



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΜΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ:
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

ΕΥΘΥΜΙΟΣ ΒΛΑΧΑΝΤΩΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ/ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΧΑΤΖΗΝΤΑΗ ΝΙΚΟΛΕΤΑ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2026

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 της ΜΔΕ ανήκουν στον/στη μεταπτυχιακό/ή φοιτητή/τρια και στο επιβλέπον μέλος ΔΕΠ εις ολόκληρο, δηλαδή εκάτερος μπορεί να κάνει χρήση αυτών χωρίς τη συναίνεση άλλου. Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του πρωτότυπου μέρους της ΜΔΕ ανήκουν στον/στη μεταπτυχιακό/ή φοιτητή/τρια και στον/στην επιβλέποντα/ουσα από κοινού, δηλαδή δεν μπορεί ο ένας από τους δύο να κάνει χρήση αυτού χωρίς τη συναίνεση του άλλου. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η δημοσίευση του πρωτότυπου μέρους της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου από τον ένα εκ των δύο, με την προϋπόθεση ότι αναφέρονται τα ονόματα και των δύο (ή των τριών σε περίπτωση συνεπιβλέποντα/ουσας) 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/Η Φοιτητής/Φοιτήτρια

Ευθύμιος Βλαχαντώνης

Ο/Η Επιβλέπων/Επιβλέπουσα

(Χατζηνταή Νικολέτα)

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εξετάζει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της βιομηχανίας τσιμέντου και τις προοπτικές μετάβασης σε ένα πιο βιώσιμο και ανταγωνιστικό μοντέλο λειτουργίας. Η παραγωγή τσιμέντου αποτελεί μια από τις σημαντικότερες πηγές εκπομπών CO₂ παγκοσμίως, κυρίως λόγω της ασβεστοποίησης και της καύσης καυσίμων. Στο πλαίσιο αυτό, στόχος της μελέτης είναι η ανάλυση των πηγών εκπομπών, η αξιολόγηση των διαφορετικών τύπων τσιμέντου και η αποτύπωση των τεχνολογικών και στρατηγικών λύσεων που εφαρμόζονται διεθνώς για τη μείωση του περιβαλλοντικού φορτίου.

Η μεθοδολογία βασίστηκε στην ανάλυση κύκλου ζωής (LCA), στα δεδομένα Περιβαλλοντικών Δηλώσεων Προϊόντος (EPDs), στη συγκριτική αξιολόγηση των τύπων τσιμέντου (CEM I–IV), καθώς και στο benchmarking τριών μεγάλων ομίλων: TITAN, LafargeHolcim και HeidelbergCement. Παράλληλα, εξετάστηκαν οικονομικά στοιχεία, δείκτες βιωσιμότητας (ESG) και το επίπεδο υιοθέτησης καινοτόμων λύσεων όπως οι τεχνολογίες CCUS και η 3D εκτύπωση σκυροδέματος.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μεικτές κατηγορίες τσιμέντου (CEM II–IV) μειώνουν σημαντικά το ανθρακικό αποτύπωμα, με το CEM III να παρουσιάζει τις χαμηλότερες εκπομπές. Οι εταιρείες υιοθετούν συνδυαστικές στρατηγικές, όπως αύξηση εναλλακτικών καυσίμων, αντικατάσταση κλίνκερ και εφαρμογή λύσεων δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂. Το έργο «Ηφαιστος» της TITAN αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα μεγάλης κλίμακας εφαρμογής CCS, με στόχο τη δέσμευση 1,9 εκατ. τόνων CO₂ ετησίως και την παραγωγή πράσινου τσιμέντου.

Συμπερασματικά, η απανθρακοποίηση της βιομηχανίας τσιμέντου απαιτεί συνδυασμό τεχνολογικής καινοτομίας, οικονομικά βιώσιμων λύσεων και στρατηγικών συνεργασιών. Η υιοθέτηση low-carbon προϊόντων, η ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας και η σταδιακή εφαρμογή CCUS διαμορφώνουν τις βάσεις για επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας και της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050.

Λέξεις-κλειδιά: τσιμέντο, CO₂, βιωσιμότητα, CCUS, EPD & ESG

2. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες στην καθηγήτριά μου, κυρία Χατζηνταή Νικολέτα, για την πολύτιμη καθοδήγηση, τη συνεχή υποστήριξη και την αδιάκοπη βοήθειά της σε όλη τη διάρκεια της εργασίας μου. Η συμβολή της υπήρξε καθοριστική τόσο επιστημονικά όσο και ηθικά. Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω εγκάρδια τις αγαπητές συναδέλφους μου, την κυρία Λυκοκώστα Θεοδώρα από το εργοστάσιο Θεσσαλονίκης και την κυρία Κατερίνα Ξίνου από το εργοστάσιο Καμαρίου, για τη συνεργασία αλλά και την πολύτιμη συμβολή τους μέσα από την εμπειρία και την καθημερινή τους ενασχόληση στον ποιοτικό έλεγχο των εργοστασίων. Η βοήθειά τους αποτέλεσε σημαντικό πυλώνα στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Περιεχόμενα

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
2. Εισαγωγή.....	1
3. Τύποι Τσιμέντου TITAN	3
2.1. CEM I – Καθαρό Πορτολαντικό Τσιμέντο	3
2.2. CEM II – Σύνθετο Τσιμέντο με Αντικατάσταση Κλίνκερ	3
2.3. CEM III – Τσιμέντο με Υψηλή Περιεκτικότητα σε Σκωρία.....	4
2.4. CEM IV – Ποζολανικά Τσιμέντα	5
2.5. Περιβαλλοντική Σύγκριση.....	5
4. Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντος (EPDs).....	7
3.1. EPDs TITAN CEMENT GROUP ανά κατηγορία τσιμέντου	7
3.2. Εκπομπές CO ₂ ανά φάση κατηγορίας.....	8
3.3. Οικονομικές Αναλύσεις & Εκτιμήσεις Κόστους/Απόδοσης.....	13
3.3.1. Συσχέτιση Κόστους Παραγωγής με Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα.....	13
3.3.2. Απόδοση Επένδυσης (ROI) για Low-Carbon Τσιμέντα	13
3.3.3. Επιπτώσεις στην Τιμή Πώλησης.....	13
3.3.4. Συνολική Εκτίμηση	13
5. Συγκριτική Ανάλυση Εκπομπών CO₂ & Τεχνολογιών CCUS – TITAN, LafargeHolcim, HeidelbergCement.....	15
4.1. Σύγκριση Εκπομπών ανά Κατηγορία Τσιμέντου και Εταιρία	15
4.2. Τεχνολογίες CCUS (Carbon Capture, Utilization & Storage).....	15
4.3. Σύγκριση LafargeHolcim - TITAN – HeidelbergCement.....	16
4.4. Συμπεράσματα Benchmarking & Οικονομικά Στοιχεία & Επενδύσεις CCUS	17
6. Η Βιώσιμη Ανάπτυξη στη Βιομηχανία Τσιμέντου	20
5.1. Κύριες Δυσκολίες και Προκλήσεις.....	20
5.2. Σημαντικά KPIs (εκπομπές, καύσιμα, πράσινα προϊόντα).....	20
5.3. CCUS LafargeHolcim – Αναλυτική Περιγραφή Έργου δέσμευσης CO ₂	21

5.4.	Συγκριτική Ανάλυση KPIs & ESG Δεικτών για Ενεργειακή Απόδοση & Βιωσιμότητα	22
5.5.	Διεθνείς Συνεργασίες & Πρωτοβουλίες	22
5.6.	Οικονομικά Στοιχεία & Επενδύσεις CCUS	23
5.7.	Συμπεράσματα Benchmarking	25
7.	Το Έργο Ήφαιστος στο Εργοστάσιο Καμαρίου Τίταν	26
6.1.	Οικονομικές Πτυχές του Έργου Ήφαιστος.....	27
6.2.	Αναλυτικά Δεδομένα και Περιβαλλοντικοί Δείκτες	28
6.3.	Χρονοδιάγραμμα Υλοποίησης.....	29
6.4.	Βασικά Τεχνικά Στοιχεία και Υποδομές.....	30
6.5.	SWOT Ανάλυση του Έργου ΗΦΑΙΣΤΟΣ και της Αντικατάστασης Calciner στο Καμάρι	32
8.	Έργο: Αντικατάσταση Καμίνου Ασβεστοποίησης (Calciner) στο Καμάρι.....	34
7.1.	Χρονοδιάγραμμα Έργου Calciner – Καμάρι	35
9.	3D PRINTER Για τη Μείωση του Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος στη Βιομηχανία Τσιμέντου.....	36
8.1.	Συνολικό Κόστος Επένδυσης 3D Εκτυπωτή Σκυροδέματος.....	38
8.2.	Ποσοτική Μετάφραση σε Εκπομπές CO ₂	39
8.3.	Οφέλη & Πρακτική Εφαρμογή.....	39
8.4.	Η Συμβολή της 3D Εκτύπωσης στην Επίτευξη των Στόχων Net Zero	40
10.	Στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης ESG.....	41
9.1.	Στόχοι Βιωσιμότητας ΟΗΕ για την ΑΕ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΤΙΤΑΝ.....	42
9.2.	Οι συνεργασίες της εταιρείας στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης.....	43
9.3.	Δεσμεύσεις ESG και τα αποτελέσματα του Ομίλου.....	44
9.4.	Σύγκριση Ενεργειακής Απόδοσης και Βιωσιμότητας (2024 vs 2023) & μελλοντικές προοπτικές	47
9.5.	Πορεία Αναβάθμισης για Εξοικονόμηση Ενέργειας και NET ZERO 2050..	48
9.6.	Παραδείγματα από διεθνείς αγορές.....	50
9.7.	Τελικές Παρατηρήσεις και Μελλοντικές Κατευθύνσεις.....	51

11.	Συμπεράσματα.....	53
12.	Βιβλιογραφία	54

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1. Εκπομπές CO ₂ ανά Φάση Παραγωγής Τσιμέντου CEM II & CEMIII	8
Εικόνα 2. Σύγκριση Εκπομπών CO ₂ με Μέσους Όρους.....	9
Εικόνα 3. Εκπομπών CO ₂ ανά φάση κατηγορίας CEM I	9
Εικόνα 4. Εκπομπές CO ₂ με Μέσους Όρους και Low – Carbon Οριο.....	10
Εικόνα 5. Μέσες Εκπομπές CO ₂ ανά Κατηγορία Τσιμέντου	11
Εικόνα 6. Σύγκριση Εκπομπών CO ₂ ανά Κατηγορία Τσιμέντου	12
Εικόνα 7. 1ο Στάδιο Λειτουργίας του Ηφαιστος που δευσιμεύει το CO ₂	31
Εικόνα 8. 2ο Στάδιο Λειτουργίας του Ηφαιστος που μεταφέρει το CO ₂ μέσω πλοίων	32
Εικόνα 9. Ενδεικτική εικόνες πλεονεκτημάτων χρήσης του 3D PRINTER	37
Εικόνα 10. (α) Τοίχοι Αντιστήριξης κατασκευασμένοι με 3D εκτύπωση σκυροδέματος για αυξημένη αντοχή και μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, (β) Δοκός: δομικό στοιχείο μικρής κλίμακας, εκτυπωμένο με ειδικό μείγμα τσιμέντου και ανακυκλωμένα υλικά, (γ) Κυβόλιθος: προκατασκευασμένο στοιχείο για αστικές εφαρμογές, ενισχύοντας την κυκλική οικονομία.....	38
Εικόνα 11. Οι 17 στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ (Γενική Γραμματεία Συντονισμού, 2022)	41
Εικόνα 12. Τα νέα προϊόντα σκυροδέματος στην αγορά των ΗΠΑ (Ενιαία Ετήσια Έκθεση Απολογισμού TITAN, 2023)	51

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Εκπομπές CO ₂ για τους τύπους τσιμέντου CEMI, CEMII, CEMIII & CEMIV	5
Πίνακας 2. Εκτίμηση εκπομπών, κόστους παραγωγής, εμπορικής αξίας & απόδοση επένδυσης	14
Πίνακας 3. Εκπομπές ανά κατηγορία τσιμέντου.....	15
Πίνακας 4. Συνοπτικός Πίνακας Οικονομικών Δεικτών.....	18
Πίνακας 5. Οικονομικά Στοιχεία επενδύσεων σε CCUS ανά εταιρεία	24
Πίνακας 6. Παρουσία του Ομίλου Τιταν στους Διεθνείς οργανισμούς Ενιαία Ετήσια Έκθεση Απολογισμού ΤΙΤΑΝ, 2023)	43
Πίνακας 7. Ενέργειες ενίσχυσης της κυκλικής οικονομία από τον όμιλο ΤΙΤΑΝ (Ενιαία Ετήσια Έκθεση Απολογισμού ΤΙΤΑΝ, 2023)	45
Πίνακας 8. Συγκριτικοί δείκτες επίτευξης στόχων μεταξύ αποτελεσμάτων 2023 & 2024	47
Πίνακας 9. Ιστορική Αναδρομή και Σημαντικά Ορόσημα	48
Πίνακας 10. Σύνοψη Καταστάσεων Επίδοσης ESG/ Δείκτες Επιδόσεων ESG (Ενιαία Ετήσια Έκθεση Απολογισμού ΤΙΤΑΝ, 2023)	49

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ, ΣΥΜΒΟΛΩΝ & ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ

AI (Artificial Intelligence): Τεχνητή Νοημοσύνη, η οποία χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής διαχείρισης και την πρόβλεψη βλαβών.

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method): Μέθοδος περιβαλλοντικής αξιολόγησης κτιρίων.

CCS (Carbon Capture and Storage): Δέσμευση και Αποθήκευση Άνθρακα.

CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage): Δέσμευση, Αξιοποίηση και Αποθήκευση Άνθρακα.

CEM (Cement): Τύπος τσιμέντου σύμφωνα με το πρότυπο EN 197-1 (π.χ. CEM I, II, III, IV).

CO₂ (Carbon Dioxide): Διοξείδιο του Άνθρακα.

EPD (Environmental Product Declaration): Περιβαλλοντική Δήλωση Προϊόντος.

ESG (Environmental, Social, Governance): Κριτήρια για το Περιβάλλον, την Κοινωνία και την Εταιρική Διακυβέρνηση.

EU ETS (European Union Emissions Trading System): Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

GCCA (Global Cement and Concrete Association): Παγκόσμια Ένωση Τσιμέντου και Σκυροδέματος.

KPIs (Key Performance Indicators): Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (π.χ. ένταση CO₂, ρυθμός υποκατάστασης καυσίμων).

LCA (Life Cycle Assessment): Ανάλυση Κύκλου Ζωής.

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design): Πρότυπο πιστοποίησης «πράσινων» κτιρίων.

Net Zero: Καθαρό μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα.

RDF (Refuse Derived Fuel): Καύσιμο προερχόμενο από απορρίμματα.

SDGs (Sustainable Development Goals): Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ.

3. Εισαγωγή

Η βιομηχανία τσιμέντου αποτελεί έναν από τους πλέον στρατηγικούς και καθοριστικούς κλάδους της παγκόσμιας οικονομίας, καθώς το τσιμέντο είναι βασικό δομικό υλικό για την ανάπτυξη των υποδομών, των κτιρίων και των έργων πολιτικού μηχανικού. Παράλληλα, η παραγωγή τσιμέντου συνδέεται άρρηκτα με σημαντικές περιβαλλοντικές προκλήσεις, καθώς χαρακτηρίζεται από υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και αξιοσημείωτη χρήση φυσικών πόρων. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της βιομηχανίας τσιμέντου έχει αναδειχθεί ως ένα από τα πλέον κρίσιμα ζητήματα της σύγχρονης επιστημονικής και τεχνολογικής έρευνας, καθώς και της διεθνούς πολιτικής για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA) και της Global Cement and Concrete Association (GCCA), η βιομηχανία τσιμέντου ευθύνεται για περίπου το 7-8% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) παγκοσμίως. Η παραγωγική διαδικασία περιλαμβάνει την εξόρυξη πρώτων υλών, τη θέρμανση κλίνκερ σε υψηλές θερμοκρασίες και τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, κυρίως από ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, η χημική αντίδραση της ασβεστόλιθου κατά την παραγωγή του κλίνκερ συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές CO₂, ανεξάρτητα από την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται.

Η αυξανόμενη ευαισθητοποίηση της κοινωνίας και η εντατικοποίηση των διεθνών προσπαθειών για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής έχουν οδηγήσει σε αυστηρότερες ρυθμιστικές απαιτήσεις και σε νέες στρατηγικές για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της βιομηχανίας τσιμέντου. Οι εταιρείες του κλάδου καλούνται να υιοθετήσουν καινοτόμες τεχνολογίες, να επενδύσουν σε εναλλακτικά καύσιμα και πρώτες ύλες, να βελτιώσουν την ενεργειακή τους απόδοση και να ενισχύσουν την κυκλική οικονομία. Παράλληλα, η εφαρμογή διεθνών προτύπων και η δημοσίευση εκθέσεων βιωσιμότητας (ESG reports) αποτελούν πλέον αναπόσπαστο μέρος της εταιρικής στρατηγικής, με στόχο τη διαφάνεια, τη λογοδοσία και την ενίσχυση της εμπιστοσύνης των ενδιαφερόμενων μερών. Στην Ελλάδα, η βιομηχανία τσιμέντου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην οικονομική ανάπτυξη και την απασχόληση, ενώ ταυτόχρονα αντιμετωπίζει τις ίδιες προκλήσεις με τις διεθνείς αγορές. Οι ελληνικές εταιρείες, όπως ο Όμιλος TITAN και η Lafarge, έχουν υιοθετήσει φιλόδοξους στόχους για τη μείωση των εκπομπών CO₂, την αύξηση της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων και την ενίσχυση της περιβαλλοντικής διαχείρισης. Ενδεικτικά, οι δράσεις που αφορούν την υιοθέτηση τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS), την παραγωγή «πράσινου» τσιμέντου και την αξιοποίηση αποβλήτων ως δευτερογενών πρώτων υλών, αποτελούν πλέον βασικούς πυλώνες της στρατηγικής των εταιρειών του κλάδου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στη διερεύνηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της βιομηχανίας τσιμέντου, αναλύοντας τις πηγές και τους τύπους των εκπομπών, τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις ρυθμιστικές απαιτήσεις και τις βέλτιστες πρακτικές που εφαρμόζονται διεθνώς και στην Ελλάδα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη συγκριτική αξιολόγηση των εταιρικών εκθέσεων βιωσιμότητας, στη μελέτη των δεικτών ESG και στη συμβολή της καινοτομίας στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Μέσα από την ανάλυση αυτή, επιδιώκεται η ανάδειξη των προκλήσεων και των ευκαιριών που διαμορφώνονται για τον κλάδο, καθώς και η διατύπωση προτάσεων για την περαιτέρω ενίσχυση της βιώσιμης ανάπτυξης στη βιομηχανία τσιμέντου.

Συνοψίζοντας, η μελέτη του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στη βιομηχανία τσιμέντου αποτελεί ένα πεδίο με ιδιαίτερη σημασία για την επίτευξη των στόχων της βιώσιμης ανάπτυξης, την προστασία του περιβάλλοντος και την ενίσχυση της κοινωνικής ευθύνης των επιχειρήσεων. Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να συμβάλει στην επιστημονική γνώση και στον διάλογο για τη μετάβαση του κλάδου σε ένα πιο βιώσιμο και ανταγωνιστικό μέλλον.

4. Τύποι Τσιμέντου TITAN

Η TITAN προσφέρει διάφορους τύπους τσιμέντου με βάση το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 197-1: CEM I, CEM II, CEM III και CEM IV. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 197-1, κάθε υποκατηγορία κωδικοποιείται με βάση τον τύπο του τσιμέντου, την αντοχή σε MPa μετά από 28 ημέρες (32.5, 42.5, 52.5), και το επίπεδο της πρώιμης αντοχής (N: Κανονική, R: Υψηλή). Με βάση αυτή την κωδικοποίηση, οι μηχανικοί και οι κατασκευαστές μπορούν να γνωρίζουν ακριβώς τις ιδιότητες του υλικού, ανεξάρτητα από τη μάρκα του τσιμέντου. (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023)

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτική αξιολόγηση των τεσσάρων βασικών τύπων τσιμέντου της εταιρίας TITAN καθώς και των υποκατηγοριών τους.

2.1. CEM I – Καθαρό Πορτολαντικό Τσιμέντο

Το CEM I είναι η τεχνική ονομασία για το αμιγές Τσιμέντο Πόρτλαντ (Portland Cement). Πρόκειται για την πιο καθαρή, χωρίς πρόσμικτα μορφή τσιμέντου. Αποτελείται κατά 95-100% από κλίνκερ (το βασικό συστατικό του τσιμέντου). Χρησιμοποιείται κυρίως σε έργα υψηλής αντοχής, όμως σταδιακά αντικαθίσταται από πιο φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις.

Υποκατηγορίες:

- CEM I 42.5 N
- CEM I 52.5 N

Περιβαλλοντικά Στοιχεία:

- Υψηλή περιεκτικότητα σε κλίνκερ (>90%)
- Μέση εκπομπή CO₂: ~850–900 kg/tn τσιμέντου
- Μικρή χρήση εναλλακτικών πρώτων υλών ή καυσίμων

Το CEM I αποτελεί την πλέον ενεργοβόρα και περιβαλλοντικά επιβαρυντική κατηγορία, με σημαντικές εκπομπές Scope 1 CO₂ λόγω της υψηλής αναλογίας κλίνκερ. (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023) (GCCA, 2024)

2.2. CEM II – Σύνθετο Τσιμέντο με Αντικατάσταση Κλίνκερ

Το CEM II είναι η κωδική ονομασία για το Σύνθετο Τσιμέντο Πόρτλαντ (Portland Composite Cement). Είναι η πιο διαδεδομένη κατηγορία τσιμέντου στην αγορά. Σε αντίθεση με το CEM I περιέχει πρόσμικτα που βελτιώνουν συγκεκριμένες ιδιότητες (π.χ. εργασιμότητα, αντοχή στο χρόνο).

