



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ  
ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ ΠΕΡΛΙΤΗ**

**ΠΡΩΘΗΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΠΕΡΛΙΤΗ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ  
ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΠΕΡΛΙΤΗ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του

Νικολάου Ι. Φατσέα

**Επιβλέπων :** **Ιωάννης Ψαρράς**  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Επιβλέπων 2:** **Μαρία Φούντη**  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

**Αθήνα , Ιανουάριος 2015**





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ ΠΕΡΛΙΤΗ

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ ΠΕΡΛΙΤΗ

### ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

### ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΠΕΡΛΙΤΗ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Νικολάου Ι. Φατσέα

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 13 Μαρτίου 2014

(Υπογραφή)

.....  
Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....  
Μαρία Φούντη  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....  
Δημήτρης Ασκούνης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιανουάριος 2015

Νικόλαος Ι. Φατσέας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Νικόλαος Ιωάννου Φατσέας .

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

# Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α Γενικά στοιχεία για τον περλίτη.....</b>	<b>11</b>
1. Γενικά Στοιχεία για τον περλίτη.....	12
1.1 Περλίτης: Βασικά χαρακτηριστικά .....	12
1.2 Χημική Ανάλυση Περλίτη και χαρακτηριστικά.....	12
1.3 Βασικές Ιδιότητες Περλίτη .....	14
2. Εφαρμογές και Προϊόντα Περλίτη.....	15
2.1 Οικοδομικός Περλίτης.....	15
2.2 Αγροτικός Περλίτης:.....	15
2.3 Κρυογενικός περλίτης: .....	17
2.4 Βιομηχανικές εφαρμογές: .....	19
3.1 Ακατέργαστος περλίτης – Προέλευση και χαρακτηριστικά. ....	19
3.2 Πυκνότητα Διογκωμένου Περλίτη βάσει προδιαγραφών:.....	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ.....</b>	<b>22</b>
<b>B. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ .....</b>	<b>23</b>
1.1 Γενικά για το σύστημα διόγκωσης:.....	23
1.2 Ξήρανση , διαβάθμιση και προθέρμανση ακατέργαστου περλίτη: .....	23
2.1 Κύρια τμήματα φούρνου διόγκωσης .....	24
- <u>Διάγραμμα Ροής εργοστασίου</u> -	
- <u>Περιγραφή κυρίων τμημάτων συστήματος διόγκωσης</u> -	
2.2 Περιγραφή τμημάτων συστήματος διόγκωσης:.....	28
2.3 Αναλυτική περιγραφή τμημάτων συστήματος διόγκωσης.....	30
I. Σύστημα τροφοδοσίας ακατέργαστου περλίτη.....	30
II. Σύστημα Προθέρμανσης: .....	31
III. Φούρνος διόγκωσης: .....	32
IV. Σωλήνωση καπναερίων : .....	35
V. Κυκλωνικό σύστημα αποκονίωσης προϊόντος. ....	36
VI. Κύκλωμα ψύξης με ατμοσφαιρικό αέρα. ....	37
VII. Φίλτρο Παλμών .....	38
- <u>Κρίσιμες παράμετροι για την λειτουργία του φίλτρου</u> -	
VIII. Ενσακιαστικές συσκευές - Δονούμενο κόσκινο (προαιρετικό).....	41
2.4 Εκκίνηση φούρνου διόγκωσης- Προετοιμασία εργοστασίου.....	41
2.5 Ποιοτικός Έλεγχος κατά την παραγωγή:.....	42
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ ΕΠΕΜΒΑΣΗ ΣΤΗ ΔΙΟΓΚΩΣΗ.....</b>	<b>44</b>
<b>Γ. ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΠΕΡΛΙΤΗ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ.....</b>	<b>45</b>

1.1 Γενικά για την διόγκωση: .....	45
1.2 Κρίσιμες παράμετροι παραγωγικής διαδικασίας.....	46
1.3 Πρώτη ύλη – Χαρακτηριστικά και σημαντικά στοιχεία:.....	46
1.4 Επέμβαση στην παραγωγή και κρίσιμες παράμετροι διόγκωσης.....	51
1.5 Μεθοδολογία επέμβασης στην διόγκωση:.....	53
1.6 Προβλήματα που εμφανίζονται κατά την διόγκωση:.....	54
1.8 Εστίαση στο PLC – Μανδάλωση διαδικασιών.....	57

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ.....63**

### **Παράγραφος 1: Ανάλυση κόστους παραγωγής σε εργοστάσιο διόγκωσης.**

1.1 Εύρεση συνολικού κόστους παραγωγής.....	64
1.2 Κόστος πρώτης ύλης και κόστος μεταφοράς.....	65
1.3 Κόστος διαβάθμισης και ξήρανσης πρώτης ύλης.....	67
1.4 Κόστος αναλωσίμων.....	68
1.5 Κόστος συντήρησης και οχημάτων.....	70
1.6 Εργατικά κόστη.....	72

### **Παράγραφος 2: Αναλυτικός υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου σε εργοστάσιο διόγκωσης**

2. Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου:.....	73
2.1 Χρήσιμα μεγέθη για τον υπολογισμό κατανάλωσης:.....	74
2.2 Θερμογόνος δύναμη – kWh.....	75
2.3 Τύπος υπολογισμού καταναλώσεως προπανίου.....	76

### **Παράγραφος 3: Υπολογισμός Συνολικού κόστους παραγωγής**

3. Υπολογισμός συνολικού κόστους παραγωγής.....	77
3.1 Παράδειγμα υπολογισμού κόστους παραγωγής για 2 τύπους υλικών.....	78
- Παράδειγμα 1.....	79
- Παράδειγμα 2.....	81

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε ΤΜΗΜΑ ΠΩΛΗΣΕΩΝ .....83**

### **1. Τμήμα πωλήσεων και σύσταση ομάδας πωλήσεων.....86**

1.1 Τμήμα οικοδομικών εφαρμογών.....	86
1.1.1 Σύσταση τμήματος οικοδομικών εφαρμογών.....	86
1.1.2 Ελαφροβαρές μονωτικό κονίαμα περλίτη – Περλομπετόν.....	87
1.1.3 Ελαφροβαρής μονωτικός σοβάς περλίτη.....	89
1.1.4 Υδροφοβικός διογκωμένος περλίτης για χαλαρή πλήρωση στην τοιχοποιία.....	90
1.2 Τμήμα Κρυογενικών εφαρμογών.....	93
1.2.1 Γενικά στοιχεία .....	93
1.2.2 Σύσταση τμήματος κρυογενικών εφαρμογών.....	94
1.2.3 Κρυογενικός περλίτης χαλαρής πλήρωσης υπό ατμοσφαιρική πίεση.....	95
1.2.4 Κρυογενικός περλίτης χαλαρής πλήρωσης σε δοχεία ASU και ψυχοκιβώτια εν κενώ.....	98
1.2.5 Υδροφοβικές ινοπλισμένες σωλήνες περλίτη για μόνωση εφαρμογών σε υψηλές θερμοκρασίες 27οC – 650οC.....	99

1.3 Τμήμα εφαρμογών Αγροτικού & Υδροπονικού περλίτη.....	102
1.3.1 Σύσταση τμήματος Αγροτικών εφαρμογών.....	103
1.3.2 Είδη Αγροτικών προϊόντων και εφαρμογές τους.....	103
1.3.3 Τεχνικές προδιαγραφές και βασικές ιδιότητες .....	105
1.4 Σύνοψη τιμών πώλησης προϊόντων περλίτη.....	107
- Γραφήματα πωλήσεων περλίτη στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα το έτος 2014-	
1.5 Γραφήματα εξόρυξης και πωλήσεων περλίτη παγκοσμίως .....	109
Α. Παγκόσμιοι παραγωγείς περλίτη ανά τον κόσμο	
Β. Ποσότητες εξόρυξης ορυκτού περλίτη παγκοσμίως	
Γ. Παγκόσμια κατανάλωση περλίτη ανά χώρα	
Δ. Ποσοστά κατανάλωσης περλίτη ανά εφαρμογή	
Ε. Γραφήματα εξόρυξης περλίτη στις Η.Π.Α.	
ΣΤ. Παραγωγή διογκωμένου περλίτη ανά πολιτεία των Η.Π.Α.	
Ζ. Συνολική ετήσια μέση αξία προϊόντων στις Η.Π.Α.	

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΤ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΩΝ. ....113**

Περιγραφή κεφαλαίου ΣΤ ..... 114

### **Παράγραφος 1: Σύγκριση παλαιών και νέων συστημάτων διόγκωσης.**

1.1 Γενικά .....	115
1.2 Βασικά χαρακτηριστικά σύγκρισης συστημάτων.....	116
1.3 Κόστος επένδυσης και σύγκριση μηχανολογικού εξοπλισμού παλαιών και νέων συστημάτων διόγκωσης.....	117

### **Παράγραφος 2: Θερμό-οικονομική / Εξεργό-οικονομική ανάλυση ενέργειας και κόστους 2 διαφορετικών συστημάτων διόγκωσης και εξαγωγή συντελεστών απόδοσης.**

2.1 Γενικά.....	120
2.2 Ιστορική αναδρομή θερμό-οικονομικών μελετών – Στόχοι ανάλυσης – Πηγές.....	120
2.3 Δεδομένα κόστους / κατανάλωσης συγκρινόμενων συστημάτων.....	122
2.4 Περιγραφή μελέτης και χρησιμοποιούμενες μεταβλητές.....	124
2.5 Συγκέντρωση σημαντικών οικονομικών μεγεθών.....	125
2.6 Θερμό-οικονομική μελέτη των 2 φούρνων – Έναρξη.....	126
2.6.1 Γενική ανάλυση συνιστωσών κόστους.....	126
2.6.2 Πρακτικός υπολογισμός συνιστωσών ισοζυγίου.....	129
2.7 Πίνακες υπολογισμού τιμών – Πίνακας αποτελεσμάτων.....	131
2.8 Υπολογισμός παραγόντων απόδοσης και ειδικού κόστους παραγωγής.....	134
2.9 Σχόλια αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα.....	134
2.10 Προτάσεις – Βελτιώσεις Συστημάτων.....	138

Βιβλιογραφία – Πηγές..... 140

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Το βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η τεχνοοικονομική ανάλυση ενός εργοστασίου διόγκωσης περλίτη με στοιχεία για κάθε τμήμα του εργοστασίου και στη συνέχεια η αναλυτική μελέτη κόστους για την παραγωγική διαδικασία. Αναλύεται η ακριβής μέθοδος διόγκωσης περλίτη και θέτονται οι κρίσιμες παράμετροι ελέγχου αυτής.

Εν συνεχεία, γίνεται ανάλυση του τμήματος πωλήσεων των εφαρμογών και της πολιτικής μάρκετινγκ που ακολουθείται σε μία επιχείρηση.

Η εργασία τελειώνει με ένα κεφάλαιο σύγκρισης 2 διαφορετικών εργοστασίων διόγκωσης από πλευράς κόστους εγκατάστασης και εξοπλισμού, ενώ στη συνέχεια γίνεται πειραματική μελέτη κόστους των 2 συστημάτων με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων και στρατηγικής για την μείωση του κόστους παραγωγής.

### **Λέξεις κλειδιά:**

Περλίτης, Διόγκωση περλίτη, Φούρνος διόγκωσης περλίτη, επεξεργασία βιομηχανικών ορυκτών, προϊόντα περλίτη και εφαρμογές.



**Abstract:**

The subject of the present thesis is the technical and costing analysis of a perlite expansion industrial unit , which consists of an industrial furnace, 2 stages of air separation and particle separation and a jet pulse filter. The technical specifications of the unit are given in chapter 2. In chapter 3 , perlite expansion is explained as a process. In chapter 4 , production and maintenance cost is calculated. In the final chapters , perlite products and application are explained thoroughly.

**Keywords:**

Perlite , Perlite Expansion , Expansion Furnace , industrial minerals manufacturing , perlite products and applications.

### Ευχαριστίες...

Ευχαριστώ πολύ τους καθηγητές μου για την εμπιστοσύνη και την βοήθεια τους σε αυτή την εργασία. Ευχαριστώ ιδιαίτερος την οικογένεια μου για την στήριξη και την αγάπη που μου δείχνουν όλα αυτά τα χρόνια. Ευχαριστώ τον πατέρα μου γιατί μου έδειξε τι να κάνω σωστά και τι λάθος. Ευχαριστώ την εταιρία Gulf Perlite για τα στοιχεία που μου επέτρεψε να χρησιμοποιήσω στην διπλωματική μου εργασία και ειδικά τον Κ.Μ. για την εμπιστοσύνη και την στήριξη που μου έδειξε , δίνοντας μου την ευκαιρία να είμαι υπεύθυνος για την κατασκευή και την μελέτη 2 εργοστασίων διόγκωσης από το 2011 – 2014.

Τέλος, ευχαριστώ τον Dr. Αθανασίου μου έδωσε την ευκαιρία να δουλέψω σε κάτι τόσο απαιτητικό και να δοκιμάσω τις δυνατότητες μου.

## **Τμηματική περιγραφή κεφαλαίων.**

### **Κεφάλαιο Α**

Αρχικά πραγματοποιείται η εξοικείωση του αναγνώστη σχετικά με τις βασικές ιδιότητες του περλίτη, των προϊόντων που μπορούν να παραχθούν κατά την επεξεργασία του, τις βασικές ιδιότητες που καθιστούν τον περλίτη σαν ισχυρό μονωτικό μέσο (θερμική αγωγιμότητα, πυκνότητα, υλική αραιότητα), η χημική σύσταση, οι τύποι προϊόντων περλίτη αλλά και ορισμένα στοιχεία από την διεθνή βιβλιογραφία σε σχέση με την κατανάλωση πρώτης ύλης.

### **Κεφάλαιο Β**

Το Γίνεται αναλυτική περιγραφή των τμημάτων ενός εργοστασίου διόγκωσης και μελετάται η διασύνδεση τους. Αναλύεται κάθε τμήμα και μηχανήμα ξεχωριστά, ενώ ταυτόχρονα εξηγείται η λειτουργία και η διασύνδεση τους με το επόμενο σύστημα. Επίσης, δίνεται ακριβές διάγραμμα ροής του συστήματος.

### **Κεφάλαιο Γ**

Οι τεχνικές ελαχιστοποίησης κόστους παραγωγής και βελτιστοποίησης της ποιότητας του υλικού είναι τα βασικά ζητήματα που απασχολούν την παραγωγή, η οποία θα αναλυθεί σε στάδια, δίνοντας μεγάλη προσοχή στις κρίσιμες παράμετροι που επηρεάζουν την διόγκωση, και επιτρέπουν την ομαλή επεξεργασία του περλίτη, τη διασφάλιση της ποιότητας του μέσω ποιοτικού ελέγχου, καθώς και τον έλεγχο των βασικών παραμέτρων ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας. Στη συνέχεια αναλύεται ο βαθμός αυτοματοποίησης της διαδικασίας μέσω PLC και τέλος μελετώνται τα προβλήματα και τα ξαφνικά γεγονότα που παρατηρούνται στην διόγκωση. Όλες αυτές οι παράμετροι συνδέονται αλληλένδετα και επιτρέπουν σε ένα εργοστάσιο διόγκωσης περλίτη να λειτουργεί ομαλά και αποδοτικά και σε επίπεδο παραγωγής και σε επίπεδο πωλήσεων. Η παραγωγική διαδικασία αλλά και η βελτιστοποίηση κόστους παραγωγής είναι εμπειρικές διαδικασίες, αλληλένδετες μεταξύ τους όπως συνηθίζεται στην βιομηχανία. Ο υπεύθυνος παραγωγής προσπαθεί συνεχώς να αναβαθμίζει την παραγωγική διαδικασία, κρατώντας σε επιθυμητά επίπεδα το κόστος παραγωγής αλλά και την ποιότητα του υλικού. Η διαφορετικότητα των τύπων υλικών (διακυμάνσεις πρώτης ύλης) ανάλογα με την προέλευση (ορυχείο) απαιτεί προσαρμογή της παραγωγής σε κάθε υλικό και καθορισμό των παραμέτρων ανάλογα με τις απαιτήσεις του υλικού. Για παράδειγμα η περιεκτικότητα σε κρυσταλλικό νερό επηρεάζει την θερμοκρασία διόγκωσης, η περιεκτικότητα σε Οξειδία του Μαγνησίου την λευκότητα του τελικού προϊόντος, ενώ πολλές φορές υπάρχουν διακυμάνσεις στον διογκωμένο περλίτη εάν η πρώτη ύλη περιέχει χρωστικές ή άλλα πετρώματα.

### **Κεφάλαιο Δ**

Εμπειρική μελέτη κόστους παραγωγής και διαχωρισμός σε τμήματα, όπως το κόστος πρώτης ύλης, το κόστος καυσίμου και αναλωσίμων. Αναλύεται η ποιότητα της πρώτης ύλης σαν παράγοντας εξαρτώμενος της διόγκωσης. Επίσης τίθενται θέματα ζήτησης, τιμολόγησης και κόστους μεταφοράς τελικού προϊόντος. Δίνεται ακριβής μεθοδολογία

μέτρησης του κόστους καυσίμου εμπειρικά και αναλυτικά. Στο τελευταίο μέρος του κεφαλαίου δίνονται 2 παραδείγματα υπολογισμού του ολικού κόστους παραγωγής για 4 διαφορετικές ποιότητες υλικών με σκοπό την παραγωγή Οικοδομικού περλίτη και περλίτη που χρησιμοποιείται στις καλλιέργειες. Η σύγκριση των 2 τύπων υλικών από Ελλάδα και Τουρκία αντίστοιχα βοηθούν ιδιαίτερος στην κατανόηση περί των ιδιοτήτων που επηρεάζουν το κόστος κατά την διόγκωση, καθώς δίνουν εικόνα της τιμολόγησης του προϊόντος.

### **Κεφάλαιο Ε**

Σε ένα εργοστάσιο διόγκωσης, το τμήμα πωλήσεων διαχωρίζεται σε τμήματα, κατασκευής, κρυογενικών και αγροτικών / υδροπονικών εφαρμογών. Κάθε τύπος προϊόντος ελέγχεται οικονομοτεχνικά ως προς το κόστος εφαρμογής και συγκρίνεται με ανταγωνιστικά προϊόντα, με βασικό γνώμονα, τις ιδιότητες που απαιτούνται για κάθε εφαρμογή. Έτσι, για την κατασκευή συνήθως επιζητείται η χαμηλή πυκνότητα του ελαφροβαρούς κονιάματος για μείωση φορτίων σε συνάρτηση με την υψηλή σχετικά αντοχή σε θλίψη και η ειδική θερμική αγωγιμότητα ώστε να πετυχαίνουμε θερμομόνωση. Σε κρυογενικές εφαρμογές, η ειδική θερμική αγωγιμότητα είναι γραμμική συνάρτηση της χαλαρής πυκνότητας του υλικού και της συμπιεσμένης πυκνότητας. Τα πρότυπα ASTM για μόνωση δεξαμενών σε ατμοσφαιρική πίεση ή υποπίεση επίσης καθορίζουν την κοκκομετρία του υλικού βασικής σημασίας για την διατήρηση θερμοκρασιών από -160oC έως 850oC, θερμοκρασίες που αφορούν την μόνωση δεξαμενών πεπιεσμένων αερίων και ψυχροκιβωτίων, (Αζώτου, Υγραερίου, Ηλίου, Υγρού οξυγόνου) και πυρίμαχων μιγμάτων κατασκευής αντίστοιχα. (πυρίμαχοι σοβάδες, κονιάματα κ.α.) Στο τέλος του κεφαλαίου δίνονται στατιστικά μεγέθη (γραφήματα) ως προς την παγκόσμια αλλά και τοπική αγορά του περλίτη με στοιχεία εφαρμογών περλίτη, εισαγωγών – εξαγωγών ορυκτού περλίτη αλλά και πωλήσεων σε Η.Π.Α. και Αραβικά Εμιράτα. (τοπική αγορά). Για κάθε υπό-τμήμα του τμήματος πωλήσεων δίνονται θέματα κόστους προϊόντων και εφαρμογών και συμπεράσματα για την πολιτική της επιχείρησης.

### **Κεφάλαιο ΣΤ**

Συνιστά το κεφάλαιο που αφορά πλήρως την διερεύνηση μεθόδων μείωσης κόστους και βελτίωσης της παραγωγικής διαδικασίας. Η πρώτη παράγραφος συγκρίνει 2 συστήματα διόγκωσης παλαιάς και νέας τεχνολογίας ενώ το δεύτερο εφαρμόζει αναλυτική μεθοδολογία υπολογισμού του κόστους παραγωγής, ενεργειακού κόστους και κόστους εξέργειας των 2 αυτών εργοστασίων διόγκωσης. Στόχος είναι η εύρεση τρόπων βελτίωσης των συστημάτων και ιδιαιτέρως του παλιού φούρνου, η μείωση του ενεργειακού κόστους και η εξαγωγή των εξεργό-οικονομικών συντελεστών κόστους και απόδοσης ανά μονάδα προϊόντος. Τέλος, παρουσιάζονται λύσεις και προτάσεις για βελτίωση των συστημάτων καθώς και τα γενικά συμπεράσματα της μελέτης.

Η βιβλιογραφία περιέχει αρκετές πληροφορίες για τη χρήση του ορυκτού περλίτη και των εφαρμογών του, αλλά είναι περιορισμένη ως προς την παραγωγική διαδικασία. Αυτό

συμβαίνει γιατί αφενός οι εταιρίες επεξεργασίας βιομηχανικών ορυκτών είναι προστατευτικές απέναντι στην τεχνογνωσία τους , αλλά και επειδή υπάρχουν αρκετοί τύποι εργοστασίων διόγκωσης με διαφορετική συμπεριφορά. Τα στοιχεία και οι πληροφορίες της διπλωματικής εργασίας έχουν συλλεχθεί και συνταχθεί σε διάρκεια 4 χρόνων εργασίας σε διάφορα εργοστάσια παραγωγής , σε Δυτική Ευρώπη , Ελλάδα , Ηνωμένες πολιτείες και Μέση Ανατολή.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α**

# **1. Γενικά Στοιχεία για τον περλίτη Χαρακτηριστικά και βασικές ιδιότητες**

## **2. Προϊόντα περλίτη και Εφαρμογές**

## **3. Ακατέργαστος Ορυκτός περλίτης**

### **1.1 Περλίτης: Βασικά χαρακτηριστικά**

Ο περλίτης αποτελεί ένα πυριγενές πέτρωμα , που παράγεται από ηφαιστειακή δραστηριότητα και συγκεκριμένα την ενυδάτωση ρυολιθικού Οψιδιανού, ενός πετρώματος που είναι αποτέλεσμα της απότομης ψύξης υψηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο ρυολιθικής λάβας. Ο περλίτης είναι ένα άμορφο ηφαιστειακό υαλώδες πέτρωμα με βάση το πυρίτιο. Η υψηλή του περιεκτικότητα σε νερό του δίνει την ιδιότητα να διογκώνεται 10 έως 20 φορές στον αρχικό του όγκο όταν εκτεθεί σε θερμοκρασία 800- 850 οC. Η περιεκτικότητά του σε κρυσταλλικό νερό, απελευθερώνεται κατά την έκθεση σε υψηλή θερμοκρασία σοκάροντας το υλικό και διογκώνοντας το ανάλογα με την κοκκομετρία του, δηλαδή την ακτίνα του

κόκκου περλίτη. Όταν το δεσμευμένο στο μόριο του υλικού, κρυσταλλικό νερό, μετατραπεί σε ατμό, ο περλίτης διογκώνεται με ακέραιο πολλαπλάσιο της ακτίνας του, ιδιότητα που ονομάζεται και porosity effect. Είναι φιλικός προς το περιβάλλον αφού δεν έχει χημικές προσμίξεις κατά την επεξεργασία του, και έχει ουδέτερο PH, κάνοντας τον ιδανικό για πολλά είδη εφαρμογών [1]

Παρακάτω παρατίθεται η τυπική **χημική ανάλυση** του περλίτη και ορισμένες ιδιότητες του. Αξίζει να αναφερθεί η ομοιότητα του περλίτη με άλλα πυριτικά υλικά όπως ο Βερμικουλίτης ο οποίος αποτελεί ανταγωνιστικό προϊόν σε οικοδομικές και αγροτικές εφαρμογές και έχει αρκετές ομοιότητες με τον περλίτη. Τα πιο κοντινά στον περλίτη υλικά ως προς την δομή τους είναι η ελαφρόπετρα και ο Οψιδιανός. Έχουν και τα δύο την ίδια χημική σύσταση με τον περλίτη με τη διαφορά ότι η ελαφρόπετρα είναι φυσικά διογκωμένη κατά την σχάση του ηφαιστείου, ενώ ο Οψιδιανός δεν περιέχει κρυσταλλικό νερό και για το λόγο αυτό δεν είναι διογκώσιμος. Οψιδιανός παρατηρείται αρκετά συχνά στον ακατέργαστο περλίτη σε μικρά ποσοστά, πράγμα που αποτελεί πρόβλημα για την παραγωγική διαδικασία γιατί η παρουσία του αυξάνει το μέσο βάρος του υλικού και επηρεάζει ορισμένες παραμέτρους λειτουργίας της διόγκωσης, στοιχεία που θα αναλυθούν σε άλλο τμήμα της διπλωματικής.

## 1.2 Χημική Ανάλυση Περλίτη και χαρακτηριστικά [2]

- 70-75%  $\text{SiO}_2$
- 12-15%  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- 3-4%  $\text{Na}_2\text{O}$
- 3-5%  $\text{K}_2\text{O}$
- 0.5-2%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$
- 0.2-0.7%  $\text{MgO}$
- 0.5-1.5%  $\text{CaO}$
- 2-5% Απώλεια πύρωσης (χημικά δεσμευμένο / συνδυασμένο νερό)

### Σημαντικά χαρακτηριστικά Περλίτη βάσει χημικής σύστασης:

- Το **SiO<sub>2</sub>** (διοξείδιο του πυριτίου) βάζει τον περλίτη στην οικογένεια των πυριτικών μετάλλων που είναι τυπικά ένας τύπος γυαλιού. Το κρυσταλλικό νερό στο μόριο του καθώς και άλλα χημικά στοιχεία που τον συνθέτουν τον διαφοροποιούν από το κοινό γυαλί το οποίο δεν έχει δεσμευμένο νερό και άρα δεν είναι διογκώσιμο.
- Το **MgO** (οξείδιο του Μαγανίου) δίνει στον διογκωμένο περλίτη το εκτυφλωτικό λευκό του χρώμα, ενώ διάφορες χρωστικές ανάλογα με την προέλευση της πρώτης ύλης, ενδεχομένως να αλλάξει μερικώς το χρώμα του υλικού. (σίδηρος, θείο κ.α.)

### Ακατέργαστος Περλίτης



*Εικόνα 1.2.1*

### Διογκωμένος Περλίτη



*Εικόνα 1.2.2*

### **1.3 Βασικές Ιδιότητες Περλίτη [2]**

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας των βασικών ιδιοτήτων του Περλίτη. Το κύριο χαρακτηριστικό του περλίτη είναι η πορώδης δομή του όταν είναι διογκωμένος και η υψηλή θερμομονωτική και ηχομονωτική του ιδιότητα. Έχει αντοχή σε μεγάλες θερμοκρασίες (Σημείο τήξης 1150°C) και έχει μεγάλο χρόνο ζωής σε σύγκριση με άλλα χημικά και μη υλικά που χρησιμοποιούνται σε οικοδομικές θερμομονωτικές και ηχομονωτικές εφαρμογές, πυρίμαχα υλικά κ.α.

Τυπικές ιδιότητες:



Χρώμα	Λευκό
Δείκτης Διάθλασης	1.5
Εξωτερική Υγρασία	0.50%
PH	6.5 – 8 (τυπικά ουδέτερο)
Ειδικό Βάρος	2.2 – 2.4
Πυκνότητα	32 – 400 kg/m <sup>3</sup>
Θερμική Αγωγιμότητα	0.04 - 0.06 W/m·K (στους 20°C)
Σημείο τήξης	850 – 1200 °C
Απορροφητικότητα	Εξαιρετικά υδρόφιλος , απορροφά 100% της μάζας του σε νερό

## **2. Εφαρμογές και Προϊόντα Περλίτη [3]**

Ο περλίτης χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές εφαρμογές ανάλογα με την κοκκομετρία , την πυκνότητα αλλά και την ειδική θερμική αγωγιμότητα του. Ανάλογα με την εφαρμογή ο περλίτης διαχωρίζεται σε Οικοδομικό , Αγροτικό ή Υδροπονικό και Κρυογενικό. Τα τελευταία χρόνια ο περλίτης χρησιμοποιείται επίσης σαν φίλτρο (filter aid) σε εργοστάσια τροφίμων, λιπαντικών και άλλα. Παρακάτω θα αναλυθούν περαιτέρω τα προϊόντα και οι πιο συνήθεις εφαρμογές.

### **2.2 Οικοδομικός Περλίτης**

Στις κατασκευές ο περλίτης επιλέγεται σαν αδρανές πρόσμιγμα στα ελαφροβαρή κονιάματα.

Η ελαφρότητα και η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του , τον κάνουν ιδανικό για χαλαρή πλήρωση (Loose Fill) στην τοιχοποιία. Επιπροσθέτως, ο περλίτης προσμιγνύεται σε πολλά υλικά για να ενισχύσει την πυρίμαχη ιδιότητα τους. Επίσης χρησιμοποιείται ευρέως σε σημεία όπου απαιτείται υψηλή ηχομόνωση. Επίσης μπαίνει σαν υλικό πλήρωσης στα ελαφροβαρή κονιάματα σε ταράτσες , μπαλκόνια , αλλά ακόμα και σε προκατασκευασμένες πλάκες που χρησιμοποιούνται για μείωση του βάρους ψηλών κτιρίων (Ουρανοξύστες , Σπίτια) με σκοπό τη μείωση της ποσότητας μεταλλικού σκελετού λόγω μείωσης φορτίων αλλά και για να προσφέρει αυξημένη θερμομόνωση και ηχομόνωση. Το βασικό ανταγωνιστικό προϊόν σε αυτή την κατηγορία εφαρμογών είναι το Σκυρόδεμα αφρού (Αφρομπετόν) που αν και θερμομονωτικό , δεν είναι πυρίμαχο , έχει χημικές προσμίξεις και μικρότερο χρόνο ζωής.

Στην Ευρώπη και στην Ανατολική Ασία, ο περλίτης χρησιμοποιείται ευρέως σε σοβάδες γιατί αν και υδρόφιλος , είναι εύκολο και συμφέρον να γίνει υδροφοβικός με ψεκασμό του διογκωμένου περλίτη με πυριτικό νάτριο σε συνδυασμό με άλλες προσμίξεις.

Μέση κοκκομετρία ακατέργαστου περλίτη: 0.8 – 1.2mm

Μέση κοκκομετρία διογκωμένου περλίτη: 2 – 5 mm

### 2.3 Αγροτικός Περλίτης: [4]

Ο περλίτης χρησιμοποιείται ευρέως και σε απλές αγροτικές εφαρμογές αλλά και στην υδροπονία , δηλαδή την καλλιέργεια διάφορων φυτών χωρίς χώμα αλλά χρησιμοποιώντας τον περλίτη σαν μέσο. Οι σημαντικότερες ιδιότητες του είναι η πορώδης δομή του που επιτρέπει την καλή οξυγόνωση του φυτού καθώς και τα υδρόφιλα χαρακτηριστικά του που επιτρέπουν στο χώμα να κατακρατεί μεγάλη ποσότητα νερού και να μειώνει την απαιτούμενη ποσότητα άρδευσης.

Μελέτες έχουν δείξει ότι μέσω υδροπονικών συστημάτων ο περλίτης δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις απλές καλλιέργειες ως προς την ταχύτητα ανάπτυξης του φυτού. Στις απλές καλλιέργειες συνήθως χρησιμοποιούνται μεγάλες κοκκομετρίες περλίτη , ενώ στην υδροπονία ελαφρώς μικρότερες. Το ουδέτερο PH είναι επίσης μεγάλο πλεονέκτημα για το φυτό γιατί δεν απαιτείται εξισορρόπηση της οξύτητας μέσω προσθήκης λιπασμάτων. Η ιδιότητα του περλίτη να απορροφά ποσότητα νερού πολλαπλάσιας της μάζας του , το καθιστά ιδανικό και για την δέσμευση θρεπτικών συστατικών για το φυτό.

Μέση κοκκομετρία ακατέργαστου περλίτη: 1– 3mm

Μέση κοκκομετρία διογκωμένου περλίτη: 3 – 6 mm

Στην Υδροπονία χρησιμοποιείται ενδιάμεση κοκκομετρία εύρους 1-3mm λόγω μεγαλύτερης απορρόφησης σε νερό.

## *Ο Περλίτης στην Υδροπονία [5]*



*Εικόνα 1.4.1: Ο Περλίτης στην Υδροπονία [4]*

### **2.4 Κρυογενικός περλίτης: [6] , [7]**

Κρυογονική ονομάζεται η επιστήμη που μελετά την συμπεριφορά των υλικών σε θερμοκρασία μικρότερη των  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  . Λόγω της ισχυρής του μονωτικής ιδιότητας ο περλίτης χρησιμοποιείται στην μόνωση δεξαμενών και ψυχοκιβωτίων όπου αποθηκεύονται πεπιεσμένα υγρά καύσιμα και αέρια, όπως το υγραέριο (LPG) , υδρογονάνθρακες , ήλιο , υγρό Άζωτο (LNG) και άλλα. Τα ψυχοκιβώτια (Coldboxes) γεμίζονται με ειδικά επεξεργασμένο λεπτόκοκκο περλίτη. Ραγδαία αναπτυσσόμενες είναι οι μονωτικές σωλήνες περλίτη , με μίξη πυριτικού νατρίου ή άλλου μέσου, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την μόνωση θερμών ή ψυχρών δικτύων λαδιού ή άλλων υλικών.

Η συνήθης κοκκομετρία που χρησιμοποιείται είναι κοντά στο 1mm, ενώ το διογκωμένο υλικό έχει μέση πυκνότητα 42 -65kg/m<sup>3</sup>, ανάλογα με την εφαρμογή. Το εύρος εκπίπτει από τα πρότυπα της Linde σύμφωνα με το ASTM πρότυπο και ποικίλει ανάλογα με αν η μόνωση γίνεται υπό πίεση ή σε ατμοσφαιρική πίεση. Σε ειδικές κρυογενικές εφαρμογές το υλικό γεμίζεται υπό πίεση με προσθήκη αζώτου αέριας μορφής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η ειδική αγωγιμότητα σχετίζεται αποκλειστικά με την πυκνότητα του υλικού και επιτυγχάνεται σε συγκεκριμένη κοκκομετρία. Η ζητούμενη ειδική θερμική αγωγιμότητα είναι (0.04 - 0.06) W/m·°K στους 38 °C.

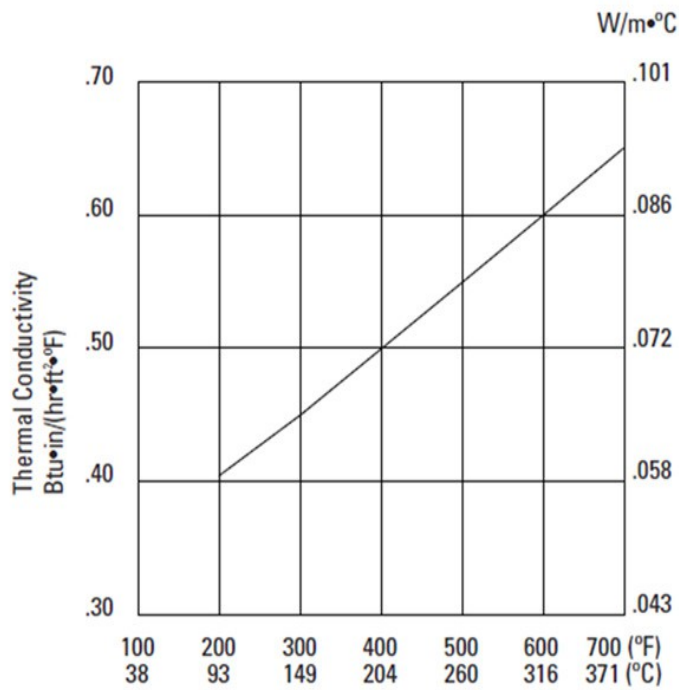
Παρακάτω παρατίθενται δύο καμπύλες και ένας πίνακας όπου φαίνονται αντίστοιχα:

- Η θερμική αγωγιμότητα του περλίτη σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.
- Η θερμική αγωγιμότητα του περλίτη σε συνάρτηση με την πυκνότητα του υλικού.
- Συγκριτικός πίνακας προδιαγραφών άλλων υλικών με ισχυρή μονωτική ικανότητα.

Σαν μειονέκτημα του περλίτη στην Κρυογονική αναφέρεται η απώλεια όγκου στο ψυχροκιβώτιο λόγω τριβής και δονήσεων, καθώς και η κατακράτηση υγρασίας από τα συστήματα ψύξης. Για την απώλεια όγκου, αναπληρώνεται υλικό ανά τακτά χρονικά διαστήματα ενώ όταν εμφανιστεί υγρασία στο υλικό, συνήθως αφαιρείται ο περλίτης και τοποθετείται νέο υλικό.

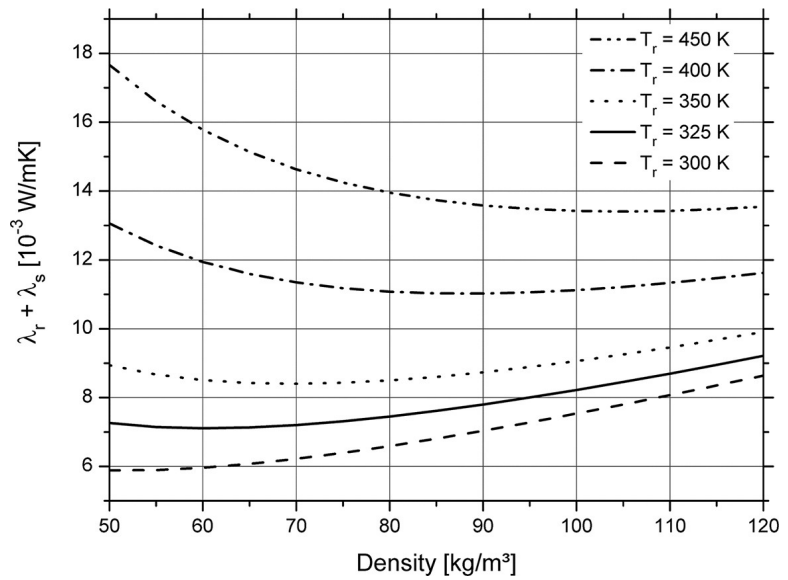
Στο κεφάλαιο Δ της εργασίας θα δοθεί αναλυτική περιγραφή των εφαρμογών του κρυογενικού περλίτη.

*Καμπύλες Θερμικής Αγωγιμότητας σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C177, ASTM C518 για τούβλα υψηλής μονωτικής ικανότητας σε υψηλές θερμοκρασίες.*



Mean Temperature (°F)	Mean Temperature (°C)	Thermal Conductivity (Btu·in/(hr·ft²·°F))	Thermal Conductivity (W/m·°C)
200	93	.41	.059
300	149	.45	.065
400	204	.50	.072
500	260	.55	.079
600	316	.60	.086
700	371	.65	.094

\* Thermo=12 Gold Pipe & Block Insulation as tested in accordance with ASTM C177, ASTM C518 and ASTM C335.



Εικόνα 1: Καμπύλη θερμικής αγωγιμότητας - θερμοκρασίας

Εικόνα 2 (δεξιά) : Καμπύλη Θερμικής Αγωγιμότητας - Πυκνότητας μέσου (Περλίτη) [8]

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας διαφόρων υλικών παρόμοιων ιδιοτήτων , που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου τύπου εφαρμογές, όπως το Aergel , ο πετροβάμβακας , ο περλίτης και το πυριτικό ασβέστιο.

Υλικό	Aerogel -1	Micro-porous Silica	Rock Wool	Perlite	Calcium Silicate
Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	130	320	140	192	232
Ειδική Θερμική Αγωγιμότητα (W/m <sup>2</sup> K)	.0135	.0022	.0380	.069	.0520

*Πίνακας Α: Μονωτικά υλικά για κρυογονική και μόνωση σωληνώσεων / ASU-Coldboxes / δεξαμενών πεπιεσμένων αερίων για εφαρμογές χαμηλών και υψηλών θερμοκρασιών. (Super Insulation / Evacuated Insulation)[9]*

Αν και τα παραπάνω υλικά παρουσιάζουν καλύτερη μονωτική ικανότητα από τον περλίτη δεν είναι τόσο εύκολα στην εφαρμογή ειδικά στον τομέα της Κρυογονικής. Η θερμική αγωγιμότητα του περλίτη πέφτει αισθητά όταν το υλικό αποθηκεύεται υπό πίεση και δίνει πολύ καλά αποτελέσματα και από πλευράς μονωτικής ικανότητας αλλά και διάρκειας ζωής.

## 2.5 Βιομηχανικές εφαρμογές:

Στην βιομηχανία ο περλίτης χρησιμοποιείται στην αμμοβολή και συγκεκριμένα για καθαρισμό δεξαμενών και δοχείων , ενώ ραγδαία αναπτυσσόμενη είναι η χρήση του περλίτη σαν φίλτρο , σε ειδικά φίλτρα μεμβράνης , σε εργοστάσια λιπαντικών , ζάχαρης και άλλου είδους εργοστασίων. Επίσης αποτελεί υλικό πρόσμιξης σε κόλλες , σοβάδες , πυρίμαχα κονιάματα, τρόφιμα και άλλα προϊόντα όπως οδοντόπαστες , σαπούνια λόγω της καθαριστικής του ιδιότητας και της ικανότητας να συμπεριφέρεται σαν φίλτρο (φίλτρα πίεσεως μεμβράνης).

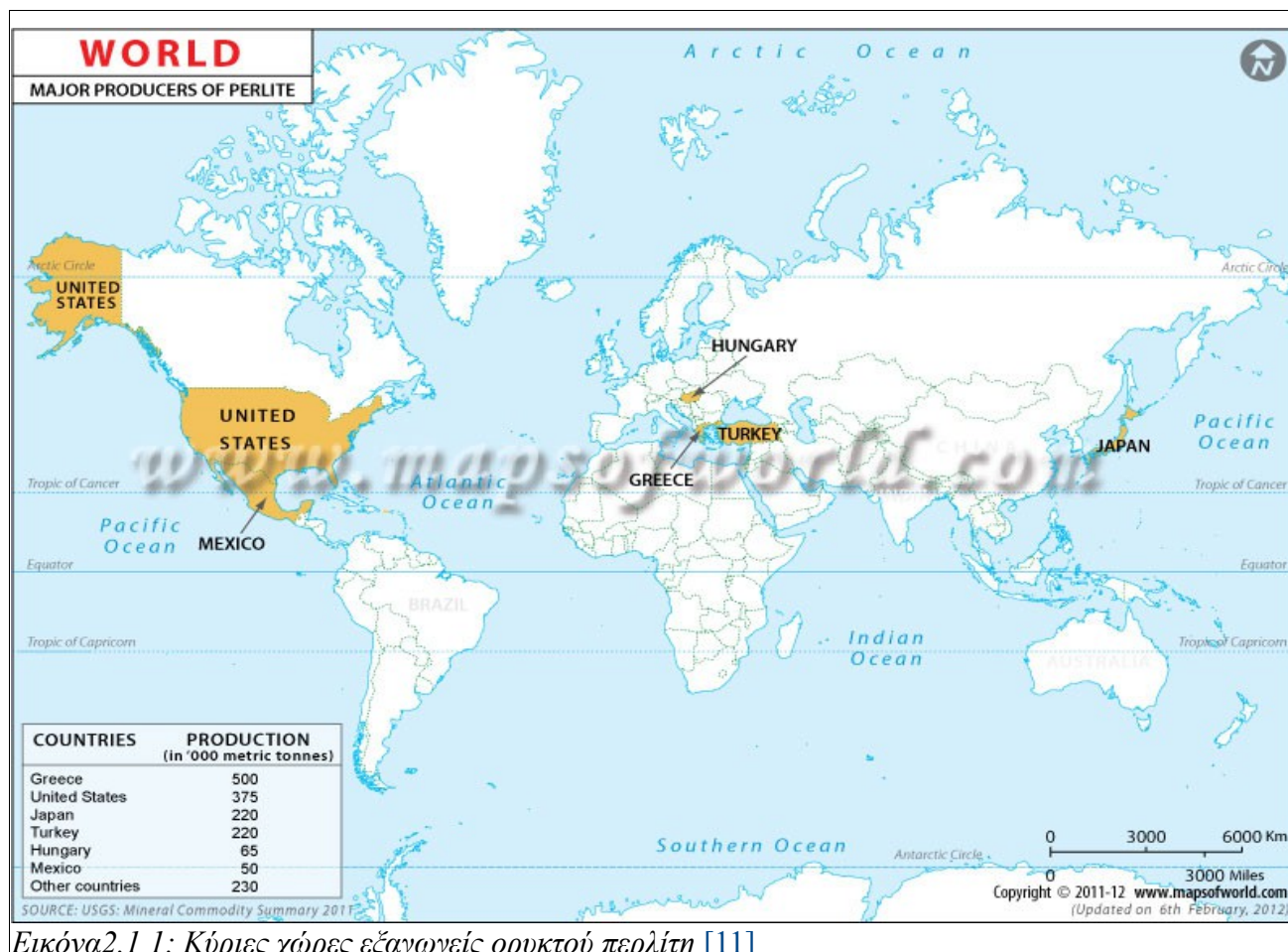
### 3.1 Ακατέργαστος περλίτης – Προέλευση και χαρακτηριστικά. [10]

Ο περλίτης αποτελεί φυσικό πέτρωμα. Μετά την εξόρυξη του , ο περλίτης ξηραίνεται σε χαμηλή θερμοκρασία (κοντά στους 100°C) για να μειώσουμε την εξωτερική υγρασία και εν συνεχεία διαβαθμίζεται μέσω σπαστηριοτριβείου , ανάλογα με την ζητούμενη κοκκομετρία.

Η Ελλάδα διαθέτει μεγάλα αποθέματα περλίτη υψηλής ποιότητας , ειδικά σε περιοχές ηφαιστειακής δραστηριότητας. Το 1998 οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Ελλάδα εξήγαγαν το 51% της παγκόσμιας κατανάλωσης. Τις επόμενες θέσεις στην παγκόσμια κατάταξη εξαγωγής ορυκτού περλίτη έχουν η Κίνα , η Τουρκία και μετά η Ιαπωνία. Αξίζει να αναφερθεί ότι όπως και με κάθε πέτρωμα , τα χαρακτηριστικά του περλίτη ποικίλουν , κυρίως ως προς την σκληρότητα και την περιεκτικότητα σε χρωστικές , σίδηρο και θείο.

Πίνακας παγκόσμιας κατανάλωσης περλίτη: [11]

<b>Παγκόσμια ετήσια Κατανάλωση</b>	2.6 – 2.9 Mt (εκατ. Τόνοι)
Ελλάδα – Αμερική (%)	43.00%
Κίνα - Ιαπωνία	26.00%
Δυτική Ευρώπη	18.00%
Άλλες χώρες	κοντά στο 3%



Εικόνα2.1 1: Κύριες χώρες εξαγωγείς ορυκτού περλίτη [11]

### 3.2 Πυκνότητα Διογκωμένου Περλίτη βάσει προδιαγραφών:

Η πυκνότητα του διογκωμένου περλίτη είναι η βασική ένδειξη ποιότητας της παραγωγής. Εκφράζει την ποιότητα του ακατέργαστου υλικού και κυρίως την κλίμακα διογκωσιμότητας.

