



Βαγιωνάς Π.¹, Παπαγεωργίου, Π.¹, Ευσταθιάδης Θ.², Κάλφας Α. Ι.², Γιαννουλάκης Χ.¹ και Ζαμπετάκης Θ.¹

¹Ελληνικοί Λευκόλιθοι Α.Μ.Β.Ν.Ε.Ε., Μεταλλεία Γερακινής, 63100 Πολύγυρος Χαλκιδικής, email: yerakini.mines@grecianmagnesite.com

²Εργαστήριο Μηχανικής Ρευστών και Στροβιλομηχανών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ



betterlife-withmgo.eu

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας από τους βασικούς ρύπους που σχετίζονται με την παραγωγή οξειδίου του μαγνησίου (MgO) είναι τα οξείδια του θείου (SOx) που υπάρχουν σε αυξημένες συγκεντρώσεις στα καυσαέρια των κλιβάνων διάσπασης/πυροσυσσωμάτωσης του μαγνησίτη (MgCO₃) εξαιτίας της χρήσης των απαιτούμενων καυσίμων. Με βάση την Ευρωπαϊκή Οδηγία Βιομηχανικών Εκπομπών (OBE) και σε αντιστοιχία με τους παραγωγούς ταϊμέντου και ασβέστη, οι εγκαταστάσεις παραγωγής μαγνησίας θα πρέπει να ισοθετήσουν αντισταθμιστικές βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές (ΒΔΤ) και να τηρούν όρια εκπομπών SO₂ μεταξύ <50-1.500 mg/Nm³ ανάλογα με την περιεκτικότητα σε S των πρώτων υλών και την εφαρμοζόμενη τεχνική αποθείωσης.

Η παρούσα εργασία αφορά στο σχεδιασμό μιας πιλοτικής μονάδας ξηρής αποθείωσης πλήρους μεγέθους, για την αποθείωση των καυσαερίων του Περιστροφικού Κλιβάνου Νο. 3 της εταιρείας Ελληνικοί Λευκόλιθοι ΑΜΒΝΕΕ στα Μεταλλεία Γερακινής Χαλκιδικής. Η μονάδα θα έχει ως βασική καινοτομία της τη χρήση MgO ως κύριο αποθειωτικό και σε σχέση με τις υφιστάμενες μεθόδους θα προσφέρει σειρά πλεονεκτημάτων όπως μειωμένη κατανάλωση νερού και ενέργειας, χρήση φιλικών προς το περιβάλλον αντιδραστηρίων και παραγωγή παραπροϊόντων με προστιθέμενη αξία καθώς θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αγροτικές και δομικές μαγνησιακές εφαρμογές.