Υποκατηγορίες:

- CEM II/A-LL 42.5 N
- CEM II/B-M (V-LL) 32.5 N
- CEM II/B-M (S-V) 42.5 N
- CEM II/B-L 42.5 N

Περιβαλλοντικά Στοιχεία:

- Αναλογία κλίνκερ: ~65–80%
- Εκπομπές CO₂: ~600–750 kg/tn τσιμέντου
- Υψηλότερη χρήση εναλλακτικών καυσίμων (π.χ. RDF, βιομάζα)

Το CEM II αποτελεί την κυρίαρχη κατηγορία για έργα με περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Οι μειωμένες εκπομπές επιτυγχάνονται μέσω αντικατάστασης του κλίνκερ με ασβεστόλιθο (LL), ιπτάμενη τέφρα (V), σκωρία υψικαμίνων (S) και φυσικές ποζολάνες. (GCCA, 2024) (3 & Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος)

2.3. CEM III – Τσιμέντο με Υψηλή Περιεκτικότητα σε Σκωρία

Πρόκειται για τσιμέντο που περιέχει μεγάλο ποσοστό σκωρίας υψικαμίνου (από 36% έως 95%), προσφέροντας χαμηλότερη θερμότητα ενυδάτωσης, υψηλή αντοχή σε βάθος χρόνου και εξαιρετική αντοχή σε θειικά άλατα και χλωρίδια, καθιστώντας το ιδανικό για μεγάλα έργα, θαλάσσιες κατασκευές και επιθετικά περιβάλλοντα. Συνήθως παράγεται ή διατίθεται κατόπιν ειδικής παραγγελίας.

Υποκατηγορίες:

- CEM III/A 42.5 N
- CEM III/B 32.5 N

Περιβαλλοντικά Στοιχεία:

- Περιεκτικότητα σκωρίας: έως 80%
- Εκπομπές CO₂: ~400–500 kg/tn
- Πολύ χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα (low-carbon cement) (GCCA, 2024)

Τα CEM III προϊόντα είναι ιδιαίτερα φιλικά προς το περιβάλλον, με μεγάλη μείωση του Scope 1 CO₂ λόγω αντικατάστασης του κλίνκερ με κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνων. Ιδανικά για υποδομές με απαίτηση ανθεκτικότητας και χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

2.4. CEM IV – Ποζολανικά Τσιμέντα

Το CEM IV είναι η τεχνική ονομασία για το Ποζολανικό Τσιμέντο. Είναι μια σύγχρονη κατηγορία τσιμέντου που κερδίζει έδαφος γιατί συνδυάζει υψηλή αντοχή στον χρόνο (ανθεκτικότητα) με οικολογικό χαρακτήρα (χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα).

Υποκατηγορίες:

- CEM IV/A (P) 32.5 N
- CEM IV/B (V) 32.5 R

Περιβαλλοντικά Στοιχεία:

- Περιεκτικότητα σε ποζολάνες: 21–50%
- Εκπομπές CO₂: ~500–600 kg/tn
- Βελτιωμένη ανθεκτικότητα σε θειικά και θαλάσσιο περιβάλλον

Τα CEM IV αξιοποιούν φυσικές και τεχνητές ποζολάνες, μειώνοντας το ανθρακικό αποτύπωμα και προσφέροντας αντοχή σε διαβρωτικά περιβάλλοντα. Χρήσιμα σε υποθαλάσσια έργα και κατασκευές σε όξινο έδαφος. (GCCA, 2024)

2.5. Περιβαλλοντική Σύγκριση

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι εκπομπές CO₂ για τους διάφορους τύπους τσιμέντου.

Πίνακας 1. Εκπομπές CO₂ για τους τύπους τσιμέντου CEMI, CEMII, CEMIII & CEMIV (GCCA, 2024) (II & Le Quééré, 2009)

Κατηγορία	Μέση Εκπομπή CO ₂ (kg/tn)	Κύρια Υλικά Υποκατάστασης	Βαθμός Βιωσιμότητας
CEM I	850–900	-	Χαμηλός
CEM II	600–750	LL, V, S, P	Μέτριος
CEM III	400–500	Σκωρία (S)	Υψηλός
CEM IV	500–600	Ποζολάνες (P, V)	Υψηλός

Ο πίνακας δείχνει ότι όσο μειώνεται το ποσοστό κλίνκερ και αυξάνονται τα υλικά υποκατάστασης, τόσο μειώνονται οι εκπομπές CO₂ και βελτιώνεται η περιβαλλοντική επίδοση του τσιμέντου (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023) (GCCA, 2024). Το CEM I εμφανίζει τις υψηλότερες εκπομπές λόγω της σχεδόν αποκλειστικής σύνθεσής του από κλίνκερ, ενώ το CEM II παρουσιάζει αισθητή μείωση μέσω προσθηκών όπως ασβεστόλιθος, ιπτάμενη τέφρα και σκωρία. Τα CEM III και CEM IV καταγράφουν τις χαμηλότερες εκπομπές, καθώς αξιοποιούν σε μεγαλύτερο βαθμό σκωρία και ποζολανικά υλικά. Πέραν αυτών των κατηγοριών, η σύγχρονη έρευνα εξετάζει και εναλλακτικά συνδετικά υλικά, όπως τα γεωπολυμερή (alkali-activated materials), τα οποία υπό προϋποθέσεις μπορούν να προσφέρουν ακόμα χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα έναντι του τσιμέντου Portland, αν και η ευρεία βιομηχανική τους εφαρμογή αντιμετωπίζει ακόμα προκλήσεις διαθεσιμότητας πρώτων υλών (4 & Provis) (5 & Habert).

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, η μείωση του κλίνκερ μέσω της χρήσης συμπληρωματικών τσιμεντοειδών υλικών (SCMs), όπως η σκωρία και η ιπτάμενη τέφρα, θεωρείται η πλέον άμεσα εφαρμόσιμη και οικονομικά βιώσιμη στρατηγική για τη μείωση του παγκόσμιου αποτυπώματος CO₂ της τσιμεντοβιομηχανίας (6 & Scrivener, 2018). Επιπλέον, μοντέλα πρόβλεψης δείχνουν ότι η περαιτέρω μείωση του λόγου κλίνκερ-τσιμέντου αποτελεί βασικό πυλώνα για την επίτευξη των στόχων του 2050 (7 & Miller, 2018).

5. Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντος (EPDs)

Οι Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντος (Environmental Product Declarations - EPDs) αποτελούν τεκμηριωμένα έγγραφα που παρέχουν διαφανείς και επαληθεύσιμες πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός προϊόντος καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Στην περίπτωση της τσιμεντοβιομηχανίας, οι EPDs επιτρέπουν τη σύγκριση διαφορετικών τύπων τσιμέντου ως προς τις εκπομπές CO₂, τη χρήση ενέργειας, τους φυσικούς πόρους και άλλα κρίσιμα περιβαλλοντικά μεγέθη.

Οι Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντων (EPDs) που εκδίδει η TITAN Cement Group βασίζονται σε αυστηρές αξιολογήσεις Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA) και προσδιορίζοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προϊόντων από την εξόρυξη πρώτων υλών μέχρι την έξοδο από το εργοστάσιο (στάδια A1-A3) (8 & Απολογισμού, 2023). Η επιστημονική μεθοδολογία LCA επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, εντοπίζοντας ότι το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών προέρχεται από τη διεργασία της ασβεστοποίησης (calcination) και την καύση ορυκτών καυσίμων (9 & Valderrama, 2012). Συνεπώς, η σύγκριση μέσω EPDs παρέχει μια αξιόπιστη βάση για την επιλογή υλικών χαμηλού άνθρακα από το στάδιο της εξόρυξης έως την πύλη του εργοστασίου (Cradle-to-Gate) (10 & Stafford, 2020).

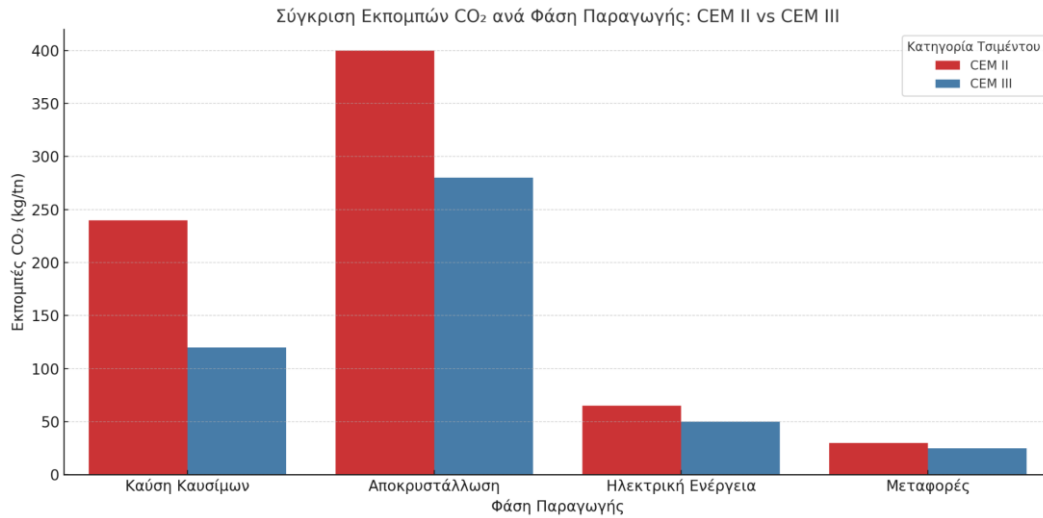
3.1. EPDs TITAN CEMENT GROUP ανά κατηγορία τσιμέντου

Η TITAN Cement Group δημοσιεύει EPDs για κάθε κατηγορία τσιμέντου που παράγει, σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο EN 15804 (European Standard for construction products) και τις απαιτήσεις του προγράμματος ECO Platform. Οι EPDs της TITAN έχουν επικυρωθεί από ανεξάρτητους φορείς και είναι διαθέσιμες στο επίσημο site της εταιρείας. (8 & Απολογισμού, 2023)

Οι κατηγορίες τσιμέντου που καλύπτονται από EPDs περιλαμβάνουν:

1. CEM I 42.5R: Υψηλή αντοχή, αλλά και η υψηλότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση (~850–900 kg CO₂/tn).
2. CEM II/A-M (L-V) 42.5N & CEM II/B-M (S-V) 42.5N: Ενδιάμεσες εκπομπές (~600–750 kg CO₂/tn) χάρη στη χρήση προσμίξεων.
3. CEM III/A & CEM III/B: Πολύ χαμηλές εκπομπές (~400–500 kg CO₂/tn), με υψηλή συμμετοχή σκωρίας υψικαμίνου.
4. CEM IV/A (P): Περιέχει ποζολάνη, με εκπομπές μεταξύ 500–600 kg CO₂/tn.

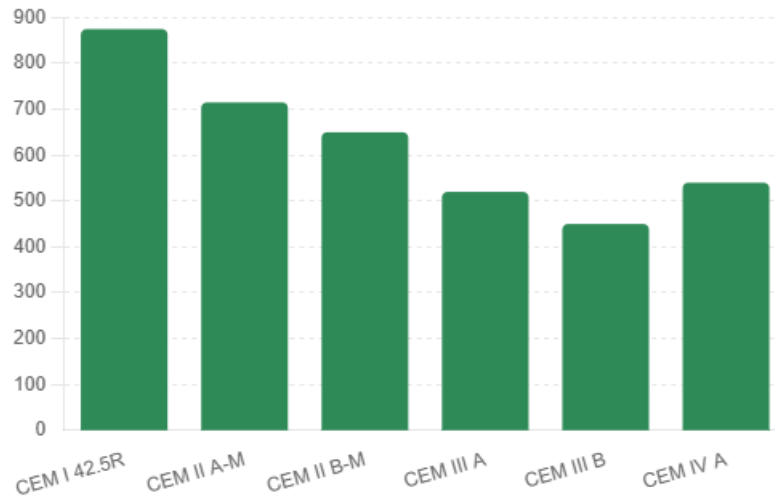
3.2. Εκπομπές CO₂ ανά φάση κατηγορίας



Εικόνα 1. Εκπομπές CO₂ ανά Φάση Παραγωγής Τσιμέντου CEM II & CEM III (12 & Commission, 2022) (GCCA, 2024)

Η παραπάνω Εικόνα 1 παρουσιάζει τις εκπομπές CO₂ σε kg/tm για κάθε φάση παραγωγής τσιμέντου τύπου CEM II & CEM III. (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023)

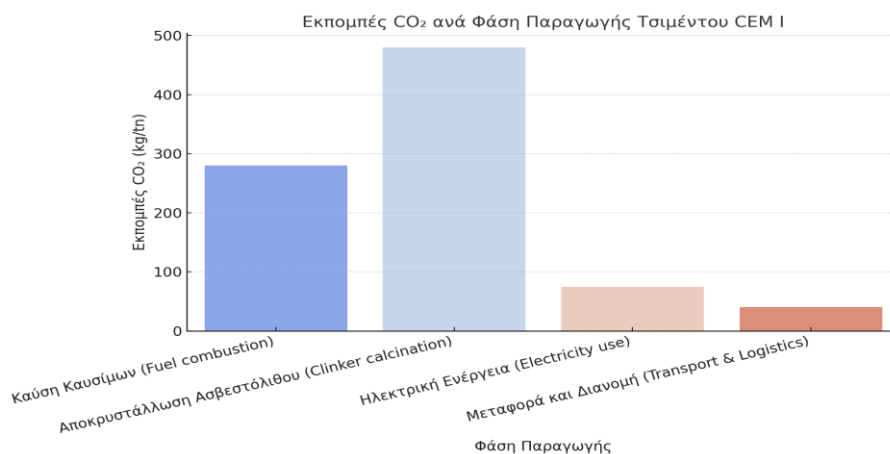
- Αυτό το συγκριτικό γράφημα δείχνει πώς κατανέμονται οι εκπομπές CO₂ μεταξύ των κύριων φάσεων παραγωγής για τις κατηγορίες CEM II και CEM III. Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από το διάγραμμα είναι ότι: Το CEM III έχει σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές σε όλες τις φάσεις, κυρίως επειδή περιέχει λιγότερο κλίνκερ.
- Η Ασβεστοποίηση (Calcination) και η Καύση Καυσίμων είναι οι κύριες πηγές εκπομπών, αλλά μειώνονται σημαντικά στο CEM III (~30–40%). (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023) (11 & Le Quéré, 2009)
- Οι Μεταφορές και η Ηλεκτρική Ενέργεια έχουν μικρότερη συμβολή αλλά επηρεάζονται θετικά λόγω χαμηλότερων αναγκών ενέργειας ανά μονάδα προϊόντος.



Εικόνα 2. Σύγκριση Εκπομπών CO₂ με Μέσους Όρους (GCCA, 2024) (12 & Commission, 2022)

Η παραπάνω Εικόνα 2 απεικονίζει τις εκπομπές CO₂ (σε kg/τόνο προϊόντος) για τις βασικές κατηγορίες τσιμέντου με βάση τις EPDs της TITAN. Από το διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι:

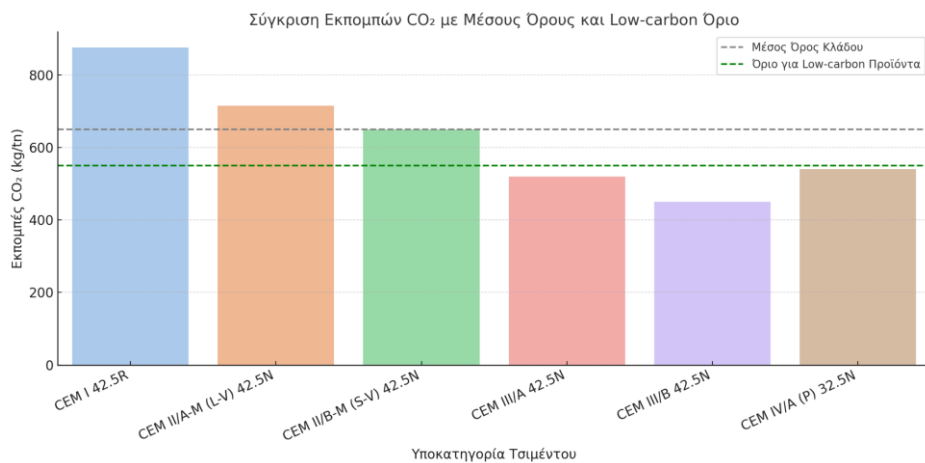
- Το CEM I 42.5R έχει τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση (~875 kg/tn).
- Οι τύποι CEM III A/B έχουν τις χαμηλότερες εκπομπές (< 520 kg/tn), καθιστώντας τους ιδανικούς για έργα με απαιτήσεις βιωσιμότητας.
- Ο CEM II B-M προσφέρει καλό συμβιβασμό ανάμεσα σε απόδοση και περιβαλλοντικό όφελος.
- Το CEM IV A βασισμένο σε ποζολάνες παρουσιάζει ενδιάμεση τιμή, προσφέροντας μια πιο οικολογική εναλλακτική στον CEM I.



Εικόνα 3. Εκπομπών CO₂ ανά φάση κατηγορίας CEM I (8 & Απολογισμού, 2023)

Στην Εικόνα 3 φαίνεται η παραγωγή CO₂ στα στάδια παραγωγής του τύπου CEM I, που είναι και το πιο ενεργοβόρο. Αναλύοντας το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι:

1. Ασβεστοποίηση Ασβεστόλιθου (Calcination):
 - Ευθύνεται για ~480 kg/tn
 - Είναι η κυριότερη πηγή εκπομπών λόγω της χημικής αντίδρασης κατά τη δημιουργία κλίνκερ.
2. Καύση Καυσίμων:
 - Περίπου 280 kg/tn
 - Προέρχεται από τη χρήση ορυκτών καυσίμων (κυρίως άνθρακα, πετ κοκ, RDF).
3. Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας:
 - 75 kg/tn
 - Αφορά κυρίως τους μύλους, μεταφορικές ταινίες και ψυκτικά συστήματα και άλλα.
4. Μεταφορές και Διανομή:
 - 40 kg/tn
 - Περιλαμβάνει τις εκπομπές από μεταφορικά μέσα μέχρι τον τελικό προορισμό.



Εικόνα 4. Εκπομπές CO₂ με Μέσους Όρους και Low – Carbon Όριο (12 & Commission, 2022) (GCCA, 2024)

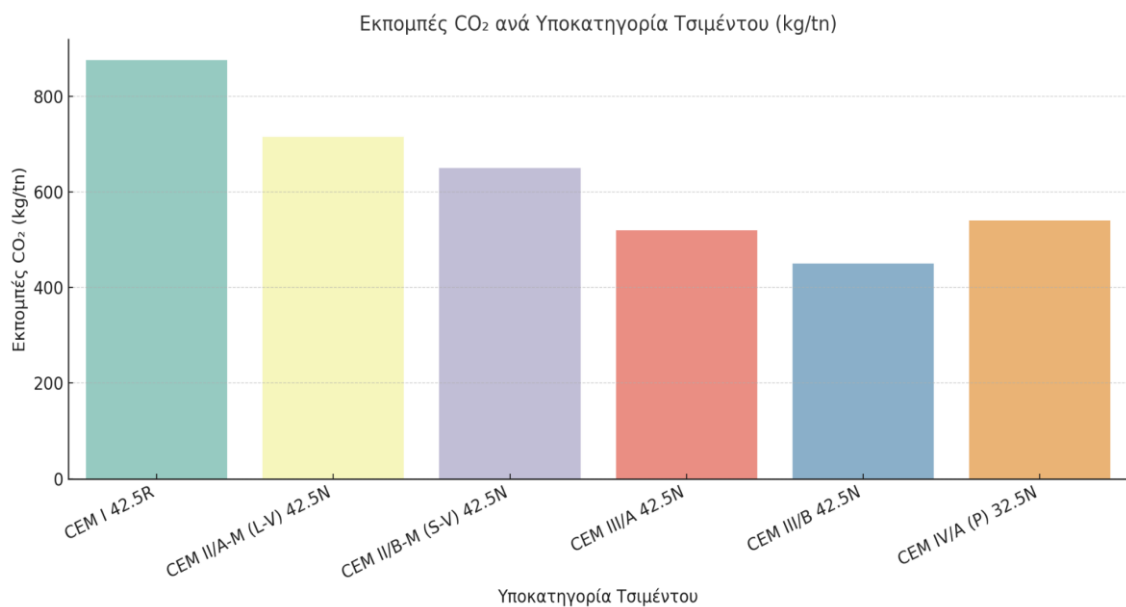
Η παραπάνω Εικόνα 4 συγκρίνει τις μέσες εκπομπές CO₂ για κάθε υποκατηγορία τσιμέντου της TITAN με:

- Μέσο Όρο Κλάδου (650 kg/tn): Βασισμένο σε δεδομένα GCCA και EPDs για κλασικά τσιμέντα.

- Όριο για χαρακτηρισμό “Low-carbon” (550 kg/tn): Τυπικό κατώφλι που χρησιμοποιείται σε περιβαλλοντικές πιστοποιήσεις (LEED, BREEAM κ.λπ.). (12 & Commission, 2022) (GCCA, 2024)

Παρατηρούμε ότι:

- Μόνο οι υποκατηγορίες CEM III/B και CEM IV/A (P) πληρούν τον χαρακτηρισμό «χαμηλών εκπομπών».
- Οι CEM I και CEM II/A-M υπερβαίνουν τον μέσο όρο του κλάδου.
- Οι CEM III αποτελούν ιδανική επιλογή για έργα μηδενικού ή μειωμένου αποτυπώματος άνθρακα.