Σε συνάρτηση με την αντοχή του υλικού σε θραύση και την χημική σύσταση του πετρώματος καθορίζεται η ποιότητα του υλικού.

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ ΠΕΡΛΙΤΗΣ:** 70-80 kg / m<sup>3</sup>

**ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ ΠΕΡΛΙΤΗΣ:** 90-110 kg / m<sup>3</sup>

**ΚΡΥΟΓΕΝΙΚΟΣ ΠΕΡΛΙΤΗΣ:** 50-70 kg / m<sup>3</sup>

Στον κρυογενικό περλίτη μπορούμε να φτάσουμε και στα 40 κιλά αλλά με ειδική κοκκομετρία και απαίτηση υψηλής ποιότητας πρώτης ύλης.

Η ποιότητα παραγωγής και η ποιότητα της πρώτης ύλης είναι οι καθοριστικοί παράγοντες για μείωση της πυκνότητας διογκωμένου περλίτη που σε συνάρτηση με την επιθυμητή αντοχή σε θραύση επιτυγχάνω βέλτιστη ποιότητα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β

### Περιγραφή Συστήματος Διόγκωσης

#### Κύρια τμήματα παραγωγής

#### Μηχανολογικός Εξοπλισμός

## Κεφάλαιο Β

### 1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ [12]

#### 1.1 Γενικά για το σύστημα διόγκωσης:

Τα τελευταία χρόνια , εμφανίζονται συνεχώς νέες εφαρμογές για τα προϊόντα περλίτη , καλώντας τους παραγωγούς να ανακαλύπτουν νέες μεθόδους επεξεργασίας , όπως για παράδειγμα οι ηλεκτρικοί φούρνοι διόγκωσης , οι οποίοι αν και ενεργοβόροι επιτρέπουν την

παραγωγή υδροφοβικού περλίτη χωρίς προσθήκη χημικών. (Closed cell perlite expansion)  
Στην παρούσα διπλωματική αναλύεται ένας κάθετο φούρνο διόγκωσης με καύση καθαρού προπανίου και διαθέτει 2 στάδια κυκλώνισμού , ένα στάδιο ψύξης και ένα φίλτρο παλμών. Η παραγωγική διαδικασία πρόκειται για ένα σύνολο εν-σειρά διασυνδεδεμένων διαδικασιών η μία μετά την άλλη ξεκινώντας από την τροφοδοσία της πρώτης ύλης , την διόγκωση του περλίτη , την αερομεταφορά του, καταλήγοντας στον αεροδιαχωρισμό του υλικού και τέλος στην συσκευασία του. Παρακάτω, εξηγούμε αναλυτικά το σύστημα διόγκωσης.

### ***1.2 Ξήρανση , Διαβάθμιση και προθέρμανση ακατέργαστου περλίτη : [13]***

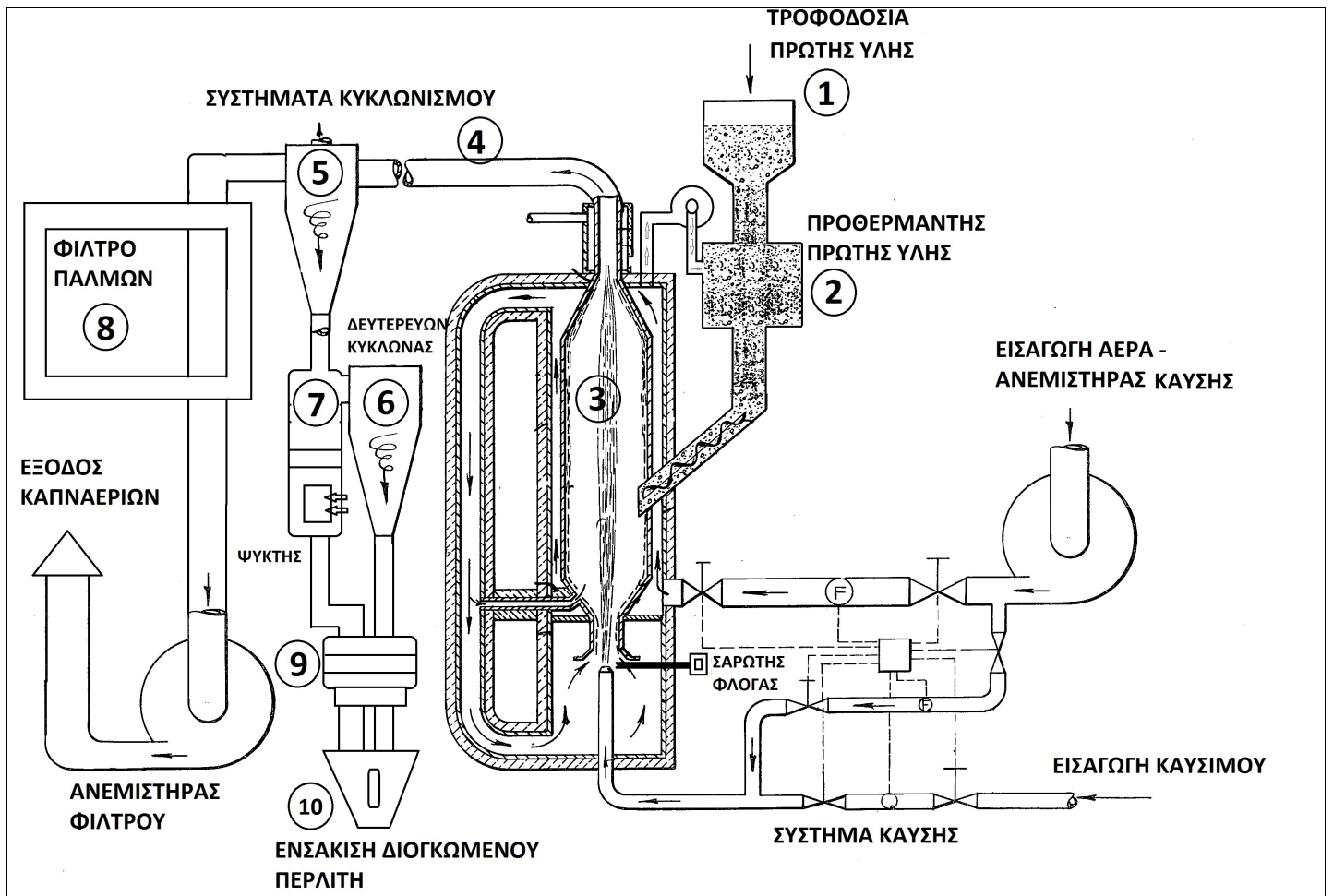
Η διαβάθμιση του υλικού γίνεται πιο αποδοτικά όταν το σύστημα θραύσης συνδυάζεται με ξηραντήριο , συνήθως κυλινδρικό και στρεφόμενο σε θερμοκρασία κοντά στους 100οC. Η ξήρανση επιτρέπει την ευκολότερη εκκαθάριση υπέρλεπτων σωματιδίων περλίτη , τα οποία κολλάνε στους κόκκους λόγω εξωτερικής υγρασίας.

Η προθέρμανση του υλικού , η οποία προετοιμάζει καλύτερα το υλικό για διόγκωση αυξάνει αισθητά την απόδοση του υλικού , κυρίως ως προς την κατανάλωση καυσίμου. [14]

Για λόγους πληρότητας, παρακάτω δίνονται αναφορικά τα **βασικά τμήματα** ενός συστήματος διόγκωσης περλίτη:

### ***2.1 Κόρια τμήματα φούρνου διόγκωσης***

Η παραπάνω εικόνα, παραθέτει στον αναγνώστη το διάγραμμα ροής παραγωγής ενός τυπικού συστήματος διόγκωσης περλίτη. Τα νούμερα της εικόνας μπορούν να αντικατασταθούν στην λίστα των διαφορετικών τμημάτων:



Εικόνα 3: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ [16]

### ΚΥΡΙΑ ΤΜΗΜΑΤΑ – Αντιστοιχία αριθμών στο διάγραμμα ροής

1. Σύστημα τροφοδοσίας ακατέργαστου περλίτη:  
το υλικό τροφοδοτείται με φορτωτή ή περνοφόρο όχημα στο σιλό τροφοδοσίας. Το σιλό είναι συνδεδεμένο με ταινία μεταφοράς (με ή χωρίς κόσκινο). Η ταινία μεταφοράς περνάει το υλικό στο αναβατήριο. Η πρώτη ύλη

μεταφέρεται σε ύψος 15 μέτρων όπου συλλέγεται σε δοχείο με τοποθετημένο ενδεικτική στάθμης. Ο ενδεικτής στάθμης είναι διασυνδεδεμένος με το PLC για να εκκινεί το σύστημα τροφοδοσίας σε περίπτωση που το δοχείο είναι άδειο , ενώ δίνει εντολή παύσης στην ταινία μεταφοράς όταν γεμίσει.

2. Ανεξάρτητος προθερμαντής (ανεξάρτητο σύστημα καύσης) ή κύκλωμα προθέρμανσης χρησιμοποιώντας μέρος της ενέργειας του κυρίου κυκλώματος καύσης: Το υλικό μεταβαίνει σε μονωμένο θάλαμο προθέρμανσης, σε θερμοκρασία 75 – 150 οC , ανάλογα με τον χρόνο παραμονής του υλικού , για να προετοιμάσει την πρώτη ύλη καθώς και για να εξαλείψει τη εξωτερική υγρασία και κατ' επέκταση την παραγωγή ατμών κατά την διόγκωση , η οποία μπορεί να προκαλέσει υάλωση του υλικού και παύση της παραγωγής. Λόγω χαμηλής απαίτησης θερμοκρασίας προθέρμανσης , για λόγους μείωσης κόστους , για την προθέρμανση χρησιμοποιείται σύστημα ανακύκλωσης του αέρα που προέρχεται από τον κύριο θάλαμο καύσης. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα ροής , ανεμιστήρας διακινεί την θερμοκρασία του εξωτερικού μανδύα μέσα στον προθερμαντή χωρίς να απαιτείται ανεξάρτητος καυστήρας. Σε άλλα συστήματα διόγκωσης χρησιμοποιούνται περιστρεφόμενοι προθερμαντές με μικρότερο χρόνο παραμονής.
3. Φούρνος διόγκωσης: Κάθετος φούρνος καύσης προπανίου ή Υγραερίου με εσωτερική προθέρμανση και διόγκωση δια της καθέτου πτώσης. Διασυνδεδεμένος με φίλτρο παλμών , ανεμιστήρας αναρρόφησης διατηρεί αρνητική πίεση (vacuum) , ρυθμίζοντας τον απαιτούμενο χρόνο παραμονής του υλικού με σκοπό την πλήρη διόγκωση του. Ο Εξωτερικός μανδύας , είναι μονωμένος με πετροβάμβακα ενώ ρυθμίζεται με ακρίβεια η πίεση του θαλάμου καύσης με σκοπό τον μηδενισμό της υποπίεσης του θαλάμου καύσης. Η υποπίεση δημιουργείται από του 2 ανεμιστήρες του συστήματος (καύσης και αναρρόφησης).
4. Σωλήνωση καπναερίων: Από τον φούρνο το υλικό μεταφέρεται μέσω σωλήνωσης καπναερίων και υλικού στα συστήματα κυκλωνισμού. Η σωλήνωση διαθέτει συστολικές συνδέσεις ανά 5 μέτρα για αποφυγή κάμψης λόγω συστολο-διαστολών ενώ γίνεται μέτρηση της ροής υλικού , ενδεικτικό μέγεθος για τον έλεγχο της ταχύτητας αναρρόφησης.
5. Κυκλωνικό σύστημα αποκονίωσης προϊόντος.  
Πρώτο στάδιο αερο-διαχωρισμού του διογκωμένου υλικού. Ο κυκλώνας διαχωρίζει κατά ένα βαθμό τους μεγαλύτερους από τους λεπτότερους κόκκους. Στο πρώτο στάδιο διαχωρίζεται η μεγαλύτερη ποσότητα σκόνης από το υλικό και περνάει στο φίλτρο παλμών.

Αμέσως μετά το υλικό μεταβαίνει στον θάλαμο ηρεμίας και στον αεροφράκτη για ομαλή μετάβαση.

Κάτω από τα δύο συστήματα κυκλωνισμού, τον ψύκτη και το φίλτρο παλμών υπάρχουν αεροφράκτες και θάλαμοι ηρεμίας για την ομαλή μεταγωγή του υλικού στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας.

**6. Δεύτερο κυκλωνικό σύστημα- Δευτερογενής κυκλώνας:**

Το υλικό του πρωτογενή κυκλώνα, μεταφέρεται απ' ευθείας στον ψύκτη ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τον δευτερογενή κυκλώνα. Μέσω περιστροφής – δίνης και εδώ το υλικό διαχωρίζεται περαιτέρω από την σκόνη και καταλήγει στις ενσασιαστικές συσκευές. Όπως και ο πρωτογενής κυκλώνας, η μία έξοδος του δευτερογενή (σκόνη περλίτη) καταλήγει στο φίλτρο παλμών. Αεροφράκτης και θάλαμος ηρεμίας υπάρχει και μετά τον δευτερογενή κυκλώνα.

**7. Κύκλωμα ψύξης με ατμοσφαιρικό αέρα. (Cooler) :**

Το μοναδικό σημείο ψύξης του υλικού με ατμοσφαιρικό αέρα. Μετά το πρώτο στάδιο κυκλωνισμού το υλικό περνάει στον ψύκτη. Ο ψύκτης συνδέεται με τον δευτερογενή κυκλώνα. Το σημείο σύνδεσης βρίσκεται στο άνω σημείο του ψύκτη απ' όπου δεσμεύονται τα λεπτότερα σωματίδια περλίτη, τα οποία διαχωρίζονται και πάλι σε σκόνη περλίτη που καταλήγει στο φίλτρο και πιο χοντρά σωματίδια που φεύγουν προς την ενσάκιση.

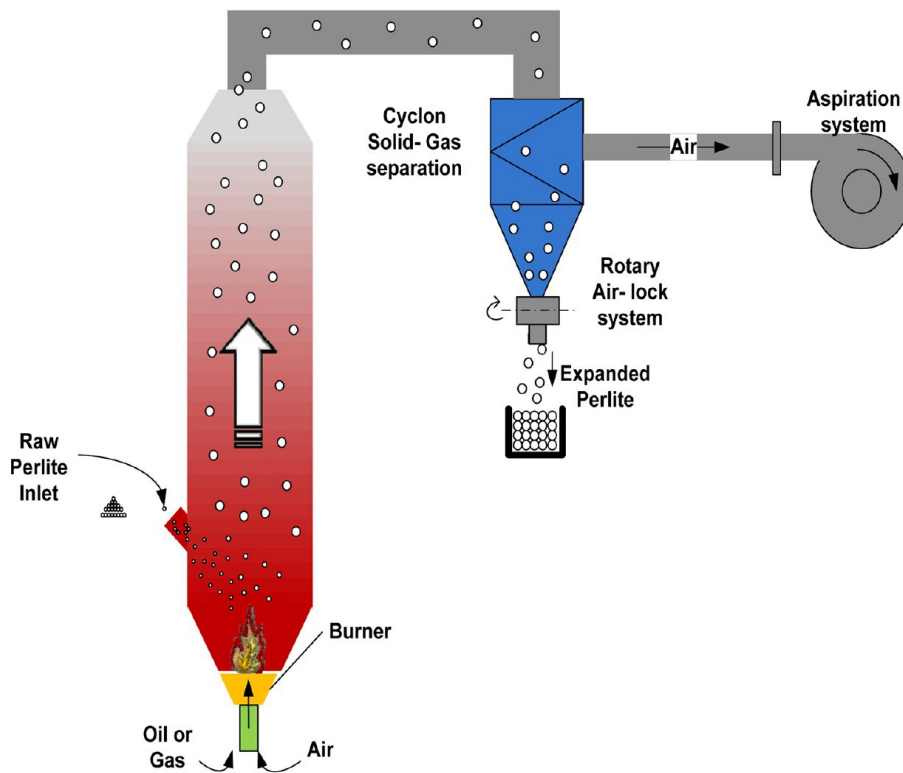
**8. Φίλτρο παλμών:**

Η σκόνη περλίτη που συλλέγεται από τα 2 στάδια κυκλωνισμού, κατακρατείται από συστοιχίες φιλτροπάνων κυλινδρικού σχήματος από υλικό Nomex. Οι κύλινδροι είναι εσωτερικά από σκελετό αλουμινίου. Κάθε συστοιχία συνδέεται με μία βαλβίδα κυκλώματος πεπιεσμένου αέρα (πίεσεως 6bar). Ο προγραμματιστής φίλτρου ρυθμίζεται για την σειριακή εκτίναξη κάθε συστοιχίας με συγκεκριμένο βήμα και συχνότητα. Με την εκτίναξη η σκόνη περλίτη πέφτει και συλλέγεται μέσω κοχλία.

**9. Δονούμενο κόσκινο.** Τα σύγχρονα συστήματα διόγκωσης διαθέτουν δονούμενο κόσκινο ακριβώς πριν από την ενσάκιση του τελικού προϊόντος. Αυτό βοηθάει στην διατήρηση της ομοιογένειας του υλικού ως προς το μέγεθος γιατί οι κυκλώνες αν και διαχωρίζουν κατά μέγεθος, δεν προσφέρουν την απόδοση του κόσκινου.

## 10. Ενσασιαστικές συσκευές:

Κάθε συσκευή αποτελείται από δοχείο συλλογής, και πνευματική βαλβίδα με μοχλό. Υπάρχει δυνατότητα ενσάκισης σε σακιά 100 λίτρων αλλά και Jumbo bags 1 ή 2.5 κυβικών μέτρων (m<sup>3</sup>).



Εικόνα 4: Απλό διάγραμμα ροής φούρνου διόγκωσης (αριστερά)  
Κάθετος φούρνος διόγκωσης (δεξιά) [17]

## 2.2 Περιγραφή τμημάτων συστήματος διόγκωσης:

Αρχή λειτουργίας Φούρνου Διόγκωσης ορυκτού περλίτη: Σε θερμοκρασία 800 – 850°C το κρυσταλλικό νερό στο εσωτερικό του περλίτη απελευθερώνεται. Σαν αποτέλεσμα έχουμε την διόγκωση του υλικού περίπου 10-20 φορές τον αρχικό του όγκο. Η αναλογία διάστασης

ακατέργαστου – διογκωμένου περλίτη, λέγεται και διογκωσιμότητα και είναι ανάλογη της ακτίνας του κόκκου περλίτη και της ποσότητας κρυσταλλικού νερού στο μόριο του. Το εύρος μεταβολής όγκου ακατέργαστου προς διογκωμένου υλικού εξαρτάται από την αρχική και τελική πυκνότητα του περλίτη.

$$\text{Expandability} = \frac{\text{Density}_{\text{raw}}}{\text{Density}_{\text{expanded}}}$$

Expandability: διογκωσιμότητα, αλλιώς η μεταβολή αρχικού προς τελικό όγκο.

Density<sub>raw</sub>: Η πυκνότητα του ορυκτού περλίτη. (1,000 – 1,100 kg/m<sup>3</sup>)

Density<sub>expanded</sub>: Η πυκνότητα του διογκωμένου περλίτη.

Κάθε σύστημα διόγκωσης αποτελεί μία ενιαία γραμμή παραγωγής που λειτουργεί σε σειρά χωρίς παράλληλες διεργασίες. Το υλικό φορτώνεται στο σιλό τροφοδοσίας χωρίς άλλες προσμίξεις. Η πρώτη ύλη είναι διαβαθμισμένη και συνήθως αποξηραμένη.

Η συνεχής προσπάθεια για εκσυγχρονισμό των φούρνων διόγκωσης στοχεύει στα παρακάτω χαρακτηριστικά:

### Χαρακτηριστικά σύγχρονων συστημάτων επεξεργασίας περλίτη: [18]

- Κάλυψη μεγάλου εύρους προϊόντων περλίτη ως προς το μέγεθος. Παλαιότερα, χρησιμοποιούνταν ξεχωριστά συστήματα για διαφορετικά μεγέθη περλίτη προς διόγκωση.
- Αποδοτικότητα από πλευράς ενεργειακού κόστους. Καλύτερη μόνωση φούρνου, μικρότερη κατανάλωση καυσίμου, καλύτερα πυρίμαχα μέταλλα.
- Κάλυψη μεγαλύτερου εύρους προϊόντων ως προς την προέλευση πρώτης ύλης. Λόγω διακυμάνσεων στη σύσταση των διαφορετικών υλικών.
- Χαμηλότερα κόστη συντήρησης: μείωση συνολικού ηλεκτρικού φορτίου συντήρησης, χρήση ειδικών συστημάτων με αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, μείωση κόστους κινητήρων και αναλωσίμων.
- Ενίσχυση μηχανολογικού εξοπλισμού: μεταλλική ενίσχυση σημείων τριβής περλίτη (καμπύλες σωληνώσεων, σημεία υψηλής θερμοκρασίας) και ανθεκτικότερα πυρίμαχα μέταλλα.
- Καλύτερος έλεγχος πιέσεων στον θάλαμο καύσης: Απομόνωση θαλάμου καύσης από την ψύξη του υλικού.
- Μείωση μήκους σωληνώσεων για μείωση τριβής διογκωμένου περλίτη: Επίτευξη με βελτίωση της ροής αέρα ψύξης.

### Βασικές αρχές συστημάτων διόγκωσης:

- Η **συμπεριφορά** κάθε συστήματος διόγκωσης διαφέρει ανάλογα με την εγκατάσταση. Σε μηχανολογικό επίπεδο, το μέγεθος του φούρνου, των κυκλώνων, του φίλτρου ακόμα και των σωληνώσεων επηρεάζει τις ενδείξεις που παρατηρούνται κατά την

παραγωγή. Σε συνάρτηση με τη ποικιλομορφία των διαφόρων τύπων πρώτης ύλης, την κλιματική αλλαγή ανά περιοχή και το τελικό στόχο προϊόντος οι ρυθμίσεις αλλάζουν.

- Ρυθμός **τροφοδοσίας** πρώτης ύλης: 800 – 1500 Kg ανά ώρα ανάλογα με την κοκκομετρία. Προς συσκευασία παράγονται ωριαία 8 – 18 κυβικά μέτρα διογκωμένου περλίτη.
- Ωριαία **κατανάλωση καυσίμου**: 150 – 200 λίτρα υγρού προπανίου. Ανάλογα με το κόστος καυσίμου ανά περιοχή, μπορεί να επιλεγθεί Diesel, μείγμα προπανίου – Βουτανίου (LPG) ή φυσικό αέριο (NG). Το προπάνιο έχει επιλεγθεί λόγω υψηλής θερμογόνου δύναμης και καθαρότερης καύσης.
- Ωριαία **Παραγόμενη ποσότητα**: εξαρτάται απολύτως από τον ρυθμό τροφοδοσίας πρώτης ύλης και την πυκνότητα του τελικού προϊόντος.

$$Product (m^3) = \frac{OreSupply_{hour}}{Density_{Expanded}}$$

Η παραγόμενη ποσότητα διογκωμένου περλίτη ανά ώρα υπολογίζεται με τον λόγο της ωριαίας τροφοδοσίας πρώτης ύλης, προς τον όγκο του παραγόμενου υλικού ανά κυβικό.

- **Μέτρηση εκπομπών καύσης**: Κατά την επεξεργασία περλίτη παράγονται ελάχιστα αέρια απόβλητα. Απελευθερώνονται φυσιολογικά μεγέθη διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και ελάχιστες ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων (PM) λόγω ύπαρξης του φίλτρου παλμών, το οποίο κατακρατεί την σκόνη περλίτη.

Τα σημαντικότερα μεγέθη που μετρώνται κατά την ανάλυση των εκπομπών / ρύπων καύσης στην ατμόσφαιρα είναι, οι ποσότητες διοξειδίου (CO<sub>2</sub>) και μονοξειδίου του άνθρακα (CO), οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) και άλλων αιωρούμενων σωματιδίων (PM – particulate matter). Επίσης μετράται η πυκνότητα και η ταχύτητα των αερίων που διαφεύγουν από την καπνοδόχο στην ατμόσφαιρα και η θερμοκρασία των καπναερίων.

- **Κατά την διόγκωση**: ορισμένες παράμετροι διόγκωσης διατηρούνται σταθεροί. Έτσι αποφεύγεται η διατάραξη της ισορροπίας της παραγωγής και ελέγχεται καλύτερα το τελικό προϊόν. Εμφανίζεται αυτό που ονομάζουμε φαινόμενο Ντόμινο (Domino effect). Η παραδοχή αυτή θα γίνει κατανοητή στο επόμενο κεφάλαιο όπου μελετάται η μεθοδολογία επέμβασης στην διόγκωση και οι κρίσιμες παράμετροι αυτής.

## 2.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ



## ***I. Σύστημα τροφοδοσίας ακατέργαστου περλίτη:***

Μηχανολογικά το σύστημα τροφοδοσίας συνιστάται από:

- κωνικό σιλό 5- 10 τόνων
- ταινίας τροφοδοσίας για αδρανή υλικά ή κοχλία ή δονούμενου κόσκινου.
- Αναβατορίου με κουβάδες ύψους 10- 17 μέτρων ανάλογα με το σημείο τροφοδοσίας.

Το σύστημα αυτό τροφοδοτεί το φούρνο με ορυκτό περλίτη με ρυθμό 850 – 1800Kg ανά ώρα ,δια της κάθετης πτώσης.

Ακατέργαστος περλίτης τροφοδοτείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα στο σιλό τροφοδοσίας μέσω φορτωτή.

Στο συγκεκριμένο σύστημα το υλικό φορτώνεται σε μία χοάνη 3-4 τόνων , ποσότητα που καταναλώνεται σε περίπου 2-3 ώρες σε ένα σύγχρονο σύστημα διόγκωσης.

Στο ανώτατο σημείο του αναβατορίου, υπάρχει συνδεδεμένος ενδείκτης στάθμης , μανδαλωμένος στο σύστημα , δίνοντας εντολή παύσης και εκκίνησης στο σύστημα τροφοδοσίας ανάλογα με τη στάθμη του υλικού.



Ενδείκτης στάθμης: με πτερύγια και μοτέρ. Όταν το δοχείο πριν την προθέρμανση είναι γεμάτο, τα πτερύγια του ενδείκτη δεν κινούνται , δίνοντας την ένδειξη “γεμάτο” στο σύστημα. Η ταινία τροφοδοσίας σταματάει. Όταν το δοχείο είναι άδειο, τα πτερύγια κινούνται δίνοντας την ένδειξη “άδειο” στο σύστημα. Η ταινία μεταφοράς τροφοδοτεί το σύστημα με υλικό.

Στην παραπάνω εικόνα [19] βλέπουμε ένα σύγχρονο φούρνο διόγκωσης όπου φαίνεται το σύστημα τροφοδοσίας. Πάνω στον εξωτερικό μανδύα του φούρνου και εκατέρωθεν (2 σημεία) , υπάρχουν 2 κοχλίες που τροφοδοτούν απ' ευθείας στον εσωτερικό μανδύα (φούρνος). Από το δονούμενο κόσκινο (ταινία μεταφοράς) το υλικό μεταφέρεται μέσω του αναβατορίου μέσα στο φούρνο. Για να αποφευχθεί η υψηλή παραγωγή σκόνης , η πρώτη ύλη κοσκινίζεται με σκοπό την εξάλειψη των ανεπιθύμητων κοκκομετριών.

Ανεπιθύμητες κοκκομετρίες θεωρούνται συνήθως οι πολύ λεπτές  $X \leq 75\mu\text{m}$  , που σχεδόν σε κάθε περίπτωση περιέχονται στην πρώτη ύλη. Για λόγους ασφαλείας των κοχλιών τροφοδοσίας, προστίθεται κόσκινο πλέγματος 10 χιλιοστών για να αποφύγουμε την τροφοδοσία μεταλλικών αντικειμένων , ή άλλων ανεπιθύμητων υλικών που μπορεί να έχουν περάσει με την πρώτη ύλη στο σύστημα τροφοδοσίας.

## II. Σύστημα Προθέρμανσης:

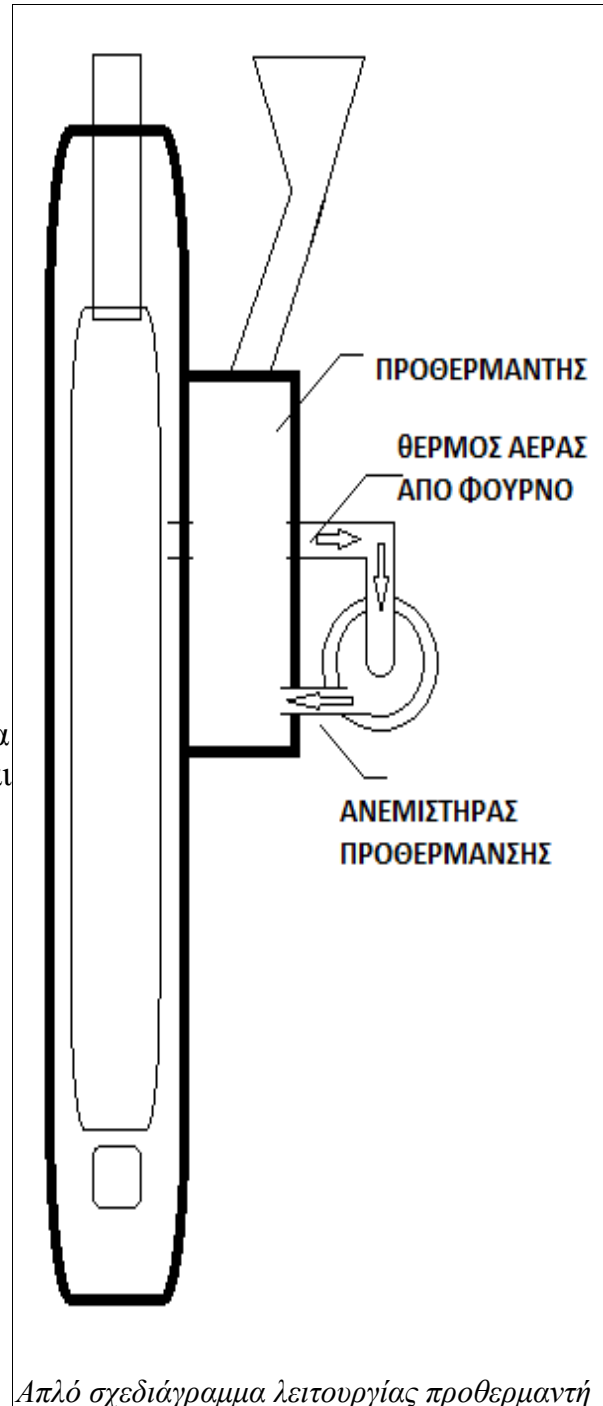
Η συνεχής επεξεργασία διαφορετικών υλικών (προέλευσης , μεγέθους κόκκου) βοηθάει στην εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων που βοηθούν στην βελτιστοποίηση της παραγωγής. Μελέτες έχουν δείξει , ότι η προθέρμανση του υλικού βοηθάει αρκετά στην μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για τη διόγκωση του υλικού , ειδικά για τις μεγάλες κοκκομετρίες. Η προθέρμανση προετοιμάζει το υλικό και εξαλείφει την εξωτερική υγρασία. Επιπροσθέτως δίνει στο υλικό μία αρχική θερμοκρασία επιτυγχάνοντας:

- Μείωση του χρόνου που απαιτείται για να φτάσει το υλικό στην θερμοκρασία διόγκωσης.
- Μείωση του χρόνου παραμονής του υλικού στον φούρνο, άρα και δυνατότητα αύξησης της ταχύτητας αναρρόφησης και τροφοδοσίας.

Ως προς τον εξοπλισμό η προθέρμανση μπορεί να γίνει:

α) Με ανεξάρτητο προθερμαντή , στρεφόμενο κυλινδρικό ή μη στρεφόμενο , με δικό του σύστημα καύσης. Από πλευράς ποιότητας , η ανεξάρτητη προθέρμανση είναι ακριβής και αποδοτική , αλλά το κόστος προθέρμανσης αποτελεί εμφανές μειονέκτημα.

β) Με προθερμαντή που χρησιμοποιεί την ενέργεια του φούρνου (Εικόνα Δεξιά) , αναρροφώντας την από το εσωτερικό του εξωτερικού μανδύα του φούρνου μέσω συστήματος ανεμιστήρα- κινητήρα.



Απλό σχεδιάγραμμα λειτουργίας προθερμαντή

**Πλεονέκτημα** εδώ είναι σαφώς η μείωση του κόστους προθέρμανσης.

Παρόλα αυτά η ανακύκλωση της θερμότητας του φούρνου συχνά προκαλεί προβλήματα στην διατήρησης της πίεσης του θαλάμου καύσης. Συχνά προκαλεί ανεπιθύμητες υπό-πίεσεις , που οδηγούν σε ανεπιθύμητες δονήσεις στο μπεκ του φούρνου.

Οι κρίσιμοι παράγοντες που ενδιαφέρουν στην διαδικασία προθέρμανσης είναι:

- 1) η θερμοκρασία προθέρμανσης
- 2) ο χρόνος παραμονής του υλικού στον προθερμαντή.

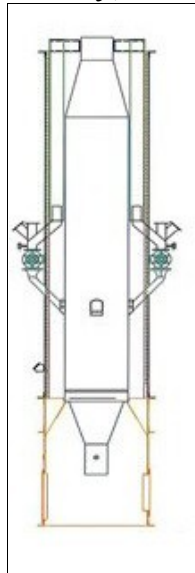
Η συνήθης θερμοκρασία είναι 150°C, για 10 λεπτά, μέχρι να καταναλωθεί το υλικό στο κύκλωμα σωληνώσεων. Σε περίπτωση μεγάλης έκθεσης του υλικού και για μεγάλο χρόνο, υπάρχει κίνδυνος απώλειας του κρυσταλλικού νερού και κατ' επέκταση αδυναμία διόγκωσης του υλικού.

Σε άλλα συστήματα διόγκωσης επιλέγεται μικρότερος χρόνος παραμονής σε μεγαλύτερη θερμοκρασία. Σε κάθε περίπτωση, στόχος είναι η προετοιμασία του υλικού για το φούρνο, αλλά και η προστασία του.

### **III. Φούρνος διόγκωσης:**

Συνιστάται από:

*Σύστημα καύσης προπανίου, εξωτερικός μανδύας, εσωτερικό πυρίμαχο καμίνι και σύστημα*



*απόρριψης μη διογκωμένων σωματιδίων.*

**Δεξαμενή καυσίμου:** Το σύστημα αποθήκευσης και εξαέρωσης προπανίου αποτελεί ανεξάρτητο σύστημα του εργοστασίου. Το προπάνιο είναι αποθηκευμένο σε ειδική υπόγεια δεξαμενή υπό υψηλή πίεση (17bar, υγρή μορφή). Η εξαέρωση του γίνεται με ειδικά συστήματα εξαέρωσης. Μετά την εξαέρωση το αέριο μεταφέρεται υπό πίεση (1 – 2 bar) στην είσοδο της γραμμής αερίου. Η μεταφορά του αερίου επιλέγεται υψηλή για μην αδειάζει το αέριο στο δίκτυο. Η πίεση ροής του αερίου στον θάλαμο καύσης (μίξη αέρα καυσίμου) είναι αρκετά μικρότερη.

Σημαντικά μεγέθη ως προς το σύστημα υγραερίου:

Πίεση υγρού προπανίου στην δεξαμενή:

**17bar**

Ωριαία ποσότητα εξαέρωσης ανά φούρνο διόγκωσης:

**160kg/hour** (αερίου)

Πίεση προπανίου αέριας μορφής στο δίκτυο μεταφοράς:

**1.5 bar**

Πίεση προπανίου στο πιλότο έναυσης καυστήρα:  
Πίεση καυσίμου στον θάλαμο ανάμιξης καυσίμου (μπεκ):

**20 – 45 mbar**  
**250mbar**

Το σύστημα καύσης ελέγχεται από ξεχωριστό πάνελ , με ψηφιακούς και αναλογικούς ενδείκτες πιέσεων και θερμοκρασιών.

### **Ενδείξεις κρίσιμες ως προς την διόγκωση:**

Για να είναι δυνατή η επέμβαση στην παραγωγική διαδικασία, στο κεντρικό πάνελ φαίνονται οι παρακάτω ενδείξεις:

α) Θερμοκρασία καπναερίων: Κυμαινόμενη ανά υλικό , εξαρτάται από την ταχύτητα αναρρόφησης του υλικού, το είδος του υλικού και το ύψος της φλόγας. Το ύψος της εστίας επηρεάζεται από την ποσότητα αέρα (διάνοιξης βαλβίδων αέρα καυσίμου)

β) Θερμοκρασία κώνου, στο κάτω μέρος του εσωτερικού μανδύα του φούρνου: για κάθε τύπο υλικού η ένδειξη αυτή δείχνει την χρονική στιγμή που το κύκλωμα έχει περάσει το στάδιο της προθέρμανσης και λειτουργεί σε ομαλά επίπεδα. Η θερμοκρασία κώνου αποτελεί χρήσιμη ένδειξη για προστασία κατά της υάλωσης, αφού σε περίπτωση συσσώρευσης, η θερμοκρασία κώνου ανεβαίνει ταχύρυθμα.

γ) Υπό-πίεση θαλάμου καύσης: για αποφυγή δονήσεων του καυστήρα και του φούρνου, ώστε να υπάρχει ομαλή διόγκωση και ροή του υλικού, η υποπίεση πρέπει να διατηρείται σταθερή και κοντά στο 0.

δ) Ταχύτητα ροής Καπναερίων: Μεταβάλλεται ανάλογα με την συχνότητα στρέψης του ανεμιστήρα φίλτρου. Για κάθε τύπο υλικού , η ροή των καπναερίων και του υλικού, είναι χρήσιμη ένδειξη για καταγραφή των πρότυπων διόγκωσης για κάθε τύπο υλικού. Η κλίμακα ροής καπναερίων αλλάζει ανάλογα με το μέγεθος του υλικού.

Στη γραμμή αερίου, μετρώνται διάφορες πιέσεις και θερμοκρασίες που ενεργοποιούν τον εγκέφαλο του καυστήρα. Με διαδοχικούς ελέγχους υψηλής και χαμηλής πίεσης και θερμοκρασιών, το σύστημα επιτρέπει την έναυση της φλόγας. Αρχικά ο πιλότος δίνει φλόγα για την έναυση και λίγα δευτερόλεπτα μετά η δεύτερη ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα της γραμμής αερίου, ανοίγει ώστε να επιτραπεί η ροή του μίγματος καύσης με σκοπό την ανάφλεξη.

Οι παραπάνω ενδείξεις είναι πολύ σημαντικές για την εξαγωγή συμπερασμάτων και μας δείχνουν το επόμενο βήμα. (επέμβαση στην διόγκωση – Κεφάλαιο 3)  
Οι θερμοκρασίες μετρώνται με θερμοστοιχεία τύπου K και J , ανάλογα με την κλίμακα θερμοκρασιών που μετρώνται.

Παρακάτω, φαίνεται η φλόγα του καυστήρα, κατά την δοκιμή διογκωτηρίου:  
(Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα , 2012)



*Φλόγα καυστήρα κατά την διόγκωση - [20]*

#### ***IV. Σωλήνωση καπναερίων :***

Ο φούρνος συνδέεται σε 2 σημεία συστολικά (χωρίς φλάντζες), για αποφυγή κάμψης λόγω διαστολών, με τα επόμενα κομμάτια της καπνοδόχου, δηλαδή την κεντρική σωλήνωση μεταφοράς του διογκωμένου προϊόντος. Το πρώτο κομμάτι της σωλήνωσης αποτελεί κομμάτι του φούρνου και είναι από πυρίμαχη αλόη αντοχής έως 1300οC. Το συστολικά συνδεδεμένο επόμενο κομμάτι της σωλήνωσης είναι φτιαγμένο από κοινή αλόη πάχους 8 -12 χιλιοστών. Μετά την κάθετη σωλήνωση υπάρχει καμπυλωτή σωλήνωση (γέφυρα) απ' όπου το υλικό με τα καπναέρια κατευθύνονται προς τον Πρωτογενή κυκλώνα μέσω οριζόντιας καπνοδόχου (πρώτο στάδιο διαχωρισμού και αποκονίωσης). Η καμπύλη αποτελεί σημείο υψηλής φθοράς του συστήματος και για τον λόγο αυτό είναι ενισχυμένη με λαμαρίνα 16 χιλιοστών(mm).

#### ***Κρίωμα συστήματος διόγκωσης***



**[20]** Σύγχρονο σύστημα διόγκωσης Περίληψη, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα

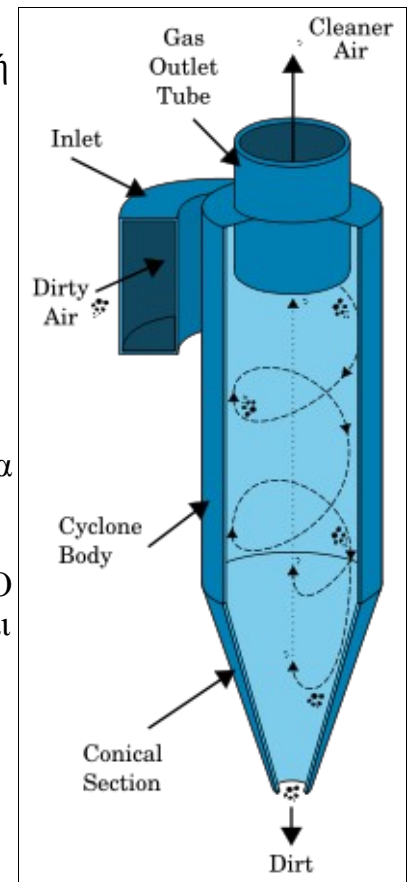
## V. Κυκλωνικό σύστημα αποκονίωσης προϊόντος. [21]

### Πρώτο στάδιο αερο-διαχωρισμού

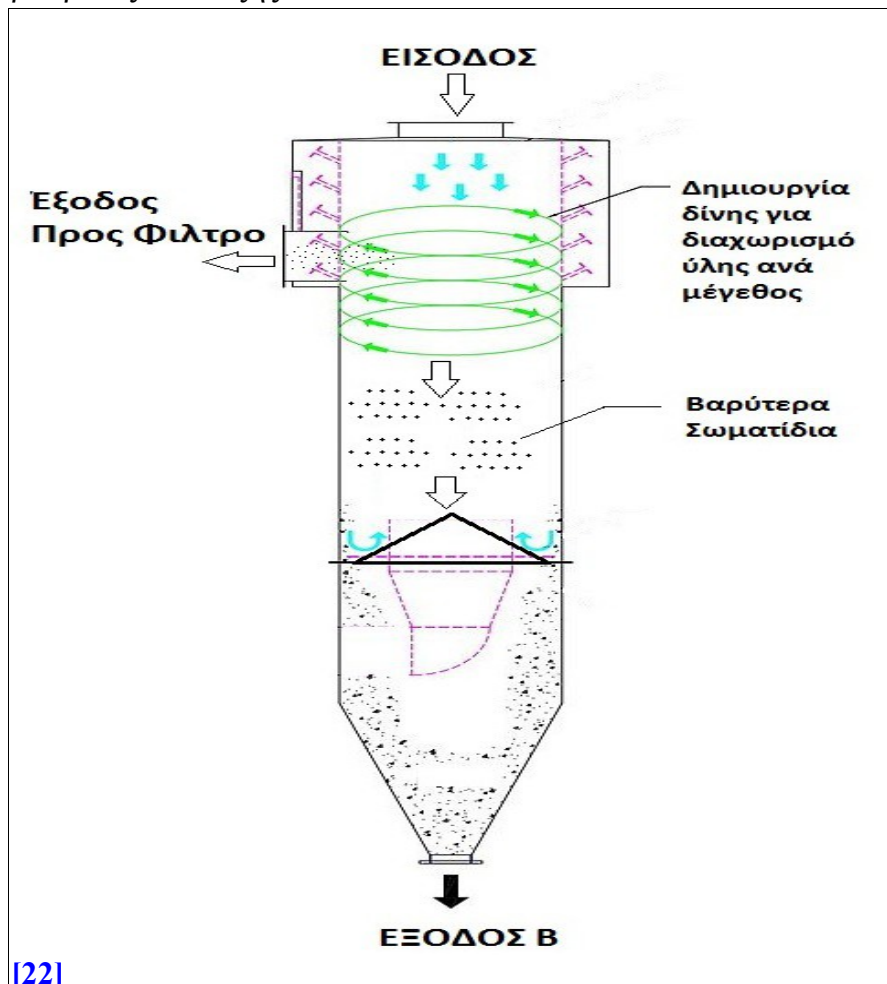
Κυκλωνικός διαχωρισμός ή κυκλωνισμός ονομάζεται η μέθοδος διαχωρισμού των σωματιδίων κατά τη ροή ενός ρεύματος αέρα ή αερίων καύσης, χωρίς την χρήση φίλτρων. Τα καπναέρια με τον διογκωμένο περλίτη ρέουν με κατεύθυνση προς τον πρωτογενή κυκλώνα. Εσωτερικά αυτού, δημιουργείται δίνη η οποία επιτρέπει στα μεγάλα σωματίδια να πέφτουν προς τα κάτω ενώ τα πιο λεπτά, μεταφέρονται μέσω της άνω εξόδου στο φίλτρο.

**Δεύτερο στάδιο αερο-διαχωρισμού και ψύξης** του υλικού με συνδεδεμένο σύστημα ψύξης με αέρα περιβάλλοντος.

Δευτερογενής κυκλώνας μικρότερου μεγέθους είναι συνδεδεμένος μαζί με τον ψύκτη (cooler). Έχει 2 εξόδους και μία είσοδο. Η είσοδος από το cooler διοχετεύει το ψιλό υλικό φυσώντας με αέρα περιβάλλοντος και ταυτόχρονα ψύχει το υλικό. Επίσης κάνει περαιτέρω διαχωρισμό σκόνης και υλικού. Ο ψύκτης και ο μικρός κυκλώνας συνδέονται μέσω σωλήνωσης και η ταχύτητα ροής από το ένα στο άλλο ρυθμίζεται μέσω βαλβίδας διάνοιξης.



Διάγραμμα λειτουργίας κυκλώνων [22]



## Αρχή λειτουργίας Συστήματος αερό-διαχωρισμού και ψύξης: (σύστημα κυκλώνα – ψύκτη)

όσο ανοίγουμε την βαλβίδα μεταξύ ψύκτη και κυκλώνα , τόσο μεγαλύτερο ποσοστό χοντρότερων σωματιδίων περλίτη μεταφέρεται στον δευτερογενή κυκλώνα.