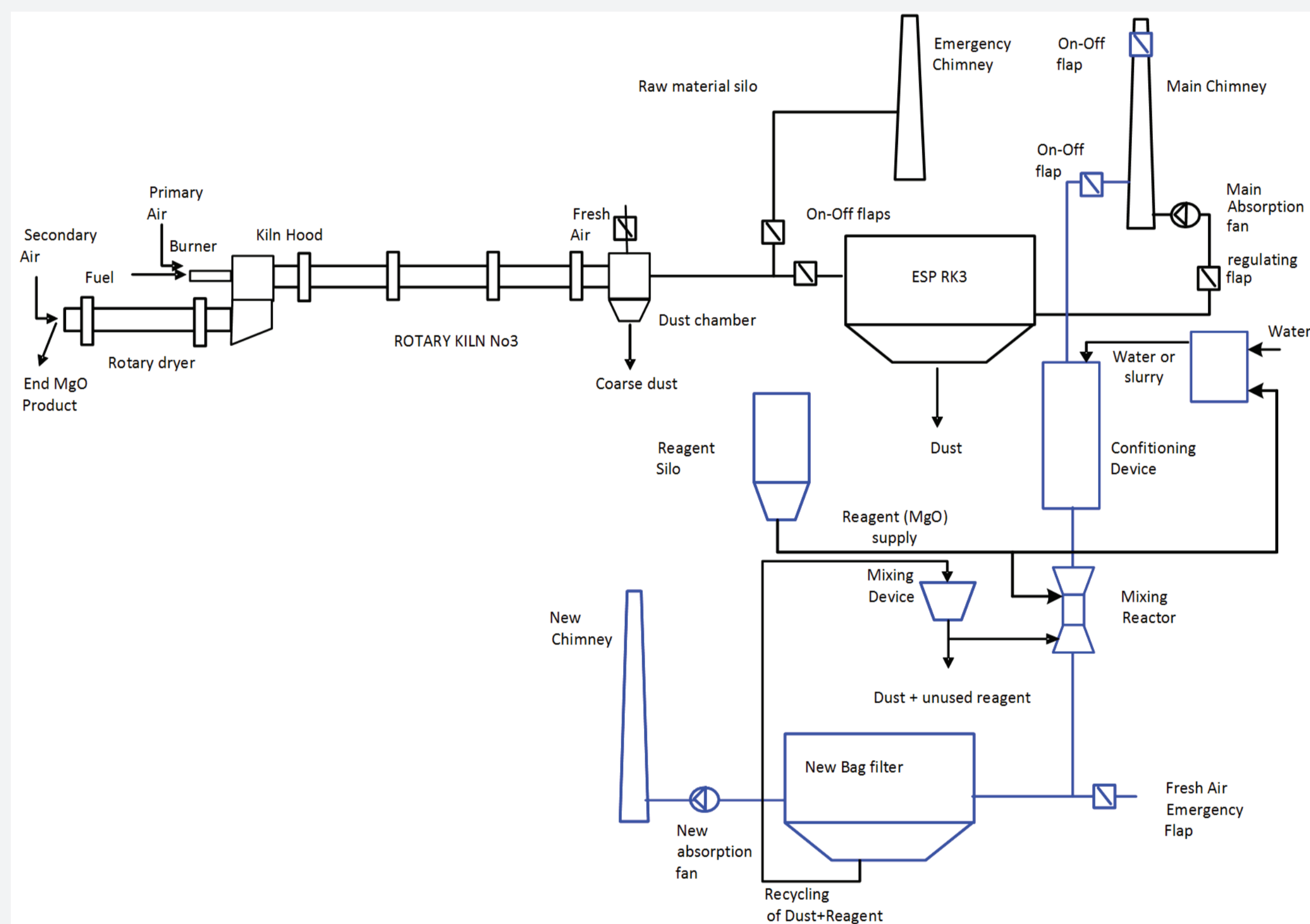
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σε πρώτο στάδιο έγινε πλήρης ανάλυση του ρεύματος καυσαερίων μετά την έξοδο του από τον περιστροφικό κλιβανο με φορητά συστήματα παρακολούθησης για να καθορισθεί το εύρος της σύστασης, πίεσης, θερμοκρασίας, φορτίου σκόνης και ταχύτητας των καυσαερίων. Παράλληλα ελήφθησαν υπόψη προκαταρκτικές δοκιμές αποθείωσης με χρήση MgO προκειμένου να καθορισθεί η απαιτούμενη ειδική κατανάλωση του. Στη συνέχεια εκτελέστηκαν τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας και ακολούθησε η επιλογή και ο σχεδιασμός του εξοπλισμού. Ως βάση του σχεδιασμού αποτέλεσε η κοινή πρακτική σε ανάλογα συστήματα ξηρής έγχυσης με τις αναγκαίες τροποποιήσεις και καινοτομίες προκειμένου να καταστήσουν δυνατή τη χρήση MgO. Ειδικά για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του αντιδραστήρα αποθείωσης πραγματοποιήθηκε μελέτη υπολογιστικής ρευστοδυναμικής.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Διάγραμμα Ροής

