγγράφως ως απόρρητο».

Ο Φοιτητής

Τάρος Μάριος-Κωνσταντίνος

Οι συνεπιβλέποντες

Σιοντόρου Χριστίνα

Ειρηνάκης Παύλος

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την ανάλυση του κύκλου ζωής και της γραμμής παραγωγής του αλουμινίου, με παράλληλη έμφαση στις παραγωγικές και εξαγωγικές ικανότητες της Ελλάδας, και τις δυνατότητες που παρέχουν νέες τεχνολογίες και ερευνητικά έργα όσον αφορά τον αυτοματισμό της παραγωγής και την βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του συγκεκριμένου υλικού. Οι στόχοι της εργασίας περιλαμβάνουν τη σύνθεση μίας ολοκληρωμένης εικόνας της γραμμής παραγωγής του αλουμινίου στην Ελλάδα, την παρουσίαση δεδομένων σχετικά με τις εξαγωγικές δυνατότητες της, και την αναφορά των νέων τεχνολογιών οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να βελτιστοποιηθεί ο κύκλος ζωής του αλουμινίου ως προς τον περιβαλλοντικό αντίκτυπό της.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η γραμμή παραγωγής του αλουμινίου, από την εξόρυξη της πρώτης ύλης ως και τις μεθόδους διάθεσης των προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής τους, με έμφαση στις παραγωγικές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα και την εξαγωγική δραστηριότητά τους, με μία παράλληλη αναφορά σχετικά με τις διεθνείς τάσεις στον τομέα της έρευνας.

Εν συνεχεία, παρατίθενται στοιχεία σχετικά με νέες τεχνολογίες και μεθόδους που χρησιμοποιούν οι προαναφερθείσες εγκαταστάσεις οι οποίες λειτουργούν στην Ελλάδα, με στόχο τόσο την αποδέσμευση του ενεργειακού τους μείγματος από τα ορυκτά καύσιμα, όσο και τη βελτιστοποίηση των διεργασιών που εκτελούνται στη γραμμή παραγωγής του αλουμινίου για την αύξηση της απόδοσης και την παράλληλη μείωση των ρύπων.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε καινοτομίες στον τομέα της παραγωγής αλουμινίου σε παγκόσμιο ερευνητικό επίπεδο οι οποίες παρουσιάζουν ενδιαφέρον σχετικά με την ανάκτηση πρώτων υλών, τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης από τα λύματα και τα παραπροϊόντα του αλουμινίου, και οι οποίες προσφέρουν τη δυνατότητα ένταξής τους στον κύκλο διεργασιών της γραμμής παραγωγής για την επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης των εταιριών παραγωγής αλουμίνιας και αλουμινίου.

Τέλος, παρατίθενται συνοπτικά τα συμπεράσματα της εργασίας και η ανάλυση της συμβατότητάς τους με την ελληνική καθετοποιημένη γραμμή παραγωγής.

Λέξεις-κλειδιά

αλουμίνιο, αλουμίνα, βωξίτης, παραγωγή, καθετοποίηση

Ευχαριστίες

Με τη παράθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Διαχείριση Ενέργειας & Περιβάλλοντος» του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας, της Σχολής Ναυτιλίας & Βιομηχανίας. Στις σπουδές μου ήταν καθοριστικής σημασίας η συμβολή των καθηγητών με τους οποίους είχα την χαρά να συνεργαστώ τόσο σε προπτυχιακό όσο και σε μεταπτυχιακό επίπεδο, στους οποίους επιθυμώ να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για τη συμβολή τους στην τριβή μου με τα αντικείμενα του τμήματος και στην ολοκλήρωση των σπουδών μου. Ειδικότερα, επιθυμώ να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου και επιβλέποντες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κα. Σιοντόρου Χριστίνα και κ. Ειρηνάκη Παύλο, για την επιστημονική και συμβουλευτική καθοδήγηση που μου προσέφεραν σε όλα τα στάδια από την δόμηση έως και την εκπόνηση της εργασίας μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη	iii
Λέξεις-κλειδιά.....	iv
Ευχαριστίες.....	v
Λίστα Σχημάτων	viii
Λίστα Πινάκων	ix
Λίστα Συντομογραφιών – Λεξιλόγιο.....	x
Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή.....	xi
Κεφάλαιο 2 ^ο : Παραγωγή αλουμινίου στην Ελλάδα	1
2.1: Χαρακτηριστικά αλουμινίου	1
2.2: Γραμμή παραγωγής αλουμινίου	3
2.3: Αλουμίνιο στην Ελλάδα	5
2.3.1: MYTILINEOS – Energy & Metals	6
2.3.2: Alumil.....	7
2.3.3: Elval - ETEM.....	7
2.3.4: EUROPA	10
2.3.5: EXALCO	10
2.4: Τάσεις έρευνας και καινοτομίας.....	13
Κεφάλαιο 3 ^ο : Καινοτομία στην Ελληνική Αγορά	15
3.1: MYTILINEOS.....	15
3.2: Alumil.....	17
3.3: ELVAL	19
3.4: EUROPA	21
3.5: EXALCO	22
Κεφάλαιο 4 ^ο : Νέες τεχνολογίες στη γραμμή παραγωγής του αλουμινίου	24
4.1: Στρατηγικές απανθρακοποίησης	24
4.2: Το αλουμίνιο στον κατασκευαστικό τομέα	25

4.3: Παράλληλη χρήση LCA-LCC	27
4.4: Σύγκριση τρεχόντων μεθόδων παραγωγής αλουμινίου.....	30
Life Cycle Impact Assessment	31
Οικονομικά αποτελέσματα κόστους-οφέλους.....	32
4.5: Ανάκτηση και δέσμευση απωλειών.....	33
Ανάκτηση λιθίου.....	34
4.6: Ανάκτηση σταγονιδίων αλουμινίου (aluminum droplets) μέσω σκωρίας αλουμινίου (aluminum dross).....	35
4.7: Δέσμευση λυμάτων αλουμινίου για χρήση ως υλικό ασφάλτου	38
Κεφάλαιο 5 ^ο :Συμπεράσματα.....	40
Βιβλιογραφία	42

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1 Ηλεκτρόλυση αλουμινίου [1].....	1
Σχήμα 2 Διαδικασία παραγωγής αλουμινίου.....	4
Σχήμα 3 Στάδια παραγωγικής διαδικασίας αλουμινίου βάσει στοιχείων 2019.....	26
Σχήμα 4 Όρια πρωτογενούς παραγωγής αλουμινίου.....	28
Σχήμα 5 Όρια δευτερογενούς παραγωγής αλουμινίου.....	29
Σχήμα 6 Ιεραρχημένο πλαίσιο αξιολόγησης της στάθμισης μεταξύ οικονομικών προτερημάτων και περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μεθόδων παραγωγής.....	30
Σχήμα 7 Κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανά μέθοδο παραγωγής.....	31
Σχήμα 8 Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και αλουμίνιας ανά μέθοδο παραγωγής.....	32
Σχήμα 9 Ανάκτηση λιθίου.....	35
Σχήμα 10 Απεικονίσεις SEM τυπικών σωματιδίων αλουμινίου υπό μηχανική ενεργοποίηση: (α) δημιουργία ρωγμών (β) μείωση μεγέθους σωματιδίου (γ) καταστροφή δομής (δ) έκθεση στην πιο επιφανειακή περιοχή.....	36
Σχήμα 11 Απεικόνιση SEM και μακροσκοπική μορφολογία σκωρίας αλουμινίου επεξεργασμένης με τη διαδικασία του υπερ-βαρυτικού διαχωρισμού [48, 49, 53, 54].	37
Σχήμα 12 ATS σε μορφή σκόνης.....	38

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Περιβαλλοντικές/Ενεργειακές πιστοποιήσεις εταιριών-ομίλων παραγωγής αλουμινίου στην Ελλάδα [27-33]	12
Πίνακας 2 Χρήση Υλικών Διέλασης	18
Πίνακας 3 Υλικό Εισροής 2021-2022	18
Πίνακας 4 Σύσταση ATS	38

Λίστα Συντομογραφιών – Λεξιλόγιο

ανοδίωση: ηλεκτροχημική διαδικασία για την παθητικοποίηση του αλουμινίου

διέλαση: διεργασία που περιλαμβάνει την ώθηση ενός μεταλλικού υλικού αλουμινίου μέσω ενός κυλίνδρου (μήτρας) συγκεκριμένης διατομής

έλαση: μία διαδικασία κατά την οποία το τεμάχιο εισέρχεται στο διάκενο δύο αντίθετα περιστρεφόμενων ραούλων, παράγοντας προϊόν με μικρότερη διατομή και επιμήκυνση κατά τη διεύθυνση της έλασης

έλαστρο: μηχανήμα για την έλαση μετάλλων, που αποτελείται από δύο παραλλήλους και αντίρροπα στρεφόμενους κυλίνδρους

καθετοποιημένη γραμμή παραγωγής: γραμμή παραγωγής ενός προϊόντος της οποίας έχει επεκταθεί το σύνολο των δραστηριοτήτων της επιχείρησης που την εκτελεί, με στόχο να περικλείονται σε αυτή προηγούμενα και επόμενα διαδοχικά στάδια που αφορούν το προϊόν (συγκεκριμένα από την ανάκτηση της πρώτης ύλης έως την παραγωγή του τελικού προϊόντος, και σε κάποιες περιπτώσεις την ανακύκλωση/διάθεσή του)

πρωτόχυτο αλουμίνιο: Το μέταλλο που παράγεται με τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης της αλουμίνας

χύτευση: έκχυση λιωμένου αλουμινίου σε ένα καλούπι για τη δημιουργία πολύπλοκων και περίπλοκων σχημάτων

ISO: πιστοποιήσεις από το Διεθνές Οργανισμό Τυποποίηση (aka International Organization for Standardization)

CNC: Computerized Numerical Control

ASI: Aluminium Stewardship Initiative (πιστοποίηση)

ΕΛΟΤ: Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης

SEM: Scanning Electron Microscope

MEA: monoethanolamine

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

Το αλουμίνιο αποτελεί ένα από τα κύρια εξαγωγικά προϊόντα της Ελλάδας, και κατέχει βασικό ρόλο σε πλήθος διαστάσεων της καθημερινότητάς μας, από κτηριακές κατασκευές έως στηρίγματα φωτοβολταϊκών πάνελ και συσκευασία προϊόντων. Η ιστορία του τομέα αλουμινίου στην Ελλάδα ξεκινά στα μέσα του 20ού αιώνα με την εμφάνιση της Βιοτεχνίας Μυτιληναίος, η οποία έγινε κεντρικός παίκτης στον τομέα, εγκαθιδρύοντας εργοστάσιο παραγωγής στον Άγιο Νικόλαο Βοιωτίας. Στη συνέχεια, εντάχθηκαν περισσότερες εταιρίες στον κλάδο, και παρουσιάζεται σταθερά μία ανοδική πορεία σε αυτές, γεγονός που υποστηρίζεται από την εξωστρέφεια προς τις παγκόσμιες αγορές αλλά κυρίως από την καθετοποίηση του τομέα. Παρά τις προκλήσεις, υπάρχει τάση προς εξέλιξη με κύριους άξονες τη βιωσιμότητα και τη επίτευξη διεθνών περιβαλλοντικών στόχων, με πρωτοβουλίες όπως οι επενδύσεις σε ενεργειακές τεχνολογίες και πρωτοβουλίες για μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, εντός άλλων.

Κίνητρο για τη μελέτη του αντικείμενου της βιωσιμότητας της γραμμής παραγωγής του αλουμινίου στην Ελλάδα αποτέλεσε η εκπόνηση σχετικών εργασιών στα πλαίσια των προπτυχιακών μου σπουδών, συγκεκριμένα η πτυχιακή μου εργασία η οποία είχε ως αντικείμενο τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον, και μία εργασία σχετικά με τη διαχείριση και αξιοποίηση της κόκκινης λάσπης που προκύπτει ως παραπροϊόν από την επεξεργασία του βωξίτη. Παράλληλα όμως, στο μεταπτυχιακό επίπεδο σπουδών, παρατήρησα την ύπαρξη του αλουμινίου σε εγκαταστάσεις ΑΠΕ, σε περιβαλλοντικά φιλικές κατασκευαστικές λύσεις, και εν γένει σε εφαρμογές οι οποίες προωθούνται για την επίτευξη στόχων βιωσιμότητας και προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος, χωρίς όμως να υπάρχει συγκεκριμένη αναφορά στην ποσότητα παραπροϊόντων και ρύπανσης που θα προέκυπτε από το αναγκαίο για αυτές τις εφαρμογές αλουμίνιο.

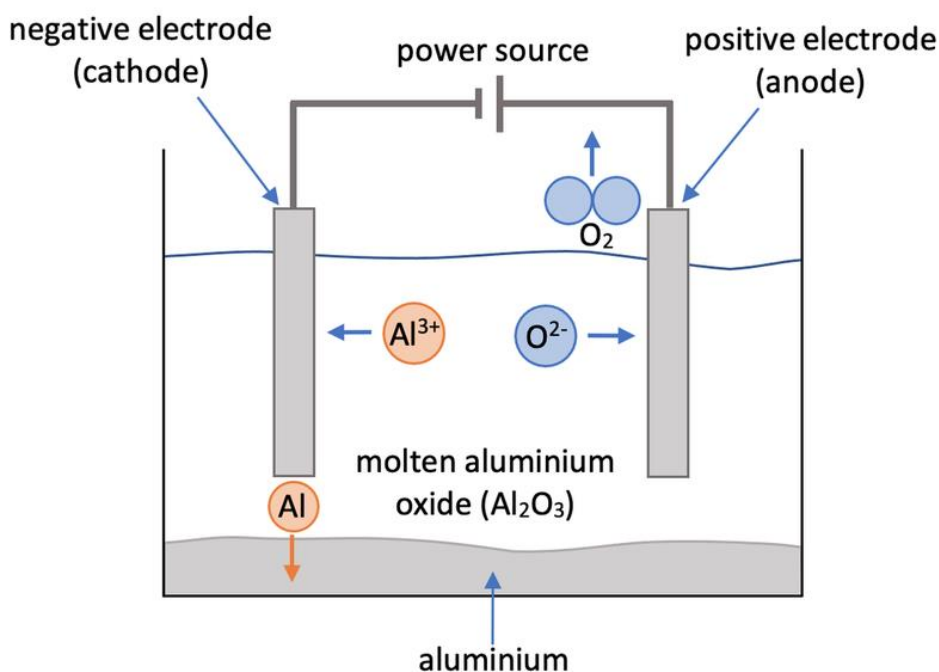
Η δομή της εργασίας, η οποία έχει αναλυθεί και στην περίληψη, ακολουθεί τον τρόπο με τον οποίο έγινε η προσέγγιση του θέματος. Από την αναφορά στους κύριους παραγωγούς αλουμινίου εγχώρια, στην ανάδειξη των πρακτικών που ακολουθούν στοχεύοντας να πετύχουν στόχους είτε ορισμένους από την Ελλάδα είτε από την ΕΕ, και

καταλήγοντας σε ερευνητικές λύσεις σχετικά με τη γραμμή παραγωγής του αλουμινίου ώστε να επιτευχθεί περιβαλλοντική ουδετερότητα στον κλάδο. Η βάση λοιπόν είναι το δυναμικό της χώρας, το οποίο ήδη είτε από κοινές πρακτικές στον κλάδο είτε από εσωτερική έρευνα χρησιμοποιεί κάποιες μεθοδολογίες και τεχνολογίες για τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας αναφορικά με τη φιλικότητα προς το περιβάλλον, και ποιες ήδη υπό διερεύνηση καινοτομίες από το παγκόσμιο ερευνητικό πεδίο προσφέρονται για εφαρμογή.

Κεφάλαιο 2^ο: Παραγωγή αλουμινίου στην Ελλάδα

2.1: Χαρακτηριστικά αλουμινίου

Το αλουμίνιο (Al) είναι ένα μέταλλο, το οποίο χαρακτηρίζεται από ασημένιο-λευκό χρώμα, και αποτελεί το 13^ο στοιχείο του περιοδικού πίνακα. Πρόκειται για το πιο κοινό μέταλλο στη Γη, καθώς εντοπίζεται σε ποσοστό άνω του 8% της μάζας του πλανήτη. Ταυτόχρονα, πρόκειται για το 3^ο πιο σύνηθες χημικό στοιχείο στη Γη έπειτα από το οξυγόνο και τη σιλικόνη. Παράλληλα όμως, καθώς δημιουργεί δεσμούς εύκολα με άλλα στοιχεία, στη φύση δεν εντοπίζεται καθαρό αλουμίνιο, γεγονός που καθυστέρησε τον εντοπισμό του και την οργάνωση της γραμμής παραγωγής του, με την επίσημη πρώτη παραγωγή αλουμινίου να χρονολογείται το 1824 και την ανάγκη επιπλέον 50 ετών μέχρι να αποκτηθεί η γνώση και οι τεχνολογίες οι οποίες θα επέτρεπαν την παραγωγή σε βιομηχανικό επίπεδο. Κινητήρια δύναμη πίσω από την ανακάλυψη του αλουμινίου αποτελεί ο ηλεκτρισμός, χάρη στον οποίο ο δανός φυσικός Christian Oersted μέσω της μεθόδου της ηλεκτρόλυσης παράγαγε αλουμίνιο.



Σχήμα 1 Ηλεκτρόλυση αλουμινίου [1]

Το αλουμίνιο αποτελεί ένα από τα ελαφρύτερα μέταλλα, όντας τρεις φορές πιο ελαφρύ από τον σίδηρο, ενώ ταυτόχρονα χαρακτηρίζεται από υψηλά επίπεδα αντοχής υλικού και ελαστικότητας, είναι ανθεκτικό στη σκουριά καθώς καλύπτεται η επιφάνειά του από ένα ιδιαίτερα λεπτό στρώμα οξειδίου (oxide film). Δε μαγνητίζεται, είναι πολύ καλός αγωγός ηλεκτρισμού και σχηματίζει αλόες με σχεδόν όλα τα υπόλοιπα μέταλλα.

Στη φύση η πιο κοινή μορφή του αλουμινίου είναι αυτή των θεικών ενώσεων αλουμινίου (aluminium sulfates). Πρόκειται για ορυκτά τα οποία συνδυάζουν δύο θειικά οξέα: ένα το οποίο έχει ως βάση αλκαλικό μέταλλο (λίθιο, νάτριο, κάλιο, καίσιο ή ρουβίδιο) και ένα με βάση ένα μέταλλο από την τρίτη ομάδα του περιοδικού πίνακα, κατά βάση το αλουμίνιο. Αυτές οι θεικές ενώσεις χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του νερού, στη φαρμακοβιομηχανία και στην κοσμετολογία εντός πολλών άλλων τομέων.