Ο μικρός κυκλώνας καθορίζει την κοκκομετρία του τελικού προϊόντος κατά μεγάλο ποσοστό. Μία ποσότητα εξέρχεται από τον ψύκτη (χοντρή κοκκομετρία) και διαχωρίζεται κατ'επιλογή σε διάφορες εξόδους προς ενσάκιαση, ενώ το άλλο οδηγείται μέσω της αναρρόφησης φίλτρου στο δευτερογενή κυκλώνα. Με τον τρόπο αυτό διαχωρίζονται περαιτέρω οι κοκκομετρίες του υλικού. Τα υπέρλεπτα προϊόντα της διόγκωσης (σκόνη περλίτη) του μικρού κυκλώνα συλλέγονται από το φίλτρο. Επομένως εκτός από διαχωρισμό λεπτής και χοντρής κοκκομετρίας διογκωμένου υλικού ο μικρός κυκλώνας χωρίζει σε δεύτερο επίπεδο το υλικό από την υπόλοιπη σκόνη περλίτη κατευθύνοντας την στο φίλτρο. Η εναπομείνασα σκόνη καταλήγει μέσω της πρώτης εξόδου στο φίλτρο ενώ το λεπτής κοκκομετρίας υλικό πηγαίνει μέσω της 2ης εξόδου στις ενσασιαστικές συσκευές. Με το δεύτερο κυκλωτικό σύστημα, δίνεται η δυνατότητα συμπαραγωγής υλικών διαφορετικών ποιοτήτων αφού επιτυγχάνονται πολλαπλές εξοδοί.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί , ότι τα κυκλωνικά συστήματα δεν κάνουν πλήρη διαχωρισμό ανά μέγεθος κόκκου. Εάν επιθυμούμε πλήρη διαχωρισμό ανά μέγεθος είναι προτιμότερο να χρησιμοποιήσουμε δονούμενο κόσκινο.

### ***VI. Κύκλωμα ψύξης με ατμοσφαιρικό αέρα.***

**Cooler -Ψύξη:** (Σύστημα 2 εισόδων – 2 εξόδων ). Η πρώτη είσοδος προέρχεται από τον θάλαμο ηρεμίας που περιέχει το υλικό της εξόδου του μεγάλου κυκλώνα. Ο θάλαμος ηρεμίας συνδέεται με αεροφράκτες και επιτρέπουν την ομαλή και συνεχή ροή του υλικού στα διαφορετικά στάδια της παραγωγής. Η 2η είσοδος διοχετεύει κρύο αέρα στο σύστημα για να ψύχει το υλικό που βρίσκεται στο εσωτερικό του και επίσης είναι το μέσο μεταφοράς του λεπτού υλικού που διοχετεύεται στον μικρό κυκλώνα. Η ροή του κρύου αέρα του ψύκτη υπάρχει λόγω της εξόδου του μικρού κυκλώνα προς το φίλτρο το οποίο μέσω του ανεμιστήρα προκαλεί την ροή. Η πρώτη έξοδος (προς τα κάτω) οδηγεί το υλικό προς ενσάκιαση και η κοκκομετρία του είναι η χοντρή. (προοριζόμενη για αγροτικές χρήσεις.) Η 2η έξοδος ρουφάει ψιλό υλικό στον μικρό κυκλώνα μέσω του ανεμιστήρα



## VII. Φίλτρο παλμών : (Jet Pulse Filter)

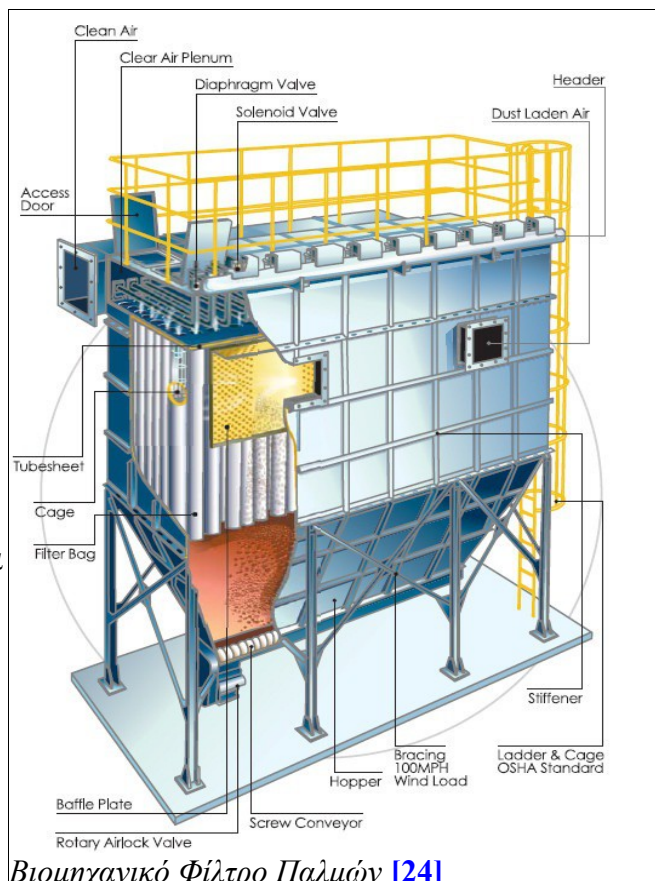
Το φίλτρο παλμών είναι στην ουσία συλλέκτης σκόνης. Ένας συλλέκτης σκόνης, είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για την βελτίωση της ποιότητας του αέρα που απελευθερώνεται από βιομηχανικές διαδικασίες και έχει σκοπό τον καθαρισμό της σκόνης από ένα αέριο μείγμα. Σχεδιασμένο να χειρίζεται φορτία σκόνης υψηλού όγκου, ένα σύστημα συλλογής σκόνης αποτελείται από έναν ανεμιστήρα, και ένα δοχείο με συστοιχίες φιλτροπάνων, ένα σύστημα φίλτρου καθαρισμού, καθώς και ένα σύστημα αφαίρεσης δοχείο σκόνης. Η σκόνη συλλέγεται μέσω μηχανικού κοχλίου ενώ στην τελική έξοδο υπάρχει αεροφράκτης. [23]

### Αρχή λειτουργίας φίλτρου σε σύστημα διόγκωσης:

Η αναρρόφηση του υλικού από το φούρνο γίνεται μέσω ανεμιστήρα, που αναρροφά διαμέσου του φίλτρου παλμών. Το βιομηχανικό φίλτρο συλλέγει τη σκόνη από τις 2 εξόδους των κυκλώνων του συστήματος. Επειδή κατά την ενσάκιση του προϊόντος παράγεται αρκετή ποσότητα σκόνης, στο φίλτρο συνδέεται άλλη μία είσοδος σκόνης που καταλήγει σε πολλαπλές εύκαμπτες σωληνώσεις συνδεδεμένες με τις ενσασιαστικές συσκευές.

Η σκόνη περλίτη που συλλέγεται στο φίλτρο κολλάει στα τοιχώματα των φιλτροπάνων. Τα φιλτρόπανα, είναι φτιαγμένα από υλικό Nomex fabric, ένα είδος υφάσματος από ίνες αντοχής σε υψηλή θερμοκρασία. Με προκαθορισμένη συχνότητα, τα φιλτρόπανα εκτινάσσονται μέσω πεπιεσμένου αέρα, με αποτέλεσμα η σκόνη να πέφτει σε κοχλία μεταφοράς, που μέσω αεροφράκτη, συλλέγεται για αποθήκευση. Το δίκτυο πεπιεσμένου αέρα είναι συνδεδεμένο με βιομηχανικό αεροσυμπιεστή ο οποίος διανέμει αέρα πίεσεως έως 10bar σε δεξαμενή αέρα που βρίσκεται κοντά στο φίλτρο παλμών.

Η δεξαμενή αέρα είναι μεγάλης χωρητικότητας, για να υπάρχει πάντα περίσσεια αέρα. Για τον λόγο αυτό επιλέγεται υψηλή πίεση στην δεξαμενή, ενώ ακριβώς πριν από το φίλτρο υπάρχει ρυθμιστής πίεσεως που υποβιβάζει την πίεση στα **5-6 bar** για να αποφευχθεί διάτρηση των φίλτρων.



*Βιομηχανικό Φίλτρο Παλμών [24]*

## Κρίσιμες παράμετροι για την λειτουργία του φίλτρου:

**Διαφορική πίεση:** Μετράται από τον προγραμματιστή φίλτρου και καταγράφεται σε καθημερινή βάση κατά την παραγωγή. Η ακρίβεια στις μετρήσεις διαφορικής πίεσης είναι καθοριστικής σημασίας για την ομαλή λειτουργία του φίλτρου και κατ' επέκταση της διόγκωσης. Μέσα σε ένα φίλτρο παλμών, η διαφορική πίεση αποτελεί ένδειξη χρήσιμη για την συντήρηση και αύξηση ζωής του.

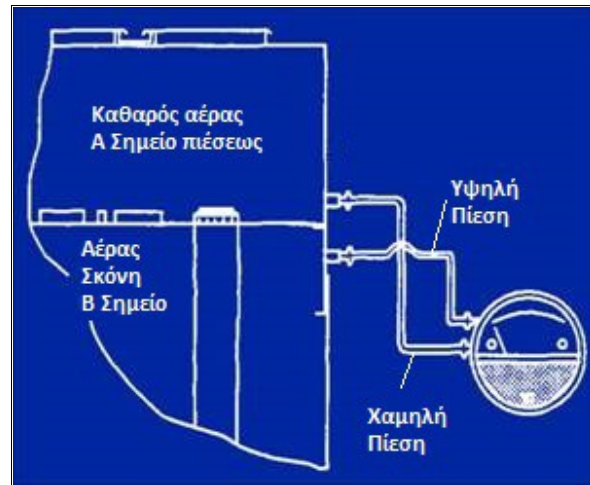
Μετρητής διαφορικής πίεσεως μετράει την διαφορά της πίεσης μεταξύ 2 σημείων:

α) Πίεση στο άνω μέρος του φίλτρου όπου ο αέρας περιέχει την σκόνη περλίτη.

(Dirty-air side)

β) Πίεση στο κάτω μέρος του φίλτρου όπου ο αέρας είναι καθαρός.

(clean air side)



Κατά την είσοδο αέρα σκόνης στο φίλτρο και ταυτόχρονα με την εκτίναξη των φίλτροπάνων, παρατηρείται μεταβολή της πίεσης σε σχέση με το καθαρό μέρος του φίλτρου. Υψηλές τιμές διαφορικής πίεσης αποτελεί ένδειξη πιθανής:

- Φθοράς των φίλτροπάνων , επομένως διαρροής.
- Συσσώρευσης υλικού στα φίλτροπανα.
- Κακής τοποθέτησης των συστοιχιών.

Είναι αποδεδειγμένο ότι υψηλή διαφορική πίεση σημαίνει και αύξηση του κόστους λειτουργίας της παραγωγικής διαδικασίας.

## Θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου.

Το σύστημα είναι μανδαλωμένο με την θερμοκρασία εξόδου, για να προστατεύει το φίλτρο σε περίπτωση υπερθέρμανσης. Το σύστημα έχει συναγερμό και σε περίπτωση που ενεργοποιηθεί (θερμοκρασία φίλτρου 190 – 200oC) , ο υπεύθυνος παραγωγής πρέπει να τερματίσει την διαδικασία μέσα σε 20 λεπτά , χρόνος φθοράς των φίλτροπάνων στην συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Κάθε κυκλώνας διαθέτει και ένα ηλεκτρικό τάμπερ που ανάλογα με το ποσοστό διάνοιξης του , έλεγχος του οποίου γίνεται στον κεντρικό πίνακα ελέγχου. Μέσω αυτού, αναρροφάται συγκεκριμένη ποσότητα σκόνης. Όσο περισσότερο σκόνη συλλέγεται από το φίλτρο τόσο πιο καθαρό από σκόνη υλικό συλλέγεται στην έξοδο.

Η σκόνη περλίτη εισάγεται από διάφορα σημεία (κυκλώνες , ενσάκιση) μέσω πολλαπλής σωλήνωσης εισόδου και καταλήγει μέσω μοναδικής εξόδου προς ενσάκιση προϊόντων φίλτρου (υπέρλεπτες κοκκομετρίες) :

Η είσοδος του φίλτρου είναι μία πενταπλή εισαγωγή η οποία συνδέεται με μία από τις 2 εξόδους του πρωτογενή κυκλώνα. Επίσης συνδέεται και με μία από τις 2 εξόδους του δευτερογενή κυκλώνα.

Η διάνοιξη των τάμπερ επηρεάζει την ταχύτητα αναρρόφησης του υλικού και γι' αυτό χρειάζεται προσοχή όταν μεταβάλλονται και συνεχής έλεγχος του σημείου πτώσης του υλικού στον φούρνο για διατήρηση χαμηλής απόρριψης.

Έξοδος Πρωτογενή κυκλώνα: πρώτο στάδιο κυκλωνισμού. Ανάλογα με την διάνοιξη των τάμπερ και την ταχύτητα αναρρόφησης αυξάνεται η ποσότητα σκόνης που περνάει στο φίλτρο.

Έξοδος δευτερογενή κυκλώνα: δεύτερο στάδιο κυκλωνισμού. Ομοίως η είσοδος του φίλτρου συνδέεται με τον δευτερογενή κυκλώνα και επανακυκλώνίζει το υλικό.

#### Περιγραφή μηχανολογικών τμημάτων φίλτρου παλμών:

Εσωτερικά του φίλτρου υπάρχουν ομοιόμορφα εγκάρσια συνδεδεμένα μεταλλικά στελέχη στα οποία τοποθετούνται τα φίλτροπανα. Η σκόνη που συλλέγεται από την είσοδο , κατακρατείται και προσκολλάται σε αυτά. Η απελευθέρωση της σκόνης γίνεται μέσω εκτίναξης με πεπιεσμένο αέρα. Το φίλτρο διαθέτει πνευματικές βαλβίδες που συνδέονται με αεροσυμπιεστή ο οποίος τροφοδοτεί με αέρα τις βαλβίδες.

Το φίλτρο έχει ρυθμιστεί ώστε να εκτινάσσει τα φίλτροπανα σε συγκεκριμένη συχνότητα και διάρκεια παλμού , αφήνοντας την σκόνη περλίτη να πέσει. Μέσω κοχλία αυτή συλλέγεται σε Big Bags.

Στον κεντρικό πίνακα του εργοστασίου υπάρχει συσκευή - προγραμματιστής για τον έλεγχο του φίλτρου μέσω του οποίου παρεμβαίνουμε σε παραμέτρους όπως:

Συχνότητα εκτίναξης φίλτροπάνων , διάρκεια παλμού εκτίναξης , σειρά ενεργοποίησης βαλβίδων και επιλογή αριθμού βαλβίδων που τροφοδοτούνται.

Ανάλογα με την εφαρμογή και τον τύπο του υλικού , δηλαδή κυρίως την ποσότητα σκόνης που δεσμεύεται από το φίλτρο, οι παράμετροι μεταβάλλονται ώστε να γίνεται ομαλή συλλογή της σκόνης και να αποφευχθεί η φθορά των φίλτροπάνων λόγω υπέρ-κατακράτησης θερμής σκόνης στα φίλτροπανα.

*Οριακή τιμή θερμοκρασίας φθοράς φίλτροπάνων:* 200 °C για 20 λεπτά.

*Μέση θερμοκρασία φίλτρου:* 165 – 180 °C

Ανακεφαλαιώνοντας αξίζει να αναφερθεί ότι η αναρρόφηση φίλτρου είναι εξαιρετικής σημασίας για τον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας. Την χρησιμοποιούμε για την αναρρόφηση του υλικού από το φούρνο , μέσα από το φίλτρο τους κυκλώνες , το σύστημα ψύξης και τις σωληνώσεις αποκονίωσης. Η σημασία της και η μέθοδος ελέγχου θα γίνει

πλήρως κατανοητή στο επόμενο κεφάλαιο όπου μελετάται η διόγκωση του περλίτη και οι κρίσιμες παράμετροι ελέγχου της , σαν διαδικασία.

Η πολλαπλή χρησιμότητα της αναρρόφησης, κάνει δύσκολη την εύρεση της χρυσής τομής για το ποσοστό διάνοιξης των τάμπερ αλλά και τη συχνότητα του ανεμιστήρα φίλτρου.

### ***VIII. Ενσακιαστικές συσκευές - Δοιούμενο κόσκινο (προαιρετικό)***

Η ενσάκιση του τελικού προϊόντος γίνεται σε σακιά 100 λίτρων και 1 κυβικού μέτρου, ανάλογα με τον πελάτη. Στον χώρο ενσάκισης συνδέεται πολλαπλή σωλήνα αποκονίωσης με ροή στο φίλτρο.

Κάθε έξοδος προϊόντος συσκευάζεται μέσω ενσακιαστικής συσκευής με πνευματικό εξοπλισμό

### ***2.4 Εκκίνηση φούρνου- Προετοιμασία εργοστασίου.***

Το σύστημα διόγκωσης είναι μανδαλωμένο (μέσω PLC ή παλαιότερα μέσω αναλογικών ρελέ) για να προστατεύονται τα ανεξάρτητα τμήματα του εργοστασίου.

Οι διαδικασίες που πρέπει να γίνουν για την προετοιμασία της διόγκωσης είναι οι εξής:

1. Φόρτωση ακατέργαστου περλίτη στο σιλό τροφοδοσίας:  
Συχνότητα ανάλογη της χωρητικότητας του δοχείο πρώτης ύλης (σιλό)  
Ανά βάρδια 8 ωρών το σιλό γεμίζει 2 φορές για σιλό 8-10 τόνων ορυκτού περλίτη.
2. Ενεργοποίηση κύριου ηλεκτρολογικού πίνακα εργοστασίου  
(γενικός διακόπτης)
3. Ενεργοποίηση ταινίας τροφοδοσίας, αναβατορίου τροφοδοσίας, κοχλία τροφοδοσίας, ανεμιστήρα φίλτρου , βαλβίδας πρωτογενή κυκλώνα , βαλβίδας δευτερογενή κυκλώνα , Αεροσυμπιεστή και φίλτρου. Όλα τα μηχανήματα είναι μανδαλωμένα για λόγους προστασίας.  
Σε περίπτωση βλάβης ενός από τα μηχανήματα , απενεργοποιούνται όλα τα προηγουμένως ενεργοποιημένα, με βασική προτεραιότητα την απενεργοποίηση των κοχλιών τροφοδοσίας και του καυστήρα.
4. Ρύθμιση του ποσοστού διάνοιξης των ηλεκτρικών τάμπερ μικρού και μεγάλου κυκλώνα ρυθμίζοντας έτσι το ποσοστό αποκονίωσης του παραγόμενου υλικού και της ταχύτητας αναρρόφησης.
5. Μετάβαση στον ηλεκτρονικό πίνακα του καυστήρα φούρνου και ενεργοποίηση του blower καυστήρα. Στην συνέχεια τροφοδοτείται ο φούρνος διόγκωσης με

ατμοσφαιρικό αέρα για λόγους ασφαλείας (καθαρισμός κυκλώματος από αιωρούμενα αέρια καύσιμα και υλικά). Με τον τρόπο αυτό καθαρίζουμε το εσωτερικό μπεκ του καυστήρα και το καμίνι του φούρνου από εναπομείναντα αέρια καύσιμα, ή μη διογκωμένο υλικό.

6. Αφού ο φούρνος καθαριστεί, και ενώ όλες οι υπόλοιπες διαδικασίες είναι ενεργοποιημένες, επιλέγονται τα ποσοστά διάνοιξης των βαλβίδων αέρα και καυσίμου ρυθμίζοντας έτσι το μείγμα καύσης. Το ύψος και το χρώμα της φλόγας είναι τα κύρια χαρακτηριστικά ελέγχου στην διόγκωση.
7. Όταν η μίξη αέρα καυσίμου επιτευχθεί στο θάλαμο μείξης του καυστήρα, ενεργοποιείται το κύτταρο της φλόγας (σαρωτής φλόγας) και με την έναυση του σπινθηριστή στον σερβοπιλότο, ενεργοποιείται η φλόγα.

Αναλογία αέρα καυσίμου: κυμαινόμενη 5:1 έως 7:1 ανάλογα με την συμπεριφορά του καυσίμου, τις καιρικές συνθήκες και το επιθυμητό ύψος / πάχος φλόγας.

8. Τέλος αρχίζει να τροφοδοτείται με υλικό ο φούρνος, ξεκινώντας την διαδικασία της διόγκωσης.
9. Το εργοστάσιο πλέον λειτουργεί ενιαία και όσο η είσοδος τροφοδοτείται, το τελικό προϊόν παράγεται στην έξοδο. Σε περίπτωση αποτυχίας οποιουδήποτε μηχανήματος, το σύστημα είναι προγραμματισμένο και ιεραρχημένο να κλείνει όλες τις διαδικασίες που έχουν προτεραιότητα σε σχέση με αυτή που απέτυχε.

## **2.5 Ποιοτικός Έλεγχος κατά την παραγωγή:**

Για την διατήρηση της ποιότητας του διογκωμένου περλίτη, το εργοστάσιο διαθέτει εργαστήριο με τον βασικό εξοπλισμό ποιοτικού ελέγχου. Για την πιστοποίηση του υλικού και τον έλεγχο ειδικών χαρακτηριστικών απαιτείται ειδικό εργαστήριο.

### Βασικός εξοπλισμός εργοστασίου ποιοτικού ελέγχου:

- Ογκομετρικοί σωλήνες
- Ψηφιακοί ζυγοί κλίμακας 1-10Kg, 1-100kg και έως 1000kg για την πρώτη ύλη.
- Ειδικό πειραματικό δονούμενο κόσκινο για έλεγχο διαστάσεων σύμφωνα με τις προδιαγραφές **ASTM C136 06** [26]

### **Ογκομετρική ανάλυση:**

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια της παραγωγής, γίνεται προσεκτική δειγματοληψία από σακούλες περλίτη 100 λίτρων και γίνεται ακριβής ογκομετρική ανάλυση (με σωλήνα 1 λίτρου συνήθως), για καταγραφή και διατήρηση της πυκνότητας σε φυσιολογικά επίπεδα. Η ακριβής μέτρηση της πυκνότητας του υλικού, είναι η βασική ένδειξη που δείχνει αν το υλικό βρίσκεται εντός προδιαγραφών κυρίως για τα προϊόντα περλίτη που προορίζονται για εφαρμογές υψηλής θερμομονωτικής ιδιότητας. (Κρυογενικός

και οικοδομικός περλίτης). Σε αυτά η πυκνότητα πρέπει να είναι απόλυτα ακριβής και χωρίς διακυμάνσεις. Υπενθυμίζεται, ότι η ειδική θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται αποκλειστικά από την πυκνότητα περλίτη και την θερμοκρασία εφαρμογής.

#### **Ανάλυση κοσκίνισης:**

Κατά την παραγωγή, γίνεται σε ωριαία βάση ανάλυση κοσκίνισης του τελικού προϊόντος. Είναι σημαντικό να γίνεται σωστή δειγματοληψία του υλικού από διαφορετικά σημεία, γιατί αλλιώς το δείγμα δεν είναι αντιπροσωπευτικό.

Κατά την πτώση του υλικού, το υλικό κατακάθεται με βάση το βάρος του, φαινόμενο που εμφανίζεται και στην πρώτη ύλη, προκαλώντας διακυμάνσεις στο μέγεθος του υλικού αλλά και στην δειγματοληψία. (segregation effect – φαινόμενο διαχωρισμού)

#### Μεγέθη κόσκινων: ASTM C136 06

2.36mm

1.18mm

600 μ

300 μ

150 μ

75 μ

#### Άλλες μετρήσεις και αναλύσεις που απαιτούν ειδικά εργαστήρια:

- Μέτρηση ειδικής θερμικής αγωγιμότητας.
- Ανάλυση κοσκίνισης υπέρλεπτων κοκκομετριών μικρότερων των 100microns.
- Ανάλυση απορροφητικότητας. (Υδρόφιλα και υδροφοβικά χαρακτηριστικά)
- Ανάλυση χημικής σύστασης περλίτη.
- Μέτρηση αντοχής σύνθλιψης ελαβροβαρούς κονιάματος **ASTM C330/C330M**.
- Μέτρηση διαπερατότητας νερού.
- Δείκτης αξιολόγησης αντοχής σε πυρκαγιά. (fire Rating)



*Πειραματικό Δονούμενο κόσκινο - [27]*

Η πιστοποίηση των προδιαγραφών για τις παραπάνω ιδιότητες του περλίτη ως μονωτικό υλικό, είναι καθοριστικής σημασίας για την προώθηση του περλίτη σαν προϊόν στο εμπόριο, καθώς υπάρχουν πολλά ανταγωνιστικά προϊόντα με στόχο την θερμομόνωση, όπως ο πετροβάμβακας, το μπετόν αφρού κ.α. .

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ**

### **Επέμβαση στη Διόγκωση**

#### **Κρίσιμες Παράμετροι Παραγωγικής Διαδικασίας**

#### **Ανάλυση Διαδικασιών**

#### **Προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την Διόγκωση**

## Γ. ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΠΕΡΛΙΤΗ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

### 1.1 Γενικά για την διόγκωση:

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί η διαδικασία διόγκωσης ορυκτού περλίτη σε κάθετο φούρνο διόγκωσης με σκοπό την διαβάθμιση και παραγωγή των βασικών προϊόντων περλίτη. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η διόγκωση αποτελεί μία ήμι-αυτοματοποιημένη εμπειρική διαδικασία, κατά την οποία παρατηρούμε και καταγράφουμε τις πιο κρίσιμες παραμέτρους. Η συμπεριφορά του φούρνου διόγκωσης επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους, κάποιους από τους οποίους είναι ο καιρός (θερμοκρασία, υγρασία ..), το είδος πρώτης ύλης και το είδος καύσιμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγική διαδικασία. Αυτές οι παράμετροι καθορίζουν το πως θα ξεκινήσει η παραγωγή, ρυθμίζοντας την αρχική τροφοδοσία υλικού και καυσίμου καθώς και την ταχύτητα αναρρόφησης. Όλες οι κρίσιμες παράμετροι θα αναλυθούν εκτενώς παρακάτω.



Η συμβατική διόγκωση περλίτη παρουσιάζει ορισμένες ελλείψεις ως προς την ακρίβεια στον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να τηρούνται οι τεχνικές προδιαγραφές για υψηλής ποιότητας μονωτικά υλικά, όπως το ελαφροβαρές κονίαμα, οι θερμοσοβάδες αλλά και σε εφαρμογές χαλαρής πλήρωσης κρυογονικής. Τα σύγχρονα συστήματα διόγκωσης, έχουν σχεδιαστεί για να ξεπερνούν αυτές τις δυσκολίες με συνεχή μοντελοποίηση και καταγραφή των διαδικασιών. Με την συνεχή δοκιμή διαφορετικών υλικών σε μέγεθος και προέλευση, έχουν εντοπιστεί οι πιο σημαντικές ελεγχόμενες παράμετροι με σκοπό τον εντοπισμό των ιδανικών πειραματικών συνθηκών για την βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας. Με την τεχνική RSM (Response Surface Methodology), γίνεται δυνατή η μοντελοποίηση της διαδικασίας και ο εντοπισμός των ιδανικών συνθηκών. Με στατιστικές τεχνικές και συνεχή καταγραφή, η μοντελοποίηση έχει προχωρήσει αρκετά. Παρόλα αυτά η διόγκωση αποτελεί μία εμπειρική διαδικασία, με ξαφνικά γεγονότα που απαιτεί τον ανθρώπινο παράγοντα. Με την στατιστική μοντελοποίηση περιορίζονται οι παράμετροι που πρέπει να ελέγχονται, αυτοματοποιώντας την διαδικασία περαιτέρω.



## **1.2 Κρίσιμες παράμετροι παραγωγικής διαδικασίας.**

**Η παραγωγή ξεκινάει πάντα γνωρίζοντας το είδος και μέγεθος της πρώτης ύλης που θα διογκωθεί. Η παραγωγή ξεκινάει με την ρύθμιση το σύστημα για την συγκεκριμένη πρώτη ύλη. Σε αυτό το σημείο έχουμε δοκιμάσει όλους τους τύπους υλικών και έχουμε δεδομένα , τα οποία χρησιμοποιούμε κάθε φορά που διογκώνουμε το συγκεκριμένο υλικό.**

**Αναφορικά, πριν την έναυση του φούρνου ρυθμίζουμε:**

- Την διαδρομή του υλικού προς τις ενσασιαστικές συσκευές.  
Με συμπαραγωγή ή παραγωγή από μία έξοδο , ή ανάμειξη διαφορετικών μεγεθών από διαφορετικές εξόδους. Το εργοστάσιο έχει και την δυνατότητα παραγωγής 2 ή περισσότερων υλικών ταυτόχρονα και την επιλογή να γίνεται κοσκίνισμα του τελικού προϊόντος.
- Τα ποσοστά διάνοιξης των τάμπερ κυκλώνων για έλεγχο αποκονίωσης.
- Τη συχνότητα και τη διάρκεια παλμών φίλτρου.

## **1.3 Πρώτη ύλη: Ορυκτός περλίτης – Χαρακτηριστικά και σημαντικά στοιχεία: [28]**

Η ποιότητα του διογκωμένου περλίτη εξαρτάται από ποικίλες παραμέτρους που διαχωρίζονται σε 2 κατηγορίες:

- α) τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης
- β) την ποιότητα της επεξεργασίας μέσω του φούρνου διόγκωσης.

Η συμπεριφορά της πρώτης ύλης κατά την διόγκωση εξαρτάται από:

- Την χημική σύσταση του υλικού: Ο περλίτης μπορεί να παρουσιάζει κυμαινόμενη περιεκτικότητα σε Πυρίτιο (30-35%) , σίδηρο , αλουμίνιο και άλλα οργανικά στοιχεία και μέταλλα. Η περιεκτικότητα σε κάθε στοιχείο επηρεάζει την διαδικασία της διόγκωσης. Για παράδειγμα αν ο περλίτης έχει υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο , επηρεάζεται το χρώμα και η φαινομένη πυκνότητα του περλίτη όταν αυτός διογκωθεί. Όπως συμβαίνει με κάθε επεξεργάσιμο ορυκτό , η ποιότητα της σύστασης του ποικίλει ανάλογα με την χώρα προέλευσης. (έδαφος , βάθος εξόρυξης ...)

- Την περιεκτικότητα σε μη διογκώσιμα συστατικά: Τα σωματίδια περλίτη που δεν διογκώνονται καλούνται άστριοι (**feldspars**) και προκαλούν υαλώσεις , λόγω κατακάθισης στον πάτο του καυστήρα (αδυναμία αναρρόφησης μαύρων σωματιδίων λόγω υψηλού βάρους). Επίσης παρατηρείται αύξηση της πυκνότητας διογκωμένου προϊόντος εάν αναρροφηθούν , που σημαίνει αύξηση της μάζας ανά όγκο, λόγω μεγάλης περιεκτικότητας σε μη διογκώσιμα στοιχεία. Ειδικά για εφαρμογές όπου απαιτείται αρκετά χαμηλή πυκνότητα αυτό αποτελεί σύνηθες πρόβλημα.

### **Feldspars**:

Τα feldspars είναι μαύρα σωματίδια που παρατηρούνται στο τελικό προϊόν. Ανήκουν στην ομάδα των αργιλοπυριτικών υλικών και χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανικές εφαρμογές. Είναι σύνηθες να περιέχονται μικρές ποσότητες στην πρώτη ύλη. Η περιεκτικότητα του ορυκτού περλίτη σε feldspars σχετίζεται με την καθαρότητα και την σκληρότητα της πρώτης ύλης. Είναι άξιο αναφοράς το γεγονός ότι μεγάλη περιεκτικότητα αυτών παρατηρείται σε ορυκτό περλίτη Ελληνικής προέλευσης. Ο Ελληνικός περλίτης είναι εξαιρετικής ποιότητας και από πλευράς καθαρότητας και σκληρότητας και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ευρέως σε οικοδομικές εφαρμογές , όπου υλικά άλλης προέλευσης δεν τηρούν τις προδιαγραφές.

Τα feldspars αποτελούν πρόβλημα αύξησης τελικής πυκνότητας προϊόντος κυρίως σε εφαρμογές όπου απαιτείται πυκνότητα μικρότερη των 50kg/m<sup>3</sup>. Μεγάλος αριθμός



*Περιεκτικότητα feldspars στο τελικό προϊόν [29]*

εταιριών στον στην Πετροχημική βιομηχανία , προτιμούν συγκεκριμένου ορυχείου Ελληνικό περλίτη για μονωτικές εφαρμογές. Μοναδικό μειονέκτημα του

συγκεκριμένου υλικού είναι η περιεκτικότητα σε Feldspar. Σε υψηλής μονωτικής ιδιότητας εφαρμογές, η περιεκτικότητα σε άλλα στοιχεία αυξάνει τη θερμική αγωγιμότητα. Παρόλα αυτά, η αυξημένη σκληρότητα του Ελληνικού περλίτη, μειώνει το ποσοστό συμπίεσης λόγω καθίζησης στο θάλαμο μονώσεως. Αντίθετα, υλικά διαφορετικής προέλευσης (Τουρκία, Κίνα, Ουγγαρία) έχουν μεγάλα ποσοστά απώλειας όγκου λόγω συμπίεσης από μεταφορά ή συμπίεση στον θάλαμο μονώσεως. Η ιδιότητα αυτή μειώνει την κατανάλωση του υλικού προς μόνωση, ενώ μειώνει την συχνότητα επαναπλήρωσης υλικού όταν προκαλείται καθίζηση.

Ποσοστό συμπίεσης Ελληνικού περλίτη: 12 %

Μέσο ποσοστό συμπίεσης Τουρκικού περλίτη: > 20%

Οι άστριοι (feldspar) διακρίνονται σε 2 υπό-ομάδες. Τους αλκαλιούχους αστρίους και τα πλαγιόκλαστα. Για τον περλίτη τα σημαντικότερα είδη αστρίων είναι ο Αλβίτης, ο Ανορθίτης και τα ορθόκλαστα. [30]

- Την περιεκτικότητα της πρώτης ύλης σε κρυσταλλικό νερό:  
Η σύσταση του και η κρυσταλλική δομή του, δίνει στον περλίτη την ιδιότητα να δεσμεύει νερό που δεν μπορεί να απελευθερωθεί με την μορφή ατμού, παρά μόνο όταν εκτεθεί απότομα σε θερμοκρασία 750-900 οC. Την στιγμή που ο περλίτης εκτίθεται σε αυτή την θερμοκρασία, η εσωτερική του υγρασία απελευθερώνεται εκρηκτικά (pop corn effect). Αν ο περλίτης έχει αρκετή εξωτερική υγρασία, που οφείλεται σε έλλειψη ξήρανσης ή έκθεση σε υγρό περιβάλλον κατά την αποθήκευση, παρουσιάζεται κίνδυνος υάλωσης και πτώση της κλίμακας διογκωσιμότητας. Με απλά λόγια, το υλικό δεν διογκώνεται πλήρως.  
Αξίζει να αναφερθεί ότι το κρυσταλλικό νερό από την εξωτερική υγρασία του υλικού, είναι 2 απολύτως ανεξάρτητα χαρακτηριστικά.
- Θραύση υλικού:  
Η επεξεργασία του περλίτη πριν διαβαθμιστεί είναι καθοριστική για την διόγκωση. Επιτρέπει την διαβάθμιση του υλικού, στο μέγεθος που θέλουμε καθώς επίσης μας δίνει την δυνατότητα να κάνουμε μίξεις κοκκομετριών. Εξαιρετικά σημαντικό είναι το γεγονός ότι η θραύση και διαβάθμιση του ορυκτού περλίτη με ανεξάρτητο, σπαστηριοτριβείο, επιτρέπει την πειραματική διόγκωση πολλών τύπων υλικών και μεγεθών, με ποικίλους τρόπους.

Για τη θραύση του ορυκτού περλίτη απαιτούνται διάφορα στάδια επεξεργασίας:

- Σιαγονωτός σπαστήρας (Jaw Crusher) για θραύση πέτρας σε μεγάλα κομμάτια, έως 12cm.
- Κυλινδρικοί σπαστήρες ή κυλινδρόμυλοι για θραύση στα ζητούμενα μεγέθη.
- Στη συνέχεια το υλικό περνάει σε κυλινδρικό στρεφόμενο ξηραντήριο με ροή αέρα αναρρόφησης για ξήρανση και εξάλειψη σκόνης.
- Τέλος το υλικό διαβαθμίζεται σε δονούμενα κόσκινα ανάλογα με τα επιλεγμένα

πλέγματα.

Το υλικό ξηραίνεται σε χαμηλή θερμοκρασία έως 200οC , διευκολύνοντας εξαιρετικά την διαβάθμιση της πρώτης ύλης.

- Ξήρανση πρώτης ύλης:  
Περνώντας το υλικό από στάδιο προθέρμανσης (100 - 200 οC) μετά την θραύση του ευνοεί την διόγκωση με 2 τρόπους:  
α) μειώνει την περιεκτικότητα υγρασία και  
β) μειώνει το ποσοστό υπέρλεπτων κοκκομετριών αφού κατά την ξήρανση το υλικό περνάει από πρωτογενή κυκλωισμό και αποκονίωση. Έτσι στον φούρνο καταλήγει ομογενές διαβαθμισμένο υλικό.

Όλες οι παράμετροι επηρεάζουν κάθε σύστημα του εργοστασίου και κάνει όλα τα τμήματα αλληλένδετα μεταξύ τους.

Ως προς την πυκνότητα το τελικό προϊόν πρέπει να έχει τις παρακάτω τιμές:

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ ΠΕΡΛΙΤΗΣ:	70-80 kg / m <sup>3</sup>
ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ ΠΕΡΛΙΤΗΣ:	90-110 kg / m <sup>3</sup>
ΚΡΥΟΓΕΝΙΚΟΣ ΠΕΡΛΙΤΗΣ:	50-70 kg / m <sup>3</sup>



Παράδειγμα Συστήματος θραύσης & Διαβάθμισης ορυκτού περλίτη [31]

## Έλεγχος ποιότητας τελικού προϊόντος

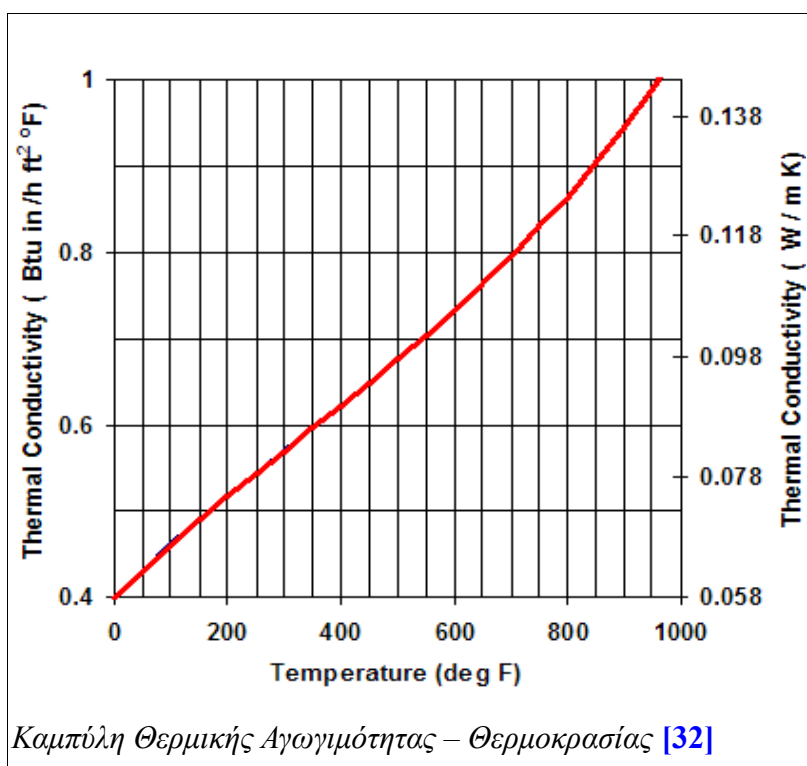
Η ποιότητα του τελικού προϊόντος καθορίζεται από τους εξής παράγοντες:

- Πυκνότητα υλικού ( $\text{kg} / \text{m}^3$ ). Αποτελεί την κυριότερη παράμετρο στην διόγκωση. Σχετίζεται άμεσα με την κλίμακα διογκωσιμότητας και εφόσον είναι εφικτή η αύξηση της , καθορίζει την ποιότητα του περλομπετού σε οικοδομικές εφαρμογές. Η θερμική αγωγιμότητα , η οποία είναι το βασικό μέγεθος της μονωτικής ικανότητας του περλίτη , είναι αποκλειστικά σχετιζόμενη με την πυκνότητα για συγκεκριμένες θερμοκρασίες, όπως φαίνεται και στην παρακάτω καμπύλη [32] , θερμικής αγωγιμότητας – πυκνότητας.

Για αγροτικές δραστηριότητες , η πυκνότητα επηρεάζει άλλες σημαντικές ιδιότητες του περλίτη και κυρίως την υδαταπορροφητικότητα του. Η πυκνότητα του περλίτη δεν είναι τόσο σημαντική στον αγροτικό τομέα επειδή ο περλίτης χρησιμοποιείται για την πορώδη δομή του και όχι για τη μονωτική του ιδιότητα.

Σε περίπτωση που γίνει απόπειρα αύξησης την διογκωσιμότητα (π.χ. με αύξηση της θερμοκρασίας στον φούρνο) κινδυνεύουμε να κάνουμε το προϊόν εύθραυστο. Με άλλα λόγια, η προσπάθεια επίτευξης της ελάχιστης πυκνότητας ενός υλικού , το εξασθενεί ιδιαίτερα. Η εξασθένιση του περλίτη προκαλεί προβλήματα στις εφαρμογές και είναι κυρίως η απώλεια όγκου των κονιαμάτων και η εύκολη συμπύκνωση του σε εφαρμογές χαλαρής πλήρωσης.

- Αντοχή περλίτη σε θλίψη: Θέλουμε ο περλίτης να έχει την σωστή αντοχή σε θλίψη ώστε όταν αναμιχθεί με άμμο και τσιμέντο να δώσει τις ζητούμενες προδιαγραφές αντοχής κονιάματος. (μετρούμενη σε  $\text{Mpa}$  - lightweight concrete compressive strength). Στο τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής - Τεχνοοικονομική Ανάλυση προϊόντων περλίτη – θα γίνει κατανοητή η μέθοδος δημιουργίας νέων προϊόντων και μειγμάτων τόσο για κονιάματα όσο και για άλλα είδη προϊόντων. Αναφορικά, στον τομέα της κατασκευής , σχεδιάζονται συγκεκριμένα μείγματα με διαφορετική ποσότητα περλίτη στο καθένα με στόχο της αυξομείωση της θερμικής αγωγιμότητας και της Αντοχής σε θλίψη του κονιάματος. Τα 2 αυτά μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα.
- Η μονωτική ικανότητα του περλίτη (θερμομόνωση και ηχομόνωση ) εξαρτάται από την ομογένεια του υλικού και κατ' επέκταση την πυκνότητα του. Μετράται σε  $\text{W/m}^*\text{K}$  και πρόκειται για την θερμική αγωγιμότητα, η οποία συνδέεται αλληλένδετα με την πυκνότητα του υλικού σε σχέση με την θερμοκρασία εφαρμογής. Σε κάθε δραστηριότητα , μέγιστη σημασία έχουν οι προδιαγραφές. Με βάση αυτές επιλέγεται το μέγεθος και η προέλευση της πρώτης ύλης αλλά και ο στόχος ως προς την πυκνότητα και το μέγεθος του τελικού προϊόντος.



#### 1.4 Επέμβαση στην παραγωγή και κρίσιμες παράμετροι διόγκωσης.

Αναφορικά παραθέτονται οι βασικές ενδείξεις που λειτουργούν σαν γνώμονας για το επόμενο βήμα - επέμβαση στη διόγκωση - με σκοπό την μεταβολή ή τη διατήρηση της παραγωγής σε επιθυμητά επίπεδα.

Οι ενδείξεις αυτές παρουσιάζονται παρακάτω:

##### Στάδιο προθέρμανσης – προετοιμασία φούρνου για τροφοδοσία υλικού:

Μέσω PLC, ο φούρνος ρυθμίζεται σε τρία στάδια, αυτοματοποιώντας την ομαλή προθέρμανση, την θέρμανση μέχρι τη στιγμή που ο φούρνος τροφοδοτείται και μετά την τροφοδοσία. Μετά τα 3 στάδια, ο χειριστής του διογκωτηρίου ρυθμίζει την παραγωγή χειροκίνητα μέχρι να φτάσει το μέγιστο ρυθμό παραγωγής.

	Στάδιο Προθέρμανσης	Χρόνος (min)
A	Χαμηλή ποσότητα καυσίμου. Θερμοκρασία καπναερίων έως 300°C	10
B	Μεσαία ποσότητα καυσίμου Θερμοκρασία καπναερίων κοντά στην θερμοκρασία διόγκωσης (κυμαινόμενη 800 – 950 °C)	15
Γ	Έναρξη τροφοδοσίας υλικού στο φούρνο	

Κρίσιμες ενδείξεις κατά την διόγκωση:

- **Θερμοκρασία καπναερίων**
- **Θερμοκρασία κώνου (κατώτερο σημείο φούρνου)**
- **Ποσοστό διάνοιξης ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων αέρα καυσίμου στον καυστήρα**
- **Ποσοστό διάνοιξης κεντρικής βαλβίδας φίλτρου. (ηλεκτρονικό τάμπερ)**
- **Ρυθμός τροφοδοσίας πρώτης ύλης**
- **Θερμοκρασία φίλτρου**
- **Αρνητική πίεση ή ταχύτητα αναρρόφησης καπναερίων**

Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή στον αναγνώστη , η μέθοδος επέμβασης στην παραγωγική διαδικασία καθώς και η βήμα προς βήμα σειρά ενεργειών που εκτελούνται.

**Βασικός στόχος είναι η διόγκωση του υλικού στην ζητούμενη πυκνότητα , με μέγιστο δυνατό ρυθμό παραγωγής , έχοντας ταυτόχρονα ελαχιστοποιήσει το κόστος παραγωγής και εξασφαλίζοντας την ποιότητα του τελικού προϊόντος ως προς το μέγεθος και την πυκνότητα.**

**Παρακάτω αναφέρονται οι πιο σημαντικές ενέργειες:**

1. **Αύξηση ή μείωση χρόνου παραμονής υλικού στο φούρνο:**  
Επιηρεάζεται με αλλαγή της ταχύτητας αναρρόφησης.
2. **Εξύψωση φλόγας μέσω ρύθμισης βαλβίδας αέρα καυστήρα.**  
Επιτυγχάνεται με αυξομείωση της αναλογίας αέρα – καυσίμου.
3. **Αύξηση ή μείωση καυσίμου ανά μονάδα προϊόντος.**  
Επιτυγχάνεται είτε με μείωση του καυσίμου , είτε με αύξηση της τροφοδοσίας , καθώς πρόκειται για ρυθμό και όχι απλή ποσότητα καυσίμου.
4. **Αύξηση ή μείωση ρυθμού τροφοδοσίας**  
Σαν αποτέλεσμα έχουμε: (βασικοί στόχοι)
  - την αλλαγή της πυκνότητας του υλικού κατά βούληση.
  - την αύξηση του ρυθμού παραγωγής.
  - τη μείωση των καταναλώσεων.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ:

**Γενικά:** Για να δοθεί εικόνα των μεθόδων επέμβασης στην διόγκωσης , βασική παραδοχή είναι , ότι κατά την επέμβαση σε μία παράμετρο , οι υπόλοιπες θεωρούνται σταθερές.

- Στην διόγκωση , είναι λάθος να μεταβάλλονται ταυτόχρονα πολλαπλές παράμετροι. Για παράδειγμα, εάν αυξηθεί η ποσότητα καυσίμου και ταυτόχρονα η ταχύτητα αναρρόφησης είναι δύσκολη η παρακολούθηση του αντίκτυπου της αλλαγής των

πολλαπλών παραμέτρων , ενώ ταυτόχρονα το υλικό είναι πιθανό να υπερθερμανθεί. Η υπερθέρμανση του υλικού μπορεί να προκαλέσει εκτός από θραύση του υλικού (perlite explosion) , υάλωση του υλικού στο φούρνο, φαινόμενο που εξηγείται παρακάτω.

