



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Πεδία εφαρμογής και μέθοδοι κατεργασίας  
Ελληνικών κοιτασμάτων Γύψου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΓΑΪΤΑΝΑ ΑΝΝΗΣ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Τσακαλάκης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## Πεδία εφαρμογής και μέθοδοι κατεργασίας Ελληνικών κοιτασμάτων Γύψου

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΓΑΪΤΑΝΑ ΑΝΝΗΣ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Τσακαλάκης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 30<sup>η</sup> Μαρτίου 2012

(Υπογραφή)

.....  
Κωνσταντίνος Τσακαλάκης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....  
Γεώργιος Αναστασάκης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....  
Μαρία Περράκη  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2012

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>1. Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΓΥΨΟΥ .....</b>	<b>10</b>
<b>2. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΓΥΨΟΥ .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Εβαπορίτες.....	15
2.1.2 Χημική Σύσταση Γύψου- Ανυδρίτη.....	21
2.1.2.1 Γύψος.....	21
<b>3. ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΥΨΟΥ.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 ΧΡΗΣΕΙΣ .....</b>	<b>32</b>
3.1.1 Χρήσεις Γύψου.....	32
3.1.1.1 Οικοδομικός Κλάδος.....	32
3.1.1.2 Βιομηχανικός Κλάδος .....	32
3.1.1.3 Γεωργικός Κλάδος.....	35
3.1.1.4 Καλλιτεχνικός Κλάδος.....	35
3.1.1.5 Ιατρικός Κλάδος.....	36
3.1.2 Χρήσεις Ανυδρίτη .....	36
3.1.2.1 Οικοδομικός Κλάδος.....	36
3.1.2.2 Βιομηχανικός Κλάδος .....	37
3.1.2.3 Γεωργικός Κλάδος.....	37
<b>3.2 ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΥΨΟΥ .....</b>	<b>38</b>
<b>4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1 ΕΞΟΡΥΞΗ .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ.....</b>	<b>41</b>
4.2.1 Προπαρασκευή πετρώματος.....	41
4.2.1.1 Θραύση .....	41
4.2.1.2 Προκαταρκτική ξήρανση .....	44
4.2.1.3 Εμπλουτισμός-Καθαρισμός.....	45

<b>4.3 ΠΥΡΩΣΗ Ή ΟΠΤΗΣΗ .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3.1 Μέθοδοι Πύρωσης- Όπτησης(Αφυδάτωσης) Γύψου .....</b>	<b>49</b>
4.3.1.1 Κάδος επεξεργασίας (kettle) «κατσαρόλα» .....	49
4.3.1.2 Περιστροφική κλίβανος (κλίβανος) .....	53
<b>5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΥΨΟΣΑΝΙΔΩΝ .....</b>	<b>59</b>
<b>5.1 ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟ .....</b>	<b>64</b>
<b>6.ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....</b>	<b>66</b>
<b>6.1 ΘΡΑΥΣΤΗΡΕΣ .....</b>	<b>66</b>
6.1.1 Θραυστήρες με σιαγόνες (Jaw Crushers).....	66
6.1.2 Γυροσκοπικοί Θραυστήρες (GyratoryCrushers) .....	67
6.1.3 Κωνικοί θραυστήρες(ConeCrushers).....	68
6.1.4 Κρουστικοί θραυστήρες (Impactors).....	69
6.1.5 Κρουστικοί θραυστήρες καθέτου σώματος (VerticalShaftImpactor)...	69
6.1.6 Θραυστήρες με κυλίνδρους (Κυλινδρόμυλοι) .....	70
6.1.7 Σφαιρόμυλος-ραβδόμυλος.....	72
6.1.8 Σφυρόμυλοι (Hammer Mills).....	73
<b>6.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ .....</b>	<b>74</b>
6.2.1 Περιστροφικάκόσκινα (trommel).....	74
6.2.2 Παλινδρομικά και δονούμενα κόσκινα.....	75
<b>6.3 ΚΛΙΒΑΝΟΙ.....</b>	<b>75</b>
6.3.1 Περιστροφικοί κλίβανοι άμεσης θέρμανσης (rotarykilns).....	76
<b>6.4 ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΑ .....</b>	<b>76</b>
6.4.1 Ξηραντήρια με τύμπανα (DrumDriers).....	76
6.4.2 Περιστροφικά ξηραντήρια.....	77

<b>7. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ .....</b>	<b>79</b>
<b>7.1 ΕΔΑΦΗ.....</b>	<b>79</b>
<b>7.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ.....</b>	<b>81</b>
<b>7.3 ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>82</b>
7.3.1 Επιφανειακή απορροή.....	83
7.3.2 Επιφανειακοί υδάτινοι σχηματισμοί.....	83
<b>8. ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΓΥΨΟΣ .....</b>	<b>87</b>
<b>8.1 FGD (FLUEGASDESULFURIZATION).....</b>	<b>87</b>
8.1.1 Διαδικασία Παραγωγής FGD .....	87
<b>8.2 ΦΩΣΦΟΡΙΚΗ, ΤΙΤΑΝΙΟΥ, ΚΙΤΡΙΚΗ ΓΥΨΟΣ .....</b>	<b>89</b>
8.2.1 Φωσφορική .....	89
8.2.2 Τιτανίου.....	89
8.2.3 Κιτρική γύψος .....	89
8.2.4 Φθοριο-Ανυδρίτης.....	90
8.2.5 Άλλα συνθετικά προϊόντα .....	90
<b>9. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ .....</b>	<b>92</b>
<b>9.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....</b>	<b>92</b>
<b>9.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΞΟΡΥΞΗ.....</b>	<b>92</b>
<b>9.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΟ ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ .....</b>	<b>93</b>
<b>9.4 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ Ή ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ .....</b>	<b>94</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη της γύψου ως βιομηχανικού ορυκτού μεγάλης σπουδαιότητας, όσον αφορά στις χρήσεις του, και επίσης σημαντικής οικονομικής σημασίας για την Ελλάδα. Η παγκόσμια και η εγχώρια παραγωγή του είναι σημαντική. Τα κοιτάσματα στον Ελλαδικό χώρο και η παραγωγική δραστηριότητα είναι αξιόλογα. Το υλικό χρησιμοποιείται στην πρωτογενή μορφή του στην τσιμεντοβιομηχανία, αλλά και ως μεταποιημένο στην παραγωγή δομικών προϊόντων και σε άλλες χρήσεις.

Αρχικά αναλύονται οι ιδιότητες που την καθιστούν σπουδαίο προς εκμετάλλευση ορυκτό, με εφαρμογές σε πολλούς τομείς. Στη συνέχεια, περιγράφεται η διαδικασία παραγωγής προϊόντων γύψου, από την εξόρυξή της μέχρι και την παραγωγή των τελικών προϊόντων, με την καταγραφή των μεθόδων και την παρουσίαση των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στη βιομηχανική διαδικασία παραγωγής γυψοσανίδων καθώς αποτελεί ένα από τα βασικά προϊόντα της βιομηχανίας γύψου με ευρύτατη χρήση στη δομική βιομηχανία.

Τέλος, αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευση και κατεργασία της γύψου, αλλά και οι προσπάθειες της σύγχρονης βιομηχανίας γύψου για οικονομικότερη παραγωγή, είτε μέσω της παραγωγής γύψου με τεχνητές μεθόδους είτε μέσω της ανακύκλωσης του ίδιου του προϊόντος. Οι μέθοδοι αυτές απεικονίζουν την περιβαλλοντική διάσταση και τις δυνατότητες της σύγχρονης τεχνολογίας στην αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων.

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis was to study gypsum as an industrial mineral of great importance, due to the variety of its uses, which has also a significant economic importance to Greece. Both global and domestic production are important and Greek gypsum deposits are remarkable. This material is used in its primary form in cement industry and as a processed material in the production of constructing materials.

At first this thesis deals with the properties of the material, which make it a worthy exploited mineral, with applications in many fields. Furthermore the manufacturing process of gypsum, from its extraction up to the production of final products, the methods and the mechanical equipment used are described. Particular reference is made to the industrial production procedure of plasterboard as one of the basic products of gypsum industry widely used in construction.

The environmental impacts of gypsum exploitation and processing are also referred. At last but not least the efforts of modern industry for a more economical production, through the production of synthetic products or through the recycling of the product itself are mentioned. These methods reflect the environmental dimension and the ability and modern technology in using industrial byproducts.

## **ΕΙΚΟΝΕΣ**

Εικόνα 1.1 Ελληνικά κοιτάσματα γύψου

Εικόνα 2.1 Λιμνοθάλασσα KaraBogazowz φυσική αλυκή

Εικόνα 3.1 Παγκόσμια κατανομή παραγωγής γύψου

Εικόνα 4.1 Ημιυδρίτης Α

Εικόνα 4.2 Ημιυδρίτης Β

Εικόνα 4.3 Φάσεις συστήματος  $\text{CaSO}_4$  στο εσωτερικό του κάδου πύρωσης

Εικόνα 9.1-9.2 Κάδος συλλογής προς ανακύκλωση γυψοσανίδων

Εικόνα 9.3 Αποθήκη συγκέντρωσης γύψου προς ανακύκλωση

Εικόνα 9.4 Γύψος από ανακύκλωση

## **ΣΧΗΜΑΤΑ**

Σχήμα 2.1 Βασικά στάδια σχηματισμού των ιζηματογενών πετρωμάτων

Σχήμα 2.2 Στήλη εξάτμισης θαλασσινού νερού

Σχήμα 2.3 Παραγωγή εβαποριτών σε σχέση με τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού στη λεκάνη ιζηματογένεσης

Σχήμα 2.4 Μοντέλα εβαποριτικής απόθεσης

Σχήμα 2.5 Κρυσταλλική δομή γύψου

Σχήμα 2.6 Κρύσταλλοι γύψου

Σχήμα 2.7 Υδατοδιαλυτότητα διαφόρων μορφών  $\text{CaSO}_4$

Σχήμα 2.8 Κρυσταλλική δομή Ανυδρίτη

Σχήμα 2.9 Κρύσταλλοι Ανυδρίτη

Σχήμα 2.10 Συσχέτιση σκληρότητας διαφόρων θειούχων ορυκτών στην κλίμακα Mohs

Σχήμα 3.1 Ποσοστιαία διακύμανση είδους θειικής ένωσης κατά την άλεση του κλίνκερ

Σχήμα 4.1 Απλοποιημένο διάγραμμα ροής θραύσης γύψου

Σχήμα 4.2 Μύλος MPS πύρωσης, άλεσης, αεροταξινόμησης γύψου

Σχήμα 4.3 Περιεκτικότητα κρυσταλλικού νερού στο τελικό προϊόν μύλου MPS



Σχήμα 4.4 Στάδια μετατροπής γύψου σε ημιυδρίτη και ανυδρίτη  
Σχήμα 4.5 Διάταξη κάδου πύρωσης  
Σχήμα 4.6 Περιστροφική κάμινο(κλίβανος) πύρωσης γύψου  
Σχήμα 4.7 Συγκρότημα παραγωγής ημιυδρίτη  
Σχήμα 4.8 Διάταξη ταχύτητας όπτησης (πύρωσης) γύψου  
Σχήμα 4.9 Ολοκληρωμένο διάγραμμα ροής κατεργασίας γύψου  
Σχήμα 5.1 Προετοιμασία γυψοπολτού και μορφοποίηση γυψοσανίδας  
Σχήμα 5.2 Ολοκληρωμένη διαδικασία παραγωγής γυψοσανίδας  
Σχήμα 5.3 άλλη ολοκληρωμένη διαδικασία παραγωγής γυψοσανίδας  
Σχήμα 6.1 Θραυστήρας σιαγόνων  
Σχήμα 6.2 Γυροσκοπικοί θραυστήρες  
Σχήμα 6.3 Κωνικοί θραυστήρες  
Σχήμα 6.4 Κρουστικοί θραυστήρες  
Σχήμα 6.5 Μύλοι λειοτρίβησης- άλεσης  
Σχήμα 6.6 Σφαιρόμυλος  
Σχήμα 8.1 Διάγραμμα υγρής μεθόδου αποθείωσης καπναερίων (παραγωγή γύψου)

## **ΠΙΝΑΚΕΣ**

Πίνακας 2.1 Παγκόσμια αποθέματα γύψου  
Πίνακας 2.2 Αλληλουχία ιζηματογένεσης  
Πίνακας 2.3 Ποσοστιαία (%) σύσταση γύψου  
Πίνακας 2.4 Φυσικές ιδιότητες γύψου  
Πίνακας 2.5 Ποσοστιαία (%) σύσταση ανυδρίτη  
Πίνακας 2.6 Φυσικές ιδιότητες ανυδρίτη  
Πίνακας 2.7 Φάσεις συστήματος  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  και οι ιδιότητες τους  
Πίνακας 3.1 Παγκόσμια παραγωγή γύψου  
Πίνακας 4.1 Βασικά χαρακτηριστικά φάσεων Α και Β ημιυδρίτη

## 1. Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΓΥΨΟΥ

Ο όρος *γύψος* ήταν γνωστός από την αρχαιότητα και περιελάμβανε και το ορυκτό γύψο και τον ασβέστη. Σήμαινε τη γαιώδη ύλη την οποία όταν την έψηναν και ανακάτευαν με νερό γινόταν σκληρή και συμπαγής. Γι' αυτό τη χρησιμοποιούσαν στην οικοδομική, στην κατασκευή εκμαγείων, στα υφάσματα, στην κατεργασία του οίνου και στη ζωγραφική. Επίσης *γύψος* σήμαινε και το *αλάβαστρο* αν και ο *αλαβαστρίτης λίθος* ήταν μάλλον ασβεστιτικής σύστασης (Θεόφραστος).



Τα παλαιότερα ίχνη γυψοκονιάματος είναι 9.000 έτη παλαιά, και βρέθηκαν στην Ανατολία και τη Συρία. Επίσης είναι γνωστό ότι 5.000 έτη πριν, οι Αιγύπτιοι έκαιγαν τη γύψο με φωτιά στο εξωτερικό περιβάλλον και ύστερα την έτριβαν σε σκόνη, τη σκόνη στη συνέχεια την αναμίγνυαν με νερό και τη χρησιμοποιούσαν για να ενώνουν (κολλούν) διάφορα μέρη των μνημείων τους, όπως στην πυραμίδα του Χέοπος.

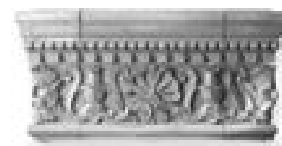


Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποίησαν τη γύψο και για να φτιάξουν καλούπια που λαμβάνονταν απευθείας από το ανθρώπινο σώμα.

Οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποίησαν επίσης τη γύψο σε πολλές εφαρμογές όπως στη κατασκευή αγαλματιδίων και παραθύρων των ναών τους. Η γύψος που χρησιμοποιούσαν ήταν σε διαφανή μορφή (σεληνίτης). Στην αρχαία Ρώμη, έχει αποδειχθεί, ότι Ρωμαίοι έφτιαξαν πολλές χιλιάδες αντιγράφων ελληνικών αγαλμάτων χρησιμοποιώντας καλούπια από γύψο.

Ο συγγραφέας Θεόφραστος (372-287 π.χ.) περιέγραψε με ακρίβεια την επεξεργασία της γύψου όπως γινόταν εκείνη την εποχή στη Συρία και τη Φοινίκη.

Το 1700 στο Παρίσι οι τοίχοι των ξύλινων σπιτιών καλύφθηκαν με γύψο, σαν προστασία ενάντια στην πυρκαγιά. Ο βασιλιάς της Γαλλίας είχε επιβάλει αυτό τον κανόνα αφού η μεγάλη πυρκαγιά του Λονδίνου κατάστρεψε κυριολεκτικά την πόλη το 1666. Λόγω δε του παραπάνω γεγονότος



η γύψος απέκτησε και το όνομα “γύψος του Παρισιού” (Plaster of Paris). Έκτοτε μεγάλες ποσότητες γύψου έχουν εξορυχθεί από τις γύρω περιοχές του Παρισιού, όπου υπάρχουν σημαντικά κοιτάσματα γύψου.

## 2. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΓΥΨΟΥ

Αν και τα κοιτάσματα ανυδρίτη είναι μεγαλύτερα, μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα κοιτάσματα γύψου γιατί έχουν μεγαλύτερη οικονομική σημασία. Τα παγκόσμια αποθέματα γύψου (σύμφωνα με τον Πίνακα 1) εκτιμάται ότι ανέρχονται σε 2,3 δισεκατομμύρια τόνους (USBM:Minerals Facts and problems 1985) και είναι επαρκή για τα επόμενα χρόνια.

**Πίνακας 2.1:** Παγκόσμια αποθέματα γύψου (σε εκατομμύρια τόνους)

<b>Χώρες</b>	<b>Αποθέματα</b>
Ηνωμένες Πολιτείες	730
Καναδάς	450
Μεξικό	70
Άλλες χώρες	20
Νότια Αμερική	40
Ευρώπη	800
Ασία	90
Αφρική	70
Ωκεανία	70
<b>Σύνολο</b>	<b>2340</b>

Στις Ηνωμένες Πολιτείες τα αποθέματα γύψου είναι συγκεντρωμένα σε πέντε κυρίως περιοχές: στο Γκρέιτ Λέικς (Great Lakes), στον κόλπο του Βόρειου Τέξας, στη Λουιζιάνα και στο Μισσισίπι, στην περμιδική λεκάνη του Ν.Μεξικό, στο Β.Τέξας, στην Οκλαχόμα και το Κάνσας. Τα κοιτάσματα του Μίσιγκαν χαρακτηρίζονται ως «ανεξάντλητα».

Στο Τέξας, όπου τα αποθέματα είναι εκτεταμένα, η μεγαλύτερη έκταση κοιτασμάτων γύψου έχει πλάτος 56 χιλιόμετρα και πάχος 6 μέτρα.

Και άλλες πολιτείες, όπως η Αιόβα, η νοτιοανατολική Αριζόνα, η Ιντιάνα και το Κάνσας, έχουν εξίσου μεγάλα κοιτάσματα γύψου.

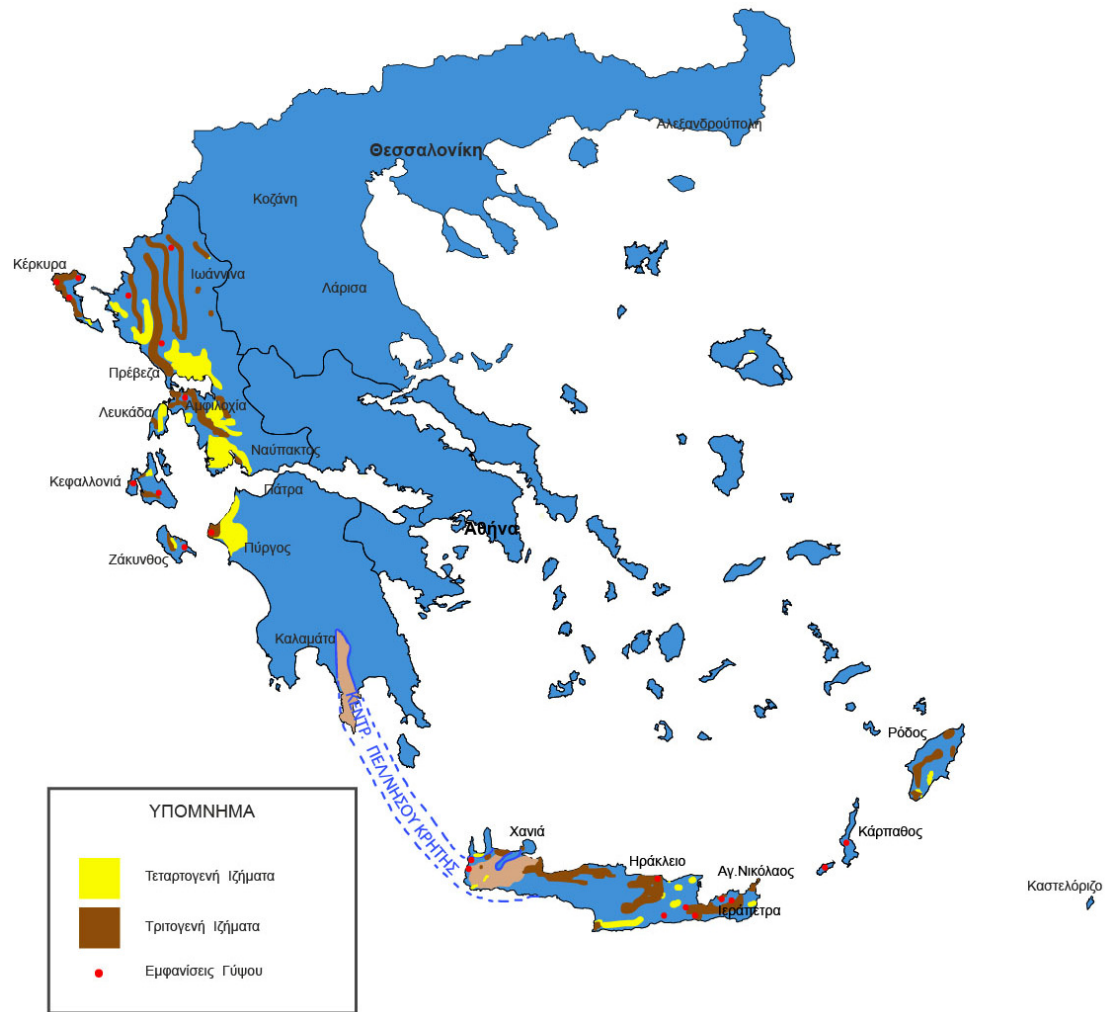
Τα σημαντικότερα αποθέματα γύψου στον Καναδά βρίσκονται στη Νέα Σκωτία, στο Οντάριο, στη Μανιτόμπα και στη Βρετανική Κολούμπια. Τα αποθέματα εκτιμάται ότι ανέρχονται σε 450 εκατομμύρια τόνους αλλά μόνο στη Νέα Σκωτία υπάρχουν 1500 τετραγωνικά χιλιόμετρα γυψοφόρου πετρώματος.

Στη Γαλλία τα αποθέματα γύψου στη λεκάνη του Παρισιού θεωρούνται απεριόριστα. Τα στρωσιγενή κοιτάσματα γύψου εκτείνονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 8000 τετραγωνικών χιλιομέτρων και έχουν πάχος μεγαλύτερο των 55 μέτρων. Τα κοιτάσματα της Δυτικής Γερμανίας είναι σημαντικά. Επίσης, στη Μεγάλη Βρετανία γύψος και ανυδρίτης βρίσκονται σε ολόκληρη τη χώρα με μεγάλα κοιτάσματα στο Κούμπρια, Γιόρκσαιρ και το Σάσεξ.

Στις περισσότερες χώρες που συνορεύουν με τη Μεσόγειο εμφανίζονται μεγάλα κοιτάσματα γύψου.

Η χώρα μας διαθέτει σημαντικά για το μέγεθός της αποθέματα γύψου καλής ποιότητας. Γνωστά αποθέματα, που ανέρχονται σε μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια τόνους βρίσκονται στη Δυτική Ελλάδα (Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Αγρίνιο, Αιτωλικό Πρέβεζα, Ζάκυνθο, Κεφαλληνία, Κυλλήνη, Ολυμπία), στην Κρήτη, στη Ρόδο, στην Καρδίτσα και την Καβάλα. Τα κοιτάσματα αυτά έχουν ηλικία περμική, τριαδική και νεογενή.

Αντίστοιχα, τα κύρια κοιτάσματα του ανυδρίτη βρίσκονται στις ακόλουθες περιοχές: Ίνσμπουργκ (Αυστρία), Μπάνκροφτ και Οντάριο (Καναδάς), Βιέλιτσκο (Πολωνία), Βο (Ελβετία), Λουϊζιάνα, Νέο Μεξικό, Νότια Ντακότα, και Τέξας (Η.Π.Α). Στην Ελλάδα βρέθηκε ανυδρίτης μαζί με γύψο στη Ζάκυνθο, στο Αιτωλικό, στην Σαντορίνη κ.α.



**Εικόνα 1.1** Ελληνικά κοιτάσµατα γύψου (Πηγή: Μούσουλος, 1960)

## 2.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

### 2.1.1 Εβαπορίτες

Οι εβαπορίτες είναι χημικά ιζηματογενή κοιτάσματα. Προέρχονται από την απόθεση διαφόρων χλωριούχων και θειικών αλάτων K,Na,Ca από υπέρκορα σε αυτά τα στοιχεία, σε θαλάσσιες ή λιμναίες λεκάνες. Με τη σταδιακή εξάτμιση (evaporation) του θαλάσσιου ή λιμναίου ύδατος καθιζάνει αρχικά,  $\text{CaCO}_3$  σχηματίζοντας ανθρακικά ορυκτά, στη συνέχεια καθιζάνει  $\text{CaSO}_4$  σχηματίζοντας θειικά ορυκτά και τέλος, όσο η εξάτμιση συνεχίζεται καθιζάνει  $\text{NaCl}$  σχηματίζοντας χλωριούχα ορυκτά.

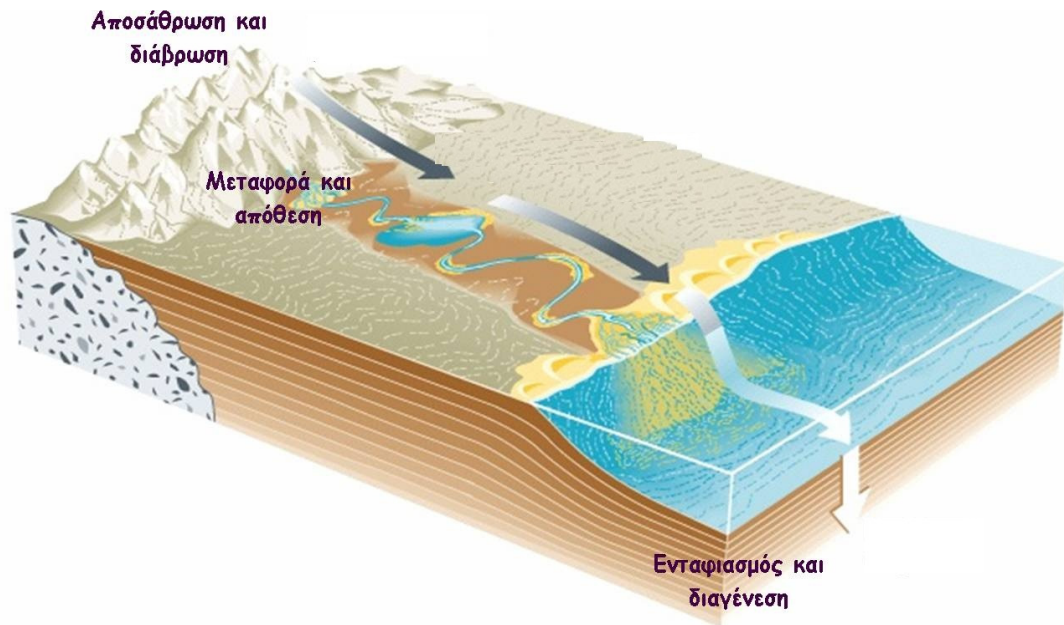
Τα κύρια ορυκτά των εβαποριτών είναι η γύψος ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), ο ανυδρίτης ( $\text{CaSO}_4$ ) και ο αλίτης ( $\text{NaCl}$ ). Σε μικρότερα ποσοστά στις διάφορες λεκάνες, απαντούν συλβίνης ( $\text{KCl}$ ), καρναλλίτης ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ), πολυαλλίτης [ $\text{K}_2\text{MgCa}_2 (\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ], καϊνίτης ( $\text{KMgClSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) και κιζερίτης ( $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Η ιζηματογένεση ακολουθεί την παρακάτω σειρά (Πίνακας 2.2):

**Πίνακας 2.2** Αλληλουχία ιζηματογένεσης

1	2	3	4	5	6	7
Υδροξειδία Fe, Al	Ασβεστίτης Δολομίτης	Γύψος	Ανυδρίτης	Εναλλαγή Γύψου και Ανυδρίτη	Αλίτης	Άλατα Μαγνησίου

Συνήθως, η ιζηματογένεση φθάνει μέχρι το σχηματισμό ακολουθιών γύψου και ανυδρίτη και σε εναλλαγές με ασβεστίτη, δολομίτη ή αργιλικά ορυκτά. Πολύ συχνά η ιζηματογένεση φθάνει και μέχρι το σχηματισμό αλίτη, ο οποίος αποτίθεται σε στρώσεις και σε εναλλαγές με γύψο, ανυδρίτη και κλαστικά υλικά. Κατά την εξάτμιση του θαλάσσιου νερού σχηματίζεται αρχικά γύψος, όταν ο όγκος του νερού φθάσει στο 30% του αρχικού, ανυδρίτης, όταν ο όγκος του νερού φθάσει στο 14% του αρχικού, αλίτης (10%) και άλατα καλίου και μαγνησίου (5%).