Ως κύρια πρώτη ύλη για την παραγωγή αλουμινίου χρησιμοποιείται ο βωξίτης, ένα ορυκτό το οποίο αποτελείται από προσμίξεις υδροξειδίου του αλουμινίου με σίδηρο, σιλκόνη, τιτάνιο, γάλλιο, θείο, χρώμιο, και ανθρακικό μαγνήσιο. Ο βωξίτης ονομάστηκε από την πόλη Baux της Γαλλίας όπου και εντοπίστηκαν για πρώτη φορά κοιτάσματά του το 1821. Κατά μέσο όρο, απαιτούνται 4 με 5 τόνοι βωξίτη για την παραγωγή ενός τόνου αλουμινίου. Ως ενδιάμεσο προϊόν από το βωξίτη προς το αλουμίνιο εντοπίζεται η αλουμίνα ή οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3), η οποία παράγεται μέσω της διαδικασίας Bayer, και η οποία στηρίζεται στην επιλεκτική διαλυτοποίηση του οξειδίου του αργιλίου σε διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου (καυστική σόδα). Πρόκειται για ένα υλικό με μορφή λευκής σκόνης το οποίο εν συνεχεία με τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης κατεργάζεται σε αλουμίνιο.

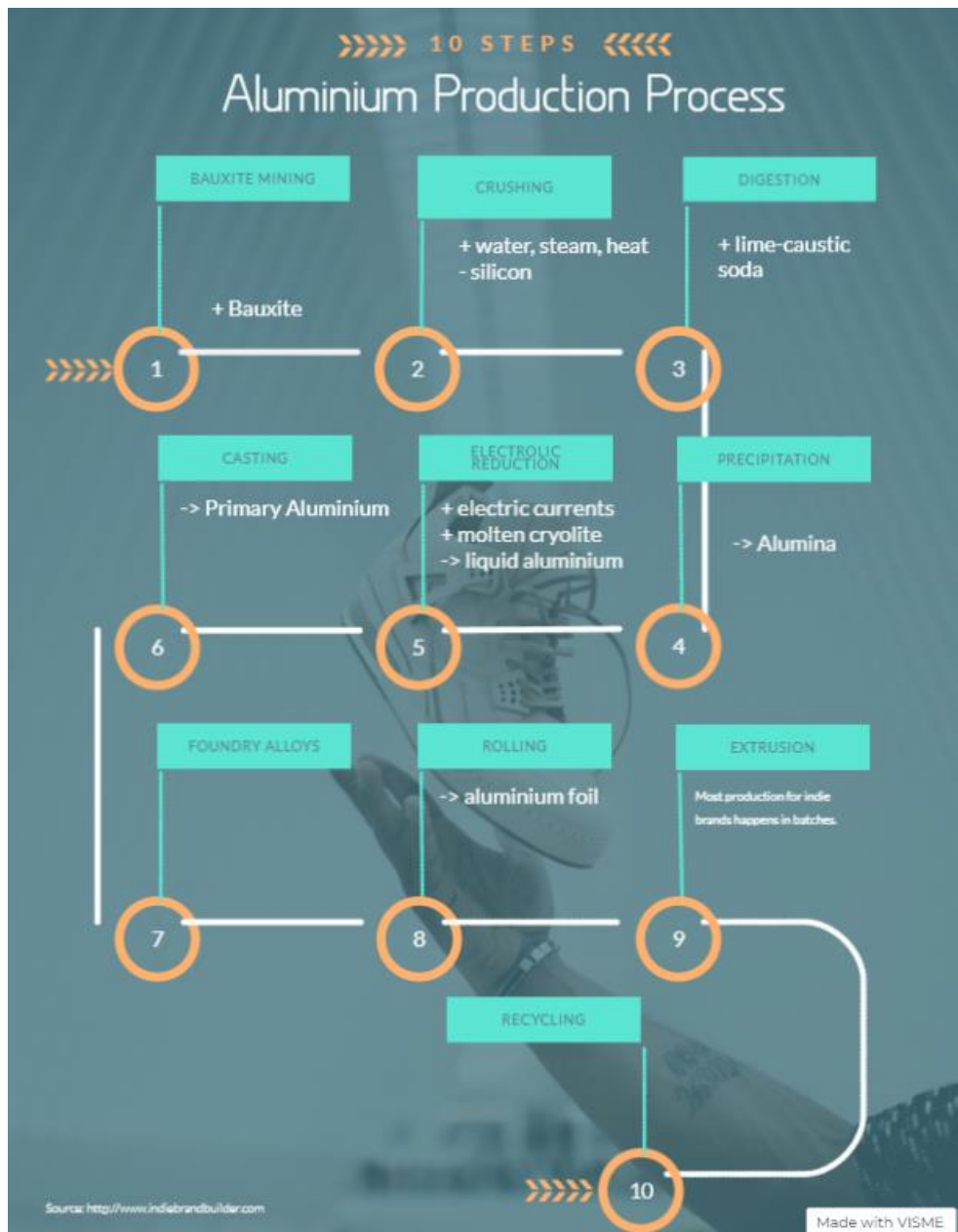
Η παραγωγή του αλουμινίου απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας, περίπου 15MWh ανά τόνο παραγόμενου προϊόντος, ως εκ τούτου η δυνατότητα παροχής αυτής της μεγάλης ποσότητας ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας κρίνεται συμφέρουσα τόσο ως προς το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της παραγωγής, όσο και οικονομικά. Χάρη στην ικανότητα του αλουμινίου να σχηματίζει αλόες με άλλα μέταλλα, μεγάλος αριθμός προϊόντων προερχόμενων από το αλουμίνιο εντοπίζονται σε πλήθος τομέων της καθημερινής ζωής, όπως στα κινητά τηλέφωνα, στις μηχανές των αυτοκινήτων, στα κουφώματα οικιακών και μη κατασκευών και στον τομέα της αεροπλοΐας. [2]

2.2: Γραμμή παραγωγής αλουμινίου

Πρώτο βήμα στην παραγωγή του αλουμινίου αποτελεί η εξόρυξη του βωξίτη, του οποίου το 90% περίπου εντοπίζεται σε τροπικές περιοχές. Με τη διεργασία της θραύσης ο βωξίτης συνθλίβεται, αποξηραίνεται και θρυμματίζεται σε ειδικούς μύλους, όπου και αναμειγνύεται με μία μικρή ποσότητα νερού. Μέσω αυτής της διαδικασίας παράγεται μία πηχτή πάστα η οποία συλλέγεται σε ειδικά δοχεία και θερμαίνεται με ατμό ώστε να αφαιρεθεί η μεγαλύτερη ποσότητα από τη σιλικόνη η οποία εντοπίζεται στον βωξίτη. Εν συνεχεία, το ορυκτό φορτώνεται σε κλιβάνους αποστείρωσης (autoclaves) και επεξεργάζεται με καυστική σόδα και ασβέστη, παράγοντας με τη διαδικασία της άλεσης και της προσβολής οξειδία αλουμινίου στην παραγόμενη ίλη, ενώ τα αναμείγματα υφίστανται καθίζηση ως κόκκινη λάσπη. Τέλος, το διάλυμα αργλικού νατρίου ψύχεται σε μία σειρά ανοιχτών δοχείων (διασπαστών) και η αλουμίνα καταβυθίζεται ως στερεά ένυδρη αλουμίνα. Τέλος, στο στάδιο της διαπύρωσης, η ένυδρη αλουμίνα ανακατεύεται σε κρημιστές για αρκετές μέρες μετατρέπεται σε οξείδιο του αργιλίου, δηλαδή καθαρή αλουμίνα (Al_2O_3). [5,7]

Στη συνέχεια στο στάδιο της ηλεκτρόλυσης, η αλουμίνα τοποθετείται σε ένα χυτήριο το οποίο περιέχει ειδικές ηλεκτρολυτικά κελία με λιωμένο κρυόλιθο στους $950^{\circ}C$. Στο μείγμα, έπειτα, επάγεται ηλεκτρικό ρεύμα σε ένταση 400 kA και άνω, μέσω του οποίου διασπώνται οι δεσμοί μεταξύ των ατόμων του αλουμινίου και του οξυγόνου, παράγοντας έτσι ρευστό ίζημα αλουμινίου, το οποίο εναποτίθεται ως ρευστό στον πυθμένα (κάθοδος). Το παραγόμενο πρωτογενές αλουμίνιο χυτεύεται σε ράβδους και αποστέλλεται στους πελάτες ή χρησιμοποιείται στην παραγωγή αλοών αλουμινίου για πλήθος χρήσεων, οι οποίες με τη σειρά τους χυτεύονται σε ορθογώνιες δοκούς οι οποίες φτάνουν ως τα 9 μέτρα σε μήκος, και εν συνεχεία εξελάσσονται σε φύλλα, ή μέσω της διαδικασίας της έλασης μορφοποιείται κατάλληλα για άλλες χρήσεις.

Τέλος, το αλουμίνιο καθώς είναι ανθεκτικό στην οξείδωση, μπορεί να τηχθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί ουσιαστικά εις αεί, με το επιπρόσθετο όφελος, πέρα από τη μείωση των παραγόμενων απορριμμάτων, την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και τη διατήρηση των αποθεμάτων σε ορυκτά, να είναι η συγκριτικά ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την ανακύκλωση του αλουμινίου η οποία είναι ίση με το 5% της ενέργειας παραγωγής του πρωτογενούς αλουμινίου.



Σχήμα 2 Διαδικασία παραγωγής αλουμινίου

2.3: Αλουμίνιο στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μία χώρα η οποία χαρακτηρίζεται από ισχυρή παραγωγική δραστηριότητα στον τομέα του αλουμινίου και των παραγόμενων εκ αυτού υλικών και προϊόντων, αλλά και από έντονη εξαγωγική παρουσία. Βάσει στοιχείων του 2021, δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα πάνω από 20 βιομηχανικές μονάδες και περισσότερες από 3.000 μεγάλες και μικρές επιχειρήσεις, γεγονός που υποστηρίζεται από την καθετοποίηση του κλάδου. Παράλληλα, η Ελλάδα εξάγει αλουμίνιο σε διάφορες μορφές του σε πάνω από 50 χώρες, διαθέτοντας παραγωγικές μονάδες και ιδιόκτητα δίκτυα διανομών, ενισχύοντας την εξαγωγική της ισχύ. Οι εξαγωγές το 2021 υπολογίζονται στα 2.148 εκατομμύρια ευρώ και αποτελούν τον 3^ο εξαγωγικό κλάδο της χώρας, έχοντας εισάγει 280 εκατομμύρια ευρώ στην αξία του εμπορικού ισοζυγίου της χώρας και καταλαμβάνοντας τη 2^η θέση στους 99 κλάδους της ελληνικής οικονομίας. Στα πλαίσια της Ελλάδας, έχουν παραχθεί πάνω από 860 χιλιάδες τόνοι αλουμινίου και ημιτελικών προϊόντων, και από τις πωλήσεις η εξαγόμενη ποσότητα αποτελεί πάνω από το 66%. Ταυτόχρονα, απασχολούνται άμεσα ή έμμεσα 30.000 εργαζόμενοι, προσφέροντας με αυτό τον τρόπο θέσεις εργασίας, οικονομική σταθερότητα και ρευστότητα στην ελληνική οικονομία. [6]

Κάποιες εκ των μεγάλων βιομηχανιών παραγωγής αλουμινίου στην Ελλάδα είναι η MYTILINEOS με την εγκατάσταση Αλουμίνιον Ελλάδος, που χαρακτηρίζεται από ετήσια δυναμικότητα παραγωγής άνω των 190.000 τόνων σε αλουμίνιο και των 860.000 τόνους σε αλουμίνα, η ALUMIL με ετήσια δυναμικότητα 72.000 τόνων διέλασης αλουμινίου, η Elval με ετήσια παραγωγική δυναμικότητα κατά το 2019 ίση με 295.000 τόνους, η EUROPA με ετήσια παραγωγική δυναμικότητα 24,000 τόνων, η ETEM με ετήσια παραγωγή ίση με 18.000 τόνους και η EXALCO με ετήσια παραγωγική δυναμικότητα ύψους 60.000 τόνων. [7-13]

2.3.1: MYTILINEOS – Energy & Metals

Η εταιρία MYTILINEOS – Energy & Metals είναι μία εταιρία με διεθνή δραστηριοποίηση στον τομέα της ενέργειας και της μεταλλουργίας. Το 1908 ιδρύθηκε η βιοτεχνία μεταλλουργίας ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ στον Πειραιά, όπου και δραστηριοποιήθηκε. Το 1990 μετεξελίσσεται στον όμιλο ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ και το 2017 στη νέα οντότητα MYTILINEOS. Το 1995 εντάχθηκε στο Χρηματιστήριο Αθηνών και κατά τα έτη 1996-1997 επέκτεινε τη δράση του μέσω στρατηγικών συμφωνιών στα Βαλκάνια. Κατά τα επόμενα έτη προχώρησε σε εξαγορές μεγάλων ποσοστών από εταιρίες με συναφή δράση σε Ελλάδα και Κύπρο, με σημαντική εξαγορά το 2005 του πλειοψηφικού ποσοστού ύψους του 53% της Αλουμίνιον της Ελλάδος Α.Ε.. Με αφετηρία την εξαγορά των «Δέλτα Project» και «Spider Ενεργειακή», από το 2006 η MYTILINEOS ισχυροποιεί το χαρτοφυλάκιό της στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ενώ το 2013 υπογράφει με την Ελβετική εταιρία Glencore συμβόλαιο για την πώληση 75.000 τόνων αλουμινίου έναντι \$200εκ.

Η MYTILINEOS λειτουργεί τη μοναδική καθετοποιημένη μονάδα παραγωγής βωξίτη, αλουμίνας και πρωτόχυτου αλουμινίου πανευρωπαϊκά, καθώς και τη μεγαλύτερη μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ στις εργασίες της έχουν ενταχθεί η ανακύκλωση αλουμινίου και ψευδάργυρου μολύβδου. Στη δομή του κλάδου περιλαμβάνονται οι εγκαταστάσεις της Δελφοί-Δίστομο Α.Μ.Ε. με παραγωγή βωξίτη που ξεπερνά τους 570.000 τόνους, το εργοστάσιο Αλουμίνιον της Ελλάδος με ετήσια παραγωγή αλουμινίου άνω των 190.000 τόνων, την ΕΠΑΛΜΕ που αποτελεί τον μεγαλύτερο ανεξάρτητο παραγωγό ανακυκλωμένου (δευτερόχυτου) αλουμινίου με παραγωγή άνω των 35.000 τόνων, το εργοστάσιο στο Βόλο στο οποίο πραγματοποιούνται σύνθετες μεταλλικές κατασκευές και το εργοστάσιο μεταλλουργίας ψευδαργύρου και μολύβδου Sometra. Όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση και το αποτύπωμα των διεργασιών, ο όμιλος έχει δεσμευτεί για μείωση του συνολικού ανθρακικού αποτυπώματός του κατά τουλάχιστον 30% ως το 2030 βάσει των επιπέδων του 2019, αναλαμβάνοντας τη δέσμευση να επιτύχει ουδέτερο ανθρακικό αποτύπωμα ως το 2050, ενώ ταυτόχρονα συμμετέχει στην πρωτοβουλία σε παγκόσμιο επίπεδο Science Based Targets Initiative και έχει ενταχθεί στο δείκτη βιωσιμότητας Dow Jones Sustainability. [14-16]

2.3.2: Alumil

Η Alumil ιδρύθηκε το 1988 στο Κιλκίς, με την πρώτη γραμμή διέλασης αλουμινίου να τίθεται σε λειτουργία το 1990, με παραγωγική δυναμικότητα 7.000 τόνων ετησίως. Το 1993 ιδρύεται η θυγατρική εταιρία ALUSYS με σκοπό την επέκταση της δραστηριοποίησης στη Νότιο Ελλάδα. Το 1995 η παραγωγική δυναμικότητα έχει αυξηθεί στους 10.000 τόνους ετησίως, ενώ ταυτόχρονα ξεκινά η δραστηριοποίηση της εταιρίας σε διεθνές επίπεδο. Το 1996 ιδρύεται ALUFOND A.E. η οποία εξυπηρετεί στην περεταίρω καθετοποίηση της γραμμής παραγωγής χάρη στο νέας τεχνολογία χυτήριο που διαθέτει. Έως το 1998, χάρη σε συμφωνίες με εταιρίες του εξωτερικού, η Alumil αυξάνει συνολικά την παραγωγική της δυναμικότητα σε 12.000 τόνους ετησίως, εξαγάγει στα Βαλκάνια με κύρια αγορά τη Ρουμανία όπου και κατασκευάζει εγκαταστάσεις με χυτήριο, ενώ ενισχύει την παρουσία της στην Ουγγαρία, στην Αλβανία και στην Βουλγαρία.

Από το 1999 έως το 2008 η Alumil αποκτά παρουσία σε πλήθος αγορών, συμπεριλαμβανομένων της Ουκρανίας, της Αιγύπτου, της Μολδαβίας, της Γερμανίας, της Βόρειας Μακεδονίας, της Σερβίας, της Ιταλίας, της Ρουμανίας, της Σερβίας και της Κύπρου, με τη συνολική παραγωγή να αυξάνεται στους 85.000 τόνους. Ταυτόχρονα, το δίκτυο εξαγωγών επεκτείνεται δυναμικά, με πωλήσεις σε Μέση Ανατολή, Αφρική, Δυτική Ευρώπη και ΗΠΑ. Στα χρόνια της οικονομικής κρίσης η εταιρία διατήρησε τη δυναμικότητά της, και έχει προχωρήσει από το 2015 και μετά σε μία εντατικοποίηση των προσπαθειών για περεταίρω ανάπτυξη και δίνοντας βάση στην καινοτομία. Πλέον η παραγωγική δυναμικότητα της Alumil φτάνει τους 106.000 τόνους ετησίως και διαθέτει 12 εργοστάσια σε 6 χώρες. [8,68]

2.3.3: Elval - ETEM

Η Elval και η ETEM χαρακτηρίζονται από μία κοινή πορεία, καθώς η ETEM ιδρύεται το 1971 στην περιοχή της Μαγούλας και ο όμιλος ιδρύει την Elval το 1973 με την απορρόφηση του κλάδου αλουμινίου της Viochalco, ενώ το 1974 ξεκινά η λειτουργία του εργοστασίου έλασής της στα Οινόφυτα.