### **Αυξομείωση βάρους υλικού:**

Η αλλαγή των καιρικών συνθηκών , η ανομοιογένεια της πρώτης ύλης καθώς και απρόσμενα γεγονότα , μπορούν να προκαλέσουν αύξηση του βάρους τελικού προϊόντος.

Είναι πιθανό να υπάρξει και μείωση του βάρους , που είναι ανεπιθύμητη όταν φθείρεται το υλικό ,αλλά κατά κανόνα το αυξημένο βάρος είναι ανεπιθύμητο γιατί αυξάνει το κόστος και μειώνει την ποιότητα του υλικού. Από εμπορικής πλευράς , πολλές φορές ζητάται υλικό υψηλού βάρους , γεγονός που οφείλεται στην ιδιαιτερότητα της εφαρμογής.

Από θέμα κόστους παραγωγής, η πυκνότητα προτιμάται χαμηλή γιατί μειώνει την κατανάλωση πρώτης ύλης. Χαμηλή πυκνότητα προφανώς σημαίνει μεγαλύτερος όγκος για την ίδια μάζα υλικού.

Συνοψίζοντας, όταν το βάρος του υλικού αυξηθεί σε ανεπιθύμητα επίπεδα , είναι δυνατόν να μειωθεί με τις παρακάτω ενέργειες:

- αυξάνοντας το καύσιμο.
- μειώνοντας την ταχύτητα αναρροφήσεως
- ή με συνδυασμό των 2 παραπάνω ενεργειών.

Οι 2 αυτές ενέργειες βοηθούν επίσης στην μείωση της κατανάλωσης ανά μονάδα προϊόντος.

### ***1.5 Μεθοδολογία επέμβασης στην διόγκωση:***

Αρχικά γίνεται η υπόθεση ότι το εργοστάσιο λειτουργεί κανονικά και με σταθερή παροχή υλικού **750-1500 kg** ανά ώρα , ανάλογα με τον τύπο υλικού.

Επίσης η αναλογία καυσίμου:αέρα θεωρείται σταθερή, με την παραδοχή δηλαδή ομαλής καύσης.

Με τις 2 παραπάνω παραμέτρους σταθερές είναι δυνατή η επέμβαση στα παρακάτω μεγέθη:

- ♣ Αναρρόφηση ανεμιστήρα φίλτρου.
- ♣ Ποσοστό διάνοιξης τάμπερ μικρού και μεγάλου κυκλώνα .
- ♣ Ποσοστό αποκονίωσης υλικού από κυκλωνικές διατάξεις και φίλτρο. Γίνεται επέμβαση και στην ταχύτητα αναρρόφησης , στο ποσοστό διάνοιξης των τάμπερ, άρα στο ποσοστό αποκονίωσης (ξεσκονίσματος). Το ξεσκόνισμα του υλικού εξαρτάται από τον πελάτη και την ποιότητα που επιθυμεί. Αυξάνοντας το ανεβαίνει το κόστος παραγωγής αλλά ταυτόχρονα αυξάνεται και η περιεκτικότητα σε ομογενή και πλήρως διογκωμένο περλίτη.



Η επέμβαση στις παραπάνω παραμέτρους επηρεάζει άμεσα έναν ακόμα πολύ σημαντικό παράγοντα , την ποσότητα παραγωγής διογκωμένου υλικού. Ο καυστήρας πρέπει να παράγει συγκεκριμένο αριθμό κυβικών μέτρων ανά ώρα που εξαρτάται από την κατανάλωση καυσίμου σε συνάρτηση με την ταχύτητα αναρρόφησης αλλά και τις δυνατότητες ενσάκιασης.

Η εύρεση της χρυσής τομής που μεγιστοποιεί το ρυθμό παραγωγής , ελαχιστοποιεί το απαιτούμενο καύσιμο και τηρεί τις ζητούμενες προδιαγραφές κάθε τύπου περλίτη , είναι διαφορετική για κάθε υλικό και αποτελεί τον βασικό στόχο στην παραγωγική διαδικασία.

### **1.6 Προβλήματα που εμφανίζονται κατά την διόγκωση – Μέθοδος Επέμβασης:**

Παρακάτω παρουσιάζονται πιθανά προβλήματα στην έξοδο του συστήματος διόγκωσης. Παρακάτω επεξηγείται ο τρόπος επέμβασης στον φούρνο , χρησιμοποιώντας προβλήματα που μπορούν να εμφανιστούν:

**Πρόβλημα 1:** υψηλό βάρος υλικού ανά όγκο.

Λόγοι εμφάνισης προβλήματος:

Μικρός χρόνος παραμονής υλικού στον φούρνο που μπορεί οφείλεται σε:

- α) μεγάλη ταχύτητα αναρρόφησης από ανεμιστήρα
- β) μεγάλο ποσοστό διάνοιξης τάμπερ
- γ) μεγάλη περιεκτικότητα σε μη διογκώσιμα στοιχεία (λόγω υπερβολικής υγρασίας ή χαμηλής ποιότητας υλικού)

Τρόπος επίλυσης:

I) Έλεγχος αναρρόφησης και τάμπερ. Ταυτόχρονα έλεγχος ισχύος λειτουργίας του καυστήρα (αύξηση θερμοκρασίας διόγκωσης) και ρυθμού τροφοδοσίας.

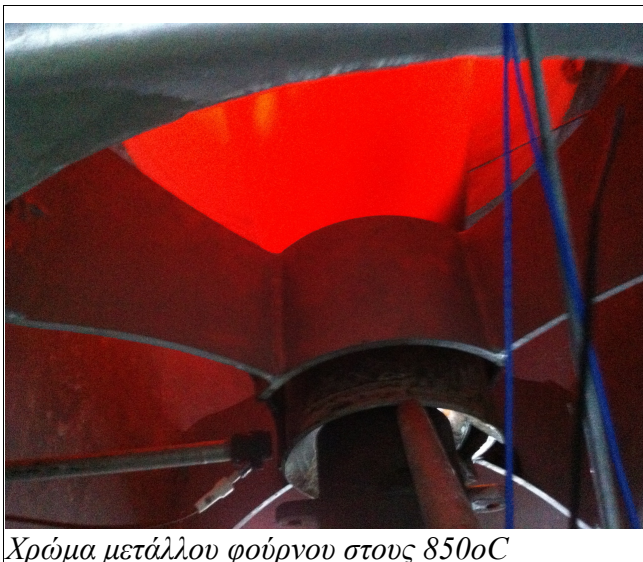
Πρώτο βήμα πριν την απόπειρα μείωσης του βάρους είναι ο έλεγχος της απόρριψης υλικού στο μπεκ του καυστήρα. Εάν ο χειριστής κρίνει ότι είναι δυνατή η μείωση της ταχύτητας αναρρόφησης , αυτή πρέπει να είναι η πρώτη κίνηση που εκτελείται.

Εναλλακτικά με σταθερή την αναρρόφηση , αυξάνεται η ποσότητα καυσίμου. Έτσι με τον ίδιο χρόνο παραμονής στον φούρνο στο υλικό προσδίδεται μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας με σκοπό την διόγκωση.

II) Αυξομείωση της τροφοδοσίας:

Σε περίπτωση που παρατηρείται μεγάλη ποσότητα απόρριψης υλικού με ταυτόχρονη παραγωγή υλικού υψηλού βάρους , επιλέγεται μείωση της τροφοδοσίας. Επομένως, προσδίδεται η ίδια ποσότητα ενέργειας για μικρότερη ποσότητα υλικού. Σαν αποτέλεσμα , παρατηρείται η αύξηση της θερμοκρασίας του φούρνου και αναμένεται μείωση του βάρους του διογκωμένου προϊόντος.

Μερικές φορές το σύστημα απαιτεί και αύξηση της τροφοδοσίας με σκοπό την μείωση του βάρους. Αυτό συμβαίνει όταν το υλικό καίγεται. Αν ο διογκωμένος περλίτης διογκωθεί και εκτεθεί για μεγάλο διάστημα σε θερμοκρασία άνω των 850οC , λιώνει και η πυκνότητα του αυξάνεται εκθετικά. Στην περίπτωση αυτή , η αύξηση της τροφοδοσίας προσφέρει και αύξηση του ρυθμού παραγωγής.



### III) Αυξομείωση καυσίμου:

Συνήθως επιλέγεται αύξηση της ποσότητας καυσίμου όταν επιθυμείται η αύξηση της τροφοδοσίας. Η αύξηση καυσίμου και τροφοδοσίας είναι από τις λίγες κινήσεις που συνήθως γίνονται ταυτόχρονα.

Μείωση καυσίμου επιλέγεται όταν γίνει αντιληπτό ότι το υλικό καίγεται ή όταν γίνεται δοκιμή μείωσης του κόστους παραγωγής. Σε γενικά πλαίσια , μετά τις δοκιμές , υπάρχει σαφής εικόνα των οριακών τιμών της ωριαίας παραγωγής διογκωμένου περλίτη και της ωριαίας κατανάλωσης καυσίμου για κάθε υλικό.

**Πρόβλημα 2:** Ο διογκωμένος περλίτης είναι εύθραυστος.

#### Λόγοι εμφάνισης προβλήματος:

- α) μεγάλος χρόνος παραμονής στον καυστήρα που φθείρει το υλικό.
- β) όπως πάντα η ποιότητα της πρώτης ύλης και συγκεκριμένα το ποσοστό υγρασίας και η χημική σύσταση επηρεάζει κάθε παράγοντα ποιότητας.

Τρόπος επίλυσης: Επέμβαση στα ίδια μεγέθη με αυτά του προβλήματος 1. Μειώνω την τροφοδοσία ή / και την κατανάλωση καθώς και τις αναρροφήσεις.

### **Πρόβλημα 3:** Υάλωση φούρνου. (Perlite Fusion)

Η **υάλωση** του καυστήρα προκαλείται κυρίως όταν συσσωρευθεί μεγάλη ποσότητα λιωμένου υλικού στον φούρνο. Η υπερθέρμανση στον θάλαμο καύσης, προκαλεί τήξη των σωματιδίων περλίτη. Εν συνεχεία δημιουργούνται συσσωματώματα που γίνονται όλο και μεγαλύτερα, μερικές φορές κινδυνεύοντας να γεμίσουν όλο εσωτερικό κύκλωμα του φούρνου. Όταν συμβαίνει αυτό ο περλίτης υαλώνει και συσσωρεύει θερμοκρασία άνω των 1100oC που είναι και οριακή τιμή για την αντοχή του μετάλλου. Σε σύγχρονα συστήματα οι ασφαλιστικές διατάξεις ενημερώνουν σχεδόν σε κάθε περίπτωση εγκαίρως, ενώ παλαιότερα η καταστροφή του πυρίμαχου φούρνου ήταν συχνό φαινόμενο κατά την διόγκωση.

Αν δεν διακοπεί η μανδάλωση των διαδικασιών σύντομα, υπάρχει κίνδυνος υάλωσης όλου του εσωτερικού του φούρνου που προκαλεί τεράστιες διαστολές στα πυρίμαχα και μη μέταλλα. Για αποφυγή τέτοιων φαινομένων, και για να περιορίσουμε την υάλωση σε μικρό τμήμα του καυστήρα, το εργοστάσιο διαθέτει μανδαλωμένα θερμοστοιχεία που διακόπτουν την διαδικασία σε συγκεκριμένη οριακή θερμοκρασία. Η έγκαιρη πρόγνωση της υάλωσης είναι και αυτή μία εμπειρική διαδικασία.

### **Πρόβλημα 4:** Συσσώρευση υλικού σε διάφορα σημεία του εργοστασίου:

Εμφανίζεται κυρίως στην κύρια καπνοδόχο (σωλήνα καπναερίων) και προκαλεί μεγάλη τοπική αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία μεταδίδεται ακαριαία σε κάθε σημείο του συστήματος, με κύριες και χειρίστες συνέπειες, την υπερθέρμανση των μηχανημάτων σε κάθε σημείο. Αλλά ακόμα και την κάμψη μεγάλων σωληνώσεων. (Μέγιστος κίνδυνος: κάμψη σωληνώσεως γέφυρας.)

### **ΕΠΙΛΥΣΗ:**

Για την επίλυση των προβλημάτων υπερθέρμανσης:

- ▲ Τοποθετούνται ειδικά θερμοστοιχεία σε όλα τα τμήματα υψηλού κινδύνου, ενώ το σύστημα ρυθμίζεται ώστε να διακόπτεται για συγκεκριμένες οριακές τιμές (προγραμματισμός PLC)
- ▲ Επέμβαση στην κλίση των σωληνώσεων ώστε να μη “χτυπάει” ο περλίτης σε σημεία όπως η καμπύλη (Γ) της γέφυρας.
- ▲ Προσθέτονται πυρίμαχες λαμαρίνες σε όλα τα σημεία όπου παρουσιάζονται υπέρθερμες κρούσεις υλικού και μετάλλων.
- ▲ Χρησιμοποιούνται συστολικές συνδέσεις στις κύριες σωληνώσεις που παρουσιάζουν προβλήματα εφελκυσμού.

Εκτός από την τεχνική διόγκωσης, την ποιότητα του Περλίτη καθορίζει ο τρόπος αποθήκευσης του, οι συνθήκες περιβάλλοντος και το είδος συσκευασίας που χρησιμοποιείται. Λόγω των υδρόφιλων χαρακτηριστικών και της χαμηλής σκληρότητας του περλίτη, η μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης συμπιέζει το υλικό, προκαλώντας απώλεια όγκου και αυξάνει το βάρος του προϊόντος λόγω απορρόφησης υγρασίας, στοιχεία που μειώνουν

την θερμική αγωγιμότητα του υλικού , ενώ ταυτόχρονα έχει αρνητικό αντίκτυπο στο κόστος. Η συμπίεση του υλικού σημαίνει απώλεια όγκου , επομένως αύξηση κόστους. Η ποιότητα πρώτης ύλης που είναι κατά κανόνα ο βασικότερος παράγοντας ελέγχεται απόλυτα με χρήση θραυστικών μηχανών και ξηραντηρίου και είναι καθοριστική για την μελέτη και βελτίωση του συστήματος διόγκωσης.



### **1.8 Εστίαση στο PLC – Μανδάλωση διαδικασιών.**

PLC: Siemens S7-300



Το σύστημα διόγκωσης ελέγχεται από PLC (Programmable Logic Controller) , για λόγους

ασφαλείας αλλά και αυτοματοποίησης της διαδικασίας διόγκωσης.

Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό, ότι στα σύγχρονα συστήματα διόγκωσης η παραγωγική διαδικασία είναι ημί – αυτόματη και όχι πλήρως αυτόματη. Η ανάγκη συνεχής παρατήρησης της συμπεριφοράς του υλικού καθιστά απαραίτητο τον ανθρώπινο παράγοντα. Ωστόσο, με το PLC θέτονται **όρια λειτουργίας**, καθώς και **ενδείξεις λειτουργίας** όλων των μηχανημάτων. Επίσης, το PLC καθιστά δυνατή την μείωση των παραμέτρων ελέγχου από τον ανθρώπινο παράγοντα.

Το σύστημα είναι προγραμματισμένο να πραγματοποιεί αυτόματη έναυση του φούρνου. Ο χειριστής μπορεί μέσω αυτού να θέσει όλες τις παραμέτρους διόγκωσης που έχουν να κάνουν με την έναυση, χωρίζοντας την διαδικασία έναυσης του φούρνου σε στάδια.

Διαδοχικά, με το πάτημα του κουμπιού έναρξης του συστήματος εκτελούνται οι παρακάτω λειτουργίες:

α) **Εκκίνηση κινητήρων**: ανεμιστήρων, αεροφρακτών (air lock valves). Ενεργοποίηση όλων των μηχανημάτων που δουλεύουν συνεχώς και με σταθερή στρέψη / συχνότητα, χωρίς ανάγκες αυξομείωσης ταχύτητας ή συχνότητας. (Κινητήρες χωρίς VFD, χωρίς οδήγηση)

Εκτιμώμενος χρόνος: 2 λεπτά για έναρξη λειτουργίας.

β) **Εντολή έναρξη φλόγας**: έναυση και θέρμανση φούρνου με χαμηλό καύσιμο μέχρι τους 150οC. Επιλέγεται χαμηλή ποσότητα καυσίμου για προστασία των μετάλλων και αποφυγή απότομων διαστολών. Η σωστή μόνωση στο εσωτερικό του μανδύα του φούρνου, μειώνει αρκετά το κόστος προθέρμανσης του φούρνου, σε κάθε στάδιο.

Εκτιμώμενος χρόνος: 3 λεπτά μέχρι το στάδιο θέρμανσης.

γ) **Δεύτερο στάδιο θέρμανσης**: Το καύσιμο και η ταχύτητα στρέψης του ανεμιστήρα καύσης αυξάνονται χωρίς ο φούρνος να τροφοδοτείται με πρώτη ύλη, μέχρι την θερμοκρασία έναρξης τροφοδοσίας.

Εκτιμώμενος χρόνος: 5 λεπτά μέχρι το στάδιο έναρξης τροφοδοσίας.

δ) **Στάδιο έναρξης τροφοδοσίας**: το πρόγραμμα επιτρέπει καθορισμό της θερμοκρασίας τροφοδοσίας. Όταν η θερμοκρασία καπναερίων φτάσει περίπου τους 780οC, αυτόματα ενεργοποιείται ο κοχλίας τροφοδοσίας σε προκαθορισμένη συχνότητα.

Συνολικός χρόνος από την έναυση μέχρι την έναρξη τροφοδοσίας: 10 – 12 λεπτά

Στο σημείο αυτό ο χειριστής του εργοστασίου αυξομειώνει καύσιμο και τροφοδοσία , με ταυτόχρονη επέμβαση στην ταχύτητα αναρρόφησης με στόχο την μέγιστη παραγωγικότητα.

Παρακάτω εξηγούνται οι διαδικασίες που εκτελεί το PLC:

### **A. Προετοιμασία παραγωγής: Ασφαλιστικές διατάξεις και μανδάλωση.**

Η έναρξη της παραγωγής σηματοδοτείται με την έναυση της φλόγας του φούρνου. Πριν την έναυση, ρυθμίζονται οι εξής παράμετροι:

- Όρια θερμοκρασιών βασικών τμημάτων εργοστασίου:  
Το σύστημα κλείνει αυτόματα σε περίπτωση που κάποιο τμήμα ξεπεράσει προκαθορισμένο όριο. Επιλέγεται είτε να χτυπήσει συναγερμός , είτε αυτόματη διακοπή της παραγωγής.

**Διαδοχικά**, σε περίπτωση ξαφνικής διακοπής της παραγωγής, υπάρχει προκαθορισμένη σειρά απενεργοποίησης μηχανημάτων. Αρχικά, κλείνουν ταυτόχρονα οι κοχλίες τροφοδοσίας , το σύστημα τροφοδοσίας και ο καυστήρας. Ο ανεμιστήρας φίλτρου και οι κινητήρες συνεχίζουν να δουλεύουν για να καθαρίσει το κύκλωμα χωρίς να υπάρχει ροή υλικού.

Οριακές θερμοκρασιακές τιμές:

Τμήμα Εργοστασίου	Όριο Θερμοκρασίας (°C)
Θερμοκρασία καπναερίων	950
Θερμοκρασία Φίλτρου	185

- Μανδάλωση μηχανημάτων – Έναρξη λειτουργίας μηχανημάτων σειριακά:  
Ρυθμίζεται η σειρά έναρξης των μηχανημάτων καθώς και η σειρά διακοπής τους μετά την παύση της παραγωγικής διαδικασίας.

Εν συνεχεία , Ελέγχεται:

- η σειρά έναρξης λειτουργίας
- οι χρόνοι έναρξης λειτουργίας μεταξύ διαδοχικών μηχανημάτων.
- οι χρόνοι απενεργοποίησης μεταξύ διαδοχικών μηχανημάτων.

- **Σειρά έναρξης μηχανημάτων:**

- Ανεμιστήρας φίλτρου: το σύστημα πρέπει να έχει συνεχώς ελκυσμό αέρα (Air Draft)

- Ανεμιστήρας καυστήρα: Πριν την έναυση της φλόγα καθαρίζει τον καυστήρα και προετοιμάζει το σύστημα για ροή καυσίμου.

- Αεροφράκτες (Air Lock valves) : είναι συνεχώς σε λειτουργία χωρίς οδήγηση.

- Κλήση έναυσης φλόγας: Εναρκτήρια ενέργεια, για την διαδοχική εκτέλεση των 3 σταδίων από την προθέρμανση μέχρι την τροφοδοσία, ανεξάρτητα από το υπόλοιπο σύστημα.

- Κινητήρας προθερμαντή: ενέργεια μεταφέρεται από τον φούρνο στον προθερμαντή. Ενεργοποιείται, αμέσως μετά την έναυση της φλόγας.

- Αναβατήριο τροφοδοσίας: λειτουργεί συνεχώς χωρίς διακοπή, χωρίς οδήγηση. Ο δονητής τροφοδοσίας είναι μανδαλωμένος με το δοχείο πριν τον προθερμαντή.

- Δονούμενη ταινία μεταφοράς: Σε αυτό το σημείο το υλικό αρχίζει να τροφοδοτείται στον προθερμαντή και το κύκλωμα γεμίζει με υλικό. Η εκκίνηση της τροφοδοσίας συμβαίνει στο τελευταίο στάδιο , μετά την πλήρη θέρμανση του φούρνου.

- Κοιλίες τροφοδοσίας: με την έναρξη τους το υλικό τροφοδοτείται στον φούρνο.

- Έναυση φίλτρου παλμών: Το φίλτρο είναι ήδη προγραμματισμένο και ενεργοποιείται ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα μηχανήματα. Συνήθως, ενεργοποιείται 5 λεπτά μετά την έναρξη της τροφοδοσίας, ώστε να υπάρχει χρόνος να καλυφθούν τα φιλτρόπανα με μία στρώση περλίτη , πράγμα που αποτελεί εμπειρικό κανόνα της διόγκωσης και βοηθάει στην προστασία των φιλτροπάνων σε περίπτωση υπερθέρμανσης.

- **Στάδια προθέρμανσης και προετοιμασίας φούρνου για τροφοδοσία υλικού:**

- Στάδιο 1: (Warm up starts): θέρμανση φούρνου μέχρι η θερμοκρασία καπναερίων να φτάσει τους 150oC (συνήθης θερμοκρασία) .

- Στάδιο 2: ( Warm up ends): θέρμανση με αυξημένο καύσιμο , χωρίς τροφοδοσία υλικού μέχρι την προκαθορισμένη θερμοκρασία τροφοδοσίας.

- Στάδιο 3: (Τροφοδοσία - feeding): Έναρξη τροφοδοσίας υλικού με χαμηλό ρυθμό.

Ο φούρνος δεν είναι ακόμα έτοιμος να διογκώσει με μέγιστο ρυθμό παραγωγής.

- **Επέμβαση – Ρυθμίσεις κατά την παραγωγή:**

Ταυτόχρονα με την αύξηση της τροφοδοσίας , καταγράφονται και εκτελούνται οι παρακάτω διαδικασίες ως εξής:

α) Διατήρηση θερμοκρασιών κώνου και καπναερίων σταθερές.

β) Σταδιακή αύξηση ρυθμού τροφοδοσίας υλικού με ταυτόχρονη διατήρηση της θερμοκρασίας καπναερίων στα ίδια επίπεδα. Η θερμοκρασία καπναερίων για κάθε υλικό αποτελεί την **Θερμοκρασία διόγκωσης** του.

Σε περίπτωση που η αύξηση της τροφοδοσίας προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας φούρνου , το σύστημα κινδυνεύει για υάλωση.

γ) Αυξομείωση της συχνότητας στρέψης του ανεμιστήρα φίλτρου:  
αυξάνοντας την τροφοδοσία , αυξάνεται η απαίτηση αναρρόφησης από τον ανεμιστήρα φίλτρου.

δ) Για τη διατήρηση της πίεσης θαλάμου καύσης κοντά στο 0 (μηδενική υποπίεση) απαιτείται η μικρή μεταβολή της συχνότητας των ανεμιστήρων φίλτρου ή καυστήρα. Απότομη μεταβολή αυτών μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην παραγωγή και ανεπιθύμητες δονήσεις.

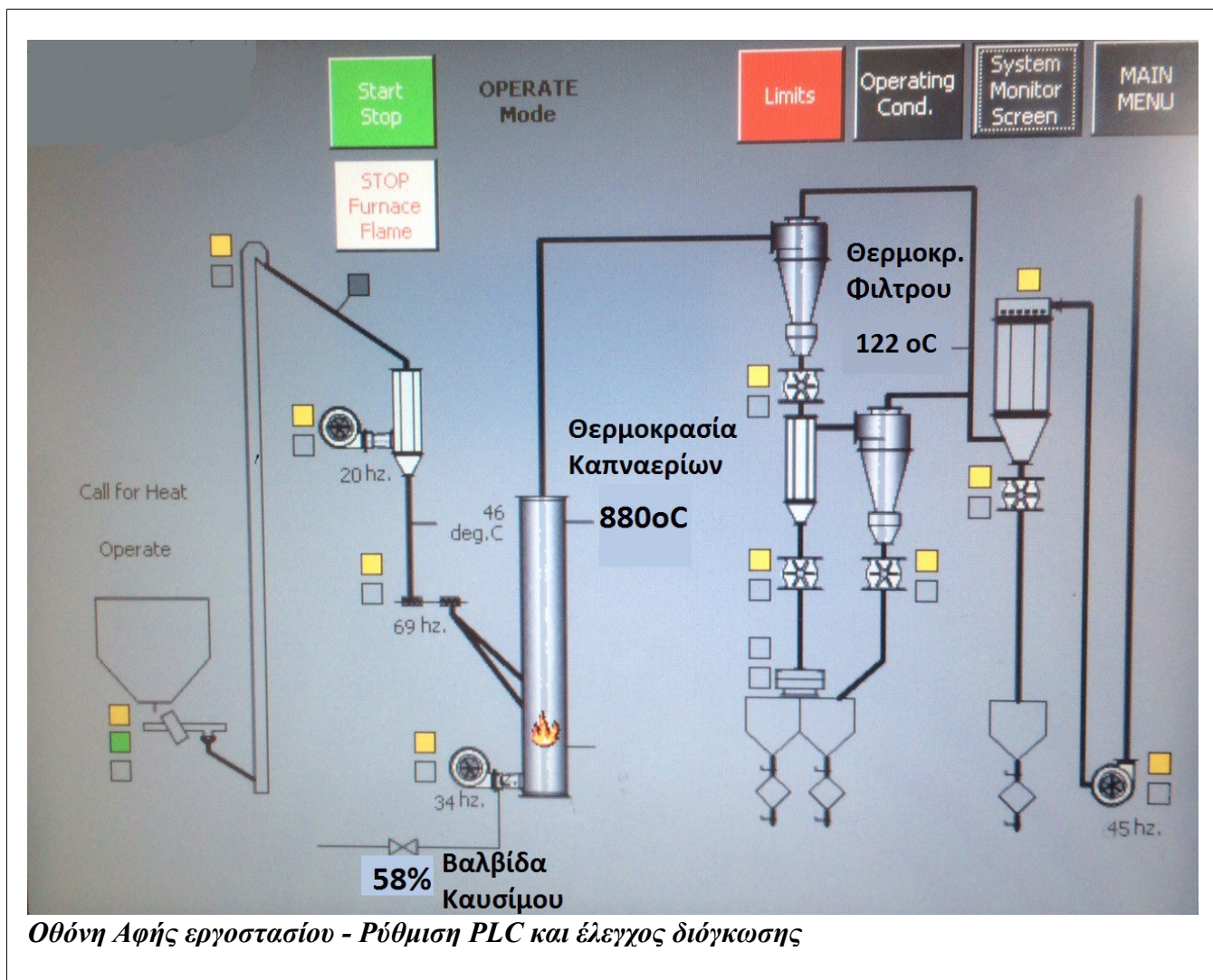
Οι ανεμιστήρες του διογκωτηρίου , είναι πιθανό να προκαλέσουν έκκεντρο συντονισμό στο ικριώμα, δηλαδή συντονισμό των δοκών ολόκληρου του ικριώματος. Σε ακραίες περιπτώσεις και για συγκεκριμένες συχνότητες ταλάντωσης , αυτό μπορεί να είναι καταστροφικό για το σύστημα αφού είναι πιθανή ακόμα και η αποσύνδεση δοκών ή μηχανημάτων.

Το PLC διαθέτει αναλυτικό καταγραφικό σύστημα , με όλες τις παραμέτρους λειτουργίας, πράγμα εξαιρετικά χρήσιμο για την αποτίμηση της παραγωγικής διαδικασίας.



## Κεντρικό πάνελ συστήματος διόγκωσης: Διάγραμμα ροής εργοστασίου

Το PLC δέχεται εντολές μέσω οθόνης αφής αλλά και αναλογικών διακοπών.



Η κίτρινη ένδειξη στο πάνελ , δείχνει ότι το εκάστοτε μηχάνημα είναι σε λειτουργία. Πάνω αριστερά το “γκρι” κουτί δείχνει ότι το δοχείο πριν τον προθερμαντή είναι άδειο , ενώ η πράσινη ένδειξη κάτω αριστερά στο σύστημα τροφοδοσίας δείχνει ότι η δονούμενη ταινία τροφοδοσίας είναι και ενεργή (κίτρινο) και σε λειτουργία (πράσινο).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ**

### **Οικονομοτεχνική Μελέτη**

- 1. Ανάλυση κόστους παραγωγής σε εργοστάσιο διόγκωσης**
- 2.Υπολογισμός Καταναλώσεων καυσίμου**
- 3. Υπολογισμός Συνολικού κόστους παραγωγής**
- 4. Τεχνικές Βελτιστοποίησης ποιότητας και κόστους παραγωγής**

## **Κεφάλαιο Δ: Υπολογισμός κόστους παραγωγής & Διερεύνηση δυνατοτήτων βελτίωσης κόστους παραγωγής εργοστασίου διόγκωσης περλίτη.**

### **Παράγραφος 1 κεφαλαίου Δ:**

#### **Ανάλυση κόστους παραγωγής σε εργοστάσιο διόγκωσης**

##### **1.1 Εύρεση συνολικού κόστους παραγωγής**

Όπως και για κάθε βιομηχανική δραστηριότητα, το συνολικό κόστος παραγωγής είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων. Αρχικά διαχωρίζονται οι συνιστώσες του και μετά αναλύονται οι τεχνικές ελέγχου και μείωσης του.

Η ποιότητα του υλικού είναι καθοριστικός παράγοντας για τεθούν όρια στις τεχνικές μείωσης του κόστους. Οι ενδεικτικές τιμές κόστους που θα παρατεθούν, είναι σε Αμερικάνικα Δολάρια για λόγους γενικότητας.

Το κόστος παραγωγής μπορεί να διαχωριστεί στις εξής συνιστώσες:

##### **A) Κόστος παραγωγής:**

*Τμηματικά μπορεί να διαχωριστεί στις ακόλουθες συνιστώσες:*

**Κόστος καυσίμου:** μετράται ωριαία ή ανά κυβικό μέτρο προϊόντος. Η τιμή του είναι κυμαινόμενη χρονικά.

**Ενδεικτική τιμή (U.A.E):                    **USD 1.5 / gallon**    (USD 0.396 / Lt)**

Η παραπάνω τιμή είναι αρκετά μεγαλύτερη στην Ελλάδα , γι' αυτό και συνήθως χρησιμοποιείται το Φυσικό Αέριο ή το Diesel σαν καύσιμο σε συστήματα διόγκωσης. Ανάλογα με την περιοχή και την διαθεσιμότητα καυσίμων , επιλέγεται και διαφορετικό καύσιμο.

Μέση ωριαία κατανάλωση προπανίου σε φούρνο διόγκωσης Incon: 190 Lt / ώρα.

Μέση κατανάλωση προπανίου ανά κυβικό μέτρο διογκωμένου περλίτη: 12 Lt/m<sup>3</sup>

Ενδεικτικά , αναφέρεται ότι ο φούρνος διόγκωσης μπορεί να παράξει ωριαία από 12 – 20 κυβικά μέτρα διογκωμένου περλίτη . Ισοδύναμα , στον φούρνο ο ρυθμός τροφοδοσίας πρώτης ύλης κυμαίνεται από 850 κιλά μέχρι 1.8 τόνους.

## **1.2 Κόστος Πρώτης ύλης και κόστος μεταφοράς :**

Το κόστος πρώτης ύλης μετράται ανά τόνο. Χωρίζεται σε κόστος ορυχείου και κόστος μεταφοράς. Προφανώς, το δεύτερο εξαρτάται από την απόσταση (χώρα προέλευσης με τελικό προορισμό).

Το κόστος μεταφοράς από το ορυχείο μέχρι το εργοστάσιο εξαρτάται από το αν το υλικό μεταφέρεται μαζικά σε μεγάλες ποσότητες ( > 1000 τόνων) ή σε Container (22-27 τόνοι ανά κοντέινερ) .

Προφανώς η μαζική μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων μειώνει αισθητά το κόστος πρώτης ύλης ανά τόνο , αλλά έτσι δεν είναι δυνατή η μεταφορά πολλών διαφορετικών τύπων υλικού. Όταν ένα εργοστάσιο δε διαθέτει σπαστήρια , προτιμάται η μεταφορά με κοντέινερ.

### Ενδεικτικές τιμές κόστους:

Οι τιμές διαφέρουν ανά χώρα και συνήθως αντικατοπτρίζουν την καθαρότητα του περλίτη. Η Ελλάδα και η Τουρκία είναι βασικοί προμηθευτές για τις νότιες χώρες της Ευρώπης και την Μέση Ανατολή. Ο Ελληνικός περλίτης είναι συνήθως πιο ακριβός από τον Τουρκικό , και μπορεί να φτάσει έως και τα \$90 / τόνο , ενώ ο Τουρκικός είναι κατά μέσο αρκετά φτηνότερος, λόγω χαμηλής σκληρότητας αλλά και λόγω μεγάλης διαθεσιμότητας και μαζικής εξόρυξης. Η διαφορά ως προς την ποιότητα για τις 2 αυτές χώρες είναι ιδιαίτερα εμφανής. Οι Η.Π.Α έχουν επίσης καλής ποιότητας υλικά , αλλά το κόστος μεταφοράς καθιστά αδύνατη την προμήθεια σε χώρες της Ευρώπης. Οι παρακάτω τιμές αφορούν υλικά από Ελλάδα και Τουρκία με προορισμό την Μέση Ανατολή.

Τιμές ορυχείου: **USD 60 – 100 / ton**

Κόστος Μεταφοράς: **USD 25-30 / ton**

Η τιμή της πρώτης ύλης είναι συνάρτηση:

**α)** του κόστους πρώτης ύλης ανά τόνο.

**β)** του κόστους μεταφοράς της πρώτης ύλης ανά τόνο.

Η τιμή ανά τόνο του υλικού διαφέρει τόσο ως προς την προέλευση , αλλά και ως προς το

μέγεθος. Μεγαλύτερες κοκκομετρίες έχουν συνήθως μεγαλύτερη τιμή ανά τόνο. Όπως και όλες τις συνιστώσες κόστους παραγωγής έτσι και το κόστος πρώτης ύλης ανάγεται σε ωριαία βάση και εν συνεχεία διαιρείται με την ωριαία παραγωγή. Για λόγους ευκολίας συνήθως χρησιμοποιούνται οι μέσοι ρυθμοί παραγωγής ανά τύπο υλικού. Οι ρυθμοί παραγωγής διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το μέγεθος και την προέλευση της πρώτης ύλης.



*Ορυχείο Περίλιη - Τουρκία*

### 1.3 Κόστος διαβάθμισης και ξήρανσης πρώτης ύλης

Το κόστος κάθε ανεξάρτητης βιομηχανικής δραστηριότητας μετράται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες διαδικασίες και προστίθεται στο συνολικό κόστος παραγωγής.

Στην περίπτωση που το υλικό δεν είναι ήδη διαβαθμισμένο και αποξηραμένο, όταν δηλαδή το υλικό προμηθεύεται μαζικά και αποθηκεύεται σε σωρούς μεγάλου μεγέθους, απαιτείται ξήρανση και διαβάθμιση της πρώτης ύλης σε υποπροϊόντα. Συνήθως, υπάρχουν 2 σωροί λεπτής και χονδρής κοκκομετρίας, καθένας από τους οποίους διαβαθμίζεται σε περισσότερα υλικά, διαφορετικού μεγέθους και εύρους διαστάσεων. Για την διαβάθμιση χρησιμοποιούνται δονούμενα κόσκινα πολλών επιπέδων, ενώ για την ξήρανση στρεφόμενα ξηραντήρια, που μέσω θερμού αέρα ξηραίνουν και ξεσκονίζουν την πρώτη ύλη.

Η ξήρανση και η διαβάθμιση γίνεται με ένα ενιαίο σύστημα και αναλύεται σε κόστος καυσίμου, κόστος ηλεκτρισμού στρέψης ξηραντηρίου και δονητών καθώς και εργατικό κόστος.

$$DrCost = FCost + ElCost + LCost$$

Όπου:

DrCost :        συνολικό κόστος ξήρανσης και διαβάθμισης  
FCost:         κόστος καυσίμου ξηραντηρίου  
ElCost:        κόστος ηλεκτρισμού δονητών κόσκινων και ξηραντηρίου  
LCost:         εργατικό κόστος ανά ώρα ή μονάδα προϊόντος για την δραστηριότητα

Τα εργατικά κόστη εκπίπτουν από τους μισθούς και τον αριθμό ατόμων που απασχολεί η κάθε δραστηριότητα. Τα εργατικά κόστη θα αναλυθούν σε άλλο τμήμα της παραγράφου. Το δίκτυο ροής προπανίου είναι συνδεδεμένο με το ξηραντήριο αντιρροής για καύση με μικρότερης ισχύος καυστήρα από αυτό του διογκωτηρίου.

**Ενδεικτικά:**

<u>Ωριαία κατανάλωση προπανίου για ξήρανση:</u>	20 λίτρα ανά ώρα
Ωριαίο κόστος καυσίμου για ξήρανση:	USD 7.93 ανά ώρα
<u>Κόστος ηλεκτρισμού διαβάθμισης &amp; ξήρανσης:</u>	USD 5 ανά ώρα

**Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα προμήθειας πρώτης ύλης:**

α) **Μαζικά μέσω πλοίου** (φορτία μεγαλύτερα των 3000 τόνων)

από πλευράς κόστους η τιμή της πρώτης ύλης ανά τόνο είναι συμφέρουσα.

Η ύπαρξη ή μη σπαστηριοτριβείου στην παραγωγή, επιτρέπει στον διευθυντή παραγωγής να επιλέξει εάν η πρώτη ύλη θα έρθει άθραυστη ή διαβαθμισμένη σε μεγέθη. Η ξήρανση είναι

απολύτως απαραίτητη όταν προμηθευόμαστε με αυτή την μέθοδο. Αυτό βέβαια εξαρτάται από το αν η διαβάθμιση στο ορυχείο έγινε ταυτόχρονα με ξήρανση ή όχι. Επίσης, είναι πολύ συχνό φαινόμενο να διαβαθμίζουμε ήδη διαβαθμισμένη πρώτη ύλη για να έχουμε ακρίβεια στο μέγεθος τελικού προϊόντος. Ο χρόνος και το κόστος διαβάθμισης είναι πάντα σημαντικός παράγοντας τόσο γιατί μπορεί να μας περιορίσει ως προς το χρόνο παραγωγής που χρειάζεται για μία παραγγελία, γιατί αυξάνει το κόστος επεξεργασίας προϊόντος καθώς και γιατί μας προσθέτει εργατικά κόστη.

**Μειονεκτήματα:** (σε μαζικές παραγγελίες πρώτης ύλης)

Κακή ποιότητα μέρους της πρώτης ύλης.

Συσώρευση (στοκ) μεγάλης ποσότητας κοκκομετριών που δεν χρησιμοποιούνται για προϊόντα περλίτη.

**β) Προμήθεια πρώτης ύλης αποξηραμένη και πλήρως διαβαθμισμένη.**

Στην περίπτωση αυτή το υλικό είναι έτοιμο να τροφοδοτηθεί στο φούρνο, ενώ μοναδικό μειονέκτημα είναι το αυξημένο κόστος, επειδή η προμήθεια γίνεται σε μικρές ποσότητες.

## **1.4 Κόστος αναλωσίμων**

Το κόστος αναλωσίμων προκύπτει και πάλι ανά κυβικό μέτρο προϊόντος και αφορά το κόστος των υλικών συσκευασίας. Η ενσάκιαση του διογκωμένου περλίτη μπορεί να γίνει σε συσκευασίες 100 λίτρων, 1 και 2 κυβικών μέτρων.

Από την τροφοδοσία μέχρι την παραγωγή του τελικού προϊόντος απαιτούνται συγκεκριμένα αναλώσιμα αντικείμενα καθώς και οχήματα για την παραγωγή και την μεταφορά των προϊόντων στην παραγωγή και στους χώρους αποθήκευσης αλλά και τη φόρτωση σε οχήματα με σκοπό τη διανομή.

**Αναλώσιμα:**

- Σακούλες 100 λίτρων, 1 κυβικού μέτρου (m<sup>3</sup>) ή 2.5 κυβικών μέτρων.
- Σύρματα ενσάκιασης για τις σακούλες 100 λίτρων.
- Καύσιμα οχημάτων.

Το **κόστος συσκευασίας** (σακούλες, σύρματα) προστίθεται στο κόστος παραγωγής ανά μονάδα προϊόντος, ενώ το κόστος καυσίμων οχημάτων και συντήρησης εκτιμάται σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου, με βάση την κατανάλωση, και προστίθεται στα **γενικά κόστη** της

επιχείρησης.

Για μεταφορές σε μεγάλη απόσταση , συνήθως επιλέγεται παλετοποίηση των προϊόντων για μεγαλύτερη ασφάλεια. Στην περίπτωση αυτή προστίθεται το κόστος παλέτας και μεμβράνης στεγανοποίησης.

Ενδεικτικά:

**Κόστος συσκευασίας**

Τιμή Σακούλας 100 λίτρων:

\$0.25 / σακούλα.

Τιμή Συρμάτων πρόσδεσης:

\$ 20 / 3000 κομμάτια

Τιμή σακούλας 1 κυβικού:

\$ 15 / σακούλα

Κόστος παλετοποίησης:

\$ 4 / παλέτα 3.5 m<sup>3</sup>

**Εκτιμώμενο κόστος συσκευασίας**

**ανά κυβικό μέτρο προϊόντος (m<sup>3</sup>):**

\$ 4 / m<sup>3</sup> διογκωμένου περλίτη.

Αν και φαινομενικά το κόστος συσκευασίας φαίνεται μικρό ανά μονάδα προϊόντος , υπενθυμίζεται ότι ο διογκωμένος περλίτης έχει διογκωθεί περίπου 10 φορές κατά μέσο όρο σε σχέση με τον όγκο της πρώτης ύλης. Το κόστος συσκευασίας είναι τελικά ένα σημαντικό ποσοστό του κόστους παραγωγής.

Σε επόμενο κεφάλαιο , όπου θα δοθούν τρόποι μείωσης του κόστους προϊόντος , θα γίνει εμφανές ότι με “έξυπνες μεθόδους” και συντονισμό με τους πελάτες είναι δυνατόν να εξοικονομηθεί μεγάλο κέρδος από επαναχρησιμοποίηση των υλικών συσκευασίας. Ειδικότερα για μαζικές καταναλώσεις υλικού , κυρίως σε οικοδομικές εφαρμογές , γίνεται συνεννόηση με τον πελάτη ώστε να επιστρέφονται οι σακούλες μετά την χρήση του υλικού. Το κέρδος είναι τόσο ώστε υπόκειται διαπραγμάτευσης για μείωση της τιμής πώλησης κατά ένα ποσοστό σε περίπτωση που η επιστροφή των υλικών συσκευασίας καταστεί εφικτή. Το συμπέρασμα ότι κάτι τέτοιο είναι προσοδοφόρο , εκπίπτει από πολλές παραμέτρους , όπως τα εργατικά κόστη, το κόστος καυσίμων μεταφοράς και την διαθεσιμότητα χρόνου από πλευράς προσωπικού.

Επιπροσθέτως, η μέθοδος συσκευασίας γίνεται χειροκίνητα , λόγω χαμηλού εργατικού κόστους. Εναλλακτικά, σε Ευρωπαϊκά εργοστάσια , συνήθως επιλέγονται αυτόματα ενσασιαστικά και παλετοποιητικά συστήματα. Αν και το κόστος αγοράς και συντήρησης είναι αρκετά υψηλό , τα αυτόματα μηχανήματα κάνουν απόσβεση της αξίας τους λόγω μεγάλου εργατικού κόστους.



## Αποθήκευση Διογκωμένου Περλίτη



*Αριστερά: Σακούλες 1m<sup>3</sup>*

*Δεξιά: Παλέτες 3.5m<sup>3</sup> σε σακιά 100 λίτρων*

### **1.5 Κόστος συντήρησης και οχημάτων**

Το τμήμα παραγωγής προσθέτει στο συνολικό κόστος και τα κόστη συντήρησης του εργοστασίου καθώς και την συντήρηση και τα καύσιμα των οχημάτων. (περονοφόρα , φορτωτές)

#### **Οχήματα:**

Για την παραγωγή , απαιτούνται τα παρακάτω οχήματα για τις ακόλουθες διαδικασίες:

Όχημα	Αριθμός οχημάτων	Διαδικασία
Φορτωτής (Bobcat)	1	Φόρτωση πρώτης ύλης από σωρούς
Περονοφόρο (Clark)	2	Φόρτωση πρώτης ύλης και έτοιμου προϊόντος σε οχήματα διανομής (φορτηγά)
Φορτηγό – Βαν	1	Για μικρές μεταφορές προϊόντων σε τοπική

Για τις παραπάνω διαδικασίες συνήθως απασχολούνται 2 άτομα για χειρισμό οχημάτων και 2 για την φόρτωση του έτοιμου προϊόντος.

### **Κόστος συντήρησης:**

Στο κόστος συντήρησης του εργοστασίου διόγκωσης περιλαμβάνονται τα υλικά συντήρησης (λάδια , γράσα) και το κόστος επισκευής ή αντικατάστασης μηχανημάτων σε περίπτωση βλάβης.

Επίσης , οι αρχές της εκάστοτε βιομηχανικής ζώνης θεωρούν υποχρεωτικό τον έλεγχο των πιο σημαντικών συστημάτων ενός βιομηχανικού συγκροτήματος. Ο έλεγχος και η συντήρηση γίνεται από τους προμηθευτές του κάθε συστήματος ενώ είναι απαραίτητη η ετήσια κατάθεση πιστοποιητικών συντήρησης, για να δοθεί η τελική επιβεβαίωση λειτουργίας από τις αρχές.

Για το εργοστάσιο διόγκωσης , οι αρχές χρειάζονται τα εξής έγγραφα πιστοποίησης συντήρησης και ομαλής λειτουργίας.