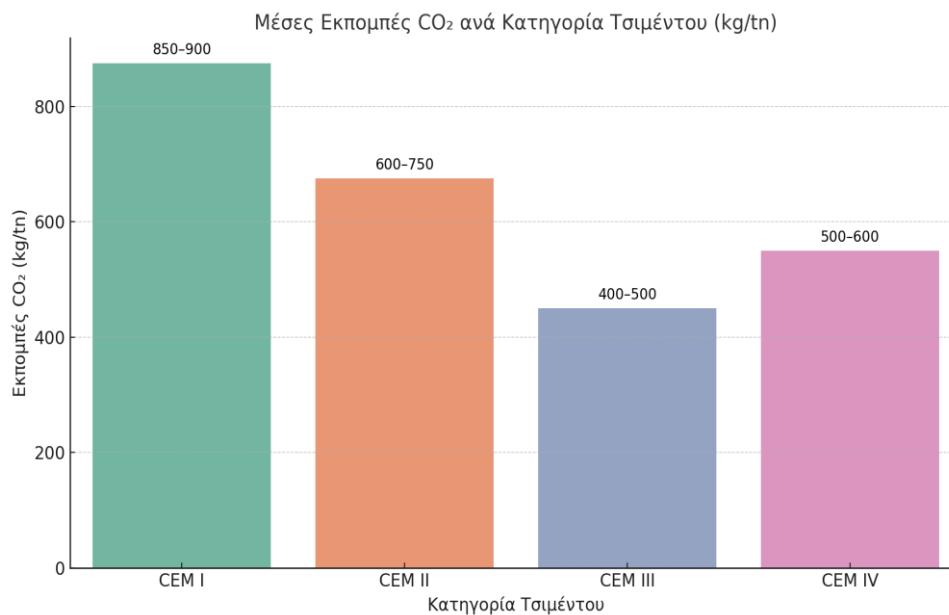
Εικόνα 5. Μέσες Εκπομπές CO₂ ανά Κατηγορία Τσιμέντου (8 & Απολογισμού, 2023) (GCCA, 2024)

Η Εικόνα 5 παρουσιάζει τις μέσες εκπομπές CO₂ (σε kg ανά τόνο προϊόντος) για επιλεγμένες υποκατηγορίες τσιμέντου που προσφέρει η TITAN Cement Group, με βάση τις EPDs που έχουν δημοσιευτεί:

- CEM I 42.5R: Υψηλό ανθρακικό αποτύπωμα (~875 kg/tn), λόγω της 100% σύστασης σε κλίνκερ.
- CEM II/A-M (L-V) 42.5N: Ενδιάμεσο επίπεδο (~715 kg/tn), μερική αντικατάσταση με ποζολάνες και ασβεστόλιθο.
- CEM II/B-M (S-V) 42.5N: Καλύτερη επίδοση (~650 kg/tn), λόγω μεγαλύτερου ποσοστού υποκατάστασης με σκωρία και ποζολάνες.

- CEM III/A και III/B: Πολύ χαμηλές εκπομπές (450–520 kg/tn), χάρη στη μεγάλη συμμετοχή σκωρίας υψικαμίνου (blast furnace slag).
- CEM IV/A (P): Υψηλή περιεκτικότητα σε φυσική ποζολάνη – καλή περιβαλλοντική επίδοση (~540 kg/tn).

Αυτά τα δεδομένα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για έργα που στοχεύουν σε πιστοποίηση βιωσιμότητας (π.χ. LEED, BREEAM) και για την επιλογή προϊόντων με χαμηλές εκπομπές άνθρακα.



Εικόνα 6. Σύγκριση Εκπομπών CO₂ ανά Κατηγορία Τσιμέντου (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023) (GCCA, 2024)

Η παραπάνω Εικόνα 6 απεικονίζει τη μέση ποσότητα εκπομπών CO₂ (σε kg ανά τόνο προϊόντος) για κάθε βασική κατηγορία τσιμέντου

- CEM I (Πλήρης Κλίνκερ): Παρουσιάζει τις υψηλότερες εκπομπές (875 kg/tn), λόγω της καθαρής σύστασής του σε κλίνκερ, το οποίο είναι ο βασικός φορέας εκπομπών CO₂.
- CEM II (Μεικτό Τσιμέντο): Έχει χαμηλότερες εκπομπές (~675 kg/tn) χάρη στην προσθήκη υλικών όπως τέφρα, ασβεστόλιθος ή σκωρίες.
- CEM III (Υψηλό σε Σκωρίες): Έχει την πιο χαμηλή περιβαλλοντική επίδοση (~450 kg/tn), καθώς το κλίνκερ υποκαθίσταται από μεγάλες ποσότητες βιομηχανικών υποπροϊόντων.
- CEM IV (Ποζολανικά): Καλή απόδοση (~550 kg/tn), ειδικά όταν περιλαμβάνει φυσικές ποζολάνες ή ιπτάμενη τέφρα.

Η αντικατάσταση του CEM I από μεικτές μορφές όπως CEM II, CEM III & CEM IV αποτελεί βασική στρατηγική για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος στον τομέα των δομικών υλικών. Ο ρόλος των EPDs είναι κρίσιμος στην τεκμηρίωση αυτών των διαφορών.

3.3. Οικονομικές Αναλύσεις & Εκτιμήσεις Κόστους/Απόδοσης

3.3.1. Συσχέτιση Κόστους Παραγωγής με Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα

CEM I: Υψηλό κόστος παραγωγής λόγω μεγάλης περιεκτικότητας σε κλίνκερ (>90%), που απαιτεί υψηλή θερμοκρασία και ενέργεια. Αυτό οδηγεί σε αυξημένες εκπομπές CO₂ (~850–900 kg/tn τσιμέντου) και υψηλό κόστος αγοράς ενέργειας και δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ (EU ETS).

CEM II: Χαμηλότερο κόστος παραγωγής λόγω χρήσης υποκατάστατων (ασβεστόλιθος, σκωρία, ποζολάνες), με εκπομπές CO₂ ~600–750 kg/tn. Μειωμένες δαπάνες για δικαιώματα εκπομπών.

CEM III: Ακόμα χαμηλότερο κόστος παραγωγής και εκπομπές CO₂ (~400–500 kg/tn), λόγω υψηλής χρήσης σκωρίας υψικαμίνου (έως 80%). Εξοικονόμηση σε ενέργεια και δικαιώματα εκπομπών.

CEM IV: Ενδιάμεσο κόστος και εκπομπές CO₂ (~500–600 kg/tn), με χρήση ποζολάνης/ιπτάμενης τέφρας.

3.3.2. Απόδοση Επένδυσης (ROI) για Low-Carbon Τσιμέντα

Η χρήση CEM III και CEM IV σε έργα με περιβαλλοντικές πιστοποιήσεις (LEED, BREEAM) αυξάνει την εμπορική αξία και μειώνει το συνολικό κόστος συμμόρφωσης με κανονισμούς.

Παρά το ελαφρώς υψηλότερο κόστος πρώτων υλών (π.χ. σκωρία), η εξοικονόμηση σε δικαιώματα εκπομπών CO₂ και η δυνατότητα συμμετοχής σε «πράσινα» έργα οδηγεί σε καλύτερη απόδοση επένδυσης μακροπρόθεσμα.

3.3.3. Επιπτώσεις στην Τιμή Πώλησης

Τα τσιμέντα με χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα (CEM III/B, CEM IV/A) μπορούν να πωλούνται σε υψηλότερη τιμή λόγω της ζήτησης για βιώσιμα προϊόντα, ενώ τα CEM I αντιμετωπίζουν πιέσεις τιμής λόγω αυστηρότερων κανονισμών και αυξημένου κόστους εκπομπών.

3.3.4. Συνολική Εκτίμηση

Η μετάβαση από CEM I σε CEM II, III, IV αποτελεί στρατηγική επιλογή για τη μείωση του κόστους συμμόρφωσης και τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας, με ταυτόχρονη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Πίνακας 2. Εκτίμηση εκπομπών, κόστους παραγωγής, εμπορικής αξίας & απόδοση επένδυσης (8 & Απολογισμού, 2023) (GCCA, 2024) (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023)

Τύπος Τσιμέντου	Εκπομπές CO ₂ (kg/tn)	Κόστος Παραγωγής	Εμπορική Αξία	Απόδοση Επένδυσης
CEM I	850–900	Υψηλό	Μέτρια	Χαμηλή
CEM II	600–750	Μέτριο	Υψηλή	Μέτρια/Υψηλή
CEM III	400–500	Χαμηλό	Υψηλή	Υψηλή
CEM IV	500–600	Μέτριο	Υψηλή	Υψηλή

6. Συγκριτική Ανάλυση Εκπομπών CO₂ & Τεχνολογιών CCUS – TITAN, LafargeHolcim, HeidelbergCement

4.1. Σύγκριση Εκπομπών ανά Κατηγορία Τσιμέντου και Εταιρία

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι εκπομπές CO₂ ανά κατηγορία τσιμέντου για τις 3 εταιρίες TITAN, LafargeHolcim και HeidelbergCement.

Πίνακας 3. Εκπομπές ανά κατηγορία τσιμέντου (13 & LafargeHolcim, 2024) (14 & HeidelbergCement, 2024) (GCCA, 2024) (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023)

Κατηγορία Τσιμέντου (GCCA)	TITAN	LafargeHolcim	HeidelbergCemen	Μέσος Όρος Κλάδου
CEM I	850–900	850–950	850–900	~850
CEM II	600–750	650–800	650–750	~675
CEM III	400–500	450–550	450–500	~450
CEM IV	500–600	520–650	520–600	~550

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα όλες οι εταιρείες συγκλίνουν σε χαμηλότερες εκπομπές CO₂ στις κατηγορίες CEM III και CEM IV, με τα προϊόντα τους να πληρούν τα διεθνή κριτήρια low-carbon.

4.2. Τεχνολογίες CCUS (Carbon Capture, Utilization & Storage)

Οι τεχνολογίες CCUS (Carbon Capture, Utilization & Storage) αποτελούν ένα σύνολο λύσεων που στοχεύουν στη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023) από βιομηχανικές διεργασίες υψηλών εκπομπών, όπως η παραγωγή τσιμέντου, και στη συνέχεια είτε στην αξιοποίησή του ως πρώτη ύλη σε άλλες εφαρμογές είτε στην ασφαλή αποθήκευσή του ώστε να μην απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα. Στην πράξη, το CO₂ μπορεί να συλλέγεται από τα καυσαέρια μέσω τεχνολογιών όπως η χημική απορρόφηση (13 & LafargeHolcim, 2024) (14 & HeidelbergCement, 2024) και να συμπιέζεται, έτσι ώστε στη συνέχεια να οδηγείται σε επόμενη χρήση ή σε μεταφορά για μόνιμη αποθήκευση. Η αξιοποίηση του δεσμευμένου CO₂ μπορεί να περιλαμβάνει εφαρμογές σε βιομηχανικές διεργασίες, στη γεωργία (π.χ. ενίσχυση καλλιεργειών σε θερμοκήπια), καθώς και στην παραγωγή δομικών υλικών μέσω διαδικασιών ανθρακοποίησης, όπου το CO₂ ενσωματώνεται σε στερεή μορφή. Σε περιπτώσεις όπου η αξιοποίηση δεν είναι εφικτή ή επαρκής, το CO₂ μπορεί να αποθηκευτεί μακροχρόνια σε κατάλληλους γεωλογικούς σχηματισμούς, όπως εξαντλημένα κοιτάσματα

υδρογονανθράκων ή βαθιά αλατούχα υδροφόρα στρώματα, μειώνοντας σημαντικά το καθαρό ανθρακικό αποτύπωμα της παραγωγής.

Το CCUS θεωρείται τεχνολογία ζωτικής σημασίας για τον κλάδο. Καθώς περίπου το 60% των εκπομπών στην παραγωγή τσιμέντου προέρχεται από τη χημική αντίδραση της ασβεστοποίησης και όχι από την καύση, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης από μόνη της δεν επαρκεί για την πλήρη απανθρακοποίηση (15 & Plaza, 2020). Τεχνολογίες όπως η χημική απορρόφηση (amine scrubbing) και ο άμεσος διαχωρισμός (όπως η τεχνολογία LEILAC που μελετάται διεθνώς) προσφέρουν τη δυνατότητα δέσμευσης αυτών των αναπόφευκτων εκπομπών διεργασίας (16 & Hills, 2016).

4.3. Σύγκριση LafargeHolcim - TITAN – HeidelbergCement

Οι μεγάλες τσιμεντοβιομηχανίες στην Ευρώπη έχουν εντάξει τις τεχνολογίες CCUS (Carbon Capture, Utilisation and Storage) στον πυρήνα των στρατηγικών τους για την απανθρακοποίηση της παραγωγής τσιμέντου. Η LafargeHolcim (Holcim Group) συμμετέχει ενεργά σε ευρωπαϊκά χρηματοδοτικά και ρυθμιστικά πλαίσια (12 & Commission, 2022) (13 & LafargeHolcim, 2024) όπως το Innovation Fund, το ETS και τον μηχανισμό CBAM, με στόχο την ανάπτυξη και την κλιμάκωση εφαρμογών CCUS σε πολλαπλά εργοστάσια. Παράλληλα, προωθεί λύσεις κυκλικής οικονομίας, αξιοποιώντας το δεσμευμένο CO₂ σε βιομηχανικές εφαρμογές, στη γεωργία και στην παραγωγή δομικών υλικών, όπως ανθρακωμένα αδρανή. Στρατηγικός στόχος της εταιρείας είναι η παραγωγή περίπου 8 εκατομμυρίων τόνων τσιμέντου net-zero έως το 2030 (13 & LafargeHolcim, 2024), με τις τεχνολογίες CCUS να αποτελούν βασικό μοχλό επίτευξης της κλιματικής ουδετερότητας, συμπληρωματικά προς τη μείωση του clinker factor και τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων.

Η TITAN Cement Group ακολουθεί μια πολυδιάστατη προσέγγιση με έμφαση τόσο στη μείωση των εκπομπών όσο και στη διαφάνεια των περιβαλλοντικών επιδόσεων. Επενδύει σε Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντος (EPDs) (17 & Group, 2024) (8 & Απολογισμού, 2023) στην αυξημένη χρήση συμπληρωματικών τσιμεντοειδών υλικών, όπως η σκυρία και οι ποζολάνες, καθώς και σε καινοτόμες τεχνολογίες παραγωγής και εναλλακτικά καύσιμα. Παράλληλα, αναπτύσσει πιλοτικά έργα CCUS σε συνεργασία με ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα, όπως το HERCCULES, με στόχο τόσο τη δέσμευση και αξιοποίηση του CO₂ σε δομικά υλικά όσο και τη μόνιμη αποθήκευσή του σε κατάλληλους γεωλογικούς σχηματισμούς. Η στρατηγική της TITAN εστιάζει στη σταδιακή ωρίμανση των τεχνολογιών CCUS, ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν σε βιομηχανική κλίμακα μετά το 2030.

Η HeidelbergCement (Heidelberg Materials) αποτελεί πρωτοπόρο στον τομέα της δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂, υλοποιώντας το έργο Brevik CCS στη Νορβηγία, το οποίο θεωρείται το πρώτο

εργοστάσιο τσιμέντου παγκοσμίως με πλήρους κλίμακας σύστημα δέσμευσης CO₂. Το έργο έχει δυναμικότητα περίπου 400.000 τόνων CO₂ ετησίως και βασίζεται σε τεχνολογία αμινικής απορρόφησης. Το δεσμευμένο CO₂ μεταφέρεται και αποθηκεύεται μόνιμα σε υπεράκτιους γεωλογικούς σχηματισμούς μέσω της συνεργασίας με το έργο Northern Lights, το οποίο αποτελεί βασικό πυλώνα της νορβηγικής στρατηγικής για τη βιομηχανική αποθήκευση άνθρακα. Η HeidelbergCement αξιοποιεί το Brevik ως έργο αναφοράς για την περαιτέρω ανάπτυξη και αναπαραγωγή αντίστοιχων λύσεων CCUS σε άλλα εργοστάσια διεθνώς. (3 & Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος)

4.4. Συμπεράσματα Benchmarking & Οικονομικά Στοιχεία & Επενδύσεις CCUS

Συνολικά, η LafargeHolcim διαδραματίζει ηγετικό ρόλο στην υλοποίηση τεχνολογιών CCUS, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην κυκλική αξιοποίηση του δεσμευμένου CO₂ και στην ανάπτυξη και παραγωγή τσιμέντου net-zero. Η TITAN ακολουθεί μια στρατηγική σταδιακής μετάβασης, επενδύοντας δυναμικά σε προϊόντα χαμηλού ανθρακικού αποτυπώματος και στην υλοποίηση πιλοτικών έργων CCUS, τα οποία λειτουργούν ως ενδιάμεσο βήμα πριν την ευρύτερη βιομηχανική εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών. Αντίθετα, η HeidelbergCement ξεχωρίζει για την πρωτοπορία της στην πλήρους κλίμακας δέσμευση και μόνιμη γεωλογική αποθήκευση του CO₂, με το έργο Brevik στη Νορβηγία να αποτελεί σημείο αναφοράς για τον παγκόσμιο κλάδο του τσιμέντου. Παρά τις διαφοροποιήσεις στις στρατηγικές και στο επίπεδο τεχνολογικής ωριμότητας, όλες οι εταιρείες συγκλίνουν στη μείωση των εκπομπών CO₂ και στην υιοθέτηση των τεχνολογιών CCUS ως βασικό μοχλό για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας και κλιματικής ουδετερότητας.

Επιπλέον στο πλαίσιο της οικονομικής αξιολόγησης και των επενδύσεων σε τεχνολογίες CCUS, η εταιρεία TITAN παρουσιάζει σημαντική δραστηριότητα, με ενδεικτικό κόστος παραγωγής για το τσιμέντο CEM III να ανέρχεται περίπου στα 52 €/tn σύμφωνα με εκτίμηση που προκύπτει από EPD του Ομίλου. Παράλληλα, το κόστος που σχετίζεται με τις εκπομπές CO₂ εκτιμάται στα 4.000.000 € ετησίως, με βάση τον υπολογισμό 100.000 tn × 0,5 tn CO₂ × 80 €/tn. Ο Όμιλος επενδύει ενεργά σε low-carbon προϊόντα και σε EPDs, υλοποιώντας πιλοτικά έργα CCUS και συμμετέχοντας σε ευρωπαϊκά προγράμματα με στόχο τόσο τη μείωση του κόστους συμμόρφωσης όσο και την ενίσχυση της εμπορικής αξίας των προϊόντων του.

Αντίστοιχα, η LafargeHolcim αναπτύσσει ένα σημαντικό έργο CCUS στην Carboneras της Ισπανίας, με επενδύσεις που υπερβαίνουν τα 150 εκατ. € για την πρώτη φάση και δυνατότητα περαιτέρω επέκτασης. Η εφαρμογή τεχνολογιών δέσμευσης CO₂ συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση του κόστους αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών, ενώ το δεσμευμένο CO₂ αξιοποιείται κυκλικά σε γεωργικές και βιομηχανικές εφαρμογές, δημιουργώντας νέες ροές εσόδων. Η εταιρεία

εκτιμά ότι η κυκλική αξιοποίηση του CO₂ όχι μόνο μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα αλλά και αυξάνει την εμπορική αξία των προϊόντων, υποστηρίζοντας παράλληλα τη διεύθυνση σε έργα βιωσιμότητας. Στρατηγικός στόχος της LafargeHolcim είναι η παραγωγή 8 εκατ. tn net-zero τσιμέντου έως το 2030, με το CCUS να αποτελεί βασικό μοχλό επίτευξης του συγκεκριμένου στόχου.

Τέλος, η HeidelbergCement υλοποιεί το έργο Brevik CCS στη Νορβηγία, το οποίο αποτελεί την πρώτη εγκατάσταση πλήρους κλίμακας CCS στον κόσμο για τη βιομηχανία τσιμέντου, με συνολική επένδυση που φτάνει περίπου τα 400 εκατ. €. Παρά το υψηλό αρχικό κόστος (CAPEX), η επένδυση αυτή οδηγεί σε σημαντική μείωση του κόστους σχετιζόμενου με τις εκπομπές CO₂ και επιτρέπει την πώληση πιστοποιημένων δικαιωμάτων εκπομπών (3 & Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος). Επιπλέον, η γεωλογική αποθήκευση CO₂ προσφέρει στην εταιρεία σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε αγορές όπου επικρατούν αυστηρά περιβαλλοντικά κριτήρια, ενισχύοντας τη συμμόρφωση με το ETS και τη μετάβαση προς προϊόντα χαμηλού ή μηδενικού ανθρακικού αποτυπώματος.

Πίνακας 4. Συνοπτικός Πίνακας Οικονομικών Δεικτών (26 & Voldsund, 2019) (25 & Leeson, 2017) (14 & HeidelbergCement, 2024) (13 & LafargeHolcim, 2024)

Εταιρεία	Επένδυση CCUS (€)	Κόστος Παραγωγής CEM III (€/tn)	Κόστος Εκπομπών CO ₂ (€/έτος)	Νέα Έσοδα από CCUS	Εμπορική Αξία Net-Zero
TITAN	~20–40 εκατ. (πιλοτικά)	~52	4.000.000	Χαμηλά/πιλοτικά	Μέτρια/Αυξανόμενη
LafargeHolcim	>150 εκατ. (Ισπανία)	~54	3.800.000	Υψηλά/κυκλικά	Υψηλή
HeidelbergCement	~400 εκατ. (Brevik)	~55	3.600.000	Μέτρια/ETS	Υψηλή

Συνοψίζοντας μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

- Η LafargeHolcim επενδύει δυναμικά στο CCUS, με στόχο όχι μόνο τη μείωση εκπομπών αλλά και τη δημιουργία νέων εσόδων μέσω κυκλικής αξιοποίησης του CO₂. Η στρατηγική αυτή αυξάνει την εμπορική αξία των προϊόντων και μειώνει το συνολικό κόστος συμμόρφωσης.
- Η TITAN ακολουθεί με σταδιακές επενδύσεις σε low-carbon προϊόντα και πιλοτικά έργα CCUS, με στόχο τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και τη συμμόρφωση με τα ευρωπαϊκά πρότυπα.
- Η HeidelbergCement πρωτοπορεί στην πλήρη δέσμευση και γεωλογική αποθήκευση CO₂, με υψηλό αρχικό κόστος αλλά σημαντικά οφέλη σε αγορές με αυστηρά περιβαλλοντικά κριτήρια.