Η υφιστάμενη εγκατάσταση αποτελείται από τον περιστροφικό κλιβανο Νο.3, τον κιοιόθαλαμο, το ηλεκτρό-φίλτρο (ESP) και την κύρια καμινάδα. Από το σημείο αυτό ξεκινά η νέα εγκατάσταση όπου τα καυσαέρια οδηγούνται κατά σειρά α) στον πύργο κλιματισμού (ψεκασμός νερού για μείωση θερμοκρασίας και ρύθμιση υγρασίας), β) στον αντιδραστήρα αποθείωσης όπου γίνεται έγχυση MgO, γ) στο φίλτρο επανακυκλοφορίας «jet-pulse off-line cleaning» όπου, αφού τα στερεά σχηματίζουν στριβόδα υψηλού πάχους απελευθερώνονται, συλλέγονται ως στερεό προϊόν της αποθείωσης (MgO/MgSO₃/MgSO₄), οδηγούνται σε ειδικό αναμεικτή και τέλος επανατροφοδοούνται μερικώς στη διεργασία με έγχυση στον αντιδραστήρα (βλ. Σχήμα 1)



Σχήμα 1. Διάγραμμα Ροής Μονάδας Αποθείωσης

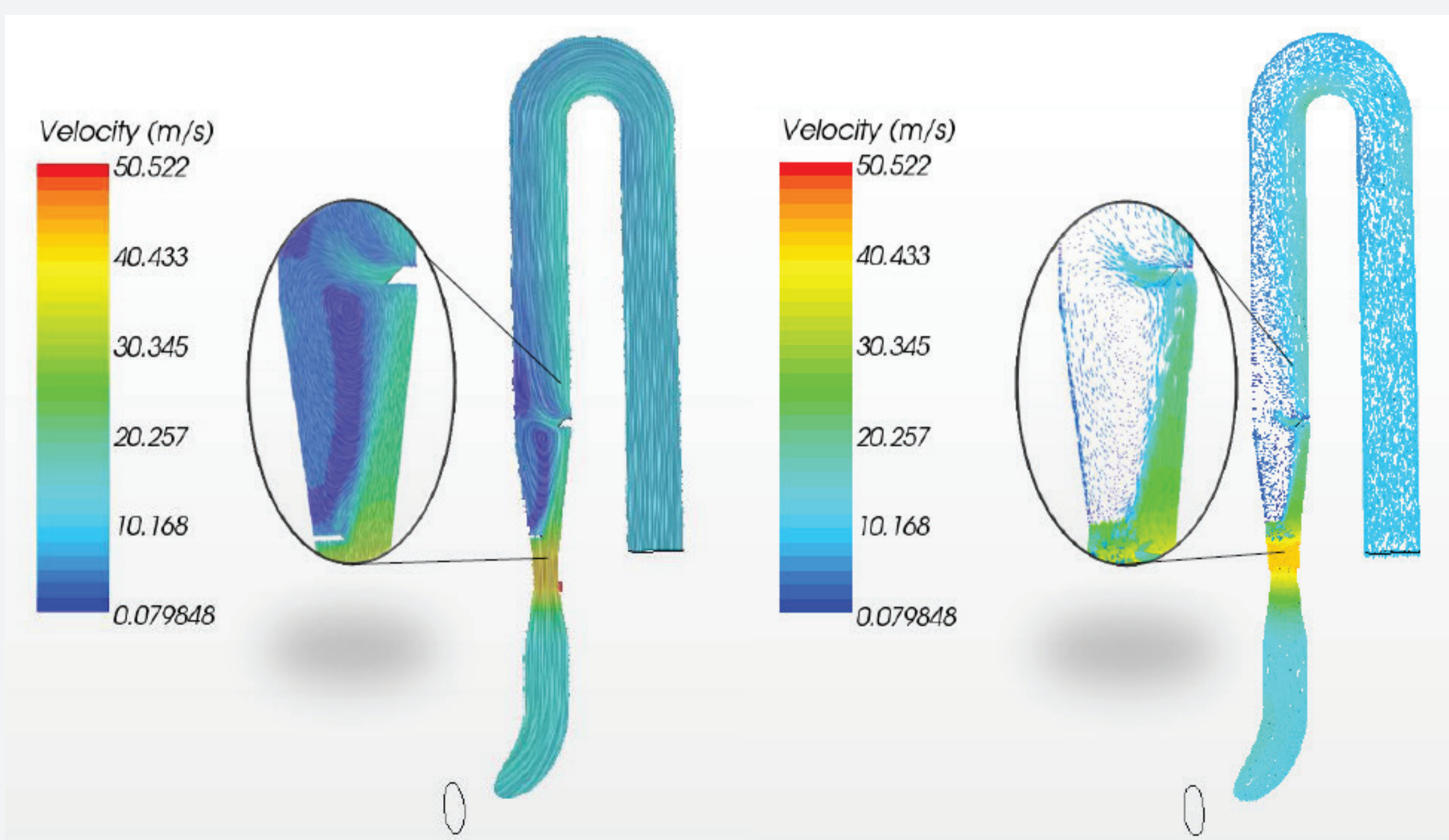
Υπολογιστική Ρευστοδυναμική