Αναφορικά με την Elval, το 1981 ενσωματώνει στις λειτουργίες της τους κλάδους έλασης και διέλασης της Βιέμ, ενώ το 1993 προχωρά σε εγκατάσταση ελαστηρίου θερμής έλασης 2,5 μέτρων πλάτους στο εργοστάσιο των Οινόφυτων, και εν συνεχεία το 1996 εισάγεται στο Χρηματιστήριο Αξιών Αθηνών. Το 1998 εγκαθίσταται μονάδα συνεχούς χύτευσης, και το 2001 εγκαθίσταται έλαστρο ψυχρής έλασης για την κατασκευή ρολών με πλάτος έως και τα 2,5 μέτρα, ενώ δύο χρόνια αργότερα λειτουργεί μονάδα τήξης-χυτηρίου για την παραγωγή πλακών με μήκος 9 μέτρα. Το 2009 ενισχύεται η σύμπραξη της Elval με τη Furukawa-Sky Aluminum η οποία έχει τεθεί σε ισχύ από το 2007, μέσω της εξαγοράς από την F-SA του 25% του συνολικού μετοχικού κεφαλαίου της θυγατρικής του Ομίλου, Bridgnorth Aluminium, και οδηγείται ο Όμιλος το 2010 στην αύξηση της ετήσιας παραγωγικής δυναμικότητας σε 240.000 τόνους, ξεκινώντας παράλληλα τη διανομή φύλλων αλουμινίου Elval Grain, τα οποία προορίζονται για να χρησιμοποιούνται σε φορτηγά ψυγεία επιδαπέδια σε θαλάμους ψύξης.

Το 2011 το σύστημα διαχείρισης υγείας και ασφάλειας της Elval λαμβάνει την πιστοποίηση με το πρότυπο OHSAS 18001:2007, ενώ ταυτόχρονα τίθεται σε λειτουργία το νέο μηχάνημα κατασκευής επίπεδων ελασμάτων με πλάτος 2,5 μέτρα, και την επόμενη χρονιά, το 2012, ολοκληρώθηκε και η πιστοποίηση του κλάδου αυτοκινητοβιομηχανίας κατά το ISO TS 16949:2009. Εν συνεχεία συνεχίζεται η συνεργασία της Elval με την εταιρία UACL Corporation, η οποία ιδρύθηκε από τη συγχώνευση των Furukawa-Sky Aluminum και Sumitomo Light Metal Industries, ολοκληρώνεται η κατασκευή νέας εγκατάστασης με στόχο τη δυναμική αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας της Elval σε πλάκες αλουμινίου μεγάλου μήκους, και τίθεται σε λειτουργία ο νέος φούρνος τήξης για την εισαγωγή της ανακύκλωσης του scrap αλουμινίου στις λειτουργίες της εγκατάστασης. Το 2015 αποσχίζεται ο τομέας έλασης αλουμινίου της Elval και απορροφάται από τη Συμετάλ, η οποία και μετονομάζεται σε Ελβάλ Ελληνική Βιομηχανία Αλουμινίου Α.Ε.. Το 2017 η Ελβάλ απορροφάται από την εισηγμένη εταιρία στο Χρηματιστήριο Αξιών Αθηνών Χαλκόρ, η οποία με τη σειρά της μεταβάλει την επωνυμία της σε ΕΛΒΑΛΧΑΛΚΟΡ Ελληνική Βιομηχανία Χαλκού και Αλουμινίου Α.Ε. (ElvalHalcor).

Το 2020 πραγματοποιήθηκε η πρώτη έλαση ρολού αλουμινίου στο τετραπλό θερμό έλαστρο TANDEM, και πιστοποιήθηκε η Elval σύμφωνα με το πρότυπο ASI (Aluminium Stewardship Initiative) Performance Standard, ενώ το 2021 ακολουθεί η πιστοποίηση βάσει του προτύπου ASI Chain of Custody. Τέλος, το 2022 ξεκινά η

λειτουργία ενός ψυχρού έλαστρου αλουμινίου. Συνολικά, η μονάδα παραγωγής της Elval είναι πιστοποιημένη βάσει των προτύπων ISO 9001:2015, IATF 16949:2016, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018, ISO 50001:2018, ISO 27001:2013, ASI Performance Standard και ASI Chain of Custody Standard. [17, 18]

Όσον αφορά την ETEM, έπειτα από την ίδρυσή της, εγκαθιστά το 1983 τη μεγαλύτερη ως τότε γραμμή διέλασης στα Βαλκάνια, ωστικής ικανότητας 2.950 US tons, ενώ το 1999 εγκαθιστά γραμμή διέλασης δυναμικότητας 24MN. Το επόμενο έτος εγκαθιστά γραμμή διέλασης 5.500 US tons, η οποία ως τότε ήταν η μεγαλύτερη στη νοτιοανατολική Ευρώπη, και παράλληλα ξεκινά μία συνεργασία με την αυτοκινητοβιομηχανία για εξαρτήματα αλουμινίου. Κατά τα έτη 2004-2005 ιδρύονται νέες θυγατρικές σε Σερβία, Ουκρανία και Ρουμανία, επεκτείνοντας τη δράση του ομίλου, ενώ το 2010 εγκαθίστανται δύο γραμμές διέλασης δυναμικότητας 18MN και 28MN στη Σόφια, όπου και το 2013 εγκαθίσταται νέα γραμμή διέλασης δυναμικότητας 24MN. Το ίδιο έτος λαμβάνει την πιστοποίηση προφίλ αλουμινίου για την αυτοκινητοβιομηχανία και αναλαμβάνει συμβάσεις για την ανάπτυξη έργων σε κορυφαίες ευρωπαϊκές αυτοκινητοβιομηχανίες.

Το 2018 τίθεται ξανά σε λειτουργία η μονάδα παραγωγής στην Αθήνα, ενώ το 2019 η ETEM Βουλγαρίας προχωρά σε κοινοπραξία με τον όμιλο Gestamp για την παραγωγή προϊόντων αυτοκινητοβιομηχανίας. Το 2020 εγκαθίσταται γραμμή διέλασης 20MN στην Αθήνα και δύο αυτόματες CNC γραμμές συρραφής θερμομονωτικών Herman Muller. Τέλος, το 2023 ολοκληρώνεται η συγχώνευση της ETEM A.E. από την COSMOS Aluminium A.E.. Συνολικά η ETEM εξάγει σε 57 χώρες, έχει αναπτύξει εμπορικά δίκτυα σε 9 χώρες, κατέχει 8 κέντρα αποθήκευσης σε 5 χώρες και ετησίως η παραγωγική δυναμικότητά της ανέρχεται στους 18.000 τόνους. Στα προϊόντα της, πέραν του πρωτογενούς αλουμινίου, περιλαμβάνονται πόρτες και παράθυρα, προσόψεις, κιγκλιδώματα, συστήματα σκιάστρων διαχωριστικά τοιχώματα, ενώ βαθμονομεί το ενεργειακό κόστος των υλικών που χρησιμοποιούνται βάσει του προτύπου LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) και διαθέτει τις δηλώσεις προϊόντων EPD's (Environmental Product Declaration). [19-21]

2.3.4: EUROPA

Το 1974 ιδρύθηκε η EUROPA PROFIL ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ Α.Β.Ε. από τους Λυμπαρέτ Τ. και Κρικόρ Τζιρακιάν, με σκοπό την παραγωγή προφίλ αλουμινίου για κατασκευαστική χρήση. Το 1979 διπλασίασε η εταιρία την παραγωγική της δυναμικότητα με την εγκατάσταση μίας νέας γραμμής διέλασης, και παράλληλα εξαγάγει τα προϊόντα της σε 4 ηπείρους. Εν συνεχεία, το 1981, καθετοποιείται η γραμμή παραγωγής με την προσθήκη ανοδίσωσης, και το 1988 πρωτοπορεί η εταιρία με την παραγωγή ολοκληρωμένων συστημάτων αλουμινίου. Το 1998 εξαγοράζει το 40% της Extral ABEE, εταιρίας διέλασης αλουμινίου, και το 2000 εγκαθιστά την τρίτη γραμμή διέλασης. Εντός της δεκαετίας 2000 με 2010 αυξάνεται ο ιδιόκτητος χώρος της εταιρίας, οι αποθηκευτικές δυνατότητές της, σημειώνει πωλήσεις άνω των 10.000 τόνων προφίλ αλουμινίου στην Ευρώπη, επενδύει σε τεχνολογίες μείωσης της κατανάλωσης νερού κατά 98%, προωθεί νέα υβριδικά συστήματα αλουμινίου τα οποία παρουσιάζουν μεγαλύτερο βαθμό θερμομόνωσης και εγκαθιστά ιδιόκτητη μονάδα φωτοβολταϊκών ισχύος 1.5MW. Έως σήμερα, η EUROPA κατέχει εγκαταστάσεις παραγωγής στα Οινόφυτα, με ετήσια παραγωγική δυναμικότητα ίση με 24.000 τόνους αλουμινίου μέσω των τριών αυτοματοποιημένων γραμμών διέλασης, διαθέτοντας πάνω από 1.200 κωδικούς προφίλ και πάνω από 4.000 μήτρες. Επενδύει δυναμικά στην έρευνα και ανάπτυξη συστημάτων αλουμινίου και σε ειδικές θερμικές κατεργασίες. [22, 23]

2.3.5: EXALCO

Η EXALCO ιδρύθηκε το 1973 με έδρα τη Λάρισα, κατά το 1974 έτος εγκαταστάθηκε πρέσα 1.650 τόνων και μηχανές κατασκευής μητρών, με τη δεύτερη πρέσα 2.000 τόνων να εγκαθίσταται το επόμενο έτος. Τη δεκαετία του 1980 εγκαθίστανται το χυτήριο και η μονάδα ανοδίσωσης, και εξαγοράζεται η εταιρία από την ALBIO-BIOΚΑΡΠΙΕΤ Α.Ε.. Το 1992 απονεμήθηκε στην εταιρία το Πιστοποιητικό Συμμόρφωσης Qualanod για τη διεργασία ανοδίσωσης των προϊόντων, και τα επόμενα χρόνια η εταιρία προχώρησε στην εξαγορά της βιομηχανίας ΕΛΜΕΤΑΛ και στην απόκτηση της Πιστοποίησης Ποιότητας κατά ISO 9001 από τον ΕΛΟΤ, καθώς και στην εγκατάσταση μίας ακόμα πρέσας 2.200 τόνων. Το 2000 αντικαταστάθηκαν οι πρέσες 1.650 και 2.000 τόνων από άλλες 1.750 και

2.840 αντιστοίχως. Κατά το 2003 επεκτάθηκαν οι λειτουργίες της εταιρίας με την ίδρυση θυγατρικών σε Βουλγαρία και Ρουμανία, οι οποίες επεκτάθηκαν κατά τα έτη 2006 και 2007, ενώ το 2008 δημιουργήθηκε η σειρά προϊόντων EXALCO Synergy η οποία αποτελείται από συστήματα βάσης για φωτοβολταϊκά πάρκα, δώματα και στέγες. Το 2010 η εταιρία πιστοποιείται με ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 και CE προϊόντων, και κατά τα επόμενα χρόνια επεκτείνεται το δίκτυο υποκαταστημάτων της εταιρίας σε όλη την Ελλάδα.

Η εταιρία επένδυσε μεγάλο κεφάλαιο στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων, αρχικά το 2012 με έργα 600MW και 3MW, και στη συνέχεια το 2016 με το σταθμό της Λάρισας ισχύος 1.5MW. Το 2018 εγκαταστάθηκε νέα πρέσα διέλασης 1.600 τόνων και προστέθηκε η 5^η γραμμή παραγωγής με ετήσια δυναμικότητα παραγωγής στο σύνολο 45.000 τόνων. Η πιο πρόσφατη επέκταση της εταιρίας πραγματοποιήθηκε το 2021 με την εγκατάσταση γραμμής παραγωγής με ετήσια δυναμικότητα 12.000 τόνων, αυξάνοντας τη συνολική ετήσια παραγωγική δυναμικότητα της εταιρίας στους 60.000 τόνους. Η εταιρία εξάγει το 75% της παραγωγής της και έχει παρουσία και στις 5 ηπείρους, ιδίως σε χώρες όπως η Ιταλία, η Ρουμανία, η Νιγηρία, ο Καναδάς, η Σαουδική Αραβία και το Κατάρ. [24-26]

Πίνακας 1 Περιβαλλοντικές/Ενεργειακές πιστοποιήσεις εταιριών-ομίλων παραγωγής αλουμινίου στην Ελλάδα [27-33]

Πιστοποιήσεις	Εταιρία-Όμιλος					
	MYTILINEOS	Alumil	Elval	ETEM	EUROPA	EXALCO
EN ISO 9001:2015-2023	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EN ISO 14001:2015-2023	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DIN ISO 45001:2018-2023	✓		✓	✓	✓	✓
Pressure Equipment Directive 2014/68/EU	✓					
ΕΛΟΤ EN ISO 50001:2011		✓				
ΕΛΟΤ EN ISO 50001:2018	✓		✓			✓
ΕΛΟΤ ISO/IEC 27001:2013	✓					
ISO 22301:2019	✓					
OHSAS 18001:2017	✓					
BH OHSAS 18001:2007		✓				
CE-EN 15088:2005		✓				✓
ΕΛΟΤ EN ISO 50001:2011		✓				
IATF 16949:2016			✓			
AS9100D			✓			

2.4: Τάσεις έρευνας και καινοτομίας

Όσον αφορά την έρευνα σχετικά με την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων εκ μέρους των βιομηχανικών μονάδων οποιασδήποτε παραγωγής, παρατηρείται μία κλίση προς τις λύσεις που περιλαμβάνουν την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πιθανή εξήγηση ως προς αυτή την τάση αποτελεί τόσο η μετατόπιση των εθνικών δικτύων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προς τις ΑΠΕ, γεγονός που διευκολύνει χωρίς κάποια επιπρόσθετη χρέωση τις παραγωγικές μονάδες, όσο και το σύστημα εμπορίας ρύπων. Παράλληλα, πολλές εξ αυτών επιλέγουν να επενδύσουν στις ΑΠΕ, οργανώνοντας αιολικά ή φωτοβολταϊκά πάρκα για την κάλυψη των αναγκών των λειτουργιών τους. Αυτή η απόφαση συμπορεύεται με την μετάβαση του απλού καταναλωτή ενέργειας σε καταναλωτή-παραγωγό (prosumer) τόσο στον οικιακό όσο και στο βιομηχανικό τομέα.

Παράλληλα, άλλο μέσο βελτίωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μίας βιομηχανικής μονάδας αποτελεί η τοποθέτηση ειδικών φίλτρων, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η μείωση των ρύπων που παράγονται κατά την παραγωγική διαδικασία, όπως πχ συστήματα δέσμευσης αέριων ρύπων, συστήματα συλλογής και ανακύκλωσης scrap, συστήματα συλλογής και επεξεργασίας λυμάτων και άλλες παρόμοιες τεχνολογίες. Μέσω αυτών των πρωτοβουλιών, μειώνεται η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από ρυπογόνες ουσίες, ενώ παράλληλα με τη δέσμευση διαφυγών και την ανακύκλωση, μειώνεται η διαφορά ανάμεσα στην αρχική ποσότητα που χρησιμοποιείται στην παραγωγική διαδικασία και στην ποσότητα που όντως επεξεργάζεται.

Ακόμα, πολλές μονάδες επιλέγουν περιβαλλοντικά φιλικότερες πρώτες ύλες, ύλες με μεγάλο ποσοστό ανακυκλωμένης ποσότητας, ή ethically-sourced πρώτες ύλες, οι οποίες συνήθως συνοδεύονται από μεγαλύτερο κόστος αλλά επηρεάζουν θετικά την εικόνα της επιχείρησης στα πλαίσια της επιχειρηματικής δεοντολογίας, και επιτυγχάνουν τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που προκύπτει από τις πρώτες ύλες. Στο ίδιο πλαίσιο, εφαρμόζονται μέτρα μείωσης της κατανάλωσης νερού, ενός πόρου με ολοένα αυξανόμενη σημασία, γεγονός που υποστηρίζεται από την αύξηση των ρυθμιστικών αρχών υδάτων παγκοσμίως, ενώ ταυτόχρονα προστίθενται στις λειτουργίες των μονάδων και προγράμματα συλλογής προϊόντων στο τέλος του κύκλου

ζωής τους, με στόχο την ανακύκλωση τους και την ασφαλή απόρριψη διάφορων επιβλαβών υλικών.

Βάσει σχετικής έρευνας στο αποθετήριο ScienceDirect με την επιλογή ενός δείγματος 12,537 σχετικών δημοσιεύσεων από το 2020 ως σήμερα , παρατηρείται πως σε ποσοστά οι παραπάνω πρωτοβουλίες αποτυπώνονται στην έρευνα ως εξής:

- 2,859 αφορούν τις πρώτες ύλες και την υποκατάστασή τους (22,84%)
- 3,630 αφορούν την παραγωγική διαδικασία και την εισαγωγή νέων τεχνολογιών και μεθόδων για τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που προκαλεί (28,95%)
- 5,543 αφορούν τη διερεύνηση των επιπέδων της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης (πχ στα ύδατα) καθώς και τις μεθόδους διαλογής και ανακύκλωσης των προϊόντων (44,21%)
- 505 αφορούν την εισαγωγή ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα σε διάφορα στάδια της διαδικασίας (4,028%)

Κεφάλαιο 3^ο: Καινοτομία στην Ελληνική Αγορά

Η γραμμή παραγωγής αλουμινίου στην Ελλάδα αποτελεί κύρια βιομηχανική δραστηριότητα της χώρας και παρουσιάζει έντονο εξαγωγικό προφίλ, με παρουσία σε πολλές χώρες και σε πλήθος διαφορετικών εφαρμογών. Ως εκ τούτου, η έρευνα και η προσπάθεια ανάπτυξης νέων προϊόντων, διαδικασιών και ελέγχων αφορούν άμεσα τον κλάδο και τις συμμετέχουσες σε αυτόν εταιρίες, και ειδικά στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής προστασίας λόγω τόσο της εταιρικής ευθύνης, όσο και των ευρωπαϊκών και εθνικών στόχων για τη μείωση των ρύπων.