Εντούτοις η θερμοκρασία, η αλμυρότητα και η σύσταση του νερού στη φύση καθορίζουν τη σειρά σχηματισμού των ορυκτών και μπορούν να οδηγήσουν στην επαναδιάλυση ορυκτών που έχουν καθιζήσει και σχηματισμό νέων.



**Σχήμα 2.1** Βασικά στάδια σχηματισμού των ιζηματογενών πετρωμάτων

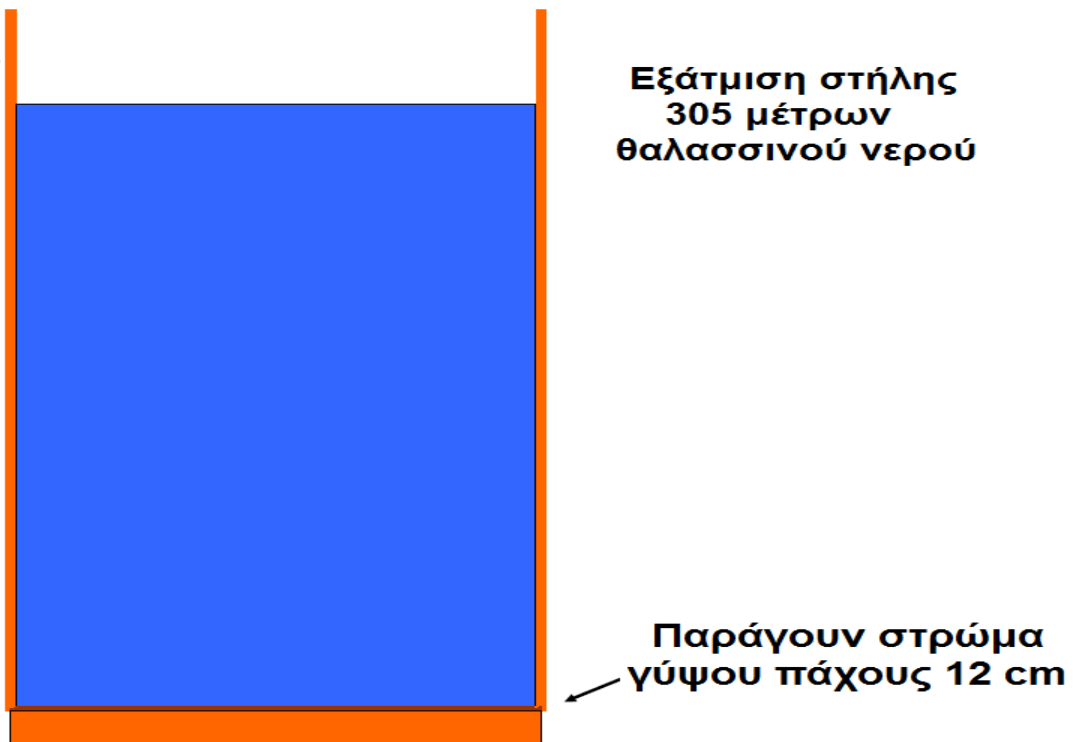
(Πηγή:[www.metal.ntua.gr/.../sedimentary\\_rocks\\_\\_formation\\_classification.p](http://www.metal.ntua.gr/.../sedimentary_rocks__formation_classification.p).)

Εβαπορίτες έχουν εναποτεθεί σε ενδοηπειρωτικές λεκάνες (λίμνη Αράλη), σε ενδοηπειρωτικές τάφρους (Ερυθρά θάλασσα), στο βυθό θαλάσσιων λεκανών (Μεσόγειος) και σε λιμνοθάλασσες.

Η γένεση των εβαποριτών ακολουθεί τα επόμενα στάδια:

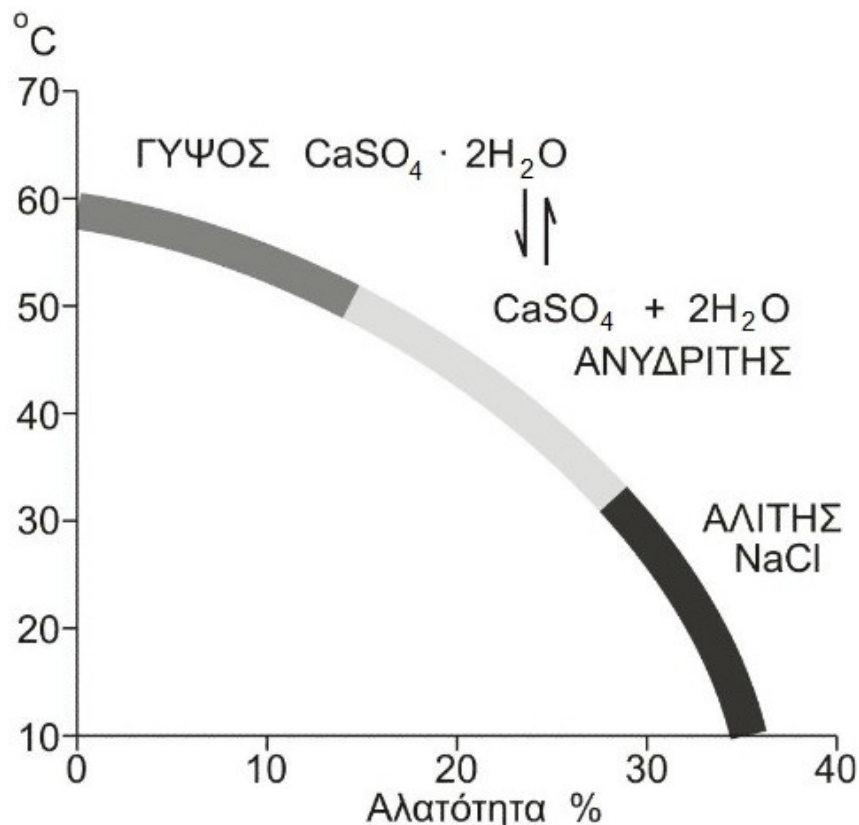
- Η εξάτμιση επιφανειακού ύδατος στις θαλάσσιες ή λιμναίες λεκάνες, οδηγεί σε ένα μεγαλύτερης αλμυρότητας στρώμα, το οποίο, ως βαρύτερο κατέρχεται στο θαλάσσιο βυθό, όπου δημιουργεί ένα στάσιμο, μεγάλης συγκέντρωσης, υδάτινο ορίζοντα, από τον οποίο αρχίζει η καθίζηση εβαποριτών.





**Σχήμα 2.2** Στήλη εξάτμισης θαλασσινού νερού

- Σε ενδοκρατονικές λεκάνες (Κασπία, κλπ), όταν η εξάτμιση υπερβαίνει την εισροή γλυκών υδάτων, δημιουργούνται υπέρκορα διαλύματα, από τα οποία καθιζάνουν αρχικά ανθρακικά ορυκτά και στη συνέχεια, γύψος και ορυκτό αλάτι. Η απόθεση γίνεται σε ομόκεντρες επιφάνειες, με τα χλωριούχα άλατα στο κέντρο της λεκάνης, δεδομένου ότι, ως ευδιάλυτα, είναι τα τελευταία που αποτίθενται.
- Όταν κάποια λιμνοθάλασσα αποκόπτεται από την ανοιχτή θάλασσα (εξαιτίας π.χ ενός κοραλλιογενούς υφάλου, ή ενός αμμώδους λόφου) δημιουργούνται σ' αυτήν υπέρκορα διαλύματα, από τα οποία καθιζάνουν, αρχικά, ανθρακικά και στη συνέχεια θειικά και χλωριούχα άλατα. Επαναλαμβανόμενος ανεφοδιασμός της λιμνοθάλασσας με θαλασσινό νερό οδηγεί σε αρκετά μεγάλου πάχους, εβαπορίτες.



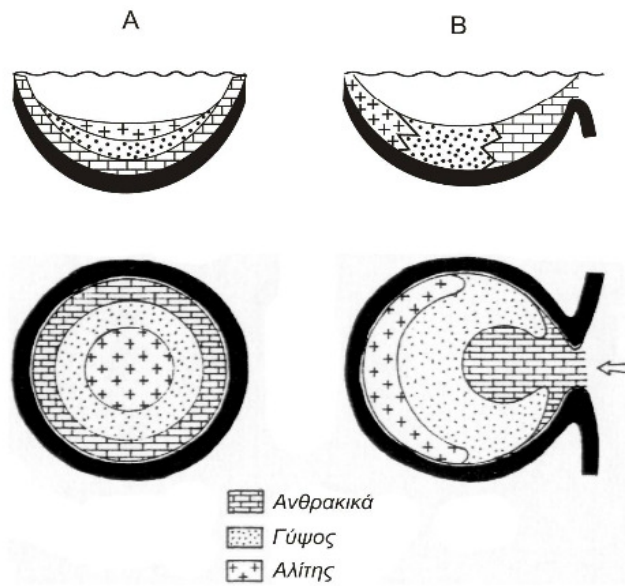
**Σχήμα 2.3** Παραγωγή εβαποριτών σε σχέση με τη θερμοκρασία (°C) και την αλατότητα (%) του νερού στη λεκάνη ιζηματογένεσης (σύμφωνα με Τσιραμπίδη κ.α)

Εκτιμάται ότι, πρέπει να εξατμισθούν 1000 m στήλης θαλασσινού νερού για να παραχθούν 0,75 m γύψου και 13,7 m αλίτη.

Βασική παράμετρος για το σχηματισμό εβαποριτών είναι το κλίμα, το οποίο σχετίζεται με το ρυθμό τροφοδοσίας (εφοδιασμό) της εβαποριτικής λεκάνης με νερό και υλικά.

Το κλίμα τύπου «Arid» ή «Semiarid», το οποίο χαρακτηρίζεται από μικρό ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και έντονη εξάτμιση, είναι το πλέον κατάλληλο για το σχηματισμό εβαποριτών.

Η παρουσία εβαποριτικών κοιτασμάτων στους σχηματισμούς όλων σχεδόν των γεωλογικών εποχών φανερώνει την επανάληψη κατά διαστήματα των κατάλληλων συνθηκών για το σχηματισμό τους. Συνθήκες ανάλογες επικρατούν και σήμερα σε ορισμένες περιοχές του πλανήτη.



Δυο μοντέλα εβαποριτικής απόθεσης κατά Hsü (1972) σε κλειστές (A) και Ημίκλειστες (B) λεκάνες ιζηματογένεσης. Άνω σε τομή, κάτω σε κάτοψη

**Σχήμα 2.4** Μοντέλα εβαποριτικής απόθεσης (σύμφωνα με Τσιραμπίδη κ.α)

Τυπικό παράδειγμα η μεγάλη λιμνοθάλασσα του Kara Bogaz Bay (βλ. Σχήμα 2.6) στην Κασπία θάλασσα που λειτουργεί ως φυσική αλυκή.

Εβαπορίτες, προπάντων ανυδρίτης και γύψος, με παρεμβολές ορυκτού άλατος, απαντούν σε ογκώδη κοιτάσματα στη δυτική Ελλάδα, στην Κρήτη και στην Κάρπαθο. Είναι περμικής κατωτριάδικής ηλικίας και καλύπτονται από μεσοζωικό κάλυμμα. Μερικές φορές, λόγω διαπειρισμού, βρίσκονται μέσα στο μεσοζωικό-ηωκαινικό κάλυμμα ή επάνω σε αυτό. Μερικά από τα κοιτάσματα της Κρήτης (Στόμιο και Αλτσι) είναι προνομιούχα. Η καλή τους ποιότητα, τα μεγάλα τους αποθέματα (ανέρχονται σε εκατοντάδες εκατομμύρια τόνους), η ιδανική προσπέλασή τους και η γεωγραφική θέση τους πάνω στις διεθνείς γραμμές ναυσιπλοΐας, τα καθιστούν ασυναγώνιστα.



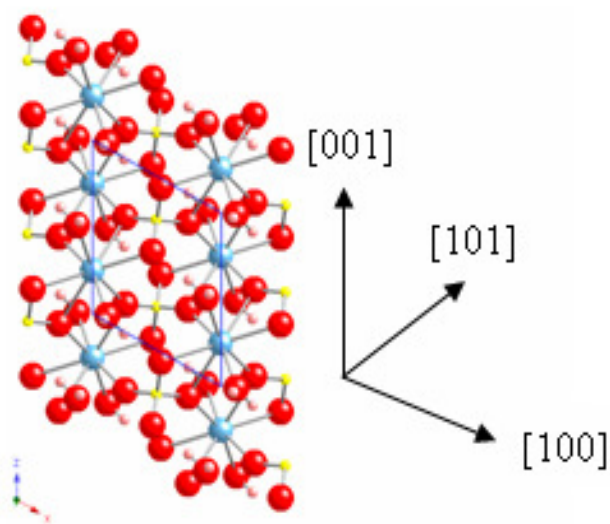
**Εικόνα 2.1** Λιμνοθάλασσα Kara Bogaz Bay ως φυσική αλυκή

Σε βαθιές γεωτρήσεις για αναζήτηση πετρελαίου στη δυτική Ελλάδα βρέθηκε και ορυκτό άλας μέσα στους εβαπορίτες. Υπάρχουν επίσης και κοιτάσματα γύψου νεογενούς ηλικίας, όπως το κοιτάσμα Μύρτου Ιεράπετρας, που είναι άριστης ποιότητας και σημαντικού αποθέματος. Μόνο μια επιφανειακή εμφάνιση ορυκτού άλατος είναι γνωστή: Στο Μονολίθι (Βορδό) της Ηπείρου.

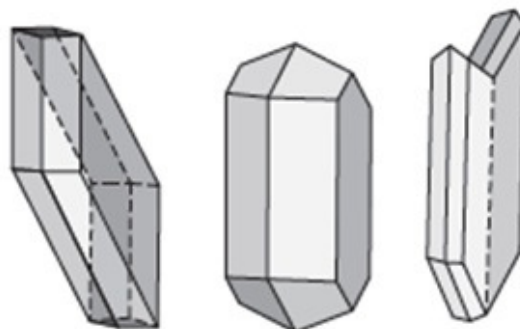
## 2.1.2 Χημική Σύσταση Γύψου- Ανυδρίτη

### 2.1.2.1 Γύψος

Η γύψος είναι μέλος της ομάδας των θειικών ορυκτών. Κάθε μόριο που αποτελείται από ένα άτομο ασβεστίου, ένα άτομο θείου και τέσσερα άτομα οξυγόνου ονομάζεται ανυδρίτης. Κατά την ενυδάτωση του με δύο μόρια κρυσταλλικού νερού σχηματίζεται η γύψος. Η γύψος ή διυδρίτης του θειικού ασβεστίου, έχει χημικό τύπο:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται η κρυσταλλική δομή της γύψου.



Σχήμα 2.5 Κρυσταλλική δομή γύψου



Κρύσταλλοι Γύψου

Σχήμα 2.6 Κρύσταλλοι γύψου

Αναφορικά με την ποσοστιαία % σύσταση της γύψου (σε ξηρή κατάσταση), αυτή παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.3 που ακολουθεί.

Πίνακας 2.3 Ποσοστιαία % σύσταση της γύψου

	Οξείδιο του ασβεστίου (CaO)	Τριοξείδιο του θείου (SO <sub>3</sub> )	Κρυσταλλικό νερό (H <sub>2</sub> O)
Γύψος	32,6%	46,5%	20,9%

Οι κρύσταλλοι της γύψου κρυσταλλώνονται στην ολοεδρία του μονοκλινούς συστήματος συμμετρίας, στο οποίο κανένα ζεύγος εδρών δεν έχει το ίδιο μήκος, πλάτος ή ύψος με κάποιο άλλο. Εμφανίζονται ως πρισματικοί, πλακώδεις, φυλλώδεις ή βελονοειδείς. Σε ερημικές περιοχές, η γύψος σχηματίζει ρόδακες από αδιαφανείς κρυστάλλους που περιέχουν και κόκκους άμμου, μορφή γνωστή ως ρόδο της ερήμου. Πολλοί κρύσταλλοι εισχωρούν ο ένας μέσα στον άλλο (διδυμία) και αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα ένα ξεχωριστό φαινόμενο που ονομάζεται «ουρά χελιδονιού». Απαντά επίσης σε ινώδη συσσωματώματα με μεταξώδη λάμψη και σιφρή ή κοκκώδη υφή. Η διαφανής άχρωμη ποικιλία με μαργαριταρώδη λάμψη, γνωστή και ως λάμψη του σεληνόφωτος, είναι γνωστή με τον όρο **σελινίτης**. Η λεπτοκρυσταλλική συμπαγής λευκή ποικιλία της γύψου είναι γνωστή ως **αλάβαστρο**.

Οι κρύσταλλοι της γύψου χαρακτηρίζονται από υαλώδη έως μαργαριτώδη λάμψη, ανώμαλο θραυσμό και σχισμό τελειότατο παράλληλα προς το επίπεδο (010) και τέλειο παράλληλα προς δύο αλλά επίπεδα. Λόγω του σχισμού προκύπτουν εύκολα πλακίδια και φύλλα, τα οποία όμως δεν παρουσιάζουν ελαστικότητα (ευκαμπτότητα) και θραύονται εύκολα.

Η γύψος είναι συνήθως άχρωμη ή λευκή, αλλά μερικές φορές εμφανίζεται και σε αποχρώσεις του κίτρινου, του καστανού, του κόκκινου και του γκρι χρώματος. Η γραμμή κόνεως, που προκύπτει από την εκτριβή δείγματος γύψου σε επιφάνεια λευκής και τραχιάς πορσελάνης, είναι λευκή. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι ποικιλίες χρωμάτων, που εμφανίζει το ορυκτό μακροσκοπικά, προκαλούνται από την παρουσία εγκλεισμάτων.

Παρουσιάζει σκληρότητα 2 και χαράσσεται εύκολα με το νύχι (2<sup>η</sup> βαθμίδα της κλίμακας Mohs). Έχει ειδικό βάρος 2.79 και είναι εύθρυπτη.

Τέλος, αν η γύψος τεθεί κάτω από λυχνία υπεριώδους ακτινοβολίας εκπέμπει χαρακτηριστικό πράσινο φως (φωταύγεια).

Οι φυσικές ιδιότητες της γύψου δίνονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 2.4

**Πίνακας 2.4** Φυσικές ιδιότητες της γύψου

<b>Ομάδα: Θειικά</b>
<b>Κρυσταλλικό σύστημα: Μονοκλινές</b>
<b>Χημικός τύπος: CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O</b>
<b>Σκληρότητα Mohs: 2</b>
<b>Πυκνότητα: 2,3</b>
<b>Ειδικό βάρος: 2.79</b>
<b>Σχισμός: Τέλειος</b>
<b>Διαφάνεια: διαφανές, ημιδιαφανές ορυκτό</b>
<b>Ευτηκτότητα:3</b>
<b>Θραυσμός: Ανώμαλος</b>
<b>Χρώμα: Άχρωμο ορυκτό (αλλοχρωματικό</b>
<b>Γραμμή κόνεως: Λευκή</b>
<b>Λάμψη: Υαλώδης έως μαργαριτώδης</b>
<b>Φωταύγεια: Πράσινη</b>

Στη φύση η γύψος διαλύεται ευκολότερα από τον ασβεστίτη. Σε θερμοκρασία 0°C, ένα μέρος βάρους γύψου διαλύεται σε 450 μέρη βάρους νερού, ενώ, στους 37-38°C η διαλυτότητα παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή της και στη συνέχεια ελαττώνεται γρήγορα(Σχήμα 2.7).

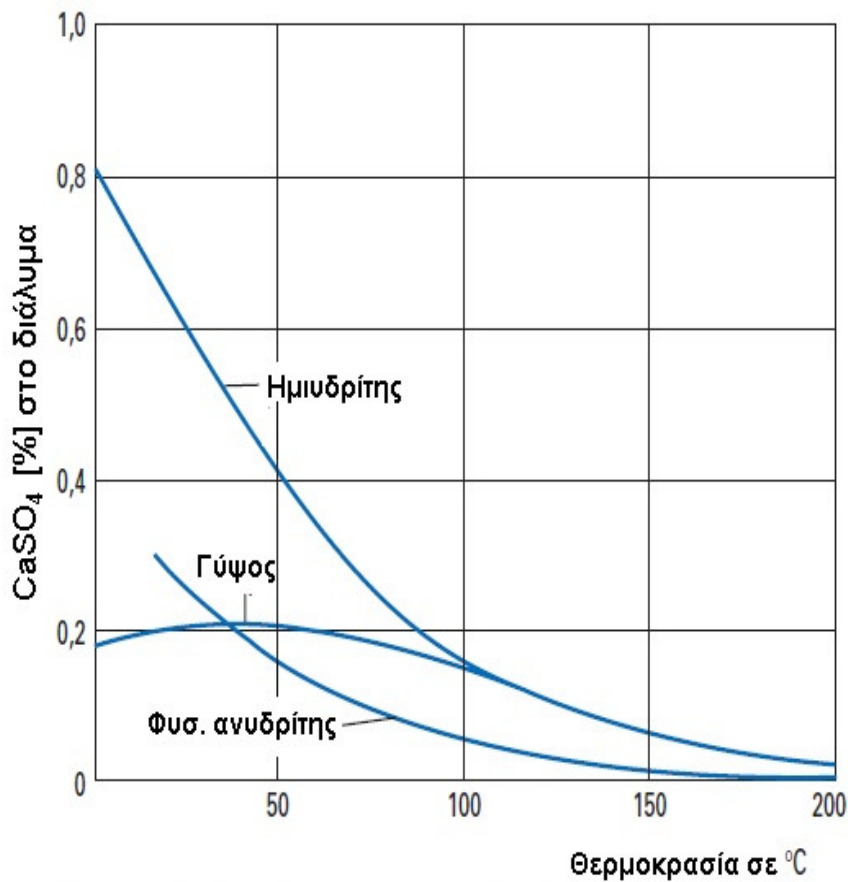
Η διάλυση των πετρωμάτων που αποτελούνται από γύψο δημιουργεί συχνά κενά μέσα σ' αυτά και πολλές φορές επικίνδυνα έγκοιλα.

Με θέρμανση υπό συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, η γύψος αρχίζει στους 80-90°C να χάνει το νερό της και στους 107-110°C μετατρέπεται σε ημιένυδρο άλας ή ημιυδρίτη  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (ή  $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), χάνοντας τα 3/4 του κρυσταλλικού νερού. Στους 120-140°C έχει μετατραπεί εξ' ολοκλήρου στο ημιένυδρο αυτό άλας, το οποίο αποτελεί την πλαστική γύψο ή γυψάλευροή γύψο ταχείας πήξεως. Όταν η πλαστική γύψος αναμιγνύεται με νερό δίνει ένα μίγμα το οποίο σκληρύνεται πολύ γρήγορα μεταπίπτοντας πάλι σε γύψο. Στην ιδιότητα αυτή στηρίζεται η χρήση της στην οικοδομική υπό μορφή γυψοκονιάματος (γυψοκορνίζες, γυψοσανίδες κλπ) και στην ιατρική (αποκατάσταση καταγμάτων κλπ).

Κατά την μετατροπή της γυψάλευρου ( $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) σε γύψο ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) συμβαίνει ελαφρά αύξηση του όγκου και για το λόγο αυτό η πλαστική γύψος χρησιμοποιείται για την κατασκευή χυτών αντικειμένων στη διακοσμητική και στην καλλιτεχνία.

Με πύρωση σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 175°C η γύψος χάνει περισσότερο νερό και τότε υπό μορφή κονιάματος σκληρύνεται βραδύτερα. Σε θερμοκρασίες 200-300 °C προκύπτει ο ανυδρίτης II ή **βιομηχανική γύψος**, η οποία έχει αποβάλει τελείως το νερό της, έχει όμως τη δυνατότητα ανάκτησης των δύο μορίων νερού που έχασε (επαναπρόσληψη νερού). Πήζει αρκετά γρήγορα και χρησιμοποιείται στην τοιχοποιία. Σε θερμοκρασία 300-500°C σχηματίζεται η **υδραυλική γύψος**, με πιο αργή πήξη. Η γύψος αυτή είναι ανθεκτική και πλάθεται με ίσο όγκο νερού. Σε θερμοκρασία άνω των 500 °C προκύπτει η νεκρή γύψος, η οποία έχει χάσει τη δυνατότητα να προσλάβει πλέον νερό και χρησιμοποιείται σε μαρμαροκονιάματα και τσιμέντα.