Από τη συγκριτική ανάλυση προκύπτει ότι οι τρεις όμιλοι ακολουθούν διαφορετικά μοντέλα «ωριμότητας» όσον αφορά την απανθρακοποίηση. Η HeidelbergCement επιλέγει μια στρατηγική υψηλού ρίσκου και κεφαλαίου (High CAPEX), ποντάροντας στην πρωτοπορία της πλήρους κλίμακας αποθήκευσης (Brevik), γεγονός που της δίνει προβάδισμα σε αγορές με αυστηρότατα περιβαλλοντικά φίλτρα. Αντιθέτως, η LafargeHolcim εστιάζει στην κυκλικότητα και τη δημιουργία νέων ροών εσόδων, μετατρέποντας το CO₂ από απόβλητο σε εμπορεύσιμο προϊόν, μειώνοντας έτσι το οικονομικό βάρος της μετάβασης. Ο Όμιλος TITAN φαίνεται να υιοθετεί μια ισορροπημένη, σταδιακή προσέγγιση, δίνοντας προτεραιότητα στη βελτιστοποίηση του χαρτοφυλακίου (EPDs) και σε πιλοτικά έργα, διασφαλίζοντας την οικονομική του ανθεκτικότητα πριν την πλήρη βιομηχανική κλίμακα. Η στρατηγική του TITAN κρίνεται ως η πλέον προσαρμοστική για τα δεδομένα της Νοτιοανατολικής Ευρώπης, όπου οι υποδομές μεταφοράς CO₂ βρίσκονται ακόμη σε στάδιο ανάπτυξης.

7. Η Βιώσιμη Ανάπτυξη στη Βιομηχανία Τσιμέντου

Η βιώσιμη ανάπτυξη αποτελεί τον πυρήνα της στρατηγικής των μεγάλων βιομηχανικών ομίλων, όπως ο TITAN και η LafargeHolcim, με στόχο την επίτευξη των στόχων του ΟΗΕ (SDGs) και την εναρμόνιση με τις απαιτήσεις της Πράσινης Συμφωνίας της ΕΕ. Ειδικότερα, η μετάβαση προς την Κυκλική Οικονομία θεωρείται πλέον απαραίτητη προϋπόθεση για την εξισορρόπηση της οικονομικής ανάπτυξης με την περιβαλλοντική προστασία, προωθώντας τη μείωση, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση πόρων (18 & Ghisellini, 2016). Η ενσωμάτωση των ESG (Environmental, Social, Governance) πρακτικών είναι πλέον απαραίτητη για τη διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας, της φήμης και της βιωσιμότητας των επιχειρήσεων.

5.1. Κύριες Δυσκολίες και Προκλήσεις

Η εφαρμογή τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ (CCS) συνοδεύεται από πολλαπλές προκλήσεις που επηρεάζουν την επιχειρηματική στρατηγική. Η τεχνολογική πολυπλοκότητα απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό, προσαρμογή των γραμμών παραγωγής και διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας και αποθήκευσης του CO₂. Το υψηλό κόστος επένδυσης, που συχνά υπερβαίνει τα 250 εκατ. ευρώ, καθιστά αναγκαία τη συγχρηματοδότηση από ευρωπαϊκά και ιδιωτικά κεφάλαια, ενώ η πίεση χρονοδιαγραμμάτων επιβάλλει γρήγορη υλοποίηση για την επίτευξη στόχων βιωσιμότητας και συμμόρφωσης με διεθνείς κανονισμούς. Η νομοθεσία και η ρύθμιση, όπως το EU ETS και η Taxonomy Regulation, απαιτούν συνεχόμενη παρακολούθηση και διαχείριση, ενισχύοντας την ανάγκη για στρατηγικό σχεδιασμό και διαχείριση ρίσκου. Επιπλέον, οι κοινωνικές επιπτώσεις—συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας πράσινων θέσεων εργασίας, της ενίσχυσης τοπικής τεχνογνωσίας και της αποδοχής των έργων από την κοινωνία—αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχή υλοποίηση και τη βιώσιμη ανάπτυξη των επενδύσεων. Η συνδυαστική αντιμετώπιση αυτών των παραμέτρων είναι καθοριστική για την επιχειρηματική επιτυχία και τη διασφάλιση των στρατηγικών στόχων βιωσιμότητας. (19 & ΥΠΕΝ, 2024)

5.2. Σημαντικά KPIs (εκπομπές, καύσιμα, πράσινα προϊόντα)

Στη βιομηχανία τσιμέντου, οι μεγαλύτερες εταιρείες παρακολουθούν συστηματικά κρίσιμους δείκτες απόδοσης (KPIs) για τη βιωσιμότητα, την ενεργειακή απόδοση και την ανταγωνιστικότητα της παραγωγής. Στα σημαντικότερα KPIs περιλαμβάνονται οι εκπομπές CO₂ Score 1, που προκύπτουν από την άμεση παραγωγή τσιμέντου, οι εκπομπές CO₂ Score 2, που συνδέονται με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των εγκαταστάσεων, και οι εκπομπές CO₂ Score 3, οι οποίες αφορούν την αλυσίδα αξίας και τις μεταφορές πρώτων υλών και προϊόντων. Επιπλέον, παρακολουθείται η ένταση εκπομπών CO₂ ανά τόνο προϊόντος, η χρήση

υποκατάστατων καυσίμων, η ποσότητα δέσμευσης CO₂, καθώς και το ποσοστό του χαρτοφυλακίου που αφορά πράσινα προϊόντα. Άλλα KPIs σχετίζονται με την επένδυση σε ψηφιοποίηση, AI-driven ενεργειακή διαχείριση, τη δημιουργία θέσεων εργασίας, τη βελτίωση της αποδοτικότητας παραγωγής και την επίτευξη στόχων Net Zero σε βάθος δεκαετιών. Η παρακολούθηση αυτών των δεικτών επιτρέπει στις εταιρείες να αξιολογούν την πρόοδο τους, να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες και να διασφαλίζουν τη βιώσιμη ανάπτυξη στον κλάδο. (17 & Group, 2024) (20 & Cement, 2024)

5.3. CCUS LafargeHolcim – Αναλυτική Περιγραφή Έργου δέσμευσης CO₂

Η LafargeHolcim υλοποιεί ένα ιδιαίτερα φιλόδοξο πρόγραμμα CCUS, το οποίο περιλαμβάνει 7 μεγάλα έργα σε εξέλιξη το 2024 σε Ευρώπη, Αμερική και Ασία. Στο εργοστάσιο Carboneras (Almeria) αναπτύσσεται ένα ολοκληρωμένο έργο δέσμευσης, αξιοποίησης και αποθήκευσης CO₂ με στόχο την παραγωγή low-carbon και net zero προϊόντων. Το έργο ενσωματώνει προηγμένες τεχνολογίες δέσμευσης CO₂, όπως amine absorption και oxyfuel combustion, ενώ το δεσμευμένο CO₂ αξιοποιείται είτε για την παραγωγή νέων υλικών είτε για μόνιμη αποθήκευση. Παράλληλα, ενισχύεται η κυκλική οικονομία μέσω της χρήσης εναλλακτικών πρώτων υλών και καυσίμων, ενώ η εφαρμογή calciner υψηλής απόδοσης συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών και στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

Ωστόσο, το έργο αντιμετωπίζει σημαντικές δυσκολίες και προκλήσεις. Ο συνδυασμός πολλών και διαφορετικών τεχνολογικών λύσεων απαιτεί υψηλό βαθμό τεχνικού συντονισμού και εμπορικής ωρίμανσης για τα παραγόμενα προϊόντα. Το κόστος επένδυσης παραμένει υψηλό, ειδικά όσον αφορά τη δέσμευση και αποθήκευση CO₂, με την ανάγκη κρατικής και ευρωπαϊκής χρηματοδότησης να είναι κρίσιμη. Επίσης, απαιτείται αποτελεσματική διαχείριση πρώτων υλών και εξασφάλιση σταθερής αγοράς για τα νέα προϊόντα, στοιχείο απαραίτητο για τη βιωσιμότητα της κυκλικής οικονομίας. Παράλληλα, η εταιρεία οφείλει να εξασφαλίσει πλήρη συμμόρφωση με τα πρότυπα ESG και τις απαιτήσεις της EU Taxonomy, ώστε να παραμείνει ανταγωνιστική και ευθυγραμμισμένη με τα διεθνή πλαίσια αειφορίας.

Σε επίπεδο KPIs, οι εκπομπές CO₂ ανά τόνο τσιμέντου για το 2024 βρίσκονται κάτω από 600 kg/tn, με στόχο να μειωθούν σε <500 kg/tn έως το 2030 (20 & Cement, 2024). Η παραγωγή net zero αναμένεται να φτάσει τους 8.000.000 tn το 2030, με στόχο να υπερβεί τα 10.000.000 tn έως το 2050. Η ετήσια δέσμευση CO₂ υπολογίζεται σε 1.200.000 tn/έτος το 2029, με μελλοντικό στόχο πάνω από 1.500.000 tn/έτος έως το 2050. Το ποσοστό των low-carbon προϊόντων ανέρχεται σε 20% το 2024, με στόχο να ξεπεράσει το 50% έως το 2050, ενώ η υποκατάσταση

καυσίμων αναμένεται να φτάσει το 30% το 2030. Το συνολικό χρονοδιάγραμμα υλοποίησης του έργου εκτείνεται από το 2024 έως το 2030, με στόχο την πλήρη λειτουργία, ενώ η επίτευξη Net Zero έχει τεθεί για το 2050.

5.4. Συγκριτική Ανάλυση KPIs & ESG Δεικτών για Ενεργειακή Απόδοση & Βιωσιμότητα

Σύμφωνα με τα συγκριτικά στοιχεία του Ομίλου TITAN, καταγράφεται το 2024 μια μείωση εκπομπών CO₂ Scope 1 (παραγωγή τσιμέντου) κατά 1,5% σε σύγκριση με το 2023, ενώ παράλληλα σημειώνεται σημαντική μείωση των εκπομπών Scope 2 (κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας) κατά 12,7%. Επιπλέον, παρατηρείται αύξηση της υποκατάστασης καυσίμων με εναλλακτικά κατά 8,2%, γεγονός που ενισχύει τη μετάβαση της εταιρείας προς λύσεις χαμηλότερου ανθρακικού αποτυπώματος. Στον τομέα της ενεργειακής διαχείρισης, το ποσοστό παραγωγής που καλύπτεται από ISO 50001 ή ενεργειακούς ελέγχους φτάνει το 90%, παρουσιάζοντας αύξηση κατά 5% σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο.

Παράλληλα, στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας και της υπεύθυνης εφοδιαστικής αλυσίδας, ο Όμιλος επιτυγχάνει υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης αποβλήτων σκυροδέματος, τα οποία ανέρχονται στο 87,5%, ενώ η αξιοποίηση αποβλήτων κατασκευών αγγίζει τους 171.200 tn. Σημαντική είναι επίσης η προσπάθεια μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στην κατανάλωση φυσικών πόρων, με τη μείωση της κατανάλωσης νερού να φτάνει το -0,8%, ενώ η κάλυψη της ζήτησης νερού από ανακυκλωμένο νερό παρουσιάζει αύξηση +2,7%, ενισχύοντας περαιτέρω τη βιωσιμότητα και την αποδοτική διαχείριση υδάτινων πόρων. (21 & S.A., 2024) (22 & Titan Cement International S.A, 2025)

5.5. Διεθνείς Συνεργασίες & Πρωτοβουλίες

Ο Όμιλος TITAN αποτελεί ένα διεθνές πρότυπο βιώσιμης ανάπτυξης, ενσωματώνοντας τους στόχους του ΟΗΕ (SDGs) στη στρατηγική του και επενδύοντας σε καινοτόμες τεχνολογίες, ανθρώπινο δυναμικό και περιβαλλοντική υπευθυνότητα. Η εταιρεία δραστηριοποιείται σε περισσότερες από 25 χώρες, με σημαντική παρουσία στην Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική και τη Νοτιοανατολική Ασία, προσαρμόζοντας τις πρακτικές της στις τοπικές ανάγκες και απαιτήσεις.

Η βιώσιμη ανάπτυξη για τον TITAN βασίζεται στη συνεργασία με διεθνείς οργανισμούς, κυβερνήσεις, ακαδημαϊκά ιδρύματα και ΜΚΟ. Ενδεικτικά, ο Όμιλος συμμετέχει στο Οικουμενικό Σύμφωνο των Ηνωμένων Εθνών (UNGC), στη Science Based Targets initiative (SBTi), στις πρωτοβουλίες Business Ambition for 1.5°C και Race to Zero, καθώς και στον συνασπισμό We Mean Business. Παράλληλα, συνεργάζεται με την Global Cement and Concrete

Association (GCCA), την Ευρωπαϊκή Στρογγυλή Τράπεζα για τη Βιομηχανία (ERT), την Ευρωπαϊκή Ακαδημία Έρευνας για το Τσιμέντο (ECRA), το CSR Europe και την UN Women για την προώθηση της ισότητας των φύλων.

Οι διεθνείς συνεργασίες του TITAN ενισχύουν τη διαφάνεια, την υπευθυνότητα και την ανταγωνιστικότητα της εταιρείας, ενώ επιτρέπουν την υιοθέτηση βέλτιστων πρακτικών και την προώθηση της καινοτομίας. Μέσω αυτών των συνεργασιών, ο Όμιλος συμβάλλει ενεργά στη διαμόρφωση πολιτικών για τη βιώσιμη ανάπτυξη, την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την ενδυνάμωση των εργαζομένων.

Στο πλαίσιο των διεθνών αγορών, ο TITAN υλοποιεί καινοτόμα έργα, όπως το πρόγραμμα H2CEM για τη χρήση πράσινου υδρογόνου στην παραγωγή τσιμέντου, το έργο «Ηφαιστος» για τη δέσμευση άνθρακα, και την ανάπτυξη προϊόντων σκυροδέματος υψηλής απόδοσης στις ΗΠΑ. Οι δράσεις αυτές ενισχύουν τη θέση του Ομίλου ως ηγέτη στη βιώσιμη βιομηχανία δομικών υλικών και αποτελούν παράδειγμα για την Ελλάδα και την Ευρώπη.

Συνολικά, η στρατηγική διεθνών συνεργασιών του TITAN δημιουργεί προστιθέμενη αξία, ενισχύει την ανθεκτικότητα και τη φήμη του Ομίλου, και συμβάλλει στην επίτευξη των στόχων ESG σε παγκόσμιο επίπεδο. (23 & Group, 2022)

5.6. Οικονομικά Στοιχεία & Επενδύσεις CCUS

Στον τομέα των οικονομικών στοιχείων και των επενδύσεων σε τεχνολογίες CCUS, παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις αλλά και κοινά στρατηγικά χαρακτηριστικά μεταξύ των μεγάλων τσιμεντοβιομηχανιών. Η LafargeHolcim έχει προχωρήσει σε μία από τις πιο φιλόδοξες επενδύσεις CCUS στην Ευρώπη, με επίκεντρο το εργοστάσιο Carboneras στην Ισπανία, όπου η πρώτη φάση του έργου υπερβαίνει τα 150 εκατ. ευρώ, με δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης. Η εφαρμογή της τεχνολογίας CCUS επιτρέπει τη σημαντική μείωση του κόστους αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ στο πλαίσιο του ETS, ενώ παράλληλα το δεσμευμένο CO₂ αξιοποιείται κυκλικά σε τομείς όπως η γεωργία και η βιομηχανία. Η κυκλική αυτή αξιοποίηση δημιουργεί νέα έσοδα μέσω πωλήσεων σε τρίτους και ενισχύει την εμπορική αξία των προϊόντων net-zero, διευρύνοντας τη δυνατότητα συμμετοχής της εταιρείας σε έργα με αυστηρά κριτήρια βιωσιμότητας. Ο στρατηγικός στόχος της LafargeHolcim είναι η παραγωγή 8 εκατομμυρίων τόνων τσιμέντου net-zero έως το 2030, με τις τεχνολογίες CCUS να αποτελούν βασικό οικονομικό και τεχνολογικό μοχλό.

Η TITAN ακολουθεί μια πιο σταδιακή και πιλοτική προσέγγιση, δίνοντας έμφαση στη βελτιστοποίηση του κόστους παραγωγής και στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος μέσω low-carbon προϊόντων. Το κόστος παραγωγής τσιμέντου τύπου CEM III εκτιμάται σε περίπου 52 €/tn, σύμφωνα με στοιχεία από Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντος (EPDs) της εταιρείας.

Ωστόσο, το κόστος εκπομπών CO₂ παραμένει σημαντικό, καθώς για παραγωγή της τάξης των 100.000 τόνων, με συντελεστή εκπομπών 0,5 tn CO₂ ανά τόνο τσιμέντου και τιμή δικαιωμάτων 80 €/tn, το ετήσιο κόστος εκπομπών ανέρχεται σε περίπου 4 εκατ. ευρώ. Στο πλαίσιο αυτό, οι επενδύσεις της TITAN σε πιλοτικά έργα CCUS, σε συνεργασία με ευρωπαϊκά προγράμματα, καθώς και σε EPDs και προϊόντα χαμηλού άνθρακα, στοχεύουν κυρίως στη μείωση του κόστους συμμόρφωσης με το ETS και στην ενίσχυση της εμπορικής αξίας των προϊόντων της.

Η HeidelbergCement, από την άλλη πλευρά, έχει προχωρήσει σε μία ιδιαίτερα κεφαλαιουχική επένδυση με το έργο Brevik CCS στη Νορβηγία, συνολικού ύψους περίπου 400 εκατ. ευρώ, το οποίο αποτελεί το πρώτο εργοστάσιο τσιμέντου πλήρους κλίμακας με τεχνολογία δέσμευσης και γεωλογικής αποθήκευσης CO₂ παγκοσμίως. Παρότι το αρχικό επενδυτικό κόστος είναι υψηλό, το έργο προσφέρει σημαντική μείωση του κόστους εκπομπών CO₂ και ενισχύει τη συμμόρφωση της εταιρείας με το ευρωπαϊκό σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών (ETS). Επιπλέον, η δυνατότητα αξιοποίησης πιστοποιημένων μηχανισμών αποθήκευσης άνθρακα προσδίδει στη HeidelbergCement ισχυρό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε αγορές με αυστηρά περιβαλλοντικά και κανονιστικά κριτήρια. (23 & Group, 2022) (24 & Group, 2024)

Πίνακας 5. Οικονομικά Στοιχεία επενδύσεων σε CCUS ανά εταιρεία (13 & LafargeHolcim, 2024) (14 & HeidelbergCement, 2024) (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023)

Εταιρεία	Επένδυση CCUS (€)	Κόστος Παραγωγής CEM III (€/tn)	Κόστος Εκπομπών CO ₂ (€/έτος)	Νέα Έσοδα από CCUS	Εμπορική Αξία Net-Zero
TITAN	~20–40 εκατ. (πιλοτικά)	~52	4.000.000	Χαμηλά/πιλοτικά	Μέτρια/Αυξανόμενη
LafargeHolcim	>150 εκατ. (Ισπανία)	~54	3.800.000	Υψηλά/κυκλικά	Υψηλή
HeidelbergCemen	~400 εκατ. (Brevik)	~55	3.600.000	Μέτρια/ETS	Υψηλή

Από τη σύγκριση των τριών εταιρειών προκύπτει ότι, παρότι όλες επενδύουν στις τεχνολογίες CCUS ως μέσο μείωσης των εκπομπών CO₂, διαφοροποιούνται σημαντικά ως προς το εύρος των επενδύσεων και τη στρατηγική αξιοποίησής τους.

5.7. Συμπεράσματα Benchmarking

Συνολικά, η LafargeHolcim διαδραματίζει ηγετικό ρόλο στην υλοποίηση τεχνολογιών CCUS, με ιδιαίτερη έμφαση στην κυκλική αξιοποίηση του δεσμευμένου CO₂ και στην παραγωγή τσιμέντου net-zero. Η TITAN ακολουθεί με δυναμικές επενδύσεις σε προϊόντα χαμηλού ανθρακικού αποτυπώματος και στην ανάπτυξη πιλοτικών έργων CCUS, υιοθετώντας μια σταδιακή προσέγγιση προς τη βιομηχανική εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών. Παράλληλα, η HeidelbergCement πρωτοπορεί στην πλήρους κλίμακας δέσμευση και γεωλογική αποθήκευση CO₂, με το έργο Brevik να αποτελεί σημείο αναφοράς για τον κλάδο του τσιμέντου. Παρά τις διαφοροποιήσεις στις επιμέρους στρατηγικές, όλες οι εταιρείες συγκλίνουν στη μείωση των εκπομπών CO₂ και στην υιοθέτηση των τεχνολογιών CCUS ως βασικού μοχλού για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας και κλιματικής ουδετερότητας. (23 & Group, 2022)

Η σύγκλιση των εταιρειών προς τις τεχνολογίες CCUS δεν αποτελεί πλέον επιλογή, αλλά επιτακτική ανάγκη για τη διατήρηση της άδειας λειτουργίας τους (License to Operate) στο πλαίσιο του EU ETS. Ωστόσο, η κριτική εξέταση των KPIs δείχνει ότι το πραγματικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στο μέλλον δεν θα κριθεί μόνο από την ποσότητα του CO₂ που δεσμεύεται, αλλά από την ενεργειακή αποδοτικότητα της ίδιας της διαδικασίας δέσμευσης. Ενώ η LafargeHolcim υπερέχει στην εμπορική διείσδυση πράσινων προϊόντων, ο TITAN επενδύει στρατηγικά στην ψηφιοποίηση και την Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) για την πρόβλεψη και βελτιστοποίηση της κατανάλωσης, μια κίνηση που μειώνει το λειτουργικό κόστος (OPEX) πριν καν την εφαρμογή των δαπανηρών συστημάτων CCS. Η ενσωμάτωση του έργου «Ήφαιστος» αναμένεται να αλλάξει τις ισορροπίες, καθιστώντας τον TITAN από «ακόλουθο» των εξελίξεων σε περιφερειακό ηγέτη στην παραγωγή τσιμέντου μηδενικού άνθρακα.

8. Το Έργο Ηφαιστος στο Εργοστάσιο Καμαρίου Τιταν

Το Έργο ΗΦΑΙΣΤΟΣ αποτελεί τη μεγαλύτερη βιομηχανική επένδυση στην Ελλάδα στον τομέα της δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (Carbon Capture and Storage - CCS), με πεδίο εφαρμογής το εργοστάσιο ΤΙΤΑΝ στο Καμάρι Βοιωτίας. Πρόκειται για μία πρωτοποριακή τεχνολογική πρωτοβουλία του Ομίλου ΤΙΤΑΝ Cement Group, συγχρηματοδοτούμενη από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Καινοτομίας, που στοχεύει στη δέσμευση περίπου 1,9 εκατομμυρίων τόνων CO₂ ετησίως από τις διεργασίες παραγωγής κλίνκερ.