3.1: MYTILINEOS

Αναφορικά, η εταιρία MYTILINEOS επενδύει σε τέτοιες τεχνολογίες και διαδικασίες, ιδρύοντας τη μονάδα επεξεργασίας ανακυκλωμένου αλουμινίου (ΕΠ.ΑΛ.ΜΕ), η οποία βάσει παραγωγής (35.000 tn) χαρακτηρίζεται ως η μεγαλύτερη μονάδα παραγωγής δευτερόχυτη κολόνας. Παράλληλα, επενδύει στην έρευνα για την αξιοποίηση υπολειμμάτων βωξίτη είτε ως μέσο ανάκτησης μετάλλων είτε ως υλικό σε άλλες βιομηχανικές εφαρμογές όπως η παραγωγή δομικών υλικών, και συμμετέχοντας σε προγράμματα όπως:

- SCALE (+ SCALE UP): Παραγωγή ενώσεων σκανδίου και αλοών σκανδίου-αλουμινίου
- ENSUREAL: Διατομεακή έρευνα σχετικά με την επίτευξη περιβαλλοντικά φιλικότερης και αποδοτικότερης σχετικά με τις πρώτες ύλες
- SIDERWIN: Ανάπτυξη νέων μεθοδολογιών απανθρακοποίησης της παραγωγής σιδήρου μέσω ηλεκτρόλυσης (electrowinning)
- RemonAL: Αφαίρεση των κυρίων ροών ρύπων από την παραγωγή αλουμινίου και άλλων μετάλλων στην Ευρώπη
- BIORECOVER: Ανάπτυξη μεθόδων βιο-ανάκτησης κρίσιμων υλικών από πρωτογενείς και δευτερογενείς πηγές
- RIS-RESTORE: Αξιολόγηση υπολειμμάτων κόκκινης λάσπης στην περιοχή Ανατολικής και Νοτιο-ανατολικής Ευρώπης

- INCO-Piles: Διεθνής κοινοπραξία για την ανάκτηση κρίσιμων ακατέργαστων υλικών
- ReActiv: Δημιουργία βιώσιμης συμβιωτικής αλυσίδας αξίας, συνδέοντας τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας παραγωγής αλουμινίου με τη βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου
- REEScue: Ενοποιημένη διαδικασία για την ανάκτηση σπάνιων γαιών από υπολείμματα βωξίτη
- SMART-G: Έξυπνα γαιοπολυμερή (Smart Geopolymers) → ανάπτυξη, παραγωγή, ανάδειξη χρησιμότητας στον οικοδομικό τομέα
- MudFire: Χρήση κόκκινης λάσπης για την ανάπτυξη πυρίμαχων οικοδομικών υλικών
- HARARE: Χρήση υδρογόνου ως αναγωγικό μέσο για την ανάκτηση μετάλλων και ορυκτών από τα απόβλητα μεταλλουργικής

Ταυτόχρονα, συμμετέχει στην ανάπτυξη νέων υλικών όπως η υπερκάθαρη αλουμίνα, μέσω προγραμμάτων, συμπράξεων και οργανισμών όπως τα:

- SisAI Pilot
- AISiCal
- ENSUREAL
- SisAL Slag
- Valore

Όσον αφορά τη βιώσιμη παραγωγή αλουμινίου για την επίτευξη του στόχου για μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα ως το 2050, η εταιρία επενδύει και συμμετέχει σε ερευνητικά προγράμματα, όπως:

- DeReAL
- NanoRefraMat
- RemovAL
- SPLcycle
- Enopal

Τέλος, αναφορικά με το ενεργειακό μείγμα της γραμμής παραγωγής αλουμινίου, αξιοποιούνται Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και τεχνολογίες ανάκτησης ενέργειας από τις διεργασίες της παραγωγής, καθώς και συμμετέχει η εταιρία σε ερευνητικά προγράμματα που αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση αυτών, συγκεκριμένα στα:

- RE4Industry: βελτιστοποίηση της μετάβασης στην εισαγωγή των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της γραμμής παραγωγής στις ενεργοβόρες βιομηχανίες της Ευρώπης
- CO2OLHEAT: Αξιοποίηση της θερμότητας που διαφεύγει από τις βιομηχανικές διεργασίες

[34-37]

3.2: Alumil

Αναφορικά με την Alumil, έχοντας εντάξει τη στοχοθεσία της ΕΕ για την επίτευξη μηδενικών εκπομπών έως το 2050 στο πρόγραμμά της, έχει αναπτύξει τη δικιά της Περιβαλλοντική Πολιτική, εντάσσοντας την περιβαλλοντική βελτίωση και το σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης στις αρχές που εφαρμόζει. Παράλληλα, η Alumil είναι η πρώτη ελληνική εταιρία παραγωγής αλουμινίου που κατέχει Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντων (EPD), για ολοκληρωμένα αρχιτεκτονικά συστήματα, περιλαμβανομένων των ανοιγόμενων/ συρόμενων συστημάτων, των υαλοπετασμάτων και των συστημάτων περίφραξης εντός άλλων.

Το Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (ΣΠΔ) που εφαρμόζεται από την εταιρεία σχεδιάστηκε σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14001 και πιστοποιείται από διεθνώς αναγνωρισμένους οργανισμούς. Αυτό εξασφαλίζει τη συμβατότητα των δραστηριοτήτων της εταιρείας με το περιβάλλον. Έχοντας εφαρμόσει το ΣΠΔ από το 2002 σε σημαντικούς κλάδους παραγωγής, όπως η διέλαση αλουμινίου και η επεξεργασία ξύλου, προβλέπει τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και θέτει στόχους βελτίωσης. Η

διαδικασία ελέγχεται και προσαρμόζεται στις αλλαγές του εργοστασίου, με καταγραφή των ευθυνών και αρμοδιοτήτων του προσωπικού που την εφαρμόζει.

Πίνακας 2 Χρήση Υλικών Διέλασης

ΥΛΙΚΟ	2021	2022	M.M.
Λιπαντικά (μη-ανακυκλώσιμα)	3.278	6.555	Kg
Λιπαντικά (ανακυκλώσιμα)	47.216	64.752	L
Α΄ Ύλη Αλουμινίου	34.336.356	31.244.356	Kg

Η εταιρία παράλληλα σημειώνει μεγάλες ποσότητες ανακυκλωμένου σκραπ αλουμινίου, με την ποσότητα να είναι του ύψους των 4.953.756 Kg το 2021 και των 5.008.644 Kg το 2022.

Πίνακας 3 Υλικό Εισροής 2021-2022

Υλικό	Εισερχόμενη ύλη (Kg)		(%)	
	2021	2022	2021	2022
Πρωτόχυτο αλουμίνιο	8.340.514	5.687.350	24,2%	18,2%
Ανακυκλωμένο αλουμίνιο	25.995.867	25.557.006	75,7%	81,8%
Άθροισμα εισροών	34.336.381	31.244.356	Μείωση	9%

Σχετικά με το ενεργειακό μείγμα της Alumil, έχουν τοποθετηθεί φωτοβολταϊκά στο κεντρικό κτήριο γραφείων της εταιρίας, με σχέδια για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλησίον της μονάδας παραγωγής στο Κιλκίς. Ταυτόχρονα, σημειώνει μείωση της κατανάλωσης υδάτινων πόρων, με την κατανάλωση του 2021 να είναι του επιπέδου των 257.157 m₃ και να μειώνεται το 2022 στα 221.048 m₃.

Οι διαδικασίες παραγωγής των προϊόντων της εταιρίας είναι συνδεδεμένες με την προσπάθεια μείωσης της παραγωγής αποβλήτων, είτε πρόκειται για στερεά, υγρά ή αέρια. Η Alumil εκδηλώνει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αποφυγή της απελευθέρωσης

επιβλαβών ουσιών προκειμένου να αποφευχθεί η μόλυνση του περιβάλλοντος (έδαφος, υδάτινοι πόροι, αέρας). Η εταιρεία εξασφαλίζει ότι η διάθεση των αποβλήτων γίνεται με ασφαλή τρόπο, τηρώντας τις δεσμεύσεις που αφορούν τις διαδικασίες του προτύπου ISO 14001:2015. Επιπρόσθετα, εφαρμόζουν Περιβαλλοντικά Προγράμματα και πραγματοποιούν συνεχείς μετρήσεις, ενώ επενδύουν στην ανακύκλωση υλικών όπου είναι εφικτό. Όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων, τηρούν όλες τις νομικές διατάξεις και υποβάλλουν ετήσιες δηλώσεις στο Υπουργείο. Τέλος, διενεργούν τακτικούς ελέγχους και εφαρμόζουν τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές για τη μείωση των εκπομπών.

Τέλος, η εταιρεία επεκτείνει τις επενδυτικές της δραστηριότητες κλείνοντας το θέμα με τους *servicers* και εστιάζει στην ανάπτυξη της παρουσίας της σε Ινδία και Μέση Ανατολή, ενώ επιδιώκει τη βελτίωση του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος. Με πρόεδρο και CEO τον Γ. Μυλωνά, σχεδιάζει επίσης νέες επενδύσεις ύψους 54 εκατομμυρίων ευρώ τα επόμενα χρόνια, εστιάζοντας στη βιώσιμη ανάπτυξη και την καινοτομία. Η εταιρεία έχει επίσης υιοθετήσει πρωτοβουλίες για τη βιώσιμη ανάπτυξη, όπως την ανακύκλωση αλουμινίου και την ενσωμάτωση αρχών κυκλικής οικονομίας στην παραγωγική διαδικασία της. [38, 39]

3.3: ELVAL

Η Elval θεωρεί την Εταιρική Υπευθυνότητα κεντρική προϋπόθεση για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη και παράγοντα σταθερότητας και επιτυχίας. Μέσω πρακτικών που αντανακλούν αξίες όπως η οικονομική ευημερία, η προστασία του περιβάλλοντος και η κοινωνική συνοχή, η εταιρεία δεσμεύεται να λειτουργεί με υπευθυνότητα. Μέσω πρωτοβουλιών που καλύπτουν διάφορους τομείς, όπως η έρευνα και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και η ενίσχυση της τοπικής κοινότητας, η Elval διασφαλίζει τη δημιουργία αξίας και τη συνεισφορά της στο κοινωνικό σύνολο. Μέσα από πιστοποιημένα συστήματα διαχείρισης περιβαλλοντικών ζητημάτων, η εταιρεία ενισχύει τις προσπάθειές της για βιώσιμη ανάπτυξη. Με πρωτοβουλίες όπως το Κέντρο Ανακύκλωσης Κουτιών Αλουμινίου (KANAL), προσφέρει υποστήριξη στην ανάπτυξη της ανακύκλωσης και συμβάλλει στην ευημερία της κοινωνίας. Μέσω αυτών των πρακτικών, η Elval επιδιώκει

να προσφέρει αξία και να ενισχύσει τη θέση της ως υπεύθυνος επιχείρηση προς τους μετόχους, τους πελάτες, τους συνεργάτες και την κοινωνία.

Η αξιολογη επένδυση της Elval σε νέους φούρνους τήξης και απολακοποίησης αλουμινίου, χρησιμοποιώντας καινοτόμα τεχνολογία, έχει άρρηκτη και άμεση σχέση με το πρόγραμμα ανακύκλωσης που λειτουργεί η εταιρία. Αυτοί οι φούρνοι προσφέρουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, ελαχιστοποιούν τις ατμοσφαιρικές εκπομπές, επιτρέπουν την ανακύκλωση ευρέως φάσματος ποιοτήτων αλουμινίου, διατηρούν τους φυσικούς πόρους και μειώνουν το ενεργειακό αποτύπωμα της δευτερογενούς παραγωγής αλουμινίου. Επιπλέον, εξασφαλίζουν καλύτερο έλεγχο των διαδικασιών, βελτίωση του επιπέδου της ποιότητας των προϊόντων, βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας και μείωση του χρόνου αδράνειας στην παραγωγή. Συνολικά, αυτοί οι φούρνοι αντιπροσωπεύουν μια βελτιστοποιημένη εφαρμογή επαληθευμένων τεχνολογιών και ένα εξαιρετο τρέχον υπόδειγμα βιώσιμης ανάπτυξης στη βιομηχανική παραγωγή, συμβάλλοντας στην περιβαλλοντικά φιλική ανακύκλωση αλουμινίου με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και εκπομπών, αντιμετωπίζοντας έτσι τα προβλήματα της κλιματικής αλλαγής.

Η εταιρία διεξάγει εκτεταμένη έρευνα και ανάπτυξη για τη δημιουργία κραμάτων που να ανταποκρίνονται στις ανάγκες και τις τεχνικές προδιαγραφές των πελατών, εστιάζοντας κυρίως στην ανθεκτικότητα ενάντια στη διάβρωση, στις μηχανικές ιδιότητες και στις ιδιότητες επιφανειών. Τελικώς, το αποτέλεσμα είναι βέλτιστα κράματα που συνδυάζουν κόστος και αποτελεσματικότητα. Το Μεταλλουργικό Κέντρο της εταιρίας, ένα προηγμένο ερευνητικό εργαστήριο μεταλλουργίας, κατέχει καίριο ρόλο όσον αφορά στο σχεδιασμό κραμάτων. Το κέντρο επικεντρώνεται σε πρώτο επίπεδο στην ανάπτυξη νέων προϊόντων και διεργασιών, στην παρακολούθηση διαδικασιών και προϊόντων, στην αξιολόγηση της ποιότητας της γραμμής παραγωγής και των προϊόντων, στον έλεγχο των Α' υλών, στην αντιμετώπιση κωλυμάτων στην παραγωγή, καθώς και στην εξυπηρέτηση πελατών και στην τεχνική υποστήριξη στη μεταλλουργία. Μία από τις καινοτομίες που έχουν προκύψει από το Μεταλλουργικό Κέντρο της Elval αποτελεί το κράμα Green Alloy, το οποίο παράγεται πλήρως από αποκλειστικά εσωτερικά υπολείμματα αλουμινίου από τα διαφορετικά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Τα υπολείμματα αυτά αρχικά συλλέγονται και οδηγούνται σε επανεπεξεργασία για την παραγωγή φιλικών προς το περιβάλλον, 'πράσινων,' ρόλων αλουμινίου. Οι τεχνολογίες και δυνατότητες του κέντρου περιλαμβάνουν τη στερεοσκοπία για προκαταρκτική ανάλυση, το οπτικό και

ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για μελέτη της εσωτερικής δομής και της επιφάνειας, τη χαρακτηρισμό ιδιοτήτων, το εργαστήριο αναλυτικής χημείας για ανάλυση και συνταγοποίηση υλικών, καθώς και δοκιμές ανοπήσεων για τη βελτίωση της πλαστικότητας του υλικού.

Στο πλαίσιο του διεθνούς συνεδρίου RawMat 2023, η ElvalHalcor παρουσίασε τον καίριο ρόλο που κατέχει ο τομέας του αλουμινίου και του χαλκού στην κυκλική οικονομία και την ενεργειακή μετάβαση, καθώς και τη στρατηγική βιώσιμης ανάπτυξης της. Η εταιρεία υπογράμμισε τη δέσμευσή της τόσο όσον αφορά τις υπεύθυνες μεθόδους παραγωγής όσο και την ανάπτυξη βιώσιμων προϊόντων, με εστίαση στην ενεργειακή απόδοση, τις φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες και την αύξηση του ποσοστού ανακυκλωμένου υλικού στα προϊόντα της. Επίσης, αναγνώρισε τη σημασία της εφοδιαστικής αλυσίδας και δίνει βάρος στη διαχείριση και αξιολόγηση των προμηθευτών της. Το αλουμίνιο και ο χαλκός θεωρούνται κρίσιμα υλικά για την πρόοδο προς ένα κλιματικά ουδέτερο μέλλον, λόγω της ικανότητάς τους να ανακυκλώνονται επ' άπειρον χωρίς απώλεια των ιδιοτήτων τους. [40-42]

3.4: EUROPA

Η EUROPA δίνει μεγάλη σημασία στην προστασία του περιβάλλοντος και των ανθρώπων. Η προσπάθεια για μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος είναι συνεχής και αναπτύσσεται σε όλες τις δραστηριότητές της. Στο πλαίσιο του σχεδίου Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης (EKE), η εταιρία ενσωμάτωσε δράσεις που αφορούν το περιβάλλον, έχοντας εγκαταστήσει ήδη φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος 1 MW στις στέγες των κτηρίων της.

Η EUROPA χρησιμοποιεί τις καλύτερες τεχνικές για την προστασία του περιβάλλοντος και των εργαζομένων, και επενδύει σε έρευνα και ανάπτυξη για τη βελτίωση των παραγωγικών διαδικασιών. Επιπλέον, διαχειρίζεται αποτελεσματικά τους υδάτινους πόρους, ενώ έχει αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης υγρών αποβλήτων για μηδενική απόρριψη. Επιπλέον, επενδύει σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και έχει αντικαταστήσει τους λαμπτήρες με LED, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας.

Η εταιρία επιλέγει αυτοκίνητα χαμηλών ρύπων και ανανεώνει το στόλο των φορτηγών της με νέας τεχνολογίας οχήματα, προσανατολίζοντας προς τη μείωση των αερίων ρύπων. Με αυτές τις πρωτοβουλίες, η EUROPA καταδεικνύει τη δέσμευσή της για την προστασία του περιβάλλοντος και την αειφορία. [43]

3.5: EXALCO

Η εταιρεία Exalco έχει πιστοποιηθεί για τη Διαχείριση του Περιβάλλοντος σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο ISO 14001:2015 και για τη Διαχείριση της Ενέργειας σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο ISO 50001:2018. Συμβάλλουν καθημερινά στην εξοικονόμηση ενέργειας, τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα και τη μείωση του κόστους κατανάλωσης, προωθώντας τη βιώσιμη χρήση της ενέργειας, ενώ παράλληλα έχει εκδώσει και τις περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων EPD (Exalco ANODISED Aluminium, Exalco EXTRUDED Aluminium, Exalco POWDER COATED Aluminium).

Όσον αφορά στην ανακύκλωση, η Exalco ανακυκλώνει το 100% των σκραπ υλικών που προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία και διαχειρίζεται τα απόβλητα υλικά όπως χαρτί, πλαστικό, ξύλο και άλλα στερεά απόβλητα μέσω αδειοδοτημένων εξωτερικών συνεργατών, συμβάλλοντας έτσι στη βελτίωση της ποιότητας ζωής και τη διατήρηση ενός καθαρού περιβάλλοντος.

Έχουν εγκαταστήσει φωτοβολταϊκά συστήματα σε βιομηχανικές στέγες και ιδιόκτητα φωτοβολταϊκά πάρκα για την παραγωγή "πράσινης" ενέργειας, με στόχο το 100% της ενέργειάς τους να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές μέσα στα επόμενα τρία χρόνια (έως το 2024). Η εταιρεία παρακολουθεί την κατανάλωση ενέργειας και ταχύτητες επίδοσης με τη χρήση λογισμικών ERP και Data Analytics, επιτυγχάνοντας σημαντική εξοικονόμηση σε ηλεκτρική ενέργεια και φυσικό αέριο την τελευταία δεκαετία. Επιπλέον, εστιάζουν στην εξοικονόμηση νερού, με τη χρήση τεχνικών έργων όπως η μετατροπή υδρόψυκτων συστημάτων σε αερόψυκτα, και έχουν επιτύχει μείωση κατά 30% στη χρήση νερού την τελευταία δεκαετία.