Τα καυσαέρια έρχονται σε επαφή με 2 ρεύματα έγχυσης (φρέσκο, ανακυκλοφορία) μέσα σε έναν σωληνοειδή αντιδραστήρα τύπου «U-Turn» που φέρει στένωση venturi και «συνταξιδεύουν» μέσα σε αυτό μέχρι να οδηγηθούν στο φίλτρο επανακυκλοφορίας. Η μοντελοποίηση CFD χρησιμοποιήθηκε για τη βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του αγωγού, τη θέση και τη γεωμετρία των εγχυτήρων και την εξασφάλιση ότι τα σωματίδια θα ακολουθούν τις ροϊκές γραμμές της βασικής ροής αποφεύγοντας τη δημιουργία σημείων συσσώρευσης και μεγιστοποιώντας την ανάμιξη και τον χρόνο αλληλεπίδρασης στερεού-αερίου.

Το φαινόμενο υπό μελέτη είναι στην ουσία αυτό της «Δέσμης σε Κάθετη Ροή (Jet in Cross Flow)». Για την περιγραφή του ορίστηκαν και υπολογίστηκαν οι σχετικές βασικές παράμετροι και οι αδιάστατοι αριθμοί ενώ στην επίλυση των εξισώσεων κίνησης έμφαση δόθηκε στην κατανομή της στατικής πίεσης, της ταχύτητας καθώς και τη κατεύθυνση των ροϊκών γραμμών του πεδίου (βλ. Πίνακα 1, Σχήμα 2 και 3)

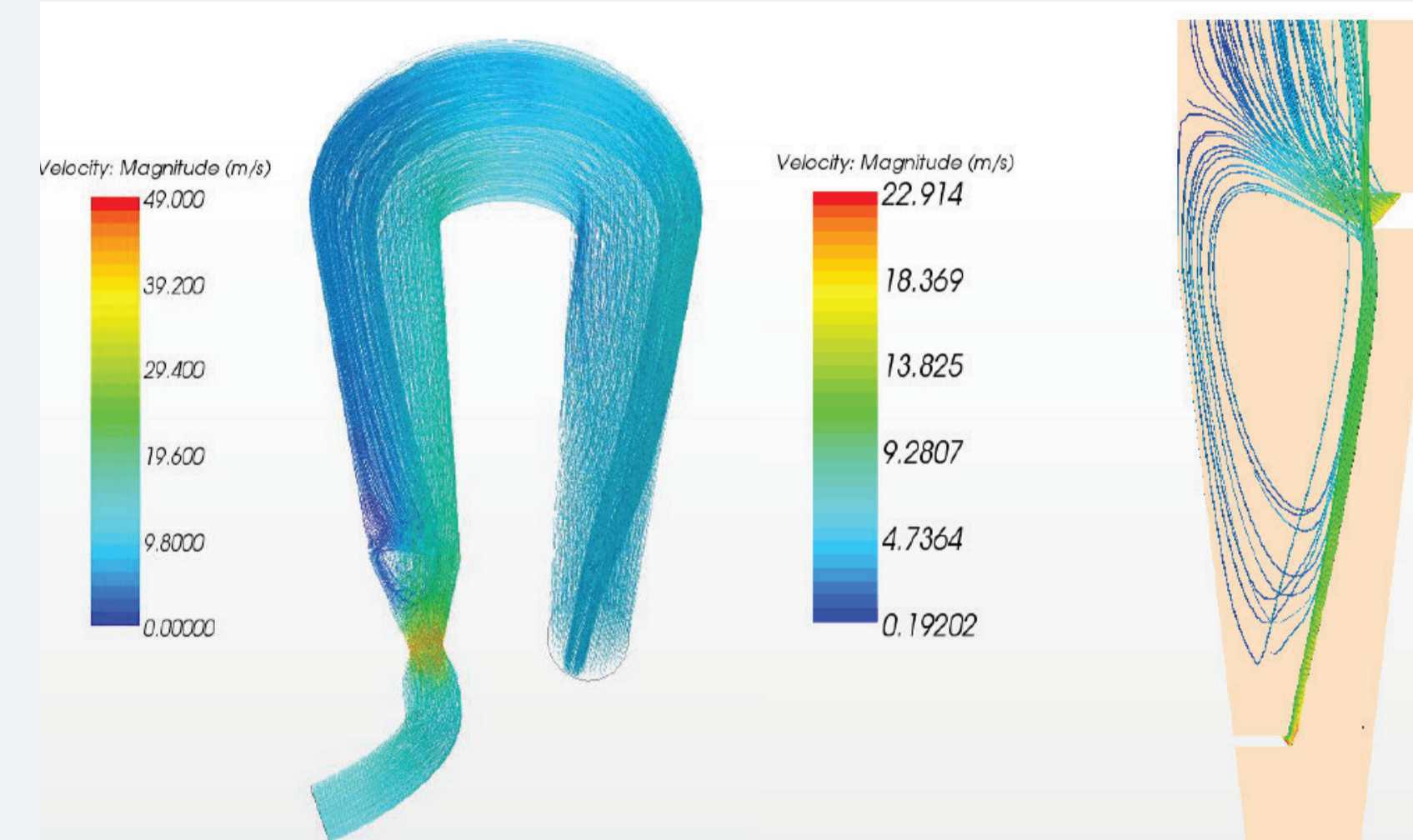
Πίνακας 1: Παράμετροι και Αδιάστατοι Αριθμοί