### **Ετησίως , απαιτούνται πιστοποιητικά για τα εξής τμήματα του εργοστασίου:**

- Σύστημα αποθήκευσης και παροχής υγραερίου / καυσίμων: έλεγχος διαρροής και πιέσεων σε κάθε τμήμα του δικτύου.
- Σύστημα συναγερμού: ανιχνευτές διαρροής αέριων καυσίμων στον χώρο του φούρνου διόγκωσης αλλά και στην δεξαμενή αποθήκευσης.
- Μέτρηση καπναερίων: από την έξοδο (καπνοδόχο) του συστήματος , με κύρια ζητούμενα μεγέθη την εκπομπή αερίων καύσης , την ταχύτητα των καπναερίων από την έξοδο , καθώς και την περιεκτικότητα σε στερεά σωματίδια που πιθανώς διέφυγαν από το φίλτρο παλμών.
- Έλεγχος εκπομπών σκόνης περλίτη από τους χώρους παραγωγής.
- Συντήρηση και έλεγχος δεξαμενών πεπιεσμένου αέρα και αεροσυμπιεστή.

Τα κόστη των πιστοποιητικών περιλαμβάνονται στο γενικό κόστος συντήρησης.

## 1. 6 Εργατικά Κόστη

Εργατικά κόστη στην παραγωγή:

Ένα σύστημα διόγκωσης είναι μελετημένο να λειτουργεί αυτόματα από την είσοδο της πρώτης ύλης μέχρι την έξοδο του τελικού προϊόντος. Ο χειριστής του φούρνου είναι υπεύθυνος για την καταγραφή των σημαντικών παραμέτρων της διόγκωσης , ενώ εργατικό δυναμικό χρειάζεται για τις ακόλουθες διαδικασίες.

Διαδικασία	Άτομα
Χειρισμός εργοστασίου (Υπεύθυνος παραγωγής)	1
Συσκευασία προϊόντων	3
Υπεύθυνος αποθήκης	1
Φόρτωση διογκωμένου περλίτη	2

Με το παραπάνω εργατικό δυναμικό το εργοστάσιο μπορεί να λειτουργήσει ομαλά για μία βάρδια 10 ωρών. Από πλευράς κόστους και απόδοσης το εργοστάσιο είναι προτιμότερο να λειτουργεί όλο το 24ωρο. Έτσι μειώνεται αρκετά το κόστος προθέρμανσης, αλλά και της παραγωγής , γιατί ο ρυθμός παραγωγής είναι σταθερά στη μέγιστη τιμή του. Εάν το εργοστάσιο δουλεύει σε ξεχωριστές , μη συνεχόμενες βάρδιες , τότε έχει κάθε φορά νέο κόστος προθέρμανσης του φούρνου , αλλά και αυξημένο κόστος καυσίμου μέχρι να φτάσει το εργοστάσιο στο μέγιστο ρυθμό παραγωγής.

## Παράγραφος 2 κεφαλαίου:

### **Αναλυτικός Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου (Προπανίου) σε εργοστάσιο διόγκωσης**

#### **2. Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου:**

Παρακάτω θα δοθεί η αναλυτική έκφραση της σχέσης υπολογισμού της ακριβής κατανάλωσης προπανίου. Για να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα μέτρησης πρέπει να υπολογισθεί η ακριβή πίεση ροής του καυσίμου σε αέρια μορφή σε όλα τα στάδια του δικτύου και να καταγραφεί το ιστορικό αλλαγών θερμοκρασίας και υγρασίας .  
Εν συνεχεία, ο όγκος αερίου που καταναλώθηκε σε ένα συγκεκριμένο διάστημα ανάγεται σε λίτρα προπανίου υγρής μορφής, με στόχο τον υπολογισμό του συνολικού κόστους καυσίμου.

Το κόστος προπανίου θεωρείται σταθερό και ίσο με \$0.396 / λίτρο. (υγρή μορφή)

#### Προδιαγραφές Προπανίου: [33]

Οι προδιαγραφές του καυσίμου όπως δόθηκαν από τον προμηθευτή φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

<b>Σύνθεση , Liquid vol%</b>		<b>ASTM (test method)</b>
Περιεκτικότητα προπανίου	95.0 min	ASTM D-2163
Βουτάνιο και βαρύτερα στοιχεία	2.5 Max	ASTM D-2163
Διάβρωση ταινίας χαλκού	1.0 Max	ASTM D-1838
Mercaptan Sulfide	15.0 Min 60.0 Max	ASTM D-5504
Ειδικό Βαρος υγρού	0.509	ASTM D-1657
Θερμογόνος δύναμη προπανίου BTU per gallon of liquid	109,898	-

BTU per Cu. Ft of Gas	2,516	
Ειδικό βάρος αερίου	1.52	-

## 2.1 Χρήσιμα μεγέθη για τον υπολογισμό κατανάλωσης:

Μετρούμενη παροχή αερίου δικτύου πριν τον υποβιβασμό πίεσεως στον καυστήρα του φούρνου, υπό κανονικές συνθήκες :

**P = 1bar**

Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος: T = **30oC**

Η πίεση αερίου που περνάει από τον ογκομετρητή αερίου είναι **250mbar**. Για να υπολογίσουμε την κανονική κατανάλωση πρέπει να κάνουμε αναγωγή στο 1bar.

A. Μετατροπή όγκου αερίου υπό πίεση ροής σε κανονικά κυβικά μέτρα αερίου:

Ένδειξη: περίπου **60 m<sup>3</sup> / h** υπό πίεση **250 mbar**.

$$V_N = 60 * 1.25 = 75 \text{Nm}^3 / \text{hour}$$

Όπου **X= 1.25** , ο παράγοντας μετατροπής του όγκου αερίου από 1bar στα 250mbar.

Με τα κανονικά κυβικά μέτρα αερίου , εννοείται ο όγκος υπό πίεση **1bar**.

B. Κατανάλωση προπανίου – Αναγωγή κανονικών κυβικών (Nm<sup>3</sup> / h) σε (kg / h)

$$M_N = 75 \text{Nm}^3 / \text{h} * 1.52 = 114 \text{kg} / \text{h}$$

Όπου **ρ= 1.52** , η σχετική πυκνότητα αέριας μορφής προπανίου  $C_3H_8$

Γ. Ωριαία κατανάλωση σε λίτρα ανά ώρα:

Ειδικό βάρος προπανίου: **0,51 kg /Lt**

$$Consumption_{lit} = \frac{114}{0.51} = 223 \frac{\text{Lt}}{\text{h}}$$

**Συντελεστής αναγωγής από Nm<sup>3</sup> σε Λίτρα: 6,55**

Ο συντελεστής αναγωγής αποτελεί παράγοντα εμπειρικής μεθόδου για τον γρήγορο

υπολογισμό της κατανάλωσης ανά μονάδα χρόνου ή προϊόντος.

## 2.2 Θερμογόνος Δύναμη – Kwh

Αναγωγή θερμίδων κατανάλωσης σε ισχύ ανά ώρα.

Κατώτερη θερμογόνος δύναμη προπανίου: 11.060 kCal / kg

### Ωριαία μέτρηση απαιτούμενης ισχύος για διόγκωση ενός κυβικού μέτρου (m3) περλίτη:

Ισοζύγιο ενέργειας ισχύος:  $1 KW = 860 kCal$

Ωριαία κατανάλωση προπανίου: 114 kg/h

Μέσος ωριαίος ρυθμός παραγωγής: 15 m3 περλίτη

Συνολική απαιτούμενη ισχύς για διόγκωση ενός κυβικού μέτρου διογκωμένου περλίτη:

$$Energy_{m3} = J_{m3} = \left(\frac{114}{15}\right) \left(\frac{kg \cdot h}{m^3 \cdot h}\right) * 11,060 \left(\frac{kCal}{kg}\right) = 84,056 kCal$$

$$Iσχύς_{m3} = P_{m3} = \frac{Energy_{m3}}{860 kCal} = 97.74 kW$$

## Πίνακας Ισοζυγίου – Θερμογόνου δύναμης καυσίμων

		ΠΡΟΠΑΝΙΟ	ΒΟΥΤΑΝΙΟ	ΜΙΓΜΑ LGP	DIESEL ΚΙΗΣΗΣ	DIESEL ΘΕΡ/ΣΗΣ	ΜΑΖΟΥΤ	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΚΑΤΩΤΕΡΗ Θερμιδική Αξία
		kg	kg	kg	lt	kg	kg	m <sup>3</sup>	Kcal
ΠΡΟΠΑΝΙΟ	kg	1	1,011	1,009	1,377	1,147	1,279	1,229	11,060
ΒΟΥΤΑΝΙΟ	kg	0,989	1	0,998	1,367	1,135	1,265	1,216	10,940
ΜΙΓΜΑ LGP	kg	0,991	1,002	1	1,364	1,137	1,267	1,218	10,960
DIESEL ΚΙΗΣΗΣ	lt	0,726	0,731	0,730	1	0,833	0,929	0,941	-
DIESEL ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	kg	0,872	0,881	0,880	1,2	1	1,114	1,133	10,200
ΜΑΖΟΥΤ	kg	0,782	0,791	0,789	1,077	0,897	1	1,067	9,600
ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡ.	m <sup>3</sup>	0,814	0,823	0,821	1,063	0,882	0,938	1	9,100

Μιά ποσότητα "Α" ενός καυσίμου από την πρώτη στήλη ισοδυναμεί με (Α x Q) ποσότητα καυσίμου στις στήλες 3-9, όπου Q είναι ο παράγοντας στο κοινό κελί των δύο καυσίμων.  
 Δηλαδή 1000 lt πετρελαίου ντίζελ κίνησης ισοδυναμούν (παράγουν την ίδια ποσότητα ενέργειας ) με 726 Kg Προπανίου η 730 Kg μείγματος υγραερίου

Εκτός από την διαφορά στην ενέργεια που παράγεται κατά την καύση τους, τα καύσιμα διαφέρουν σημαντικά ως προς την ποιότητα των καυσαερίων τους και συνεπώς, ως προς τα αποτελέσματά τους στο περιβάλλον

### 2.3 Τύπος υπολογισμού καταναλώσεως προπανίου συμπεριλαμβάνοντας τις καιρικές συνθήκες. (θερμοκρασία περιβάλλοντος)

Η ακριβής μαθηματική φόρμουλα χρησιμοποιεί τη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ατμοσφαιρική πίεση και η ακρίβεια της μεγαλώνει αν είμαστε ακριβείς στην μέτρηση της παρατηρούμενης πίεσης ροής του αερίου. Η πίεση του αερίου μεταβάλλεται όσο λειτουργεί ο φούρνος σε μεταβαλλόμενες συνθήκες πίεσης και καιρικών συνθηκών.

*Μετατροπή όγκου προπανίου αέριας μορφής σε μάζα (υγρή μορφή).*

**Βήμα 1ο:** Υπολογισμός πυκνότητας αερίου:

$$D_m = \left(\frac{T_s}{T_v}\right) * \left(\frac{P_v}{P_s}\right) * \left(\frac{M_m}{L}\right) = \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

**Dm:** πυκνότητα προπανίου αέριας μορφής σε (Kg/m<sup>3</sup>)

**Tv:** Μέση παρατηρούμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε Kelvin.

**Ts:** Μέση θερμοκρασία (288K / 15°C)

**Pv:** Παρατηρούμενη πίεση αερίου σε bar

**Ps :** Σταθερά ατμοσφαιρικής πίεσης (1.013 bar)

**Mm:** Μοριακό βάρος προπανίου σε kg/KMol)

**L:** Ιδανικός μοριακός όγκος αερίου σε φυσιολογική θερμοκρασία.

Για την μέτρηση αυτή Ts = 288K , Tv = 303 , Ps= 23,645 , Pv = 2.41bar (absolute pressure)

Τελικά:

$$D_m = 4.208 \frac{kg}{m^3}$$

**Βήμα 2ο:** Μετατροπή μάζας αερίου σε όγκο προπανίου υγρής μορφής.

Κατά το πρώτο βήμα, υπολογίζεται ο παράγοντας μετατροπής του καταναλισκόμενου όγκου αερίου σε μάζα υγρού προπανίου.

Ειδικό βάρος προπανίου: **0.51 kg/Lt**

Τελικός όγκος υγρού προπανίου:  $V_o = \frac{V_i * D_m}{0.51} = (\text{Lt})$

### **Παράγραφος 3. Υπολογισμός συνολικού κόστους παραγωγής**

Για την εύρεση του συνολικού κόστους, ανάγουμε το κόστος καυσίμου σε ωριαίο κόστος ανάλογα με την ένδειξη κατανάλωσης και σιγά σιγά συνθέτουμε το συνολικό κόστος.

Στο κόστος καυσίμου συμπεριλαμβάνουμε και το κόστος προθέρμανσης, αφού συνήθως η ένδειξη κατανάλωσης περιλαμβάνει και το κόστος προθέρμανσης.

Συνιστώσες (ωριαίο κόστος και κόστος ανά κυβικό διογκωμένου προϊόντος).

**Κόστος καυσίμου**

**Συνολικό Κόστος Πρώτης ύλης**

Ωριαίο Κόστος καυσίμου και πρώτης ύλης **C(h): PR(h) + RM(h)**

Συνολικό κόστος ανά κυβικό:

TC(per m3): PR(m3) + RM(m3) + EX(m3) + LC(m3)

**PR(h)**            ωριαίο κόστος προπανίου

**PR(m3)**        κόστος προπανίου ανά κυβικό τελικού προϊόντος

**RM:**            Κόστος πρώτης ύλης

**EX:**            Κόστος αναλωσίμων

**LC:**            Εργατικό κόστος

Τα παρακάτω παραδείγματα δίνουν σαφή εικόνα του υπολογισμού του κόστους ανά μονάδα προϊόντος και των εσόδων της επιχείρησης από την πώληση των προϊόντων.



### **3.1 Παράδειγμα:**

#### **Ανάλυσης κέρδους και κόστους παραγωγής στο πρόγραμμα Excel**

**Παρακάτω παρατίθεται ένα απλό παράδειγμα υπολογισμού του συνολικού κόστους παραγωγής.**

Τα κόστη πρώτης ύλης , καυσίμου , συσκευασίας και αναλωσίμων ανάγονται σε κόστος ανά κυβικό μέτρο (m<sup>3</sup>) και έτσι προκύπτει το συνολικό κόστος ανά κυβικό ή σακούλα 100 λίτρων. Εν συνεχεία στον ίδιο πίνακα γίνεται σύγκριση 2 διαφορετικών υλικών για 2 τύπους προϊόντων (οικοδομικό και αγροτικό περλίτη).

Τέλος, στην περίπτωση προμήθειας πρώτης ύλης με κοντέινερ , γίνεται ανάλυση κόστους και κέρδους. Η κάθε περίπτωση υλικού θα εξηγηθεί εκτενώς παρακάτω.

Στους παρακάτω πίνακες που έχουν πραγματοποιηθεί με το πρόγραμμα Excel , δίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού του κόστους καθώς και του κέρδους πωλήσεων. Στο παράδειγμα αυτό δεν περιέχεται το κόστος διανομής του τελικού προϊόντος , καθώς είναι αρκετά μεταβαλλόμενο ανάλογα με την απόσταση και τα μέσα μεταφοράς που χρησιμοποιούνται.

#### **ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1 – Παραδοχές:**

##### **Οικοδομικός Περλίτης**

- **Σύγκριση 2 υλικών για οικοδομικές εφαρμογές τελικής κοκκομετρίας 1-3mm:**
  - Τουρκικού Περλίτη μεγέθους πρώτης ύλης: **0.6 – 1.2mm**
  - Ελληνικού Περλίτη μεγέθους πρώτης ύλης: **0.4 – 1.2 mm**
- Ο Τουρκικός περλίτης μεταφέρεται με κοντέινερ χωρητικότητας 27 τόνων.  
Ο Ελληνικός με κοντέινερ χωρητικότητας 25 τόνων.
- Αξίζει να παρατηρηθεί η διαφορά του κόστους παραγωγής των 2 υλικών. Αν και παρόμοιου μεγέθους , οι ρυθμοί παραγωγής και οι τελικές πυκνότητες διαφέρουν. Το ίδιο ισχύει και για το κόστος παραγωγής.
- Οι τιμές πώλησης και για τα 2 προϊόντα είναι οι ίδιες.

- Στόχος είναι η εύρεση των εσόδων και του κέρδους που προκύπτει από την παραγωγή και πώληση 1 πλήρους κοντέινερ πρώτης ύλης από το κάθε ορυχείο.
- Σαν πιο συνήθης μονάδα προϊόντος , το κόστος παραγωγής έχει υπολογισθεί ανά σακούλα 100 λίτρων. (100Lt) Για την προσθήκη κόστους αναλωσίμων είναι ευκολότερο, κατ' αυτόν τον τρόπο.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΣΟΔΩΝ

ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨ											
ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 2 ΑΝΑ ΣΑΚΙ 100 ΛΙΤΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ											
ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΤΙΜΗ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ	ΡΥΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	ΕΣΟΔΕΙΑ ΑΝΑ ΤΟΝΟ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ			ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡ. ΥΛΗΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΑ
Χώρα	mm	\$/ τόνο πρ. Υλης με μεταφορά	Σακούλες 100λίτρων / ώρα	kg/100lt	100Lt / ton	Lt/ώρα	Lt/τόνο πρ. Υλης	Lt/100Lt	\$/ 100Lt	\$/ 100Lt	\$/ 100Lt
ΕΛΛΑΔΑ	0.4-1.2	148	200	7.8	128	190	122	0.9500	0.375	0.7400	1.345
ΤΟΥΡΚΙΑ	0.6 – 1.2	137	147	9.4	106	186	135	1.2653	0.500	0.9320	1.662
ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΛΩΣΙΜΩΝ – ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΠΡ. ΥΛΗΣ					ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ						
ΤΙΜΗ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ	ΚΟΣΤΟΣ ΣΑΚΟΥΛΑΣ 100 ΛΙΤΡΩΝ	ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΙ ΤΟΝΟΙ ΑΝΑ ΚΟΝΤΕΙΝΕΡ		ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ kg/ώρα							
\$/ Lt	\$/ Bag	LEO	CEV	1560	ΕΛΛΑΔΑ						
0.395	0.23	25	27	1381.8	ΤΟΥΡΚΙΑ						
ΕΣΟΔΑ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΑΝΑ ΚΟΝΤΕΙΝΕΡ											
ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	ΕΣΟΔΕΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ	Revenue	Profit Margin						
	100Lt/Container	\$/Cont	USD - \$ / 100Lt	USD - \$	(AED)						
ΕΛΛΑΔΑ	3205	4312	6	19231	14919						
ΤΟΥΡΚΙΑ	2872	4773	6	17234	12461						

### Συμπεράσματα:

- Αν και δίνεται σαφής εικόνα των μεγεθών ως προς το κόστος και το ποσοστό κέρδους, στην παραπάνω ανάλυση δεν είναι εφικτό να συμπεριληφθεί η ποιότητα σαν παράγοντας αναφοράς. Παρόλα αυτά , η παραγωγικότητα και η τελική πυκνότητα του προϊόντος είναι ταυτόχρονα παράγοντας ποιότητας της πρώτης ύλης.
- Παρατηρούμε ότι το κόστος πρώτης ύλης αποτελεί την μεγαλύτερη συνιστώσα του κόστους παραγωγής. Ειδικά σε πρότυπα ενεργειακά συστήματα διόγκωσης , όπου το καύσιμο καταναλώνεται στο ελάχιστο , η παραπάνω παραδοχή είναι εμφανέστερη.
- Είναι σαφές ότι η μεταφορά της πρώτης ύλης είναι σημαντική όχι μόνο ως προς το κόστος της , αλλά ακόμα και ως προς την ποσότητα που μπορεί να αποθηκευτεί σε

ένα κοντέινερ. Μεγαλύτερη μεταφερόμενη ποσότητα σημαίνει ταυτόχρονα , μείωση του κόστους μεταφοράς ανά τόνο πρώτης ύλης.

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.2: Παραδοχές

### Αγροτικός Περλίτης

- Συμπαράγωγή Αγροτικού περλίτη:  
**Σύγκριση 2 υλικών για οικοδομικές εφαρμογές τελικής κοκκομετρίας 2-6mm:**  
- Τουρκικού Περλίτη μεγέθους πρώτης ύλης: **0.8 – 2.3mm**  
- Ελληνικού Περλίτη μεγέθους πρώτης ύλης: **0.6 – 2 mm**
- Κατά την παραγωγή Αγροτικού Περλίτη , ταυτόχρονα προκύπτουν 2 έξοδοι , υψηλής και χαμηλής κοκκομετρίας αντίστοιχα.
- Η τιμή πώλησης του Αγροτικού (χονδρόκοκκος) προϊόντος είναι υψηλότερη από την τιμή του προϊόντος συμπαράγωγής (λεπτόκοκκος).
- Η διακύμανση στην περίπτωση συμπαράγωγής δεν είναι μόνο ως προς την πυκνότητα και την εσοδεία , αλλά και ως προς την αναλογία υψηλής και χαμηλής κοκκομετρίας που προκύπτει στην έξοδο από τα 2 υλικά.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΣΟΔΩΝ

ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ ΠΕΡΛΙΤΗΣ														
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΛΙΤΗ 2 ΤΥΠΩΝ ΑΝΑ ΣΑΚΟΥΛΑ 100 ΛΙΤΡΩΝ														
ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡ. ΥΛΗΣ	ΤΙΜΗ ΠΡ. ΥΛΗΣ	ΩΡΙΑΙΑ ΕΣΟΔΕΙΑ		ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ (kg/100Lt)		ΕΣΟΔΕΙΑ ΑΝΑ ΤΟΝΟ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ		ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ			ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΑ
			ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ	ΛΕΠΤΟΣ	Αγροτικός	Λεπτός	ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ	ΛΕΠΤΟΣ	Lt/ώρα	Lt/τόνο πρ. Ύλης	Lt/100Lt	USD/ 100Lt	USD/ 100Lt	USD / 100Lt
ΕΛΛΑΔΑ	0.8 – 2.3	153	130	10	8.3	9	125	9	190	163	1.3571	0.536	1.0929	1.859
ΤΟΥΡΚΙΑ	1.2 – 2.4	138	90	32	8.5	8.3	87	31	186	180	1.5246	0.602	1.1311	1.963
ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΤΙΜΕΣ & ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ							ΩΡΙΑΙΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ							
ΤΙΜΗ ΠΡΟΠΑΝ.	ΚΟΣΤΟΣ ΣΑΚΟΥΛΑΣ	100Lt	ΤΟΝΟΙ ΑΝΑ CONTAINER		tons/hour									
USD / Lt	USD / Bag		GR	TUR	1169	ΕΛΛΑΔΑ								
0.395	0.23		25	27	1030.6	ΤΟΥΡΚΙΑ								
ΕΣΟΔΑ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΑΝΑ CONTAINER														
ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	ΕΣΟΔΕΙΑ / Container		ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ USD		ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ( USD/Container)	ΕΣΟΔΑ USD	ΚΑΘΑΡΟ ΚΕΡΔΟΣ USD							
	ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ	ΛΕΠΤΟΣ	ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ	ΛΕΠΤΟΣ										
ΕΛΛΑΔΑ	3125	214	6.81	4.90	6207	22329	16122							
ΤΟΥΡΚΙΑ	2358	838	6.81	4.90	6275	20165	13890							

### Συμπεράσματα:

- Από τεχνικής πλευράς , είναι εύκολα παρατηρήσιμη η μείωση του ρυθμού παραγωγής όσο ανεβαίνει η κοκκομετρία του υλικού προς διόγκωση. Κάτι τέτοιο , προσθέτει τον χρόνο στον παράγοντα του κόστους , αφού μεγαλύτερες κοκκομετρίες απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο για την παραγωγή μίας μονάδας προϊόντος. Σε περίπτωση συσσώρευσης παραγγελιών , τυχούσες καθυστερήσεις κοστίζουν στην επιχείρηση ειδικά όταν η συσσώρευση οφείλεται σε παραγγελίες αργά παραγόμενων κοκκομετριών.

### **Γενικά Συμπεράσματα:**

- Από πλευράς κόστους το είδος του υλικού προς διόγκωση παίζει σημαντικό ρόλο, για τον καθορισμό της τιμής πώλησης.
- Η ποιότητα του υλικού , ενδιαφέρει την επιχείρηση γιατί περιέχει το παράγοντα της παραγωγικότητας , δηλαδή την παραγωγή χαμηλής πυκνότητας υλικού (όγκου) σε λιγότερο χρόνο και με μικρότερη κατανάλωση πρώτης ύλης.
- Συχνά προκύπτει ότι ακριβότερες πρώτες ύλες προσδίδουν μεγαλύτερο κέρδος στην επιχείρηση. Συνήθως το κόστος καυσίμου είναι χαμηλότερο λόγω καθαρότητας του υλικού.
- Το **κόστος μεταφοράς** των τελικών προϊόντων είναι όπως έχει προαναφερθεί κυμαινόμενο και προστίθεται στην τιμή πώλησης ανεξάρτητα. Ενδεικτικά αξίζει να αναφερθεί ότι ποσοστιαία κυμαίνεται από **10% - 25%** της τιμής πώλησης που αναγράφεται στα παραδείγματα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε**

**Τμήμα πωλήσεων - Σύσταση ομάδας πωλήσεων**

**Εφαρμογές χρήσης προϊόντων προϊόντων**

**Προώθηση προϊόντων - Μάρκετινγκ**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε**

### **Τμήμα πωλήσεων**

#### **Γενική περιγραφή κεφαλαίου:**

Το κομμάτι των πωλήσεων σε μία επιχείρηση παραγωγής και προώθησης προϊόντων περλίτη, αποτελεί το μεγαλύτερο και το πιο σύνθετο κομμάτι μίας τέτοιας επιχείρησης.

Το μεγάλο εύρος εφαρμογών και η ύπαρξη πολλών ανταγωνιστικών προϊόντων σε κάθε εφαρμογή, απαιτεί τεχνογνωσία ως προς την εκάστοτε εφαρμογή, επομένως είναι απαραίτητο οι πωλητές της επιχείρησης να είναι τεχνικά καταρτισμένοι ως προς την διαδικασία για την οποία θα χρησιμοποιηθεί το κάθε προϊόν περλίτη.

Ο περλίτης χρησιμοποιείται στην κατασκευή, στον τομέα Πετρελαϊκών προϊόντων, στην διήθηση λαδιών και βρώσιμων προϊόντων (ζάχαρη, βρώσιμα έλαια) και στις καλλιέργειες (υδροπονικές και μη), γεγονός που καθιστά απαραίτητη την πιστοποίηση των προδιαγραφών που απαιτούνται, ενώ για την παραγωγή και πώληση είναι απαραίτητη η πλήρης γνώση της διαδικασίας εφαρμογής. Η εφαρμογή του περλίτη σε όλους τους προαναφερθέντες κλάδους είναι αρκετά πολύπλοκη και απαιτεί ειδικό εξοπλισμό που συχνά η ίδια η επιχείρηση καλείται να παρέχει για να είναι εφικτή η διεκπεραίωση της εφαρμογής.

Στο παρόν κεφάλαιο, θα οριστούν οι απαιτήσεις ανθρωπίνων πόρων και ειδικοτήτων για κάθε τμήμα, καθώς θα δοθούν και ορισμένα παραδείγματα μεθόδου προώθησης προϊόντων στους τομείς της κατασκευής, της μόνωσης δεξαμενών καυσίμων και των αγροτικών εφαρμογών. Θα γίνει σύγκριση των προδιαγραφών και των ιδιοτήτων των ανταγωνιστικών προϊόντων με τα προϊόντα περλίτη σε κάθε τομέα.



Προϊόντα Περγλίτη [2]

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε:

Πάνω αριστερά: Τμήμα μονωτικής σωλήνας περγλίτη. (Κρυογενική)

Πάνω δεξιά : υδροπονική καλλιέργεια με αγροτικό περγλίτη.

Κάτω αριστερά: Μονωτικά τούβλα φτιαγμένα με ελαφροβαρές κονίαμα.

Κάτω δεξιά: Τμήμα προκατασκευασμένου πλακιδίου με γύψο ή δεμένο με πυριτικό νάτριο.

## **1. Τμήμα πωλήσεων και σύσταση ομάδας πωλήσεων**

Απαιτούμενο ανθρώπινο δυναμικό τμήματος πωλήσεων – Διαχωρισμός σε υπό-τμήματα.

Στις παρακάτω παραγράφους, δίνεται η εικόνα των διαφορετικών υπό-τμημάτων του τμήματος πωλήσεων των προϊόντων και των υπηρεσιών που το κάθε τμήμα παρέχει.

Σε κάθε παράγραφο, παρατίθεται ένας πίνακας ανθρώπινου δυναμικού για να γίνουν σαφείς οι απαιτούμενες ειδικότητες και τεχνογνωσίες του κάθε υπό-τμήματος.

### **1.1 Τμήμα Οικοδομικών εφαρμογών**

Μέσω αυτού γίνεται προώθηση όλων των προϊόντων που σχετίζονται με την κατασκευή. Τα κυριότερα προϊόντα είναι το ελαφροβαρές κονίαμα , ο περλοσοβάς και μία ειδική κοκκομετρία υδροφοβικού περλίτη που τοποθετείται με χαλαρή πλήρωση.

Στην παρακάτω παράγραφο δίνεται η σύσταση του τμήματος με τις ειδικότητες και την δραστηριότητα των υπαλλήλων του τμήματος.

#### **1.1.1 Σύσταση Τμήματος οικοδομικών εφαρμογών**

<u>Τμήμα Οικοδομικών Εφαρμογών</u>		
<b>Τίτλος</b>	<b>Ειδικότητα</b>	<b>Ευθύνες - Δραστηριότητα</b>
Τεχνικός Διευθυντής	Πολιτικός Μηχανικός	<ul style="list-style-type: none"><li>• Διοίκηση τμήματος</li><li>• Διαμεσολάβηση μεταξύ βασικών πελατών</li><li>• Τελικός έλεγχος προσφορών</li><li>• Υπεύθυνος παρουσιάσεων / Εκθέσεων</li></ul>
Υπεύθυνος Προδιαγραφών	Πολιτικός Μηχανικός	<ul style="list-style-type: none"><li>• Υπεύθυνος δειγμάτων και ελέγχου προδιαγραφών</li><li>• Σύνταξη και ανανέωση δελτίων προϊόντων</li><li>• Υπεύθυνος χημικών αναλύσεων προδιαγραφών</li></ul>
Υπεύθυνος Έργων	Πολιτικός Μηχανικός	<ul style="list-style-type: none"><li>• Τιμολόγηση έργου</li><li>• Διαστασιολόγηση έργου</li><li>• Εκτίμηση διάρκειας έργου</li></ul>
Υπεύθυνος εργολάβων * & Συμβουλευτ. εταιριών	Πολιτικός Μηχανικός	<ul style="list-style-type: none"><li>• Προσέγγιση συμβουλευτικών εταιριών</li><li>• Ενημέρωση και επαφή με εργολάβους</li></ul>
Υπεύθυνος Εφαρμογών **	Εργολάβος οικοδομών	<ul style="list-style-type: none"><li>• Διοίκηση συνεργείου οικοδομών</li><li>• Υπεύθυνος προμήθειας μηχανών</li></ul>
Συνεργείο οικοδομών	Οικοδόμοι	<ul style="list-style-type: none"><li>• Πρακτική εκπαίδευση στην εφαρμογή προϊόντων</li><li>• Εκπαίδευση στις μηχανές άντλησης</li><li>• Διεκπεραίωση μικρών έργων</li></ul>

\* Για να χρησιμοποιηθεί ο περλίτης σε ένα έργο, απαιτείται η προτυποποίηση του προϊόντος από την συμβουλευτική εταιρία. Η συμβουλευτική εταιρία με αίτημα της, επιλέγει την χρήση του περλίτη σαν υλικό και δίνει οδηγίες στον εργολάβο για τη μέθοδο εφαρμογής και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν. Για τον λόγο αυτό, η επαφή με τους Συμβούλους του κάθε έργου είναι μεγάλης σημασίας γιατί αυτοί καθορίζουν το αν θα χρησιμοποιηθεί περλίτης στο έργο.



**\*\*** Η χρήση σκυροδέματος περλίτη , απαιτεί ειδικές μηχανές. Ο υπεύθυνος εργολάβων εκπαιδεύει τους εργολάβους για τη σωστή επιλογή μίγματος και την χρήση της μηχανής. Ειδικά, σε μεγάλα έργα αυτό είναι απαραίτητο για την κατανομή χρόνου σε συνάρτηση με την κοστολόγηση του έργου.

Το τμήμα οικοδομικών εφαρμογών περλίτη , ειδικεύεται στην προώθηση των παρακάτω προϊόντων που σχετίζονται με τις παρακάτω οικοδομικές κατασκευές:

### 1.1.2 Ελαφροβαρές μονωτικό κονίαμα περλίτη - περλομπετόν:

Χρησιμοποιείται για την ενίσχυση της θερμικής και ακουστικής μόνωσης δαπέδων και τοποθετείται σε ταράτσες, μπαλκόνια και παντός είδους δάπεδα.

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΦΡΟΒΑΡΟΥΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ ΠΕΡΛΙΤΗ \*

Ιδιότητα	Περλομπετόν	Μπετόν Αφρού
Πυκνότητα	320 – 640 kg/m <sup>3</sup>	150 – 250 kg/m <sup>3</sup>
Θερμική αγωγιμότητα	K = 0.07 w/m·°K	K = 0.35 w/m·°K
Αντοχή σε θλίψη	1.5 - 3.5Mpa	0.8 – 2.2 Mpa
Θερμική αντοχή	πυρίμαχο (3 ώρες)	εύφλεκτο
Διάρκειας ζωής	>30 ετών	< 20 ετών

\*Οι κύριες ιδιότητες του κονιάματος είναι (ASTM [34]):στον παραπάνω πίνακα, όπου συγκρίνονται οι ιδιότητες του περλομπετού με το μπετόν αφρού.

Το περλομπετόν έχει έως και 3 φορές μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη από το μπετόν αφρού που είναι το κύριο ανταγωνιστικό προϊόν σε αυτού του είδους την εφαρμογή. Επίσης έχει έως και 5 φορές χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα.

### Θέματα κόστους / τιμολόγησης:

- Η υψηλή θερμική αγωγιμότητα επιτυγχάνει την μείωση του ύψους του κονιάματος ανά τετραγωνικό τουλάχιστον 35% σε σχέση με το μπετόν αφρού.
- Ο μικρός χρόνος εφαρμογής λόγω του χαμηλού του βάρους αποτελεί εξαιρετικό πλεονέκτημα από πλευράς εργατικού κόστους.
- Η υψηλή του αντοχή σε θλίψη , επιτρέπει την τοποθέτηση πλακιδίων απ' ευθείας πάνω στο στρώμα του περλομπετού, αφού έχει πρώτα γίνει στεγανοποίηση του δαπέδου. Αντίθετα, στην περίπτωση χρήσης αφομπετού, είναι απαραίτητη η τοποθέτηση απλού κονιάματος για μεγαλύτερη σκληρότητα.

- Σε συνδυασμό με ανακλαστική μεμβράνη της εταιρίας SIKA AG, έχει αναπτυχθεί προϊόν θερμομόνωσης, ηχομόνωσης και υδρομόνωσης για ταράτσες. Το προϊόν είναι ανταγωνιστικό της πολυουρεθάνης ως προς την θερμομόνωση.

### Πίνακας αναλογιών μιγμάτων:

Για λόγους πληρότητας, παρακάτω δίνονται οι αναλογίες των μιγμάτων για το ελαφροβαρές περλομπετόν, καθώς και οι προδιαγραφές του κάθε μίγματος.

Αναλογία μίγματος				Τεχνικές προδιαγραφές μίγματος				
Τσιμέντο: Περλίτης (αναλογία)	OPC Τσιμέντο (kgs)	Σακούλες 100Lt Περλίτη	Νερό (m <sup>3</sup> )	Υγρή Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Ξηρή Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Αντοχή Θλίψης (MPa)	Θερμική Αγωγιμότητα. (W/m <sup>2</sup> °K)	Συντελεστής U 150mm (W/m <sup>2</sup> °K)
1/4	375	10	0.30	808+/- 100	640+/- 100	2.41 – 3.45	0.10 – 0.12	0.50 – 0.60
1/5	300	10	0.29	728+/- 100	544+/- 100	1.59 – 2.35	0.09 – 0.10	0.45 – 0.50
1/6	250	10	0.27	648+/- 100	448+/- 100	0.97 – 1.38	0.08 – 0.09	0.40 – 0.45
1/8	190	10	0.27	584+/- 100	384+/- 100	0.55 – 0.86	0.07 – 0.08	0.35 – 0.40

Ειδικά το μείγμα αναλογίας 1/6 είναι πρότυπο σύμφωνα με το ASTM C332-09 [34] για τις περισσότερες μονωτικές εφαρμογές σε ταράτσες. Για μείωση της απώλειας όγκου κατά την άντληση του κονιάματος, χρησιμοποιούμε 40ml αερακτικού μέσου εγκλωβισμού αέρα σε 0.5m<sup>3</sup> σκυροδέματος για τις περισσότερες εφαρμογές.

Με την προσθήκη αερακτικού μέσου, η πιθανή απώλεια όγκου λόγω άντλησης και θραύσης περλίτη, μπορεί να μειωθεί έως και 40%.

Απώλεια όγκου χωρίς A.E.A.\*: έως 20%  
 Απώλεια όγκου με A.E.A.: 5 – 10% κατά μέγιστο.

\* A.E.A: Air Entraining Agent

### 1.1.3 Ελαφροβαρής μονωτικός σοβάς περλίτη [35] , [36]

Αντικαθιστά πλήρως τους απλούς σοβάδες άμμου προσδίδοντας το πλεονέκτημα της θερμοηχομόνωσης. Έχει 60% χαμηλότερο βάρος σε σχέση με τον απλό σοβά.

Μέσω της εφαρμογής του, επιτυγχάνεται μείωση χρήσης υλικού έως και 1 τόνο ανά 82 τετραγωνικά μέτρα (m<sup>2</sup>), εφαρμογή πάχους 13 χιλιοστών (mm). Μειώνεται μέχρι και 4 φορές η μετάδοση θερμότητας σε σχέση με τους απλούς σοβάδες, μειώνοντας αισθητά την χρήση ηλεκτρισμού για κλιματισμό. Το αδρανές πρόσμιγμα (περλίτης) είναι επίσης πυρίμαχο. Σε περίπτωση που απαιτείται αύξηση της αντοχής θλίψης του υλικού, μπορεί να προστεθεί ικανή ποσότητα άμμου, γεγονός που όμως μειώνει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας αισθητά.

Θέματα κόστους – χρόνου εφαρμογής - τιμολόγησης:

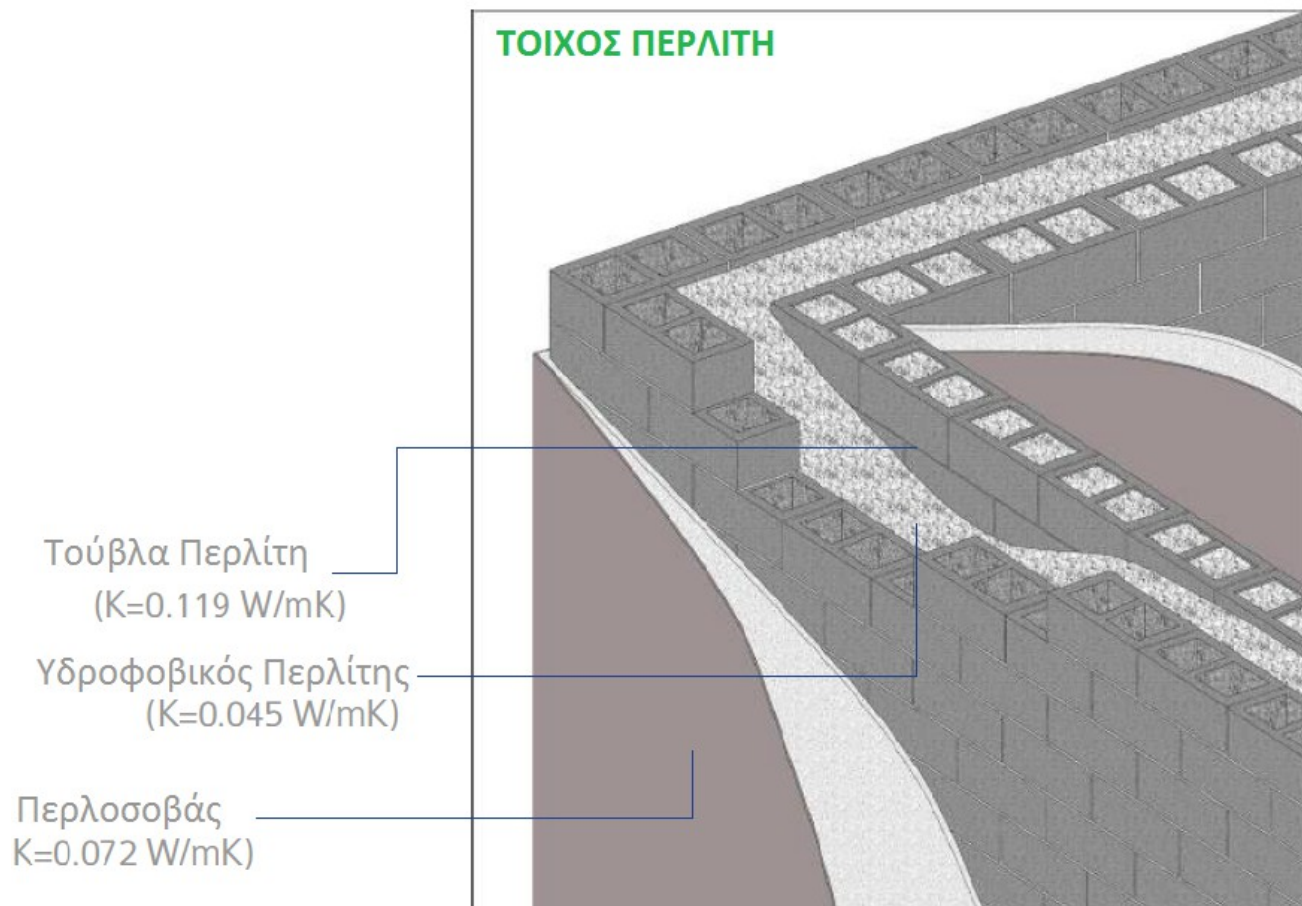
- Ευκολότερο και ταχύτερο στην εφαρμογή.
- Μείωση της χρήσης ηλεκτρισμού για κλιματισμό.
- Απαιτεί 36 – 43% λιγότερο νερό για την εφαρμογή του.

Η αναλογία του μίγματος είναι συνήθως σταθερή. Για κάθε 10 χιλιοστά σοβά χρησιμοποιείται αναλογία **1:4 - Τσιμέντου:Περλίτη**. Τελικά απαιτούνται 3 στρώματα των 10 χιλιοστών με τελικό αποτέλεσμα θερμομονωτικό περλοσοβά 30 χιλιοστών.

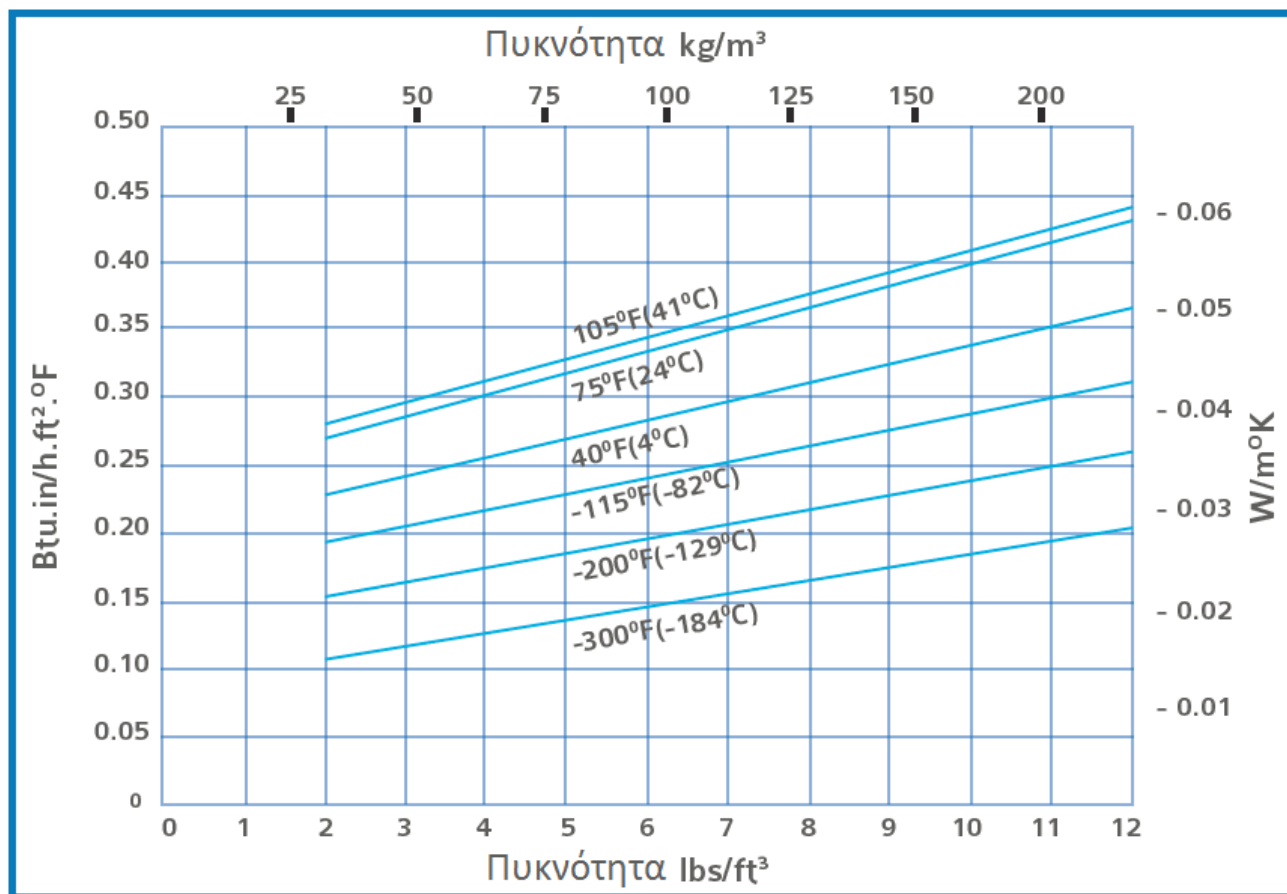
#### 1.1.4 Υδροφοβικός διογκωμένος περλίτης για χαλαρή πλήρωση στην Τοιχοποιία:

Σκέτος υδροφοβικός περλίτης, χρησιμοποιείται εδώ και δεκαετίες σε Ελλάδα και Ευρώπη σαν ανταγωνιστικό προϊόν της πολουρεθάνης, σε χαλαρή πλήρωση στην τοιχοποιία αλλά και σε ξύλινα οικοδομήματα με σκοπό την θερμομόνωση. Η τοποθέτηση του υλικού γίνεται είτε αφού έχει κατασκευασθεί ο τοίχος, σε εσωτερικό θάλαμο μονώσεως όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Εναλλακτικά, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης ειδικών τούβλων με περλίτη στο εσωτερικό τους. Όσον αφορά τις προδιαγραφές, η θερμική αγωγιμότητα ακολουθεί τους ίδιους κανόνες με τις κρυογενικές εφαρμογές, με τη διαφορά ότι στην τοιχοποιία οι θερμοκρασίες προς μόνωση είναι σαφώς μικρότερης απόλυτης τιμής. (θερμοκρασία περιβάλλοντος)

#### ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΙΧΟΥ ΜΟΝΩΜΕΝΟ ΕΞ' ΟΛΟΚΛΗΡΟΥ ΜΕ ΠΕΡΛΙΤΗ



## Καμπύλη Θερμικής Αγωγιμότητας – Πυκνότητας περλίτη για οικοδομικές εφαρμογές:



Καμπύλη θερμικής αγωγιμότητας - Πυκνότητας για συγκεκριμένες τιμές θερμοκρασιών [37]

Για το συγκεκριμένο προϊόν, απαιτείται η τήρηση των προδιαγραφών των ακόλουθων προτύπων:

- ASTM C549 , Μόνωση χαλαρής πλήρωσης με περλίτη
- ASTM C520 , Πυκνότητα κοκκώδους μόνωσης χαλαρής πλήρωσης
- ASTM C236 , Δοκιμή θερμικής απόδοσης για οικοδομικές εφαρμογές , σε μέσο κλειστού θερμοδοχείου.