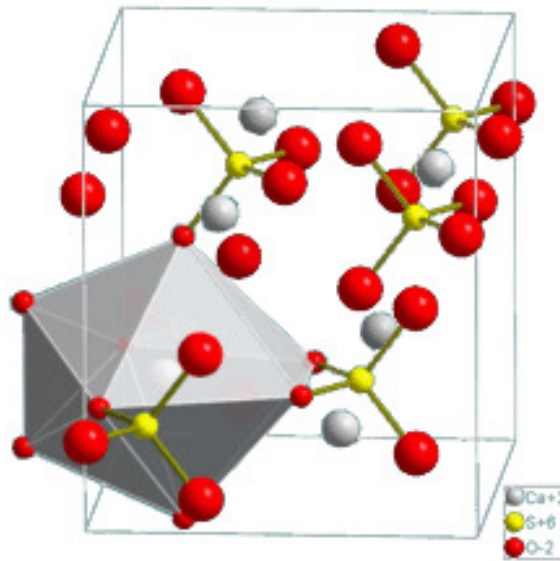




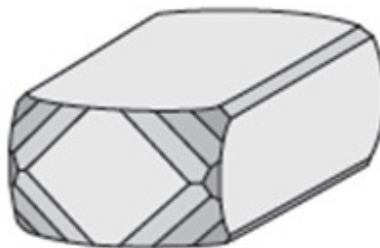
**Σχήμα 2.7** Υδατοδιαλυτότητα διαφόρων μορφών CaSO<sub>4</sub> (Πηγή: Copeland & Kantro)

#### 2.1.2.2 Ανυδρίτης

Ο ανυδρίτης είναι μέλος της ομάδας των θειικών ορυκτών. Κάθε μόριο του περιέχει ένα άτομο ασβεστίου, ένα άτομο θείου, και τέσσερα άτομα οξυγόνου. Ο χημικός τύπος του ανυδρίτη είναι CaSO<sub>4</sub>. Ο ανυδρίτης είναι στενά συγγενικό ορυκτό με τη γύψο και η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι από κάθε μόριο γύψου «απουσιάζουν» τα δύο μόρια κρυσταλλικού νερού. Στο Σχήμα 2.10, που ακολουθεί φαίνεται η κρυσταλλική δομή του ανυδρίτη.



**Σχήμα 2.8** Κρυσταλλική δομή Ανυδρίτη



**Κρύσταλλοι Ανυδρίτη**

**Σχήμα 2.9** Κρύσταλλοι Ανυδρίτη

Στον Πίνακα 2.5 φαίνεται η ποσοστιαία σύσταση του ανυδρίτη (σε ξηρή κατάσταση)

**Πίνακας 2.5** Ποσοστιαία % σύσταση ανυδρίτη

<b>Ανυδρίτης</b>	<b>Οξείδιο του ασβεστίου (CaO)</b>	<b>Τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>)</b>
	41,19%	58,81%

Οι κρύσταλλοι του ανυδρίτη ανήκουν στο ορθορομβικό σύστημα συμμετρίας, στο οποίο τρεις έδρες είναι άνισες αλλά βρίσκονται σε ορθές γωνίες μεταξύ τους. Ωστόσο, οι μονοκρύσταλλοι ανυδρίτη είναι σπάνιοι και τα πιο πολλά κοιτάσματα έχουν τη μορφή συμπαγούς ή κοκκώδους συσσωματώματος.

Το βάρος του ανυδρίτη είναι τριπλάσιο από το βάρος ίσου όγκου νερού σε θερμοκρασία δωματίου (ειδικό βάρος 2,98-3). Σε σχέση με τη γύψο είναι πιο

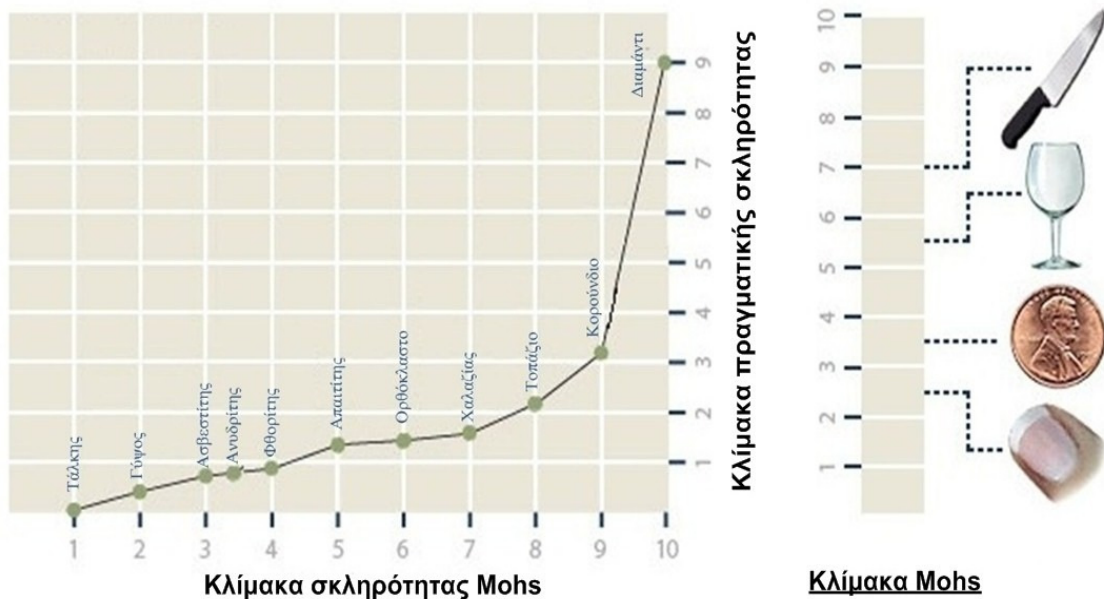
βαρύς και παρουσιάζει μεγαλύτερη σκληρότητα (3-3,5 κατά Mohs), χαρακτηριστικά που αποτελούν τις βασικές ορυκτοδιαγνωστικές ιδιότητες τους.

Ο ανυδρίτης είναι τυπικά άχρωμος ή λευκός. Συχνά έχει μία γαλαζωπή απόχρωση και μερικές φορές έναν καστανό ή γκρίζο τόνο. Έχει λάμψη υαλώδη έως μαργαριτώδη, τέλειο σχισμό και ανώμαλο θραυσμό. Εμφανίζει λευκή γραμμή κόνεως, ενώ δεν παρουσιάζει το φαινόμενο της φωταύγειας.

Στον Πίνακα 2.6, συνοψίζονται οι φυσικές ιδιότητες του ανυδρίτη, όπως αναλύθηκαν παραπάνω.

**Πίνακας 2.6** Φυσικές ιδιότητες του ανυδρίτη

<b>Ομάδα: Θειικά</b>
<b>Κρυσταλλικό σύστημα: Ορθορομβικό</b>
<b>Χημικός τύπος: CaSO<sub>4</sub></b>
<b>Σκληρότητα: 3-3,5</b>
<b>Πυκνότητα: 2,98-3</b>
<b>Σχισμός: Τέλειος</b>
<b>Θραυσμός: Ανώμαλος</b>
<b>Χρώμα: Άχρωμο ορυκτό (αλλοχρωματικό ορυκτό)</b>
<b>Γραμμή κόνεως: Λευκή</b>
<b>Λάμψη: Υαλώδης έως μαργαριτώδης</b>
<b>Φωταύγεια: Δεν παρουσιάζει</b>



**Σχήμα 2.10** Συσχέτιση σκληρότητας διαφόρων θειούχων ορυκτών στην κλίμακα Mohs

Από παρατηρήσεις σε κοιτάσματα των παλαιότερων εποχών (Περμοτριάδικής ηλικίας) θα μπορούσε κανείς να υποθέσει ότι ως αρχική φάση σχηματίστηκε ανυδρίτης, ο οποίος στη συνέχεια λόγω ενυδάτωσης από τα κατερχόμενα μετεωρικά νερά μετατράπηκε σε γύψο. Εντούτοις,

- το μικρό σχετικά ποσοστό ανυδρίτη των πιο πάνω κοιτασμάτων που έχει μετατραπεί σε γύψο και
- η παντελής απουσία ανυδρίτη από τα νεώτερα κοιτάσματα (Μειοκαινικής ηλικίας),

σε συνδυασμό με παρατηρήσεις σε φυσικές και τεχνικές αλυκές και εργαστηριακές μελέτες, μάλλον υποδεικνύουν σχηματισμό της γύψου κατά την καθίζηση του θειικού ασβεστίου και στη συνέχεια, κατά τη διαγένεση δευτερογενή σχηματισμό του ανυδρίτη. Το ερώτημα, όμως, αν στα κοιτάσματα εβαποριτών όλων των εποχών σχηματίστηκε αρχικά γύψος (διυδρική φάση) ή ανυδρίτης (άνυδρη φάση) παραμένει ανοικτό.

Συγκεντρωτικά οι ιδιότητες των θειικών φάσεων δίνονται στον Πίνακα 2.7

**Πίνακας 2.7.** Φάσεις του συστήματος CaSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O και οι ιδιότητές τους  
(Πηγή:GipsdatenbuchBundesverbandderGipsindustrie.V 2006)

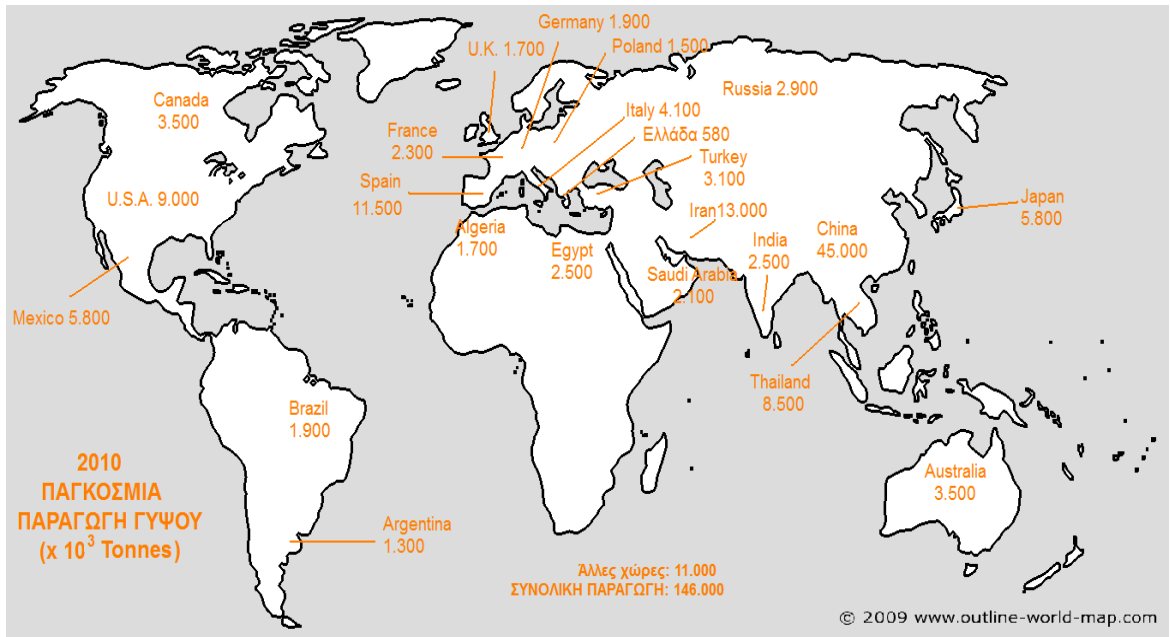
Χημικός Τύπος Φάσης	CaSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	CaSO <sub>4</sub> ·½H <sub>2</sub> O	CaSO <sub>4</sub> III	CaSO <sub>4</sub> III
Όνομασία	Διυδρίτης Θεικού ασβεστίου	Ημιυδρίτης	Ανυδρίτης III	Ανυδρίτης II
Άλλες Ονομασίες	Φυσική Γύψος, Ακατέργαστη Γύψος, Γυψόπετρα, Τεχνητή Γύψος, Γύψος από ενυδάτωση	Β-Ημιυδρίτης, β-Γύψος, Stuckgips, α-Ημιυδρίτης, α-Γύψος, Γύψος από αυτόκλειστα	Διαλυτός Ανυδρίτης	Φυσικός Ανυδρίτης, Ακατέργαστος Ανυδρίτης, Συνθετικός Ανυδρίτης, «Καμένος» Ανυδρίτης
Μορφές		α-μορφή β-μορφή	α-A III β-A III	A II-s δυσδιάλυτος A II-u αδιάλυτος A II –E Γύψος «Estrich»
Κρυσταλλικό Νερό, %	20,92	6,21	0	0
Πυκνότητα	2,31	2,619 β 2,757 α	2,580	2,93 2,97
Μοριακό Βάρος	172,17	145,15	136,14	136,14
Κρυσταλλικό σύστημα (Συμμετρία)	Μονοκλινές-πρισματικό A2/a	Μονοκλινές-πρισματικό I121	Ορθορομβικό C222	Ορθορομβικό
Σκληρότητα Mohs	2			3 1/2
Διαλυτότητα σε H <sub>2</sub> O στους 20°C	2,05	8,8 6,7 β α	8,8 6,7 β α	2,7
Σταθερότητα	<40°C	μετασταθής	μετασταθής	40-1180°C
Θερμοκρασία σχηματισμού υπό εργαστηριακές συνθήκες		β: 45-200°C σε ξηρό αέρα α: >45°C σε περιβάλλον ατμού	50°C σε κενό με 100% υγρασία αέρα	200-1180°C
Θερμοκρασία σχηματισμού υπό βιομηχανικές συνθήκες		β:120-180°C υπό ξηρό περιβάλλον α:80-180°C υγρό περιβάλλον	β: 290°C ξηρό α: 110°C υγρό	300-900°C A II-s Διαλυτός σε 300-500°C A II-u Αδιάλυτος 300-500°C A II-E: >700°C Γύψος «Estrich»

### 3. ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΥΨΟΥ

Η αυξανόμενη ζήτηση για γυψοσανίδες και τσιμέντο τα τελευταία είκοσι χρόνια οδήγησε σε αύξηση της παραγωγής γύψου. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια αυτή παρέμεινε κατά κάποιο τρόπο σταθερή εξαιτίας της εκτεταμένης χρήσης συνθετικής γύψου. Η εκτιμώμενη παγκόσμια παραγωγή γύψου φαίνεται στον Πίνακα3.1

**Πίνακας 3.1** Παγκόσμια παραγωγή γύψου (χιλιάδες τόνοι,  $\times 10^3$ )

<b>ΧΩΡΑ</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
ΗΠΑ	9,400	9,000
ΑΛΓΕΡΙΑ	1,700	1,700
ΑΡΓΕΝΤΙΝΗ	1,300	1,300
ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ	3,500	3,500
ΒΡΑΖΙΛΙΑ	1,920	1,900
ΚΑΝΑΔΑΣ	3,540	3,500
ΚΙΝΑ	45,000	45,000
ΑΙΓΥΠΤΟΣ	2,500	2,500
ΓΑΛΛΙΑ	2,300	2,300
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	1,898	1,900
ΙΝΔΙΑ	2,600	2,500
ΙΡΑΝ	13,000	13,000
ΙΤΑΛΙΑ	4,130	4,100
ΙΑΠΩΝΙΑ	5,750	5,800
ΜΕΞΙΚΟ	5,760	5,800
ΠΟΛΩΝΙΑ	1,500	1,500
ΡΩΣΙΑ	2,900	2,900
ΣΑΟΥΔΙΚΗ ΑΡΑΒΙΑ	2,100	2,100
ΙΣΠΑΝΙΑ	11,500	11,500
ΤΑΥΛΑΝΔΗ	8,500	8,500
ΤΟΥΡΚΙΑ	3,100	3,100
ΗΝ.ΒΑΣΙΛΕΙΟ	1,700	1,700
ΛΟΙΠΕΣ ΧΩΡΕΣ	11,400	11,000
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>148,000</b>	<b>146,000</b>



**Εικόνα 3.1.** Παγκόσμια κατανομή παραγωγής γύψου (χιλιάδες τόνοι, x10<sup>3</sup>).

Κύριες παραγωγοί χώρες είναι η Κίνα, η Ισπανία, το Ιράν ενώ ακολουθούν, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ιαπωνία, η Ταϊλανδή, ο Καναδάς, το Μεξικό.

## **3.1 ΧΡΗΣΕΙΣ**

### **3.1.1 Χρήσεις Γύψου**

Οι χρήσεις της γύψου συμμετέχουν, με ετεροβαρή όμως σχέση, στις δραστηριότητες των παρακάτω 5 κλάδων:

- Οικοδομικός
- Βιομηχανικός
- Γεωργικός
- Καλλιτεχνικός
- Ιατρικός

Η μέση κατανομή της εξορυσσόμενης πρώτης ύλης (γυψόπετρα) είναι από 45% στην οικοδομική και στην τσιμεντοβιομηχανία, ενώ το υπόλοιπο 10% καταλήγει κυρίως στη βιομηχανία λιπασμάτων και δευτερευόντως στις λοιπές δραστηριότητες.

Στην συνέχεια αυτής της ενότητας γίνεται ξεχωριστή αναφορά στις χρήσεις της γύψου σε κάθε έναν από τους προαναφερόμενους κλάδους.

#### *3.1.1.1 Οικοδομικός Κλάδος*

Οι σημαντικότερες χρήσεις της γύψου στον οικοδομικό κλάδο αναφέρονται στην παραγωγή πολλών ειδών κονιαμάτων καθώς και στην παραγωγή γυψοσανίδων και γυψόπλακων. Η μορφή με την οποία χρησιμοποιείται η γύψος στις παρακάτω εφαρμογές είναι η πλαστική γύψος.

#### *3.1.1.2 Βιομηχανικός Κλάδος*

Η σημαντικότερη χρήση της γύψου στον βιομηχανικό κλάδο, αναφέρεται στην χρήση της στην τσιμεντοβιομηχανία με τη μορφή της φυσικής γύψου.

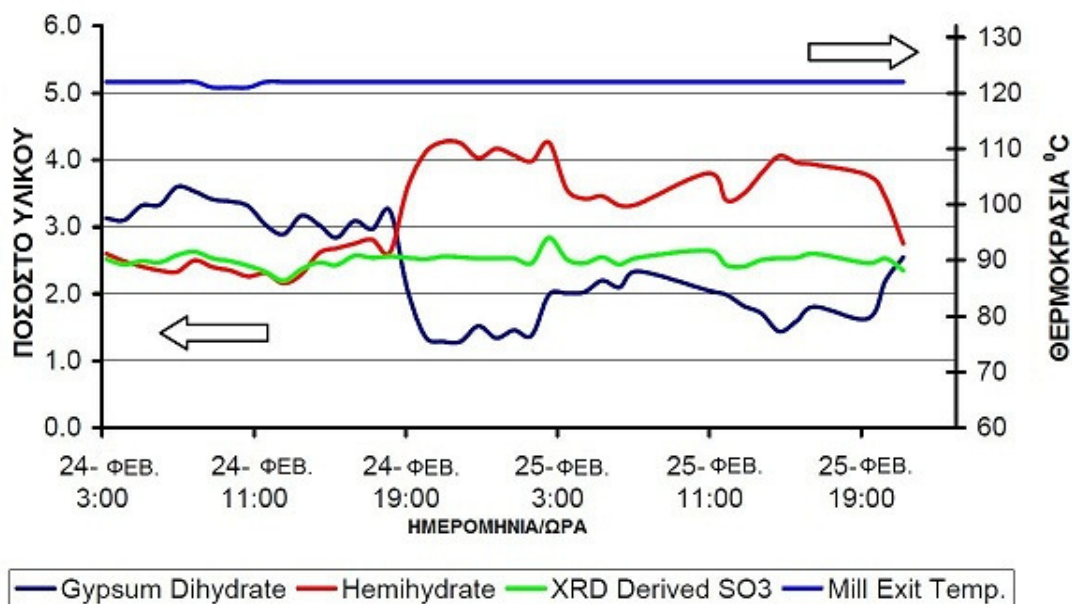
Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται στην παραγωγή του τσιμέντου Portland, όπου συμμετέχει σε αναλογία, περίπου, 5%.

Είναι γνωστό ότι βασική παράμετρος στην πήξη και σκλήρυνση του τσιμέντου (άρα και του σκυροδέματος) είναι η αντίδραση ενυδάτωσης του



$\text{CaSO}_4$ . Στην παραγωγή τσιμέντων Portland η γύψος ή η γύψος σε ανάμιξη με ανυδρίτη, συναλέθονται με κλίνκερ ώστε να παραχθεί το τελικό προϊόν που είναι το τσιμέντο. Οποσδήποτε όμως κάποια μορφή γύψου (θειική ένωση ασβεστίου ορθότερα) απαιτείται για τη ρύθμιση του χρόνου πήξης του τσιμέντου, επειδή χωρίς προσθήκη το λειοτριβημένο κλίνκερ αναμιγνυόμενο με νερό θα έπηζε ακαριαία. Εν τούτοις, οι αλλαγές που συμβαίνουν με τη συνάλεση κλίνκερ-γύψου δεν μόνο φυσικομηχανικές (ελάττωση μεγέθους) αλλά και φυσικοχημικές, επειδή με την άλεση προστίθεται ενέργεια (θέρμανση του υλικού). Με αυτό τον τρόπο αυξάνουν οι τιμές της θερμοκρασίας της γύψου σε επίπεδα κατάλληλα για την απομάκρυνση της υγρασίας (φυσικής αλλά και ενωμένης). Είναι γνωστό ότι σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από  $105^\circ\text{C}$  γίνεται μερική απομάκρυνση (75%) του κρυσταλλικού νερού της γύψου αντίδραση που παράγει ημιυδρίτη ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) που ονομάζεται και Plaster of Paris.

Επειδή, όλες οι θειούχες φάσεις του ασβεστίου δεν παρουσιάζουν την ίδια διαλυτότητα και ικανότητα αντίδρασης, είναι προφανές ότι ο βαθμός αφυδάτωσής τους που εξαρτάται από τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την άλεση παίζει σημαντικό ρόλο στην ταχύτητα πήξης του τελικού προϊόντος. Οπότε για τον έλεγχο και τη λειτουργία των μύλων άλεσης, είναι απαραίτητη η έγκαιρη και ακριβής γνώση των θειικών φάσεων του ασβεστίου στο τσιμέντο, η οποία είναι δυνατή μόνο με απευθείας ορυκτολογική ανάλυση του υλικού μέσα στο μύλο. Στο Σχήμα 3.2 φαίνεται χρονικά η ποσοστιαία διακύμανση του είδους θειικής ένωσης κατά την άλεση του κλίνκερ, η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την άλεση του κλίνκερ.



**Σχήμα 3.1.** Ποσοστιαία διακύμανση είδους της θειικής ένωσης κατά την άλεση του κλίνκερ.

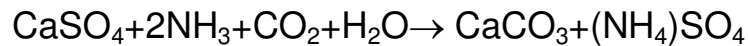
Δηλαδή, η χρήση της γύψου στην τσιμεντοβιομηχανία σχετίζεται αποκλειστικά με τον επιβραδυντικό ρόλο του σχηματιζόμενου, κατά τις δράσεις στο στάδιο ενυδάτωσης του τσιμέντου, θειοαργλικού ασβεστίου.

Όπως γίνεται κατανοητό σε αυτήν την περίπτωση η αξιοποιήσιμη ιδιότητα της γύψου είναι ο μεγάλος χρόνος που απαιτεί για την πήξη της, γεγονός που δρα καθοριστικά στη ρύθμιση του χρόνου πήξης των τσιμέντων Portland.

Η φυσική γύψος χρησιμοποιείται και σε μικρότερης σημασίας εφαρμογές π.χ. ως πληρωτικό υλικό στις βιομηχανίες χρωμάτων, χαρτιού, υφασμάτων, ενώ σε μικρότερες ποσότητες χρησιμοποιείται επίσης ως πληρωτικό υλικό στη φαρμακευτική βιομηχανία (οδοντόκρεμες–terraalba, πούδρες, εντομοκτόνα) και στη βιομηχανία ελαστικών. Κύρια αξιοποιήσιμη ιδιότητα της γύψου για χρήση της ως πληρωτικού υλικού αποτελεί το λευκό της χρώμα.

Στην χημική βιομηχανία, η φυσική γύψος αποτελεί πηγή παραγωγής χημικών προϊόντων όπως του θειικού οξέος ( $H_2SO_4$ ) με τις απεριόριστες εφαρμογές (παρασκευή άλλων οξέων, βιομηχανία λιπασμάτων, εκρηκτικές ύλες, καθαρισμός

πετρελαίου, παρασκευή θειικών αλάτων, συσσωρευτές μόλυβδου κ.α) και του θειικού αμμωνίου κατά την αντίδραση:



η οποία χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή των θειικών λιπασμάτων.

Μία άλλη σπουδαία χρήση της γύψου, με τη μορφή της πλαστικής γύψου, γίνεται στην κεραμική για καλούπια, πιάτα, είδη υγιεινής και μάσκες.

Είναι φανερό ότι η κύρια αξιοποιήσιμη φυσική ιδιότητα της γύψου για χρήση στην κεραμική είναι η μεγάλη πλαστικότητα που χαρακτηρίζει την ημιάνυδρη μορφή της.

Τέλος, άλλες εφαρμογές της γύψου στη φυσική της μορφή είναι στη ζυθοποιία (αποσκλήρυνση νερού), στις γεωτρήσεις πετρελαίου (εμπλουτισμός του πολφού με ιόντα ασβεστίου), στην υαλουργία (διαύγαση γυαλιού), στη μεταλλουργία (τήξη μεταλλευμάτων) κλπ.

#### *3.1.1.3 Γεωργικός Κλάδος*

Στη γεωργία, η φυσική γύψος χρησιμοποιείται για την εξουδετέρωση, αλκαλικών και αλατούχων εδαφών, ενώ διευκολύνει τη διαπερατότητα των αργιλικών στρωμάτων και τον εφοδιασμό τους με θειάφι και άλλα καταλυτικά στοιχεία, αυξάνοντας τις δυνατότητες αγρολίπανσης και την παραγωγικότητα κυρίως σε οσπριοειδή, αλλά και σε άλλες καλλιέργειες (πατάτα, βαμβάκι, τριφύλλι κτλ.). Ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως συνθετικό λίπασμα  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , μετά από βιομηχανική επεξεργασία.

#### *3.1.1.4 Καλλιτεχνικός Κλάδος*

Η πλαστικότητα και η σκληρότητα που χαρακτηρίζει την ημιάνυδρη μορφή της γύψου, αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα για τη χρήση της γύψου, ως υλικού χύτευσης, στην αρχιτεκτονική καθώς και στην παραγωγή διάφορων μοντέλων αγαλμάτων και λεπτουργημάτων (η γνωστή γύψος καλλιτεχνίας).

Επίσης, το αλάβαστρο και η ινομεταξώδης μορφή (satinspar) της φυσικής γύψου χρησιμοποιούνται στην αγαλματοτεχνική και διακοσμητική, όπου αξιοποιείται η πλαστικότητα και το λευκό χρώμα της γύψου.

#### *3.1.1.5 Ιατρικός Κλάδος*

Η πλαστική γύψος βρίσκει εφαρμογές στον κλάδο της ιατρικής και ειδικότερα στην ορθοπεδική για νάρθηκες- επιδέσμους, εξαιτίας της πλαστικότητας και της σκληρότητας της καθώς και της τιμής του pH της πλαστικής γύψου που είναι περίπου το ίδιο με το pH του ανθρώπινου δέρματος. Επίσης, εξαιτίας της πλαστικότητας της, βρίσκει εφαρμογές και στην οδοντοτεχνική για καλούπια.

### **3.1.2 Χρήσεις Ανυδρίτη**

Οι χρήσεις του ανυδρίτη δεν διαφοροποιούνται σημαντικά από τις χρήσεις που έχει η φυσική γύψος. Έτσι, οι χρήσεις του ανυδρίτη συμμετέχουν στις δραστηριότητες των παρακάτω κλάδων:

- Οικοδομικός
- Βιομηχανικός
- Γεωργικός

Οι αξιοποιήσιμες ιδιότητες του ανυδρίτη, για τελική του χρήση στους προαναφερόμενους κλάδους είναι η σκληρότητα, το σημείο πήξης και το λευκό χρώμα.