Τέλος, η Echalco συμμορφώνεται με την τοπική και διεθνή νομοθεσία και συνεργάζεται μόνο με αδειοδοτημένους φορείς ανακύκλωσης, ενώ δημοσιεύει ετήσια Έκθεση Παρακολούθησης Εκπομπών και Ποιότητας Περιβάλλοντος, επιδεικνύοντας τη δέσμευσή της στη βιωσιμότητα και την περιβαλλοντική ευθύνη. [44, 45]

Κεφάλαιο 4^ο: Νέες τεχνολογίες στη γραμμή παραγωγής του αλουμινίου

Στα πλαίσια της στρατηγικής που εφαρμόζεται από πλήθος χωρών για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και λοιπών ρύπων, η μετατόπιση της βιομηχανικής παραγωγής σε περιβαλλοντικά φιλικότερες πρακτικές αποτελεί απαραίτητο βήμα για την επίτευξη στόχων όπως το Fit for 55. Εντός των απαραίτητων μεταρρυθμίσεων και πρωτοβουλιών που λαμβάνουν -και θα συνεχίσουν να λαμβάνουν- οι βιομηχανίες, εντοπίζονται νέες μέθοδοι προγραμματισμού της γραμμής παραγωγής, αλλαγή σε φιλικότερες πρώτες ύλες, αποδέσμευση από την παραγόμενη από ορυκτά ηλεκτρική ενέργεια, και πλήθος άλλων.

4.1: Στρατηγικές απανθρακοποίησης

Στις περισσότερες εγκαταστάσεις παραγωγής προϊόντων αλουμινίου, η κύρια πηγή ενέργειας είναι τα ορυκτά καύσιμα. Ως εκ τούτου, η μείωση των εκπομπών CO₂ από την παραγωγική διαδικασία μπορεί να προκύψει είτε από την αλλαγή των ποσοστών του μείγματος ενέργειας των μονάδων, όπως με την ένταξη on-site εγκαταστάσεων ΑΠΕ ή αυξάνοντας το ποσοστό της ηλεκτροδότησής τους από τον πάροχο με παραγόμενη από ΑΠΕ ηλεκτρική ενέργεια, είτε εισάγοντας νέες τεχνολογίες και μεθοδολογίες οι οποίες θα αυξήσουν την αναλογία μετατροπής ενέργειας, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο το ρυθμό κατανάλωσης ενέργειας, είτε αντικαθιστώντας Την άνοδο από άνθρακα με αδρανές υλικό, είτε με την εισαγωγή τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα, όπως η χρήση αμμωνίας για τη δέσμευση άνθρακα από τη διεργασία της τήξης (smelting).

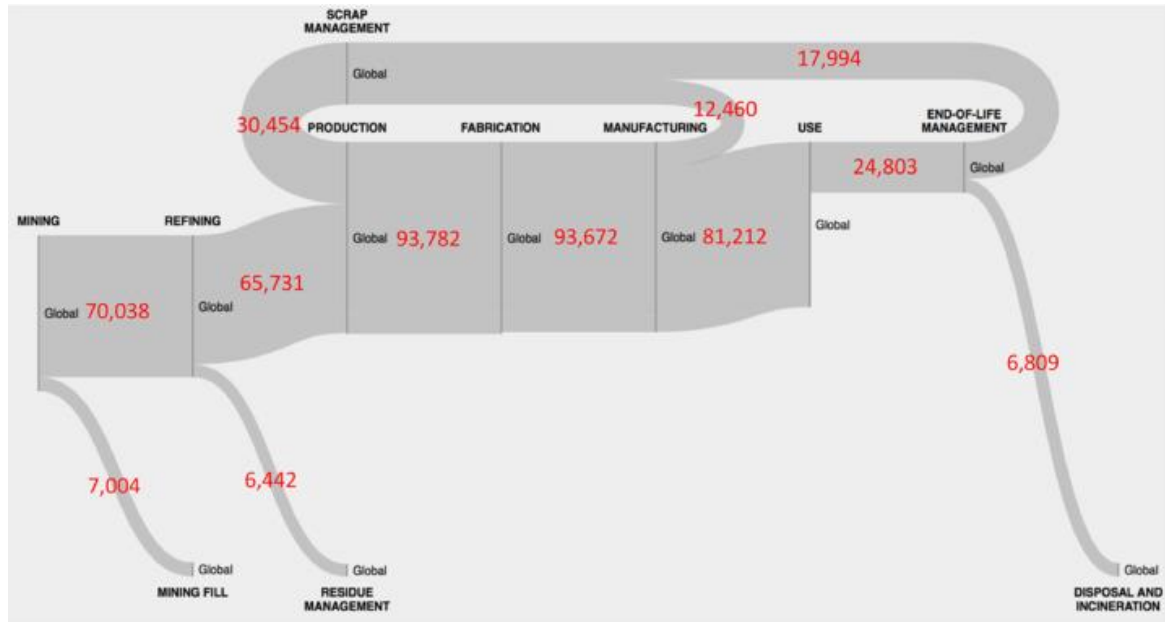
Έχοντας ως αφετηρία στην εύρεση μεθόδων βελτιστοποίησης του ανθρακικού αποτυπώματος τρία «μονοπάτια» παραγωγής αλουμινίου, την κύρια, την ανακύκλωση και την επαναχύτευση, η πιο μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση και παραγωγή CO₂ από την παραγωγική διαδικασία παρουσιάζεται όταν αναφερόμαστε στην κύρια παραγωγή, με την ανακύκλωση και την επαναχύτευση να έχουν σαφέστατα χαμηλότερες καταναλώσεις και αντίστοιχες εκπομπές, ενώ παράλληλα παρουσιάζουν και χαμηλότερο αναγκαίο κεφάλαιο και λειτουργικό κόστος. Λαμβάνοντας ως στόχο την πλήρη πρόσληψη ενέργειας από ΑΠΕ για τις ανάγκες της παραγωγικής διαδικασίας, είναι

λογικό να αναμένεται μία αύξηση της ζήτησης της εν λόγω ενέργειας, η οποία θα καλυφθεί από νέες σχετικές εγκαταστάσεις, οι οποίες -ειδικά όταν αναφερόμαστε σε φωτοβολταϊκά πάρκα- εμπεριέχουν ποσότητες αλουμινίου για την κατασκευή τους, γεγονός που αναδεικνύει τη συμβολή της παραγωγής του αλουμινίου ως καίριο ζήτημα στην απανθρακοποίηση και στη μετάβαση σε «πράσινες» πηγές ενέργειας. Ως εκ τούτου, οι όποιες προβλέψεις για τις ανάγκες σε ενέργεια στην παραγωγή του αλουμινίου πρέπει να εγκολπίζονται και τις ανάγκες των εγκαταστάσεων που θα καλύψουν την εν λόγω ζήτηση της γραμμής παραγωγής. [59]

4.2: Το αλουμίνιο στον κατασκευαστικό τομέα

Η χρήση του αλουμινίου ως αντικαταστάτης των στοιχείων από χάλυβα, ιδιαίτερα στους τομείς της αεροπορίας και της αυτοκινητοβιομηχανίας, αναφέρεται ότι οδηγεί στην αποφυγή 13 έως 20 κιλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά κιλό αλουμινίου που αντικαθιστά ήπιο χάλυβα, υψηλής αντοχής χάλυβα ή χυτοσίδηρο, ενώ παράλληλα κατέχει σημαντική αξία και υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης. Η Ένωση Αλουμινίου αναφέρει ένα εντυπωσιακό ποσοστό ανακύκλωσης 90% για το αλουμίνιο που χρησιμοποιείται σε κτιριακά και αυτοκινητικά εξαρτήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Ωστόσο, η βιομηχανία του αλουμινίου, χαρακτηρισμένη από την υψηλή ενεργειακή της κατανάλωση και την εκτεταμένη χρήση υψηλών θερμοκρασιών, συνεισφέρει σημαντικά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, παράγοντας περίπου 0.45-0.5 δισεκατομμύρια τόνους εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ετησίως. Αυτή η βιομηχανία αποτελεί το 1% των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και το 2.5% των εκπομπών CO₂. Η χρήση τεχνολογιών ανάκτησης θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση αυτών των εκπομπών και επίσης για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας. Η οποιαδήποτε μείωση στην κατανάλωση καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρει μια πιο υγιή εικόνα της εταιρικής και κοινωνικής ευθύνης, μια μειωμένη αποτύπωση CO₂, βιωσιμότητα, καθώς και σημαντικές επιπτώσεις στην κερδοφορία. Για αυτούς τους λόγους, η εξερεύνηση της ανάκτησης θερμότητας απόβλητων (WHR) για την επαναχρησιμοποίησή της στη

διαδικασία έχει επικεντρωθεί έντονα από εταιρείες όλων των βιομηχανιών ως μια πορεία στην οποία να επενδύσουν.



Σχήμα 3 Στάδια παραγωγικής διαδικασίας αλουμινίου βάσει στοιχείων 2019

Κατά τη χρήση εξοπλισμού θέρμανσης τροφοδοτούμενο από ορυκτά καύσιμα, οι ενεργειακές απώλειες είναι αναπόφευκτες, με κύρια μορφή την απώλεια θερμότητας. Οι ηλεκτρολυτικές κυψέλες, είτε πρόκειται για κυψέλες τύπου Söderberg είτε Prebake, υφίστανται διαφορετικά επίπεδα απωλειών ενέργειας. Οι κυψέλες Söderberg διαθέτουν συνεχείς ανόδους, ενώ οι κυψέλες Prebake χρησιμοποιούν προκατασκευασμένους και ανόδους άνθρακα υψηλής θερμοκρασίας. Έως και 1% της εισερχόμενης στο σύστημα ενέργειας χάνεται μέσω των αερίων από τις κυψέλες μείωσης, με τις απώλειες στους πλευρικούς τοίχους να αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό, έως και 45% της αρχικής ενέργειας. Τα ηλεκτρόδια διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ηλεκτρολυτική μείωση, με τους πρώτους να αντιδρούν με το απελευθερούμενο οξυγόνο κυρίως για το σχηματισμό διοξειδίου του άνθρακα.

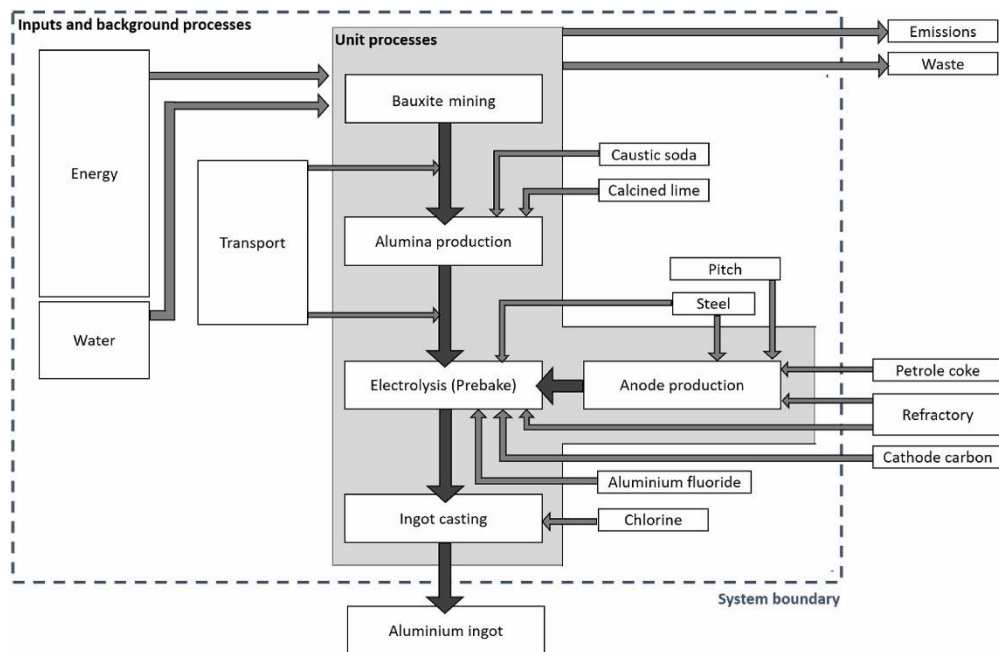
Η τεχνολογία δέσμευσης άνθρακα στοχεύει στην εκλεκτική αφαίρεση του CO₂ από τις διεργασίες για την αποφυγή εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Η τεχνολογία αυτή θα είναι ιδιαίτερος σημαντικό να αναπτυχθεί αν αποδειχθεί οικονομικά εφικτή και ειδικά αν η τεχνολογία των ανόδων από αδρανή υλικά αποβεί ανεπιτυχής. Η αποτροπή της

παραγωγής CO₂ αρχικά θα καταστήσει αυτήν την τεχνολογία περιττή στην εφαρμογή της στις κυψέλες ηλεκτρόλυσης, αλλά η παραγωγή ηλεκτρισμού παραμένει ακόμα η μεγαλύτερη προσφορά στον αποτύπωμα CO₂, μέχρι και 13.60 κιλά CO₂ εκπομπών ανά τόνο αλουμινίου που παράγεται εάν χρησιμοποιηθεί ενέργεια από ορυκτά καύσιμα. Με την τεχνολογία δέσμευσης άνθρακα, έως και 95% του αερίου CO₂ αρχικά απορροφάται από ένα διαλύτη και στη συνέχεια απελευθερώνεται, ενώ το CO₂ που απελευθερώνεται αποθηκεύεται και μπορεί να είναι έως και 98% καθαρό. Οι τυπικές συγκεντρώσεις CO₂ στα αέρια εξαγωγής από τις κύριες διεργασίες κυμαίνονται γύρω στο 1 έως 1,5% κατ'όγκο (v/v). Έχει δειχθεί από δύο μελέτες ότι μια συγκέντρωση 4% κατά όγκο του CO₂ επιτρέπει το υψηλότερο ποσοστό απορρόφησης και την πιο οικονομικά συμφέρουσα λειτουργία. Αυτό θα σήμαινε ότι η σχεδίαση των κυψελών ηλεκτρόλυσης θα χρειαζόταν τροποποίηση χωρίς να αλλάζουν οι συνθήκες εργασίας. Οι δύο πιο εμφανείς τύποι εγκαταστάσεων αποβολής άνθρακα που είναι διαθέσιμοι χρησιμοποιούν είτε το διαλύτη Μονοαιθανολαμίνη (MEA) είτε το NH₃. Η πιο οικονομική προσέγγιση εξαρτάται από τη συγκέντρωση του CO₂. Οι εγκαταστάσεις βάσει της MEA είναι πιο αποδοτικές σε συγκεντρώσεις CO₂ του 3-4%, ενώ οι εγκαταστάσεις βάσει του NH₃ σε συγκεντρώσεις 7 έως 10%. Έχει αναγνωριστεί ότι για να είναι εμπορικά αποτελεσματικά, οι συστήματα ανάκτησης θερμότητας πρέπει να ενσωματωθούν σε αυτά τα συστήματα αποβολής CO₂. [69, 73, 74, 76, 78]

4.3: Παράλληλη χρήση LCA-LCC

Η Θεώρηση Κύκλου Ζωής (LCT) είναι μια σταθερή προσέγγιση για να αξιολογηθούν με ολιστικό τρόπο συστήματα παραγωγής προϊόντων. Για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων, η αξιολόγηση κύκλου ζωής (LCA) που προτυποποιήθηκε από το ISO 14040/44:2006 είναι ευρέως εφαρμοσμένη. Όπως ορίζεται στην έκθεση Brundtland (1987), μια ολοκληρωμένη βιώσιμη προσέγγιση υιοθετεί τους τρεις εξής πυλώνες: της οικονομίας, του περιβάλλοντος και των κοινωνικών πτυχών. Με στόχο να ληφθούν υπόψη όλων των διαστάσεων της βιωσιμότητας, έχει αναπτυχθεί η αξιολόγηση της βιωσιμότητας κύκλου ζωής (LCSA) ως ένα πλαίσιο το οποίο ενσωματώνει διάφορα μοντέλα που σχετίζονται με τους προαναφερόμενους πυλώνες. Η LCSA υλοποιεί σύγχρονη LCA, κόστος κύκλου ζωής (LCC) και κοινωνική αξιολόγηση

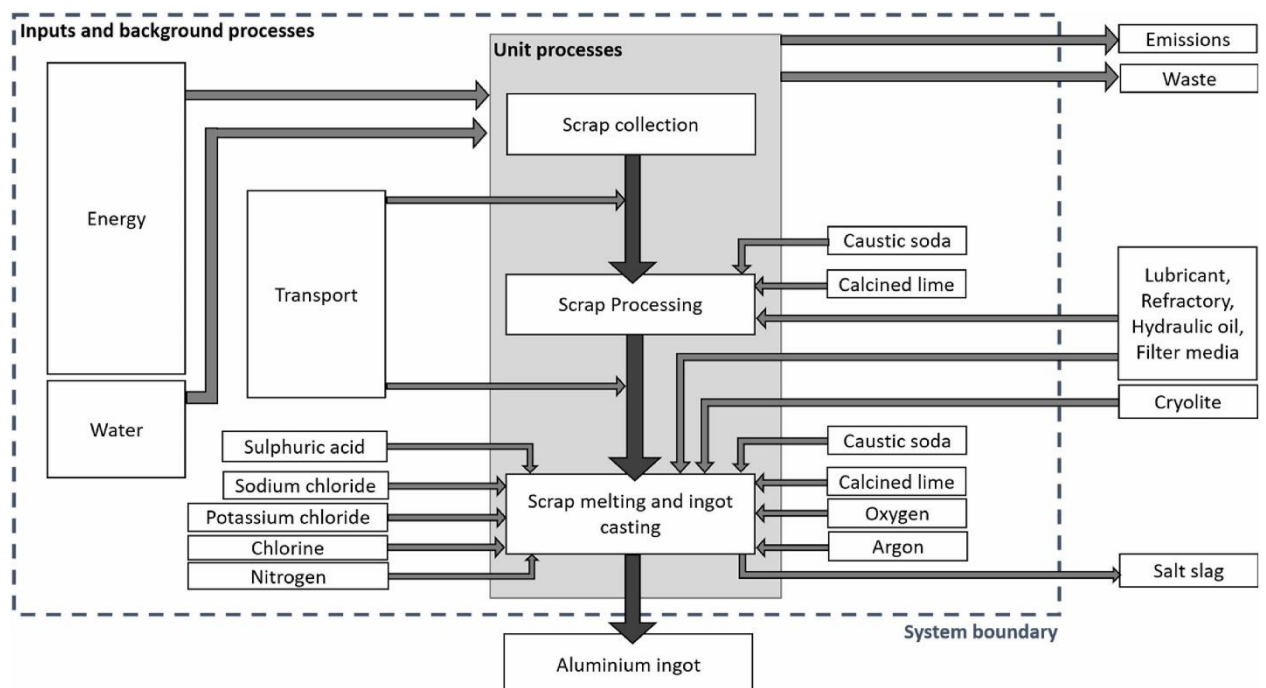
κύκλου ζωής (S-LCA) στην ίδια λειτουργική μονάδα και με κοινό πλαίσιο. Το LCC είναι μια μεθοδολογία που περιλαμβάνει και αξιολογεί όλες τις δαπάνες που σχετίζονται με ένα προϊόν που προκύπτουν σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής από το αρχές μέχρι το τέλος. Το S-LCA είναι η πιο πρόσφατη από τις υπάρχουσες μεθοδολογίες κύκλου ζωής και αντιμετωπίζει την κοινωνική διάσταση της βιωσιμότητας. Για την επίτευξη του δηλωθέντος στόχου, ορίζεται μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση LCA/LCC βασισμένη στο ISO 14040/44:2006 για τη λειτουργική μονάδα (FU) του 1 τόνου αλουμινίου παρουσιάζοντας την ανάγκη για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής και οικονομικής απόδοσης παράλληλα για την εξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων σχετικά με την απόδοση της βιωσιμότητας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μια βελτίωση στην περιβαλλοντική αποδοτικότητα δεν αναγκαστικά οδήγησε σε ανταλλαγές σε όρους κόστους, υποδεικνύοντας την ανάγκη για αξιολόγηση της περιβαλλοντικής και οικονομικής απόδοσης παράλληλα για την εξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων σχετικά με τη βιωσιμότητα.