Παράμετρος	Περιοχή εγχυτήρα φρέσκου	Περιοχή εγχυτήρα επανακυκλοφορίας	U-Turn
Λόγος πυκνοτήτων	1,4	1,4	-
Λόγος εμφύσησης	0,72	2,6	-
Λόγος ταχυτήτων	0,61	2,22	-
Αρ. Reynolds	0,6·10 ⁵	2·10 ⁵	5,110 ⁵
Αρ. Stokes	0,15	0,16	0,06



Σχήμα 2: Κατανομή ταχύτητας στον σωληνοειδή αντιδραστήρα

Ο αριθμός Stokes παραμένει μικρότερος της μονάδας σε όλο το πεδίο της ροής συνεπώς τα στερεά σωματίδια ακολουθούν τις ροϊκές γραμμές χωρίς αποκλίσεις. Λόγω της ανακυκλοφορίας που δημιουργείται στη κύρια ροή στη περιοχή ανάμεσα στους δύο εγχυτήρες, έχουμε αύξηση του χρόνου αλληλεπίδρασης των δύο ρευστών. Το σημείο μηδενικής ταχύτητας που προκύπτει απέναντι από τον εγχυτήρα επανακυκλοφορίας βρίσκεται βολικά πάνω από το επίπεδο του ενώ απευθύνεται πλήρως με περιστροφή του εγχυτήρα κατά 180ο. Το «κόψιμο» 45ο των αγωγών έγχυσης ευνοεί την ανακυκλοφορία και εξαλείφει τον κίνδυνο φραγής τους.