Παρακάτω αναλύονται λεπτομερέστερα οι χρήσεις του ανυδρίτη στους παραπάνω κλάδους.

#### *3.1.2.1 Οικοδομικός Κλάδος*

Στον οικοδομικό κλάδο ο ανυδρίτης χρησιμοποιείται ως βασικό συστατικό στα υποστρώματα δαπέδων και στα δάπεδα χωρίς αρμούς. Η συγκεκριμένη χρήση του ανυδρίτη οφείλεται στην ιδιότητα που έχει ο ανυδρίτης να είναι σκληρός στην φυσική του μορφή. Η χρήση του ανυδρίτη στα υποστρώματα

δαπέδων αποτελεί τη μοναδική χρήση στην οποία δεν δύναται να χρησιμοποιηθεί φυσική γύψος.

### *3.1.2.2 Βιομηχανικός Κλάδος*

Στο βιομηχανικό κλάδο, ο ανυδρίτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην τσιμεντοβιομηχανία αντί της γύψου για την παραγωγή του τσιμέντου Portland. Ο ανυδρίτης λόγω του μεγάλου χρόνου πήξης του χρησιμοποιείται ως επιβραδυντής στο σχηματισμό, κατά τη φάση ενυδάτωσης του τσιμέντου, του θείου αργιλικού ασβεστίου. Πάντως, πολλές φορές η χρήση του ανυδρίτη δημιουργεί πρόβλημα υπερβολικής καθυστέρησης στην πήξη του τσιμέντου.

Η χρήση του ανυδρίτη ως πληρωτικού υλικού έχει εφαρμογή σε όλες τις βιομηχανίες που αναφέρθηκαν ανωτέρω για την γύψο. Χρησιμοποιείται αντί της γύψου και σε αυτήν την περίπτωση η αξιοποιήσιμη ιδιότητα του ανυδρίτη για τη χρήση αυτή είναι το λευκό του χρώμα.

Τέλος ο ανυδρίτης χρησιμοποιείται στη χημική βιομηχανία για την παραγωγή διαφόρων χημικών προϊόντων, όπως το θειικό οξύ και το θειικό αμμώνιο, οι χρήσεις των οποίων είναι πολλαπλές.

### *3.1.2.3 Γεωργικός Κλάδος*

Οι χρήσεις του ανυδρίτη στο γεωργικό κλάδο είναι παρόμοιες με τις χρήσεις που έχει η φυσική γύψος στο συγκεκριμένο κλάδο.

Έτσι χρησιμοποιείται και σε αυτήν την περίπτωση αντί της γύψου ως λίπασμα και βελτιωτικό εδαφών.

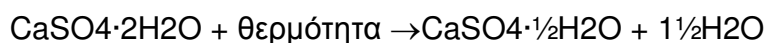
### 3.2 ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΥΨΟΥ

Η ευρύτατη αυτή χρήση της γύψου βασίζεται στην μοναδική ιδιότητα που έχουν ορισμένες (όχι όλες) μορφές του θειικού ασβεστίου στο να δεσμεύουν ή να αποβάλλουν εύκολα το κρυσταλλικό νερό.

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την πύρωση (απομάκρυνση κρυσταλλικού νερού):

Αντιδράσεις (πύρωσης) αφυδάτωσης φυσικής γύψου

1. Παραγωγή ημιυδρίτη



2. Παραγωγή ανυδρίτη



Η αφυδάτωση της φυσικής γύψου, δηλαδή η απόσπαση των κρυσταλλικών μορίων του νερού, επιτυγχάνεται με όπτηση σε διάφορες θερμοκρασίες, οπότε και λαμβάνονται κατά σειρά τα παρακάτω προϊόντα:

- 50°C Αρχίζει η αφυδάτωση της φυσικής γύψου
- 100- 120°C Παρατηρείται έντονος κοχλασμός
- 180° C Μειώνεται το ποσοστό του περιεχόμενου νερού από 20,9% σε 6,2% και λαμβάνεται η ημιυδρική ή πλαστική γύψος,  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ .
- 190- 220°C Λαμβάνεται ο τεχνητός διαλυτός ανυδρίτης  $\text{CaSO}_4$ , ο οποίος χρησιμοποιείται στην οδοντοτεχνία.
- 300°C Ο διαλυτός ανυδρίτης μετατρέπεται σε μη διαλυτό
- 500- 600°C Λαμβάνεται ο τεχνητός μη διαλυτός ανυδρίτης  $\text{CaSO}_4$ , ο οποίος ονομάζεται και «νεκρή» γύψος (dead burned gypsum, ανενεργή γύψος)
- 1000°C Λαμβάνεται η άλυτη ή τραχεία γύψος  $\text{CaSO}_4$ , μαζί με δευτερεύοντα προϊόντα  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaSO}_4$ , λόγω της διάσπασης



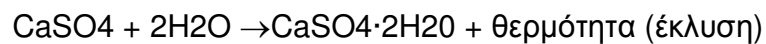
Ενώ, για την επανυδάτωση των προϊόντων θερμικής κατεργασίας της γύψου είναι:

#### Αντιδράσεις επανυδάτωσης

1. Ενυδάτωση ημιυδρίτη



2. Ενυδάτωση ανυδρίτη



Έτσι, η ημιάνυδρη μορφή της γύψου, όταν αναμειχθεί με νερό καθίσταται σκληρή καθώς το θειικό ασβέστιο επανέρχεται στην ένυδρη μορφή του. Επιπλέον, οι πυράντοχες ιδιότητες της πλαστικής γύψου (ημιυδρίτης) αποτελούν ακόμη ένα σημαντικό λόγο για την ευρεία χρήση της.

Πιο συγκεκριμένα η ιδιότητα αυτή οφείλεται, κατά βάση, στη σημαντική περιεκτικότητα σε κρυσταλλικό νερό της πλαστικής γύψου.

Κατά τη ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας (εκατοντάδες °C σε λίγα λεπτά της ώρας), σε περίπτωση πυρκαγιάς, το κρυσταλλικό νερό ατμοποιείται και αποδεσμευμένο καλύπτει την επιφάνεια του οικοδομικού υλικού που έχει ως βάση τη γύψο (γυψοσανίδα, γυψοκονιάματα κ.α). Επομένως, όσο διαρκεί η ατμοποίηση η θερμοκρασία στην επιφάνεια του οικοδομικού υλικού με βάση την γύψο δεν ξεπερνά τους 100°C. Ακόμα και μετά την πλήρη εξάτμιση του κρυσταλλικού νερού, η γύψος δεν καίγεται και συνεχίζει να προσφέρει σημαντική πυροπροστασία. Τέλος, η θερμομόνωση που προσφέρουν τα οικοδομικά υλικά με βάση τη γύψο οφείλεται στη μικρή θερμική αγωγιμότητα που χαρακτηρίζει τη γύψο.

## 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

### 4.1 ΕΞΟΡΥΞΗ

Η γύψος ορύσσεται τόσο με επιφανειακές όσο και με υπόγειες μεθόδους εξόρυξης. Αυτό καθορίζεται από το πάχος και την κλίση του κοιτάσματος, τον τύπο και το πάχος των υπερκειμένων και το ανάγλυφο της περιοχής.

Οι επιφανειακές μέθοδοι προτιμώνται σε περιπτώσεις οριζόντιων κοιτασμάτων με λίγα ή καθόλου υπερκείμενα. Αν το πάχος των υπερκειμένων είναι μεγάλο, αυτά μπορούν να απομακρυνθούν καταρχήν μηχανικά και στη συνέχεια χειρωνακτικά ώστε να απομακρυνθούν τυχόν ανωμαλίες στην οροφή του κοιτάσματος. Στην περίπτωση που η ποσότητα των υπερκειμένων είναι μικρή, υπερκείμενα και μετάλλευμα αποσπώνται μαζί, με χρήση εκρηκτικών (μικρής έντασης), και διαχωρίζονται στη συνέχεια στο χώρο του μεταλλείου. Η γύψος απορροφά την δύναμη της έκρηξης, έτσι απαιτείται πυκνή διάταξη διατηρημάτων για ικανοποιητική θραύση. Για κοιτάσματα γύψου μαλακά και εύθρυπτα δεν χρησιμοποιούνται εκρηκτικά αλλά κατάλληλος μηχανικός εξοπλισμός όπως εκσκαφείς με συρόμενο κάδο, αποξεστήρες και μηχανικά πτύα. Καθώς η γύψος χρησιμοποιείται και στην ακατέργαστη μορφή της, συνήθως απομακρύνονται όλα τα υπερκείμενα. Εναλλακτικά όμως μπορεί να ορύσσονται επιλεκτικά ορισμένα μέτωπα με σκοπό την αποφυγή ακαθαρσιών με ανάμιξη γύψου διαφορετικών βαθμών καθαρότητας.

Υπόγειες μέθοδοι εξόρυξης δεν εφαρμόζονται συχνά εκτός αν το κοιτάσμα έχει ανθεκτική (ισχυρή) οροφή που μα απαιτεί ελάχιστη ή και μηδαμινή υποστήριξη. Αν η τοπογραφία είναι κατάλληλη, προτιμάται η εκμετάλλευση με οριζόντιες στοές προσπέλασης. Για κοιτάσματα σε μεγαλύτερα βάθη μπορεί να απαιτείται κατακόρυφο ή κεκλιμένο φρέαρ. Για οριζόντια ή ελαφρώς βυθιζόμενα στρώματα εφαρμόζεται η μέθοδος των θαλάμων και στηλών, με συνήθη απόληψη του 70-80% του συνολικού όγκου του πετρώματος. Σε απότομα βυθιζόμενα στρώματα εφαρμόζεται μέθοδος εξόρυξης δια συμπυκνωμένου



μετώπου. Η γύψος διατρίβεται και θραύεται εύκολα, συνεπώς το κόστος εξόρυξης είναι σχετικά χαμηλό.

## **4.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**

Η προπαρασκευή της γύψου μπορεί να χωριστεί σε τρία βασικά στάδια:

1. Προετοιμασία πετρώματος
2. Πύρωση (calcination)
3. Μορφοποίηση και κατασκευή

Τα μέσα τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκπλήρωση του κάθε σταδίου ποικίλουν ανάλογα με την καθαρότητα της γύψου και του επιθυμητού παραγόμενου προϊόντος.

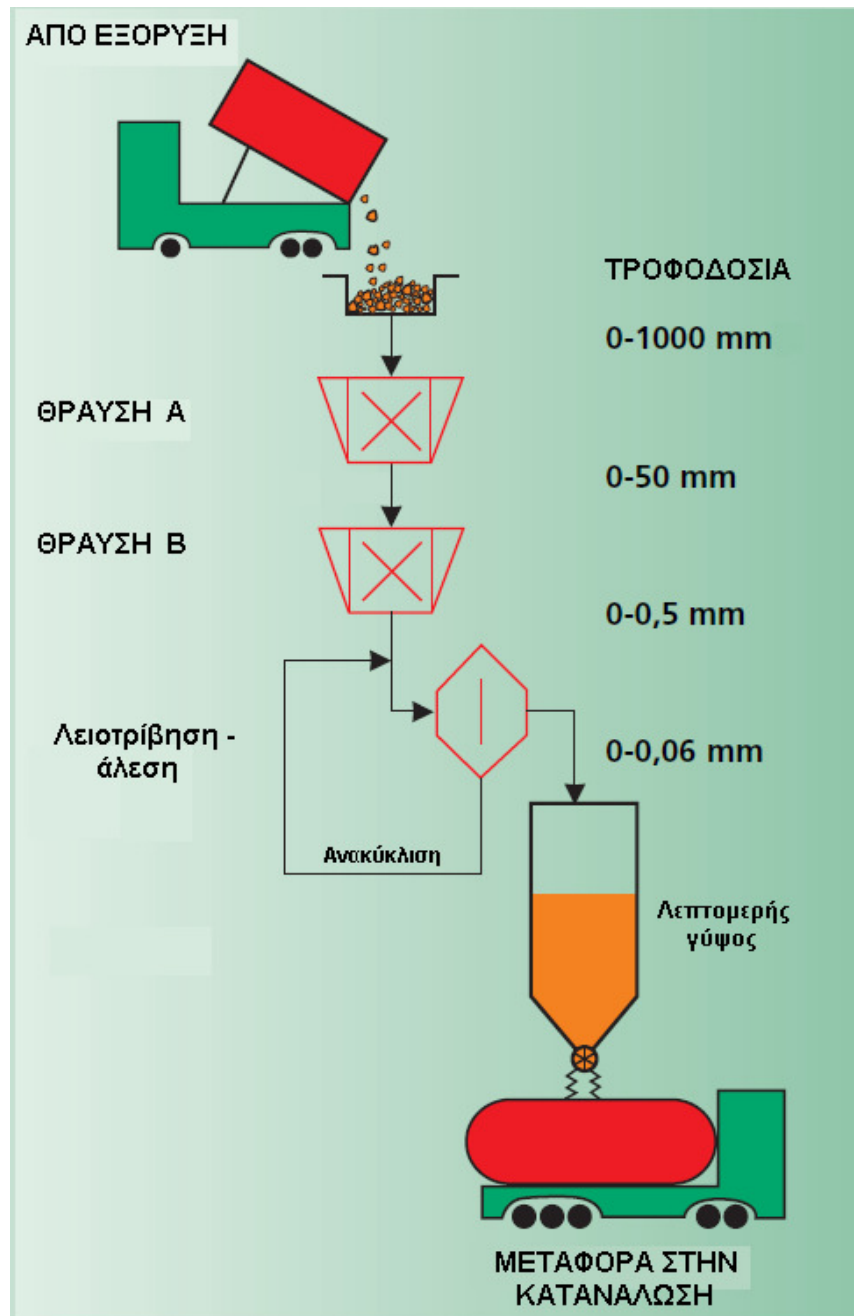
### **4.2.1 Προπαρασκευή πετρώματος**

#### *4.2.1.1 Θραύση*

Αρχικά η πρώτη ύλη (πετρώματα υψηλής περιεκτικότητας φυσικής γύψου, χημικής σύστασης  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), η οποία εξορύσσεται σε παρακείμενο ορυχείο, τροφοδοτείται στο συγκρότημα θραύσης, όπου υπόκειται σε μια διαδικασία ελάττωσης μεγέθους. Το μέγεθος των τεμαχίων που τροφοδοτούνται στο θραυστήρα, ποικίλει από 0,5 έως 1m, ενώ στην έξοδό του, τα κατακερματισμένα τεμάχια έχουν μέγεθος μικρότερο των 40mm.

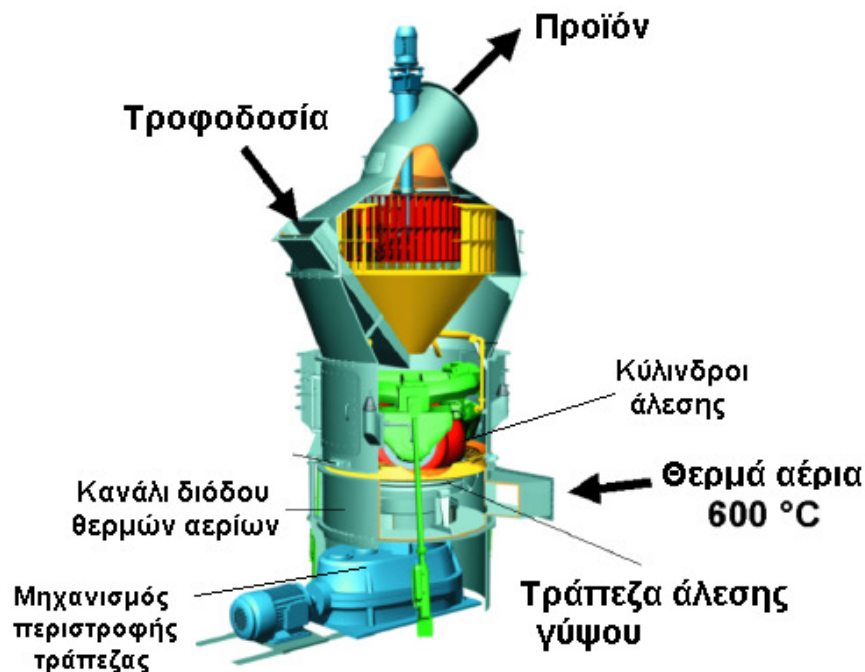
Η πρωτογενής θραύση πραγματοποιείται με κρουστικούς θραυστήρες ή με θραυστήρες σιαγόνων, ανάλογα με το μέγεθος του εξορυσσόμενου πετρώματος, το επιθυμητό μέγεθος και την επεξεργασία που θα ακολουθήσει. Ο πρωτογενής θραυστήρας έχει μέτρια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και, λόγω της σχετικά υψηλής δυναμικότητας επεξεργασίας του (50 t/h), λειτουργεί μερικές μόνο ώρες το 24ωρο, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις, οι οποίες σταματούν μόνο κατά τις προδιαγεγραμμένες περιόδους συντήρησης. Το υλικό, μετά την έξοδό του από το θραυστήρα, οδηγείται μέσω αναβατορίου σε ένα ενδιάμεσο silo αποθήκευσης, χωρητικότητας τουλάχιστον 500 t.

Από το silo αποθήκευσης, τροφοδοτείται το συγκρότημα της δευτερογενούς θραύσης και προκαταρκτικής ξήρανσης της γύψου. Η δευτερογενής θραύση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ποικίλες εγκαταστάσεις θραύσης, αλλά η χρήση σφυρόμυλων και κωνικών θραυστήρων είναι ευρέως διαδεδομένη. Απλοποιημένο διάγραμμα ροής διαδικασίας θραύσης δίνεται στο Σχήμα 4.1



Σχήμα 4.1 Απλοποιημένο διάγραμμα ροής θραύσης γύψου

Η λεπτομερής λειοτρίβηση και πύρωση της γύψου πραγματοποιείται σχεδόν σε παγκόσμια κλίμακα σε κατακόρυφους κυλινδρόμυλους με ενσωματωμένους αεροδιαχωριστές για καλύτερη ταξινόμηση του μεγέθους των κόκκων. Στην έξοδο το μέσο μέγεθος τεμαχίων κυμαίνεται από 60 έως 200μm.

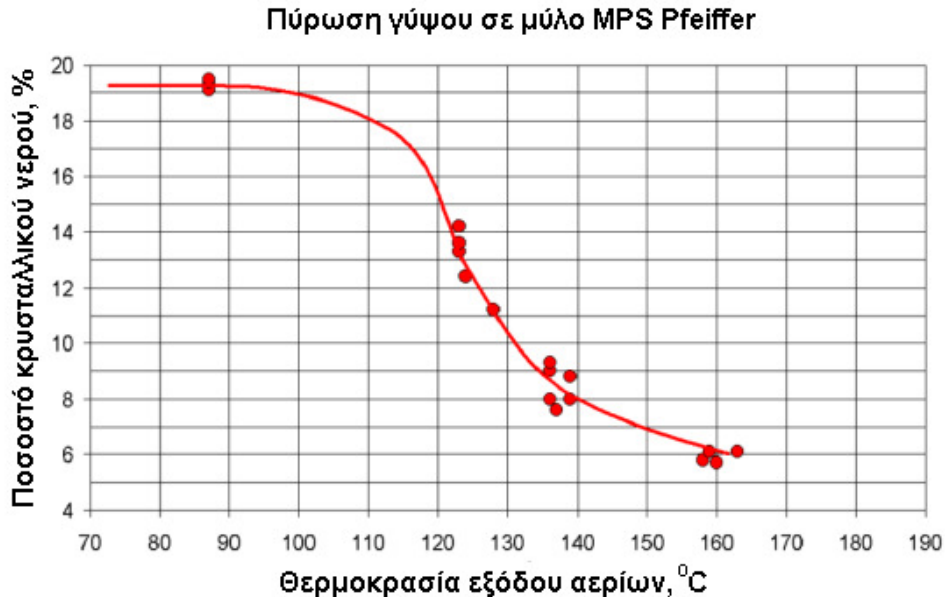


**Σχήμα 4.2** ΜύλοςMPS πύρωσης, άλεσης-αεροταξινόμησης γύψου. (κατά Gebr. Pfeiffer)

Επίσης, στο Σχήμα 4.3 (διάγραμμα), φαίνεται η περιεκτικότητα του τελικού προϊόντος σε κρυσταλλικό νερό, μετά την πύρωση και την άλεση στον κατακόρυφο μύλο **MPSP feiffer**. (Σχήμα 4.2)

Τα προϊόντα τόσο της πρωτογενούς όσο και της δευτερογενούς θραύσης ταξινομούνται κατά μέγεθος τεμαχίων, σε δονούμενα κόσκινα με στόχο την αύξηση της απόδοσης της θραύσης, τον έλεγχο (αποφυγή) παραγωγής υπερλεπτομερούς υλικού, αλλά και για την «ανάκτηση» πετρώματος που χρησιμοποιείται στην παραγωγή τσιμέντου Πόρτλαντ, που είναι το πιο εμπορικό προϊόν της διαδικασίας μηχανικής προπαρασκευής γύψου. Το μέγεθος των

κόκκων αυτού του προϊόντος εξαρτάται από τις προδιαγραφές του εργοστασίου τσιμέντου που το χρησιμοποιεί.



**Σχήμα 4.3** Περιεκτικότητα κρυσταλλικού νερού στο τελικό προϊόν μύλου MPS (κατά Gebr. Pfeiffer)

#### 4.2.1.2 Προκαταρκτική ξήρανση

Η προκαταρκτική ξήρανση μπορεί να γίνει στα στάδια της πρωτογενούς ή της δευτερογενούς θραύσης και αφορά κατά κύριο λόγο στην επιφανειακή υγρασία που υπάρχει στη γύψο, η οποία οφείλεται σε παράγοντες σχετικούς με τα καιρικά φαινόμενα (βροχή, υψηλή υγρασία περιβάλλοντος). Η θραυσμένη γύψος είναι δύσκολη στη χρήση της στο μέγεθος των -4 mesh (4.75 mm) γιατί δεν «ρέει», ιδιαίτερα όταν περιέχει υγρασία. Για το λόγο αυτό προστίθεται συχνά στη διαδικασία της προπαρασκευής ένα στάδιο προξηράνσης για να εξασφαλιστεί η ελεύθερη ροή του υλικού στα επόμενα στάδια. Αυτό συχνά διενεργείται σε περιστροφικά ξηραντήρια, τα οποία όμως πρέπει να ρυθμίζονται έτσι ώστε η θερμοκρασία λειτουργίας τους να μην ξεπερνά τους 120°C, θερμοκρασία στην οποία αρχίζει η απομάκρυνση του κρυσταλλικού νερού. Η ξήρανση μπορεί να επιτευχθεί και με τη διοχέτευση στο μύλο λειοτρίβησης, θερμών καυσαερίων (που προέρχονται κυρίως από το φούρνο έψησης). Μετά το μύλο, το

κονιοποιημένο και μερικώς ξηρανθέν υλικό, εξέρχεται μαζί με τα καυσαέρια ξήρανσης και αερομεταφέρεται σε μια συστοιχία σακκόφιλτρων, στα οποία διαχωρίζεται, και με κοχλιοφόρο μεταφορέα συγκεντρώνεται σε ενδιάμεσο σιλο αποθήκευσης. Ένα μέρος των καυσαερίων στην έξοδο των φίλτρων, ανακυκλοφορεί τροφοδοτώντας εκ νέου την είσοδο του μύλου, ενώ το υπόλοιπο εξέρχεται στο περιβάλλον.

#### *4.2.1.3 Εμπλουτισμός-Καθαρισμός*

Η φυσική γύψος περιέχει και προσμίξεις, ως οξείδια Fe, Si, Al κ.α. οι οποίες μέχρι 6% είναι ανεκτές, άνω δε του 30% απαράδεκτες, καθώς την καθιστούν βραδύπηκτη κονία.

Σε κάποιες περιπτώσεις η καθαρότητα της εξορυσσόμενης γύψου είναι τόσο υψηλή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς εμπλουτισμό. Ωστόσο, σήμερα χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι εμπλουτισμού ούτως ώστε τα τελικά προϊόντα να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της αγοράς.

Η συνηθέστερη μέθοδος εμπλουτισμού είναι η απλή ταξινόμηση του μεγέθους των κόκκων με ξηρή κοσκίνιση, αεροδιαχωρισμό ή άλλες μεθόδους όπου το κοκκομετρικό κλάσμα που περιέχει σημαντική ποσότητα ακαθαρσιών απορρίπτεται. Γενικά αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται για να μειώσει αργλικές ή χαλαζιακές ακαθαρσίες, αν και σε περιπτώσεις που οι ακαθαρσίες είναι σκληρότερες από τη γύψο και τείνουν να συγκεντρώνονται σε χονδρομερή κοκκομετρικά κλάσματα μετά τη θραύση μπορούν επίσης να μειωθούν κατά την κοσκίνιση.

Επίσης, έκπλυση ή υγρή κοσκίνιση εφαρμόζονται σε πολλές περιπτώσεις, ειδικότερα όταν απαιτείται λευκό χρώμα στα προϊόντα. Η μέθοδος διαχωρισμού με βαρέα διάμεσα για την απομάκρυνση ακαθαρσιών εφαρμόζεται από επιχειρήσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες και στον Καναδά. Κάποιες φορές η γύψος υπόκειται σε άλλες βαρυτομετρικές μεθόδους εμπλουτισμού, σε επίπλευση ή σε χρωματική διαλογή.

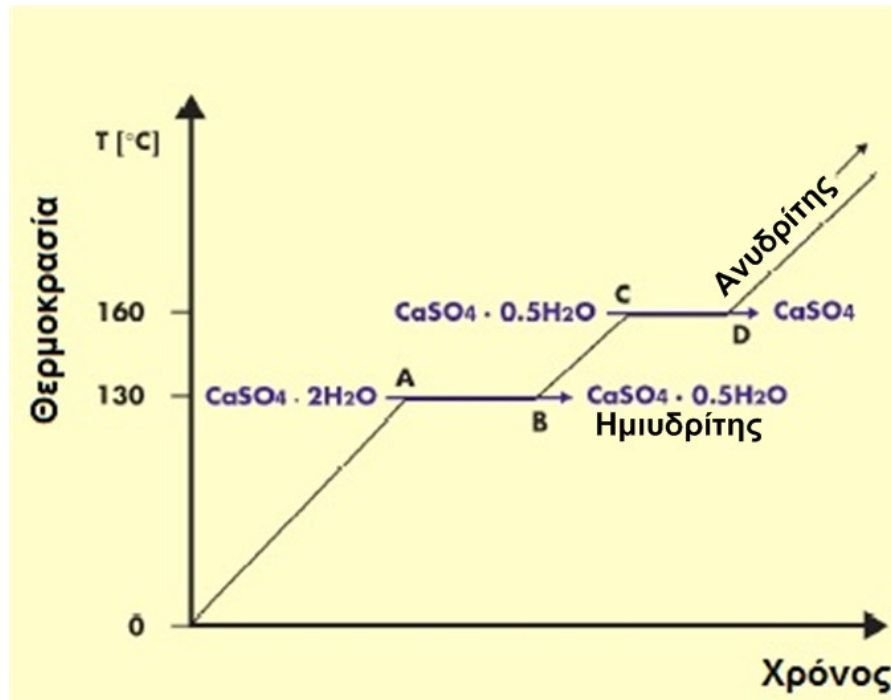
Οι μέθοδοι αυτές είναι σχετικά ακριβές και η εφαρμογή τους αποτρέπεται από την ανάγκη για χαμηλό κόστος παραγωγής. Ωστόσο, αν ένα φτωχό,

χαμηλής καθαρότητας κοίτασμα βρίσκεται πιο κοντά σε μια κατοικημένη περιοχή από ένα άλλο υψηλότερης καθαρότητας αλλά απομακρυσμένο, ίσως είναι πιο οικονομικό να γίνει εμπλουτισμός στο φτωχότερο κοίτασμα παρά να πληρωθούν έξοδα μεταφοράς για το καθαρότερο.