Σχήμα 4 Όρια πρωτογενούς παραγωγής αλουμινίου

Ο στόχος της μελέτης ήταν να δείξει πώς η ολοκληρωμένη ενσωμάτωση LCA/LCC μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον κλάδο του αλουμινίου και γενικά στη βιομηχανία για τον εντοπισμό περιβαλλοντικο-οικονομικών ανταλλαγών και την αποτελεσματική επικοινωνία των αποτελεσμάτων για τη βιώσιμη λήψη αποφάσεων. Η

εφαρμογή του πλαισίου LCA/LCC στη μελέτη παρουσίασε όχι μόνο ότι η παραγωγή πρωτογενούς αλουμινίου, ανάλογα με την τοποθεσία, έχει υψηλό αντίκτυπο στο περιβάλλον, αλλά και ότι η περιβαλλοντική απόδοση μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με μια μικρή αύξηση ή ακόμα και μείωση του κόστους παραγωγής. Η ηλεκτρόλυση συνέβαλε περίπου 80% στο GWP. Μόνο στα σενάρια με πράσινη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, η ηλεκτρόλυση συνέβαλε σημαντικά λιγότερο (περίπου 40%) και η παραγωγή αλουμινίου συνέβαλε περισσότερο. Η εξόρυξη βωξίτη και το χύτευμα καθένα συνέβαλαν μόνο ελάχιστα στο δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης GWP (global warming potential). Για το δυναμικό όξυνσης AP (Acidification potential), η ηλεκτρόλυση παρουσίαζε την υψηλότερη συνεισφορά, παράγοντας 56-80% του συνολικού AP. Με την προμήθεια αποκλειστικά από εγχώρια αλουμίνα, η παραγωγή αλουμινίου δημιούργησε μόνο το 3% του συνολικού AP. Η χαμηλότερη συνεισφορά προκαλείται από το χυτήριο (έως 1%). Όσον αφορά το ποσοστό συνεισφοράς, οι συνεισφορές των διαφορετικών βημάτων παραγωγής στον συνολικό δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικών οξειδίων POCP (photochemical oxidant creation potential) ήταν σχεδόν ίσες με αυτές προς το AP. Όσον αφορά τη δευτερογενή παραγωγή, το σενάριο επεξεργασίας μόνο της εγχώριας συλλογής ανακυκλώσιμων υλικών είχε τη χαμηλότερη τιμή για όλα τα δείκτες. Η τήξη των ανακυκλώσιμων υλικών και το χυτήριο συνέβαλαν σημαντικά περισσότερο σε όλους τους περιβαλλοντικούς δείκτες (50-96%).

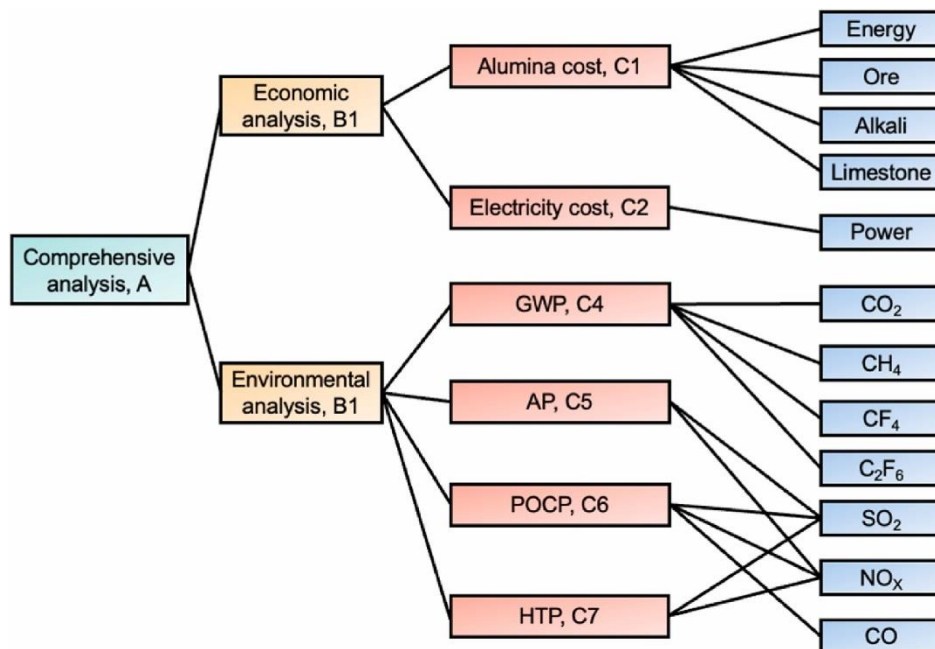


Σχήμα 5 Όρια δευτερογενούς παραγωγής αλουμινίου

4.4: Σύγκριση τρεχόντων μεθόδων παραγωγής αλουμινίου

Με στόχο την σύγκριση των μεθόδων που ήδη χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αλουμινίου, και να αναδειχθούν εξ αυτών οι πιο περιβαλλοντικά φιλικές, προσφέροντας προοπτικές βελτιστοποίησής τους με στόχο να επιτευχθεί περαιτέρω μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεών τους, χρησιμοποιείται όπως στο 3.3 ένα πλαίσιο που συμπεριλαμβάνει πλήθος μεθόδων αξιολόγησης και αποτύπωσης των πτυχών της εκάστοτε διεργασίας/μεθοδολογίας. Οι μέθοδοι βάσει των οποίων έγινε η έρευνα είναι οι:

- BH, Bayer process-hydropower
- BT, Bayer process-thermal power
- CH, Combined method hydropower
- CT, Combined method-thermal power
- SH, Sintering process-hydropower
- ST, Sintering process-thermal power

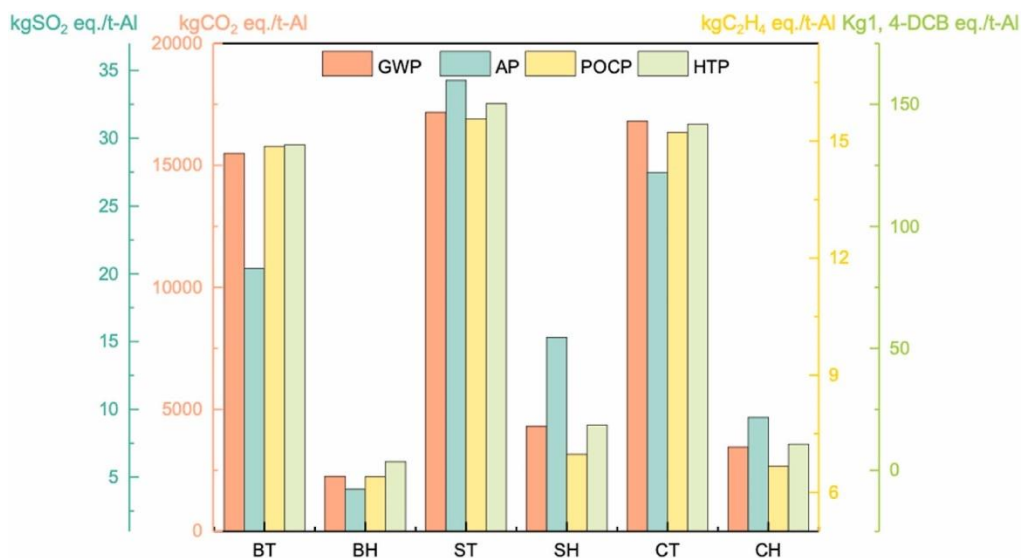


Σχήμα 6 Ιεραρχημένο πλαίσιο αξιολόγησης της στάθμισης μεταξύ οικονομικών προτερημάτων και περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μεθόδων παραγωγής

Life Cycle Impact Assessment

Στις 4 μεθόδους που αναλύθηκαν, όσον αφορά το περιβάλλον, μεγάλη βαρύτητα δόθηκε στο CO₂ και στους λοιπούς αέριους ρύπους. Όπως εμφανίζεται στο σχήμα από τη σχετική έρευνα, όλες οι μελετηθείσες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων από το αλουμίνιο που παράγεται από τη μέθοδο υδροηλεκτρικής ενέργειας ήταν χαμηλότερες από εκείνες που παράγονταν από θερμική ενέργεια. Συγκεκριμένα, τα GWP, AP, POCP και HTP μειώθηκαν κατά περισσότερο από 75%, 55%, 55% και 88%, αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις τέσσερις κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αναλύθηκαν στη μελέτη, οι κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων ταξινομήθηκαν από τη χαμηλότερη στην υψηλότερη ως εξής:

μέθοδος BH < μέθοδος CH < μέθοδος SH < μέθοδος BT < μέθοδος CT < μέθοδος ST

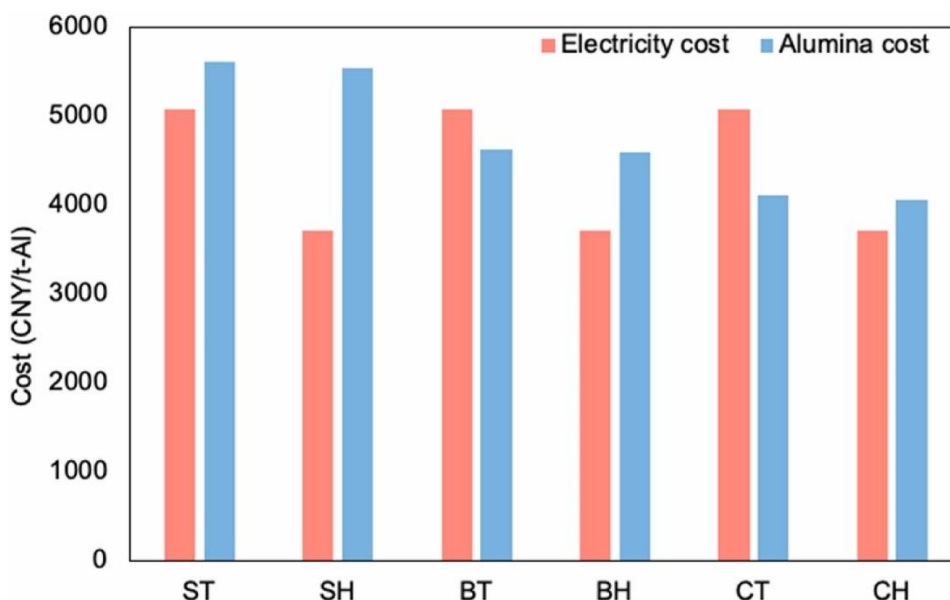


Σχήμα 7 Κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανά μέθοδο παραγωγής

Οικονομικά αποτελέσματα κόστους-οφέλους

Σύμφωνα με σχετική έρευνα, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζεται από το μείγμα ενέργειας με τους εξής τρόπους:

- Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για το αλουμίνιο που παράγεται από θερμική ενέργεια ήταν υψηλότερο από αυτό για το αλουμίνιο που παράγεται από υδροηλεκτρική ενέργεια.
- Το κόστος της αλουμίνας επηρεάστηκε από τη διαδικασία παραγωγής, με το υψηλότερο κόστος παραγωγής αλουμίνας για τις διαδικασίες SH - ST και το χαμηλότερο κόστος παραγωγής αλουμίνας για τις διαδικασίες Bayer (BT-BH)



Σχήμα 8 Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και αλουμίνας ανά μέθοδο παραγωγής

Συνοπτικά, αναφορικά με τις έξι προαναφερθείσες μεθόδους, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Η μέθοδος BH έδειξε την καλύτερη απόδοση στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη βελτίωση των οικονομικών οφελών, ενώ η μέθοδος ST έδειξε τα χειρότερα αποτελέσματα.

- Σε ό,τι αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η παραγωγή αλουμινίου με υδροηλεκτρική ενέργεια ήταν καλύτερη από αυτή με θερμική ενέργεια. Η επίδραση της μεταβολής του μείγματος ενέργειας στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) ήταν σημαντικά υψηλότερη από εκείνη που επήλθε από τη μεταβολή της διαδικασίας παραγωγής αλουμίνιας. Συγκεκριμένα, για τη μέθοδο ST, η προσαρμογή του μείγματος ενέργειας οδήγησε σε μείωση των εκπομπών GHG κατά 75%, ενώ η τροποποίηση της διαδικασίας παραγωγής αλουμίνιας οδήγησε σε μείωση των εκπομπών GHG μέχρι και 10%. Η ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας ως πηγή ενέργειας για την παραγωγή αλουμινίου μπορεί να μειώσει σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε περιοχές με πλούσιους υδροηλεκτρικούς πόρους.
- Η μέθοδος παραγωγής η οποία βάσει όλων των παραγόντων προτείνεται τελικά είναι η μέθοδος BH. Όλοι οι δείκτες βελτιώθηκαν σημαντικά μετά την αύξηση του ποσοστού χωρητικότητάς της. Συγκεκριμένα, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GWP), η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού αερίου (AP), οι εκπομπές αερίων που συμβάλουν στο φωτοχημικό νέφος (POCP) και η δυνητική τοξικότητα στον άνθρωπο (HTP) , παρουσίασαν όλα σημαντική μείωση. [57, 61, 66, 70, 75]

4.5: Ανάκτηση και δέσμευση απωλειών

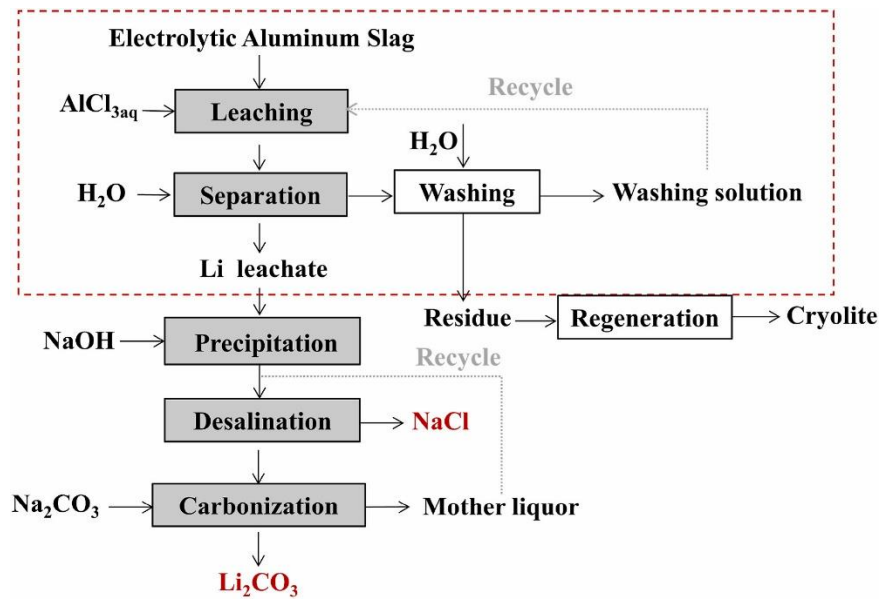
Μία πηγή περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από βιομηχανικές διεργασίες αποτελούν οι απώλειες, είτε πρόκειται για απώλειες ενέργειας είτε για υλικές απώλειες. Στη γραμμή παραγωγής έχουν ενταχθεί πλήθος διαδικασιών και μέσων με στόχο τη δέσμευση αυτών των απωλειών, τόσο από τις πρώτες ύλες ώστε να επιτευχθεί βελτιστοποίηση της αναλογίας A υλών και τελικού προϊόντος, όσο και από τα παραπροϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας αποσκοπώντας στην πλήρη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων κάθε σταδίου της. Σε όποιο στάδιο της γραμμής παραγωγής εντοπίζεται αυτή η προσπάθεια δέσμευσης των απωλειών, συμβάλει και στη βελτιστοποίηση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου της,

καθώς μειώνονται αρχικά οι ρύποι στην ατμόσφαιρα και στους πλησίους της εγκατάστασης βιοτόπους, και εν συνεχεία οι απορριπτόμενες ποσότητες παραπροϊόντων.

Ανάκτηση λιθίου

Μία μέθοδος παραγωγής αλουμινίου αποτελεί η μέθοδος ηλεκτρόλυσης τηγμένου άλατος κρυολίθου-αλουμίνας. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ηλεκτρόλυσης, παράγεται μεγάλη ποσότητα σκωρίας ηλεκτρολυτικού αλουμινίου (EAS), καθώς η πτώση των σωματιδίων άνθρακα στην άνοδο στα κελιά ηλεκτρολύσεως και η συσσώρευση του φθοριούχου λιθίου οδηγούν σε κατανάλωση ενέργειας και υπολείμματα ηλεκτρολυτών. Το EAS θεωρείται επικίνδυνο απόβλητο λόγω της παρουσίας του φθορίου. Γενικά, απορρίπτεται σε ΧΥΤΑ (Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων), και αυτό απαιτεί μεγάλες εκτάσεις γης και αποτελεί κίνδυνο για το περιβάλλον εξαιτίας τη διάλυση των στοιχείων φθορίου.