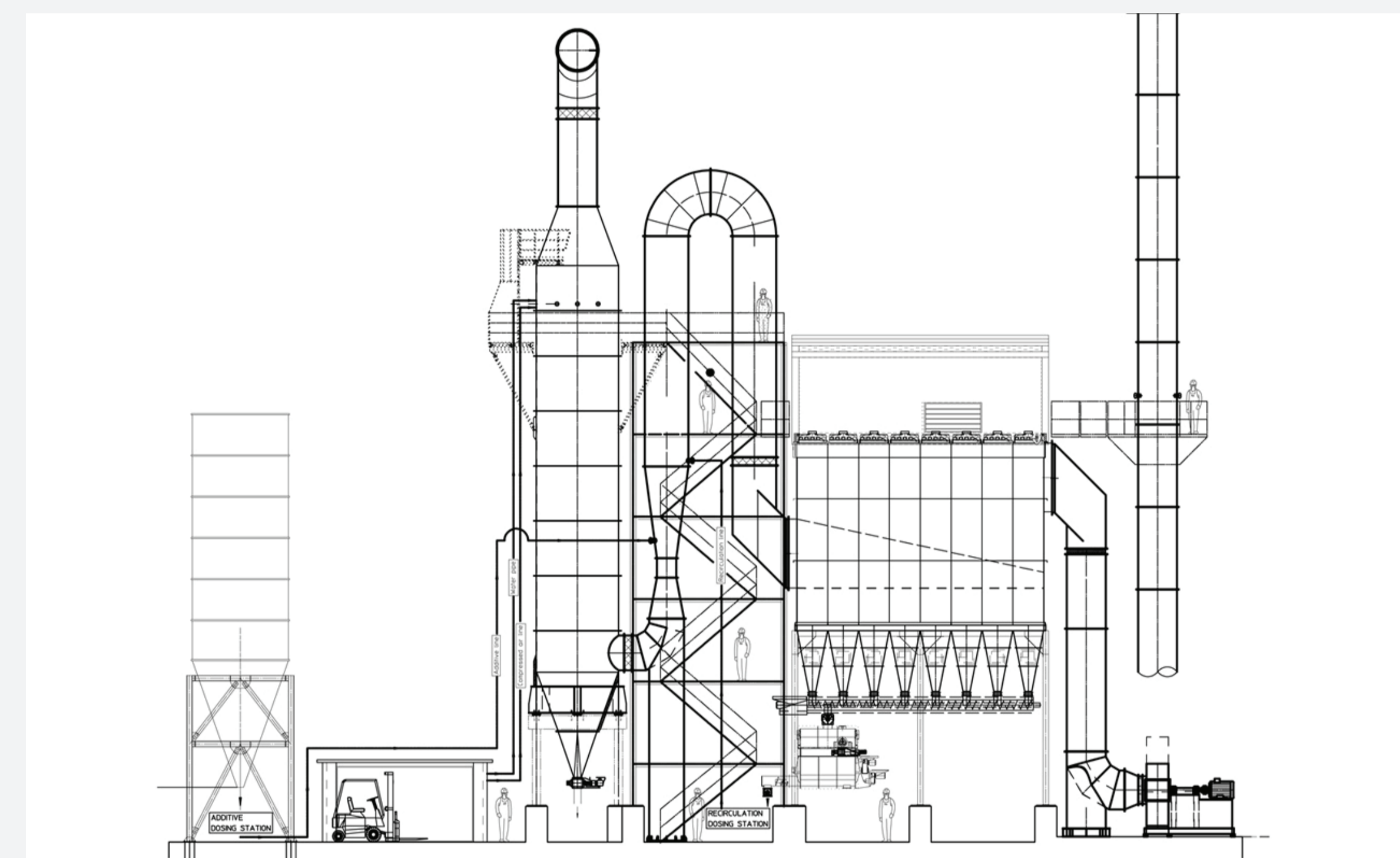
Σχήμα 3: Οπτικοποίηση ροϊκών γραμμών κύριας ροής και εγχυτήρων

Σχέδιο εγκατάστασης και ισοζύγια

Η πλάγια όψη του αναλυτικού σχεδίου της εγκατάστασης παρουσιάζεται στο Σχήμα 4 όπου παρατηρούνται (α προς δ) το σιλό αντιδραστήριου MgO, ο πύργος κλιματισμού, ο σωληνοειδής αντιδραστήρας, το φίλτρο με τον αναμεικτή επανακυκλοφορίας στο κάτω μέρος του, ο ανεμιστήρας και η καμινάδα. Η συνολική ισχύς υπολογίζεται στα 370 KW.

Τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης προκύπτουν από τις εργασίες χαρακτηρισμού του ρεύματος εισόδου και την εκτέλεση των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας γύρω από αυτήν (Πίνακας 2). Προκύπτει παραγωγή άνω των 8.000 τόν/έτος ενός χρήσιμου παραπροϊόντος που θα μπορεί να πωληθεί απ'ευθείας είτε με μικρή αναβάθμιση ως συστατικό παραγωγής μαγνησιακών πάνελ για τον κατασκευαστικό τομέα ή/και ως πρώτη ύλη για την παραγωγή λιπασμάτων/εδαφοβελτιωτικών προϊόντων.

Το εκτιμώμενο πάγιο κόστος της εγκατάστασης ανέρχεται στο 1.350.000 € (Πίνακας 3) σημαντικά χαμηλότερο από αυτό που θα απαιτούνταν για μια εγκατάσταση υγρής αποθείωσης.



Σχήμα 4: Πλάγια όψη εγκατάστασης

Πίνακας 2: Βασικά στοιχεία του ισοζυγίου μάζας και ενέργειας

Είσοδος	Παράμετρος	Μονάδες	Τιμή
	Θερμοκρασία	°C	280
	Ογκομετρική παροχή καυσαερίων	m ³ /h, wet	81.000
	Παροχή νερού	m ³ /h, nominal	2,8
	Συγκέντρωση SO ₂	mg/Nm ³ @10% O ₂	4.500
	Τροφοδοσία φρέσκου MgO	kg/h	800
	Λόγος ανακυκλοφορίας παραπροϊόντος	w/w	10
Εξόδος	Θερμοκρασία καμινάδας	°C	150
	Ογκομετρική παροχή καυσαερίων	m ³ /h, wet	74.000
	Συγκέντρωση SO ₂	mg/Nm ³ @10% O ₂	1.350
	Ποσοστό αποθείωσης	%w/w	70
	Λόγος MgO/SO ₂ , απομακρ.	w/w	6,3
	Καθαρή Παραγωγή Παραπροϊόντος	kg/h	981

Πίνακας 3: Κόστος πάγιας εγκατάστασης

A/A	Εξοπλισμός	Κόστος (€)
1	Πύργος Κλιματισμού	185.000
2	Φίλτρο επανακυκλοφορίας	440.000
3	Αντιδραστήρας αποθείωσης	25.000
4	Σωληνώσεις	95.000
5	Καμινάδα	65.000
6	Ανεμιστήρας	45.000
7	Σύστημα έγχυσης φρέσκου αντιδραστήριου	45.000
8	Αναμεικτής επανακυκλοφορίας και σύστημα έγχυσης	85.000
9	Σιλό αντιδραστήριου	55.000
10	Υποδομές	165.000
11	Αναλυτής καυσαερίων	100.000
12	Προετοιμασία νερού	20.000
13	Διάφορα	25.000
	Σύνολο	1.350.000

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός μιας πιλοτικής μονάδας αποθείωσης των καυσαερίων περιστροφικού κλιβάνου φρέξης μαγνησίτη, βασισμένη σε μαγνησιακά αντιδραστήρια αποτελεί το πρώτο αναγκαίο στάδιο για την κατασκευή και λειτουργία της μονάδας στις αρχές του 2018. Με μικρό σχετικά πάγιο κόστος, με χρήση ενός φιλικού προς το περιβάλλον αντιδραστήριου προβλέπεται ότι μπορεί να υπάρξει ικανοποιητική αποθείωση, σε συμμόρφωση με την OBE και παράγοντας ένα παραπροϊόν με προστιθέμενη αξία.

Εκτός από την εφαρμογή σε τοπικό επίπεδο, στόχος είναι η τεχνική να αποτελέσει τεκμηριωμένη αναφορά στο CLM BREF για γενικότερη εφαρμογή στον κλάδο της μαγνησίας αλλά ακόμα και σε άλλους κλάδους (π.χ. παραγωγή ενέργειας, χαλυβουργία, κλπ).

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας της μονάδας συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια του προγράμματος LIFE με κωδικό LIFE15 ENV/GR/000338 - LIFEPOSITIVEMgOFGD και τίτλο «New desulfurization technology for SOx reduction with positive net environmental impact based on MgO reagents».