Η ποιότητα των περισσότερων μεταλλευμάτων γύψου μπορεί να βελτιωθεί με απλές και οικονομικές μεθόδους εμπλουτισμού αλλά η μέθοδος που θα επιλέξει ο κάθε παραγωγός εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: η αγορά της γύψου διαφορετικής καθαρότητας, το κόστος των καυσίμων, το κόστος ενέργειας, τα υπάρχοντα ανταγωνιστικά προϊόντα, η θέση του εργοστασίου, τα αποθέματα νερού, η φύση των ακαθαρσιών που περιέχονται στη γύψο. Βελτιώσεις στην ποιότητα των προϊόντων μπορεί να επιτευχθούν με την απλοποίηση των σταδίων και με τη βελτίωση των συνθηκών εργασίας στο εργοστάσιο μέσω της χρήσης εξοπλισμού προστασίας από τη σκόνη.

#### **4.3 ΠΥΡΩΣΗ Ή ΟΠΤΗΣΗ**

Στη βιομηχανία γύψου η πύρωση είναι η διαδικασία παραγωγής ημιένυδρης ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) ή ανυδρίτη ( $\text{CaSO}_4$ ) από την ένυδρη μορφή της ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Κατά τα πρώτα χρόνια έναρξης παραγωγής της ημιένυδρης γύψου, κομμάτια πετρώματος απλά θερμαίνονταν απευθείας σε φωτιά για να προκληθεί αφυδάτωση (απομάκρυνση κρυσταλλικού νερού). Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν φούρνοι όπου τοποθετούνταν κομμάτια ακατέργαστου μεταλλεύματος και παραλλαγή αυτών είναι οι σημερινές κατακόρυφες κάμινοι. Αυτοί οι τύποι απαντώνται ακόμη σήμερα σε λιγότερο αναπτυγμένες τεχνολογικά χώρες και λειτουργούν με ακατέργαστα καύσιμα και χωρίς να προηγηθεί κύρια επεξεργασία του πετρώματος. Καθώς εξαπλώθηκε η χρήση της επεξεργασμένης γύψου αναπτύχθηκαν πολλές προηγμένες μέθοδοι οι οποίες απαιτούν προπαρασκευή της γύψου.



**Σχήμα 4.4** Στάδια μετατροπής γύψου σε ημιυδρίτη και ανυδρίτη

Οι θερμοδυναμικές ιδιότητες του συστήματος  $\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$  έχουν μελετηθεί αρκετά σε θεωρητικό επίπεδο. Πρακτικά στο εμπόριο παράγονται μέσω της πύρωσης τέσσερα προϊόντα δύο τύποι (**A** και **B**) ημιυδρίτη, διαλυτός ανυδρίτης και αδιάλυτος ή «καμμένος» ανυδρίτης (dead anhydrite). Όλες οι ημιένυδρες μορφές, ανεξάρτητα από τον τρόπο που παράγονται, ονομάζονται στη βιομηχανία στόκοι. Επίσης, για τον ημιυδρίτη χρησιμοποιείται συχνά ο όρος "plaster of Paris", ο οποίος προήλθε από τα μεγάλα κοιτάσματα γύψου κάτω και κοντά στην πόλη του Παρισιού της Γαλλίας.

Ο ημιυδρίτης είναι η λιγότερο ένυδρη μορφή θειικού ασβεστίου που μπορεί να αναγνωριστεί με βεβαιότητα. Οι δύο τύποι ημιυδρίτη (A, B) έχουν την ίδια κρυσταλλική δομή, αλλά ο ημιυδρίτης B έχει μεγαλύτερη «ενεργότητα» και μεγαλύτερο βαθμό διαλυτότητας. Ο ημιυδρίτης A είναι πιο σταθερός και παρουσιάζει χαμηλότερο ρυθμό ανάπτυξης αντοχών. Αυτό αποτελεί μειονέκτημα για πολλές χρήσεις του στόκου αλλά η επανυδάτωση του ημιυδρίτη A δίνει πυκνότερη και ανθεκτικότερη γύψο που πλεονεκτεί σε άλλες χρήσεις. Οι δύο τύποι μπορούν να διαχωριστούν με αναλυτικές μεθόδους υψηλής

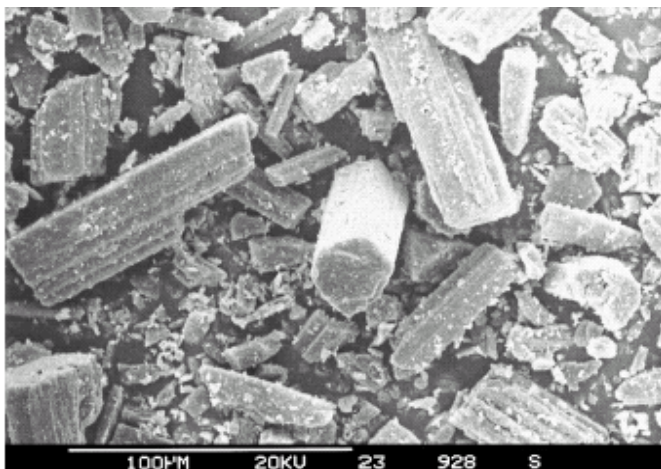
ακρίβειας (XRD, περίθλαση ακτίνων Χ). Τα βασικά χαρακτηριστικά των φάσεων Α και Β φαίνονται στον Πίνακα 4.1.

**Πίνακας 4.1** Βασικά χαρακτηριστικά φάσεων Α και Β Ημιυδρίτη

Χημική ένωση	Κανονική συνάφεια ή ρευστότητα*	Χρονικό διάστημα πήξης, Min, Vicat	Τυπική διαστολή, In.perIn	Μέση θλιπτική αντοχή, Psi, Dr y	Αντίδραση
Ημιυδρίτης Α	40-43	20-30	0,003	5500	Ουδέτερη
Ημιυδρίτης Β	64-66	25-30	0,0018	2000	Ουδέτερη

\*Μέρη νερού σε 100 μέρη στόκου κατά βάρος για παραγωγή ρευστού πολφού

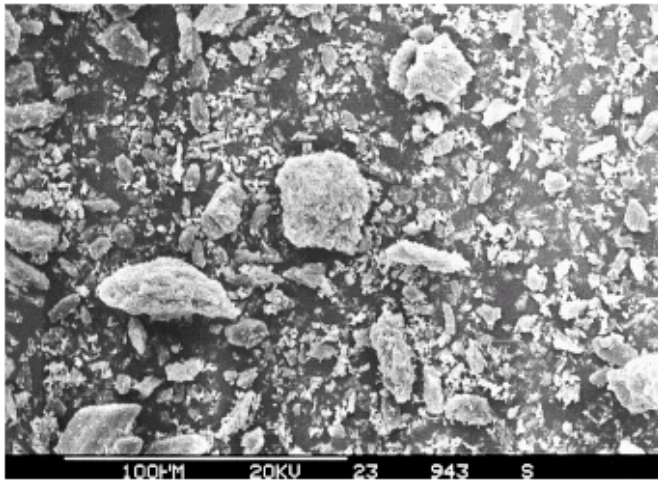
Ο ημιυδρίτης Α μπορεί να προκύψει από την διάσπαση της γύψου σε υδατικά κορεσμένο περιβάλλον και σε θερμοκρασία άνω των 97<sup>0</sup>C. Πρακτικά αυτό συμβαίνει συνήθως σε αυτόκλειστο με υψηλή πίεση παρουσία ατμού.



**Εικόνα 4.1** Ημιυδρίτης Α

Ο ημιυδρίτης Β προκύπτει από τη διάσπαση της γύψου υπό κενό σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 100<sup>0</sup>C, αλλά στην πράξη πραγματοποιείται σε λιγότερο κορεσμένο περιβάλλον και σε ατμοσφαιρική πίεση.





**Εικόνα 4.2** Ημιυδρίτης Β

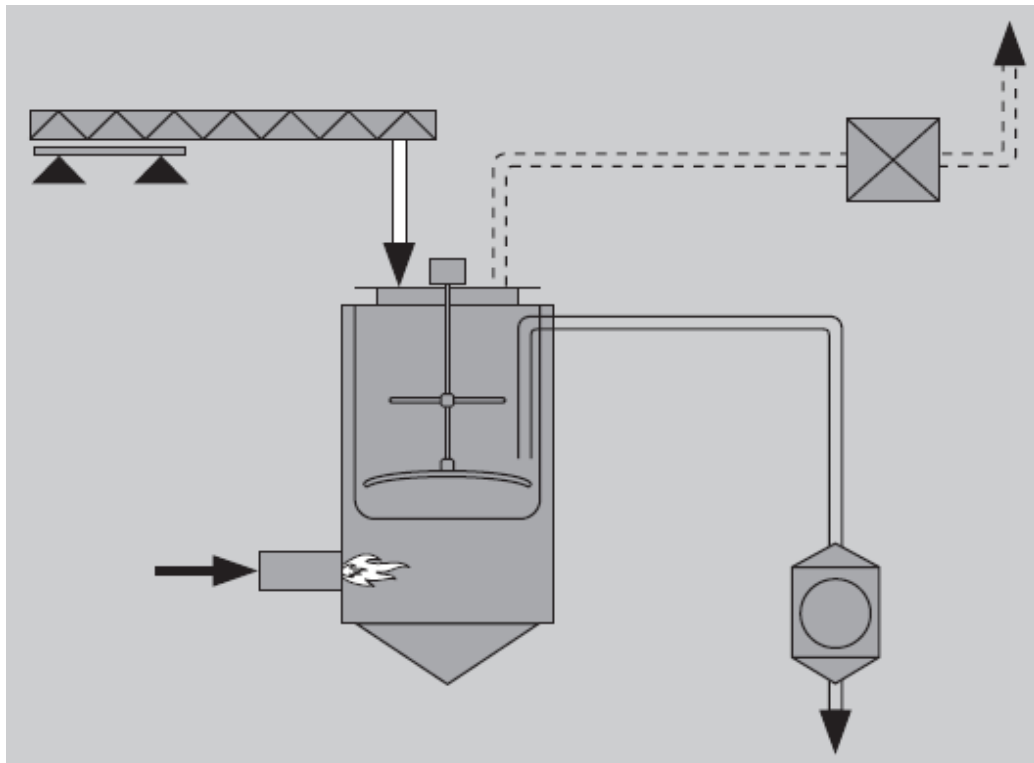
Η κύρια χρήση της γύψου μετά την πύρωση είναι στην παραγωγή γυψοσανίδων και στόκων για την αγορά δομικών υλικών, χρήσεις για τις οποίες προτιμάται ο πιο «ενεργός» ημιυδρίτης Β. Ο λιγότερο ενεργός ημιυδρίτης Α, δίνει ένα πυκνότερο και μεγαλύτερης αντοχής χυτό και προτιμάται σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπου αυτές οι ιδιότητες είναι χρήσιμες. Άλλοι παράγοντες που πρέπει να συνεκτιμηθούν για τη χρήση των δυο μορφών ημιυδρίτη είναι το κόστος (η παραγωγή ημιυδρίτη Β είναι πιο φθηνή) και η απαιτούμενη ποσότητα νερού (ο ημιυδρίτης Α απαιτεί μικρότερη περίσσεια νερού επιπρόσθετα αυτού που είναι απαραίτητο για την επανυδάτωση για την παραγωγή αραιού διαλύματος ίδιας πυκνότητας και ιξώδους).

### **4.3.1 Μέθοδοι Πύρωσης- Όπτησης(Αφυδάτωσης) Γύψου**

#### **4.3.1.1 Κάδος επεξεργασίας (kettle) «κατσαρόλα»**

Η ευρέως χρησιμοποιούμενη διάταξη για την πύρωση (αφυδάτωση) γύψου είναι μεταλλικός κάδος, που ο βασικός σχεδιασμός του χρονολογείται από το 1870. Στην απλούστερη μορφή του ο «κάδος» είναι κυλινδρική χαλύβδινη διάταξη με ύψος μεγαλύτερο από τη διάμετρό της και περιβάλλεται από πυρίμαχη επένδυση (κέλυφος), δηλαδή αποτελείται από ένα θερμικά μονωμένο θάλαμο, εξοπλισμένο με ένα αεροστεγές δίκτυο αεραγωγών θερμών

καυσαερίων(Σχήμα 4.7). Μέσα στον κάδο υπάρχει αναδευτήρας, με πτερύγια, που αναδεύει (αναμοχλεύει) το υλικό για να γίνεται ομοιόμορφα η έψηση αλλά και για να μην κολλάει το υλικό στον πυθμένα. (Η θερμοκρασία στον πυθμένα του «κάδου» δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 360°C).



**Σχήμα 4.5** Διάταξη κάδου πύρωσης γύψου.

Τα καυσαέρια, εισέρχονται στο κάτω μέρος και αφού ακολουθήσουν μια οφιοειδή διαδρομή, θερμαίνοντας με έμμεσο τρόπο (χωρίς δηλαδή άμεση επαφή) τη γύψο, εξέρχονται από το άνω μέρος, από όπου διοχετεύονται μέσω ρυθμιστικών βαλβίδων, είτε στην ατμόσφαιρα, είτε στο μύλο λειοτρίβησης. Τα καυσαέρια αυτά είναι αποτέλεσμα της καύσης, που πραγματοποιείται στον καυστήρα, κάτω από τον πυθμένα της κατσαρόλας και τα αέρια μεταφέρονται όπως προαναφέρθηκε στο εσωτερικό της κατσαρόλας με σωλήνες. Το μαζούτ που χρησιμοποιείται πρέπει να έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο τόσο για την προστασία των εγκαταστάσεων (σωληνώσεις, κοχλίες) από τη διάβρωση όσο και για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος. Το μαζούτ κινείται μέσα σε

θερμαινόμενους σωλήνες γιατί διαφορετικά παγώνει και δεν είναι δυνατό να τροφοδοτηθεί. Επίσης, θερμαίνεται στο κάτω μέρος της και η δεξαμενή στην οποία είναι αποθηκευμένη.

Ο «κάδος» εσωτερικά είναι επενδυμένος με πυρότουβλα. Τα πυρότουβλα χρησιμοποιούνται για την προστασία του κελύφους του από την επίδραση της φλόγας και της θερμής τροφοδοσίας (αν δεν υπήρχαν τα πυρότουβλα το κέλυφος θα παραμορφώνονταν λόγω της ερυθροπυρώσεως του), αλλά και για λόγους μείωσης των απωλειών θερμότητας (δηλαδή χρησιμεύουν για να μεταφέρουν ποσά θερμότητας από τα αέρια της καύσης στο υλικό). Η «κατσαρόλα» γεμίζει από το πάνω μέρος και έχει 2 εξόδους. Από τη μια εξέρχεται το υλικό και η άλλη είναι μια έξοδος ασφαλείας απ' όπου μπορεί, αν απαιτηθεί, να απομακρυνθεί το υλικό ή να εισέλθει εξωτερικός αέρας, αν χρειαστεί να μειωθεί η θερμοκρασία.

Αποτέλεσμα αυτών των διεργασιών είναι η εμφάνιση υδρατμών, οι οποίοι απάγονται, μέσω του αεραγωγού. Οι απομακρυνόμενοι υδρατμοί, οι οποίοι περιέχουν και ποσότητες γύψου σε μορφή κόκκων, οδηγούνται σε ένα φίλτρο, στο οποίο διαχωρίζονται και συλλέγονται οι κόκκοι υλικού που έχουν παρασυρθεί.

Η διεργασία παραγωγής είναι ασυνεχής, με ένα πλήρη κύκλο (από το γέμισμα ως την απόθεση) να απαιτεί 2 με 3 ώρες. Έχουν σχεδιαστεί «κάδοι» με χωρητικότητα 2 έως 30 t, αλλά η συνήθης δυναμικότητα είναι 15 - 20 t. Για ένα πλήρη κύκλο απαιτούνται 20 έως 30 λεπτά για το γέμισμα και 90 έως 120 λεπτά για έρθει το υλικό στην κατάλληλη θερμοκρασία. Η απόθεση συνήθως διαρκεί 5 λεπτά (ίσως και λιγότερο) και γίνεται με τη βοήθεια της βαρύτητας.

Στη διαδικασία «πύρωσης», η γύψος αρχίζει και χάνει το κρυσταλλικό νερό, όταν φτάνει στη θερμοκρασία των 110-120<sup>0</sup>C. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνει, το κρυσταλλικό νερό απελευθερώνεται υπό μορφή υδρατμών, και στους 240-250<sup>0</sup>C το υλικό «βράζει» καθώς η πίεση του ατμού γίνεται ίση με την ατμοσφαιρική πίεση. Όταν σταματά ο «βρασμός» και εξέρχονται ελάχιστοι έως μηδαμινοί υδρατμοί, το περιεχόμενο της κατσαρόλας κατασταλάζει στο 12-15% της αρχικής έντασης. Αυτή η περίοδος (ηρεμίας) ησυχίας σηματοδοτεί ότι το μεγαλύτερο μέρος της γύψου έχει αφυδατωθεί ή ημιαφυδατωθεί. Η θερμοότητα εξακολουθεί να

θερμαίνει το υλικό μέχρι η θερμοκρασία να φτάσει τους 300-330<sup>0</sup>C και έπειτα αποτίθεται σε ένα φρέαρ και ο κύκλος ολοκληρώνεται.

Το προϊόν αυτής της διαδικασίας είναι γνωστό ως «γύψος πρώτης καθίζησης» και περιέχει ποσοστό 5-6% νερό, σε αντίθεση με την καθαρή γύψο που περιέχει 20,9% (περίπου το 75% του κρυσταλλικού νερού έχει απομακρυνθεί). Καθώς η αντίδραση λαμβάνει χώρα σε λιγότερο από υδατικά κορεσμένο περιβάλλον, το μεγαλύτερο μέρος του ημιυδρίτη που δημιουργείται είναι τύπου Β, αν και δημιουργούνται και αρκετές ποσότητες ημιυδρίτη Α ανάλογα με τον τύπο του κάδου, τη μετακίνηση του ατμού και τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται.

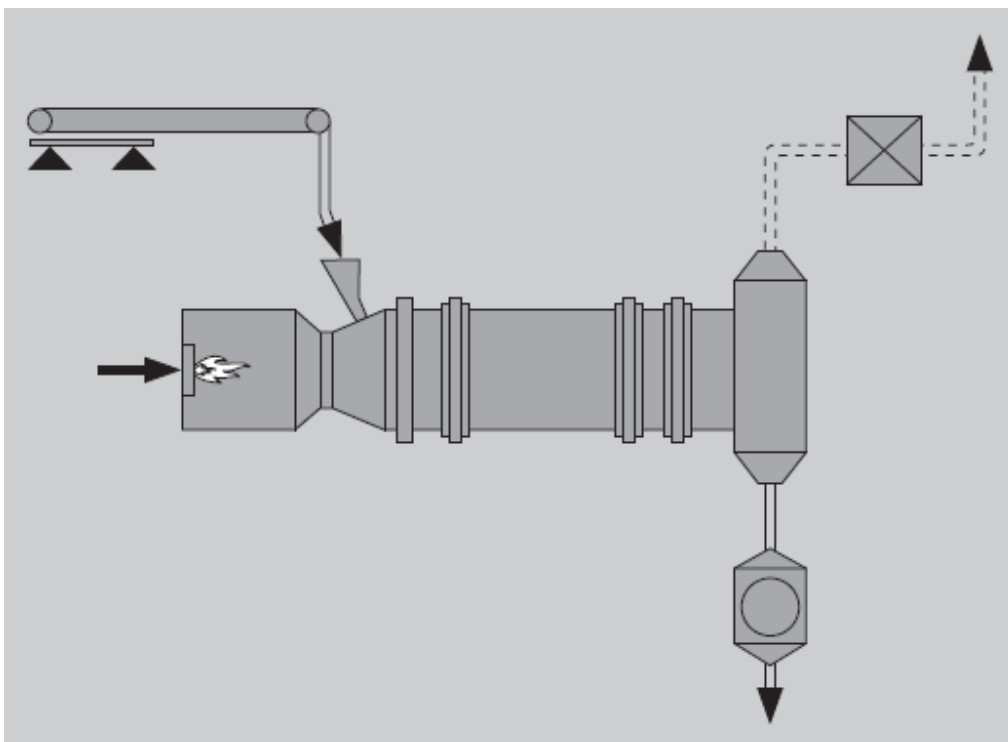
Αν το επιθυμητό προϊόν είναι «γύψος δεύτερης καθίζησης» (γύψος δεύτερου σταδίου), η θερμοκρασία αυξάνεται στους 180<sup>0</sup>C, όπου η γύψος αρχίζει και «ξανακοχλάζει» και εκλύονται επιπλέον υδρατμοί. Αυτή η διεργασία διαρκεί λιγότερο χρόνο, αφού η απομένουσα ποσότητα του κρυσταλλικού νερού που απομακρύνεται τώρα είναι μικρότερη. Στους 200<sup>0</sup>C περίπου το υλικό απομακρύνεται από τον κάδο, το κρυσταλλικό νερό έχει στο σύνολό του σχεδόν απομακρυνθεί και το παραγόμενο προϊόν είναι γνωστό ως διαλυτός ανυδρίτης. Το υλικό αυτό έχει μεγαλύτερη πλαστικότητα από τη «γύψο πρώτης καθίζησης» (πρώτο στάδιο παραγωγής), αλλά μετά από επανυδάτωση (rehydration) δίνει προϊόν μεγαλύτερης πυκνότητας και αντοχής. Επίσης, έχει την τάση να προσλαμβάνει εύκολα υγρασία και γι' αυτό και χρησιμοποιείται κυρίως για την ικανότητα δέσμευσης υγρασίας από το περιβάλλον (αφύγρανση).

Μια καινοτομία στην ασυνεχή αυτή διαδικασία είναι η μέθοδος της κατεργασίας «σε κάδο συνεχούς λειτουργίας», όπου όταν η αρχική ποσότητα φυσικής γύψου φτάσει στο στάδιο του ημιυδρίτη, αντί να αποθεθεί και να τροφοδοτηθεί ο κάδος με νέο υλικό, ένα μέρος συνεχόμενα απομακρύνεται και αντικαθίσταται από συνεχόμενα τροφοδοτούμενη φυσική γύψο. Αυτή η τεχνική απαιτεί προσεκτικά ελεγχόμενες συνθήκες και όλες οι λεπτομέρειες καθορίζονται εξ' αρχής.

Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να παραχθεί ημιυδρίτης Β.

#### 4.3.1.2 Περιστροφική κάμινος (κλίβανος)

Μια από αυτές είναι με τη βοήθεια περιστροφικού κλίβανου, η οποία είναι και η δεύτερη πιο διαδεδομένη μέθοδος στη βιομηχανία (Σχήμα 4.8).. Η τροφοδοσία του περιστροφικού κλίβανου (rotary kiln) είναι θραυσμένη γύψος μεγέθους της τάξης των 5/8in (16 mm). Εισέρχεται από το πάνω μέρος του κλίβανου και η θερμότητα ρέει με ανάστροφη ροή. Σε κάποιες περιπτώσεις, λεπτομερή τεμάχια της τάξης των -4 mesh (-4.75 mm) ή -8 mesh (-2.38 mm) απομακρύνονται από την τροφοδοσία για να επιτευχθεί πιο ομοιόμορφη «πύρωση».

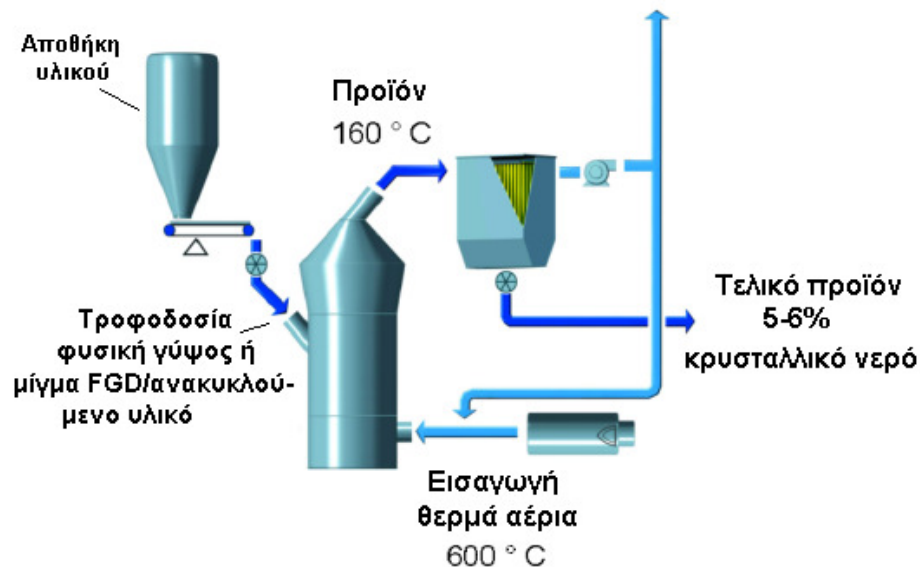


**Σχήμα 4.6** Περιστροφική κάμινος (κλίβανος) πύρωσης γύψου

Σε μικρότερο ακόμα βαθμό, έχουν χρησιμοποιηθεί κοίλοι κοχλιωτοί μεταφορείς. Η θερμότητα μεταδίδεται είτε μέσω κυκλοφορούντος ζεστού υγρού ή αερίου είτε μέσω θερμαινόμενου περιβλήματος.

Ακόμη λειοτρίβηση και πύρωση μπορεί να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα σε ειδικούς κατακόρυφους μύλους λειοτρίβησης στους οποίους κυκλοφορεί ζεστός αέρας. Η άλεση γίνεται με σύνθλιψη της ουσίας μεταξύ μεταλλικής

τράπεζας και περιστρεφόμενων τροχών. Η πάνω τράπεζα περιστρέφεται, ενώ παράλληλα περιστρέφονται και χαλύβδινοι κύλινδροι (που βρίσκονται ανάμεσά τους), ένα θερμό ρεύμα αέρος αναβιβάζει το άλεσμα σε διαχωριστή που είναι τοποθετημένος στο πάνω μέρος του μύλου. Από το διαχωριστή επιστρέφει το χονδρό υλικό για συμπληρωματική άλεση. Η έψηση στο μύλο αυτό γίνεται με άμεση επαφή του υλικού με τα αέρια της καύσης και συγκεκριμένα (το ρεύμα αέρος εκτός από το υλικό ανεβάζει και τα αέρια της καύσης και έτσι επιτυγχάνεται η έψηση) Η θερμοκρασία του καυστήρα του μύλου είναι  $760^{\circ}\text{C}$ , ενώ η θερμοκρασία εξόδου του υλικού είναι περίπου  $150-160^{\circ}\text{C}$ , η οποία βέβαια μεταβάλλεται ανάλογα με το κρυσταλλικό νερό της γύψου.