Τα τελευταία χρόνια, λόγω εξελίξεων όπως η ταχεία ανάπτυξη των νέων οχημάτων με νέες ενεργειακές πηγές και την ανάγκη αποθήκευσης της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ, υπάρχει επείγουσα ανάγκη για την ανάπτυξη τεχνολογιών για την ανάκτηση του Li (λιθίου) από χαμηλής ποιότητας ή δευτερογενείς πόρους. Έχουν δημοσιευτεί αρκετές αναφορές που εξετάζουν την ανάκτηση του Li από τα στερεά απόβλητα ηλεκτρόλυσης του αλουμινίου. Μια πρόιμη μέθοδος χρησιμοποιεί συμπυκνωμένο θειικό οξύ για να ασβεστοποιηθεί η σκωρία ηλεκτρολυτικού αλουμινίου στους 200–400 °C, και στη συνέχεια, εκλύεται το ασβεστοποιημένο απόβλητο με νερό για να διαλυθεί το Li⁺. Το ποσοστό μετατροπής υπερβαίνει το 95%. Αυτή η μέθοδος μπορεί να θεωρηθεί λειτουργική, αλλά η εκτεταμένη χρήση οξέος και η υψηλή κατανάλωση ενέργειας αποτελούν μειονεκτήματα. Για να λυθούν αυτά τα προβλήματα της προαναφερθείσας τεχνολογίας, προτάθηκε μια μέθοδος εκχύλισης αλάτων αλουμινίου για την εξαγωγή του Li από απόβλητα ηλεκτρολυτικού αλουμινίου. Παρατηρήθηκε ότι το 88.0% του Li⁺ μπορούσε να εξαχθεί από απόβλητα ηλεκτρολυτικού αλουμινίου υπό πιο ήπιες συνθήκες.



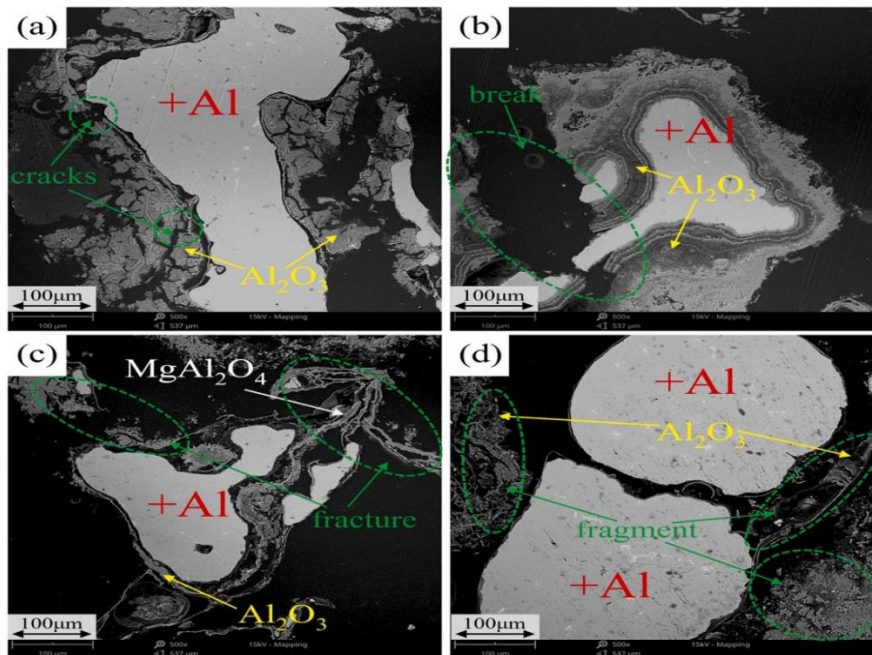
Σχήμα 9 Ανάκτηση λιθίου

4.6: Ανάκτηση σταγονιδίων αλουμινίου (aluminum droplets) μέσω σκωρίας αλουμινίου (aluminum dross)

Από τη διαδικασία τήξης του αλουμινίου παράγεται η σκωρία, ένα τοξικό στερεό απόβλητο που παρουσιάζει δυνατότητα υδρόλυσής του και παραγωγής μέσω αυτής δηλητηριωδών αερίων, τα οποία περιέχουν μικρά σταγονίδια οξειδωμένου αλουμινίου, που χαρακτηρίζονται από ποικιλομορφία όσον αφορά το μέγεθός τους, το οποίο μπορεί να είναι μικρότερο των 4.0mm, μεταξύ 4.00 και 8.00mm και μεταξύ 8.00 και 50.00mm. Ως μέθοδος συλλογής αυτών των σταγονιδίων προτείνεται η χρήση μηχανικής ενεργοποίησης και υπερ-βαρυντικού διαχωρισμού.

Η μηχανική ενεργοποίηση (MA) χρησιμοποιεί υψηλή τριβή, σύγκρουση, διατμήσεις και άλλες μηχανικές ενέργειες για να αλλάξει την κρυσταλλική δομή και τις ιδιότητες των στερεών. Η μηχανική ενεργοποίηση χρησιμοποιείται, γενικά, για την αύξηση της χημικής μετατροπής ανόργανων και υψηλομοριακών ενώσεων. Έχει επιβεβαιωθεί ότι κάτω από τριβή συμπαγών μετάλλων σε μη υδατικά διαλύματα πρωτονοειδών συνδέσεων, η κύρια τριβοχημική αντίδραση οδηγεί στο σχηματισμό ενός μεταλλικού σύμπλοκου στο σημείο επαφής της τριβής. Αν το προϊόν είναι διαλυτό στο

διαλύτη που χρησιμοποιείται, θα αφαιρεθεί, ανανεώνοντας την επιφάνεια του μετάλλου για περαιτέρω τριβοχημικές αντιδράσεις. Μέσω αυτής της διεργασίας, αλέθονται οι οξειδωμένες μεμβράνες των σταγονιδίων αλουμινίου στη σκωρία. Καθώς όμως δεν επαρκούσε η δύναμη της βαρύτητας για να διαχωριστούν τα σταγονίδια αλουμινίου από τις μεμβράνες, προέκυψε η ανάγκη εφαρμογής της εφαρμογής ενός πεδίου υπερ-βαρύτητας.

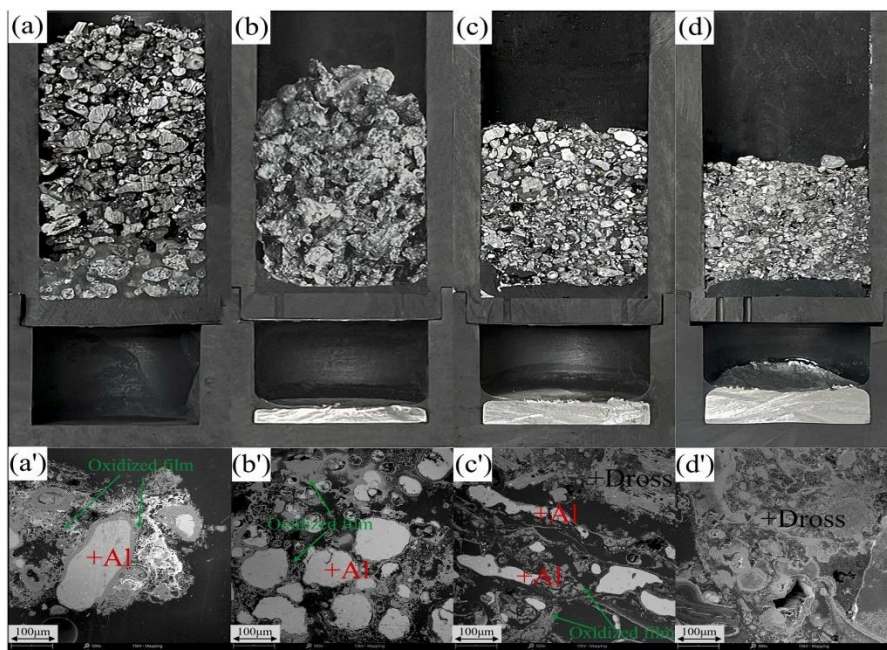


Σχήμα 10 Απεικονίσεις SEM τυπικών σωματιδίων αλουμινίου υπό μηχανική ενεργοποίηση: (α) δημιουργία ρωγμών (β) μείωση μεγέθους σωματιδίου (γ) καταστροφή δομής (δ) έκθεση στην πιο επιφανειακή περιοχή

Η υπερ-βαρύτητα είναι ένας τύπος θεωρίας κβαντικού πεδίου των βασικών υποατομικών σωματιδίων και των αλληλεπιδράσεών τους, που βασίζεται στη συμμετρία σωματιδίων που είναι γνωστή ως υπερσυμμετρία και περιλαμβάνει τη βαρύτητα μαζί με τις άλλες βασικές αλληλεπιδράσεις της ύλης - την ηλεκτρομαγνητική δύναμη, την ασθενή δύναμη και την ισχυρή δύναμη. Μια θεωρία της βαρύτητας σε μεγάλη κλίμακα παρέχεται από τη γενική θεωρία της σχετικότητας, η οποία συσχετίζει τη βαρύτητα με την καμπυλότητα του χωροχρόνου. Για να είναι συνεπής με τη γενική θεωρία της σχετικότητας, η βαρύτητα στο κβαντικό επίπεδο πρέπει να μεταφέρεται από ένα σωματίδιο, που ονομάζεται βαρυτόνιο. Οι θεωρίες υπερ-βαρύτητας επιτρέπουν επιπλέον διαστάσεις στον χωροχρόνο, πέρα από τις γνωστές τρεις διαστάσεις του χώρου και μία

του χρόνου. Το πείραμα, βρίσκεται σε εργαστηριακό φυγόκεντρο. Σε αυτήν τη συσκευή, ένας θάλαμος με λειτουργία θέρμανσης και ένας ισοσταθμιστής τοποθετούνται ισομετρικά στον άξονα της κεντρικής δύναμης, και γυρίζει από κατακόρυφα σε οριζόντια και περιστρέφεται όταν ξεκινά η λειτουργία της φυγόκεντρος δύναμης. Ο θάλαμος θέρμανσης παράγει ένα πεδίο φυγόκεντρος δύναμης όταν περιστρέφεται σε υψηλές ταχύτητες ως ένας τρόπος για να προσομοιώσει ένα πεδίο υπερ-βαρύτητας, η δύναμη του οποίου καθορίζεται από το συντελεστή βαρύτητας.

Με την ενίσχυση του πεδίου υπερ-βαρύτητας, σχεδόν όλα τα σταγονίδια αλουμινίου απέδρασαν αποτελεσματικά από τις οξειδωμένες μεμβράνες και ανακτήθηκαν πλήρως από το λιγνίτη του αλουμινίου, με ποσοστό ανάκτησης της τάξης του 97.14% και υψηλή καθαρότητα του 99.17 wt%. Σε σύγκριση με τη συμβατική διαδικασία διαχωρισμού του αλουμινίου, αυτή η μελέτη παρέχει μια περιβαλλοντικά φιλική μέθοδο για την αποτελεσματική ανάκτηση των σταγονιδίων αλουμινίου από το λιγνίτη του αλουμινίου χωρίς τα προβλήματα παραγωγής δευτερογενούς λιγνίτη αλουμινίου, ρύπανσης από σκόνη και ρύπανσης αέρα.



Σχήμα 11 Απεικόνιση SEM και μακροσκοπική μορφολογία σκωρίας αλουμινίου επεξεργασμένης με τη διαδικασία του υπερ-βαρυτικού διαχωρισμού [48, 49, 53, 54]

4.7: Δέσμευση λυμάτων αλουμινίου για χρήση ως υλικό ασφάλτου

Ο μεγάλος όγκος υπολειμμάτων αλουμινίου που προκύπτουν από την εκκαθάριση των λυμάτων της γραμμής παραγωγής του προκαλεί σημαντικό ζήτημα σχετικά με τις απώλειες πρώτων υλών και με τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Γενικά, προκύπτουν 1 με 2.5 τόνοι λάσπης ανά 1 τόνο παραγόμενου αλουμινίου.



Σχήμα 12 ATS σε μορφή σκόνης

Κάτι που έχει εξεταστεί είναι η πιθανή χρήση λάσπης υπολειμμάτων αλουμινίου (Aluminum Tailings Slurry – ATS) ως τροποποιητή για το συνδετικό υλικό της ασφάλτου. Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε ATS σε μορφή σκόνης και στην τροποποιημένη ασφαλτο με ATS αποκαλύπτουν ότι, καθώς το ATS είναι αλκαλικό με τραχεία επιφάνεια και ψιλού μεγέθους σωματίδια, μπορεί να αναμιχθεί αποτελεσματικά με την ασφαλτο.

Πίνακας 4 Σύσταση ATS

Συστατικά οξείδια του ATS βάσει XRF test										
Συστατικό	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	K ₂ O	MgO	CaO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	Λοιπά
Βάρος (%)	50.12	25.05	19.79	2.43	0.63	0.52	0.27	0.22	0.18	0.79

Η διαδικασία τροποποίησης περιλαμβάνει την φυσική ανάμιξη, την τήξη και μια ελαφριά χημική αντίδραση, αλλάζοντας τη μικροδομή της ασφάλτου και ενισχύοντας τη θερμική του σταθερότητα. Ωστόσο, η υπερβολική αναλογία του ATS στο μείγμα μπορεί να μειώσει την αποθηκευτική σταθερότητα. Παρόλα αυτά, το ATS βελτιώνει την αντοχή της ασφάλτου στην παραμόρφωση και την ελαστικότητα ενώ δεν αντιμετωπίζει κανέναν κίνδυνο ρύπανσης, καθιστώντας την υποσχόμενη τροποποίηση της ασφάλτου για την οδοποιία λόγω της απόδοσής της, της φιλικής προς το περιβάλλον φύσης της και της οικονομικής της αποδοτικότητας. [50, 55, 60 63, 64]

Κεφάλαιο 5^ο: Συμπεράσματα

Η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση που παρουσιάζεται παγκοσμίως στις χρήσεις του αλουμινίου απαιτεί ανάλογα αυξημένες παραγόμενες ποσότητες, οι οποίες φέρουν -παρά τη φιλικότητα του αλουμινίου προς το περιβάλλον συγκριτικά με άλλα παρόμοια υλικά- ένα ποσοστό περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, από την εξόρυξη της πρώτης ύλης, την ενεργειακή κατανάλωση, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραγωγική διαδικασία και τη ρύπανση από διαφυγές, έως την τελική διάθεση του προϊόντος κατά το τέλος του ωφέλιμου κύκλου ζωής του. Σε μία εποχή που η παγκόσμια προσπάθεια επικεντρώνεται στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από κάθε είδους δραστηριότητα, η βιομηχανία από την οποία προκύπτει ένα σημαντικό ποσοστό της παγκόσμιας ρύπανσης και ενεργειακής κατανάλωσης, φέρει σημαντική ευθύνη για την οριοθέτηση και βελτιστοποίηση των διεργασιών της σε κάθε επίπεδο, με στόχο την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης και παγκόσμιων συνεργιών (fit for 55 κλπ).

Σε αυτό το περιβάλλον, η Ελλάδα, η οποία χαρακτηρίζεται από έντονη παραγωγική δυναμικότητα στον τομέα του αλουμινίου, ο οποίος είναι πλήρως καθετοποιημένος στα γεωγραφικά όρια της χώρας μας, έρχεται αντιμέτωπη με την παγκόσμια προαναφερθείσα προσπάθεια, και καλείται να συμβάλει στην αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και της ενεργειακής μετάβασης. Όντας μία χώρα με έντονο παραγωγικό και εξαγωγικό προφίλ, οι εταιρίες οι οποίες δραστηριοποιούνται στα όριά της, συγκεκριμένα οι MYTILINEOS, Elval-ETEM, Alumil. EUROPA και EXACLO, αποτελούν πρωτοπόρους στην έρευνα και την καινοτομία, παρουσιάζοντας ενδιαφέροντες πρακτικές και ενσωματώνοντας νέες διεργασίες στην παραγωγική διαδικασία τους, αποσκοπώντας στη συμμόρφωση της γραμμής παραγωγής τους και του συνόλου των ενεργειών τους με την ελληνική και την ευρωπαϊκή νομοθεσία, η οποία για την επίτευξη των στόχων της ΕΕ παρουσιάζει ολοένα και αυξανόμενες απαιτήσεις. Από την αύξηση της εκμετάλλευσης των πρώτων υλών με την εγκατάσταση φίλτρων συλλογής των διαφυγόντων μαζών, έως την ανακύκλωση των προϊόντων που οδηγούνται προς απόρριψη, οι προαναφερθείσες εταιρίες προωθούν ένα ολιστικό και πλήρες σύστημα βελτιστοποίησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της δραστηριότητάς τους.

Παράλληλα, σε παγκόσμιο επίπεδο, η επιστημονική κοινότητα όσον αφορά το αλουμίνιο ως υλικό αλλά και την παραγωγή του, παράγει μεγάλο όγκο έρευνας που καλύπτει ζητήματα τόσο σχετικά με την παραγωγική διαδικασία όσο και περιβάλλοντα θέματα, όπως η διαχείριση των παραπροϊόντων και είτε η ένταξη και επεξεργασία τους στην ίδια γραμμή παραγωγής είτε η χρήση τους σε άλλα υλικά, η περιβαλλοντικά υπεύθυνη διαχείριση των ρύπων είτε σε στέρεη, είτε σε υγρή, είτε σε αέρια μορφή, η απανθρακοποίηση του ενεργειακού μείγματος που καταναλώνει η βιομηχανία και πολλά άλλα. Αυτά τα ζητήματα αποτελούν στόχους βελτιστοποίησης για τους ερευνητές λόγω της αναγκαιότητας του αλουμινίου ως υλικού για πλήθος χρήσεων, από την οποία προκύπτει και η υπόθεση πως το αλουμίνιο θα παραμείνει ως ένα βασικό υλικό στο προσεχές τουλάχιστον μέλλον και ως εκ τούτου είναι συμφέρον να εναρμονιστεί η παραγωγή του με τις απαιτήσεις και τους στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης σε εγχώριο και διεθνές επίπεδο. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών επεξεργασίας, διασφάλισης της ποιότητας, ελέγχου και ανάκτησης των διαφυγόντων υλικών και των παραπροϊόντων, και ανακύκλωσης απορριπτόμενων προϊόντων αποτελεί καίριο ζήτημα για την έρευνα στον τομέα των υλικών και της βιομηχανίας, και η Ελλάδα χάρη στην προσπάθεια των εγχώριων εταιριών και του επιστημονικού δυναμικού πρωτοπορεί και παρέχει στην αγορά νέες δυνατότητες και υποστηρίζει την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης και περιβαλλοντικής ουδετερότητας.