Η εγκατάσταση της μονάδας CCS περιλαμβάνει τεχνολογίες δέσμευσης, συμπίεσης και μεταφοράς του CO₂ προς μόνιμη αποθήκευση. Το CCS σημαίνει Carbon Capture and Storage, δηλαδή Δέσμευση και Αποθήκευση Διοξειδίου του Άνθρακα.

Αναλυτικά:

◆ Carbon Capture

Είναι η διαδικασία κατά την οποία το CO₂ που παράγεται από βιομηχανικές διεργασίες (όπως η παραγωγή τσιμέντου, ηλεκτρικής ενέργειας, χάλυβα κ.ά.) συλλέγεται πριν απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα.

◆ Storage

Ακολουθεί η συμπίεση και αποθήκευση του CO₂ σε γεωλογικούς σχηματισμούς όπως:

- Υπόγεια κοιτάσματα πετρελαίου ή φυσικού αερίου
- Αλατούχα υδατοφόρα στρώματα
- Άλλες σταθερές υπόγειες δομές

Αναμένεται να μηδενίσει τις εκπομπές του εργοστασίου Καμαρίου CO₂, καθιστώντας το σημείο αναφοράς για την ελληνική βαριά βιομηχανία.

Το IFESTOS συμπληρώνει και ενισχύει τη συνολική στρατηγική του Ομίλου ΤΙΤΑΝ για επίτευξη μηδενικού ανθρακικού αποτυπώματος έως το 2050. Αποτελεί ένα από τα πλέον φιλόδοξα έργα στον ευρωπαϊκό κατασκευαστικό τομέα, εναρμονισμένο με τους στόχους της Ε.Ε. και την Πράσινη Συμφωνία. Το συγκεκριμένο έργο δεν αποτελεί μεμονωμένη δράση αλλά κομβικό σημείο στη μακροπρόθεσμη ενεργειακή στρατηγική της εταιρείας. Η επιλογή του εργοστασίου Καμαρίου βασίστηκε:

- στη γεωγραφική του θέση και την πρόσβαση σε δίκτυα μεταφοράς και αποθήκευσης CO₂,
- στην ετοιμότητα των γραμμών παραγωγής να υποδεχθούν τεχνολογία CCS,

- στη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του EU ETS και της Taxonomy Regulation της Ε.Ε.

Τα κοινωνικοοικονομικά οφέλη περιλαμβάνουν τη δημιουργία πράσινων θέσεων εργασίας, την ενίσχυση της εγχώριας τεχνολογίας και τη δυνατότητα επανάληψης του μοντέλου σε άλλα σημεία της χώρας και της Ευρώπης. (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023)

6.1. Οικονομικές Πτυχές του Έργου Ήφαιστος

Η οικονομική διάσταση του έργου ΗΦΑΙΣΤΟΣ είναι εξαιρετικά σημαντική για την αξιολόγηση της βιωσιμότητάς του, αλλά και για την ενσωμάτωσή του σε εθνικά και ευρωπαϊκά αναπτυξιακά πλάνα.

- **Προϋπολογισμός:** Ο συνολικός προϋπολογισμός του έργου εκτιμάται ότι υπερβαίνει τα 250 εκατομμύρια ευρώ. Η ανάλυση του κόστους δέσμευσης είναι κρίσιμη για τη βιωσιμότητα τέτοιων επενδύσεων. Σύμφωνα με τεχνοοικονομικές μελέτες, το κόστος δέσμευσης CO₂ στην τσιμεντοβιομηχανία κυμαίνεται σημαντικά ανάλογα με την τεχνολογία, ωστόσο οι οικονομίες κλίμακας και η ωρίμανση μεθόδων όπως το Calcium Looping αναμένεται να μειώσουν το λειτουργικό κόστος (OPEX) τα επόμενα έτη (25 & Leeson, 2017) (26 & Voldsund, 2019). Στο κόστος του έργου Ήφαιστος περιλαμβάνονται εγκαταστάσεις συστήματα συμπίεσης, εξοπλισμό ασφαλούς αποθήκευσης, καθώς και ενδεχόμενες γραμμές μεταφοράς που θα πρέπει να δημιουργηθούν για την υλοποίηση του έργου.
- **Χρηματοδότηση:** Το έργο συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Καινοτομίας, το οποίο καλύπτει σημαντικό μέρος του κόστους μέσω μηχανισμών υποστήριξης έργων μηδενικού άνθρακα. Το υπόλοιπο ποσό καλύπτεται από κεφάλαια του Ομίλου TITAN, καθώς και από στρατηγικές συμπράξεις με τεχνολογικούς (THYSSENKRUPP - IKN) και περιβαλλοντικούς εταίρους.
- **Θέσεις Εργασίας:** Το έργο προβλέπεται να δημιουργήσει περισσότερες από 200 άμεσες και έμμεσες θέσεις εργασίας κατά τη φάση της κατασκευής και της λειτουργίας, προωθώντας την πράσινη απασχόληση στην ευρύτερη περιοχή της Βοιωτίας. (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023) (GCCA, 2024)

6.2. Αναλυτικά Δεδομένα και Περιβαλλοντικοί Δείκτες

Εκτός από τα βασικά ποσοτικά δεδομένα, αξίζει να σημειωθούν και ορισμένα επιπλέον στοιχεία που αναδεικνύουν την περιβαλλοντική πρόοδο και το επίπεδο καινοτομίας του έργου ΗΦΑΙΣΤΟΣ:

Καθαρές Εκπομπές Score 1 (Παραγωγή) CO₂: 2,4 εκατ. τόνοι

Οι Score 1 εκπομπές αντιπροσωπεύουν τις άμεσες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτουν από τις ίδιες τις βιομηχανικές διεργασίες του εργοστασίου, κυρίως από την καύση καυσίμων και την παραγωγή κλίνκερ. Το έργο ΗΦΑΙΣΤΟΣ στοχεύει στη σημαντική μείωση αυτών των εκπομπών μέσω της εφαρμογής τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ (CCS), καθιστώντας το εργοστάσιο Καμαρίου σημείο αναφοράς για τη μετάβαση της ελληνικής τσιμεντοβιομηχανίας σε ένα πιο βιώσιμο μοντέλο λειτουργίας.

Καθαρές Εκπομπές Score 3 (Μεταφορές Α΄ υλών) CO₂: 499.000 τόνοι

Οι Score 3 εκπομπές αφορούν τις έμμεσες εκπομπές που σχετίζονται με δραστηριότητες εκτός των ορίων του εργοστασίου, όπως η μεταφορά πρώτων υλών, η διανομή προϊόντων και η τελική χρήση τους. Η παρακολούθηση και η μείωση των Score 3 εκπομπών αποτελεί πρόκληση για τη βιομηχανία τσιμέντου, ωστόσο το έργο ΗΦΑΙΣΤΟΣ συμβάλλει έμμεσα στη μείωσή τους, ενισχύοντας τη χρήση τοπικών υλικών, βελτιώνοντας τις εφοδιαστικές αλυσίδες και προωθώντας πρακτικές κυκλικής οικονομίας.

CO₂ Intensity (kg/tn προϊόντος): 598 kg/tn

Η ένταση εκπομπών CO₂ ανά τόνο παραγόμενου προϊόντος αποτελεί βασικό δείκτη αποδοτικότητας και περιβαλλοντικής επίδοσης. Η τιμή των 598 kg/tn είναι σημαντικά χαμηλότερη από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, γεγονός που αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα των τεχνολογικών καινοτομιών που εφαρμόζονται στο Καμάρι. Η συνεχής βελτίωση αυτού του δείκτη αποτελεί στρατηγικό στόχο για τη μείωση του συνολικού αποτυπώματος της βιομηχανίας.

Ποσοστό εναλλακτικών καυσίμων: 32,2%

Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων, όπως απορρίμματα, βιομάζα και άλλα μη παραδοσιακά υλικά, συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση των εκπομπών CO₂ και στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων. Το υψηλό ποσοστό εναλλακτικών καυσίμων στο εργοστάσιο Καμαρίου καταδεικνύει τη δέσμευση της εταιρείας για βιώσιμη παραγωγή και ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας, μειώνοντας παράλληλα την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα.

Ποσοστό βιομάζας στον θερμικό ισολογισμό: 14,8%

Η βιομάζα αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και η ενσωμάτωσή της στο θερμικό ισοζύγιο του εργοστασίου συμβάλλει στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος. Το ποσοστό 14,8%

υποδηλώνει σημαντική πρόοδο προς την κατεύθυνση της απανθρακοποίησης, ενώ παράλληλα ενισχύει την ενεργειακή αυτάρκεια και την αξιοποίηση τοπικών πόρων.

Πράσινα προϊόντα ως ποσοστό του χαρτοφυλακίου: 23,4%

Η αύξηση του ποσοστού πράσινων προϊόντων στο χαρτοφυλάκιο της εταιρείας αντικατοπτρίζει τη στροφή προς προϊόντα με χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, όπως τσιμέντα με μειωμένες εκπομπές CO₂, ανακυκλωμένα υλικά και καινοτόμες λύσεις για τη δόμηση. Το έργο ΗΦΑΙΣΤΟΣ ενισχύει αυτή τη δυναμική, προσφέροντας νέες δυνατότητες για την ανάπτυξη και προώθηση βιώσιμων προϊόντων στην αγορά. (12 & Commission, 2022) (GCCA, 2024)

6.3. Χρονοδιάγραμμα Υλοποίησης

Το έργο ΗΦΑΙΣΤΟΣ ακολουθεί το παρακάτω χρονοδιάγραμμα:

2023: Οριστικοποίηση χρηματοδότησης από το Ταμείο Καινοτομίας

Το 2023 αποτέλεσε το έτος-ορόσημο για την εξασφάλιση της χρηματοδότησης του έργου ΗΦΑΙΣΤΟΣ από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Καινοτομίας. Η επιτυχής ένταξη του έργου σε αυτό το ανταγωνιστικό πρόγραμμα αποδεικνύει τη στρατηγική του σημασία για τη μετάβαση της βιομηχανίας τσιμέντου σε ένα βιώσιμο μέλλον. Η χρηματοδότηση αυτή διασφαλίζει τη βιωσιμότητα του έργου, μειώνει το οικονομικό ρίσκο και ενισχύει τη δυνατότητα υλοποίησης καινοτόμων τεχνολογιών μεγάλης κλίμακας.

2024: Έναρξη τεχνικών μελετών και προμήθειας εξοπλισμού

Το 2024 σηματοδοτεί την έναρξη των τεχνικών μελετών και της διαδικασίας προμήθειας του απαραίτητου εξοπλισμού για την εγκατάσταση των συστημάτων CCS. Σε αυτή τη φάση πραγματοποιείται λεπτομερής σχεδιασμός, επιλογή τεχνολογικών λύσεων και προετοιμασία του εργοστασίου για την υποδοχή των νέων υποδομών. Η σωστή προετοιμασία διασφαλίζει την ομαλή μετάβαση στις επόμενες φάσεις και ελαχιστοποιεί πιθανά τεχνικά ή λειτουργικά προβλήματα.

2025–2026: Κατασκευαστική φάση μονάδων CCS και calciner

Κατά την περίοδο 2025–2026, το έργο εισέρχεται στη φάση της κατασκευής των μονάδων δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂, καθώς και του νέου calciner. Αυτή η φάση είναι ιδιαίτερα απαιτητική, καθώς περιλαμβάνει την εγκατάσταση και διασύνδεση προηγμένων τεχνολογικών συστημάτων, την εκπαίδευση προσωπικού και τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα πρότυπα ασφάλειας και περιβάλλοντος. Η επιτυχής ολοκλήρωση της κατασκευής αποτελεί το θεμέλιο για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων του έργου.

2027: Δοκιμαστική λειτουργία και ρύθμιση συστημάτων παρακολούθησης

Το 2027 ξεκινά η δοκιμαστική λειτουργία των νέων συστημάτων, με στόχο τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂. Παράλληλα, εγκαθίστανται και ρυθμίζονται συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου, που διασφαλίζουν την ακριβή μέτρηση των εκπομπών και την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας CCS. Η φάση αυτή είναι κρίσιμη για την ταυτοποίηση και επίλυση τυχόν τεχνικών ζητημάτων πριν την πλήρη εμπορική λειτουργία.

2028–2029: Πλήρης λειτουργία του έργου και παρακολούθηση απόδοσης

Από το 2028 και μετά, το έργο ΗΦΑΙΣΤΟΣ εισέρχεται σε πλήρη λειτουργία, με όλα τα συστήματα CCS να λειτουργούν σε κανονικές συνθήκες. Η συνεχής παρακολούθηση της απόδοσης και η συλλογή δεδομένων επιτρέπουν την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής και οικονομικής αποτελεσματικότητας του έργου. Η επιτυχής λειτουργία του έργου αναμένεται να αποτελέσει πρότυπο για την ελληνική και ευρωπαϊκή βιομηχανία, ενισχύοντας τη θέση της εταιρείας στον τομέα της βιώσιμης ανάπτυξης. (13 & LafargeHolcim, 2024) (14 & HeidelbergCement, 2024)

6.4. Βασικά Τεχνικά Στοιχεία και Υποδομές

Νέος calciner (προθερμαντήρας):

Στο πλαίσιο του έργου ΗΦΑΙΣΤΟΣ, θα εγκατασταθεί ένας νέος, καινοτόμος calciner, ειδικά σχεδιασμένος για τη βέλτιστη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Ο calciner αυτός θα έχει τη δυνατότητα λειτουργίας με εναλλακτικά καύσιμα και βιομάζα, ενισχύοντας τη συνολική ενεργειακή απόδοση και μειώνοντας το ανθρακικό αποτύπωμα της παραγωγικής διαδικασίας. Η τεχνολογική αυτή αναβάθμιση επιτρέπει την προσαρμογή του εργοστασίου στις απαιτήσεις της σύγχρονης βιομηχανίας τσιμέντου και αποτελεί βασικό πυλώνα για την επιτυχία του έργου CCS.

Σύστημα δέσμευσης CO₂:

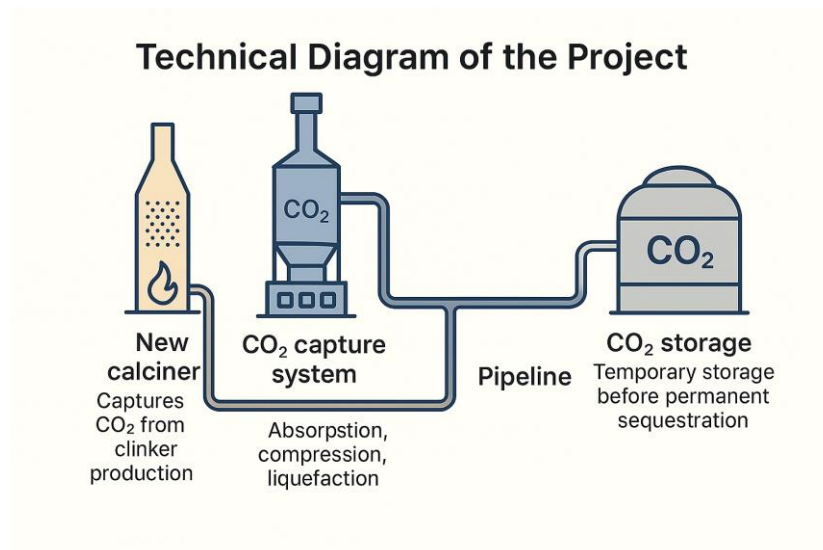
Το σύστημα δέσμευσης CO₂ που θα εγκατασταθεί περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια: απορρόφηση, συμπίεση και υγροποίηση του διοξειδίου του άνθρακα. Αρχικά, το CO₂ που παράγεται κατά την καύση δεσμεύεται μέσω ειδικών φίλτρων ή χημικών διεργασιών. Στη συνέχεια, συμπιέζεται και υγροποιείται, ώστε να είναι κατάλληλο για μεταφορά και τελική αποθήκευση. Η ολοκληρωμένη αυτή τεχνολογική λύση διασφαλίζει την αποτελεσματική απομάκρυνση του CO₂ από τις εκπομπές του εργοστασίου.

Δίκτυο αγωγών:

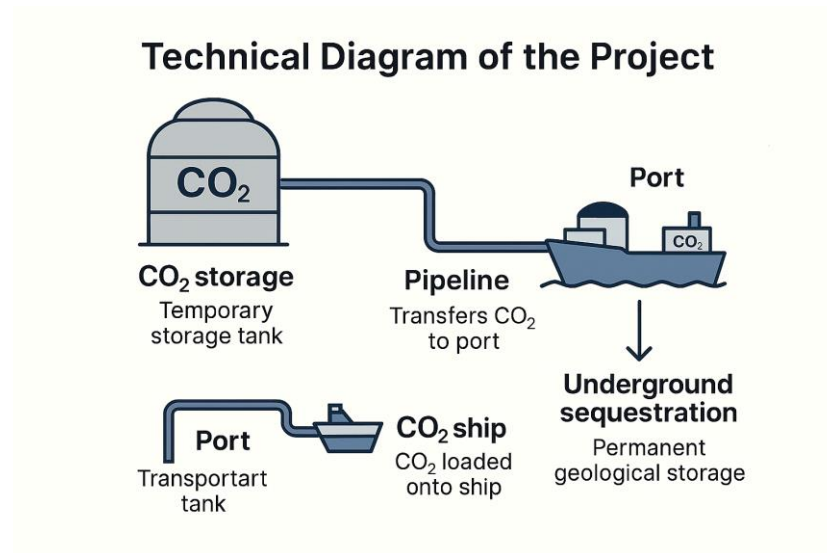
Για τη μεταφορά του δεσμευμένου CO₂, θα κατασκευαστεί ένα εξειδικευμένο δίκτυο αγωγών που θα συνδέει το σημείο δέσμευσης με τις υποδομές προσωρινής αποθήκευσης ή/και εξαγωγής. Το δίκτυο αυτό θα είναι σχεδιασμένο ώστε να διασφαλίζει την ασφαλή και αποδοτική μεταφορά του CO₂, ελαχιστοποιώντας τις απώλειες και τους κινδύνους διαρροής. Η ύπαρξη τέτοιων υποδομών είναι απαραίτητη για τη λειτουργική ολοκλήρωση του συστήματος CCS.

Υποδομές προσωρινής αποθήκευσης:

Πριν το CO₂ μεταφερθεί σε μόνιμους χώρους αποθήκευσης, όπως υπόγεια γεωλογικά κοιτάσματα, θα αποθηκεύεται προσωρινά σε ειδικές δεξαμενές ή άλλες κατάλληλες υποδομές. Αυτές οι εγκαταστάσεις θα είναι εξοπλισμένες με συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου, ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η ακεραιότητα του αποθηκευμένου CO₂ μέχρι την τελική του διάθεση. (20 & Cement, 2024) (21 & S.A., 2024)



Εικόνα 7. 1ο Στάδιο Λειτουργίας του Ηφαιστος που δεσμεύει το CO₂



Εικόνα 8. 2ο Στάδιο Λειτουργίας του Ηφαιστους που μεταφέρει το CO₂ μέσω πλοίων

6.5. SWOT Ανάλυση του Έργου ΗΦΑΙΣΤΟΣ και της Αντικατάστασης Calciner στο Καμάρι

Strengths (Δυνατά Σημεία): Πρωτοποριακό έργο CCS για τη Νοτιοανατολική Ευρώπη

- Συμβολή στη μείωση εκπομπών >120 χιλιάδων. τόνων CO₂ ετησίως
- Ισχυρή ευρωπαϊκή και εθνική χρηματοδότηση
- Ενεργειακή αποδοτικότητα νέου calciner
- Εταιρική δέσμευση στον στόχο Net Zero έως το 2050

Weaknesses (Αδυναμίες): Υψηλό αρχικό κόστος (30 - 35 εκατ. €)

- Τεχνική πολυπλοκότητα εγκατάστασης CCS
- Ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού για λειτουργία
- Εξάρτηση από κανονιστικές άδειες και διαδικασίες

Opportunities (Ευκαιρίες): Ηγετικός ρόλος στην πράσινη τσιμεντοβιομηχανία

- Προσέλκυση πρόσθετων επενδύσεων πράσινης τεχνολογίας
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας
- Δυνατότητα αξιοποίησης CO₂ (π.χ. e-fuels)
- Ανάπτυξη τεχνογνωσίας CCS στην Ελλάδα ||

Threats (Απειλές): Τεχνολογικοί κίνδυνοι κατά την πιλοτική φάση

- Μεταβλητότητα κόστους καυσίμων και πρώτων υλών
- Πιθανές κοινωνικές αντιδράσεις για θέματα αποθήκευσης CO₂
- Ρυθμιστικές αλλαγές σε ETS ή χρηματοδοτικά εργαλεία (3 & Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος) (23 & Group, 2022)

9. Έργο: Αντικατάσταση Καμίνου Ασβεστοποίησης (Calciner) στο Καμάρι

Στο πλαίσιο του ευρύτερου σχεδίου απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές, η TITAN Cement Group υλοποίησε στο εργοστάσιο Καμαρίου και το έργο αντικατάστασης του υπάρχοντος Καμινιού με έναν νέο, ενεργειακά αποδοτικότερο προθερμαντή (high-efficiency calciner). Η πρωτοβουλία αυτή λειτουργεί συμπληρωματικά προς το έργο ΗΦΑΙΣΤΟΣ που θα ακολουθήσει, καθώς θα μειώσει τις εκπομπές CO₂ και θα ενισχύσει τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων και βιομάζας.

Ο νέος calciner σχεδιάζεται να επιτρέπει:

- Βελτιστοποίηση της θερμικής απόδοσης, οδηγώντας σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου ανά τόνο παραγόμενου κλίνκερ.
- Αύξηση του ποσοστού εναλλακτικών καυσίμων έως και 70%, με έμφαση στη χρήση βιομάζας δεύτερης γενιάς.
- Μείωση των άμεσων εκπομπών CO₂ κατά 8-10% από τη συνολική παραγωγή του εργοστασίου.