### Θέματα κόστους – Πλεονεκτήματα:

Η τοποθέτηση του περλίτη με χαλαρή πλήρωση σε τοίχους ή τούβλα , δεν αποτελεί μέσο μείωσης κόστους , αλλά κυρίως αύξησης ποιότητας και διάρκειας ζωής της μόνωσης. Σαν βασικό ανταγωνιστικό προϊόν θεωρείται η πολυστερίνη η οποία αν και φθηνότερη είναι εύφλεκτη , μη φιλική προς το περιβάλλον ενώ η μονωτική της ικανότητα είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με τον περλίτη. Σαν άλλα ανταγωνιστικά προϊόντα , αναφέρουμε τον Βερμικουλίτη και τον αφρό πολυουρεθάνης.

Στις εφαρμογές μόνωσης με χαλαρή πλήρωση , ο περλίτης παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- 22% καλύτερη θερμική αγωγιμότητα από τις προσθήκες πολυστερίνης.
- 6% καλύτερη θερμικής αγωγιμότητα
- Πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Ο περλίτης σαν ηφαιστειογενές πέτρωμα, πρακτικά δεν έχει ημερομηνία λήξης. Αντίθετα, τα χημικά υλικά που τον ανταγωνίζονται, παρουσιάζουν φθορές , που συχνά δεν είναι παρατηρήσιμες παρά μόνο όταν μετρηθεί η επίδοση της μόνωσης μετά από ένα χρονικό διάστημα περίπου 10 ετών.
- 30% καλύτερη θερμική αντίσταση (συντελεστής R) σε σχέση με τη πολυστερίνη και τον αφρό πολυουρεθάνης.
- Τα προϊόντα περλίτη είναι πυρίμαχα σε αντίθεση με τα περισσότερα μονωτικά προϊόντα τα οποία είναι εξαιρετικά εύφλεκτα.

**Υδροφοβικός Περλίτης – Δείγμα 80% αδιάβροχο. \***



\* Πρακτικά στις εφαρμογές χαλαρής πλήρωσης ο περλίτης είναι υδροφοβικός κατά 30-40%.

## 1.2 Τμήμα Κρυογενικών εφαρμογών

1.2.1 Ο περλίτης χρησιμοποιείται ευρέως στην μόνωση Ψυχροκιβωτίων κενού αέρος, σε δεξαμενές καυσίμων και πεπιεσμένων αερίων καθώς και για μόνωση σωληνώσεων, κρυογενικών θερμοκρασιών έως  $T = -150^{\circ}\text{F}$  ( $-100^{\circ}\text{C}$ ).

Η κλίμακα των θερμοκρασιών για την βιομηχανία είναι η ακόλουθη:

Εύρος Θερμοκρασιών	Είδος μόνωσης
$-180^{\circ}\text{C}$ έως $-100^{\circ}\text{C}$	Κρυογενική
$4^{\circ}\text{C}$ έως $-100^{\circ}\text{C}$	Χαμηλής Θερμοκρασίας

Είδη Εφαρμογών χρήσης περλίτη στον τομέα της βιομηχανίας:

- Κρυογενική μόνωση υπό ατμοσφαιρική πίεση σε δακτύλιο δεξαμενής (θάλαμος μόνωσης) με χαλαρή πλήρωση.
- Κρυογενική μόνωση εν κενώ αέρος σε ψυχροκιβώτια πεπιεσμένων καυσίμων και υγρών με χαλαρή πλήρωσης. ( Υγρό Άζωτο LN , Υγρό Οξυγόνο LOX , Φυσικό αέριο LNG , Ήλιο κ.α) Τα πολύ χαμηλής θερμοκρασίας (Super Cold / Extremely Cold) υγρά όπως το Υδρογόνο και το Ήλιο , αποθηκεύονται σε διπλού τοιχώματος σφαιρικά δοχεία με δακτυλιοειδή θάλαμο μονώσεως που γεμίζει με περλίτη.
- Υδροφοβικές ινοπλισμένες σωλήνες περλίτη για μόνωση σε κρυογενικές θερμοκρασίες (εναλλάκτες θερμότητας) αλλά και για υψηλές θερμοκρασίες έως  $600^{\circ}\text{C}$  (σωλήνες λαδιού , νερού κ.α.)

### ΕΙΔΗ ΜΟΝΩΣΗΣ ΚΡΥΟΓΕΝΙΚΟΥ ΠΕΡΛΙΤΗ ΜΕ ΧΑΛΑΡΗ ΠΛΗΡΩΣΗ [36]



Κρυογενική Μόνωση Ατμοσφαιρικής πίεσης  
Δεξαμενή πεπιεσμένου υγρού καυσίμου

Εφαρμογές κρυογενικής μόνωσης με μέθοδο χαλαρής πλήρωσης διογκωμένου περλίτη.

Πυκνότητα υλικού: 45 - 55 kg/m<sup>3</sup>  
Εύρος διάστασης κόκκων: 0-1mm

Αριστερά: Μόνωση δεξαμενής υπό P=1bar

Δεξιά: Μόνωση εν κενώ αέρος υπο-πίεσης διατηρούμενης με αέριο άζωτο.



Κρυογενική μόνωση εν κενώ αέρος  
Δεξαμενές φυσικού αερίου

### 1.2.2 Σύσταση τμήματος κρυογενικών εφαρμογών

Τμήμα Κρυογενικών Εφαρμογών		
Τίτλος	Ειδικότητα	Ευθύνες - Δραστηριότητα
Τεχνικός Διευθυντής	Χημικός / Μηχ Μηχανικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διοίκηση τμήματος</li> <li>• Υπεύθυνος ανάπτυξης προϊόντων</li> <li>• Τελικός έλεγχος προσφορών</li> <li>• Υπεύθυνος παρουσιάσεων / Εκθέσεων</li> </ul>
Υπεύθυνος Τιμολόγησης & Εκτίμησης έργου	Πολιτικός Μηχανικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Τιμολόγηση έργου</li> <li>• Εκτίμηση διάρκειας έργου</li> <li>• Εκτίμηση κόστους έργου</li> </ul>
Χειριστής Φορητού συστήματος διόγκωσης *	Μηχανικός	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χειρισμός φορητού φούρνου διόγκωσης</li> <li>• Υπεύθυνος ποιοτικού ελέγχου</li> </ul>
Υπεύθυνος Μάρκετινγκ	Οικονομικά Βιομηχανίας	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εύρεση νέων πελατών</li> <li>• Προώθηση προϊόντων</li> </ul>
Συνεργείο εφαρμογής	Εργατικό προσωπικό	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Τροφοδοσία πρώτης ύλης στο φορητό σύστημα</li> <li>• Υπεύθυνοι αναλωσίμων</li> </ul>

\* Οι ποσότητες περλίτη ανά δεξαμενή / ψυχροκιβώτιο είναι συχνά μεγαλύτερες από 1000m<sup>3</sup> ανά δεξαμενή , με αποτέλεσμα η μεταφορά και εφαρμογή του διογκωμένου προϊόντος δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα. Για τέτοιες εφαρμογές συνήθως χρησιμοποιούνται φορητά συστήματα διόγκωσης , χωρίς σύστημα κυκλωτισμού. Η πρώτη ύλη μεταφέρεται στο χώρο προς μόνωση, το υλικό διογκώνεται και μέσω αντλιών αερομεταφοράς ο περλίτης εγχέεται στον θάλαμο μόνωσης. Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα φορητό σύστημα διόγκωσης.



Φορητός φούρνος διόγκωσης [38]



### 1.2.3 Κρυογενικός Περλίτης χαλαρής πλήρωσης υπό ατμοσφαιρική πίεση.

Η μόνωση με περλίτη σε δεξαμενές ατμοσφαιρικής πίεσης συνήθως είναι σε δοχεία διπλού τοιχώματος με τον δακτυλιοειδή θάλαμο μόνωσης να γεμίζεται με διογκωμένο περλίτη. Για μεγάλες απαιτήσεις όγκου χρησιμοποιείται φορητό σύστημα διόγκωσης, που συνιστάται από φούρνο, φίλτρο παλμών και ειδική αντλία στην έξοδο μέσω της οποίας γίνεται η τοποθέτηση του περλίτη με αερομεταφορά.

Βασικοί παράμετροι προδιαγραφών είναι και σε αυτή την περίπτωση η θερμική αγωγιμότητα και η σκληρότητα του υλικού. Η θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται από το μέγεθος του υλικού και την πυκνότητά του. Η σκληρότητα του είναι επίσης μεγάλης σημασίας γιατί καθορίζει το ποσοστό συμπίεσης του περλίτη μετά την κατακράτησή του στον δακτυλιοειδή θάλαμο μόνωσης.

Οι τυπικές προδιαγραφές / χαρακτηριστικά του κρυογενικού περλίτη είναι:

- Θερμική αγωγιμότητα: για  $T = -40^{\circ}\text{C}$ ,  $0.035 - 0.039 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$
- Θερμική αγωγιμότητα: για  $T = -126^{\circ}\text{C}$ ,  $0.025 - 0.029 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$
- Ανάλυση κοσκίνισης / Διάσταση: (βλ. εικόνα)  
Max 10% +16mesh (1.18mm)  
Min 50% +100mesh (0.15mm)
- Χαλαρή πυκνότητα:  $45 - 55 \text{ kg/m}^3$
- Συμπιεσμένη πυκνότητα:  $65 - 70 \text{ kg/m}^3$
- Συντελεστής συμπίεστικότητας: max 20%

Στιγμιότυπο γεμάτου θαλάμου μόνωσης δεξαμενής / Τυπική ανάλυση κοσκίνισης [37]



#Πλέγμα, (mm)	% διαπερνά κόσκινο	% Κατακρατείται από το κόσκινο
#16, 1.18mm	90 - 100%	10% κατά μέγιστο
#100, 0.15mm	0 - 20%	80% κατά μέγιστο

Τυπική ανάλυση κοσκίνισης Κρυογενικού περλίτη 0-1mm

## **Πρότυπα / προδιαγραφές:**

Στον τομέα των κρυογενικών εφαρμογών οι προδιαγραφές είναι αρκετά πιο απαιτητικές σε σχέση με τα προϊόντα οικοδομής, κυρίως λόγω της ακρίβειας των προδιαγραφών μόνωσης και του μεγέθους των φορτίων καυσίμων που περιέχουν οι δεξαμενές. Μία δεξαμενή 1500 κυβικών μέτρων (m<sup>3</sup>) περιέχει καύσιμα αξίας εκατομμυρίων δολαρίων (\$).

Σε περίπτωση διαρροής θερμότητας ή απορρόφησης υγρασίας από την μόνωση, παράγεται πάγος στον θάλαμο μονώσεως, καθιστώντας απαραίτητη την αφαίρεση του περλίτη και πιθανώς του υγρού καυσίμου που περιέχει η δεξαμενή. Το κόστος σε μία τέτοια περίπτωση είναι εξαιρετικά υψηλό.

## **Πρότυπα:**

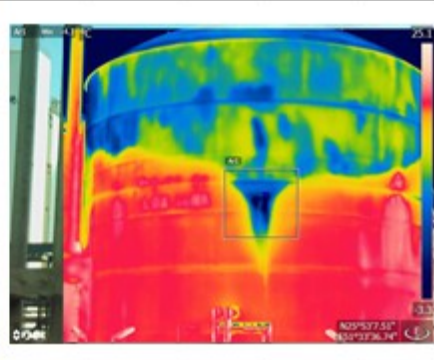

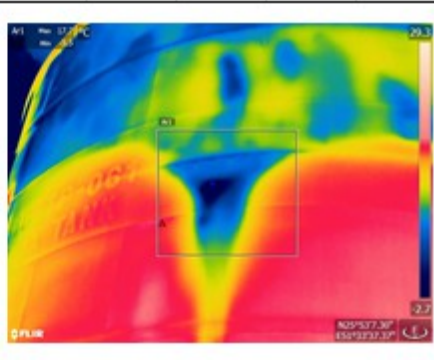
- ASTM C549 – 06 / 2012 : Τυπικές προδιαγραφές μόνωσης χαλαρής πλήρωσης με περλίτη.
- ASTM C740/C740M -13 : Μέθοδος κρυογενικής ανακλαστικής μόνωσης εν κενώ.
- ASTM C1774-13 : Μέθοδος δοκιμών Θερμικής απόδοσης σε συστήματα κρυογενικής μόνωσης.
- LINDE LS1508 / 10 : Προδιαγραφές περλίτη και πετροβάμβακα κρυογενικής μόνωση χαλαρής πλήρωσης.

Κάθε εταιρία περλίτη που εκτελεί έργα κρυογενικών εφαρμογών, είναι υποχρεωμένη να τηρεί τις παραπάνω προδιαγραφές. Τα τελευταία πρότυπα LS1508 ελέγχονται πρωτίστως σε ειδικά εργαστήρια της εταιρίας Linde στη Γερμανία.

Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα βλάβης σε δεξαμενή με περλίτη στον θάλαμο μόνωσης. Με αυτό τον τρόπο δίνεται εικόνα της σημασίας της τήρησης των προδιαγραφών.

## Θερμική φωτογραφία , διαρροής μόνωσης σε δεξαμενή υγρού Αζώτου:

Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα θερμογράφημα σε δεξαμενής κρυογενικής μόνωσης με περλίτη, όπου παρατηρήθηκε “ψυχρό σημείο” δηλαδή διαρροή θερμότητας στο άνω τμήμα της μόνωσης. Πρόκειται είτε για διαρροή πάγου από τα συστήματα ψύξης , είτε κατακάθιση της μόνωσης (απώλεια) σε μεγάλο μήκος της δεξαμενής. [39]

ΣΗΜΕΙΟ	ΕΝΔΕΙΞΗ	
1	ΔΥΤΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ <u>Κατώτατη τιμή</u>  T = 4.1oC	
2	ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ <u>Κατώτατη τιμή</u>  T = -5.5oC	
3	ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ - ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΟ ΨΥΧΡΟ ΣΗΜΕΙΟ  T = -5.5oC  Ενδειξη διαρροής ή απώλειας μόνωσης	

Η παραπάνω φωτογραφία αποτέλεσε βλάβη δεξαμενής στο Κατάρ το έτος 2011.

Σαν πρώτη μέθοδος επίλυσης , επιλέχθηκε η αναπλήρωση της δεξαμενής με κρυογενικό περλίτη. 15 μέρες αργότερα το πρόβλημα εμφανίστηκε ξανά. Εν συνεχεία, κρίθηκε απαραίτητη η αφαίρεση όλης της μόνωσης. Τελικά, το πρόβλημα ήταν ένα ράγισμα 5microns στον εσωτερικό μανδύα της δεξαμενής , προκαλώντας διαρροή υγρού αζώτου. Κύριο αίτιο της φθοράς της δεξαμενής είναι οι διαστολές λόγω υγρασίας στο μονωτικό υλικό κατά την τοποθέτηση.

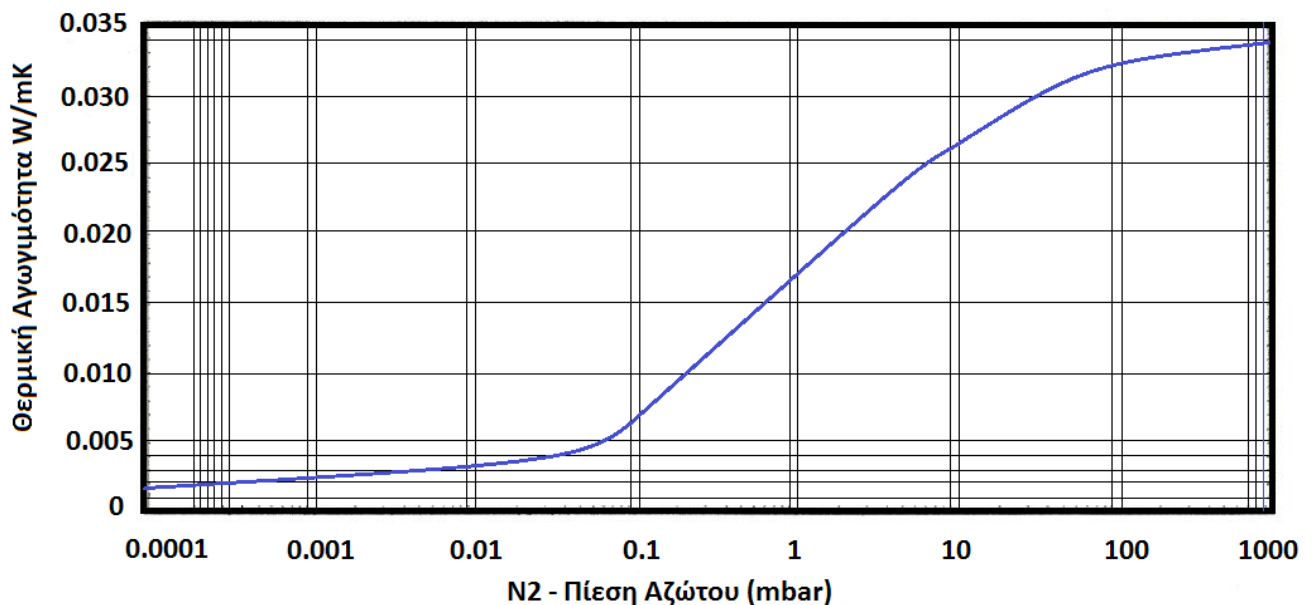
Κόστος επιδιόρθωσης: \$ 150,000

### 1.2.4 Κρυογενικός περλίτης χαλαρής πλήρωσης σε δοχεία αερο-διαχωρισμού (ASU-Cold Boxes) και ψυχροκιβώτια , εν κενώ.

Η διαδικασία πλήρωσης του υλικού είναι σχεδόν όμοια με την πλήρωση ατμοσφαιρικής πίεσης. Με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται παράλληλα μία δεύτερη αντλία ανάστροφης ροής μέσω της οποίας αφαιρείται ο αέρας από τον θάλαμο μονώσεως.

Η αντλία μεταφοράς του περλίτη συνδέεται με την κεντρική είσοδο του σφαιρικού ψυχροκιβωτίου. Ο περλίτης μεταφέρεται μέσω της αντλίας και κατακάθεται στον θάλαμο μονώσεως. Ταυτόχρονα, μέσω δεύτερης αντλίας ανάστροφης ροής αφαιρείται πλήρως ο αέρας του θαλάμου. Μετά την αφαίρεση του αέρα , στον θάλαμο διατηρείται χαμηλή υποπίεση ενώ από διαφορετική είσοδο προστίθεται αέριο άζωτο στον θάλαμο. Η διαδικασία λέγεται Nitrogen Purging. Έτσι διατηρείται καλύτερα η υποπίεση και εξαλείφεται η υγρασία του θαλάμου , αλλά και εμποδίζεται ροή υγρασίας στην μόνωση. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται για πολύ χαμηλής θερμοκρασίας κρυογενικές εφαρμογές, (Super Cryogenic Insulation) , μικρότερες των  $-140^{\circ}\text{C}$ . Ανταγωνιστικά υλικά σε αυτή την εφαρμογή είναι ο πετροβάμβακας (σε μορφή κόκκων) , ο οποίος έχει διαφορετικό εύρος θερμοκρασιών εφαρμογής , υψηλότερη πυκνότητα και κοντινή θερμική αγωγιμότητα. Στο τέλος του κεφαλαίου θα δοθεί πίνακας σύγκρισης των διαφορετικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κρυογενική μόνωση. Η παραπάνω μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως τα τελευταία 20 χρόνια στον τομέα των Πετρελαϊκών. Παρακάτω δίνεται η καμπύλη θερμικής αγωγιμότητας-πίεσεως αζώτου στον θάλαμο για συγκεκριμένη πυκνότητα και θερμοκρασία.

#### Καμπύλη Θερμικής Αγωγιμότητας – Πίεσεως $\text{N}_2$ , $\rho=80\text{kg/m}^3$ , $T=-76\text{oC}$



Θερμική Αγωγιμότητα διογκωμένου περλίτη σαν συνάρτηση της  $\text{N}_2$ -πίεσεως αζώτου σε θερμοκρασίες μεταξύ  $(-76\text{oC}) - (-100\text{oC})$ , με πυκνότητα  $\rho=55\text{kg/m}^3$  [40]

### 1.2.5 Υδροφοβικές ινοπλισμένες σωλήνες περλίτη για μόνωση εφαρμογών σε θερμοκρασίες από 27 οC έως 650οC.

Το χαρακτηριστικό του περλίτη που τον διαχωρίζει από τα υπόλοιπα μονωτικά υλικά είναι η κλίμακα διογκωσιμότητας του. Σε σχέση με τον αρχικό όγκο της πρώτης ύλης, στις κρυογενικές εφαρμογές, διογκώνεται περίπου 20 φορές σε σχέση με τον αρχικό του όγκο, πλησιάζοντας πυκνότητα μέχρι και 40kg/m<sup>3</sup>. Οι χυτές σωλήνες περλίτη χρησιμοποιούνται για μόνωση σε δίκτυα σωληνώσεων υψηλών θερμοκρασιών έως και 650οC. Για την παραγωγή τους απαιτείται διογκωμένος περλίτης πυκνότητας 45 -65kg/m<sup>3</sup>, ειδικές κεραμικές ίνες, πυριτικό νάτριο και προσμίξεις υδροφοβικών υλικών. Με την ίδια ακριβώς μέθοδο, παρασκευάζονται και προκατασκευασμένες πλάκες περλίτη σε σχήμα πλακιδίων.

#### Παραγωγή σωληνώσεων:

Ο διογκωμένος περλίτης πρέπει να είναι απόλυτα ομογενής ως προς το μέγεθος. Για την παρασκευή του χρησιμοποιούνται καλούπια αλουμινίου. Αρχικά, προστίθεται στον περλίτη διάλυμα πυριτικού νατρίου με νερό και κεραμικές ίνες. Αφού αναδευτεί ελαφρώς το μείγμα έχει γίνει ελαφρώς στερεό και έχει πάρει το σχήμα τμήματος σωλήνας. Εν συνεχεία η σωλήνα ψήνεται μαζί με το καλούπι για 2-3 ώρες σε θερμοκρασία 200οC. Στην συνέχεια ψεκάζεται με υδροφοβικό πρόσμιγμα. Η υδροφοβική ιδιότητα των σωληνώσεων βοηθάει εξαιρετικά στην αύξηση του συντελεστή CUI (Corrosion Under Insulation) φθοράς μόνωσης, λόγω των υδρόφιλων χαρακτηριστικών του περλίτη.

Οι τυπικές εφαρμογές του περλίτη για χυτές σωληνώσεις, βάσει προδιαγραφών ASTM C610 [41] είναι:

- μέγιστη Θερμική αγωγιμότητα: **0.0692 W/m<sup>o</sup>K ,(T=38οC)**
- κοκκομετρία: **0-1mm**
- πυκνότητα: **60-80kg/m<sup>3</sup>**
- Μήκος τμήματος σωληνώσεως: 610mm ανά μονάδα
- Πάχος σωληνώσεων: 25 – 75mm (αναλόγως της διατομής)

Λοιπές απαιτήσεις προδιαγραφών: αντοχή εφελκυσμού, αντοχή θλίψης, περιεχόμενη υγρασία, γραμμική συρρίκνωση, υδαταπορροφητικότητα και θερμική απόδοση επιφάνειας.

#### Πρότυπα:

- ASTM C610: Χυτοί μονωτικοί σωλήνες υψηλών θερμοκρασιών.
- Τυπικές προδιαγραφές για μόνωση με επαφή σωλήνας με οστενιτικό ανοξείδωτο χάλυβα.

## Στιγμιότυπα εφαρμογών χυτών σωληνώσεων περλίτη:



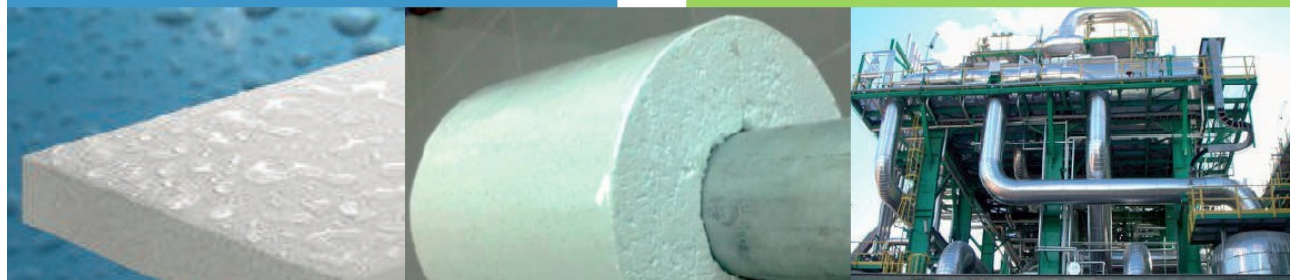
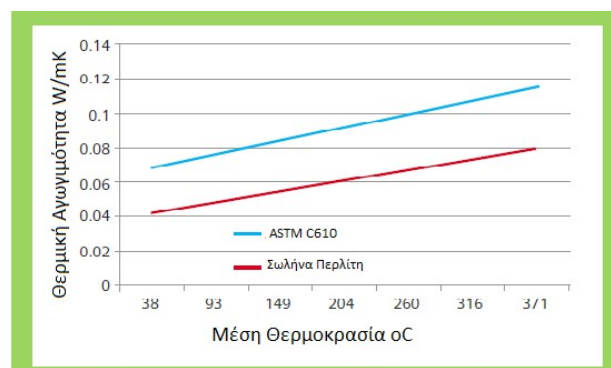
Εφαρμογές χυτών σωληνώσεων [42]

## Προϊόντα και καμπύλη θερμικής Αγωγιμότητας:

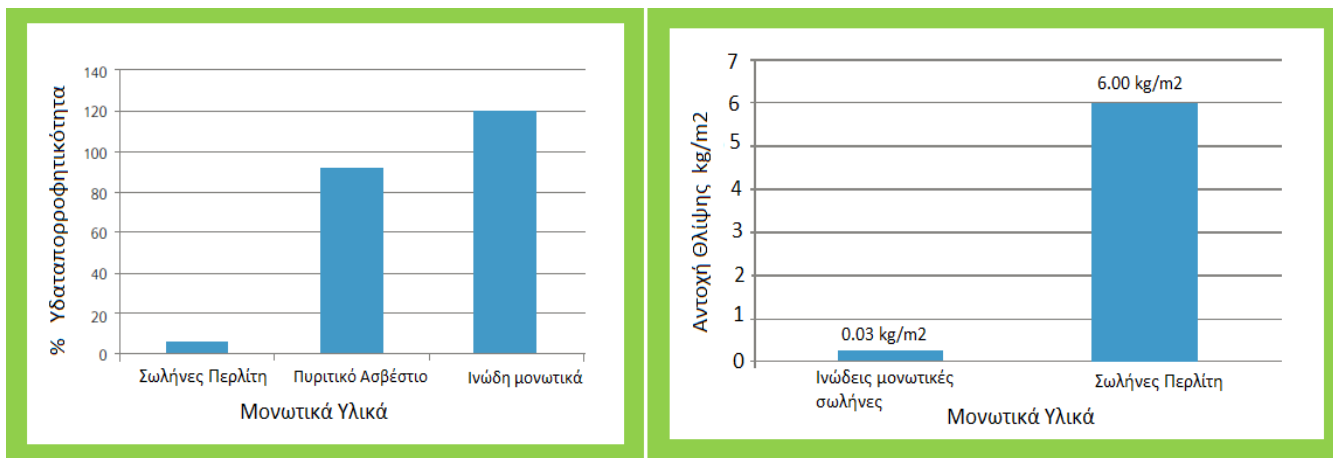
  
Θερμομόνωση

**ΧΥΤΟΣ ΠΕΡΛΙΤΗΣ**

  
Θερμική αντοχή έως  
1,200°F (650°C)



Σύγκριση επιδόσεων και προδιαγραφών σωληνώσεων περλίτη με άλλα μονωτικά υλικά:  
**Καμπύλες Αντοχής θλίψης και υδαταπορροφητικότητας μονωτικών υλικών**



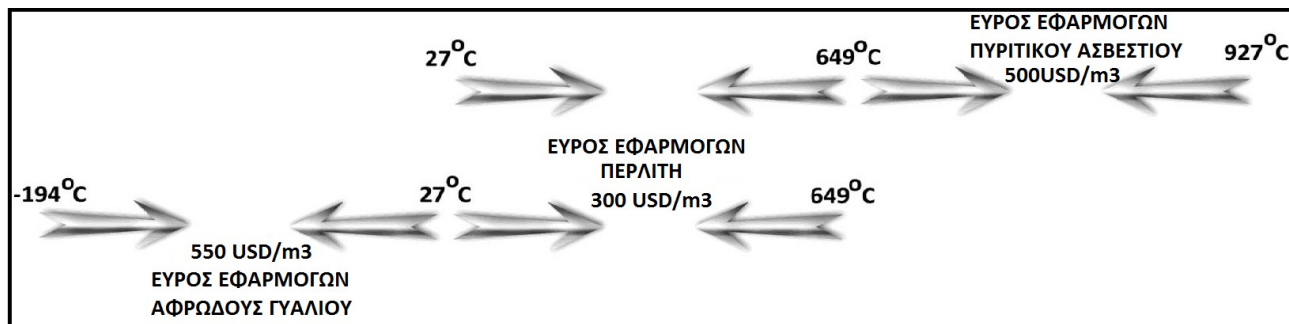
Σύγκριση θερμοκρασιακού εύρους και κόστους εφαρμογών περλίτη σε σχέση με Πυριτικό ασβέστιο και το κυψελωτό αφρώδες γυαλί. (Calcium Silicate , Foam Glass)

Τα τρία βασικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται στην μόνωση σωληνώσεων είναι ο περλίτης, το πυριτικό ασβέστιο και το κυψελωτό αφρώδες γυαλί. Κάθε προϊόν έχει διαφορετικό εύρος χρήσης και διαφορετικό κόστος. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι κύριες διαφορές των τριών υλικών ως προς τις τεχνικές προδιαγραφές και το κόστος.

Τεχνική Ιδιότητα	Σωλήνες περλίτη ASTM 610 11	Πυριτικό Ασβέστιο ASTM C533 13	Αφρώδες Γυαλί ASTM C552 14
Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	205 - 247	240 - 352	98 - 170
Περιεκτικότητα Υγρασίας (%vol)	2.5%	15%	0.5%
Αντοχή Εφελκυσμού (kPa)	380	344	267 - 287
Υδαταπορροφητικότητα (%vol)	42	38	0.50
Θερμική Αγωγιμότητα (W/m <sup>o</sup> K)	0.065	0.068 – 0.078	0.051 – 0.058
Θερμοκρασία χρήσης (°C)	(27) - (620)	(649) - (927)	(-194) - (427)
<b>Κόστος (USD / ανά m<sup>3</sup>)</b>	<b>300</b>	<b>500</b>	<b>550</b>

Παρόλο που ο περλίτης είναι αρκετά φτηνότερος σε σχέση με τα υπόλοιπα μονωτικά υλικά, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τιμές θερμοκρασιών μεγαλύτερες των 600°C. Το εύρος εφαρμογών όμως όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα είναι μεγαλύτερο και εμπεριέχει τις περισσότερες μονωτικές εφαρμογές στον τομέα της βιομηχανίας.

### Κόστος και εύρος εφαρμογών μονωτικών υλικών σε δίκτυα υψηλών θερμοκρασιών [43]



### 1.3 Τμήμα εφαρμογών Αγροτικού & Υδροπονικού περλίτη.

Για την γεωπονία και την υδροπονία, ο περλίτης χρησιμοποιείται ευρέως είτε σαν ανόργανο συστατικό σε μείγμα χώματος, είτε σαν το μέσο ανάπτυξης φυτών στην υδροπονία. Στις καλλιέργειες αλλά και γενικά στα φυτά, ο περλίτης δεν χρησιμοποιείται για την μονωτική του ιδιότητα αλλά για την πορώδη δομή του και την ιδιότητα του να δεσμεύει νερό ίσο με το 53% του όγκου του ή ισοδύναμα 500% της μάζας του, αφού διογκωθεί. Είναι ουδέτερο υλικό ως προς την οξύτητα ( $PH \approx 7$ ), με αποτέλεσμα να μην επηρεάζει το PH του φυτού και διευκολύνει την οξυγόνωση του.

Παρακάτω, θα δοθούν αναλυτικά οι βασικές προδιαγραφές του υλικού, οι εφαρμογές χρήσης του και τα αποτελέσματα μετά από χρήση του σε κάθε εφαρμογή από πλευράς μείωσης κόστους στις καλλιέργειες, τους κήπους, πάρκα, γήπεδα γκολφ κ.α.

Αρχικά, στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η σύσταση του τμήματος Αγροτικού περλίτη, από πλευράς υπαλλήλων και ειδικοτήτων:



### 1.3.1 Σύσταση τμήματος Αγροτικών εφαρμογών

Τμήμα Κρυογενικών Εφαρμογών		
Τίτλος	Ειδικότητα	Ευθύνες - Δραστηριότητα
Υπεύθυνος πωλήσεων	Οικονομικά / πωλήσεις	<ul style="list-style-type: none"><li>• Τιμολόγηση προϊόντων</li><li>• Επαφή με συμβουλευτικές εταιρίες</li><li>• Τελικός έλεγχος προσφορών</li><li>• Υπεύθυνος παρουσιάσεων / Εκθέσεων</li></ul>
Πωλητές	Οικονομικά / πωλήσεις	<ul style="list-style-type: none"><li>• Αναζήτηση πελατών / Μάρκετινγκ</li><li>• Εποπτεία έργων</li><li>• Υπεύθυνοι λιανικής αγοράς</li></ul>
Υπεύθυνος ανάπτυξης προϊόντων & εφαρμογών	Γεωπόνος	<ul style="list-style-type: none"><li>• Έλεγχος προδιαγραφών</li><li>• Ανάπτυξη προϊόντων</li><li>• Υπεύθυνος εφαρμογών περλίτη</li><li>• Ενημέρωση ως προς ανταγωνιστικά προϊόντα</li></ul>

### 1.3.2 Είδη Αγροτικών προϊόντων περλίτη και εφαρμογές τους

Τα βασικά προϊόντα περλίτη αγροτικών εφαρμογών διαχωρίζονται ανάλογα με το μέγεθος τους. Για τις καλλιέργειες όπου ο περλίτης χρησιμοποιείται σαν πρόσμιγμα στο χώμα ή σε μείγμα χώματος ο περλίτης έχει μεγαλύτερη διάσταση. Για την υδροπονία και τις αμμώδεις εκτάσεις όπου καλλιεργούνται βρώσιμα ή κηπευτικά φυτά και ειδικά για εκτάσεις με γρασίδι ο περλίτης έχει μικρότερη διάσταση, παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται για τις οικοδομικές εφαρμογές.

#### **Προϊόντα – Εφαρμογές:** [3]

Διακρίνονται ως προς το μέγεθος και την εφαρμογή:

Προϊόν	Κοκκομετρία	Εφαρμογές
Αγροτικός περλίτης	2-6mm	<ul style="list-style-type: none"><li>• Κηπευτικά, φυτώρια</li><li>• Κήποι ταρατσών</li><li>• Λαχανικά, σπιτικές καλλιέργειες</li><li>• οργανικές καλλιέργειες</li></ul>
Υδροπονικός περλίτης	1-3mm	<ul style="list-style-type: none"><li>• Θερμοκήπια</li><li>• Υδροπονικές καλλιέργειες</li></ul>
Περλίτης για Landscaping*	0-2mm	<ul style="list-style-type: none"><li>• Πάρκα</li><li>• γήπεδα γκολφ</li><li>• Αμμώδεις εκτάσεις</li></ul>

- Landscaping: (τοπίο) Χρήση για μείωση κόστους άρδευσης σε πάρκα, γήπεδα γκολφ κλπ. Έρευνες έχουν δείξει ότι σε αμμώδεις περιοχές η χρήση περλίτη χαμηλής κοκκομετρίας έχει πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τον τυπικό αγροτικό περλίτη. Η άμμος χρησιμοποιείται σαν μέσο ανάπτυξης των φυτών σε ορισμένες χώρες όπως η Μέση Ανατολή και η Αφρική.

## Υδροπονικό σύστημα θερμοκηπίου

Συγκεκριμένα, για την υδροπονία σε θερμοκήπια, έχει αναπτυχθεί ένα νέο σύστημα ανάπτυξης που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Ο περλίτης συσκευάζεται σε ειδικές μακρόστενες σακούλες ανάπτυξης. Το φυτό φυτεύεται μέσα στην σακούλα υδροπονίας απ' όπου περνάνε οι ρίζες του φυτού και αναπτύσσονται μέχρι που την διαπερνούν. Οι ρίζες τελικά βρίσκονται σε δοχείο με διάλυμα νερού και υγρού λιπάσματος. Το δοχείο του διαλύματος οξυγονώνεται συνεχώς μέσω αντλίας για να δίνεται η σωστή ποσότητα οξυγόνου στις ρίζες. Το σύστημα αυτό αυξάνει την ταχύτητα ανάπτυξης του φυτού και επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο των θρεπτικών συστατικών που δεσμεύει.

**Χρήση Υδροπονικής σακούλας ανάπτυξης σε καλλιέργεια υδροπονίας:**



### 1.3.3 Τεχνικές προδιαγραφές και βασικές ιδιότητες

Οι κύριες τεχνικές ιδιότητες που ενδιαφέρουν για τις παραπάνω εφαρμογές περλίτη συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Χαρακτηριστικά / Ιδιότητες	Τιμή
Κοκκομετρία	1-6mm
Υδαταπορροφητικότητα κατ' όγκο	37% (αναρρόφηση 10mbar)
Κατακράτηση νερού κατ' όγκο	56% (ή 500% της μάζας του)
Πυκνότητα υλικού	90-100kg/m <sup>3</sup>
Υγρή πυκνότητα	630 kg/m <sup>3</sup>
Συνολικός όγκος πόρων	93% του όγκου του
Οξύτητα (PH)	Ουδέτερο = 7
Περιεκτικότητα οργανικής ύλης	0%

Οι παραπάνω ιδιότητες είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που ευνοούν την χρήση στις καλλιέργειες. Ειδικά ως προς την μείωση χρόνου άρδευσης, παρουσιάζεται μεγάλο κέρδος αφού ο περλίτης απορροφά το νερό και το προσφέρει σταδιακά στο φυτό. Είναι γνωστό ότι στις καλλιέργειες το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού χάνεται στο υπέδαφος και δεν δεσμεύεται από το φυτό.

Για να γίνει κατανοητός ο βαθμός ωφέλειας από τη χρήση του περλίτη στις καλλιέργειες, παρακάτω δίνονται οι επιδόσεις του περλίτη όσον αφορά την μείωση χρήσης νερού άρδευσης, υγρών λιπασμάτων κ.α.. Τα κύρια πλεονεκτήματα – επιδόσεις του υλικού είναι τα εξής:

- 98% καλύτερη οξυγόνωση του φυτού με χρήση περλίτη. (σε σχέση με καλλιέργεια χώματος χωρίς προσμίξεις)
- έως 40% μείωση χρήσης νερού και λιπασμάτων στην άρδευση λόγω κατακράτησης του από τους πόρους του περλίτη.
- Διατηρεί μία σταθερή ποσότητα υγρασίας στις ρίζες του φυτού.
- Ειδικά για τις καλλιέργειες υδροπονίας, δεν αναπτύσσονται ζιζάνια ή έντομα. Το υλικό είναι πλήρως αποστειρωμένο. Επίσης δεσμεύει το νερό από το χώμα διατηρώντας το ξηρό με αποτέλεσμα να μην αναπτύσσονται μύκητες.

- Εκτός από νερό κατακρατεί και προσφέρει σταδιακά φυσικά θρεπτικά συστατικά ή λιπάσματα.
- Μειώνει τις πιθανότητες καθίζησης στους χλοοτάπητες.
- Μειώνει κατά μέσο όρο την πυκνότητα του μίγματος χώματος με αποτέλεσμα να μειώνεται ο βαθμός καθιζήσεων και στις αγροτικές καλλιέργειες.

Οι παρακάτω εικόνες δίνουν εικόνα των εφαρμογών με βάση τα παραπάνω στοιχεία:



Πάνω Αριστερά: φάρμα υδροπονίας υπό κατασκευή [44]

Πάνω δεξιά: περλίτης σε φυτώρια

Κάτω αριστερά: στρώμα περλίτη κάτω από το χώμα σε χλοοτάπητα [45]

Κάτω δεξιά: Εικόνα ωφέλειας άρδευσης [45]

## Κόστος:

Στο προηγούμενο κεφάλαιο δόθηκε ένα παράδειγμα υπολογισμού του κόστους παραγωγής για 2 διαφορετικά υλικά αγροτικού περλίτη. (παράδειγμα 2). Από το παράδειγμα αυτό είναι εμφανές ότι το κόστος παραγωγής μεγαλύτερων κοκκομετριών είναι υψηλότερο, επομένως ανά κυβικό μέτρο προϊόντος ο περλίτης τιμολογείται ελαφρώς υψηλότερα από τον περλίτη οικοδομικών εφαρμογών:

Ενδεικτικό κόστος Αγροτικού περλίτη: **USD 70 / m<sup>3</sup>**

## 1.4 ΣΥΝΟΨΗ ΤΙΜΩΝ ΠΩΛΗΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΠΕΡΛΙΤΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ	
ΤΥΠΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	ΤΙΜΗ (USD/m <sup>3</sup> )
Οικοδομικός περλίτης (1-3mm)	65
Οικοδομικός περλίτης (0-1mm)	60
Κρυογενικός περλίτης *	165
Σωλήνες περλίτη **	300
Αγροτικός περλίτης (2-6mm)	70
Υδροπονικός περλίτης	65

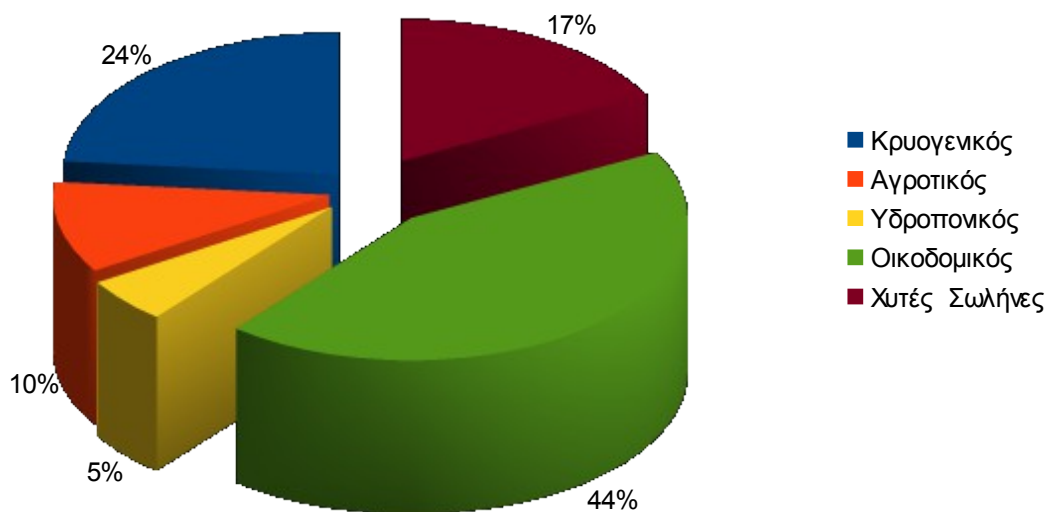
\* Οι αναγραφόμενες τιμές πώλησης του κρυογενικού περλίτη περιλαμβάνουν το κόστος του υλικού και την τοποθέτηση του στην δεξαμενή, συνήθως με φορητό σύστημα διόγκωσης στον χώρο του πελάτη.

\*\*Οι σωλήνες περλίτη αποτελούν προϊόν ειδικής τεχνολογίας υψηλού κόστους και μεγάλου χρόνου παρασκευής. Ένα κυβικό μέτρο προϊόντος με τα συστατικά του, μπορεί να είναι συνολικά έως και 40 μέτρα σωλήνωσης. Εκεί οφείλεται η υψηλή τιμή πώλησης.

## Γράφημα πωλήσεων περλίτη το έτος 2014 – Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα 2014 [46]

Το παρακάτω γράφημα δίνει την εικόνα των πωλήσεων ενός έτους, στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα το έτος 2014. Οι οικοδομικές εφαρμογές και ο τομέας πετρελαϊκών προϊόντων αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό, όπως αναμένεται στις χώρες της μέσης ανατολής.