**Σχήμα 4.7.** Συγκρότημα παραγωγής ημιυδρίτη (όπτηση - άλεση γύψου κατά Gebr. Pfeiffer).

Όλες βέβαια αυτές οι μέθοδοι δεν είναι τόσο απλές στην εφαρμογή και απαιτούν προσεκτικούς χειρισμούς και συνεχή έλεγχο.

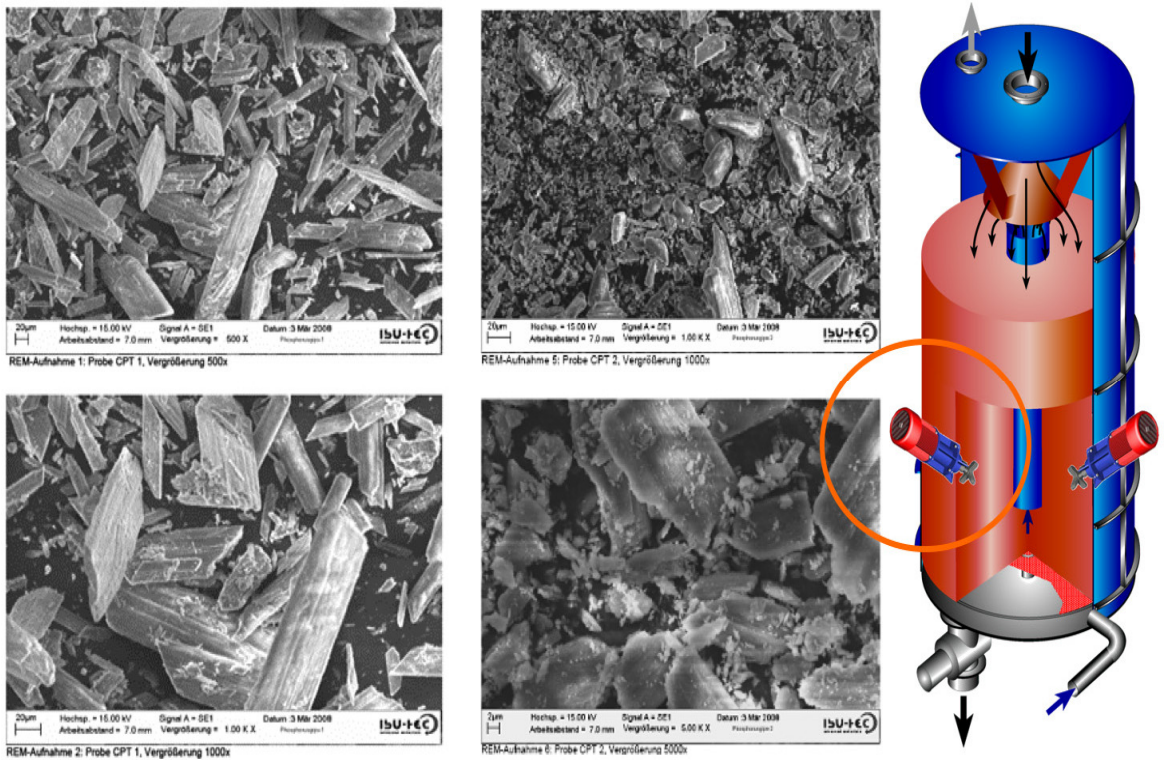
Ο όρος άνυδρη γύψος αναφέρεται στην γύψο «πρώτης καθίζησης» στην οποία έχει προστεθεί μικρή ποσότητα διαλυτού άλατος. Στην πράξη χρησιμοποιείται περίπου  $1\frac{1}{2}$  lb χλωριούχο ασβέστιο ( $\text{CaCl}_2$ ) για κάθε τόνο γύψου, με την ακριβή ποσότητα να εξαρτάται από την καθαρότητα του

πετρώματος και το είδος των προσμίξεων που μπορεί να περιέχονται. Αυτή η προσθήκη αυξάνει την πίεση του ατμού στο εσωτερικό της καταρόλας και η όπτηση συντελείται σε σχετικά μικρότερη θερμοκρασία. Το τελικό προϊόν, το οποίο περιέχει σχετικά μεγάλο ποσοστό ημιυδρίτη Α, χρησιμοποιείται για την παραγωγή πολλών βιομηχανικών γύψων.

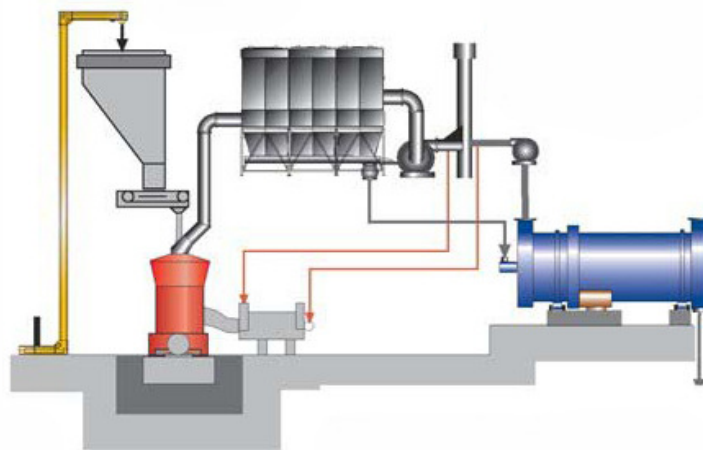
Η πύρωση υπό πίεση σε αυτόκλειστα ατμού, με ή χωρίς την προσθήκη κρυσταλλικού τροποποιητή, χρησιμοποιείται για την παραγωγή γύψου εξαιρετικής αντοχής με εφαρμογή σε συγκεκριμένες βιομηχανικές χρήσεις. Η γύψος εισάγεται είτε θραυσμένη είτε με τη μορφή πολφού και το προϊόν ξηραίνεται αμέσως μετά την ολοκλήρωση της πύρωσης. Αυτή η μέθοδος παράγει μόνο ημιυδρίτη Α, έχει υψηλό κόστος και εφαρμόζεται στην παραγωγή προϊόντων που απαιτούν αυτό τον τύπο γύψου.

«Καμένη» (dead burned) γύψος ή μη διαλυτός ανυδρίτης παράγεται σε κυψελοειδείς κυλίνδρους ή περιστροφικούς ασβεστοποιητές με την εφαρμογή πολύ υψηλών θερμοκρασιών (πάνω από 490<sup>0</sup>C) σε σχέση με τις άλλες μεθόδους. Το τελικό προϊόν είναι ένα άνυδρο θειικό άλας του ασβεστίου, το οποίο δεν επιδέχεται επανυδάτωση και είναι το λιγότερο διαλυτό από τα θειικά άλατα. Η κύρια χρήση αυτού του προϊόντος είναι στην παραγωγή τσιμέντου keenes, όπου με την προσθήκη επιταχυντών που επανέρχεται η σκληρότητα και με λεπτομερή λειοτρίβηση παράγεται ένα ορुकτό πληρωτικό.

Ο όρος υδραυλική γύψος αναφέρεται στη γύψο που έχει θερμανθεί έως τους 900<sup>0</sup>C, θερμοκρασία στην οποία το υλικό ερυθροπυρώνεται και το θειικό άλας του ασβεστίου αρχίζει να διασπάται και να απελευθερώνεται θείο ως αέριο διοξειδίου του θείου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του οξειδίου του ασβεστίου και την παραγωγή ενός προϊόντος που όταν αναμιχθεί με νερό πήζει αργά σε σύγκριση με άλλα είδη οπτημένης γύψου. Ωστόσο είναι πολύ σκληρό, πυκνό, αρκετά ανθεκτικό και ορισμένες φορές αναφέρεται ως Estrich gypsum.



**Εικόνα 4.3** Φάσεις συστήματος CaSO<sub>4</sub> στο εσωτερικό του κάδου



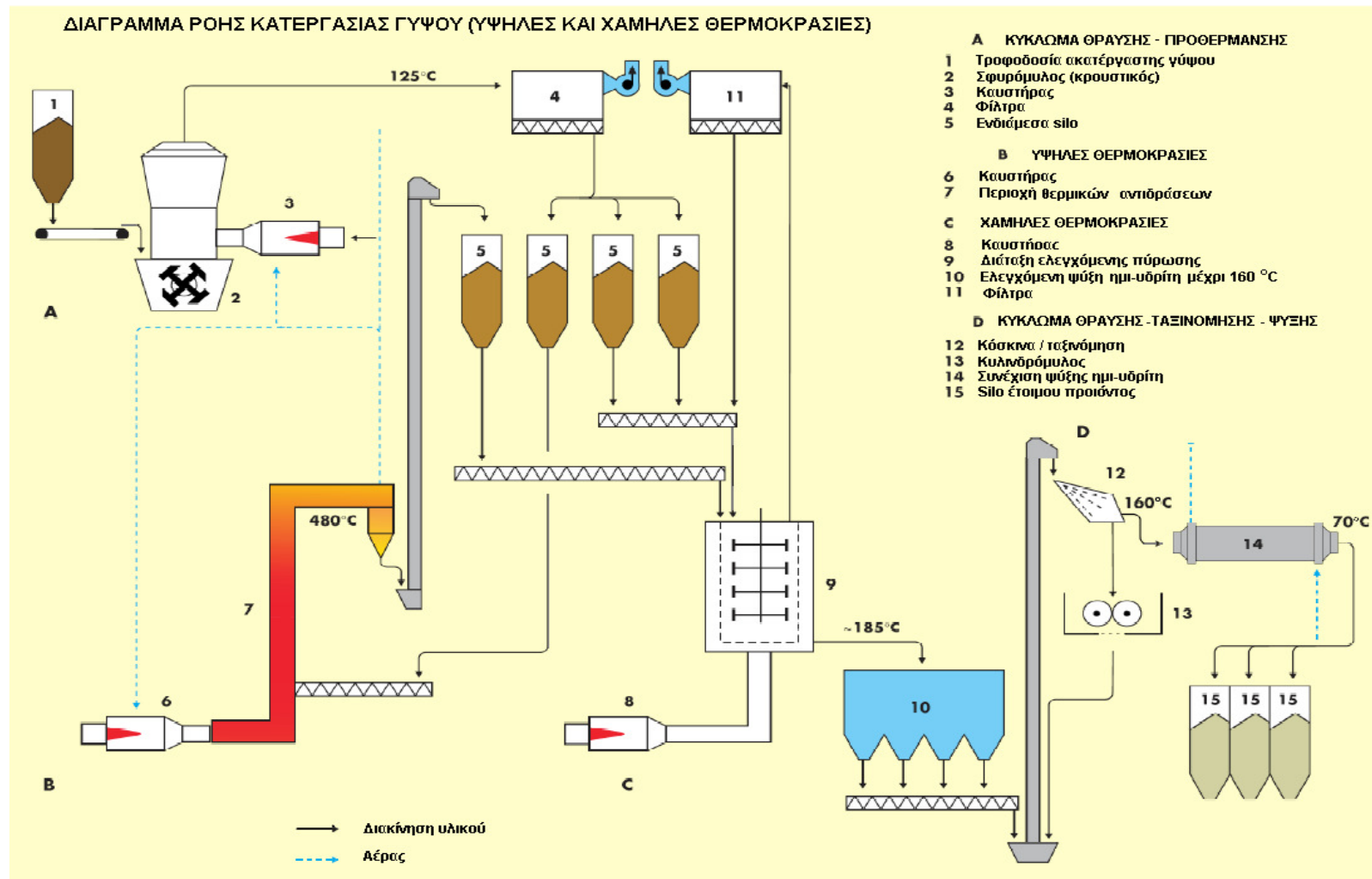
πύρωσης

**Σχήμα 4.8** Διάταξη ταχύτατης όπτησης (πύρωσης) γύψου



#### **4.4 ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

Το προϊόν της πύρωσης (έψησης) δεν χρησιμοποιείται σχεδόν ποτέ χωρίς να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία όπως λειοτρίβηση-άλεση, ανάμιξη με πρόσθετα ή επανυδάτωση και χύτευση σε ογκόλιθο ή για την παραγωγή γυψοσανίδων. Η γύψος που προέρχεται από τη μέθοδο «κάδου» (το συνηθέστερο προϊόν πύρωσης) δεν είναι μια απλή μορφή θειικού άλατος του ασβεστίου, αλλά ένα μίγμα από διάφορες αφυδατωμένες «φάσεις», από διυδρίτη έως ανυδρίτη. Αυτό συμβαίνει διότι δεν αφυδατώνονται όλα τα μέρη στον ίδιο βαθμό και αυτό εξαρτάται και από τη μέθοδο πύρωσης που χρησιμοποιείται. Το ποσοστό της διαφοροποίησης μπορεί να μειωθεί με προσεχτικούς χειρισμούς.



Σχήμα 4.9 Ολοκληρωμένο διάγραμμα ροής κατεργασίας γύψου

## 5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΥΨΟΣΑΝΙΔΩΝ

Όσον αφορά την χρήση της γύψου στην παραγωγή γυψοσανίδων, θα πρέπει αρχικά να διευκρινιστεί ότι ως γυψοσανίδες νοούνται τα δομικά στοιχεία με πυρήνα γύψου, αμφίπλευρα επενδυμένο με ειδικό χαρτί, για καλύτερη αντοχή και πιο λεία επιφάνεια. Ο συνδυασμός της, οφειλόμενης στην κρυσταλλική δομή της γύψου, αντοχής, με την εφελκυστική λειτουργία του επικολλημένου χαρτιού, εξασφαλίζει στην γυψοσανίδα τις απαιτούμενες ιδιότητες. Δύο τύποι χαρτιού χρησιμοποιούνται κυρίως, που και οι δύο κατασκευάζονται από ανακύκλωση παλιού χαρτιού. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των γυψοσανίδων είναι το μικρό βάρος, η μεγάλη ελαστικότητα, η σημαντική μηχανική αντοχή, η καλή θερμομονωτικότητα, η αξιόλογη ευκαμπτότητα, η υψηλή πυραντοχή και η εξαιρετική τελική επιφάνεια.

Επίσης, η εύκολη κατεργασία και ο γρήγορος τρόπος στερέωσης με βίδες, καρφιά ή γυψόκολλες.

Οι γυψοσανίδες κατατάσσονται, συνήθως, στους παρακάτω εμπορικούς τύπους:

**Δομικές:** Χρησιμεύουν για την κατασκευή διαχωριστικών τοίχων, ψευδοροφών, εσωτερική επένδυση εξωτερικών τοίχων, στεγνό επίχρισμα τοίχων, αλλά και λοιπές εσωτερικές κατασκευές.

**Πυράντοχες:** Προορίζονται για κατασκευές με υψηλές απαιτήσεις πυραντοχής. Για τον λόγο αυτό, ο γυψοπυρήνας τους εμπεριέχει κατάλληλα πρόσμεικτα και ορυκτές ίνες.

**Ανθυγρές:** Χρησιμοποιούνται σε χώρους υψηλής υγρασίας. Ο πυρήνας τους εμπεριέχει πρόσμεικτα, ισχυρώς μειωτικά της υδροαπορροφητικότητας, ενώ το επικολλημένο χαρτί έχει υποστεί επεξεργασία με μυκητοκτόνα ουσία.

**Πυράντοχες- Ανθυγρές:** Παρουσιάζουν σημαντική αντοχή στην φωτιά και στην υγρασία και προορίζονται για κατασκευές ιδιαίτερων απαιτήσεων.

**Διάτρητες:** Ο ειδικός αυτός τύπος χρησιμοποιείται για την καταστολή της αντήχησης, αλλά παράλληλα συμβάλλει σημαντικά στην διακόσμηση του χώρου. Η πραγματοποίηση ολομέτωπης διάτρησης, με διάφορα σχέδια από

τρύπες και εγκοπές, συντελεί στην επίτευξη μεγάλου βαθμού ηχοαπορροφητικότητας.

**Κασέτες γυψοσανίδων:** Αποτελούνται από γυψοσανίδες όλων των ειδών, κομμένων σε ειδικές διαστάσεις (συνήθως 40×40, 60×60, 1,20×1,20 cm), για τοποθέτηση σε φατνώματα ψευδοροφών με εμφανή μεταλλικό σκελετό. Τα άκρα των κασετών μπορούν να έχουν περιθώριο και η διατομή τους είναι ορθογωνική, συνήθως από κομμένη γυψοσανίδα χωρίς χάρτινο περίβλημα. Στις ψευδοροφές εμφανούς σκελετού, η κατασκευή είναι καθολική επισκέψιμη, ωστόσο η πυραντοχή της σημαντικά μειωμένη, λόγω άμεσης έκθεσης του σκελετού σε ενδεχόμενο φωτιάς.

**Επενδυμένες γυψοσανίδες (πανέλα):** Οι επενδύσεις τους επιλέγονται ανάλογα με τον τελικό προορισμό. Τέτοια είδη επενδύσεων γυψοσανίδων, συνήθως είναι:

- Φράγμα υδρατμών
- Μολύβδινο φύλλο, για προστασία από ακτίνες Χ
- Φύλλο PVC
- Πλάκα πολυστερίνης, για θερμομόνωση
- Ν. Πάπλωμα ορυκτοβάμβακα, για θερμομόνωση –ηχομόνωση.

Για την παραγωγή γυψοσανίδας χρησιμοποιείται είτε φυσική γύψος, είτε συνθετική γύψος. Και οι δύο πρώτες ύλες θεωρούνται ισάξιες, ωστόσο υπάρχουν κάποιες μικρές διαφορές. Έτσι, οι γυψοσανίδες που κατασκευάζονται με επεξεργασμένη γύψο έχουν μικρότερο βάρος, ενώ αυτές που κατασκευάζονται από φυσική γύψο έχουν παρουσιάσει μεγαλύτερη αντοχή σε θραύση σε καμπύλες κατασκευές. Κατά τη χρήση επεξεργασμένης γύψου καταναλώνεται περίπου 50% λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τη χρήση φυσικής γύψου.

Η γύψος μεταφέρεται από το silo στη ζυγαριά. Στον ταινιοζυγό τροφοδοτείται όσο υλικό χρειάζεται και το υπόλοιπο επιστρέφει στο silo. Μ' αυτό τον τρόπο η γύψος ψύχεται και το υλικό στο silo δεν μένει στάσιμο. Πάνω στη ζυγαριά υπάρχει αεροφράχτης που εμποδίζει την είσοδο αέρα στη ζυγαριά και ταυτόχρονα δοσομετρεί το υλικό.

Μετά ζύγιση η γύψος αναμειγνύεται με υγρά και στερεά πρόσμικτα για την παραγωγή του πολφού. Το 20% προσλαμβάνει τα στερεά πρόσμικτα, το 80%

αναμιγνύεται με νερό στον προαναμικτήρα και τα υγρά πρόσμικτα προστίθενται κατευθείαν στον αναμικτήρα (mixer). Ο προαναμικτήρας χρησιμοποιείται για την ανάμειξη της γύψου με το νερό για να μετατραπεί τυχόν ποσότητα ανυδρίτη (A<sub>115</sub>) σε ημιυδρίτη (HH) και για να εξασφαλιστεί καλύτερη ροή στον αναμικτήρα.

## **ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ**

**Τα υγρά πρόσμικτα**, που χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή του πολφού είναι:

- Κυρίως νερό, το οποίο χρησιμοποιείται για την ενυδάτωση της γύψου.
- Σιλικόνη  
Χρησιμοποιείται μόνο στις ανθυγρές γυψοσανίδες. Προσδίδει υδροφοβία.
- Χαρτοπολτός  
Χρησιμοποιείται για την αύξηση της αντοχής της γυψοσανίδας αφού το 80% της αντοχής της οφείλεται στο χαρτί και μόλις το 20% στη γύψο.
- Ρευστοποιητής  
Χρησιμοποιείται για να διανέμεται καλά ο πολφός, ενώ σε συνδυασμό με το αφρογόνο δημιουργεί πόρους για να «αναπνέει» η γυψοσανίδα. Επίσης, από τις δύο άκρες του αναμικτήρα διοχετεύεται ειδικός ρευστοποιητής για την προστασία από συρρίκνωση των άκρων της γυψοσανίδας από τις υψηλές θερμοκρασίες κατά την ξήρανση.

**Τα στερεά πρόσμικτα είναι:**

- Άμυλο  
Έχει τη δυνατότητα να μεταφέρεται στα άκρα. Χρησιμοποιείται για την πρόσφυση του χαρτιού με το γυψοπολφό. Δρα σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 75°C (ουσιαστικά δρα στο ξηραντήριο).
- Επιταχυντής πήξης
- Ίνες γυαλιού  
Χρησιμοποιούνται στην παραγωγή γυψοσανίδας μήκους >2,5m για να προσδώσουν ελαστικότητα. Σε μεγαλύτερες ποσότητες χρησιμοποιούνται στην πυράντοχη γυψοσανίδα και προσδίδουν αντοχή στη φωτιά. Βρίσκονται σε μορφή ρολού και κόβονται σε μικρά τεμάχια.

Τέλος χρησιμοποιείται αφρογόνο, το οποίο αναμιγνύεται με νερό για την παραγωγή αφρού. Δημιουργεί στη γυψοσανίδα πόρους για να αναπνέει και μειώνει την ποσότητα της γύψου που χρησιμοποιείται. Δηλαδή, η γυψοσανίδα είναι πιο ελαφριά και πιο φθηνή.

Το αφρογόνο εξέρχεται από τον αναμικτήρα από τη μεσαία απόληξη, δηλαδή εισέρχεται στο κέντρο της γυψοσανίδας γι' αυτό και οι άκρες είναι βαρύτερες και πιο ανθεκτικές.

Ο πολφός εξέρχεται από τον αναμικτήρα και παράγεται η γυψοσανίδα ως εξής:

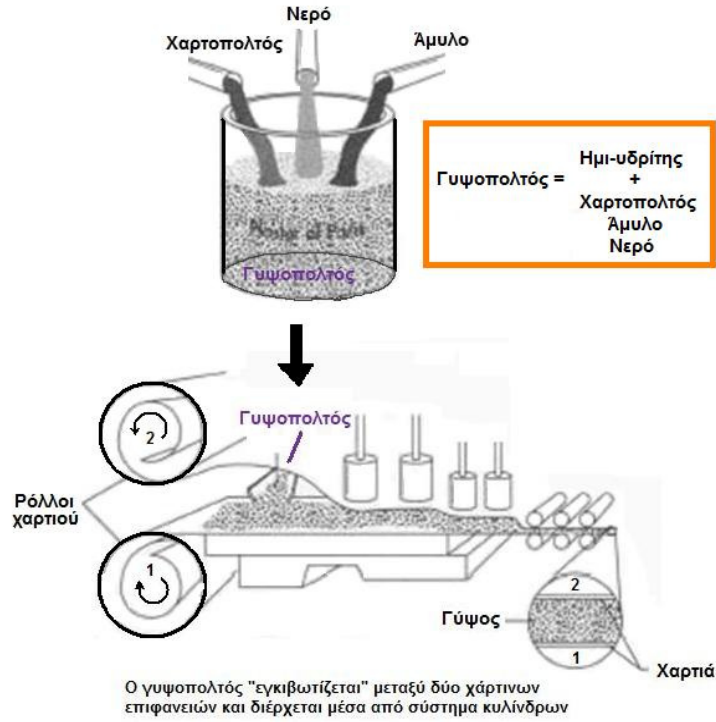
Πάνω σε μια ταινία κυλάει το «κάτω χαρτί». Πάνω στο χαρτί διοχετεύεται το μίγμα από απολήξεις του αναμικτήρα. Στην αρχή υπάρχει δόνηση για την ομοιόμορφη κατανομή του πολφού. Στη συνέχεια κολλάει το «πάνω χαρτί». Η γυψοσανίδα κατασκευάζεται με την «καλή» (εξωτερική) επιφάνεια να εφάπτεται στην ταινία για προστασία.

Η γυψοσανίδα μετακινείται στην ταινία και κατά διαστήματα υπάρχουν ψεκαστήρες νερού για να κολλάνε τα άκρα καθώς και ελάσματα ή κύλινδροι που δημιουργούν ομοιόμορφη επιφάνεια. Αυτά βέβαια μέχρι ένα σημείο όπου ο πολφός είναι ακόμη πλαστικός και μορφοποιείται.

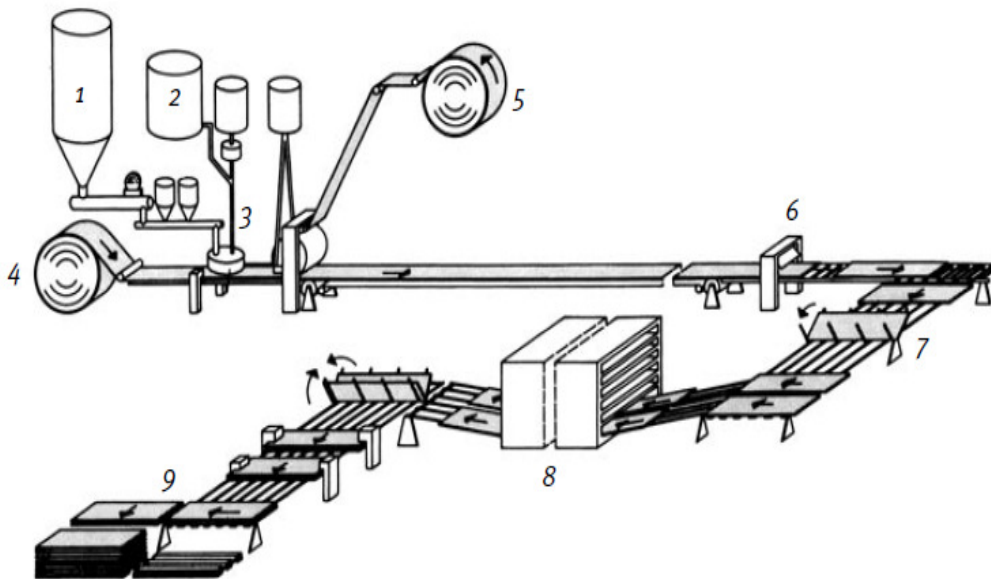
Στο τέλος της ταινίας υπάρχει το ψαλίδι όπου η γυψοσανίδα κόβεται σε συγκεκριμένα μήκη ( $\approx 24\text{cm}$  μεγαλύτερη από το τελικό μήκος). Η γυψοσανίδα πρέπει να πήξει πριν φτάσει στο ψαλίδι διαφορετικά θα κολλήσει στους κυλίνδρους.

Στη συνέχεια οι γυψοσανίδες μπαίνουν στο ξηραντήριο όπου εξατμίζεται το επιπλέον νερό που υπάρχει στο γυψοπολφό. Μετά το ξηραντήριο η γυψοσανίδα οδηγείται στο πριόνι όπου κόβονται τα άκρα της (τα επιπλέον 4cm) που έχουν ξηραθεί περισσότερο, παλετοποιούνται και μεταφέρονται στην αποθήκη.