Η αναμενόμενη μείωση στις εκπομπές CO₂ αντιστοιχεί σε περίπου 120.000 τόνους CO₂ ετησίως, συμβάλλοντας σημαντικά στον περιβαλλοντικό στόχο του Ομίλου για μείωση των εκπομπών κατά 35% έως το 2030 σε σύγκριση με το 1990. Επιπλέον, η αυξημένη χρήση βιομάζας και RDF (Refuse Derived Fuel) μειώνει την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα. Η συνεπεξεργασία (co-processing) εναλλακτικών καυσίμων στους κλιβάνους τσιμέντου έχει αναγνωριστεί επιστημονικά ως μια βέλτιστη πρακτική, καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες εξασφαλίζουν την πλήρη καταστροφή των ρύπων, προσφέροντας ταυτόχρονα μια βιώσιμη λύση διαχείρισης αποβλήτων και μείωσης του ανθρακικού αποτυπώματος (27 & Aranda Usón, 2013)

Από οικονομικής άποψης, η επένδυση εκτιμάται ότι αγγίζει τα 30–35 εκατομμύρια ευρώ, ενώ προβλέπεται απόσβεση σε ορίζοντα 5–7 ετών μέσω εξοικονόμησης καυσίμων και μείωσης κόστους δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ στο EU ETS. Ταυτόχρονα, η ενεργειακή απόδοση του νέου εξοπλισμού επιτρέπει πιο σταθερή και αποδοτική λειτουργία του εργοστασίου, βελτιώνοντας την παραγωγικότητα και μειώνοντας τις διακοπές λειτουργίας.

Η επένδυση ενισχύει επίσης τη δυνατότητα ολοκληρωμένης εφαρμογής τεχνολογιών CCS στο εργοστάσιο, καθώς ο νέος calciner βελτιώνει την καθαρότητα και ομοιομορφία των αερίων, μειώνοντας το ενεργειακό και λειτουργικό κόστος της μελλοντικής δέσμευσης CO₂. Η εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί με πρόβλεψη για την ψηφιακή παρακολούθηση εκπομπών και την ενσωμάτωση σε έξυπνα εργοστασιακά δίκτυα.

Η δράση αυτή συγχρηματοδοτείται από το πρόγραμμα REPowerEU στο πλαίσιο του Εθνικού Σχεδίου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας "Ελλάδα 2.0", επιβεβαιώνοντας τη στρατηγική σημασία της επένδυσης για την πράσινη βιομηχανική μετάβαση. (8 & Απολογισμού, 2023)

7.1. Χρονοδιάγραμμα Έργου Calciner – Καμάρι

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζετε το χρονοδιάγραμμα του έργου Calciner – Καμάρι, από τη χρηματοδότηση και τις μελέτες έως την πλήρη ενσωμάτωση του νέου calciner, αναδεικνύοντας τις κρίσιμες φάσεις, δραστηριότητες και την εξασφάλιση ομαλής, αποδοτικής λειτουργίας.

1. **2023:** Υπογραφή χρηματοδότησης μέσω REPowerEU – "Ελλάδα 2.0" και έναρξη μελετών
2. **Α' εξάμηνο 2024:** Προμήθεια εξοπλισμού και προετοιμασία εργοστασιακού χώρου
3. **Β' εξάμηνο 2024:** Έναρξη κατασκευαστικών εργασιών και ενσωμάτωσης του νέου calciner
4. **2025:** Ολοκλήρωση εγκατάστασης – Δοκιμαστική λειτουργία – Ρυθμίσεις ενεργειακής απόδοσης
5. **Α' τρίμηνο 2026:** Πλήρης λειτουργία νέου calciner και ενσωμάτωσή του στην παραγωγική διαδικασία (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023)

10. 3D PRINTER Για τη Μείωση του Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος στη Βιομηχανία Τσιμέντου

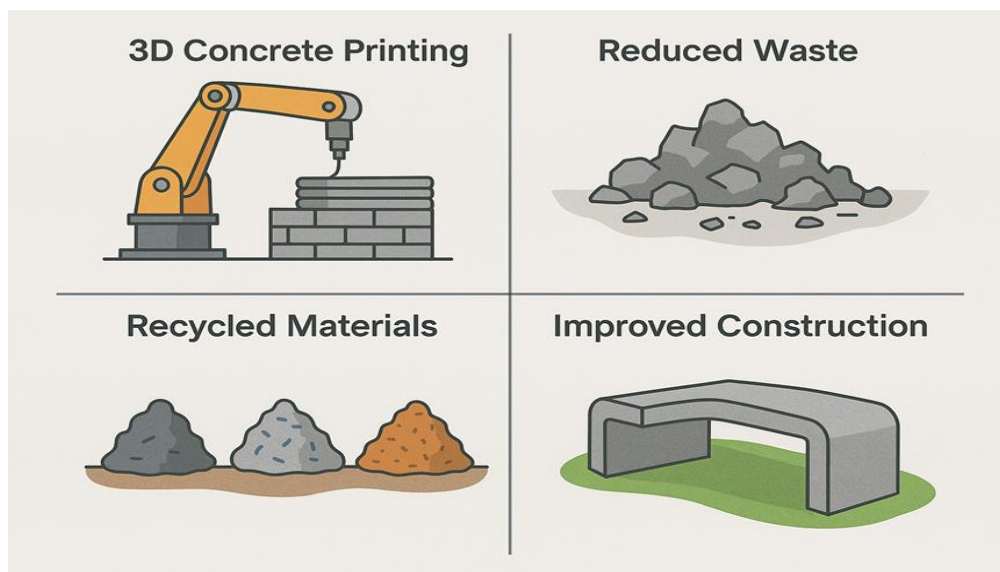
Η βιομηχανία τσιμέντου αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς της παγκόσμιας οικονομίας, αλλά και έναν από τους μεγαλύτερους παραγωγούς εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Η ανάγκη για βιώσιμη ανάπτυξη και μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος οδηγεί στην υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών, με στόχο τη βελτιστοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών και τη μείωση των εκπομπών.

Μία από τις πλέον υποσχόμενες τεχνολογικές εξελίξεις στη βιομηχανία τσιμέντου είναι η τρισδιάστατη εκτύπωση σκυροδέματος. Η TITAN Cement Group, στο πλαίσιο της στρατηγικής της για ψηφιακό μετασχηματισμό και βιωσιμότητα, υλοποιεί πιλοτικό έργο 3D printing σκυροδέματος στο εργοστάσιο του Καμαρίου.

Το έργο βασίζεται στην εγκατάσταση και λειτουργία ρομποτικού βραχίονα με ακροφύσιο εξώθησης τσιμεντοειδούς υλικού. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την κατασκευή προκατασκευασμένων στοιχείων χωρίς τη χρήση συμβατικών καλουπιών, προσφέροντας:

- **Γεωμετρική ελευθερία και ακρίβεια:** Δυνατότητα δημιουργίας σύνθετων γεωμετριών με βέλτιστη χρήση υλικών.
- **Αυτοματοποιημένη διαδικασία:** Ελαχιστοποίηση ανθρώπινης παρέμβασης, μείωση σφαλμάτων και αύξηση ασφάλειας.
- **Βελτιστοποίηση χρόνου εκτέλεσης:** Ταχύτερη παραγωγή σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους.
- Η εφαρμογή της 3D εκτύπωσης συμβάλλει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Σύγχρονες έρευνες επιβεβαιώνουν ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση σκυροδέματος μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ μέσω της βελτιστοποίησης της τοπολογίας (χρήση υλικού μόνο όπου απαιτείται δομικά) και της εξάλειψης της ανάγκης για ξυλότυπους (καλούπια), μειώνοντας έτσι δραστικά τα απόβλητα κατασκευής (29 & De Schutter, 2018). Επιπλέον, η τεχνολογία διευκολύνει την ενσωμάτωση ανακυκλωμένων αδρανών υλικών, ενισχύοντας περαιτέρω το προφίλ βιωσιμότητας των κατασκευών (30 & Han, 2021). Η βελτιστοποίηση της χρήσης υλικών και η δυνατότητα παραγωγής προκατασκευασμένων στοιχείων με χαμηλότερες εκπομπές CO₂ συμβάλλουν στη συνολική απανθρακοποίηση της παραγωγικής αλυσίδας. (3 & Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος) (Cement Industry CO₂ Emissions Report., 2023)

-



Εικόνα 9. Ενδεικτική εικόνες πλεονεκτημάτων χρήσης του 3D PRINTER

Στο εργοστάσιο του Καμαρίου, η τεχνολογία εφαρμόστηκε πιλοτικά σε διάφορες κατασκευές:

- **Δομικά δοκίμια:** Εκτυπώθηκαν τοίχοι αντιστήριξης, δοκοί και κυβόλιθοι με ειδικά μείγματα τσιμέντου και ανακυκλωμένα υλικά, τα οποία δοκιμάστηκαν για αντοχή και ανθεκτικότητα.
- **Αστικός εξοπλισμός:** Κατασκευάστηκαν πεζοδρομιακά στοιχεία, καθίσματα και τεχνικά εμπόδια για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους του εργοστασίου.
- **Εξαρτήματα εργοστασιακής χρήσης:** Εκτυπώθηκαν προστατευτικά καλύμματα, βάσεις σωληνώσεων και θήκες αισθητήρων για εσωτερική χρήση.

Η τεχνολογία της 3D εκτύπωσης εντάσσεται στη στρατηγική της TITAN για:

- **Απανθρακοποίηση:** Στόχος η παραγωγή carbon-negative προκατασκευασμένων στοιχείων, δηλαδή στοιχείων που δεσμεύουν περισσότερο άνθρακα από όσο εκπέμπουν κατά την παραγωγή τους.
- **Ψηφιοποίηση παραγωγικών διεργασιών:** Η ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών και αυτοματισμών δημιουργεί ένα προηγμένο βιομηχανικό οικοσύστημα, ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητα και τη βιωσιμότητα.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση σκυροδέματος αποτελεί μια ολιστική καινοτομία που συνδυάζει τεχνολογική πρόοδο, περιβαλλοντική υπευθυνότητα και στρατηγική βιωσιμότητα. Η πιλοτική εφαρμογή της στη βιομηχανία τσιμέντου δείχνει τον δρόμο για ένα μέλλον με χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και μεγαλύτερη ευελιξία στην κατασκευή.



(α)

(β)



(γ)

Εικόνα 10. (α) Τοίχοι Αντιστήριξης κατασκευασμένοι με 3D εκτύπωση σκυροδέματος για αυξημένη αντοχή και μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, (β) Δοκός: δομικό στοιχείο μικρής κλίμακας, εκτυπωμένο με ειδικό μείγμα τσιμέντου και ανακυκλωμένα υλικά, (γ) Κυβόλιθος: προκατασκευασμένο στοιχείο για αστικές εφαρμογές, ενισχύοντας την κυκλική οικονομία.

8.1. Συνολικό Κόστος Επένδυσης 3D Εκτυπωτή Σκυροδέματος

Αρχικό Κόστος Εξοπλισμού: Η τιμή αγοράς ενός βιομηχανικού 3D εκτυπωτή σκυροδέματος κυμαίνεται από 100.000 € έως 1.000.000 €, ανάλογα με το μέγεθος, την τεχνολογία (ρομποτικός βραχίονας ή gantry system), την αυτοματοποίηση και τα συνοδευτικά λογισμικά. Για πιλοτικές εφαρμογές, όπως στο εργοστάσιο της Ελευσίνας της TITAN, το κόστος είναι χαμηλότερο, ενώ η πλήρης βιομηχανική παραγωγή απαιτεί μεγαλύτερη επένδυση.

Λειτουργικά Κόστη: Περιλαμβάνουν συντήρηση, κατανάλωση ενέργειας, πρώτες ύλες (τσιμέντο, ανακυκλωμένα υλικά), εκπαίδευση προσωπικού και αναλώσιμα. Η υψηλή αυτοματοποίηση μειώνει το κόστος εργασίας και τα σφάλματα, ενώ η ακριβής τοποθέτηση υλικού περιορίζει τη σπατάλη.

Συγκριτικό Κόστος Κατασκευής: Με βάση πρόσφατες μελέτες, η κατασκευή με 3D εκτύπωση μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος κατά 10-30% σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους, κυρίως λόγω της μείωσης των υλικών και του χρόνου εκτέλεσης. (GCCA, 2024)

8.2. Ποσοτική Μετάφραση σε Εκπομπές CO₂

Η 3D εκτύπωση σκυροδέματος μειώνει σημαντικά τις εκπομπές CO₂ μέσω της βέλτιστης χρήσης υλικών, με λιγότερο τσιμέντο ανά τεμάχιο, της ενσωμάτωσης ανακυκλωμένων υλικών, όπως ιπτάμενη τέφρα και παραπροϊόντα κλίνκερ, καθώς και της μείωσης αποβλήτων και υπολειμμάτων κατά τη διαδικασία παραγωγής. Σύγχρονες μελέτες δείχνουν ότι η χρήση ειδικών μείγματος 3D εκτυπωμένου σκυροδέματος μπορεί να περιορίσει τις εκπομπές CO₂ έως και 31% σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Επιπλέον, η τεχνολογία επιτρέπει τη δέσμευση CO₂ μέσα στο ίδιο το υλικό, οδηγώντας σε carbon-negative προκατασκευασμένα στοιχεία, δηλαδή προϊόντα που δεσμεύουν περισσότερο άνθρακα από όσο εκπέμπουν κατά την παραγωγή τους. Για παράδειγμα, η συμβατική παραγωγή ενός τόνου τσιμέντου εκπέμπει περίπου 0,8–0,9 τόνους CO₂, ενώ με χρήση 3D εκτύπωσης και ενσωμάτωση ανακυκλωμένων υλικών, η εκπομπή μπορεί να μειωθεί σε 0,6 τόνους CO₂ ανά τόνο προϊόντος ή και χαμηλότερα, ανάλογα με το μείγμα και τη διαδικασία. (3 & Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος)

8.3. Οφέλη & Πρακτική Εφαρμογή

Η τεχνολογία 3D εκτύπωσης μειώνει το κόστος μέσω αυτοματοποίησης και της μειωμένης χρήσης υλικών, ενώ ενισχύει τη βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα της παραγωγής. Παράλληλα, παρέχει υψηλή ευελιξία σχεδιασμού, επιτρέποντας την κατασκευή πολύπλοκων γεωμετρικών σχημάτων και την ενσωμάτωση αρχών κυκλικής οικονομίας, αξιοποιώντας ανακυκλωμένα υλικά και περιορίζοντας τα απόβλητα. Η τεχνολογία χρησιμοποιείται για την εκτύπωση πλήρων δομικών στοιχείων, όπως τοίχων, δοκών, πατωμάτων, προκατασκευασμένων τμημάτων υποδομών, καθώς και για αρχιτεκτονικά ή λειτουργικά στοιχεία μεγάλης κλίμακας. Σημαντικό παράδειγμα αποτελούν τα έργα του Ομίλου TITAN, ο οποίος σε συνεργασία με τεχνολογικούς και ερευνητικούς φορείς υλοποίησε το πρώτο 3D εκτυπωμένο κτίριο στην Ελλάδα στο εργοστάσιό του στην Ελευσίνα, επιδεικνύοντας τόσο την τεχνική ωριμότητα της μεθόδου όσο και τη δυνατότητα πρακτικής εφαρμογής σε πραγματικές κατασκευές. Η εμπλοκή του TITAN αποδεικνύει ότι η 3D εκτύπωση σκυροδέματος συνιστά μια επαναστατική αλλαγή για τη βιομηχανία, συνδυάζοντας καινοτομία, βιωσιμότητα και ανταγωνιστικότητα, και ανοίγει νέες προοπτικές για τον σχεδιασμό, την παραγωγή και την περιβαλλοντική υπευθυνότητα στον κατασκευαστικό τομέα.

8.4. Η Συμβολή της 3D Εκτύπωσης στην Επίτευξη των Στόχων Net Zero

Η ενσωμάτωση της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D Concrete Printing - 3DCP) στην κατασκευαστική αλυσίδα δεν αποτελεί απλώς μια τεχνολογική καινοτομία, αλλά ένα κρίσιμο εργαλείο για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που έχουν τεθεί από ομίλους όπως ο TITAN και η Holcim. Η σύνδεση της τεχνολογίας αυτής με το κύριο αντικείμενο της παρούσας μελέτης εστιάζεται στους εξής άξονες:

1. Δραστική Μείωση Κατανάλωσης Πρώτων Υλών: Η 3D εκτύπωση επιτρέπει τη δημιουργία κατασκευών με βελτιστοποιημένη γεωμετρία (topology optimization), χρησιμοποιώντας υλικό μόνο εκεί που είναι στατικά απαραίτητο. Όπως αναφέρθηκε, η δυνατότητα μείωσης του χρησιμοποιούμενου σκυροδέματος έως και 30-50% μεταφράζεται σε άμεση και ανάλογη μείωση του ενσωματωμένου άνθρακα (embodied carbon) του κτιρίου, πριν καν ληφθούν υπόψη οι τεχνολογίες CCUS.
2. Συμβατότητα με Πράσινα Τσιμέντα: Η τεχνολογία 3DCP μπορεί να λειτουργήσει ως επιταχυντής για τη χρήση τσιμέντων χαμηλού αποτυπώματος (τύπου ECOPact ή των νέων σειρών του TITAN). Η ακρίβεια της εκτύπωσης επιτρέπει τη χρήση μιγμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε υποκατάστατα κλίνκερ, τα οποία σε παραδοσιακές μεθόδους καλουπώματος ίσως παρουσίαζαν δυσκολίες στην εφαρμογή.
3. Μείωση Αποβλήτων και Logistics: Η επιτόπου (on-site) εκτύπωση εκμηδενίζει τα απόβλητα εργοταξίου και μειώνει τις ανάγκες μεταφοράς βαρέων προκατασκευασμένων στοιχείων. Αυτό συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών του "Scope 3", οι οποίες αποτελούν σημαντικό κομμάτι του συνολικού περιβαλλοντικού αποτυπώματος της βιομηχανίας τσιμέντου.

Επομένως, η 3D εκτύπωση λειτουργεί συμπληρωματικά με τα έργα δέσμευσης άνθρακα (όπως ο «Ηφαιστος»). Ενώ το CCUS αντιμετωπίζει τις εκπομπές στη φάση της παραγωγής, η 3D εκτύπωση μειώνει τη ζήτηση για την ίδια την πρώτη ύλη, δημιουργώντας ένα ολιστικό μοντέλο βιώσιμης δόμησης.

11. Στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης ESG

Οι στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης (Sustainable Development Goals- SDGs), οι οποίοι ορίστηκαν από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών το 2015, αποτελούν μία διεθνή πρόσκληση προς όλα τα κράτη μέλη και αποσκοπούν στην εξάλειψη της φτώχειας, την προστασία του πλανήτη και την διασφάλιση της βιωσιμότητας και ευημερίας των πολιτών, με το 2030 να αποτελεί το έτος-κλειδί για την επίτευξη των παραπάνω (Πίνακας 1). Οι 17 στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ και οι 169 ειδικές επιδιώξεις που απαιτείται να υλοποιηθούν, καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών θεμάτων, με την κλιματική αλλαγή, την εκπαίδευση, την υγεία, την ισότητα και την βιώσιμη παραγωγή και κατανάλωση αγαθών, να αποτελούν τα κυριότερα από αυτά. (31 & Nations, 2015)



Εικόνα 11. Οι 17 στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ (Γενική Γραμματεία Συντονισμού, 2022)

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι SDGs έχουν αποκτήσει μεγάλη σημασία και δίνεται ιδιαίτερη προσπάθεια από τα κράτη και τις επιχειρήσεις στην επίτευξη τους. Οι SDGs επιδιώκουν να ευθυγραμμίσουν τις εθνικές στρατηγικές, τις επιχειρήσεις και την κοινωνία με κοινές αξίες και προτεραιότητες για την δημιουργία ενός παγκόσμιου βιώσιμου περιβάλλοντος. Η επίτευξη τους απαιτεί την συνεργασία κυβερνήσεων, διεθνών οργανισμών, ιδιωτικών εταιρειών και τοπικών κοινοτήτων, ενώ η ενσωμάτωση τους στις επιχειρηματικές στρατηγικές δεν είναι μόνο θέμα ηθικής αλλά και ανταγωνιστικότητας. Ειδικότερα, οι καταναλωτές και οι επενδυτές δείχνουν αυξανόμενο ενδιαφέρον για την βιωσιμότητα, και κατά συνέπεια επιλέγουν επιχειρήσεις που ευθυγραμμίζονται με τις συγκεκριμένες στρατηγικές.

Οι SDGs προσφέρουν στην Ελλάδα μία ευκαιρία για βιώσιμη ανάπτυξη με συνδυασμό οικονομίας, κοινωνίας και περιβάλλοντος, απαιτώντας συνεργασία κυβέρνησης, ιδιωτικού τομέα, τοπικής αυτοδιοίκησης, ακαδημαϊκής κοινότητας και πολιτών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε περιβαλλοντικούς στόχους για τη βιοποικιλότητα στην θάλασσα και την ξηρά (στόχοι 14 και 15).