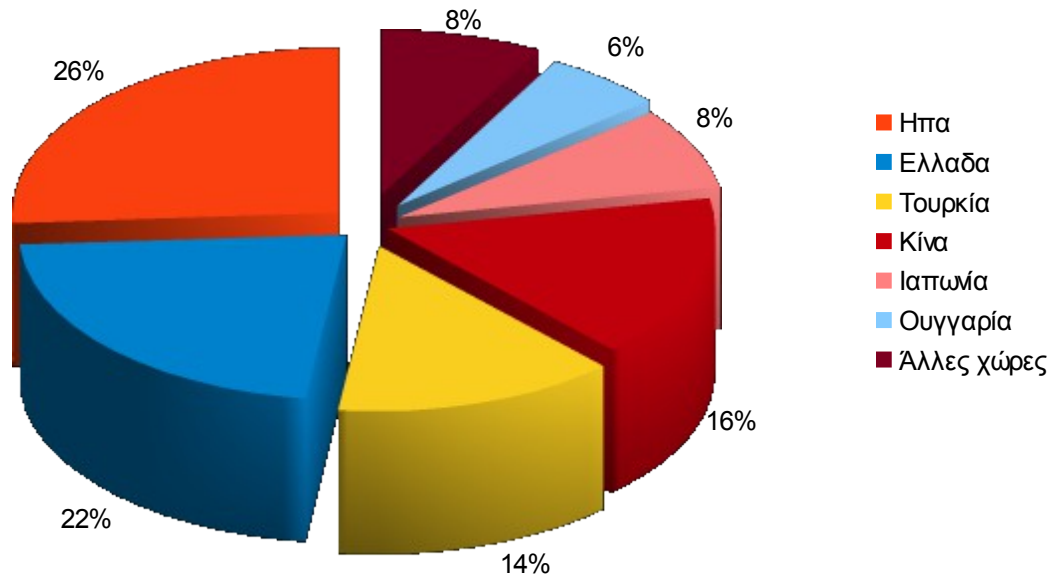
**Κατανομή ύψους πωλήσεων προϊόντων περλίτη 2014**



### 1.5 Γραφήματα εξόρυξης και πωλήσεων περλίτη παγκοσμίως.

#### A. Γράφημα παγκόσμιας παραγωγής περλίτη στις μεγαλύτερες χώρες παραγωγείς:

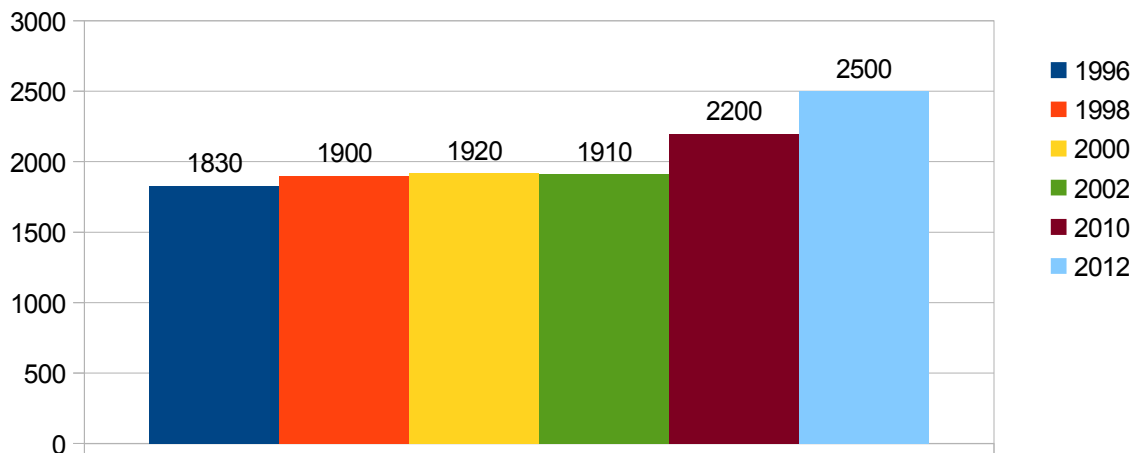
Παγκόσμιοι παραγωγείς Περλίτη ανά τον κόσμο (%)



#### B. Ποσότητες εξόρυξης ορυκτού περλίτη παγκοσμίως σε χιλιάδες τόνους (M.T.)

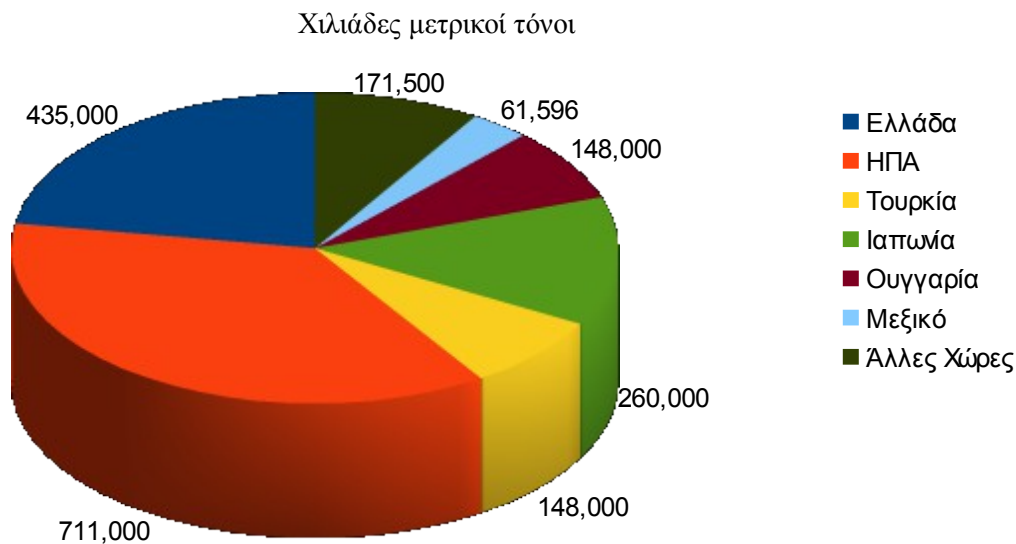
Ποσότητες εξόρυξης ορυκτού περλίτη παγκοσμίως

(χιλιάδες μετρικοί τόνοι M.T.)



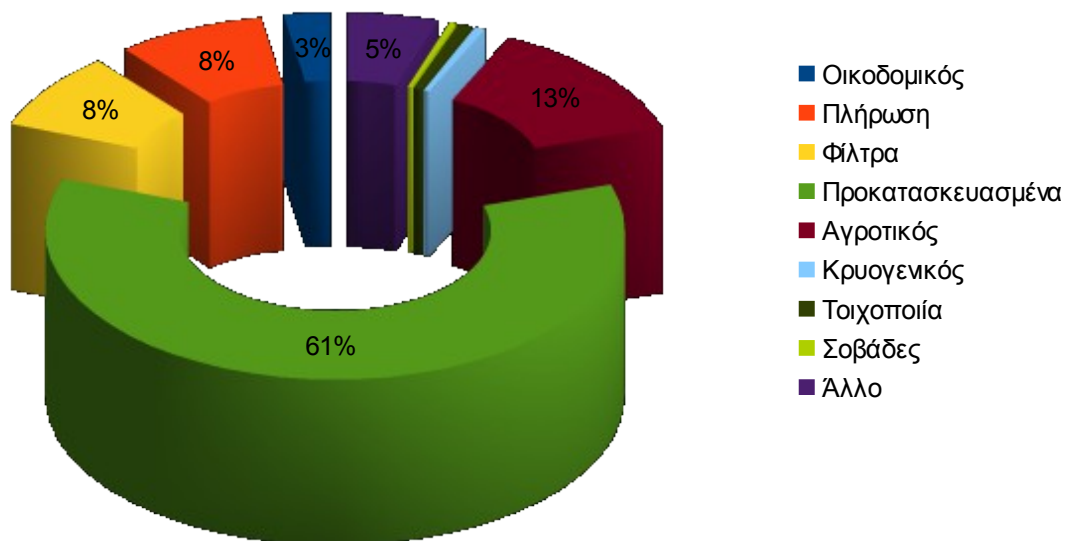
**Γ. Καταναλισκόμενη ποσότητες περλίτη ετησίως από τις κυριότερες χώρες παραγωγείς.**

**Παγκόσμια κατανάλωση περλίτη ανά χώρα**



**Δ. Γράφημα ποσοστιαίων μεγεθών πωλήσεων περλίτη ανάλογα με την εφαρμογή:  
( ετησίως - κατά μέσο όρο)**

**Ποσοστά κατανάλωσης προϊόντων περλίτη ανά εφαρμογή**



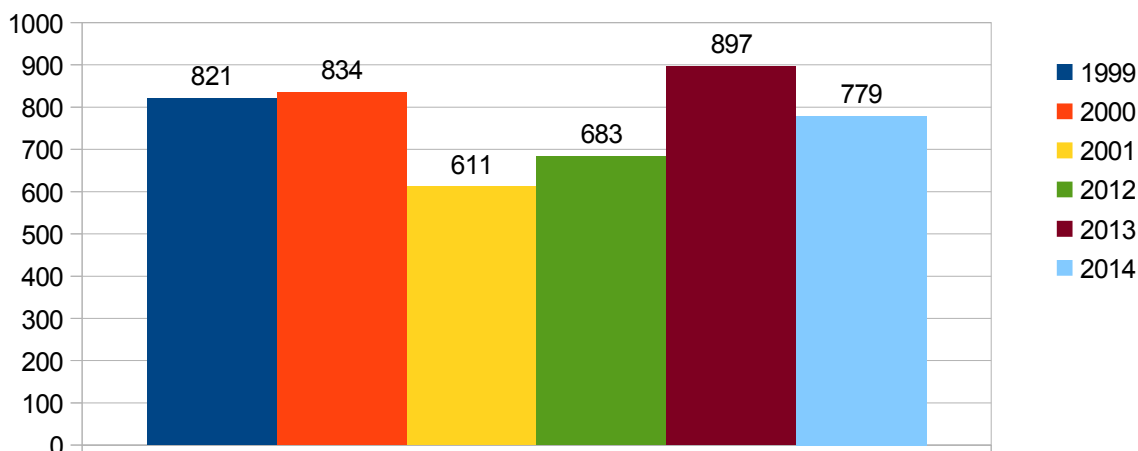


### Ε. Γραφήματα εξόρυξης , παραγωγής και εγχώριας κατανάλωσης περλίτη Η.Π.Α.

Οι Η.Π.Α είναι η χώρα με το μεγαλύτερο ποσοστό εξορύξεων ορυκτού περλίτη. Με πάνω από 18 εργοστάσια εντός της χώρας έχουν τη μεγαλύτερη εγχώρια κατανάλωση και την μεγαλύτερη παραγωγή στον κόσμο. Παρακάτω δίνονται γραφήματα για τις εξορύξεις , για την παραγωγή , τις εξαγωγές και την εγχώρια κατανάλωση.

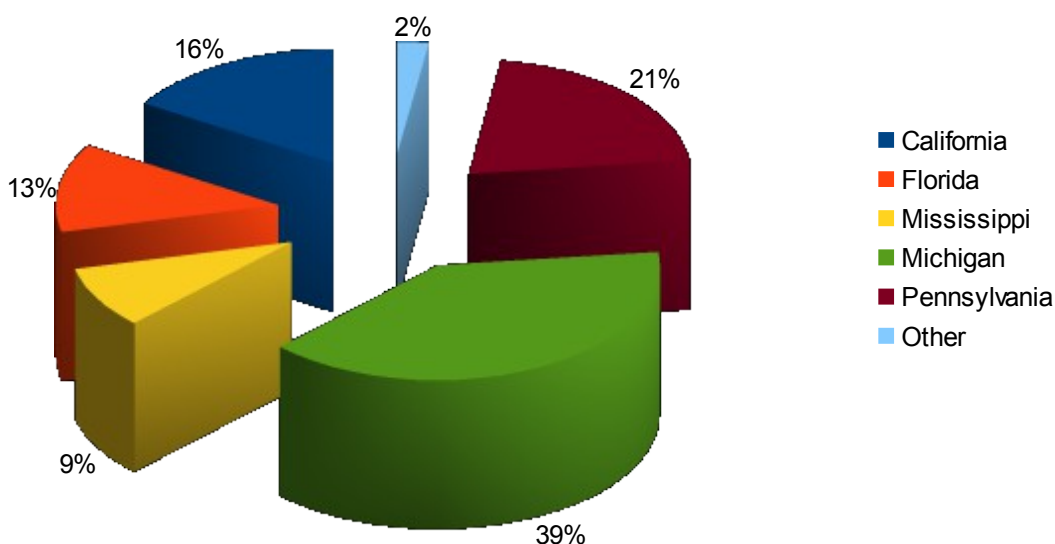
#### Γράφημα εξόρυξης περλίτη στις Η.Π.Α.

(χιλιάδες μετρικοί τόνοι)



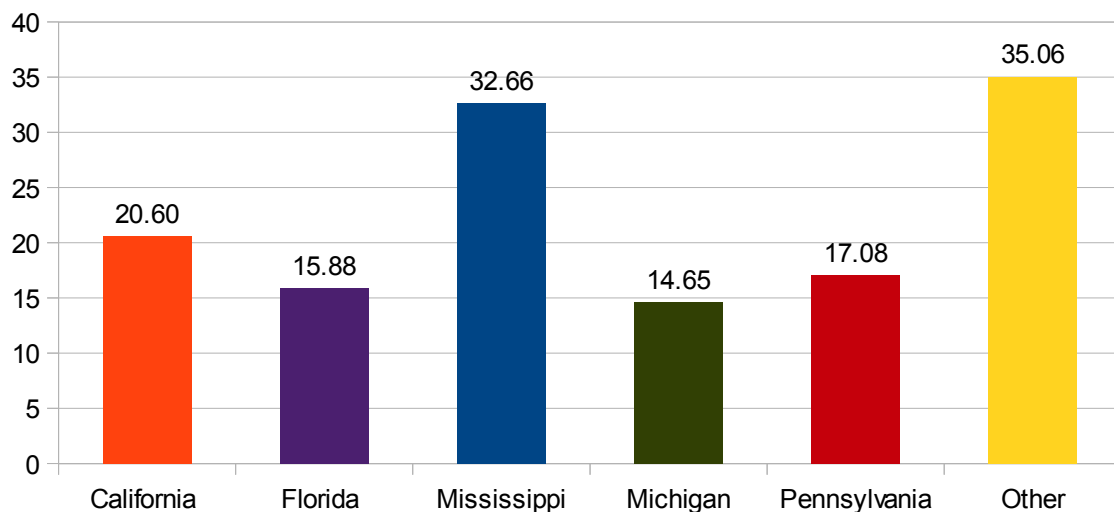
### ΣΤ. Γράφημα κατανάλωσης περλίτη ανά πολιτεία των Η.Π.Α. σε χιλιάδες τόνους

#### Παραγωγή διογκωμένου περλίτη ανά πολιτεία των Η.Π.Α.



## Ζ. Συνολική ετήσια αξία προϊόντων ανά πολιτεία Η.Π.Α.

Συνολική ετήσια μέση αξία προϊόντων περλίτη στις Η.Π.Α. (εκατ. USD - million\$)



Τα παραπάνω γραφήματα είναι πληροφορίες από το ινστιτούτο περλίτη , The Perlite Institute. Τα δεδομένα συλλέγονται ετησίως και μελετώνται σε διεθνή διάσκεψη των μελών του ινστιτούτου από τουλάχιστον 18 χώρες- παραγωγείς προϊόντων περλίτη. Τα παραπάνω δεδομένα αποτελούν τις μέσες τιμές των τελευταίων 5 ετών σε παγκόσμια κλίμακα. [47]

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΤ**

**Οικονομοτεχνικές Μελέτες σε τμήμα παραγωγής και πωλήσεων  
Λύσεις για μείωση κόστους παραγωγής και μείωσης κόστους  
εφαρμογών**

**1. Σύγκριση σύγχρονων & παλαιών συστημάτων διόγκωσης περλίτη**

**2. Εξεργό-οικονομική Ανάλυση Φούρνου διόγκωσης  
Διερεύνηση Δυνατοτήτων βελτίωσης κόστους παραγωγής**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΤ

### 1. Σύγκριση σύγχρονων και παλαιών συστημάτων διόγκωσης.

### 2 Εξεργό-οικονομική Ανάλυση Φούρνου διόγκωσης - Διερεύνηση δυνατοτήτων βελτίωσης κόστους παραγωγής.

**Γενική περιγραφή κεφαλαίου:** Στο κεφάλαιο αυτό τίθεται το θέμα μείωσης του κόστους σε όλα τα τμήματα ενός εργοστασίου διόγκωσης και κατ' επέκταση μίας επιχείρησης επεξεργασίας και πώλησης προϊόντων περλίτη.

Στην πρώτη παράγραφο του κεφαλαίου αυτού, γίνεται μία σύντομη σύγκριση παλαιών συστημάτων διόγκωσης με σύγχρονα συστήματα. Η σύγκριση γίνεται δίνοντας στοιχεία για τη μείωση του κόστους παραγωγής, συντήρησης αλλά και του απαιτούμενου κεφαλαίου για την κατασκευή ενός πλήρους συστήματος διόγκωσης. Η αναφορά ως προς τα σημεία στα οποία εξελίχθηκαν μηχανολογικά, οι σύγχρονοι φούρνοι διόγκωσης, θα βοηθήσουν στην κατανόηση των στόχων και της μεθοδολογίας υπολογισμού των συνιστωσών κόστους της μελέτης της παραγράφου 2 του κεφαλαίου αυτού.

Στην δεύτερη παράγραφο, γίνεται πλήρης μελέτη κόστους εξέργειας για τα 2 συστήματα που περιγράφηκαν στην παράγραφο 1, όπου γίνεται σύγκριση 2 κάθετων φούρνων διόγκωσης. Η μελέτη έχει τίτλο “Σύγκριση εξεργό-οικονομικής ανάλυσης 2 διαφορετικών φούρνων διόγκωσης” [48], όπου μοντελοποιούνται όλα τα μεγέθη κόστους που είναι σημαντικά για την διόγκωση. Έρευνες έχουν δείξει ότι υπάρχει διακύμανση μεταξύ ενέργειας και εξέργειας με σημαντικό αντίκτυπο στο κόστος παραγωγής σχεδόν κάθε βιομηχανικής διαδικασίας με φούρνους ή γενικά καυστήρες. Η μελέτη αυτή έχει αναχθεί με βάση τα στατιστικά δεδομένα κατά την παραγωγή εργοστασίου διόγκωσης τα έτη 2013, 2014 που χρησιμοποιήθηκαν για την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

## Παράγραφος 1:

### **Σύγκριση παλαιών και νέων συστημάτων διόγκωσης**

#### **1.1 Γενικά:**

Τα σύγχρονα διογκωτήρια έχουν μειωμένο όγκο μηχανημάτων, καταλαμβάνουν μικρότερη έκταση, ύψος και έχουν μικρότερο μήκος σωληνώσεων. Στα παλαιά συστήματα, οι απαιτήσεις ψύξης του προϊόντος και ο μη επαρκής έλεγχος της καύσης απαιτούσε μεγάλο μήκος σωληνώσεων από την είσοδο της πρώτης ύλης μέχρι την έξοδο των προϊόντων με αποτέλεσμα να απαιτούνται μηχανήματα μεγάλης ισχύος όπως για παράδειγμα ο ανεμιστήρας αναρρόφησης. Η βελτίωση της τεχνολογίας επέτρεψε την εξαιρετική μείωση του απαιτούμενου ηλεκτρικού φορτίου των κινητήρων και μηχανημάτων καθώς και του καυστήρα του συστήματος. Στην παράγραφο αυτή θα δοθούν και ενδεικτικές τιμές του απαιτούμενου κεφαλαίου για την κατασκευή ενός σύγχρονου εργοστασίου διόγκωσης πριν 10 χρόνια και σήμερα, οι συνολικές απαιτήσεις μετάλλου για τη σύσταση των ικριωμάτων καθώς και οι απαιτήσεις ισχύος σε συνάρτηση με το κόστος ηλεκτρισμού κατά την παραγωγή.

#### **Σύγκριση θαλάμου καύσης παλαιών και νέων φούρνων**



*Αριστερά: Σύγχρονος κλειστός θάλαμος καύσης Incon [19]*

*Δεξιά: Παλαιότερος φούρνος με εκτεθειμένο κάτω κώνο και ροή απόρριψης.*

Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται ο εξωτερικός μανδύας του τμήματος καύσης (φούρνος) ενός διογκωτηρίου. Στην αριστερή εικόνα βλέπουμε ένα σύγχρονο σύστημα [19] διόγκωσης με κλειστό θάλαμο καύσης και μόνωση κεραμοβάμβακα στο εσωτερικό με σκοπό την διατήρηση της πίεσης του θαλάμου σε σταθερά επίπεδα , καθώς και για την μείωση των απωλειών θερμότητας , συνεπώς του κόστους παραγωγής. Στην δεξιά εικόνα φαίνεται ένα παλιότερης τεχνολογίας φούρνος με εκτεθειμένο τον κάτω κώνο του φούρνο για απαγωγή της θερμότητας. Η μη ελεγχόμενη πίεση στον θάλαμο καύσης λόγω μη απομόνωσης , προκαλούσε υαλώσεις και φθορές στον φούρνο , με αποτέλεσμα να είναι οι κάτω και άνω κώνοι του φούρνου εκτεθειμένοι. Σήμερα, τα πυρίμαχα μέταλλα έχουν πολύ καλύτερη αντοχή και μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα με αποτέλεσμα να είναι απαιτείται λιγότερη απαγωγή θερμότητας από τα μέταλλα.

## 1.2 Βασικά χαρακτηριστικά σύγκρισης συστημάτων

Ένας φούρνος διόγκωσης, αποτελείται κυρίως από μηχανικά συστήματα όπως κυκλώνες , σωληνώσεις και πυρίμαχα μέταλλα. Δεν υπάρχουν σύνθετα ηλεκτρικά συστήματα όπως ειδικά κυκλώματα ψύξης ή κινητήρες υψηλής ισχύος εκτός από τους 2 ανεμιστήρες φίλτρου και καύσης. Για τον λόγο αυτό , το βασικό κόστος ενός διογκωτηρίου σχετίζεται με τον όγκο μετάλλου αλλά και το είδος των μετάλλων που χρησιμοποιούνται. (πυρίμαχα μέταλλα)

Οι παλιές τεχνολογίας φούρνοι , ήταν μεγαλύτεροι σε όγκο από τους σύγχρονους , ήταν πολύ πιο ενεργοβόροι και χρησιμοποιούσαν κινητήρες μεγάλης ισχύος. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, (inverter, PLC , καλύτερη μεταλλουργία) αλλά και της μαζικής διαθεσιμότητας των τεχνολογιών αυτών, οι φούρνοι διόγκωσης έχουν μειωθεί πολύ και σε όγκο και σε ενεργειακή κατανάλωση.

Αν και ο περιλίθης σαν υλικό βρίσκει συνεχώς νέες εφαρμογές , οι αρχές επεξεργασίας του παραμένουν οι ίδιες. Για τον λόγο αυτό, αν και τα τμήματα ενός διογκωτηρίου είναι τα ίδια, (κοινό διάγραμμα ροής) , με τη βελτίωση καθενός από αυτά έχουν παρουσιαστεί εξαιρετικές μειώσεις κόστους παραγωγής και όγκου μηχανημάτων. Η μείωση του κόστους σχετίζεται με την καλύτερη απομόνωση και έλεγχο της καύσης , ενώ η μείωση του όγκου με την καλύτερη ψύξη και απαγωγή θερμότητας του υλικού. Η μείωση του όγκου του συστήματος συνεπάγεται και μείωση του μήκους της διαδρομής του υλικού από το σημείο τροφοδοσίας μέχρι την έξοδο, επομένως το μήκος των σωληνώσεων.

Η μείωση του κόστους θα εξηγηθεί αναλυτικά στην παράγραφο 2 του κεφαλαίου όπου γίνεται αναλυτική σύγκριση του συνολικού κόστους παραγωγής μεταξύ 2 φούρνων διόγκωσης παλαιού και νέου τύπου.

### 1.3 Κόστος επένδυσης και σύγκριση μηχανολογικού εξοπλισμού παλαιών και νέων φούρνων διόγκωσης

#### Κόστος επένδυσης φούρνου:

Παρακάτω θα δοθούν ενδεικτικές τιμές απαιτούμενου κεφαλαίου για 2 διαφορετικά συστήματα διόγκωσης που κατασκευάστηκαν στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα το 2010 και το 2014 αντίστοιχα. Το πρώτο σύστημα είναι τεχνολογίας 1995 ενώ το δεύτερο είναι τεχνολογίας 2014. Αν και χρονικά είναι κοντά, η αύξηση των εφαρμογών περιλίτη τα τελευταία χρόνια έδωσαν έναυσμα για την βελτίωση των συστημάτων τα τελευταία 5 χρόνια.

#### Πίνακας 1.1:

Σύγκριση κόστους Μηχανολογικού εξοπλισμού 2 φούρνων		
Στοιχεία [49]	Παλιός Φούρνος (OF)	Νέος Φούρνος (NF)
Κόστος κεφαλαίου φούρνου	<b>980,000 US\$ (2010)</b>	<b>750,000 US\$ (2014)</b>
Συνολικό βάρος συστήματος	$W_{OF} \geq 130\text{tons}$	$W_{NF} = 45\text{tons}$
Συνολικό ηλεκτρικό φορτίο συστήματος	185kW	41kW
Μήκος σωληνώσεων από τροφοδοσία μέχρι έξοδο	65m	33.5m
Στάδια αποκονίωσης (κυκλώνες)	2	2
Φίλτρο παλμών (συστοιχίες φίλτροπάνων)	1 (15 συστοιχίες)	1 (11 συστοιχίες)
Σύστημα τροφοδοσίας	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σιλό 15 τόνων</li> <li>• Ταινία μεταφοράς</li> <li>• Αναβατόριο</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σιλό 7 τόνων</li> <li>• Δονούμενο κόσκινο</li> <li>• Αναβατόριο</li> </ul>
Κόσκινο τελικού προϊόντος	Όχι	Ναι
Θάλαμος καύσης	Κάτω κόνος ανοιχτός	Πλήρως απομονωμένος
Σημεία ελέγχου θερμοκρασίας	5	3
PLC	Μόνο για παρακολούθηση	Πλήρης έλεγχος από PLC
Προθέρμανση	Φυσική, χωρίς θάλαμο προθέρμανσης.*	Χρήση ενέργειας φούρνου, ξεχωριστός θάλαμος προθέρμανσης με ανεξάρτητο ανεμιστήρα ροής.
Μόνωση φούρνου	Χωρίς	Κεραμοβάμβακας
Συσκευασία προϊόντων	Πνευματικές συσκευές	Πνευματικές συσκευές
Ύψος ικριωμάτων	27 μέτρα	17 μέτρα (1 ικρίωμα)

\* Προθέρμανση: δεν υπάρχει ξεχωριστός θάλαμος προθέρμανσης, αλλά οι σωλήνες τροφοδοσίας μετά το αναβατόριο περνούν μέσα από το εξωτερικό περίβλημα (μανδύας) και καταλήγουν στους κοιλίες τροφοδοσίας.

Οι παραγωγικές δυνατότητας καθώς και τα ολικά ενεργειακά κόστη κατά την παραγωγή των 2 συστημάτων θα δοθούν αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο. Παρακάτω, θα δοθούν τα βασικά στοιχεία που συνιστούν το ολικό κόστος επένδυσης και ο χρόνος συναρμολόγησης.

### **Στάδια εγκατάστασης φούρνου διόγκωσης:**

Και για τα 2 συστήματα τα στάδια είναι κοινά. Για τον πρώτο φούρνο απαιτούνται 2 κριώματα (πύργοι) ενώ το σύγχρονο απαιτεί 1. Τα τμήματα που συνιστούν τα διογκωτήρια είναι τα εξής:

- Βάσεις κριωμάτων: Ενισχυμένες θεμελιώσεις για φορτίο 130 και 45 τόνων αντίστοιχα για το κάθε σύστημα.
- Βασικός σκελετός κριωμάτων: κύριες κολώνες , κάθετοι και οριζόντιοι δοκοί.
- Φούρνος διόγκωσης: λόγω βάρους και δονήσεων ο φούρνος διόγκωσης τοποθετείται πάνω στις θεμελιώσεις με ειδικά αγκύρια. Ο φούρνος τοποθετείται πριν τον υπόλοιπο εξοπλισμό λόγω όγκου.
- Κύρια σωλήνωση: από τον φούρνο μέχρι τους κυκλώνες. Στήριξη αυτής με γέφυρα ή δοκούς και προετοιμασία για σύνδεση με κυκλώνες.
- Βασικός μηχανολογικός εξοπλισμός: κυκλώνες , ψύκτης , φίλτρο παλμών.
- Κινητήρες, ανεμιστήρες και σύστημα τροφοδοσίας: ανεμιστήρες , αεροφράκτες , αναβατόρια , ταινίες μεταφοράς.
- Όργανα μέτρησης θερμοκρασίας , πίεσης: θερμοστοιχεία , σωλήνα μέτρησης ταχύτητας αναρρόφησης και υποπίεσης φίλτρου
- Εγκατάσταση καυστήρα: τοποθέτηση ράμπας αερίου , και σύνδεση με ανεμιστήρα.
- Πατώματα & μπαλκόνια κριωμάτων: πλέγμα στήριξης για ευκολία αφαίρεσης κατά την συντήρηση.
- Τερματισμός καλωδίων ισχύος καυστήρα και μηχανημάτων: ηλεκτρολογική εγκατάσταση , κινητήρων , οργάνων και καυστήρα.
- Τερματισμός καλωδίων ελέγχου προς PLC: όργανα θερμοκρασίας και πίεσης και κινητήρες για ένδειξη λειτουργίας και μανδάλωση. Ξεχωριστή σχάρα καλωδίων για αποφυγή παραμόρφωσης.
- Εγκατάσταση φωτισμού για βραδυνές βάρδιες.
- Έναρξη δοκιμών: δοκιμή καύσης , έλεγχος λειτουργίας κάθε συστήματος , δοκιμή πλήρως χειροκίνητη , εγκατάσταση προγράμματος ελέγχου PLC , δοκιμή με υλικό.



Ο παρακάτω πίνακας δείχνει το τυπικό χρονοδιάγραμμα & κόστος εγκατάστασης των 2 συγκρινόμενων συστημάτων.

**Πίνακας 1.2**

<b>Χρονοδιάγραμμα εγκατάστασης</b>		
<b>Στάδιο εγκατάστασης [49]</b>	<b>Παλιός Φούρνος (OF)</b>	<b>Νέος Φούρνος (NF)</b>
	Ημέρες	Ημέρες
Θεμέλια - Βάσεις	12	7
Βασικός σκελετός ικριωμάτων	15	8
Βασικός μηχανολογικός εξοπλισμός	10	6
Λοιπά μηχανήματα	10	7
Πέρασμα καλωδίων (μηχανήματα προς πάνελ)	8	5
Πατώματα - Μπαλκόνια	6	3
Τερματισμός καλωδίων στα πάνελ	3	2
Εγκατάσταση οργάνων μέτρησης T , P	2	1
Δοκιμές καυστήρα – δοκιμή ανάφλεξης	1	1
Δοκιμή μηχανημάτων 1-1	2	1
Γενικές δοκιμές υλικών και λειτουργίας	15	15
<b>Συνολική διάρκεια εγκατάστασης</b>	<b>84 ημέρες</b>	<b>57 ημέρες</b>
<b>Κόστος Εγκατάστασης</b>		
	US\$	US\$
<b>Ολικό κόστος εγκατάστασης</b>	<b>150,000</b>	<b>85,000</b>

Οι παραπάνω τιμές δίνουν εικόνα των απαιτήσεων κεφαλαίου και χρόνου εργασιών για την εγκατάσταση των 2 φούρνων διόγκωσης , για τους οποίους θα γίνει ανάλυση κόστους και μελέτη ενεργειακών απωλειών στην επόμενη παράγραφο.

## Παράγραφος 2.

### **Θερμό-οικονομική / Εξεργό-οικονομική ανάλυση ενέργειας και κόστους 2 διαφορετικών συστημάτων διόγκωσης και εξαγωγή συντελεστών απόδοσης**

2.1 **Γενικά:** Στην παρακάτω μελέτη , η βάση της οποίας προέρχεται από οικονομοτεχνική ανάλυση του πανεπιστημίου του Elazig στην Τουρκία [48] , βοηθά στην περαιτέρω κατανόηση της σύγκρισης μεταξύ νέων και παλαιών συστημάτων διόγκωσης όσον αφορά τις τιμές κόστους ενέργειας.

Στην παρακάτω ανάλυση οι μεταβλητές που αφορούν τον παλαιό φούρνο διόγκωσης θα έχουν δείκτη **OF** (old Furnace) , ενώ του καινούργιου φούρνου θα έχουν δείκτη **NF**.

Για την θερμοδυναμική, η εξέργεια είναι το μέγιστο δυνατό χρήσιμο έργο κατά τη διάρκεια μίας διαδικασίας που φέρνει το σύστημα σε ισορροπία με μία δεξαμενή θερμότητας. Σε έναν φούρνο , η εξέργεια εκφράζει την δυνατότητα του συστήματος να προκαλέσει μία μεταβολή καθώς επιτυγχάνει ισορροπία με το σύστημα του φούρνου. [52]

Η παρακάτω μελέτη , ενώ χρησιμοποιεί μεθόδους υπολογισμού ενέργειας ανά μονάδα προϊόντος ή μονάδα καυσίμου, στην πραγματικότητα μπορεί να θεωρηθεί και οικονομοτεχνική μελέτη αφού η ενέργεια μεταφράζεται σε κόστος.

#### **2.2 Ιστορική αναδρομή θερμό-οικονομικών μελετών – Στόχοι ανάλυσης – Πηγές:**

Επίσης, στον τομέα της βιομηχανίας γενικά αλλά και ειδικά στους φούρνους διόγκωσης έχει ερευνηθεί ιδιαίτερος η σχέση μεταξύ του κόστους κεφαλαίου και των θερμοδυναμικών απωλειών. [50] Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι δείκτες απόδοσης χρήσης ενέργειας και εξέργειας παρουσίαζαν διακυμάνσεις της τάξης του 63% και 29-33% αντίστοιχα. Επίσης ο λόγος του ρυθμού των θερμοδυναμικών απωλειών προς το κόστος κεφαλαίου έδινε τιμές που κυμαίνονταν μεταξύ 0.76 – 1.01.

Άλλες μελέτες [51] παρουσίασαν μία μέθοδο με βάση τον 2ο θερμοδυναμικό νόμο , ώστε να

αποτιμήσουν τον αν είναι εφικτή η χρήση της βιομάζας σαν καύσιμο σε εργοστάσιο συμπαραγωγής ηλεκτρισμού. (ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ή ενέργειας ψύξης). Για την μελέτη αυτή, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διαφορετικές διατάξεις ενός τέτοιου εργοστασίου, παράγοντας ενέργεια διαφορετικών μορφών ενώ ταυτόχρονα έγινε οικονομική αποτίμηση του κόστους χρησιμοποιώντας οικονομικές παραμέτρους και ρυθμούς κόστους παραγωγής σαν δείκτες. Η καταστροφή της εξέργειας<sup>1</sup> ήταν το μέγεθος με την πιο εκτενή διακύμανση, με περίπου 60% καθαρή απώλεια εξέργειας.

Ταυτόχρονα, έγινε διερεύνηση των μεταβλητών αποφάσεων και κόστους κεφαλαίου όσον αφορά τα μοναδιαία κόστη παραγωγής. Σε συνάρτηση με την σύγκριση διαφορετικών συστημάτων, οι δείκτες που προέκυψαν βοήθησαν πολύ στο να επιλεγθεί το καλύτερο βιομηχανικό σύστημα.

Σε άλλη μελέτη [53], μέσω θερμοδυναμικών μεθόδων, υπολογίζεται το εξεργητικό και το οικονομικό κόστος ενός εργοστασίου συμπαραγωγής ηλεκτρισμού. Οι δείκτες αυτοί συγκρίνονται με αυτές άλλων συστημάτων. Με τον υπολογισμό της ωριαίας μάζας παραγόμενου ατμού, καθώς και με του ενεργειακού ισοζυγίου, έγινε πλήρης εξεργό-οικονομική ανάλυση στο εργοστάσιο συνολικού φορτίου 39.5kW και συνολικής μάζας 80 τόνων ανά ώρα (tons/h)

Οι 3 πιο σημαντικοί εξεργό-οικονομικοί παράγοντες που εκπίπτουν από την μελέτη αυτή είναι η μεταβολή του κόστους, η σχετική μεταβολή του κόστους και ο εξεργό-οικονομικός συντελεστής. Με αυτούς τους δείκτες γίνεται η προσπάθεια ώστε να αποτιμηθεί η **θερμό-οικονομική απόδοση** κάθε στοιχείου / τμήματος ενός συστήματος (ή όλου του εργοστασίου). Η ανάλυση αυτή μπορεί να αναχθεί με πολύ καλά αποτελέσματα σε ένα φούρνο διόγκωσης.

Με τον υπολογισμό της μάζας καυσίμου και παραγόμενου προϊόντος καθώς και με τον υπολογισμό του ισοζυγίου ενέργειας – εξέργειας του συστήματος διόγκωσης, θεωρείται κλειστός θερμοδυναμικός κύκλος για τον υπολογισμό των παραπάνω παραγόντων. Όπως προαναφέρθηκε, η μελέτη απαιτεί την σύγκριση διαφορετικών συστημάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Στις παρακάτω παραγράφους αναλύονται 2 διαφορετικοί φούρνοι διόγκωσης παλαιάς και νέας τεχνολογίας. Οι τιμές των μεγεθών κόστους και κατανάλωσης, προέρχονται από μακρόχρονη σειρά δοκιμών που έγινε σε συγκεκριμένο εργοστάσιο διόγκωσης περλίτη κατά τα έτη 2012 – 2014. Η μεθοδολογία είναι παρόμοια με της μελέτης, αλλά οι τιμές και τα στοιχεία της παραγωγής, προέρχονται από δοκιμές [49] με ένα είδος υλικού μέσου μεγέθους και κατανάλωσης. Τα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση αυτή, για την παρούσα διπλωματική εργασία. Είναι άξιο αναφοράς, ότι μέχρι πριν την σύνταξη της μελέτης αυτής [48] που έγινε στην Τουρκία, δεν είχε δημοσιευτεί καμία παρόμοια τεχνοοικονομική ανάλυση σε εργοστάσια διόγκωσης.

<sup>1</sup> **Καταστροφή εξέργειας:** (exergy destruction) όρος της θερμοδυναμικής. Η ενέργεια ποτέ δεν

καταστρέφεται. Αντίθετα, η εξέργεια μίας μη αντιστρέψιμης διαδικασίας (ή κύκλου) πάντα καταστρέφεται εάν στην διαδικασία υπάρχει μεταβολή της θερμοκρασίας. [52]

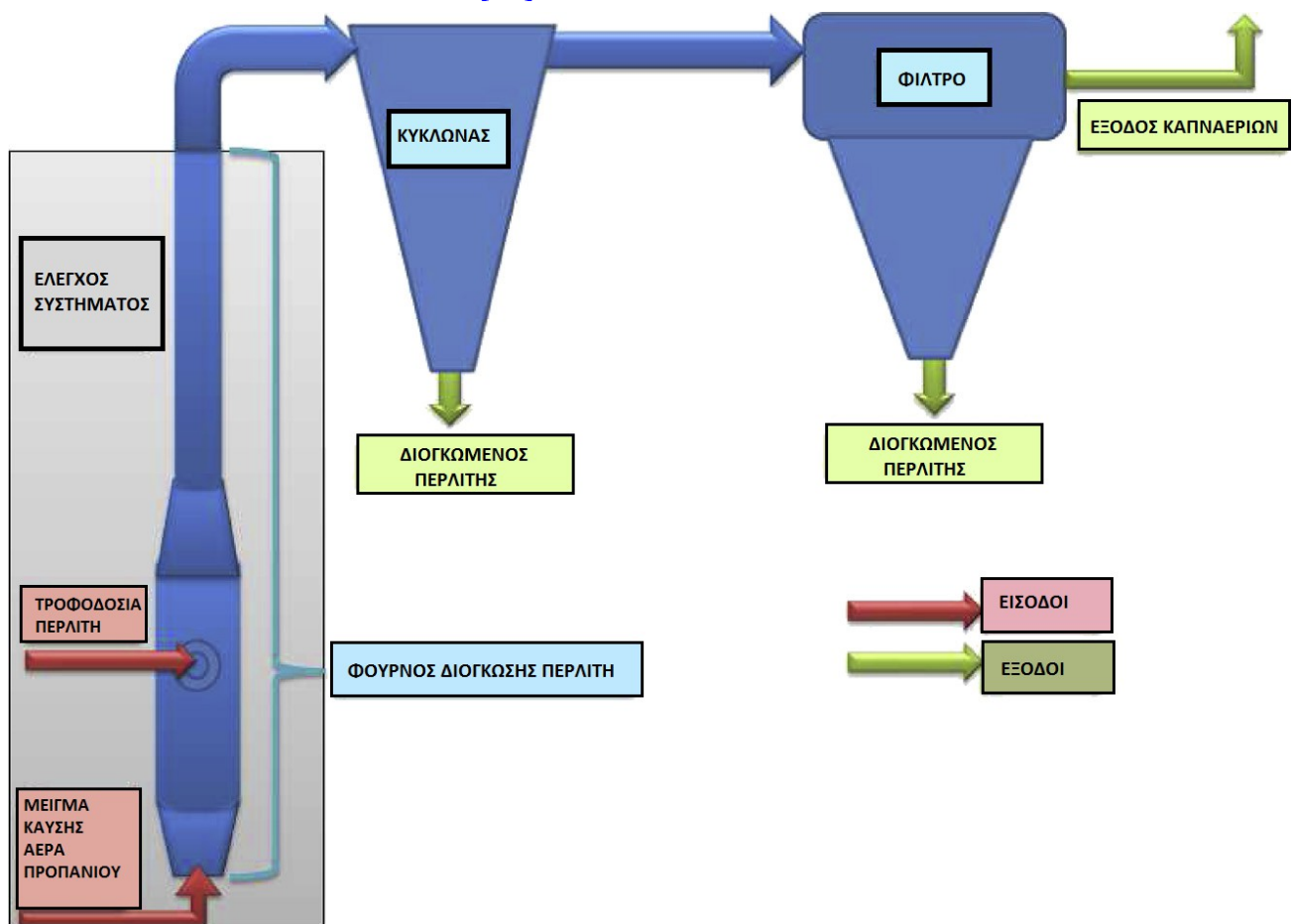
### 2.3 Δεδομένα κόστους / κατανάλωσης συγκρινόμενων συστημάτων:

Για την κατανόηση των μεταβλητών και των μεγεθών που θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή των οικονομοτεχνικών δεικτών του συστήματος απαιτείται η πλήρης κατανόηση της παραγωγικής διαδικασίας. Στα προηγούμενα κεφάλαια Β & Γ , δίνεται αναλυτική περιγραφή των τμημάτων του εργοστασίου και η πλήρης περιγραφή της διαδικασίας της διόγκωσης, αντίστοιχα.

Είδος συστημάτων: Κάθετοι φούρνος διόγκωσης καύσης προπανίου με 1 στάδιο κυκλωνισμού<sup>1</sup> και φίλτρο παλμών.

Ο θάλαμος καύσης (φούρνος) και η καμινάδα (έξοδος καπναερίων) έχουν θεωρηθεί σαν είσοδος και έξοδος του συστήματος αντίστοιχα , επειδή η διόγκωση του περλίτη γίνεται ακριβώς στα όρια αυτών των 2 σημείων. Σαν υπενθύμιση, παρακάτω δίνεται ένα τυπικό διάγραμμα ροής του συστήματος διόγκωσης.

#### ΤΥΠΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ [48]



<sup>1</sup> Για τη μελέτη αυτή χρησιμοποιείται 1 στάδιο κυκλωτισμού αντί για 2 που έχουν τα συστήματα για να μειωθεί η πολυπλοκότητα της μελέτης. Με ένα αντί για 2 στάδια διαχωρισμού η διαφορά του κόστους ενέργειας για το σύστημα είναι αμελητέα.

Το διάγραμμα ροής και των 2 εργοστασίων είναι όμοιο ως προς την διασύνδεση των συστημάτων.

Το παλιό σύστημα είναι μεγαλύτερης συνολικής ισχύος , έχει ανοιχτό θάλαμο καύσης (ανοιχτός εξωτερικός μανδύας) , τουλάχιστον 40% μεγαλύτερη κατανάλωση σε ωριαίο ρυθμό και ανά μονάδα , ενώ το μήκος της απόστασης από το κατώτατο σημείο του φούρνου έως την καμινάδα είναι τουλάχιστον διπλάσιο. (για την καλύτερη ψύξη του υλικού μέχρι την έξοδο)

Το νέο σύστημα , έχει απομονωμένο θάλαμο καύσης για πλήρη έλεγχο της πίεσης θαλάμου και μείωση των απωλειών ενέργειας. Επίσης έχει πολύ μικρότερο μήκος σωληνώσεων μέχρι την έξοδο του , γεγονός που μειώνει τις απαιτήσεις αέρα αναρρόφησης και ισχύος ανεμιστήρων.

Οι τυπικές διαφορές και τα σημαντικότερα μεγέθη κλίμακας κόστους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1**

<b>Στοιχεία [49]</b>	<b>Παλιός Φούρνος (OF)</b>	<b>Νέος Φούρνος (NF)</b>
Κόστος κεφαλαίου φούρνου	<b>980,000 US\$ (2010)</b>	<b>750,000 US\$ (2014)</b>
Συνολικό βάρος συστήματος	$W_{OF} \geq 130\text{tons}$	$W_{NF} = 45\text{tons}$
Συνολικό ηλεκτρικό φορτίο συστήματος	185kW	41kW
Μήκος σωληνώσεων από τροφοδοσία μέχρι έξοδο	65m	33.5m
Ωριαία Τροφοδοσία (tons/h)	0.85	1.40
Μοναδιαία κατανάλωση προπανίου (Lt / m <sup>3</sup> )	21.66	10.55
Ωριαία κατανάλωση προπανίου (Lt/h)	260	190
Ωριαία κατανάλωση ενέργειας καυσίμου kCal (kWh)	1,586.5 10 <sup>3</sup> kCal ( <b>1,862kWh</b> )	1,158.3 10 <sup>3</sup> kCal ( <b>1,346kWh</b> )
Ωριαία κατανάλωση ενέργειας καυσίμου (GJ/h)	<b>6.642</b>	<b>4.850</b>

\* τιμές που προκύπτουν μετά την ανάλυση

Οι ποσότητες των απωλειών στον παλαιό φούρνο είναι πολύ μεγαλύτερες λόγω της μη απομόνωσης του θαλάμου καύσης, της έλλειψης μόνωσης αλλά και της αυξημένης κατανάλωσης.

Επίσης, οι απώλειες εκφράζουν τη περίσσεια καταναλισκόμενης ενέργειας, δηλαδή την ενέργεια / εξέργεια που δεν προσδίδεται στην διόγκωση του περλίτη αλλά στην απελευθέρωση του στο περιβάλλον.

Ο παραπάνω πίνακας συγκεντρώνει τις βασικές μέσες τιμές κόστους / κατανάλωσης που προέκυψαν από τις δοκιμές του υλικού με τους 2 φούρνους διόγκωσης. [49]

## 2.4 Περιγραφή μελέτης και χρησιμοποιούμενες μεταβλητές

Οι θερμο-οικονομικές μελέτες συνήθως χωρίζονται σε 2 κατηγορίες [54]:

α) τις εξεργό-οικονομικές μελέτες υπολογισμού λογιστικών μεθόδων που στοχεύουν στην τιμολόγηση προϊόντων με βάση την τάση / ζήτηση των πωλήσεων αλλά και στην βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενεργειακών συστημάτων.

β) Τις προσεγγίσεις Lagrange που χρησιμοποιούνται για την γενική βελτίωση του συστήματος και τον υπολογισμό του οριακού κόστους.

Για λόγους κατανόησης, αντί για τον όρο “εξεργό-οικονομικός” χρησιμοποιείται και ο όρος “**θερμό-οικονομικός**” στην μελέτη αυτή. Επειδή η εξέργεια είναι δυσνόητη έννοια, είναι σημαντικό να εξηγηθεί ότι στην πραγματικότητα η εξεργό-οικονομική μελέτη έχει ως στόχο να συνδυάσει την θερμοδυναμική ενός φούρνου διόγκωσης με τα οικονομικά μεγέθη κόστους ενός εργοστασίου. Με λίγα λόγια γίνεται προσπάθεια να βελτιστοποιηθεί όσο τον δυνατόν καλύτερα μία πολύπλοκη θερμική διεργασία. (διόγκωση περλίτη)

Η προσέγγιση των ανεπαρκειών όσον αφορά το κόστος καθεμίας εκ των υπό-διαδικασιών που συνθέτουν την παραγωγή του διογκωμένου περλίτη είναι ο βασικός στόχος.

## 2.5 Συγκέντρωση σημαντικών οικονομικών μεγεθών.

Τα οικονομικά στοιχεία (κόστη, τιμές προϊόντων..) έχουν υπολογισθεί ξεχωριστά σε καθένα εκ των 2 φούρνων διόγκωσης για τον ίδιο τύπο ορυκτού περλίτη. Αυτό είναι απαραίτητο για σύγκριση των μεγεθών ενδιαφέροντος.