Βιβλιογραφία

1. C4 K) electrolysis – part 1 – aqa chemistry Elewise. Available at: <https://www.elewise.co.uk/gacc4k.html> (Accessed: 30 March 2024)
2. What is aluminium. Available at: https://www.aluminiumleader.com/about_aluminium/what_is_aluminium/ (Accessed: 30 March 2024).
3. Αλουμίνιο MYTILINEOS. Available at: <https://www.mytilineos.com/el/i-drastiriotita-mas/klados-metallourgias/alouminion-tis-ellados/oi-egkatastaseis-mas/alouminio/> (Accessed: 30 March 2024).
4. Aluminium production Aluminium production process. Available at: https://www.aluminiumleader.com/production/aluminum_production/ (Accessed: 30 March 2024).
5. Αλουμίνιο MYTILINEOS. Available at: <https://www.mytilineos.com/el/i-drastiriotita-mas/klados-metallourgias/alouminion-tis-ellados/oi-egkatastaseis-mas/alouminio/> (Accessed: 30 March 2024).
6. Info κλάδου (2022) Ελληνική Ένωση Αλουμινίου. Available at: <https://aluminium.org.gr/info-kladoy/> (Accessed: 30 March 2024).
7. Αλουμίνιον της Ελλάδος MYTILINEOS. Available at: <https://www.mytilineos.com/el/i-drastiriotita-mas/klados-metallourgias/alouminion-tis-ellados/#:~:text=T%CE%BF%20%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%AC%CF%83%CE%B9%CE%BF%20%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CF%85%CE%BC%CE%B9%CE%BD%CE%AF%CE%BF%CF%85%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%9C%CE%A5TILINEOS,%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%82%20860.000%20%CF%84%CF%8C%CE%BD%CE%BF%CF%85%CF%82%20%CF%83%CE%B5%20%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CF%85%CE%BC%CE%AF%CE%BD%CE%B1>. (Accessed: 30 March 2024).
8. Alumil Extrusion & Machining. Available at: <https://www.alumil.com/extrusion/el/capacities-centers/capacities> (Accessed: 30 March 2024).

9. Alumil Extrusion & Machining. Available at: <https://www.alumil.com/extrusion/el/capacities-centers/centers/greece> (Accessed: 30 March 2024).
10. ΕΤΗΣΙΟΣ ΑΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (2019) ELVAL. Available at: https://www.elval.com/arxeia//sustainability/csr_pdf/ELVAL-HALCOR-AR-OIK-CSR-GR-2019.pdf (Accessed: 30 March 2024).
11. Europa Παραγωγικές Εγκαταστάσεις, EUROPA. Available at: <https://www.profil.gr/index.php/gr/leitourgies-poiotita/production-facilities> (Accessed: 30 March 2024).
12. Product Portfolio ETEM - Εταιρικά Φυλλάδια. Available at: <https://etem.com/en/download-area/commercial-brochures-0> (Accessed: 30 March 2024).
13. Εταιρικό Προφίλ - Η εταιρεία Exalco. Available at: <https://www.exalco.gr/i-etairia-mas/etairiko-profil/> (Accessed: 30 March 2024).
14. Η εταιρία μας - Ιστορία MYTILINEOS. Available at: <https://www.mytilineos.com/el/i-etairia-mas/istoria/> (Accessed: 30 March 2024).
15. Βοξίτης MYTILINEOS. Available at: <https://www.mytilineos.com/el/i-drastiriotita-mas/klados-metallourgias/alouminion-tis-ellados/oi-egkatastaseis-mas/voksitis/> (Accessed: 30 March 2024).
16. Mytilineos Ανακυκλωμένο Αλουμίνιο. Available at: <https://www.mytilineos.com/el/i-drastiriotita-mas/klados-metallourgias/alouminion-tis-ellados/oi-egkatastaseis-mas/anakuklwmeno-alouminio/> (Accessed: 30 March 2024)
17. ElvalHalcor Ιστορία Available at: <https://www.elvalhalcor.com/el/who-we-are/history/#> (Accessed: 30 March 2024)
18. ElvalHalcor. Τομέας έλασης αλουμινίου. Available at: <https://www.elvalhalcor.com/el/who-we-are/portfolio/aluminium/division/> (Accessed: 30 March 2024)

19. ETEM. Γνωρίστε την ETEM και την ιστορία της. Available at: <https://etem.com/el/gnoriste-tin-etem-kai-tin-istoria-tis> (Accessed: 30 March 2024)
20. ETEM. Πράσινα κτήρια με σφραγίδα ETEM. Available at: <https://etem.com/el/etem-blog/prasina-ktiria-me-sfragida-etem> (Accessed: 30 March 2024)
21. ETEM. Corporate Policies. Available at: <https://etem.com/en/download-area/corporate-policies> (Accessed: 30 March 2024)
22. EUROPA. Φιλοσοφία. Available at: <https://www.profil.gr/index.php/gr/europa/history-filosofia> (Accessed: 30 March 2024)
23. EUROPA. Εργοστάσια Παραγωγής. Available at: <https://www.profil.gr/index.php/gr/leitourgies-poiotita/production-facilities> (Accessed: 30 March 2024)
24. Exalco. Ιστορικό. Available at: <https://www.exalco.gr/i-etairia-mas/istoriko/> (Accessed: 30 March 2024)
25. Exalco – Εταιρικό προφίλ (πρόσβαση 30/03/2024) <https://www.exalco.gr/i-etairia-mas/etairiko-profil/>
26. Exalco. Εταιρικό Προφίλ. Available at: <https://www.exalco.gr/i-etairia-mas/etairiko-profil/> (Accessed: 30 March 2024)
27. Mytilineos. Πιστοποιήσεις. Available at: <https://www.mytilineos.com/el/i-etaireia-mas/pistopoihseis/> (Accessed: 30 March 2024)
28. Alumil. Production Certifications. Available at: <https://www.alumil.com/greece/corporate/about-us/certifications/production-certifications> (Accessed: 30 March 2024)
29. Alumil. Production Certificates. Available at: <https://www.alumil.com/extrusion/el/info/quality-assurance/production-certificates> (Accessed: 30 March 2024)
30. ElvalHalcor. Environment. Available at: <https://www.elvalhalcor.com/el/sustainability/environment> (Accessed: 30 March 2024)

31. ETEM. Πιστοποιητικά Ποιότητας Εργοστασίου. Available at: <https://etem.com/el/download-area/pistopoiitika-poiotitas-ergostasioy> (Accessed: 30 March 2024)
32. EUROPA. Συστήματα Ποιότητας. Available at: <https://www.profil.gr/index.php/gr/leitourgies-poiotita/systimata-poiotitas> (Accessed: 30 March 2024)
33. Exalco. Πιστοποιητικά Ποιότητας. Available at: <https://www.exalco.gr/lipseis/pistopoiitika-poiotitas/> (Accessed: 30 March 2024)
34. Mytilineos. Αξιοποίηση καταλοίπων βωξίτη. Available at: <https://www.mytilineos.com/el/i-drastiriotita-mas/klados-metallourgias/alouminion-tis-ellados/erevna-kai-anaptyksi/aksiopoihsh-kataloipwn-vwksith/> (Accessed: 30 March 2024)
35. Mytilineos. Υπερκαθαρή Αλουμίνα. Available at: <https://www.mytilineos.com/el/i-drastiriotita-mas/klados-metallourgias/alouminion-tis-ellados/erevna-kai-anaptyksi/yperkatharh-aloumina/> (Accessed: 30 March 2024)
36. Mytilineos. Βιώσιμη Παραγωγή Αλουμινίου. Available at: <https://www.mytilineos.com/el/i-drastiriotita-mas/klados-metallourgias/alouminion-tis-ellados/erevna-kai-anaptyksi/viwsimh-paragwgh-alouminiou/> (Accessed: 30 March 2024)
37. Mytilineos. Ανάκτηση Ενέργειας. Available at: <https://www.mytilineos.com/el/i-drastiriotita-mas/klados-metallourgias/alouminion-tis-ellados/erevna-kai-anaptyksi/anaktisi-energeias/> (Accessed: 30 March 2024)
38. Alumil. Sustainability: Alumil Beyond. Available at: https://www.alumil.com/greece/sustainability?_gl=1*1wfoajl*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjw17qvBhBrEiwA1rU9w9Q_wcWqXCJNcoHjwvLejrX4ImdUMx25xCg4t3MciRIz8gEjSC3NrRoCIHMQA_vD_BwE (Accessed: 30 March 2024)

39. BusinessDaily. (12/12/2023). Στο Ταμείο Ανάκαμψης: Η Alumil στόχος για τζίρο 500 εκατ. ευρώ. Available at: https://www.businessdaily.gr/epiheiriseis/102722_sto-tameio-anakampsis-i-alumil-stohos-gia-tziro-500-ekata-eyro#:~:text=%CE%B5%CF%85%CF%81%CF%8E,-%CE%A3%CF%84%CE%AD%CF%86%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CF%82%20%CE%A4%CF%83%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%AC%CE%BA%CE%B7%CF%82%20%CE%95%CE%A0%CE%99%CE%A7%CE%95%CE%99%CE%A1%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3&text=%CE%94%CF%85%CE%BD%CE%B1%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%B5%CF%80%CE%B5%CE%BD%CE%B4%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CF%80%CE%BB%CE%AC%CE%BD%CE%BF%20%CF%8D%CF%88%CE%BF%CF%85%CF%82%2054,%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CF%83%CF%84%CE%B9%CF%82%20%CE%B1%CE%B3%CE%BF%CF%81%CE%AD%CF%82%20%CF%84%CE%BF%CF%85%20%CE%B5%CE%BE%CF%89%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D (Accessed: 30 March 2024)
40. Elval. Sustainability: General Manager's Message. Available at: <https://www.elval.com/el/sustainability-general-manager-message> (Accessed: 30 March 2024)
41. Elval. Aluminium Recycling. Available at: <https://www.elval.com/el/aluminium-recycling> (Accessed: 30 March 2024)
42. Elval. Technology: Innovation Success Stories. Available at: <https://www.elval.com/el/technology#technology-innovation-success-stories> (Accessed: 30 March 2024)
43. EUROPA. Περιβαλλοντική Πολιτική. Available at: <https://www.profil.gr/index.php/gr/people-environment/periballontiki-politiki#mathete-gia-to-systima-diaxeirisis-ydatinon-poron-ygra-apovlita-katanalosi-neroy> (Accessed: 30 March 2024)
44. Exalco. Βιωσιμότητα. Available at: <https://www.exalco.gr/i-etairia-mas/viosimotita/> (Accessed: 30 March 2024)
45. Exalco. Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντος (EPD). Available at: <https://www.exalco.gr/lipseis/perivallontikes-diloseis-proiontos-epd/> (Accessed: 30 March 2024)

46. World Aluminium. Mass Flow Statistics. Available at: <http://www.world-aluminium.org/statistics/massflow/> (Accessed: 18 January 2024)
47. Cui L., Wang W., Chao X., Gao J. and Cheng F. (2024) 'Efficient lithium recovery from electrolytic aluminum slag via an environmentally friendly process: Leaching behavior and mechanism', *Journal of Cleaner Production*, 439. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140800> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652624002476>
48. ScienceDirect – Mechanical Activation Available at: [https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/mechanical-activation#:~:text=Mechanical%20activation%20\(MA\)%20uses%20high,structure%20and%20properties%20of%20solids.](https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/mechanical-activation#:~:text=Mechanical%20activation%20(MA)%20uses%20high,structure%20and%20properties%20of%20solids.) (Accessed: 30 March 2024)
49. Britannica – Supergravity Available at: <https://www.britannica.com/science/supergravity> (Accessed: 30 March 2024)
50. Qin Y., Xie K., Meng Y., Fu T., Fang G., Luo L. and Wang Q. (2024) 'Feasibility and environmental assessment of reusing aluminum tailing slurry in Asphalt', *Construction and Building Materials*, 411. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134737> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061823044586?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)
51. Ma L., Yang W., Cui Y., Chen B., Jiang J. and Lin Y. (2023) 'Regeneration of raw materials for aluminum electrolysis from spent carbon anodes via a closed-loop environmentally-friendly process based on aluminum–fluorine complexation', *Journal of Cleaner Production*, 402. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136787> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623009459?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)
52. newMoney (2023) 'ElvalHalcor: Η σημασία του αλουμινίου και του χαλκού στην κυκλική οικονομία στο διεθνές συνέδριο RawMat 2023', 31/08/2023 Available at: <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/epixeiriseis/elvalhalcor-i-simasia-tou-alouminiou-ke-tou-chalkou-stin-kikliki-ikonomia-sto-diethnes-sinedrio-rawmat-2023/> (Accessed: 30 March 2024)

53. Wang Z., Gao J., Lan X., Feng G. and Guo Z. (2023) ‘An environmental-friendly method for recovery of aluminum droplets from aluminum dross: Mechanical activation and super-gravity separation’, *Process Safety and Environmental Protection*, 175. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.05.045> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582023004123?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)
54. Srivastava A., Meshram A. (2023) ‘On trending technologies of aluminium dross recycling: A review’, *Process Safety and Environmental Protection*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.01.010> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582023000113?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)
55. Qaidi S.M.A., Tayeh B.A., Isleem H.F., de Azevedo A.R.G., Ahmed H.U. and Emad W. (2022) ‘Sustainable utilization of red mud waste (bauxite residue) and slag for the production of geopolymer composites: A review’, *Case Studies in Construction Materials*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00994> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522001267?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)
56. Deng L., Qiu Y., Jiang J., Zhu Z. and Che D. (2022) ‘Co-combustion characteristics of electrolytic aluminum waste and coal’, *Fuel*, 325. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124890> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236122017331?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)
57. Zhu S., Gao C., Song K., Chen M., Wu F. and Li X. (2022) ‘An assessment of environmental impacts and economic benefits of multiple aluminum production methods’, *Journal of Cleaner Production*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133523> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622031031?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)
58. Alumil (2022) Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2022. Available at: https://www.alumil.com/greece/sustainability/reports?_gl=1*1v8eyjg*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjw17qvBhBrEiwA1rU9w9Q_wcWqXCJNcoHjwvLejrX4ImdUMx25xCg4t3MciRIz8gEjSC3NrRoCIHMQA_vD_BwE (Accessed: 30 March 2024)

59. Deng L., Johnson S. and Gencer E. (2022) 'Environmental-Techno-Economic analysis of decarbonization strategies for the Indian aluminum industry', *Energy Conversion and Management*, 274. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116455>
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S019689042201233X?via%3Dihub> (Accessed: 30 March 2024)
60. Chen, Y., Zhang, Ta., Lv, G. (2022) 'Extraction and Utilization of Valuable Elements from Bauxite and Bauxite Residue: A Review', *Bull Environ Contam Toxicol*, 109. <https://doi.org/10.1007/s00128-022-03502-w> Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-022-03502-w> (Accessed: 30 March 2024)
61. Li S., Zhang T., Niu L. and Yue Q. (2021) 'Analysis of the development scenarios and greenhouse gas (GHG) emissions in China's aluminum industry till 2030', *Journal of Cleaner Production*, 290. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125859>
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621000792?via%3Dihub> (Accessed: 30 March 2024)
62. Luthin A., Backes J.G. and Traverso M. (2021) 'A framework to identify environmental-economic trade-offs by combining life cycle assessment and life cycle costing – A case study of aluminium production', *Journal of Cleaner Production*, 321. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128902> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621030961?via%3Dihub> (Accessed: 30 March 2024)
63. Zhang J., Yao Z., Wang K., Wang F., Jiang H., Liang M., Wei J. and Airey G. (2021) 'Sustainable utilization of bauxite residue (Red Mud) as a road material in pavements: A critical review', *Construction and Building Materials*, 270. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121419> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820334231?via%3Dihub> (Accessed: 30 March 2024)

64. Ou, X.; Chen, S.; Jiang, J.; Qin, J.; Zhang, L. Reuse of Red Mud and Bauxite Tailings Mud as Subgrade Materials from the Perspective of Mechanical Properties. *Materials* (2022) 15, <https://doi.org/10.3390/ma15031123> Available at: <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/3/1123> (Accessed: 30 March 2024)
65. Mazzi A. (2020) ‘Chapter 1 - Introduction. Life cycle thinking’, *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818355-7.00001-4> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128183557000014?via%3Dihub> (Accessed: 30 March 2024)
66. Cheng, K., Zhang, J., Yi, P., Zhu, G., Hao, W., Ji, W., et al. (2020). Exploring the emission characteristics and reduction potential of air pollutants from Chinese aluminum industry: 2005–2025. *Earth's Future* 8 <https://doi.org/10.1029/2019EF001440> Available at: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2019EF001440> (Accessed: 30 March 2024)
67. Zhang X., Zhang M., Zhang H., Jiang Z., Liu C. and Cai W. (2020) ‘A review on energy, environment and economic assessment in remanufacturing based on life cycle assessment method’, *Journal of Cleaner Production*, 255 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120160> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620302079?via%3Dihub> (Accessed: 30 March 2024)
68. Κουκουτσάς Η. (2020) Alumil: ‘30 χρόνια επιτυχία με οδηγό την καινοτομία’, EMEA, 19/02/2020 Available at: <https://emea.gr/business-plus/business-stories/584791/alumil-30-chronia-epitychia-odigo-tin-kainotomia/> (Accessed: 30 March 2024)
69. Brough D., Jouhara H. (2020) ‘The aluminium industry: A review on state-of-the-art technologies, environmental impacts and possibilities for waste heat recovery’, *International Journal of Thermofluids*, 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2019.100007> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666202719300072?via%3Dihub> (Accessed: 30 March 2024)

70. Farjana S.H., Huda N., Mahmud M.A.P. (2019) 'Impacts of aluminum production: A cradle to gate investigation using life-cycle assessment', *Science of The Total Environment*, 663. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.400> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719304474?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)
71. Miah J.H., Koh S.C.L. and Stone D. (2017) 'A hybridised framework combining integrated methods for environmental Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing', *Journal of Cleaner Production*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.187> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617319200?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)
72. Hajiha H., Sain M. (2015) '17 - The use of sugarcane bagasse fibres as reinforcements in composites', *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*. <https://doi.org/10.1533/9781782421276.4.525> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9781782421221500174?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)
73. Mathisen A., Sørensen H., Eldrup N., Skagestad R., Melaaen M. and Müller G.I. (2014) 'Cost Optimised CO₂ Capture from Aluminium Production', *Energy Procedia*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.021> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214008832?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)
74. Jilvero H., Mathisen A., Eldrup N.H., Normann F., Johnsson F., Müller G.I. and C. Melaaen M.C. (2014) 'Techno-economic Analysis of Carbon Capture at an Aluminum Production Plant – Comparison of Post-combustion Capture Using MEA and Ammonia', *Energy Procedia*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.695> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214025107?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)
75. Metaxas T., Tsavdaridou M. (2013) 'CSR in metallurgy sector in Greece: A content analysis', *Resources Policy*, 38 (3). <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.03.010> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301420713000238?via%3DiHub> (Accessed: 30 March 2024)

76. Lassagne L., Gosselin L., Désilets M. and Iliuta M.C. (2013) ‘Techno-economic study of CO₂ capture for aluminum primary production for different electrolytic cell ventilation rates’, *Chemical Engineering Journal*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.06.038> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894713008115?via%3Dihub> (Accessed: 30 March 2024)
77. Simões C.L., Costa Pinto L.M. and Bernardo C.A. (2012) ‘Modelling the economic and environmental performance of engineering products: a materials selection case study’, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0414-y> Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-012-0414-y> (Accessed: 30 March 2024)
78. HAARBERG G.M., KVALHEIM E., RATVIK A.P., XIAO S.J. and MOKKELBOST (2010) ‘Depolarised gas anodes for aluminium electrowinning’, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20 (11). [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(09\)60434-9](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(09)60434-9)