Στην ΕΕ, οι SDGs αποτελούν πυλώνα της Πράσινης Συμφωνίας (Green Deal) και ενσωματώνονται στο Ευρωπαϊκό Εξάμηνο, με παρακολούθηση της προόδου από τη Eurostat. Παράλληλα, σχεδιάζεται στρατηγική από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την επίτευξή τους έως το 2030, εντός και εκτός ΕΕ. (19 & ΥΠΕΝ, 2024)

Η εταιρική δέσμευση στους SDGs αποτελεί βασικό πυλώνα της σύγχρονης επιχειρηματικότητας. Οι εταιρείες που υιοθετούν στρατηγικές βιώσιμης ανάπτυξης, όπως η ΑΕ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΤΙΤΑΝ, συνεισφέρουν ενεργά στη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου μέλλοντος, ενώ παράλληλα ενισχύουν τη φήμη και την αξία τους. Η ΤΙΤΑΝ υπήρξε πρωτοπόρος στη δέσμευση για βιώσιμη ανάπτυξη, υιοθετώντας ήδη από τη δεκαετία του 1990 πολιτικές για τη μείωση του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος. Η εταιρεία συμμετέχει ενεργά σε διεθνείς πρωτοβουλίες, όπως το Global Cement and Concrete Association (GCCA), και δημοσιεύει ετήσιες εκθέσεις βιωσιμότητας για να διασφαλίσει τη διαφάνεια και την υπευθυνότητα της. (17 & Group, 2024)

Οι βασικές περιοχές προτεραιότητας της εταιρείας είναι οι εξής:

- Ουδέτερο αποτύπωμα άνθρακα και ψηφιακός μετασχηματισμός
- Εργασιακό περιβάλλον που ενθαρρύνει την εξέλιξη
- Θετικό αποτύπωμα σε περιοχές που δραστηριοποιείται η εταιρεία
- Υπεύθυνη εφοδιαστική αλυσίδα

Η παρούσα εργασία εξετάζει πώς η ΤΙΤΑΝ ενσωματώνει τους SDGs στις επιχειρηματικές της πρακτικές, αναλύοντας τα αποτελέσματα και τις προοπτικές για το μέλλον. (20 & Cement, 2024) (21 & S.A., 2024) (22 & Titan Cement International S.A, 2025)

9.1. Στόχοι Βιωσιμότητας ΟΗΕ για την ΑΕ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΤΙΤΑΝ

Οι περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την εταιρική κοινωνική ευθύνη της εταιρείας προέρχονται από την «Ενιαία Ετήσια Έκθεση Απολογισμού 2023», η οποία δημοσιεύθηκε από τον Όμιλο ΤΙΤΑΝ. Η ΤΙΤΑΝ έχει ενσωματώσει τους SDGs στη στρατηγική της, με ιδιαίτερη έμφαση σε εκείνους που συνδέονται άμεσα με τη δραστηριότητά της.

- SDG 9: Βιομηχανία, καινοτομία και υποδομές
- SDG 12: Υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή
- SDG 13: Δράση για το κλίμα

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι κύριες δράσεις της εταιρείας για την επίτευξη των στόχων ESG, οι συνεργασίες της, η διεθνής αναγνώριση των επιδόσεων ESG, καθώς και η πρόοδος και οι δεσμεύσεις της για την επίτευξη περαιτέρω αποτελεσμάτων ESG.

9.2. Οι συνεργασίες της εταιρείας στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης

Η ΑΕ Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ αναγνωρίζει ότι η βιώσιμη ανάπτυξη απαιτεί συλλογική δράση και συνεργασία με ένα ευρύ φάσμα φορέων. Για τον λόγο αυτό, η εταιρεία συμμετέχει ενεργά σε διεθνείς, εθνικές και τοπικές πρωτοβουλίες, συνεργαζόμενη με κυβερνήσεις, οργανισμούς, ακαδημαϊκά ιδρύματα και μη κυβερνητικές οργανώσεις (ΜΚΟ). Οι βασικές συνεργασίες και παγκόσμιες πρωτοβουλίες στις οποίες συμμετέχει ο όμιλος ΤΙΤΑΝ, συμβάλλοντας στην διαμόρφωση ενός ασφαλέστερου και πιο βιώσιμου περιβάλλοντος παρουσιάζονται 6. Επικεντρώνονται κυρίως στον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής και των εκπομπών Ρύπων στην βιομηχανία, καθώς και στον ρόλο και την ισχυροποίηση των δικαιωμάτων των γυναικών στον εργασιακό χώρο. Γενικότερα, ο ΤΙΤΑΝ συμμετέχει σε διεθνείς συνεργασίες, ευρωπαϊκές και εθνικές πρωτοβουλίες, συνεργασίες με ερευνητικά και ακαδημαϊκά ιδρύματα, τοπικές συνεργασίες και κοινωνικές δράσεις. (21 & S.A., 2024)

Πίνακας 6. Παρουσία του Ομίλου Τιταν στους Διεθνείς οργανισμούς Ενιαία Ετήσια Έκθεση Απολογισμού ΤΙΤΑΝ, 2023) (8 & Απολογισμού, 2023)

ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ	ΡΟΛΟΣ ΟΜΙΛΟΥ ΤΙΤΑΝ
UNGC (United Nations Global Compact)	Ο ΤΙΤΑΝ συμμετέχει στο Οικουμενικό Σύμφωνο των Ηνωμένων Εθνών από το 2002 και επικοινωνεί σταθερά την ένταξη των 10 αρχών του Συμφώνου στις επιχειρηματικές του δραστηριότητες
SBTi (Science Based Targets initiative)	Ο ΤΙΤΑΝ ήταν από τις πρώτες τρεις τσιμεντοβιομηχανίες με στόχους μείωσης αερίων θερμοκηπίου επικυρωμένους από την SBTi για τον στόχο 1,5°C και από τους πρώτους ομίλους με επικυρωμένους στόχους ουδέτερου αποτυπώματος άνθρακα έως το 2050.
Business Ambition for 1.5°C	Συμμετέχει στις πρωτοβουλίες «Business Ambition for 1.5°C» και «Race to Zero», δεσμευόμενος για περιορισμό της παγκόσμιας θερμοκρασιακής αύξησης στους 1,5°C και ουδέτερο αποτύπωμα άνθρακα έως το 2050. Μέσω αυτών, ενθαρρύνεται η συνεργασία επιχειρήσεων, κυβερνήσεων και οργανισμών για την προστασία του πλανήτη και την επίτευξη κλιματικών στόχων.
We Mean Business	Συνεργάζεται με κορυφαίες επιχειρήσεις παγκοσμίως μέσω του μη κερδοσκοπικού συνασπισμού «We Mean Business», επιδιώκοντας να διασφαλίσει ότι η παγκόσμια οικονομία αποφεύγει επιβλαβείς για το κλίμα ενέργειες και προάγει τη βιώσιμη ανάπτυξη προς όφελος όλων.
ITA (Industrial Transition Accelerator)	Συμμετέχει στην πρωτοβουλία «Industrial Transition Accelerator (ITA)», που εγκαινιάστηκε στη COP28, με στόχο την επιτάχυνση της απαλλαγής της βαριάς βιομηχανίας από τον άνθρακα.
GCCA	Συνεργάζεται με την Παγκόσμια Ένωση Τσιμέντου και Σκυροδέματος (GCCA) και το ερευνητικό δίκτυο INNOVANDI για την υλοποίηση του οδικού χάρτη προς ουδέτερο αποτύπωμα άνθρακα έως το 2050. Το 2023 εντάχθηκε στη νέα Ομάδα Εργασίας για τη Φύση της GCCA, ευθυγραμμίζοντας με τις σύγχρονες τάσεις και μέτρα για την προστασία της φύσης.

<u>ERT</u>	Συμμετέχει στην Ομάδα Εργασίας της Ευρωπαϊκής Στρογγυλής Τράπεζας για τη Βιομηχανία σχετικά με την Ενεργειακή Μετάβαση και την Κλιματική Αλλαγή. Η ομάδα εξετάζει τρόπους για την επιτυχή μετάβαση σε οικονομία χαμηλού άνθρακα, συμβάλλοντας στην επίτευξη των στόχων της Συμφωνίας του Παρισιού.
<u>ECRA</u>	Είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Ακαδημίας Έρευνας για το Τιμέντο (ECRA), υποστηρίζοντας δραστηριότητες που προάγουν την καινοτομία στον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής και στις βιώσιμες κατασκευές.
<u>CSR EUROPE</u>	Ο TITAN, μέλος του CSR Europe από το 2004 και ιδρυτικό μέλος συνεργαζόμενων κρατικών οργανισμών, συμμετέχει ενεργά στο Διοικητικό Συμβούλιο του δικτύου και στο Ευρωπαϊκό Εργαστήριο Αναφορών της EFRAG. Το 2023 συνέβαλε στην ανάπτυξη των Ευρωπαϊκών Προτύπων Αναφορών Βιωσιμότητας (ESRS).
<u>UN WOMEN</u>	Τον Μάρτιο του 2023, ο TITAN συνυπέγραψε τις Αρχές Ενδυνάμωσης των Γυναικών του ΟΗΕ, που έχουν θεσπιστεί από την UN Women και το Οικουμενικό Σύμφωνο των Ηνωμένων Εθνών. Οι αρχές αυτές ενισχύουν τις προσπάθειες του TITAN για την προώθηση της ισότητας των φύλων και την ενδυνάμωση των γυναικών στον εργασιακό χώρο.

9.3. Δεσμεύσεις ESG και τα αποτελέσματα του Ομίλου

Ο Όμιλος TITAN έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs), ενώ αναγνωρίζει ότι απαιτούνται περαιτέρω βήματα για το μέλλον. Οι φιλοδοξίες του αποτυπώνονται μέσα από ρεαλιστικούς αριθμούς και δεδομένα, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω, με στόχο την επίτευξη των προτεραιοτήτων του στο πλαίσιο των 17 στόχων του ΟΗΕ.

Ειδικότερα:

SDG 9: Βιομηχανία, καινοτομία και υποδομές

1. Ο όμιλος έχει επιταχύνει την ψηφιακή ανάπτυξη σε όλο το φάσμα της παραγωγής. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών Industry 4.0, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και το Internet of Things (IoT), επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της καύσης σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO₂. Η διεθνής βιβλιογραφία επιβεβαιώνει ότι ο ψηφιακός μετασχηματισμός είναι απαραίτητος για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας και τη μείωση σφαλμάτων στον κατασκευαστικό κλάδο (32 & Bongomin, 2020) (33 & Haberl, 2017). Τέλος, τα εργοστάσια διαθέτουν το μοναδικό βασισμένο σε AI σύστημα πρόβλεψης βλαβών στον κλάδο τσιμέντου, το οποίο υποστηρίζεται από εξειδικευμένα κέντρα συντήρησης.
2. Παράλληλα, το έργο H2CEM του ομίλου TITAN αποτελεί μια σημαντική πρωτοβουλία που στοχεύει στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος της βιομηχανίας τσιμέντου, μέσω της χρήσης πράσινου υδρογόνου ως εναλλακτικού καυσίμου και αποτελεί το μοναδικό έργο που κρίθηκε επιλέξιμο για χρηματοδότηση με κρατική ενίσχυση. Στο πλαίσιο αυτό, σχεδιάζονται και εγκαθίστανται μονάδες ηλεκτρόλυσης που θα τροφοδοτούνται αποκλειστικά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εξασφαλίζοντας

σημαντική μείωση εκπομπών CO₂ στα εργοστάσια Καμαρίου, Δρεπάνου και Ευκαρπίας. Οι εκτιμώμενες μειώσεις φτάνουν τους 160.000 τόνους CO₂ ετησίως, ένα ουσιαστικό βήμα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Το έργο περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός πιλοτικού κλιβάνου που θα χρησιμοποιεί υδρογόνο, προάγοντας την κατανόηση και την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας στη βιομηχανία. Με αυτόν τον τρόπο, το H₂CEM δεν περιορίζεται στη μείωση εκπομπών, αλλά συμβάλλει και στη μετάβαση προς έναν πιο βιώσιμο και καινοτόμο βιομηχανικό τομέα, ευθυγραμμισμένο με τους ευρωπαϊκούς περιβαλλοντικούς στόχους για το 2030. Συνεπώς, Το H₂CEM περιλαμβάνει την παρουσίαση, σε βιομηχανική κλίμακα, της χρήσης του υδρογόνου ως κύριου καυσίμου για την παραγωγή κλίνκερ τσιμέντου. (23 & Group, 2022)

3. Ο όμιλος TITAN εκτύπωσε το πρώτο κτίσμα από σκυρόδεμα στην Ελλάδα, χρησιμοποιώντας τον πρώτο εκτυπωτή 3D εκτύπωσης σκυροδέματος, ο οποίος κατασκευάστηκε εξ ολοκλήρου στην Ελλάδα, στο εργοστάσιο του ομίλου στο Καμάρι. Στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου 3BUILD, αναπτύχθηκε ένας πρωτότυπος εκτυπωτής 3D, μαζί με μια καινοτόμο «μελάνη εκτύπωσης» που βασίζεται σε ένα βελτιστοποιημένο μείγμα τσιμέντου. Έπειτα από τέσσερα χρόνια εργαστηριακών και πιλοτικών δοκιμών, πραγματοποιήθηκε επιτυχής τρισδιάστατη εκτύπωση πλήρους κλίμακας στις ΗΠΑ, αξιοποιώντας την αναπτυγμένη μελάνη σε συνδυασμό με εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες εκτύπωσης. (20 & Cement, 2024)

SDG 12: Υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή

Ο Όμιλος TITAN στηρίζει τον Στόχο Βιώσιμης Ανάπτυξης 12 (Υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή) μέσω στρατηγικών που προάγουν την κυκλική οικονομία και μειώνουν την κατανάλωση φυσικών πόρων. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται οι ενέργειες του ομίλου και τα αποτελέσματα της εφαρμογής τους.

Πίνακας 7. Ενέργειες ενίσχυσης της κυκλικής οικονομίας από τον όμιλο TITAN (Ενιαία Ετήσια Έκθεση Απολογισμού TITAN, 2023) (18 & Ghisellini, 2016) (8 & Απολογισμού, 2023)

Ενέργειες	Μεγέθη
Ανακύκλωση αποβλήτων σκυροδέματος	87,5%
Αξιοποίηση των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων	171.200 t
Χρήση εναλλακτικών πρώτων υλών για την παραγωγή τσιμέντου	8,0%
Μείωση κατανάλωσης νερού από το 2022	3,7%
Συνολική παραγωγή κλίνκερ του Ομίλου που καλύπτεται με ISO500001 ή με ενεργειακούς ελέγχους	85,7%

SDG 13: Δράση για το κλίμα

Ο όμιλος TITAN δεσμεύεται να μειώσει τις εκπομπές άνθρακα για την συγκράτηση της αύξησης της θερμοκρασίας στους 1,5 °C έως και το 2050. Ειδικότερα, από το 1990 έως και το 2020 επιτεύχθηκε μείωση εκπομπών CO₂ κατά 13,7%, από το 2020 έως το 2030 αναμένεται μείωση κατά 25,1% και 95,6% έως και το έτος ορόσημο για την κλιματική ουδετερότητα των επιχειρήσεων, 2050.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω ο όμιλος TITAN επενδύει σε νέα υλικά με μηδενικές εκπομπές άνθρακα και σε νέες τεχνολογίες. Πιο συγκεκριμένα:

- **Πρόγραμμα «Ήφαιστος»:** Προβλέπεται η δημιουργία μεγάλης κλίμακας μονάδας δέσμευσης άνθρακα στο εργοστάσιο στο Καμάρι Βοιωτίας, με δυνατότητα δέσμευσης 1,9 εκατομμυρίων τόνων CO₂ ετησίως. Η μονάδα αυτή, η μεγαλύτερη του είδους της στην Ευρώπη, αναμένεται να συμβάλει στην επίτευξη του στόχου της Ελλάδας για ουδέτερο ανθρακικό αποτύπωμα, παράγοντας ταυτόχρονα 3 εκατομμύρια τόνους τσιμέντου μηδενικού αποτυπώματος άνθρακα ετησίως, για χρήση σε «πράσινες» κατασκευές στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Το έργο εντάσσεται σε ένα ευρύτερο δίκτυο δράσεων που συνδυάζουν δέσμευση άνθρακα με μεταφορά και αποθήκευση. Έχουν ήδη δρομολογηθεί συνεργασίες με τεχνολογικούς φορείς και άλλους ενδιαφερόμενους, ενώ η επιχορήγηση από το Ταμείο Καινοτομίας της ΕΕ ενισχύει τη διαδικασία προετοιμασίας και υλοποίησης του έργου. Από το συγκεκριμένο έργο αναμένεται να αποφευχθούν εκπομπές CO₂ άνω των 1,9 εκ. τόνων ετησίως.
- **Θερμική υποκατάσταση με εναλλακτικά καύσιμα σε ποσοστό 19,6%:** Η Θερμική υποκατάσταση με εναλλακτικά καύσιμα αποτελεί μια βιώσιμη πρακτική που εφαρμόζεται στους κλιβάνους παραγωγής τσιμέντου. Οι κλίβανοι απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 1400°C) για την παραγωγή κλίνκερ, του βασικού συστατικού του τσιμέντου. Σε αυτό το πλαίσιο, τα εναλλακτικά καύσιμα μπορούν να αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας, με περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη. (GCCA, 2024)
- Νέα σακόφιλτρα στο εργοστάσιο Τσιμέντου Usje στην Βόρεια Μακεδονία
- Εκπόνηση μελετών πεδίου για την βιοποικιλότητα στα λατομεία αδρανών υλικών Δρυμού και Θίσβης.

9.4. Σύγκριση Ενεργειακής Απόδοσης και Βιωσιμότητας (2024 vs 2023) & μελλοντικές προοπτικές

Στον Πίνακα 8 παρατηρούμε ότι ο απολογισμός των περιβαλλοντικών δεικτών για το 2024 δείχνει θετικές εξελίξεις σε αρκετούς τομείς βιωσιμότητας, με σημαντικά βήματα προς τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της παραγωγής τσιμεντοειδών προϊόντων.

Ειδικότερα, καταγράφεται μείωση των εκπομπών CO₂ Score 1 κατά 1,5% και Score 2 κατά 12,7%, γεγονός που αντικατοπτρίζει αποτελεσματικότερες πρακτικές παραγωγής και καλύτερη ενεργειακή διαχείριση. Ωστόσο, παρατηρείται αύξηση των εκπομπών Score 3 κατά 11,9%, η οποία πιθανόν συνδέεται με αυξημένες μεταφορές ή δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας και αποτελεί σημείο που χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση και παρέμβαση.

Θετική είναι η αύξηση της υποκατάστασης συμβατικών καυσίμων με εναλλακτικά (21,2%, +8,2%), υποδεικνύοντας πρόοδο στην κυκλική οικονομία και ενεργειακή αποδοτικότητα. Παράλληλα, η ελαφρά μείωση της σχέσης κλίνκερ προς τσιμέντο (76,5%) συνεισφέρει έμμεσα στη μείωση των εκπομπών, καθώς το κλίνκερ είναι το πιο ενεργοβόρο συστατικό του τσιμέντου. Όσον αφορά την κατανάλωση φυσικών πόρων, παρατηρείται μείωση στην κατανάλωση νερού κατά 0,8%, ενώ η κάλυψη της ζήτησης από ανακυκλωμένο νερό αυξήθηκε κατά 2,7%, στοιχείο που υπογραμμίζει τη βελτίωση της διαχείρισης υδάτινων πόρων. Τέλος, το ποσοστό παραγωγής που καλύπτεται από σύστημα ενεργειακής διαχείρισης ISO 50001 ή αντίστοιχους ενεργειακούς ελέγχους αυξήθηκε σε 90% (+5%), επιβεβαιώνοντας τη δέσμευση της εταιρείας για συνεχή βελτίωση και συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα.

Συνολικά, οι δείκτες καταδεικνύουν θετική πορεία προς πιο βιώσιμες και υπεύθυνες πρακτικές, αν και παραμένουν προκλήσεις, κυρίως στον τομέα των έμμεσων εκπομπών (Score 3), που χρήζουν περαιτέρω στρατηγικού σχεδιασμού. (20 & Cement, 2024) (21 & S.A., 2024)

Πίνακας 8. Συγκριτικοί δείκτες επίτευξης στόχων μεταξύ αποτελεσμάτων 2023 & 2024 (20 & Cement, 2024) (21 & S.A., 2024) (22 & Titan Cement International S.A, 2025)

Δείκτης	2024	2023	Μεταβολή (%)
Εκπομπές CO ₂ (Score 1, kg/t τσιμεντοειδούς προϊόντος)	598.4	607.7	-1.5%
Εκπομπές CO ₂ (Score 2, kg/t τσιμεντοειδούς προϊόντος)	42.8	49.0	-12.7%
Εκπομπές CO ₂ (Score 3, kg/t τσιμεντοειδούς προϊόντος)	128.1	114.5	+11.9%
Ρυθμός υποκατάστασης καυσίμων από εναλλακτικά (%)	21.2	19.6	+8.2%
Σχέση κλίνκερ προς τσιμέντο (%)	76.5	76.9	-0.5%

Κατανάλωση νερού (l/t τιμεντοειδούς προϊόντος)	220.9	222.7	-0.8%
Κάλυψη ζήτησης νερού από ανακυκλωμένο νερό (%)	72.9	71.0	+2.7%
Παραγωγή καλυμμένη από ISO 50001 ή ενεργειακούς ελέγχους (%)	90.0	85.7	+5.0%

9.5. Πορεία Αναβάθμισης για Εξοικονόμηση Ενέργειας και NET ZERO 2050

Με βάση και την αναφορά του Πίνακα 9, οι προβλέψεις και η στρατηγική για την επίτευξη του στόχου NET ZERO το 2050 βασίζεται στους εξής πυλώνες:

- Επέκταση χρήσης εναλλακτικών καυσίμων: Μέχρι το 2030, το 50% των καυσίμων θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές και εναλλακτικά υλικά.
- Τεχνολογίες Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα (CCS): Εφαρμογή σε βασικές εγκαταστάσεις, όπως αυτή του έργου IFESTOS στην Αθήνα.
- Αντικατάσταση κλίνκερ με χαμηλού άνθρακα πρώτες ύλες: Επένδυση σε εναλλακτικές λύσεις όπως ψημένος άργιλος και τεχνητά ποζολάνη.
- Ψηφιακή καινοτομία και τεχνητή νοημοσύνη (AI) για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης.
- Πλήρης απανθρακοποίηση του ηλεκτρικού εφοδιασμού: 100% χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. (21 & S.A., 2024)

Πίνακας 9. Ιστορική Αναδρομή και Σημαντικά Ορόσημα (8 & Απολογισμού, 2023) (23 & Group, 2022)