Η διαδικασία προετοιμασίας του γυψοπολτού και μορφοποίησης της γυψοσανίδας φαίνεται στο Σχήμα 5.1, ενώ η ολοκληρωμένη διαδικασία παραγωγής τους στο διάγραμμα του Σχήματος 5.2



Σχήμα 5.1 Προετοιμασία γυψοπολτού και μορφοποίηση γυψοσανίδας



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΥΨΟΣΑΝΙΔΩΝ

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 1. Λεπτομερής ημι-υδρίτης (plaster of Paris) | 5. Ρολλό χαρτιού οπίσθιας όψης        |
| 2. Πρόσθετα (νερό + άμυλο + χαρτοπολτός)     | 6. Ψαλίδι κοπής γυψοσανίδων           |
| 3. Αναμίκτης                                 | 7. Τράπεζα ανατροπής σανίδων          |
| 4. Ρολλό χαρτιού εμπρόςθιας όψης             | 8. Διάταξη ξήρανσης γυψοσανίδων       |
|  | 9. Συμπληρωματική κοπή και συσκευασία |

Σχήμα 5.2 Ολοκληρωμένη διαδικασία παραγωγής γυψοσανίδων.

## 5.1 ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟ

Στο ξηραντήριο συντελείται οριζόντια ξήρανση.

Το ξηραντήριο αποτελείται από επίπεδα και ζώνες.

Στην 1<sup>η</sup> ζώνη ο αέρας εισέρχεται με φορά αντίθετη της φοράς εισόδου των γυψοσανίδων για να αποφευχθεί το «κάψιμο», ενώ μεταλλικά «Π» κρατούν τη γυψοσανίδα στη θέση της και εξασφαλίζουν την οριζόντια διέλευση την αέρα.

Στη 2<sup>η</sup> ζώνη, η οποία είναι και η μεγαλύτερη σε μήκος και έχει την υψηλότερη θερμοκρασία αφού εκεί γίνεται η κυρίως ξήρανση, ο αέρας έχει τη φορά κίνησης των γυψοσανίδων.

Στην 3<sup>η</sup> ζώνη ο αέρας κινείται επίσης κατά τη φορά κίνησης των γυψοσανίδων. Μετά από μετρήσεις παρατηρήθηκε ότι η ξήρανση ολοκληρώνεται πριν το τέλος της 3<sup>ης</sup> ζώνης και έτσι ένα τμήμα της χρησιμοποιείται πλέον ως τομέας ψύξης.

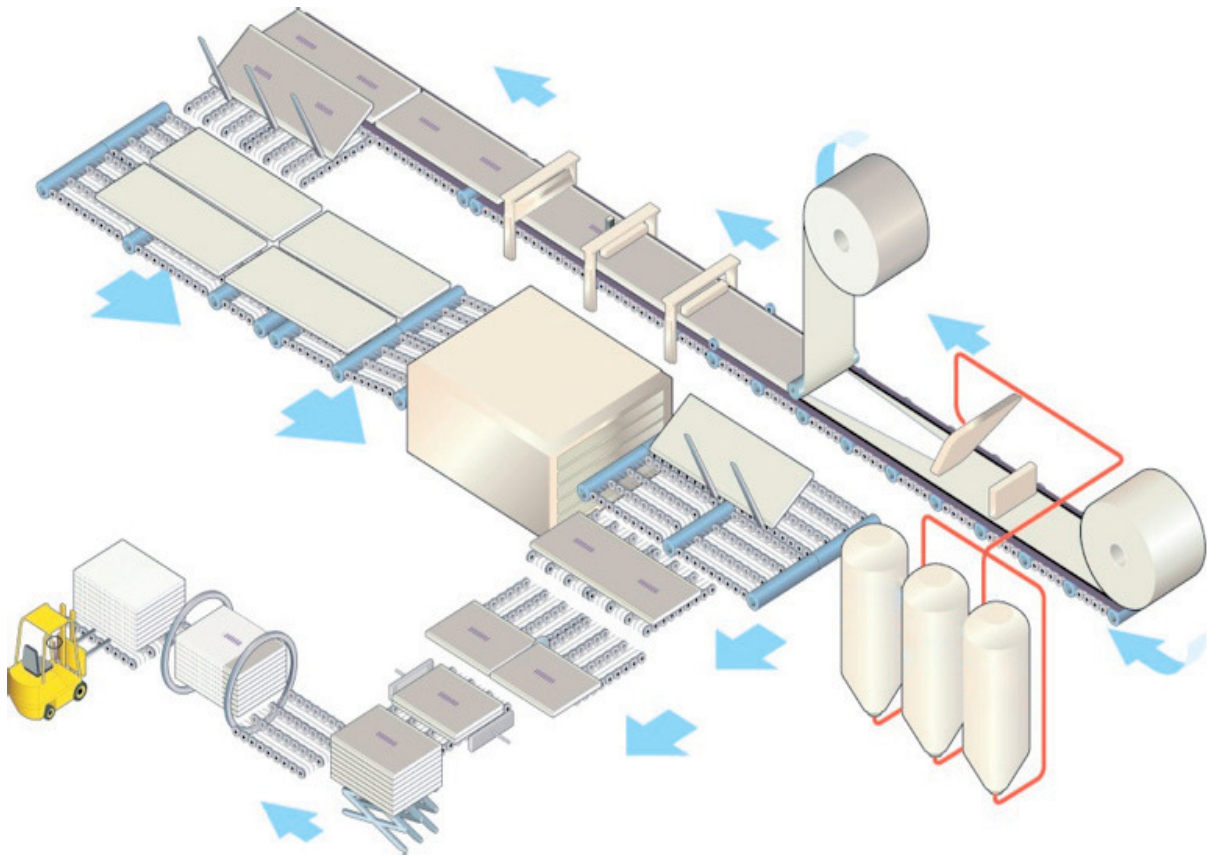
Σε κάθε επίπεδο ειδικοί αεραγωγοί οδηγούν τον αέρα στο κέντρο της γυψοσανίδας προστατεύοντας τα ευαίσθητα άκρα.

Ο αέρας κάθε ζώνης εισέρχεται στο ξηραντήριο από διόδους των οποίων το άνοιγμα μπορεί να μεταβάλλεται για να επιτευχθεί καλύτερο αποτέλεσμα. Ο αέρας αυτός επανακυκλοφορεί αλλά εισέρχεται και νέος από ένα ανεμιστήρα σε κάθε ζώνη. Με φουγάρα (1 σε κάθε ζώνη) απομακρύνονται οι υδρατμοί.

Αν και όλο το ξηραντήριο είναι μονωμένο για να μειωθούν οι απώλειες ενέργειας στην 3<sup>η</sup> ζώνη, όπου η ξήρανση σταματά, το 80% του αέρα εξέρχεται.

Το τέλος του ξηραντηρίου υπάρχει έξοδος ανάγκης για την απομάκρυνση ακατάλληλων γυψοσανίδων από την παραγωγή.





**Σχήμα 5.3** Άλλη ολοκληρωμένη διαδικασία παραγωγής γυψοσανίδων

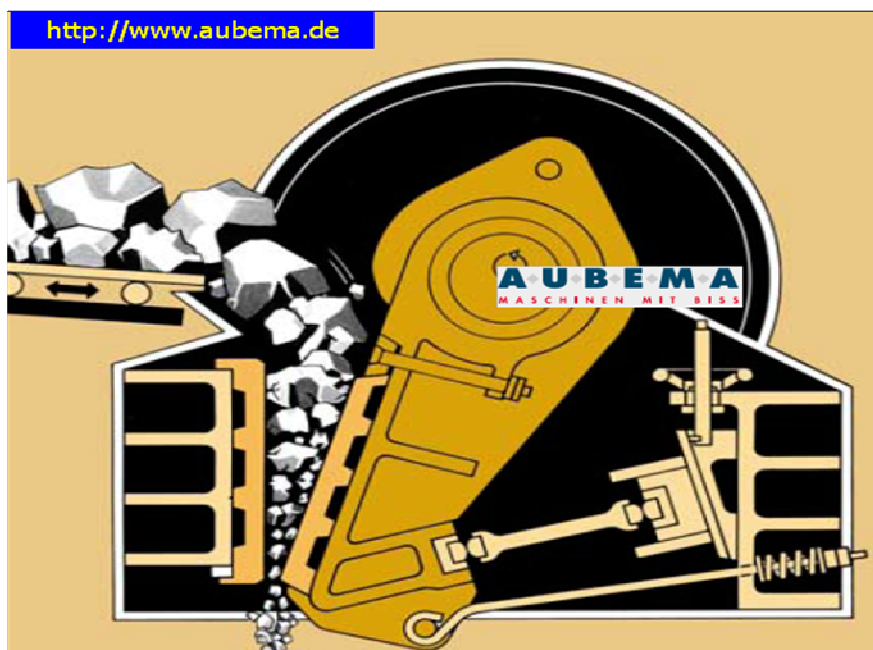
## 6.ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

### 6.1 ΘΡΑΥΣΤΗΡΕΣ

#### 6.1.1 Θραυστήρες με σιαγόνες (Jaw Crushers)

Οι θραυστήρες σιαγόνων πραγματοποιούν θραύση με άσκηση πίεσης, δηλ. φασκούν δυνάμεις θλίψης. Αποτελούνται από δύο επιφάνειες θραύσης, εκ των οποίων η μια είναι σταθερή και η άλλη κινούμενη. Το υλικό υφίσταται θραύση μεταξύ της ακίνητης και της κινητής επιφάνειας λόγω δύναμης που ασκείται στην κινητή επιφάνεια προς την ακίνητη. Οι θραυστήρες σιαγόνας διακρίνονται σε δύο τύπους. Οι θραυστήρες «απλής ενέργειας» έχουν τη δυνατότητα κίνησης της κινητής σιαγόνας μόνο κατά την κατεύθυνση μπρος-πίσω. Οι θραυστήρες «διπλής ενέργειας» (double toggle), ακριβώς λόγω της ύπαρξης διπλού βραχίονα, παρέχουν τη δυνατότητα και πάνω-κάτω κίνησης στην κινητή σιαγόνα.

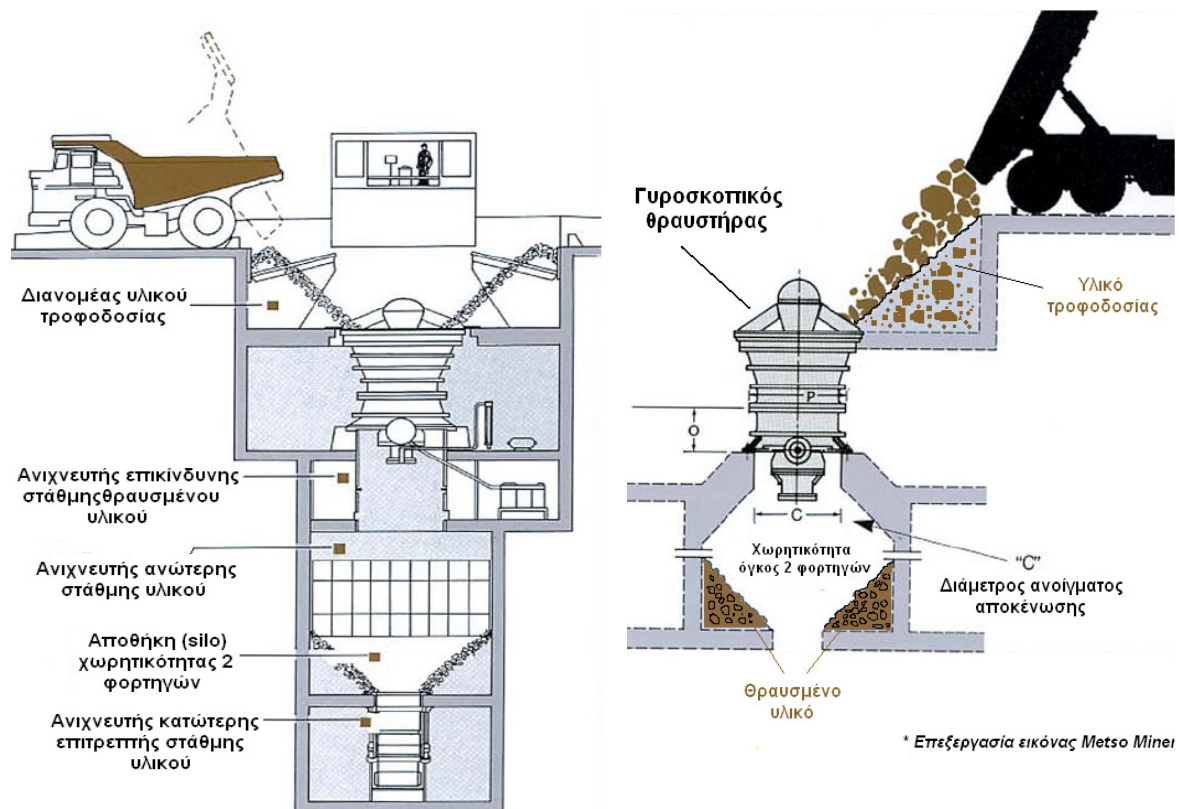
Το μέγεθος του θραυστήρα ορίζεται από το μέγεθος του ανοίγματος (π.χ 900x600 mm).



Σχήμα 6.1 Θραυστήρας σιαγόνων

## 6.1.2 Γυροσκοπικοί Θραυστήρες (Gyratory Crushers)

Οι γυροσκοπικοί θραυστήρες αποτελούνται από τρία τμήματα. Το άνω, το κυρίως και το κάτω τμήμα. Στο άνω τμήμα υπάρχει κοίλη επιφάνεια, στο κυρίως τμήμα ανήκει το κινούμενο μέρος με το οποίο πραγματοποιείται η θραύση, ενώ τέλος στο κάτω μέρος βρίσκονται τα έκκεντρα έδρανα του θραυστήρα και σε ορισμένα μοντέλα το οριζόντιο κέλυφος του κιβωτίου ταχυτήτων (γρανάζια μετάδοσης κίνησης). Το μέγεθος του θραυστήρα καθορίζεται από την κατώτερη διάμετρο του κινούμενου μέρους (π.χ 900 mm, 1200 mm), αλλά για περιστροφικούς θραυστήρες μεγάλου μεγέθους ορίζεται και το μέγεθος του ανοίγματος εισαγωγής. Για παράδειγμα ένας περιστροφικός θραυστήρας 1500-2500 mm, έχει 1500 mm άνοιγμα εισόδου και διάμετρο κινούμενου μέρους 2500 mm.



Σχήμα 6.2 Γυροσκοπικός Θραυστήρας

### 6.1.3 Κωνικοί θραυστήρες (Cone Crushers)

Οι κωνικοί θραυστήρες, όπως οι γυροσκοπικοί αποτελούνται από τρία μέρη και η κίνηση μεταδίδεται με τον ίδιο τρόπο, προορίζονται όμως για λεπτότερη λειοτρίβηση και διαφέρουν από τους γυροσκοπικούς στα παρακάτω τρία σημεία :

- Ο θάλαμος θραύσης είναι πλατύτερος και μικρότερου ύψους
- Η κίνηση του κυρίως μέρους είναι μεγαλύτερη (εκκεντρότητα)
- Η κεφαλή θραύσης δεν διαθέτει μηχανισμό κεντραρίσματος και υποστηρίζεται από το κάθετο έκκεντρο

Το μέγεθος του θραυστήρα καθορίζεται όπως και στους γυροσκοπικούς θραυστήρες από την κατώτερη διάμετρο του κινούμενου μέρους. Τα ανοίγματα εισόδου διαφέρουν σε κάθε μοντέλο έτσι ώστε να προσαρμόζονται στις ανάγκες της κάθε εφαρμογής. Οι κωνικοί θραυστήρες έχουν ικανοποιητική απόδοση και παράγουν μεγάλο ποσοστό λεπτών όταν η ροή του υλικού προς τα κάτω δηλ. η κίνηση στο εσωτερικό του θαλάμου, εμποδιστεί.

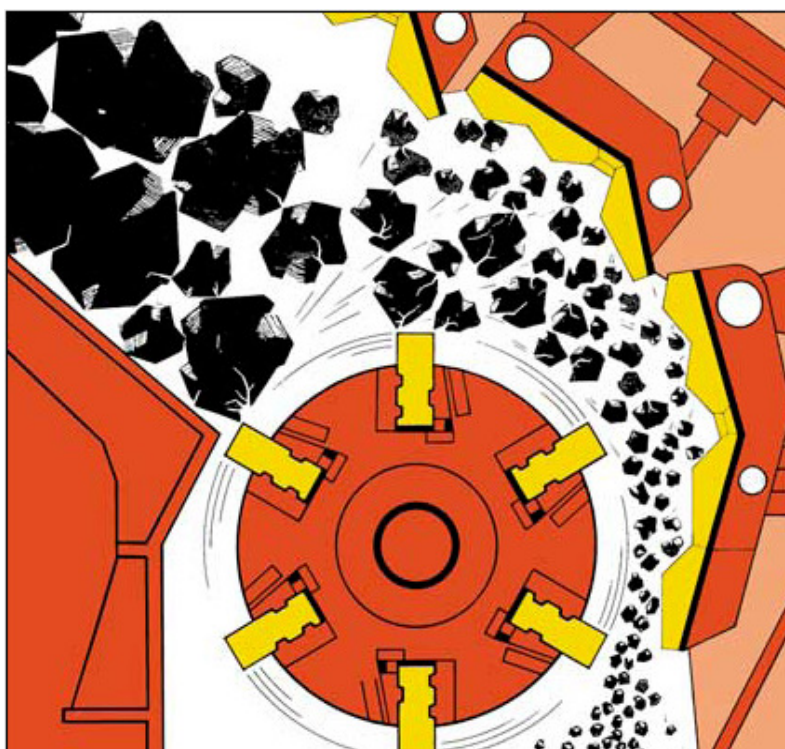


Σχήμα 6.3 Κωνικοί Θραυστήρες

### 6.1.4 Κρουστικοί θραυστήρες (Impactors)

Οι κρουστικοί θραυστήρες μοιάζουν αρκετά στην λειτουργία με τους σφυρόμυλους, αντί όμως σφυριών διαθέτουν χαλύβδινες επιμήκεις ράβδους ορθογωνικής διατομής στερεά προσαρμοσμένες στο ρότορα. Το γεγονός ότι οι ράβδοι είναι σταθερά συνδεδεμένες στο ρότορα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι με μικρές ταχύτητες η θραύση γίνεται με μεγαλύτερη αξιοπιστία, με μικρότερη μηχανική φθορά και με μικρότερο ποσοστό λεπτόκοκκου προϊόντος στο συνολικό προϊόν από ό,τι με χρήση σφυρόμυλων.

Το μέγεθος των κρουστικών θραυστήρων καθορίζεται από το πλάτος και τη διάμετρο του ρότορα. Όπως και οι σφυρόμυλοι, έτσι και οι κρουστικοί θραυστήρες παράγουν υλικό με πολύ ικανοποιητική μορφή στην έξοδο τους.



Σχήμα 6.4 Κρουστικός θραυστήρας

### 6.1.5 Κρουστικοί θραυστήρες καθέτου σώματος (Vertical Shaft Impactor)

Ο κρουστικός θραυστήρας καθέτου σώματος αποτελείται από ένα ταχέως περιστρεφόμενο ρότορα με πτερύγια ο οποίος περιστρέφεται γύρω από κάθετο

άξονα που διέρχεται από το κέντρο του. Ο ρότορας καθώς και τα τοιχώματα του θαλάμου θραύσης διαθέτουν μέρη τα οποία αντικαθίστανται όταν υποστούν φθορά.

Η είσοδος του υλικού γίνεται από το κέντρο του άνω μέρους του θραυστήρα. Η μεγάλη ταχύτητα περιστροφής καθώς και το κατάλληλο σχήμα των πτερυγίων οδηγεί τα τεμαχίδια σε κρούση με επιφάνειες πρόσπτωσης με αποτέλεσμα τη θραύση τους. Το έτοιμο προϊόν εξέρχεται από ειδικά ανοίγματα.

Ο λόγος της μείωσης μεγέθους (κατάτμησης) που επιτυγχάνει ένας κρουστικός θραυστήρας καθέτου σώματος μεταβάλλεται με ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής του ρότορα.

Το προϊόν που παράγεται από κρουστικούς θραυστήρες καθέτου σώματος χαρακτηρίζεται από υψηλή ποιότητα και μεγάλο ποσοστό λεπτών τεμαχιδίων.

#### **6.1.6 Θραυστήρες με κυλίνδρους (Κυλινδρόμυλοι)**

Τα μηχανήματα του τύπου αυτού αποτελούνται από δυο τουλάχιστον κυλίνδρους των ίδιων διαστάσεων (ένα ζευγάρι), των οποίων η διάμετρος ποικίλλει από 25 έως και 150 cm και οι οποίοι περιστρέφονται κατ' αντίθετη φορά σε ρυθμιζόμενη μεταξύ τους απόσταση. Έτσι, από την τριβή μεταξύ των τεμαχίων και την πίεση που εξασκείται προκαλείται θρυμματισμός του υλικού που διέρχεται ανάμεσα τους.

Ανάλογα με τη φύση και το μέγεθος του υλικού τροφοδοσίας αλλά και του επιθυμητού βαθμού ελάττωσης μεγέθους (λόγος κατάτμησης), χρησιμοποιούνται κύλινδροι με αυλακώσεις ή δόντια, με διάφορες μορφές χαράξεως έως και τελείως λείοι κύλινδροι. Η κοπτική ενέργεια των κυλινδρόμυλων καθορίζεται και διευκολύνεται από τη χάραξη των αυλακιών (εγκοπών) στους κυλίνδρους.

Συνήθως γίνεται συνδυασμός δυο ή και περισσότερων ζευγαριών κυλινδρών, τοποθετημένων το ένα κάτω από το άλλο. Έτσι το πρώτο ζευγάρι κυλινδρών είναι δυνατόν να έχει βαθιά αυλάκωση (χάραξη), ώστε να θρυμματίζει το τροφοδοτούμενο υλικό σε ενδιάμεσου μεγέθους τεμάχια, το επόμενο ζευγάρι είναι δυνατόν να έχει λεπτή (ρηχή) χάραξη αυλακών,

ώστε ο θρυμματισμός να γίνεται ακόμη λεπτότερος, τελικά δε αν είναι επιθυμητή η πλήρης κονιοποίηση το προϊόν διέρχεται από ένα ζευγάρι από λείους κυλίνδρους. Συντελεστές αποφασιστικοί, τόσο για τη τελική μορφή του προϊόντος, όσο και για τη παροχή του μηχανήματος είναι: α) η διάμετρος των κυλίνδρων, β) η ταχύτητα περιστροφής των δύο κυλίνδρων, γ) αν, οι κατ' αντίθετη φορά, κινούμενοι κύλινδροι, έχουν ισοταχή ή ανισοταχή κίνηση και δ) ο τρόπος χαράξεως των κυλίνδρων.

Σκληρό υλικό π.χ. απαιτεί μικρής διαμέτρου κυλίνδρους, χονδρό υλικό απαιτεί κυλίνδρους με μεγάλη διάμετρο. Αν επιδιώκεται η αύξηση του ποσοστού κονιοποιημένου υλικού, π.χ. αλεύρου, προσδίνονται διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής στους δύο κυλίνδρους. Αποτέλεσμα αυτού είναι να πραγματοποιείται η ελάττωση του μεγέθους με την επενέργεια διαμητρικής δύναμης αντί πίεσης η οποία χαρακτηρίζει τη λειτουργία των ισοταχών κυλίνδρων, όταν χρησιμοποιούνται για θραύση. Οι κύλινδροι στηρίζονται και περιστρέφονται πάνω σε έδρανα που βρίσκονται σε χαλύβδινα πλαίσια ισχυρής κατασκευής. Τα έδρανα του ενός απ' τους δυο κυλίνδρους στον οποίο μεταδίδεται η κίνηση από τον κινητήρα είναι σταθερά. Τα έδρανα όμως του δεύτερου κυλίνδρου είναι δυνατό να «γλυστρούν» πάνω σε συρταρωτή βάση, η οποία έτσι με κατάλληλο μηχανισμό είναι δυνατόν να μετακινείται παράλληλα προς τον άξονα του, με αποτέλεσμα να αυξομειώνεται κατά βούληση το μεταξύ των κυλίνδρων διάκενο. Τα κινητά έδρανα συγκρατούνται στην ρυθμισμένη, κατά βούληση, θέση τους με ισχυρά ελατήρια. Αυτή η διάταξη γίνεται αναγκαία και για λόγους ασφαλείας, ώστε αν περάσουν μαζί με το θρυμματιζόμενο υλικό, στο μεταξύ των κυλίνδρων διάκενο και πολύ σκληρά αντικείμενα όπως π.χ. τεμάχια σίδηρου, προερχόμενα πολλές φορές και από αυτή την ίδια την εγκατάσταση (π.χ. βίδες, παξιμάδια κ.λπ.) να διασταλούν τα ελατήρια, ώστε να μεγαλώσει το μεταξύ των κυλίνδρων διάκενο και το σκληρό αντικείμενο να βγει χωρίς να προκαλέσει σημαντική καταστροφή στους κυλίνδρους.

Πάντως, για να μειωθούν οι τυχόν ζημιές και κυρίως οι κίνδυνοι προκλήσεως πυρκαγιάς με τη δημιουργία σπινθήρων και υπερθερμάνσεων από τριβές των μεταλλικών αντικειμένων με τα μηχανήματα θρυμματισμού και αλέσεως, το τροφοδοτούμενο υλικό στους μύλους διέρχεται προηγουμένως από το πεδίο ισχυρού ηλεκτρομαγνήτη, ο οποίος έλκει και

συγκρατεί τα τυχόν συνυπάρχοντα σιδερένια αντικείμενα. Οι κύλινδροι γενικά είναι επενδυμένοι εξωτερικά με μανδύα από σκληρό χάλυβα, ώστε να μειώνεται η φθορά τους και να μπορεί ν' ανταπεξέρχεται κατά την άλεση σκληρών υλικών.

Η παροχή (C) ενός κυλινδρόμυλου σε τόνους ανά ώρα δίνεται από τον εμπειρικό τύπο:

$$C = 188.5 \cdot D \cdot W \cdot \omega \cdot L \cdot p_B \text{ t/h}$$

Όπου:

**D** = διάμετρος κυλίνδρων, m,

**W** = μήκος κυλίνδρων, m,

**$\omega$**  = ταχύτητα, στροφές ανά λεπτό (rpm),

**L** = απόσταση μεταξύ των κυλίνδρων, m,

**$p_B$**  = φαινόμενο ειδικό βάρος τροφοδοσίας, t/m<sup>3</sup>.

Η θεωρητική αυτή παροχή ποτέ δεν πραγματοποιείται πρακτικά. Η πραγματική απόδοση κυμαίνεται μεταξύ του 10 έως 30% της θεωρητικής.

Οι συνηθισμένες περιφερειακές ταχύτητες ανέρχονται σε 1,8 έως 3m/s με ανώτατο όριο τα 6m/s. Σε περίπτωση μεγαλύτερων ταχυτήτων το υλικό που βρίσκεται μεταξύ των κυλίνδρων προς άλεση δεν συμπιέζεται από τους κυλίνδρους αλλά συσσωρεύεται και ταλαντώνεται. Αντίθετα πολύ μικρές ταχύτητες περιορίζουν τη δυναμικότητα του μηχανήματος.