Όλες οι τιμές κόστους είναι εκφρασμένες σε Αμερικάνικα Δολάρια (US\$)

### Τιμές ωριαίας κατανάλωσης και παραγωγής:

<u>Ωριαία κατανάλωση αερίου προπανίου παλαιού φούρνου:</u>	<b>164.3kg/hour (244m<sup>3</sup>/hour)</b>
<u>Ωριαία παραγωγή παλαιού φούρνου (m<sup>3</sup>/hour – kg/hour):</u>	<b>12m<sup>3</sup>/hour (96kg/hour)</b>
<u>Ωριαία κατανάλωση αερίου προπανίου νέου φούρνου:</u>	<b>97.4kg/hour(144.48m<sup>3</sup>/hour)</b>
<u>Ωριαία παραγωγή παλαιού φούρνου (m<sup>3</sup>/hour – kg/hour):</u>	<b>18m<sup>3</sup>/hour (142.6kg/hour)</b>

### Ετήσιος χρόνος και ετήσιο κόστος λειτουργίας : ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2

Στοιχεία	Παλαιός Φούρνος (OF)	Νέος Φούρνος (NF)
Διάρκεια ζωής συστήματος (κατασκευάστηκε το έτος)	<b>10 (2010)</b>	<b>20 (2014)</b>
Ημέρες παραγωγής ανά έτος*	<b>150</b>	<b>250</b>
Ημερήσια βάρδια (ώρες)	10	10
Ετήσια παραγωγή περλίτη * (kg/έτος)	144,000	351,000
Ετήσιο κόστος προπανίου **	153,830 US\$	187,520 US\$
Ωριαίο κόστος πρώτης ύλης	115.2 US\$/h	172.8 US\$/h
Μοναδιαίο κόστος μεταφοράς πρώτης ύλης:	35.4 US\$/ton	
Ετήσιο κόστος πρώτης ύλης (CIF Dubai)	172,800	432,000
Ημερήσια κατανάλωση Ηλεκτρισμού (kWh)	400	175
Ετήσιο κόστος ηλεκτρισμού **	37,570 US\$	28,587 US\$
Ετήσια κόστη συντήρησης / επισκευών	10,000 US\$	10,000 US\$
Συνολικοί μηνιαίοι μισθοί προσωπικού παραγωγής	4,300 US\$/month	

\*Στοιχεία [49] 2014

\*\* Ισοτιμία AED / US\$: **0.27 US\$/AED** , Μέση τιμή προπανίου 2014: **1.53AED/Lt** ,  
κόστος ηλεκτρισμού: **0.35 AED/kWh**

## 2.6 Θερμό-οικονομική μελέτη των 2 φούρνων – Έναρξη

### 2.6.1 Γενική ανάλυση συνιστωσών κόστους:

Το γενικό ισοζύγιο κόστους κατά τη λειτουργία ενός συστήματος σε μία τυπική οικονομική ανάλυση είναι:

$$\sum \dot{C}_{in} + \dot{C}_q + \dot{Z} = \sum \dot{C}_{out} + \dot{C}_w \quad (1)$$

όπου οι τιμές  $\dot{C} = \frac{dC}{dt}$  είναι ο ρυθμός μεταβολής της εξέργειας ,

και  $\dot{Z} = \frac{dZ}{dt}$  ο ρυθμός μεταβολής του κόστους κεφαλαίου.

Συνολικό ωριαίο κόστος κεφαλαίου:  $\dot{Z} = \dot{Z}^{CI} + \dot{Z}^{OM} \quad (2)$

δηλαδή το συνολικό κόστος κεφαλαίου είναι το κόστος CI επένδυσης (Capital Investment) ενώ το κόστος OM είναι το κόστος λειτουργίας και συντήρησης (Operation Maintenance).

Τα παραπάνω κόστη είναι ωριαία ανηγμένα μεγέθη μέσω τύπων αναγωγής που παρουσιάζονται παρακάτω.

### **Ανηγμένο κόστος κεφαλαίου (χρήση τύπου αναγωγής) για κόστος απόσβεσης:**

Με χρήση της μεθόδου αναγωγής του κόστους επαυξάνουμε τις ωριαίες ανηγμένες τιμές.

Η παρούσα αξία (PW) κάθε συστήματος διόγκωσης είναι:

$$PW = TCI - S \cdot PWF_{(i_{eff}, n)} \quad (3)$$

όπου:

**PW:** παρούσα αξία

**TCI:** συνολικό κόστος κεφαλαίου

**S:** υπολειμματική αξίας  $S = J \cdot TCI$  όπου:

**J:** ποσοστό υπολειμματικής αξίας  $J = 10\%$

**PWF:** συντελεστής προεξόφλησης ενιαίας ενίσχυσης,



$$PWF = \frac{1}{(1+i_{eff})^n} \quad (4)$$

όπου  $n$  η διάρκεια ζωής για κάθε φούρνο (10, 20 έτη αντίστοιχα)

ενώ ο συντελεστής προεξόφλησης  $i_{eff}$  υπολογίζεται από τον τύπο:

$$i_{eff} = \left(1 + \frac{i}{p}\right)^p - 1 \quad (5)$$

όπου:

$p$ : επιτόκιο προσαύξησης

$i$ : κόστος χρημάτων

Το ετήσιο κόστος κεφαλαίου (Annual Cost -AC) υπολογίζεται:

$$AC = PW \cdot CRF_{(i_{eff}, n)} \quad (6)$$

όπου CRF ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου.

Τελικά, το ετήσιο κόστος εξοπλισμού του συστήματος διόγκωσης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\dot{Z}^T = \frac{AC}{AH(\text{ώρες/έτος})} \quad (7)$$

όπου:

$AH$ : οι ετήσιες ώρες λειτουργίας του φούρνου. (**OF**: 1500 , **NF**: 2500)

Τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης (OM) μπορούν να διαχωριστούν σε σταθερά και μεταβλητά κόστη. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται αυτός ο διαχωρισμός:

Διαχωρισμός	Κόστη λειτουργίας και συντήρησης ( $C_{OM}$ )
Σταθερά	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εργατικό κόστος παραγωγής και συντήρησης</li> <li>• αναλώσιμα συντήρησης</li> <li>• γενικά έξοδα (overhead costs)</li> <li>• ανάπτυξη προϊόντων , μάρκετινγκ</li> </ul>
Μεταβλητά	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κόστος αναλωσίμων παραγωγής</li> <li>• κόστος καυσίμου και πρώτης ύλης</li> <li>• κόστος φύρας</li> </ul>

Τα μεταβλητά κόστη σχετίζονται με τις ώρες λειτουργίας του φούρνου. Επειδή η μισθοδοσία

είναι μηνιαία δεν θεωρείται μεταβλητό κόστος.

Το συνολικό **κόστος λειτουργίας και συντήρησης (OM)** υπολογίζεται:

$$OM = TCRM + MR + PEC + CE \quad (8)$$

όπου:

TCRM: κόστος πρώτης ύλης με κόστος μεταφοράς (**CIF**<sup>\*</sup>).

MR: κόστος επισκευών και συντήρησης

PEC: κόστος ηλεκτρισμού

CE: εργατικό κόστος

\*CIF: Cost Insurance Freight (τιμή συμπεριλαμβανομένης της ακτοπλοϊκής μεταφοράς)

Οι παραπάνω τιμές έχουν ετήσια βάση. Το πιο σημαντικό για την μελέτη μεταβλητό κόστος καυσίμου θα ήταν δυνατόν να είναι συνιστώσα του παραπάνω τύπου, αλλά επιλέχθηκε η χρήση του σαν είσοδος στις εξεργό-οικονομικές μεταβλητές της ανάλυσης που εκτελείται.

Τελικά το ωριαία ανηγμένο κόστος λειτουργίας και συντήρησης υπολογίζεται:

$$Z^{\text{OM}} = \frac{OM}{AH} \quad \text{δηλαδή προφανώς το συνολικό κόστος προς τις ώρες λειτουργίας.} \quad (9)$$

Με βάση τα παραπάνω, η σχέση (1) που αποτελεί το γενικό ισοζύγιο ενός συστήματος γίνεται:

$$\dot{C}_{air} + \dot{C}_{fuel} + \dot{C}_{perlite} + \dot{Z} = \dot{C}_{fluegas} + \dot{C}_{E,perlite} + \dot{C}_q \quad (10)$$

όπου σύμφωνα με τη σχέση (10) η διαφεύγουσα απώλεια θερμότητας, οφείλεται στο ότι δεν υπάρχει πλήρης μόνωση του θαλάμου καύσης. Ειδικά, για τον παλαιό φούρνο οι απώλειες θερμότητας είναι πολύ μεγαλύτερες. Οι απώλειες  $C_q$  βρίσκονται στο δεξιό μέλος της σχέσης (10).

Η τιμή  $C_{flue-gas}$  εκφράζει τον ρυθμό εξέργειας της εξόδου (καμινάδας).

Ακολούθως, η μελέτη περνάει στο στάδιο υπολογισμού του ισοζυγίου (10), δηλαδή τον πρακτικό υπολογισμό των ρυθμών κόστους του ισοζυγίου.

## 2.6.2 Πρακτικός υπολογισμός συνιστωσών ισοζυγίου (10):

Χωρίς βλάβη της γενικότητας, σαν γενικό αναδρομικό τύπο του ρυθμού κόστους ενός στοιχείου (component) του συστήματος, μπορούμε να θεωρήσουμε τον ακόλουθο:

$$C_k = c_k \cdot (\dot{E}_k) \quad \text{όπου:}$$

$c_k$  είναι το μέσο κόστος που παρέχεται από μία μονάδα εξέργειας  $E_k$  από το  $k$  – οστό τμήμα του εργοστασίου.

Επομένως, ο υπολογισμός κάθε συνιστώσας του ισοζυγίου γίνεται ως εξής:

$$\dot{C}_{in} = c_{in} \cdot (\dot{E}_{in}) \quad \text{Είσοδος} \quad (11)$$

$$\dot{C}_{out} = c_{out} \cdot (\dot{E}_{out}) \quad \text{Έξοδος} \quad (12)$$

$$\dot{C}_W = c_W \cdot (\dot{W}) \quad \text{Έργο} \quad (13)$$

$$\dot{C}_q = c_q \cdot (\dot{E}_q) \quad \text{Απώλειες} \quad (14)$$

Επειδή δεν υπάρχει παραγωγή ενέργειας από κάποιο τμήμα του εργοστασίου, αλλά όλη η ενέργεια προσδίδεται ή στην διόγκωση του υλικού ή σε απώλειες, το ισοζύγιο γράφεται:

$$C_{air} \cdot \dot{E}_{air} + C_{fuel} \cdot \dot{E}_{fuel} + C_{perlite} \cdot \dot{E}_{perlite} + \dot{Z} = C_{fluegas} \cdot \dot{E}_{fluegas} + C_{E.perlite} \cdot \dot{E}_{E.perlite} + C_q \cdot \dot{E}_q \quad (15)$$

- Εδώ τα μεγέθη  $C_k$  εκφράζουν το κόστος ανά μονάδα εξέργειας, ενώ τα  $\dot{E}_k$  εκφράζουν το ρυθμό της εξέργειας.
- Οι συνιστώσες flue-gas (καμινάδας) και q- μεταφοράς θερμότητας του ισοζυγίου μπορούν να θεωρηθούν οι απώλειες του συστήματος.

Οι βοηθητικές σχέσεις του ισοζυγίου είναι οι εξής:

$$\frac{\dot{C}_{fuel}}{\dot{E}_{fuel}} = \frac{\dot{C}_{fluegas}}{\dot{E}_{fluegas}} \quad \text{και} \quad \frac{\dot{C}_{fuel}}{\dot{E}_{fuel}} = \frac{\dot{C}_q}{\dot{E}_q} \quad (16)$$

όπου  $C_{fuel}$ ,  $C_{fluegas}$  τα κόστη ανά μονάδα του προπανίου και εξόδου καπναερίων, ενώ  $C_q$  είναι το κόστος ανά μονάδα απωλειών εξέργειας.

### Υπολογισμών συνιστωσών $C_k$ :

1.  $C_{air} = 0$  επειδή το υλικό θερμαίνεται με ατμοσφαιρικό αέρα.

$$2. \quad c_{fuel} = \frac{HCF}{\dot{m} \cdot EUM \cdot 10^{-6} (GJ/kg)} \quad (17) \quad \text{Όπου:}$$

- $HCF$ : το ωριαίο κόστος προπανίου. (US\$/h)
- $\dot{m}$ : ο ρυθμός ροής του προπανίου σε αέρια μορφή. (kg/h)
- $EUM$ : η θερμογόνος δύναμη του καυσίμου ανά kg αερίου. (kJ / kg)

προφανώς: 
$$HCF = \frac{ACF}{AH}$$
 συνολικό ετήσιο κόστος προπανίου ανά ώρες λειτουργίας.

$$3. \quad \text{Επειδή } c_q = c_{fuel} \text{ (είσοδος = έξοδος) άρα } C_{fuel} \cdot \dot{E}_q = c_{fuel} \cdot \dot{Q} \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) \quad (18)$$

4.  $\dot{E}_{perlite} = 0$  γιατί ο περλίτης εισέρχεται στον φούρνο υπό κανονικές συνθήκες χωρίς καμία ενεργειακή συνεισφορά. Από άποψη θερμοδυναμικής, δεν ανταλλάσσεται θερμότητα άρα δεν ορίζεται εξέργεια.

5. Η ποσότητα  $C_{E.perlite}$  του δεξιού μέλους του ισοζυγίου, υπολογίζεται από την εξίσωση (10), με όλα τα υπόλοιπα στοιχεία της εξίσωσης γνωστά:

$$C_{E.perlite} = \frac{C_{fuel} [(E_{fuel}) - (E_q + E_{fluegas})] + \dot{Z}}{E_{E.perlite}} \quad (19)$$

Πολύ σημαντικό μέγεθος για την μελέτη αυτή είναι ο **ρυθμός καταστροφής της εξέργειας**

$$C_D = c_{fuel} \cdot \dot{E}_D \quad (20)$$

που εκφράζει το ωριαίο κόστος (US\$/h) απωλειών κατά την διόγκωση περλίτη.

Τέλος, οι τελευταίες 2 σχέσεις (21) , (22) είναι πολύ σημαντικοί δείκτες απόδοσης του συστήματος διόγκωσης , και αποτελούν τους εξεργό-οικονομικούς προαναφερθέντες παράγοντες που η μελέτη αυτή έχει ως στόχο να υπολογίσει.

A. Εξεργό-οικονομικός συντελεστής: ( f )

$$f = \frac{\dot{Z}}{\dot{Z} + c_{fuel} \cdot (\dot{E}_D + \dot{E}_q)} \quad (21)$$

B. Ειδικό κόστος παραγωγής: (MC<sub>E.PERLITE</sub>) – Perlite Manufacturing Cost

$$MC_{E.PERLITE} = \frac{\dot{C}_{E.PERLITE}}{\dot{m}_{E.PERLITE}} \quad (22)$$

όπου:  $\dot{m}_{E.PERLITE}$  : ο ρυθμός τροφοδοσίας του περλίτη στον φούρνο.

## 2.7 Πίνακες υπολογισμού τιμών - Πίνακας αποτελεσμάτων

Μέθοδος αναγωγής σε ωριαία μεγέθη:

Οι τιμές για τον υπολογισμό των παρακάτω μεγεθών βρίσκονται στους πίνακες 1, 2 των κεφαλαίων 2.3 & 2.5 αντίστοιχα.

### Πίνακας 2.3

ΑΝΑΓΩΓΗ ΩΡΙΑΙΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ			
Παλιός Φούρνος Διόγκωσης		Νέος Φούρνος Διόγκωσης	
TCI (investment)	980,000 US\$	TCI	750,000
PW	882,000 US\$	PW	675,000
S	82,000	S	67,500
PWF	0.385543	PWF	0.14864
$i_{eff}$	10%	$i_{eff}$	10%
AC	153,115 US\$	AC	79,225 US\$
$CRF$	0.1736	$CRF$	0.1174
$\dot{Z}^{CI} *$	102.076 US\$/h	$\dot{Z}^{CI} *$	31.69 US\$/h
$\dot{Z}^{OM} *$	215.71	$\dot{Z}^{OM} *$	208.87 US\$/h
$\dot{Z} *$	<b>317.79 US\$/h</b>	$\dot{Z} *$	<b>240.56 US\$/h</b>
$Z_{total}$ /έτος	323,570 US\$	$Z_{total}$ /έτος	522,175US\$

\* Ωριαίοι ρυθμοί κόστους

Οι παραπάνω τιμές συνιστούν την μέθοδο αναγωγής σε ωριαίες τιμές. Οι τιμές  $\dot{Z}$  είναι το συνολικό ωριαίο κόστος για τον κάθε φούρνο χωρίς να συμπεριλαμβάνεται το κόστος καυσίμου.

Ο πίνακας 3.2 περιέχει τις ενεργειακές σταθερές των 2 φούρνων, που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των συνιστωσών του ισοζυγίου, στους πίνακες 4.1 & 4.2.

**Πίνακας 2.3.2:**

<b>Αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης φούρνων διόγκωσης</b>			
<b>Παλιός Φούρνος Διόγκωσης</b>		<b>Νέος Φούρνος Διόγκωσης</b>	
<b>Ωριαίος Ρυθμός</b>	<b>GJ / h</b>	<b>Ωριαίος Ρυθμός</b>	<b>GJ / h</b>
Προπάνιο $\dot{E}_{fuel}$	6.642	Προπάνιο $\dot{E}_{fuel}$	4.850
Αέρας καύσης $\dot{E}_{air}$	0 *	Αέρας καύσης $\dot{E}_{air}$	0
Περλίτης $\dot{E}_{PERLITE}$	0 *	Περλίτης $\dot{E}_{PERLITE}$	0
Διογκωμένος περλίτης $\dot{E}_{E.PERLITE}$	0.124	Διογκωμένος περλίτης $\dot{E}_{E.PERLITE}$	0.186
Ενέργεια εξόδου $\dot{E}_{Fluegas}$	1.145	Ενέργεια εξόδου $\dot{E}_{Fluegas}$	1.332
Απώλειες εξέργειας $\dot{E}_q$	1.258	Απώλειες εξέργειας $\dot{E}_q$	0.996
Καταστροφή εξέργειας $\dot{E}_D$	1.998	Καταστροφή εξέργειας $\dot{E}_D$	1.345

\* οι μηδενικές τιμές εκφράζουν την μη συναλλαγή θερμότητας ή έργου (άρα κόστους) για τον αέρα καύσης (ατμοσφαιρικός) και την πρώτη ύλη. (χωρίς κάποια θερμική διεργασία πριν την διόγκωση).

Παρακάτω δίνεται πίνακας με τις τιμές που υπολογίστηκαν για την εξαγωγή των εξεργό-οικονομικών συντελεστών που αφορούν την απόδοση του κάθε συστήματος.

Οι τιμές που υπολογίστηκαν για τους 2 φούρνους διόγκωσης είναι οι εξής:

**Πίνακας 2.4.1:** Υπολογισμός μοναδιαίων συνιστωσών ισοζυγίου

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΟΝΑΔΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ</b>			
<b>Παλιός Φούρνος Διόγκωσης</b>		<b>Νέος Φούρνος Διόγκωσης</b>	
Μέγεθος	US\$/GJ	Μέγεθος	US\$/GJ
$c_{fuel}$	16.52	$c_{fuel}$	13.67
$c_{air}$	0	$c_{air}$	0
$c_{perlite}$	0	$c_{perlite}$	0
$c_q$	16.52 *	$c_q$	13.67 *
$c_{E,perlite}$	3,127.56	$c_{E,perlite}$	1,478.68
<b>Σταθερά καταστροφής εξέργειας <math>\dot{C}_D</math></b>			
$c_D^{**}$	16.52	$c_D^{**}$	13.67

\* Από την ανάλυση  $c_q = c_{fuel}$ .

\*\*  $c_D = c_{fuel}$ .

**Πίνακας 2.4.2:** Υπολογισμός ωριαίων συνιστωσών ισοζυγίου

Χρησιμοποιώντας της σταθερές του πίνακα 3.2 υπολογίζουμε το ωριαίο κόστος εξέργειας για κάθε παράγοντα του ισοζυγίου.

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΩΡΙΑΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ</b>			
<b>Παλιός Φούρνος Διόγκωσης</b>		<b>Νέος Φούρνος Διόγκωσης</b>	
Ωριαίο κόστος	US\$/h	Ωριαίο κόστος	US\$/h
$\dot{C}_{fuel}$	109.73	$\dot{C}_{fuel}$	62.40
$\dot{C}_{air}$	0	$\dot{C}_{air}$	0
$\dot{C}_{perlite}$	0	$\dot{C}_{perlite}$	0
$\dot{C}_q$	20.78	$\dot{C}_q$	13.62
$\dot{C}_{E,perlite}$	387.82	$\dot{C}_{E,perlite}$	275.036
<b>Τιμή Καταστροφής εξέργειας <math>\dot{C}_D</math> (20)</b>			
$\dot{C}_D$	33.007	$\dot{C}_D$	18.386

\* Η τιμή  $\dot{C}_{E,perlite}$  βρίσκεται με επαλληλία από την σχέση (19).

## 2.8 Υπολογισμός παραγόντων απόδοσης και ειδικού κόστους παραγωγής:

A. Εξεργό-οικονομικός συντελεστής: ( f )

$$f = \frac{\dot{Z}}{\dot{Z} + c_{fuel} \cdot (\dot{E}_D + \dot{E}_q)}$$

B. Ειδικό κόστος παραγωγής: ( $MC_{E.PERLITE}$ ) – Perlite Manufacturing Cost

$$MC_{E.PERLITE} = \frac{C_{E.PERLITE}}{m_{E.PERLITE}}$$

Οι τιμές των εξεργό-οικονομικών παραγόντων βρίσκονται στον πίνακα 5.

**Πίνακας 2.5:**

ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ & ΕΙΔΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ			
Παλιός Φούρνος Διόγκωσης		Νέος Φούρνος Διόγκωσης	
$f$	<b>0.7952 ή 79.52%</b>	$f$	<b>0.8826 ή 88.26%</b>
$(\dot{m})_{PERLITE}$	850 kg/h	$(\dot{m})_{PERLITE}$	1400 kg/hour
$(\dot{MC})_{PERLITE}$	<b>0.4563 US\$/kg</b>	$(\dot{MC})_{PERLITE}$	<b>0.196 US\$/kg</b>

Σαν δείκτες απόδοσης οι παραπάνω παράγοντες είναι εξαιρετικής σημασίας γιατί περιέχουν και το κόστος παραγωγής με τις απώλειες ενέργειας , αλλά και το εργατικό κόστος.

## 2.9 Σχολιασμός αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα:

- **Κόστος επένδυσης:** ο παλιός φούρνος αν και λιγότερο αποδοτικός , είχε μεγαλύτερο κόστος λόγω του μεγάλου όγκου μετάλλου που τον συνιστά. Αποτελεί σύστημα παλαιότερης τεχνολογίας από τον νέο φούρνο που έχει μεγαλύτερη δυνατότητα παραγωγής , μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση ανά μονάδα προϊόντος και τουλάχιστον το 50% του όγκου μετάλλου. Αναλυτικά οι διαφορές των 2 συστημάτων δίνονται στην παράγραφο 1 του **κεφαλαίου Z**. Οι βασικές διαφορές τους φαίνονται στον πίνακα 1 της παραγράφου **2.3** .
- **Κόστη επηρεαζόμενα από προϊόντα καύσης:** Στην παραπάνω ανάλυση , δεν έχει συμπεριληφθεί η αναλογία αέρα – καυσίμου στον καυστήρα σαν μεταβλητή αλλά



σαν σταθερά. Και οι 2 φούρνοι έχουν την δυνατότητα επέμβασης στην αναλογία αυτή. Για το συγκεκριμένο υλικό που δοκιμάστηκε η αναλογία ήταν πάντα σταθερή. Η αναλογία αυτή θα προκαλούσε μεταβολές στα μοναδιαία κόστη,  $C_{E.PERLITE}$  &  $C_{fluegas}$ . Εάν η μελέτη γινόταν για διαφορετικά υλικά, θα υπολογίζαμε ένα σύνολο σταθερών και θα βρίσκαμε τον μέσο όρο τους.

- **Απόδοση συστήματος:** Μία υψηλή τιμή του συντελεστή απόδοσης  $f$  εκφράζει μείωση του κόστους επένδυσης του κάθε συστήματος σε σχέση με την θερμοοικονομική αποδοτικότητα του.
- Αν και οι φούρνοι δεν λειτουργούν για το ίδιο χρονικό διάστημα κατά ένα έτος, η ανάλυση αυτή δίνει ρεαλιστικές τιμές κόστους μέσω της μεθόδου αναγωγής των τιμών σε ωριαία μεγέθη.
- Οι βασικές τιμές που δείχνουν το παραγωγικό κόστος είναι οι ενεργειακές απώλειες, η καταστροφή της εξέργειας και το κόστος εξόδου (flue gas). Αποτελούν τα μεγέθη που δεν είχαν ως τώρα χρησιμοποιηθεί στην απλή μελέτη κόστους του κεφαλαίου Δ. Η μελέτη αυτή αποτελεί μία πιο ακριβή μέθοδο υπολογισμού του κόστους από την σκοπιά της θερμοδυναμικής.
- **Διαφορές απωλειών μεταξύ 2 φούρνων:** Η μεγάλη διαφορά των απωλειών των 2 συστημάτων οφείλεται στην έλλειψη μόνωσης, αλλά και στον όγκο των σωληνώσεων του παλαιού φούρνου, ο οποίος έχει πολύ μεγάλες ενεργειακές καταναλώσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο φούρνος έχει αρκετά μεγαλύτερη ανάγκη ενέργειας για την διατήρηση του φούρνου και όλου του κυκλώματος σε θερμοκρασία κοντά στους 900°C.

**Πίνακας 2.6 Προσεγγιστικές τιμές απωλειών:**

Πίνακας απωλειών			
Παλιός (OF)		Νέος (NF)	
Ενεργειακές Απώλειες (kW/h)	<b>670.32</b>	Ενεργειακές Απώλειες (kW/h)	<b>336.57</b>
Ποσοστά δια της συνολικής ισχύος %	<b>36%</b>	Ποσοστά δια της συνολικής ισχύος %	<b>25%</b>

- **Προθέρμανση προϊόντος:** και τα 2 συστήματα διαθέτουν προθέρμανση για το υλικό ανακυκλώνοντας την ενέργεια του μανδύα του φούρνου και μεταφέροντας την στους σωλήνες τροφοδοσίας (**OF**) ή σε ειδικό θάλαμο προθερμαντή (**NF**). Εάν υπήρχε ανεξάρτητο σύστημα προθέρμανσης, θα έπρεπε να προστεθεί άλλη μία συνιστώσα στο ισοζύγιο για το κόστος καυσίμου προθέρμανσης. Σε αυτά τα 2 συστήματα όμως η ενέργεια / εξέργεια προθέρμανσης περιλαμβάνεται στο κόστος καυσίμου  $C_{fuel}$  και διογκωμένου περλίτη  $C_{E.PERLITE}$ .
- Η σύγκριση 2 συστημάτων ως προς τις απώλειες:
  - σε περίπτωση ύπαρξης μόνωσης θαλάμου καύσης ή όχι,
  - τριβών και απώλειας όγκου υλικού όσο το μήκος της διαδρομής του υλικού από την είσοδο μέχρι την έξοδο μεγαλώνει,
  - αλλά και γενικά ο βαθμό ελέγχου του κάθε συστήματος, επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων και “στρατηγικής” για την παραγωγική διαδικασία. Για παράδειγμα, η επιλογή να γίνει μόνωση του θαλάμου καύσης στον νέο φούρνο, έγινε μετά από παρατήρηση των μεγάλων απωλειών του παλαιού φούρνου. Η παραπάνω μελέτη δίνει ακριβή μεγέθη σε αυτές τις υποθέσεις.
- Καταστροφή εξέργειας: το μέγεθος αυτό επηρεάζεται κυρίως από τα εξής σημαντικά φαινόμενα που παρατηρούνται στην διόγκωση αλλά και σε κάθε παρόμοια βιομηχανική δραστηριότητα:
  - Τριβές υλικού και μείωση όγκου,
  - θερμοχωρητικότητα μετάλλων και θερμικές απώλειες,
  - αλλαγή φάσης (λόγω κλιματικών αλλαγών, ανέμου, θερμοκρασίας, υγρασίας)

#### **Αποτελέσματα απόδοσης και μοναδιαίου κόστους:**

Αν και η διαφορά της απόδοσης των 2 συστημάτων είναι αρκετά μεγάλη, σε γενικές γραμμές και τα 2 συστήματα παρουσιάζουν ικανοποιητικό βαθμός απόδοσης και μοναδιαίο κόστος, σαν γενικό συμπέρασμα και με βάση την παγκόσμια βιομηχανία περλίτη. Ο παλιός φούρνος είναι τεχνολογίας 1995 και φτιάχτηκε το 2010 ενώ ο καινούργιος είναι τεχνολογίας 2014 και φτιάχτηκε το 2014 με τα πιο υπερσύγχρονα μέσα. Το γεγονός αυτό όμως δε σημαίνει ότι ο OF δεν είναι αποδοτικός.

## Παλιός φούρνος: (OF) [55]



## 2.10 Προτάσεις – Βελτιώσεις συστημάτων:

### 1. Μόνωση εσωτερικού μανδύα φούρνου στο παλαιό σύστημα διόγκωσης:

Προτείνεται η χρήση μόνωσης του φούρνου εσωτερικά του εξωτερικού μανδύα και εξωτερικά του φούρνου. (κυλινδρικό πυρίμαχο καμίνι). Επειδή, παρατηρείται μεγάλη αναρρόφηση αέρα από το σημείο του καυστήρα, προτείνεται η χρήση των παρακάτω μονωτικών στρωμάτων:

- a) Κεραμοβάμβακας αντοχής έως 1350oC σαν πρώτο στρώμα απ' ευθείας στο περίβλημα.
- b) πυρίμαχο πλέγμα 4mm για συγκράτηση του πλέγματος στο κυλινδρικό μανδύα.
- c) στρώση τσιμέντου μεγάλης θερμοκρασιακής αντοχής.

Εκτίμηση κόστους: **15,000US\$**

### 2. Αλλαγή στρατηγικής ως προς την χρήση των 2 συστημάτων:

Επειδή και τα 2 συστήματα είναι αποδοτικά, αλλά το 1 λιγότερο από το άλλο , είναι προτιμότερο ο νέος φούρνος να χρησιμοποιείται για τα πιο ενεργοβόρα υλικά , τα οποία είναι συνήθως αυτά μεγαλύτερου μεγέθους. Ο νέος φούρνος (NF) πρέπει να χρησιμοποιείται για τα υλικά όπου απαιτείται υψηλή παραγωγικότητα ή για τα ενεργοβόρα υλικά.

Ο παλαιός φούρνος (**OF**) θα χρησιμοποιείται όταν υπάρχει συσσώρευση παραγγελιών και κυρίως για υλικά μικρής κοκκομετρίας. Το μεγάλο μήκος των σωληνώσεων προκαλεί δυσκολία στην αναρρόφηση του φούρνου. Υπενθυμίζεται ότι στο παλιό σύστημα ο ανεμιστήρας φίλτρου αναρροφά το υλικό ακριβώς κατά την πτώση του στο φούρνο από σωλήνωση 65 μέτρων. Τα υψηλής κοκκομετρίας υλικά δεν επιτρέπουν την διόγκωση υπό πλήρη τροφοδοσία στο παλιό σύστημα και ταυτόχρονα φθείρουν το υλικό . Παρόλα αυτά , τα μικρής κοκκομετρίας υλικά , μπορούν να αναρροφηθούν και υπό τροφοδοσία έως 1.2 τόνους την ώρα στο παλαιό σύστημα και να διογκωθούν πλήρως με αποτέλεσμα να δίνουν καλά αποτελέσματα κόστους και παραγωγικότητας.

Αν και με τον καινούργιο φούρνο μπορεί να παραχθεί παραπάνω ποσότητα υλικού με λιγότερο κόστος και χρόνο παραγωγής , σε περίπτωση συσσώρευσης η χρήση του παλαιού συστήματος προσδίδει κέρδος στην εταιρία.

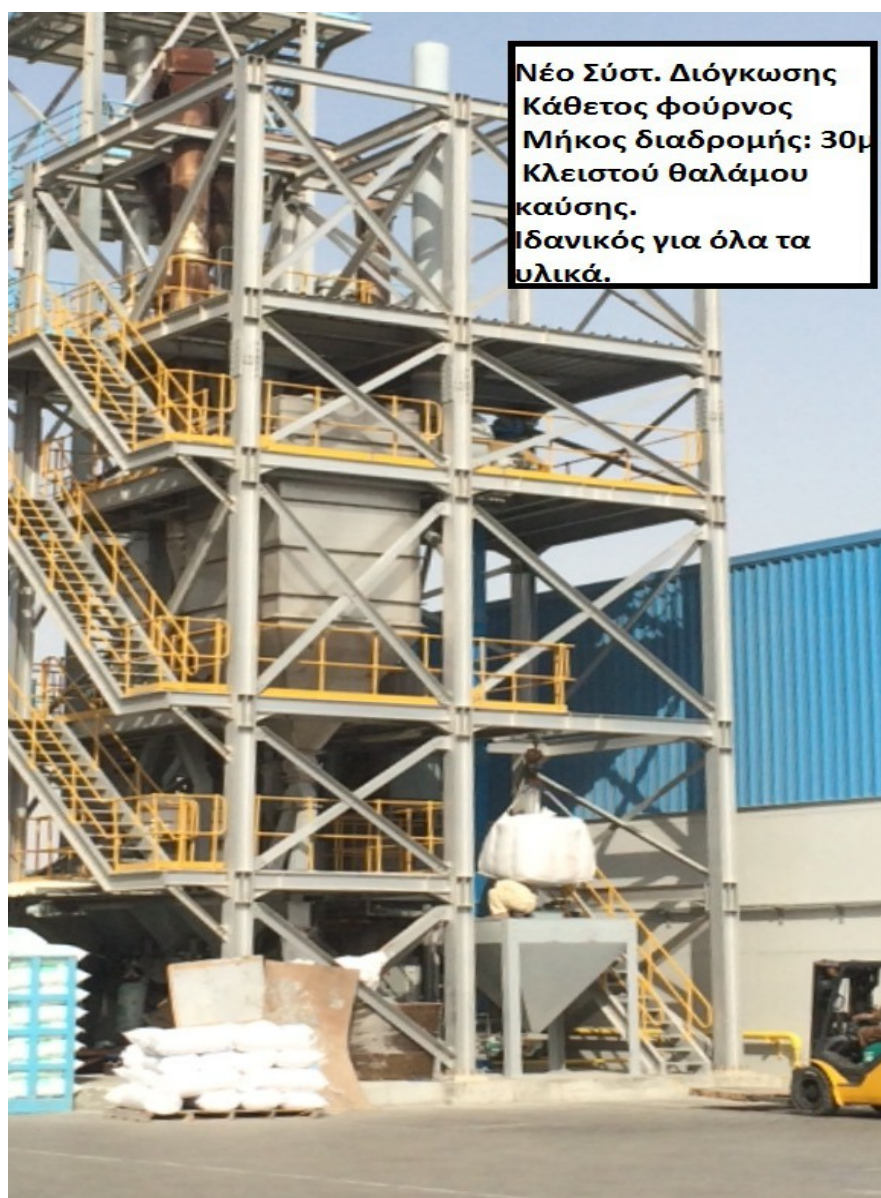
### 3. Μείωση μήκους σωληνώσεων – κοπή 1 πατώματος των ικριωμάτων του παλιού

**φούρνου:** Το μεγάλο μήκος σωληνώσεων προκαλεί φθορές στο υλικό λόγω τριβών. Επίσης αυξάνει την κατανάλωση του φούρνου γιατί απαιτεί μεγαλύτερη ταχύτητα αναρρόφησης. Για να μειωθούν λοιπόν οι ενεργειακές καταναλώσεις του φούρνου, υπάρχει η δυνατότητα

κοπής ενός (ή 2) πατωμάτων των 4 μέτρων. Αν και το κόστος είναι αρκετά μεγάλο, είναι εφικτό να κοπεί 1 ή 2 πατώματα. Στο ικρίωμα φούρνου θα κοπεί η κύρια σωλήνωση καπναερίων 3-6 μέτρα , και στο ικρίωμα φίλτρου / κυκλώνων θα κοπούν οι σωληνώσεις από το 2ο στάδιο κυκλωνισμού και κάτω. Οι μετρήσεις θερμοκρασίας υλικού στο 2ο στάδιο κυκλωνισμού επιτρέπουν την κοπή των σωληνώσεων , με άλλα λόγια το υλικό δε θα λιώνει τις σακούλες κατά την συσκευασία του. Η ύπαρξη δευτέρου φούρνου επιτρέπει την διακοπή παραγωγής για 20 ημέρες για την μετατροπή.

Εκτιμώμενος χρόνος μετατροπής:           **20 μέρες**  
Εκτιμώμενο κόστος μετατροπής:           **45,000 US\$**

### ΝΕΟΣ ΦΟΥΡΝΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ [55]



Συνιστάται από 1 ικρίωμα (πύργο) αντί για 2  
Έχει ύψος 17 μέτρα. Και συνολικό φορτίο , 45 τόνων.

## Βιβλιογραφία - Πηγές

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιείται παραπομπή στα επιμέρους κεφάλαια της εργασίας, η οποία αναγράφεται στην παρακάτω βιβλιογραφική λίστα:

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α:**     Γενικές πληροφορίες για τον περλίτη

- [1] *Perlite* , *Wikipedia* ([en.wikipedia.org/wiki/Perlite](http://en.wikipedia.org/wiki/Perlite))
- [2] *The Perlite Institute*, ([www.perlite.org](http://www.perlite.org)) , “*Physical Characteristics of Perlite*”
- [3] *The Perlite Institute* , “*Applications of Perlite*”
- [4] Williams, B. D., & Inter mountain Research Station (Ogden, Utah). (1990). *Greenhouse evaluation of reclamation treatments for perlite-pumice mine spoils*. Ogden, Utah: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Inter mountain Forest and Range Experiment Station.
- [5] “*Frequently Asked Questions*”. ([www.newagehydro.com](http://www.newagehydro.com)).  
Πληροφορίες για την Υδροπονία.
- [6] *American society for Testing and Materials*. Thermal and Cryogenic Insulating Materials , Blanket and Loose Fill Insulation. (1997) Standard specification for perlite loose fill insulation Philadelphia , PA : ASTM
- [7] National Bureau of Standards Boulder Co Chemical Engineering Science Div, Sparks, L.L. & Arvidson, J.M. (1984). “*Thermal and Mechanical Properties of Polyurethane Foams and a survey of Insulating Concretes at Cryogenic Temperatures.*”
- [8] Καμπύλες θερμικής Αγωγιμότητας για περλιτικά μονωτικά μέσα.  
*Πηγή:*  
Takegoshi, Eisyun, Hirasawa, Yoshio, & Imura, Sadahisa. (1984). “*Heat Transport of Powder as the Subject of Cryogenic Insulation: 1<sup>st</sup> Report , Effective Thermal Conductivity at Atmospheric and Low Pressures.*”
- [9] Πίνακας μονωτικών υλικών  
*Oak Ridge National Lab., TN (USA), & Conference: Conference on insulation materials, testing and applications, Bal Harbour, FL, USA, 6 Dec (1987).* “*The thermal resistance of fine powders at atmospheric pressure and under vacuum.*” United States.
- [10] Koukouzas, N. K. (1994). *Geology , mineralogy and geochemistry of Greek Perlites. Industrial applications*. Leicester: University of Leicester.
- [11] Χάρτης βασικών χωρών εξαγωγών ορυκτού περλίτη – ([www.mapsoftheworld.com](http://www.mapsoftheworld.com))

Pratley, K. G. M. (1984). “*An Investigation Into The Fluidization And Expansion Characteristics Of Perlite Ore*” . Johannesburg: University Of The Witwatersrand.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β:** Τεχνική Μηχανολογική περιγραφή Εργοστασίου Διόγκωσης

- [12] Nikolaos Fatseas , 2011, “Industrial Manual of Incon type Perlite Expansion Furnace” Dubai , UAE.
- [13] Technical Univ. of Budapest (HU). (July 01, 2000). “*Convection heat transfer coefficients at convective drying of porous materials*”. *Drying Technology*, 18, 6.)
- [14] “*Particulate Analysis Of Dryer And Mill Bag house Exhaust Emissions At Silbrico Perlite Plant*” , New Mexico, Kramer, Callahan & Associates, NM, February 1980.
- [15] “Model Based Optimization of Perlite expansion via a response surface method” , Dimitrios Gerogiorgis , Panagiotis Angelopoulos , Ioannis Paspaliaris, Laboratory of Metallurgy School of Mining and Metallurgical Engineering NTUA.
- [16] **Εικόνα** Silbrico Corporation, “ [www.silbrico.com](http://www.silbrico.com)”
- [17] **Εικόνα** Model based sensitivity Analysis and Experimental investigation of Perlite grain expansion in Vertical Expansion furnace .” Dimitrios Gerogiorgis , Panagiotis Angelopoulos , Ioannis Paspaliaris, Laboratory of Metallurgy School of Mining and Metallurgical Engineering NTUA
- [18] Incon Corporation USA , “<http://www.incon-corp.com/equip/equip.htm>”
- [19] Incon Corporation USA , “[www.incon-corp.com](http://www.incon-corp.com)”
- [20] Σύστημα διόγκωσης, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα – 2012 , “Δοκιμές κατά την έναρξη λειτουργίας εργοστασίου προϊόντων περλίτη. ”
- [21] για κυκλώνες Martin Huard , Cedric Briens , Franco Berruti, Thierry Gauthier , 2010, “A review of Rapid Gas – Solid Separation Techniques”
- [22] “Cyclonic Separation” , Wikipedia “[http://en.wikipedia.org/wiki/Cyclonic\\_separation](http://en.wikipedia.org/wiki/Cyclonic_separation)”
- [23] "What is a Baghouse ? “[baghouse.net](http://baghouse.net)”
- [24] "Industrial Baghouse" , Wikipedia (<http://en.wikipedia.org/wiki/Baghouse>)
- [25] Διαφορική πίεση , (<http://www.baghouse.com/2013/01/14/baghouse-differential-pressure-why-important/>)
- [26] Freeman, G. J., Mckechnie, M. T., & Brewer, T. S. (November 01, 1995). IMPROVED METHODS FOR THE QUALITY CONTROL OF KIESELGUHR. *Journal of the Institute of Brewing*, 101,6,447-452.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ:** Κρίσιμες παράμετροι διόγκωσης – Αναλυτική περιγραφή παραγωγής

- [27] Test Sieve shaker “www.aimsizer.com”
- [28] Pratley, K. G. M. (1984). An investigation into the Fluidization and Expansion Characteristics of Perlite Ore. Johannesburg: University of the Witwatersrand
- [29] Παρατήρηση feldspar σε διογκωμένο περλίτη , σε εργοστάσιο διόγκωσης στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, 2014
- [30] Alexander Senning , Elsevier's dictionary of Chemo etymology, Elsevier 2007
- [31] Πληροφορίες από διαδίκτυο για συστήματα θραύσης ορυκτών.  
“http://aggregatecrushingplant.net/faq\_02/Expanded\_perlite\_production\_equipment\_prices.html”
- [32] Tate, K. W., Westphal, R. C., & NAVAL CIVIL ENGINEERING LAB PORT HUENEME CALIF. (1974). Thermal Conductivity Measurements of Cryogenic Insulation at High Pressures, Ft Belvoir: Defense Technical Information Center.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ** Υπολογισμός κόστους παραγωγής

- [33] Προδιαγραφές προπανίου δοσμένες από εταιρία παροχής καυσίμων , Emirates Gas LLC ENOC , Dubai U.A.E.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε:** Τμήμα πωλήσεων και εφαρμογές περλίτη

- [34] ASTM C332 – 09 “Standard Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete”
- [35] ASTM C-28 Perlite Aggregate
- [36] ASTM C- 28 Gypsum Plasters
- [37] ASTM C549 Perlite Loose Fill Insulation
- [38] A&B Group Cryogenics , The Linde Group
- [39] Εταιρία Oryx , Ras Al Laffan , Qatar. Στιγμιότυπο διαρροής θερμότητας από δεξαμενή υγρού αζώτου.
- [40] Καμπύλη θερμικής αγωγιμότητας – πίεσεως αζώτου N2 , πηγή “Dubai Central Laboratory” , εργαστηριακός έλεγχος δεξαμενής φυσικού αερίου Νοέμβριος 2013.
- [41] ASTM C610 – Μόνωση με χυτές σωληνώσεις περλίτη , αφρώδους γυαλιού, πυριτικού ασβεστίου.
- [42] Εικόνα εφαρμογών σωλήνων περλίτη, “ John Manville Industrial Insulation Group” (<http://www.iig-llc.com/products/industrial/perlite-insulation-pipe-and-block.html>)



- [43] Πληροφορίες από το διαδίκτυο , Μονώσεις υψηλών θερμοκρασιών “[www.insulation.org](http://www.insulation.org)” , Wikipedia “[http://en.wikipedia.org/wiki/Pipe\\_insulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Pipe_insulation)”
- [44] Φάρμα υδροπονίας με υλικό UAE perlite , Ομάν 2013 , εταιρία Al Busath Hydroponis.
- [45] Αγροτικά προϊόντα περλίτη , εταιρίας GULF PERLITE , Dubai , UAE. “[www.uaeperlite.com/gulf-perlite-agro-pearl.html](http://www.uaeperlite.com/gulf-perlite-agro-pearl.html)”
- [46] Οικονομικά στοιχεία πωλήσεων , Gulf Perlite , Dubai UAE ([www.uaeperlite.com](http://www.uaeperlite.com))
- [47] U.S. Geological Survey Minerals Yearbook , 2003 ,2013 .. , The Perlite Institute , “[www.perlite.org](http://www.perlite.org)” , Γενικά στατιστικά μεγέθη και πληροφορίες για τον περλίτη, Wallace P. Bolen.

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ζ:** Σύγκριση φούρνων και μελέτη κόστους

- [48] Mert Gürtürk a, Hakan F. Oztop b Department of Energy Systems Engineering Firat University , Elazig Turkey , “Comparison of exergoeconomic analysis of two different perlite expansion furnaces.”
- [49] Τα στοιχεία κόστους και χρόνου για την εγκατάσταση των συστημάτων διόγκωσης καθώς και τα στατιστικά στοιχεία της ανάλυσης του κεφαλαίου Ζ παράγραφος 2 , προέρχονται από κατασκευές και δοκιμές στην εταιρία GULF PERLITE , Ντουμπαί , Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα την περίοδο 2012 – 2014.
- [50] Utlu Z, Hepbasli A. “Exergoeconomic aspects of sectoral energy utilization for Turkish industrial sector and their impact on energy policies.” 2009
- [51] Lian ZT, Chua KJ, Chou SK. “A thermoeconomic analysis of biomass energy for trigeneration. Appl Energy” , 2010
- [52] Exergy, wikipedia “<http://en.wikipedia.org/wiki/Exergy>”
- [53] Mert MS, Dilmaç Ozkan S, Karaca F, Bolat E. “ ExergoEconomic analysis of a co-generation plant in an iron and steel factory.” Energy 2012
- [54] Lazzaros A, Tsatsaronis G. SPECO “A systematic and general methodology for calculating efficiencies and costs in thermal systems.” Energy 2006
- [55] Gulf Perlite LLC , Dubai , UAE