Χρονιά	Σημαντικές Εξελίξεις
1902	Ίδρυση της TITAN Cement στην Ελλάδα
1970	Πρώτες επενδύσεις σε αναβαθμίσεις εξοπλισμού για εξοικονόμηση ενέργειας
1990	Υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων (π.χ. RDF, βιομάζα)
2010	Εφαρμογή ενεργειακών ελέγχων & πιστοποίηση ISO 50001
2020	Ανακοίνωση στρατηγικού στόχου NET ZERO 2050
2022	Εισαγωγή χαμηλότερου αποτυπώματος άνθρακα στο τιμέντο
2023-2024	Ψηφιοποίηση παραγωγικής διαδικασίας, επέκταση AI-driven ενεργειακής απόδοσης
2030	Στόχος μείωσης 35% των εκπομπών CO ₂ (σε σχέση με το 1990)
2050	Πλήρης επίτευξη NET ZERO μέσω τεχνολογιών CCS, ηλεκτροδότησης και χρήσης εναλλακτικών πρώτων υλών

Πίνακας 10. Σύνοψη Καταστάσεων Επίδοσης ESG/ Δείκτες Επιδόσεων ESG (Ενιαία Ετήσια Έκθεση Απολογισμού TITAN, 2023) (20 & Cement, 2024) (21 & S.A., 2024) (22 & Titan Cement International S.A, 2025)

		2023	2022
Ουδέτερο αποτύπωμα άνθρακα			
Score 1 καθαρές εκπομπές CO ₂	kg/t τσιμεντοειδούς προϊόντος	607,7	619,0
Score 2 εκπομπές CO ₂	kg/t τσιμεντοειδούς προϊόντος	49,0	47,0
Score 3 εκπομπές CO ₂	kg/t τσιμεντοειδούς προϊόντος	114,5	116,7
Ένταση CO ₂ (Score 1) ανά μονάδα εσόδων	kg/€	3,84	4,18
Ποσοστό εναλλακτικών καυσίμων	% θερμιδικά	19,6	17,5
Δείκτης κλίνκερ προς τσιμέντο	%	76,9	78,4
Πράσινα προϊόντα	% παραγωγής τσιμέντου	23,4	19,5
Επενδυτικές δαπάνες για το κλίμα	εκ. €	63,4	38,6
Επενδύσεις σε έρευνα και καινοτομία	εκ. €/έτος	22,1	11,7
Εργασιακό περιβάλλον που ενθαρρύνει την ανάπτυξη			
Θανατηφόρα ατυχήματα	#	0	1
Δείκτης Συχνότητας Ατυχημάτων που οδήγησαν σε Απώλεια Χρόνου Εργασίας Εργαζομένων (LTIFR)	#/10 ⁶ h	0,35	0,63
Πρωτοβουλίες υγείας και ευημερίας	#	226	215
Ποσοστό γυναικών στη διοίκηση	%	20,8	19,4
Μέσος όρος ωρών εκπαίδευσης	ώρες/εργαζόμενο	25,2	22,7
Θετικό αποτύπωμα στις περιοχές που δραστηριοποιούμαστε			
Εκπομπές σκόνης	g/t κλίνκερ	19,8	21,7
Εκπομπές NOx	g/t κλίνκερ	1.165	1.251
Εκπομπές SOx	g/t κλίνκερ	238,4	257,4
Λατομεία με σχέδια βιοποικιλότητας	%	83,3	83,3
Πρωτοβουλίες σύμπραξης στις κοινότητες	#	265	203
Θέσεις πρακτικής άσκησης	#	361	482
Κοινωνική επένδυση	€ εκ.	2,6	1,7
Εργαζόμενοι από την τοπική κοινότητα	%	83,9	83,8
Δαπάνες σε τοπικούς προμηθευτές	%	67,8	67,6
Υπεύθυνη εφοδιαστική αλυσίδα			
Κατανάλωση νερού	l/t τσιμεντοειδούς προϊόντος	222,7	240,4
Ζήτηση νερού που καλύπτεται με ανακυκλωμένο νερό	%	71,0	68,0
Ποσοστό της παραγωγής που καλύπτεται με ISO 50001 ή με ενεργειακούς ελέγχους	%	85,7	85,9
Καλή διακυβέρνηση, διαφάνεια και επιχειρηματική ηθική			
Συμμετοχή γυναικών στο ΔΣ	#	1/3	1/3
Ανεξάρτητα Μέλη του ΔΣ	#	9/16	10/16

Ουδέτερο Αποτύπωμα Άνθρακα

Η Α.Ε. ΤΣΙΜΕΝΤΑ TITAN έχει θέσει στόχο να επιτύχει ουδέτερο αποτύπωμα άνθρακα το οποίο σύμφωνα με τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στον παραπάνω πίνακα, σημείωσε σημαντική πρόοδο στον συγκεκριμένο τομέα, το 2023 οι εκπομπές CO₂ μειώθηκαν κατά 15% σε σύγκριση με το 2022, κυρίως λόγω της εφαρμογής νέων τεχνολογιών όπως η ολοκλήρωση του έργου Calciner (επένδυση 26 εκατομμυρίων ευρώ) και διαδικασιών που στοχεύουν στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων (χρήση Α.Ι.). Η αναβάθμιση του εργοστασίου στο Καμάρι ήταν ένας

στόχος της εταιρείας που επετεύχθη έναντι της απανθρακοποίησης που έχει θέσει για όλο τον Όμιλο TITAN. Αυτή η μείωση αποδεικνύει τη δέσμευση της εταιρείας στη βιωσιμότητα και την προστασία του περιβάλλοντος. Ο χρονικός ορίζοντας του έργου ήταν η εκκίνηση του το 2016 με την ολοκλήρωση του στο τέλος 2022.

Επιπλέον, η εταιρεία σκοπεύει να επεκτείνει τις επενδύσεις στο τομέα μείωσης του ανθρακικού αποτυπώματος της, αναπτύσσοντας το έργο «ΗΦΑΙΣΤΟΣ» μέσω ευρωπαϊκών κονδυλίων. Το κονδύλι τις Ε.Ε. ανέρχεται στα 300 εκατομμύρια ευρώ και αποσκοπεί στον μηδενισμό των εκπομπών CO₂ έως το 2030.

Θετικό Αποτύπωμα στις Περιοχές Δραστηριοποίησης

Η επιρροή της εταιρείας στις τοπικές κοινότητες είναι σημαντική. Το 2023, η Α.Ε. ΤΣΙΜΕΝΤΑ TITAN επένδυσε περισσότερους πόρους σε κοινωνικά προγράμματα, με αποτέλεσμα την αύξηση της κοινωνικής ευθύνης της. Οι αναφορές δείχνουν ότι το 80% των κατοίκων στις περιοχές δραστηριοποίησης θεωρούν ότι η εταιρεία έχει θετική επίδραση στην τοπική οικονομία, κάτι που είναι βελτιωμένο σε σχέση με το 75% του 2022. Τα αποτελέσματα απορρέουν από το γεγονός πως η εταιρεία διατηρεί σταθερή στάση στα κοινωνικά αλλά και περιβαλλοντικά πρότυπα ευρωπαϊκής ένωσης και κράτους.

Υπευθυνότητα Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Μία ακόμη επιτυχία είναι η σωστή διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, διότι το 2023, η εταιρεία έχει καταφέρει να μειώσει την κατανάλωση νερού κατά 12% και να αποκτήσει πιστοποίηση ISO 50001, που αφορά τη διαχείριση συστημάτων ενέργειας. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν τη δέσμευση της εταιρείας στην υπευθυνότητα και στη βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας. (21 & S.A., 2024) (22 & Titan Cement International S.A, 2025)

9.6. Παραδείγματα από διεθνείς αγορές

Ο όμιλος TITAN δραστηριοποιείται σε περισσότερες από 25 χώρες και κατέχει ηγετική θέση στον κλάδο δομικών υλικών στις αγορές της Φλόριντα και της Βιρτζίνια, καθώς και σημαντικές επενδύσεις σε σταθμούς εισαγωγών και διανομής. Στην Αμερική πραγματοποιούνται καινοτόμα έργα και παρέχονται νέα προϊόντα σκυροδέματος υψηλής απόδοσης, στα πλαίσια της τεχνολογικής εξέλιξης και της επίτευξης των SDGs 6, 9 και 13. Ειδικότερα, στην Εικόνα 12 παρουσιάζονται μερικά από τα προαναφερόμενα καινοτόμα υλικά που αποτελούν παράδειγμα και στόχο για την Ελλάδα στο άμεσο μέλλον.



GREENCRETE – ΠΡΑΣΙΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Λύση σκυροδέματος μειωμένου άνθρακα.
Έως 70% μείωση των εκπομπών CO₂ έναντι
του τυπικού σκυροδέματος.



ΔΙΕΥΡΥΜΕΝΟΙ ΑΡΜΟΙ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ

Σχεδιασμένοι για επίπεδα δάπεδα, για χρήση
της ρομποτικής.



ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟ ΥΛΙΚΟ

Αποτρέπει τη διάβρωση και τη συσσώρευση
βακτηρίων στα όμβρια ύδατα, στο πόσιμο
νερό και στις ιατρικές εγκαταστάσεις.



ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΓΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ανθεκτικότητα στη διάβρωση των ακτών, για
χρήση σε θαλάσσια τείχη, υπερράκτια αιολικά
πάρκα κ.λπ.



ΥΠΕΡΥΨΗΛΗ ΕΠΙΔΟΣΗ

Μια ανθεκτική αστικοποίηση απαιτεί
πάνω από 12.000 psi σκυροδέματος για
ενισχυμένη αντοχή.

Εικόνα 12. Τα νέα προϊόντα σκυροδέματος στην αγορά των ΗΠΑ (Ενιαία Ετήσια Έκθεση Απολογισμού TITAN, 2023) (22 & Titan Cement International S.A, 2025)

9.7. Τελικές Παρατηρήσεις και Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Τα παραπάνω στοιχεία αναδεικνύουν τη σημασία της ενεργειακής και περιβαλλοντικής αποδοτικότητας στην παραγωγή τσιμέντου και ανέλυσε την πολυδιάστατη στρατηγική του Ομίλου TITAN για τη βιώσιμη μετάβαση, τόσο στο περιβαλλοντικό όσο και στο κοινωνικό και εργασιακό πεδίο.

Ο Όμιλος TITAN παρουσιάζει ένα ολοκληρωμένο μοντέλο βιώσιμης ανάπτυξης που βασίζεται:

- Στη συστηματική μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος μέσω καινοτόμων τεχνολογιών (π.χ. IFESTOS, H2CEM).
- Στην ενσωμάτωση πρακτικών κυκλικής οικονομίας και την ανάπτυξη πράσινων προϊόντων.
- Στην καλλιέργεια ενός ανθρώπινου και καινοτόμου εργασιακού περιβάλλοντος.
- Στην ενεργή κοινωνική δράση και τη στήριξη των τοπικών οικονομιών.

Η περίπτωση του TITAN αποδεικνύει ότι οι μεγάλες βιομηχανικές επιχειρήσεις μπορούν να αποτελέσουν μοχλό βιώσιμης ανάπτυξης, όταν επενδύουν στρατηγικά στην τεχνολογία, τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Ιδιαίτερα κρίσιμες προτάσεις σχετικά με τις προοπτικές για επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης του ομίλου είναι οι εξής:

1. Επέκταση της χρήσης ΑΠΕ και αποθήκευσης ενέργειας:
 - Ανάπτυξη μικρών φωτοβολταϊκών πάρκων σε εγκαταστάσεις και λατομεία.
 - Υιοθέτηση τεχνολογιών αποθήκευσης (μπαταρίες, υδρογόνο).
2. Ανάπτυξη περιφερειακών κέντρων καινοτομίας:
 - Συνεργασία με πανεπιστήμια και startups για πιλοτικές εφαρμογές.
 - Δημιουργία ανοιχτών εργαστηρίων (living labs) για νέες μεθόδους κατασκευής.
3. Περαιτέρω μείωση κλίνκερ και επέκταση πράσινων προϊόντων:
 - Επιτάχυνση της αξιοποίησης ενεργοποιημένων πηλών και εναλλακτικών συνδετικών υλών.
 - Ενίσχυση του marketing σε πελάτες με υψηλές απαιτήσεις ESG.
4. Ενίσχυση μετρήσεων κοινωνικού αποτυπώματος:
 - Ανάπτυξη δεικτών κοινωνικής συνεισφοράς με βάση διεθνή πρότυπα (SROI).
 - Ενσωμάτωση του κοινωνικού αποτυπώματος στην ετήσια στρατηγική ESG.

Η υιοθέτηση των παραπάνω προτάσεων μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω την ανθεκτικότητα, τη φήμη και τη βιωσιμότητα του Ομίλου TITAN, δημιουργώντας ένα πρότυπο βιομηχανικής μετάβασης για την Ελλάδα και την Ευρώπη.

Μελλοντικές Κατευθύνσεις

- Επέκταση χρήσης ΑΠΕ και αποθήκευσης ενέργειας: Ανάπτυξη φωτοβολταϊκών πάρκων, υιοθέτηση τεχνολογιών αποθήκευσης.
- Ανάπτυξη περιφερειακών κέντρων καινοτομίας: Συνεργασία με πανεπιστήμια και startups, δημιουργία living labs.
- Περαιτέρω μείωση κλίνκερ και επέκταση πράσινων προϊόντων: Ενεργοποιημένοι άργιλοι, εναλλακτικές συνδετικές ύλες.
- Ενίσχυση κοινωνικού αποτυπώματος: Ανάπτυξη δεικτών SROI, ενσωμάτωση κοινωνικής συνεισφοράς στην ESG στρατηγική.

12. Συμπεράσματα

Η επιτυχής υλοποίηση των έργων IFESTOS Kamari και CCUS LafargeHolcim θα αποτελεί σημείο αναφοράς για τη βιομηχανία τσιμέντου στην Ελλάδα και την Ευρώπη. Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο κλάδος είναι σημαντικές, ωστόσο η στρατηγική επένδυση σε τεχνολογία, ανθρώπινο δυναμικό και βιώσιμες πρακτικές οδηγεί σε ουσιαστική πρόοδο προς την επίτευξη του στόχου Net Zero 2050.

Η συνεχής παρακολούθηση των KPIs, η ενίσχυση της κοινωνικής ευθύνης και η καινοτομία αποτελούν τα κλειδιά για τη βιώσιμη μετάβαση του κλάδου. Η βιομηχανία τσιμέντου καλείται να υιοθετήσει καινοτόμες τεχνολογίες, να επενδύσει σε εναλλακτικά καύσιμα και πρώτες ύλες, να βελτιώσει την ενεργειακή της απόδοση και να ενισχύσει την κυκλική οικονομία.

Η εφαρμογή διεθνών προτύπων και η δημοσίευση εκθέσεων βιωσιμότητας (ESG reports) αποτελούν πλέον αναπόσπαστο μέρος της εταιρικής στρατηγικής, με στόχο τη διαφάνεια, τη λογοδοσία και την ενίσχυση της εμπιστοσύνης των ενδιαφερόμενων μερών. Οι εταιρείες του κλάδου, όπως ο Όμιλος TITAN και η LafargeHolcim, έχουν υιοθετήσει φιλόδοξους στόχους για τη μείωση των εκπομπών CO₂, την αύξηση της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων και την ενίσχυση της περιβαλλοντικής διαχείρισης.

Η στρατηγική μετάβαση από το παραδοσιακό τσιμέντο CEM I σε μεικτές μορφές όπως CEM II, CEM III και CEM IV αποτελεί βασική επιλογή για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος και του κόστους συμμόρφωσης, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει την ανταγωνιστικότητα των εταιρειών. Τα τσιμέντα με χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα μπορούν να πωλούνται σε υψηλότερη τιμή λόγω της ζήτησης για βιώσιμα προϊόντα, ενώ τα CEM I αντιμετωπίζουν πιέσεις τιμής λόγω αυστηρότερων κανονισμών και αυξημένου κόστους εκπομπών.

Η υιοθέτηση τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCUS), η παραγωγή «πράσινου» τσιμέντου και η αξιοποίηση αποβλήτων ως δευτερογενών πρώτων υλών αποτελούν πλέον βασικούς πυλώνες της στρατηγικής των εταιρειών του κλάδου. Η συνεχής βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, η αύξηση της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων και η ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας είναι απαραίτητες για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας.

Η περίπτωση του Ομίλου TITAN αποδεικνύει ότι οι μεγάλες βιομηχανικές επιχειρήσεις μπορούν να αποτελέσουν μοχλό βιώσιμης ανάπτυξης, όταν επενδύουν στρατηγικά στην τεχνολογία, τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Η υιοθέτηση των παραπάνω προτάσεων μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω την ανθεκτικότητα, τη φήμη και τη βιωσιμότητα του Ομίλου TITAN, δημιουργώντας ένα πρότυπο βιομηχανικής μετάβασης για την Ελλάδα και την Ευρώπη.

13. Βιβλιογραφία

1. International Energy Agency (IEA) & Global Cement and Concrete Association (GCCA). (2023). *Cement Industry CO₂ Emissions Report*. [online] Available at: <https://www.iea.org/reports/cement>
2. GCCA. (2024). *Low Carbon Cement Certification Guidelines*. [online] Available at: <https://gccassociation.org/sustainability/low-carbon-cement>
3. Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος 2024, *CEMBUREAU 2050 Roadmap: Μειώσεις εκπομπών CO₂ στην τσιμεντοβιομηχανία*, ΕΤΕ, Αθήνα.
4. Provis, J. L. (2018). Alkali-activated materials: Can they suffice?. *Cement and Concrete Research*, 114, 49-69.
5. Habert, G., d'Espinose de Lacaillerie, J. B., & Roussel, N. (2011). An environmental evaluation of geopolymer based concrete production: reviewing current research trends. *Journal of Cleaner Production*, 19(11), 1229-1238.
6. Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2–26.
7. Miller, S. A., John, V. M., Pacca, S. A., & Horvath, A. (2018). Carbon dioxide reduction potential in the global cement industry by 2050. *Cement and Concrete Research*, 114, 115-124.
8. Titan Cement Group 2023, *Ενιαία Ετήσια Έκθεση Απολογισμού 2023*, διαθέσιμο στο: <https://www.titan-cement.com/>
9. Valderrama, C., Granados, R., Cortina, J. L., Gasol, C. M., Guillem, M., & Josa, A. (2012). Implementation of best available techniques in cement manufacturing: a life-cycle assessment study. *Journal of Cleaner Production*, 25, 60-67.
10. Stafford, F. N., et al. (2020). Life cycle assessment of the production of cement: A Brazilian case study. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117812.

11. Le Quéré, C. et al. 2009, *Trends in the sources and sinks of carbon dioxide*, Nature Geoscience, vol. 2, no. 12, pp. 831–836, διαθέσιμο στο: (5 & Habert) <https://doi.org/10.1038/ngeo689>.
12. European Commission. (2022). *Green Deal and EU Taxonomy Regulation*. [online] Available at: https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_en
13. LafargeHolcim. (2024). *Carboneras CCUS Project Overview*. [online] Available at: <https://www.holcim.com/carboneras-ccus>
14. HeidelbergCement. (2024). *Brevik CCS Project*. [online] Available at: <https://www.heidelbergmaterials.com/en/brevik-ccs>
15. Plaza, M. G., Martínez, S., & Rubiera, F. (2020). CO₂ capture, use, and storage in the cement industry: State of the art and expectations. *Energies*, 13(21), 5692.
16. Hills, T. P., Sceats, M., Rennie, D., & Fennell, P. (2016). LEILAC: Low emissions intensity lime and cement. *Energy Procedia*, 114, 6166-6170.
17. Titan Cement Group 2024, Our Approach: 2025 Targets, διαθέσιμο στο: <https://www.titan-cement.com/el/sustainability/our-approach/2025-targets/>
18. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.
19. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) 2024, Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης ΟΗΕ (Sustainable Development Goals - SDGs), διαθέσιμο στο: <https://ypen.gov.gr/stochoi-viosimis-anaptyxis-oie-sustainable-development-goals-sdgs/>
20. TITAN Cement Group 2024, Στόχοι ESG για το 2025. Εταιρική Έκθεση Βιωσιμότητας, διαθέσιμο στο: <https://www.titan-cement.com>
21. Titan Cement International S.A. 2023, ESG Ratings, διαθέσιμο στο: <https://www.titan-cement.com/sustainability/esg-ratings>
22. Titan Cement International S.A. 2024, ESG Ratings, διαθέσιμο στο: <https://www.titan-cement.com/sustainability/esg-ratings>

23. TITAN Cement Group 2022, Ο Όμιλος TITAN ιδρύει την εταιρία CemAI, 12 Σεπτεμβρίου, διαθέσιμο στο: <https://www.titan-cement.com>
24. Titan Cement Group 2024, Το καινοτόμο έργο H2CEM εντάσσεται στο ΣΕΚΕΕ για τις τεχνολογίες υδρογόνου, διαθέσιμο στο: <https://www.titan.gr/el/newsroom/nea-kai-delti-tyrou/neo?item=1634>
25. Leeson, D., Mac Dowell, N., Shah, N., Petit, C., & Fennell, P. S. (2017). A Techno-economic analysis and systematic review of carbon capture and storage (CCS) applied to the iron and steel, cement, oil refining and pulp and paper industries. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 61, 71-84.
26. Voldsund, M., et al. (2019). Comparison of technologies for CO₂ capture from cement production—Part B: Results of the techno-economic analysis. *Energies*, 12(3), 417.
27. Aranda Usón, A., López-Sabirón, A. M., Ferreira, G., & Sastresa, E. L. (2013). Uses of alternative fuels and raw materials in the cement industry as sustainable waste management options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 242-260.
28. Rahman, A., Rasul, M. G., Khan, M. M. K., & Sharma, S. (2015). Recent development on the uses of alternative fuels in cement manufacturing process. *Fuel*, 145, 84-99.
29. De Schutter, G., Lesage, K., Mechtcherine, V., Nerella, V. N., Habert, G., & Agusti-Juan, I. (2018). Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials. *Cement and Concrete Research*, 112, 25-36.
30. Han, Y., Yang, Z., Ding, T., & Xiao, J. (2021). Environmental and economic assessment on 3D printed buildings with recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123884.
31. United Nations. (2015). *Sustainable Development Goals (SDGs)*. Available at: <https://sdgs.un.org/goals>
32. Bongomin, O., Gilibrays Ocen, G., Oyondi Nganyi, E., Musinguzi, A., & Omara, T. (2020). State-of-the-art review of Industry 4.0 technologies in current construction. *PeerJ Computer Science*, 6, e268.
33. Haberl, M., et al. (2017). A global survey of the cement industry's CO₂ emissions. In: *Thermal Engineering of Operations*.