### 6.1.7 Σφαιρόμυλος - ραβδόμυλος

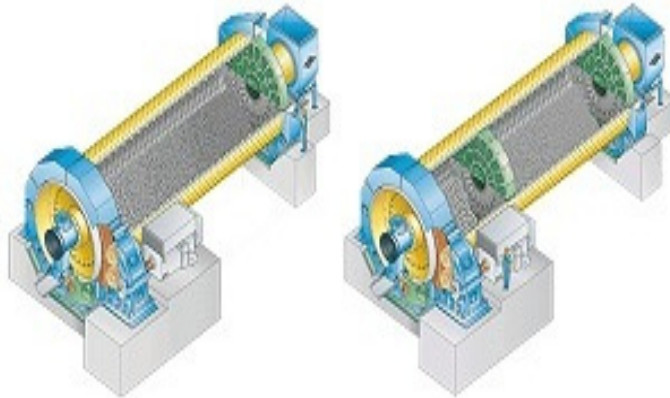
Ο μύλος αυτού του τύπου διαθέτει περιστρεφόμενο τύμπανο στο εσωτερικό του οποίου υπάρχουν μεταλλικές σφαίρες από χάλυβα. Με την περιστροφή του τυμπάνου οι μεταλλικές σφαίρες λειοτριβούν το υλικό. Η κύρια περιοχή χρήσης των μύλων αυτών είναι για υλικά τα οποία απαιτούν καλή σχετικά ποιότητα λειοτρίβησης και μεγάλη λεπτότητα (ειδική επιφάνεια), όπως τσιμέντο, χρώματα, γραφίτης κ.λ.π.

Εξελιγμένο είδη σφαιρόμυλου είναι ο σφαιρόμυλος με περισσότερα «διαμερίσματα».

Αν στη θέση των σφαιρών υπάρχουν χαλύβδινες ράβδοι, τότε ο μύλος είναι ραβδόμυλος. Ο μύλος αυτού του τύπου χρησιμοποιείται για



χονδρομερέστερη τροφοδοσία, χονδρομερέστερο προϊόν χωρίς πολύ λεπτομερές υλικό και έχει μικρότερο λόγο κατάτμησης.



Σχήμα 6.5 Μύλοι λειοτρίβησης- άλεσης

### 6.1.8 Σφυρόμυλοι (Hammer Mills)

Ο ρότορας του σφυρόμυλου αποτελείται από σειρά ελεύθερων κινούμενων σφυριών που είναι προσαρμοσμένα στην εξωτερική του επιφάνεια και τα οποία προκαλούν τη θραύση του υλικού. Η περιστροφή του ρότορα επιτυγχάνεται είτε απευθείας με κινητήρα, είτε με χρήση τροχαλίας και ιμάντα. Η θέση εισόδου του υλικού διαφέρει ανάλογα με την περίπτωση κατεργασίας και το είδος του υλικού. Το μέγεθος του μύλου καθορίζεται από το πλάτος και τη διάμετρο του ρότορα. Το υλικό που εξέρχεται από τους σφυρόμυλους έχει αρκετά ικανοποιητική μορφή.



Σχήμα 6.6 Σφυρόμυλος

## 6.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ

Η βιομηχανική κοσκίνιση σπάνια πραγματοποιείται με στατικά κόσκινα, όπως οι μεταλλικές σχάρες ή τα διάτρητα χαλύβδινα πλέγματα. Συνήθως τα βιομηχανικά κόσκινα είναι κινούμενα είτε **περιστροφικά** είτε **παλινδρομικής κίνησης ή δονούμενα**.

### 6.2.1 Περιστροφικά κόσκινα (trommel)

Είναι τύμπανα κυλινδρικού συνήθως σχήματος. Το περίβλημα του κυλίνδρου αποτελείται από πλέγμα ή πλέγματα διάφορου αριθμού βροχίδων και ποικίλης αντοχής και περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του. Συνήθως κατασκευάζονται από διάτρητα σιδηρόφυλλα για βαρεία καταπόνηση περιπτώσεις, αλλά μέχρι και από μεταξωτό ύφασμα σε ελαφρές.

Στο τύμπανο δίνεται κλίση από 5 ως 20% κατά μήκος του άξονα περιστροφής, ώστε το υλικό όπως εισέρχεται από τη μίαν άκρη του κοσκίνου, να προχωρεί προς την άλλη κατά την περιστροφή.

Η δυνατότητα χρησιμοποίησεως πλεγμάτων που διαθέτουν διαδοχικά οπές μεγαλύτερης διαμέτρου, επιτρέπει το διαχωρισμό ενός στερεού σε περισσότερα από ένα κοκκομετρικά κλάσματα. Αυτά παραλαμβάνονται σε διαφορετικές χοάνες κάτω από το πλέγμα του κοσκίνου. Τα μεγαλύτερα τεμαχίδια βγαίνουν από τις οπές του τελευταίου κόσκινου μέσα από την έξοδο του. Η απόδοση των περιστροφικών κόσκινων αυξάνει ανάλογα με τον αριθμό περιστροφών που λειτουργεί το κόσκινο. Αυτό όμως έχει ένα όριο, γιατί μαζί με τις στροφές αυξάνεται και η φυγόκεντρος δύναμη με την επίδραση της οποίας το υλικό προσκολλάται πάνω στο κόσκινο και δεν απομακρύνεται.

Η οριακή ταχύτητα  $u$  δίνεται από την εμπειρική σχέση:

$$v = \frac{1.62}{\sqrt{D}} \text{ στροφές το λεπτό (rpm).}$$

Η αναγκαία ιπποδύναμη  $P$  δίνεται απ' τον εμπειρικό τύπο:

$$P = \frac{L \times D}{0.75}, \text{ kW}$$

όπου  $L$  το μήκος του τύμπανου και  $D$  η διάμετρος του σε μέτρα.

### 6.2.2 Παλινδρομικά και δονούμενα κόσκινα

Για το διαχωρισμό σχετικά λεπτών υλικών χρησιμοποιούνται επίπεδα κόσκινα οριζόντια ή με ελαφρά κλίση, στα οποία δίνεται είτε παλινδρομική κίνηση κατά οριζόντια διεύθυνση και κατά μήκος του κοσκινού, δηλαδή παράλληλα προς την επιφάνεια του κοσκινίσματος (παλινδρομικά κόσκινα), είτε κίνηση κάθετη προς την επιφάνεια αυτή (δονούμενα κόσκινα). Το υλικό στην πρώτη περίπτωση παλινδρομεί, στην δεύτερη κατά κάποιο τρόπο αναπηδά πάνω στα πλέγματα. Και στις δυο περιπτώσεις είναι δυνατό να τοποθετηθούν διαφορετικά καταστρώματα από πλέγματα, ώστε το υλικό να διαχωρίζεται σε κλάσματα από κόκκους διαφόρων μεγεθών. Στο δονούμενο τύπο κόσκινων ανήκουν και τα ηλεκτρομαγνητικού τύπου, δηλαδή κόσκινα στα οποία δονείται μόνο το πλέγμα, με την επίδραση εναλλασσόμενου ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Το πλαίσιο δηλαδή του κόσκινου παραμένει ακίνητο, ενώ το κέντρο του πλέγματος είναι προσαρμοσμένο πάνω στο πυρήνα ηλεκτρομαγνήτη που λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα και δημιουργεί τις δονήσεις.

### 6.3 ΚΛΙΒΑΝΟΙ

Οι κλίβανοι, αντιμετωπίζονται ενεργειακά όπως και οι φούρνοι άμεσης θέρμανσης. Οι βιομηχανίες κεραμικών και τούβλων χρησιμοποιούν σταθερούς κλιβάνους, ενώ οι βιομηχανίες τσιμέντου, χαρτοπολτού και χάρτου, χρησιμοποιούν περιστρεφόμενους κλιβάνους. Μερικοί περιστρεφόμενοι κλίβανοι, τροφοδοτούνται με καύσιμο κονιοποιημένο άνθρακα ή καύσιμο προερχόμενο από απορρίμματα (R.D.F., refuse derived fuel). Οι μεγάλες ποσότητες θερμότητας στα καυσαέρια των περιστρεφόμενων κλιβάνων, παρέχουν τη δυνατότητα ανάκτησης με την χρήση εναλλακτών θερμότητας και ως εκ τούτου τη μείωση των απωλειών.

### **6.3.1 Περιστροφικοί κλίβανοι άμεσης θέρμανσης (rotary kilns)**

Αυτοί οι κλίβανοι έχουν μεγάλη εφαρμογή σε διεργασίες υψηλών θερμοκρασιών. Οι περιστροφικοί κλίβανοι είναι μονωμένοι εσωτερικά σε όλο το μήκος τους, ή σε μέρος αυτού με πυρίμαχο υλικό για να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του χάλυβα. Σπάνια η μόνωση τοποθετείται εξωτερικά, οπότε όμως πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την υπερθέρμανση του κελύφους. Το υλικό εισέρχεται στο πάνω μέρος του κλιβάνου με διάφορους τρόπους, π.χ. με κεκλιμένους οδηγούς ή μέσω προβόλου μεταφορικών κοχλιών. Στο σχήμα παρουσιάζονται δύο είδη περιστροφικών κλιβάνων.

Το θερμό υλικό εξέρχεται από το κάτω μέρος σε δεξαμενές απότομης ψύξης (quench tanks) πάνω σε μεταφορείς ή σε συσκευές ψύξης.

Το μήκος των περιστροφικών κλιβάνων κυμαίνεται μεταξύ 4 και 150 m. Οι κλίβανοι τσιμέντου είναι δυνατόν να έχουν ακόμη μεγαλύτερο μήκος. Οι διαστάσεις του κλιβάνου γενικά σχεδιάζονται έτσι ώστε, ο λόγος μήκους ως προς το τετράγωνο της διαμέτρου να είναι μεταξύ 1.5 και 5. Ορισμένοι κλίβανοι έχουν δύο και τρεις διαμέτρους.

## **6.4 ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΑ**

### **6.4.1 Ξηραντήρια με τύμπανα (Drum Driers)**

Τα ξηραντήρια αυτού του είδους αποτελούνται από περιστρεφόμενο κλειστό κύλινδρο, στο εσωτερικό του οποίου κυκλοφορεί ατμός, εξωτερικά δε δημιουργείται λεπτό στρώμα, της προς ξήρανση ουσίας.

Ο πολφός τροφοδοτείται στους μικρούς κυλίνδρους, οι οποίοι και τον διαμοιράζουν, στο ξηραντικό τύμπανο, από το οποίο απομακρύνεται στο τέλος της περιστροφής με μόνιμο ξέστρο που υπάρχει εκεί. Η τροφοδοσία του τύμπανου ξηράνσεως με το απαιτούμενο λεπτό υμένιο της ουσίας που ξηραίνεται επιτυγχάνεται συνήθως με τη βοήθεια δύο βοηθητικών κυλίνδρων μικρής διαμέτρου, K1, K2, από τους οποίους ο ένας είναι από ελαστικό, ώστε να παρουσιάζει την ικανότητα απόλυτης προσαρμογής στο τύμπανο ξηράνσεως και έτσι να είναι δυνατή η λεπτή ρύθμιση του πάχους του υμένιου της υπό ξήρανση ουσίας. Ο δεύτερος μικρός

κύλινδρος είναι συνήθως μεταλλικός και βοηθάει την τροφοδοσία του ελαστικού με το προς ξήρανση υλικό.

Σε μια περιστροφή θα πρέπει να έχει συμπληρωθεί η ξήρανση του λεπτού υμενίου, ώστε κατά το τέλος της περιστροφής η ουσία ν' απομακρύνεται από τον κύλινδρο με τη βοήθεια του υπάρχοντος ξέστρου. Τα ξηραντήρια του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται κυρίως για τη ξήρανση πολτών.

Σε άλλες περιπτώσεις το ίδιο το ξηραντικό τύμπανο εμβαπτίζεται μέσα στη λεκάνη, στην οποία τροφοδοτείται το προς ξήρανση υλικό.

#### **6.4.2 Περιστροφικά ξηραντήρια**

Τα ξηραντήρια αυτά αποτελούνται από τύμπανο περιστρεφόμενο περί τον άξονα του κύλινδρου. Η διάμετρος τους, σε πολλές περιπτώσεις, πλησιάζει τα 6m και το μήκος τα 180m. Εσωτερικά στον περιστρεφόμενο κύλινδρο είναι τοποθετημένα διαφόρων μορφών πτερύγια, που παίζουν διπλό ρόλο, δηλαδή κατά την αργή περιστροφή του κύλινδρου δημιουργούν λεπτόδιαμερισμό της προς ξήρανση ουσίας, ενώ συγχρόνως προωθούν το προς ξήρανση υλικό προς την έξοδο του ξηραντηρίου. Μέσα στον περιστρεφόμενο κύλινδρο προστίθεται με συνεχή τροφοδοσία, η προς ξήρανση ουσία και ταυτόχρονα ομόρροπα ή αντίρροπα, διοχετεύονται καυσαέρια ή το θερμαντικό αέριο. Συνήθως στην έξοδο υπάρχει απορροφητικός ανεμιστήρας για την καλύτερη κυκλοφορία των καυσαερίων και κυρίως για την απαγωγή της υγρασίας που εξατμίζεται. Κατά την έξοδο επίσης παρεμβάλλεται κυκλώνας ή σύστημα κυκλώνων για την εναπόθεση και δέσμευση τυχόν υλικού που συμπαρασύρεται, μαζί με τα καυσαέρια.

Τα περιστροφικά ξηραντήρια αποτελούν ξηραντήρια μεγάλης βιομηχανικής παραγωγής, και χρησιμοποιούνται κυρίως από τη βαριά βιομηχανία (τσιμέντου, σπορέλαιων, μεταλλουργία κλπ.). Τα θερμά καυσαέρια διοχετεύονται από την εστία καύσεως αμέσως μετά την παραγωγή τους -κατά την καύση του στερεού ή του υγρού καυσίμου-στον περιστρεφόμενο κύλινδρο ξηράνσεως. Πρόκειται για την άμεση ξήρανση, η οποία είναι συνηθέστερη στα περιστροφικά ξηραντήρια.

Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως, κατά τις οποίες η ανάμιξη τυχόν υπολειμμάτων ή οσμών που προέρχονται από τα καύσιμα (λιγνίτη, μαζούτ, κ.λπ.) είναι δυνατόν να βλάψουν την ποιότητα της προς ξήρανση ουσίας, τα καυσαέρια χρησιμοποιούνται για να θερμάνουν χωριστά, μέσα σε κατάλληλο θερμοεναλλάκτη, καθαρό ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος και διοχετεύεται στη συνέχεια μέσα στο περιστροφικό ξηραντήριο (έμμεση θέρμανση). Η θερμική αποδοτικότητα αυτής της μεθόδου όπως είναι φυσικό, είναι και μικρότερη αλλά και η δαπάνη παγίων είναι μεγαλύτερη κατά την εγκατάσταση του θερμοεναλλάκτη.

## 7. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η διαδικασία λατόμευσης και μεταποίησης γύψου παρουσιάζει αρκετά σημεία, στα οποία παράγονται υλικά επιβαρυντικά για το περιβάλλον, με την έννοια ότι μεταβάλουν τα χαρακτηριστικά του. Μερικά από αυτά επιδρούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας (σκόνη), άλλα στην ποιότητα του εδάφους (σκόνη, γυψίτης, επιφανειακές απορροές) και άλλα στην ποιότητα των υδάτων είτε υπόγειων (δήθηση) είτε υπέργειων μέσω των επιφανειακών απορροών και της μεταφερόμενης σκόνης. Οι παραπάνω μεταβολές είναι αυτονόητο ότι, επιδρούν στα έμβια όντα, τα οποία διαβιούν στα περιβάλλοντα, που αναφέρονται, αλλά και στον άνθρωπο είτε ως μέλος της παραγωγικής διαδικασίας είτε επειδή διαβιεί στις παραπάνω περιοχές είτε τελικά επειδή είναι ο καταναλωτής προϊόντων, που παράγονται από τα παραπάνω οικοσυστήματα.

### 7.1 ΕΔΑΦΗ

Η επίδραση της γύψου στα εδάφη γίνεται μέσω της σκόνης, που επικάθεται στην επιφάνειά τους και μέσω των επιφανειακών απορροών, οι οποίες μεταφέρουν σκόνη και γυψίτη σε αυτά. Τα εδάφη, τα οποία επηρεάζονται είναι αυτά, τα οποία γειτνιάζουν με τα λατομεία και τις μονάδες μεταποίησης, αυτά στα οποία γίνεται απόθεση στείρων υλικών και όλα τα εδάφη, τα οποία παρεμβάλλονται μεταξύ λατομείων ή μονάδων μεταποίησης και υδάτινων αποδεκτών, καθώς μέσα από αυτά θα γίνει η μεταφορά των εκπλυμάτων – επιφανειακών απορροών στους υδάτινους αποδέκτες. Η γύψος επηρεάζει τόσο τις χημικές, όσο και τις φυσικές ιδιότητες των εδαφών.

Η πιο χαρακτηριστική μεταβολή, που επιφέρει η γύψος στις χημικές ιδιότητες του εδάφους είναι η μείωση του pH. Η διαλυτοποίηση της γύψου ελευθερώνει θειικά ιόντα, τα οποία οδηγούν σε αύξηση ιόντων υδρογόνου στο εδαφικό διάλυμα και μείωση του pH. Το πόσο θα επηρεαστεί το pH εξαρτάται από την ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, που δέχεται το γύψο και από το pH, που έχει το έδαφος στην φυσική του κατάσταση.

Η μεταβολή του pH είναι σταδιακή, αργή και σε καμιά περίπτωση ακραία.

Η αύξηση της διαθεσιμότητας των μετάλλων οδηγεί σε αύξηση του κινδύνου εμφάνισης τοξικών φαινομένων στα φυτά ( μαγκάνιο, ψευδάργυρος, χαλκός, βόριο), αλλά και αύξηση της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων, τα οποία προσλαμβάνονται από τα φυτά και έτσι μπαίνουν στην τροφική αλυσίδα ανθρώπου και ζώων. Η αύξηση της διαθεσιμότητας των μετάλλων οδηγεί σε αύξηση του κινδύνου εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και των επιφανειακών υδατικών συστημάτων, μέσω έκπλυσης και διήθησης αυτών.

Η βασικότερη φυσική ιδιότητα των εδαφών, που επηρεάζεται από το γύψο, είναι η διηθητικότητα – υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Η μεταφερόμενη στα εδάφη γύψος (υλικά μικρής διαμέτρου) σε συνδυασμό με την άργιλο του επιφανειακού εδάφους δημιουργεί ένα επιφανειακό στρώμα μικρής διαπερατότητας τόσο στο νερό, όσο και στο οξυγόνο. Το μίγμα γύψου – αργίλου πολλές φορές μεταφέρεται αυτούσιο από το χώρο των λατομείων (γυψίτης). Η παρουσία τέτοιου στρώματος δημιουργεί αναγωγικές συνθήκες στα εδάφη, αυξάνοντας έτσι τη διαθεσιμότητα – κινητικότητα ιόντων μετάλλων και επιδρά καταλυτικά στην ανάπτυξη των οργανισμών, που αναπτύσσονται σε τέτοια εδάφη. Η παρουσία τέτοιου στρώματος στα καλλιεργούμενα εδάφη και τα προβλήματα, που αυτή επιφέρει, οδηγούν πολλές φορές στην μείωση της παραγωγής ή στην καλύτερη περίπτωση σε αύξηση των επεμβάσεων μηχανικής κατεργασίας αυτών (βαθείς αρόσεις, υπεδάφειες αρόσεις). Επίσης, η μείωση της διηθητικότητας του εδάφους οδηγεί σε αύξηση της επιφανειακής απορροής και σε αυξημένο κίνδυνο διάβρωσης του εδάφους.

Παράγοντες καθοριστικής σημασίας για την επίδραση της γύψου στα εδάφη είναι:

- Ο άνεμος και οι επιφανειακές απορροές, μέσω των οποίων μεταφέρονται τα μικρότερης διαμέτρου σωματίδια, συνήθως διαμέτρου μερικών δεκάδων μικρών (μm) έως μερικών χιλιοστών. Αυτό τα καθιστά ιδιαίτερα ενεργά, καθώς ίδια ποσότητα υλικών μεγάλων διαστάσεων θα είχε πολύ μικρή επίδραση στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους.
- Σε ποσοστό 1,5% κ.β. στα τεμαχίδια συμμετέχει ο δολομίτης ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μετριάζονται σε



μεγάλο βαθμό οι αρνητικές επιδράσεις της γύψου στο pH των εδαφών στα οποία καταλήγει .

- Υπάρχει διαφοροποίηση της ποσοστιαίας σύστασης της σκόνης των λατομείων σε σχέση με τα μητρικά υλικά η οποία δικαιολογείται από τις συνεχόμενες επεμβάσεις των μηχανημάτων εξόρυξης στη γύψο, ενώ στο δολομίτη και τον ανυδρίτη οι επεμβάσεις περιορίζονται μόνο στην απομάκρυνσή του από τις αρχικές θέσεις. Ως αποτέλεσμα αυτού η σκόνη που συσσωρεύεται στο χώρο των λατομείων ή διαφεύγει μέσω του ανέμου είναι μεγάλης περιεκτικότητας σε γύψο και μικρής σε δολομίτη και ανυδρίτη σε σχέση πάντα με την αναλογία που υπάρχουν τα υλικά αυτά στο λατομείο.

## **7.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

Το κύριο χαρακτηριστικό της λατόμευσης, μεταφοράς και επεξεργασίας γύψου είναι η παραγωγή σκόνης σε όλα τα στάδια. Σε όλα τα στάδια παραγωγικής διαδικασίας, η σκόνη είναι εμφανής, καλύπτοντας τις επιφάνειες, ενώ σε κλειστούς χώρους γίνεται αισθητή και κατά την αναπνοή.

Στους χώρους λατόμευσης παράγεται μεγάλη ποσότητα σκόνης, λόγω των κρουστικών και των μηχανημάτων φόρτωσης-μεταφοράς που χρησιμοποιούνται. Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η ποσότητα σκόνης για σωματίδια κολλοειδών διαστάσεων, η οποία διαφεύγει από το χώρο των λατομείων και διαχέεται με τον άνεμο.

Κατά τη μεταφορά της γύψου από τα λατομεία στο εργοστάσιο εκλύεται σκόνη τόσο από το χώρο μεταφοράς, λόγω του αέρα, όσο και από τα λάστιχα των αυτοκινήτων, στα οποία έχει προσκολληθεί η σκόνη του λατομείου.

Κατά την επεξεργασία της γύψου στα εργοστάσια, υπάρχει συνεχής παραγωγή σκόνης μέχρι την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Στα στάδια δημιουργίας σκόνης χρησιμοποιούνται συστήματα φιλτρόσακκων, εκτός από το στάδιο θραύσης της γυψόπετρας και διαχωρισμού εδαφικών υλικών, όπου χρησιμοποιείται νερό. Οι φιλτρόσακκοι σύμφωνα με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά κατακρατούν πλέον του 99% της παραγόμενης σκόνης είναι αυτοκαθαριζόμενοι με άμεση επιστροφή της κατακρατούμενης σκόνης στη παραγωγική διαδικασία .

Η σκόνη της γύψου, παρασυρόμενη από τον αέρα θα μεταφερθεί στα εδάφη και στα επιφανειακά νερά. Το σημαντικότερο πρόβλημα που δημιουργεί, είναι η άμεση είσοδος των κολλοειδών σωματιδίων σκόνης μέσω της εισπνοής στους ανθρώπους. Κατά κύριο λόγο, στους εργαζόμενους στους χώρους λατόμευσης και στα εργοστάσια επεξεργασίας, η εισπνοή της σκόνης είναι συνεχής για πολλά χρόνια. Η κύρια επίδραση γίνεται μέσω αιωρούμενων σωματιδίων διαστάσεων μικρότερων των 10 $\mu$ m ( PM 10 ).

Σε έρευνες ποσοτικού προσδιορισμού των τεμαχιδίων PM 10 έχει βρεθεί ότι, ακόμη και σε αστικά περιβάλλοντα η αναλογία γύψου είναι 4,2%, ποσοστό που οφείλεται κυρίως στη διάβρωση από τον αέρα γυψοφόρων εδαφών. Το παραπάνω ποσοστό αυξάνει στις αγροτικές περιοχές, ενώ η παρουσία λατομείων και εργοστασίων επεξεργασίας γύψου στην ευρύτερη περιοχή αυξάνει κατά πολύ το ποσοστό. Σύμφωνα με έρευνα, που διενεργήθηκε στο Νέο Μεξικό των Η.Π.Α., η παρουσία λατομείων γύψου παράγει μεγάλο ποσοστό τεμαχιδίων PM 10 ή και ακόμη μικρότερων διαστάσεων τεμαχιδίων (PM 2,5). Τα τεμαχίδια διαστάσεων 10 $\mu$ m και μικρότερα είναι αυτά, τα οποία προκαλούν τη μεγαλύτερη ζημιά στον οργανισμό, καθώς εισέρχονται μέσω της αναπνοής στους πνεύμονες, επικάθονται στον πνεύμονα και προκαλούν ερεθισμούς, οι οποίοι μετά από χρόνια έκθεση στις παραπάνω συνθήκες, εξελίσσονται σε χρόνιες βρογχίτιδες ή και σοβαρότερες ασθένειες των πνευμόνων και της καρδιάς. Είναι γνωστό ότι τα αιωρούμενα τεμαχίδια PM 10 ευθύνονται σε μεγάλο ποσοστό για τους «αιφνίδιους» θανάτους, καθώς και για τη μείωση του προσδόκιμου ζωής κατά 2-8 χρόνια των κατοίκων της Ευρώπης. Το όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα PM 10 είναι 50  $\mu$ g/m<sup>3</sup> αέρα, το οποίο κατά τη γνώμη μου δεν τηρείται στα εργοστάσια επεξεργασίας γύψου και στα λατομεία, αν σκεφτεί κανείς και την επιβάρυνση, που προκαλούν τα τεμαχίδια, που προέρχονται από την καύση πετρελαίου των μηχανημάτων των λατομείων ή από την καύση μαζούτ των βιομηχανιών .

### **7.3 ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις της γύψου στο περιβάλλον περιλαμβάνουν τη μεταφορά του μέσω υδατικών συστημάτων ή την εναπόθεσή του σε αυτά.

### 7.3.1 Επιφανειακή απορροή

Είναι δεδομένο ότι, οι επιφανειακές απορροές έχουν τελικό αποδέκτη τα υδατικά συστήματα. Η επιφανειακή απορροή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα λατομεία των εβαποριτών, καθώς πρακτικά τα εβαποριτικά στρώματα είναι αδιαπέραστα από το νερό, με αποτέλεσμα σχεδόν το σύνολο της βροχής να απορρέει επιφανειακά. Το μικρό ποσοστό δολομίτη δεν δικαιολογεί διήθηση, καθώς το στρώμα του δολομίτη δεν είναι ενιαίο, αλλά παρεμβάλλεται μεταξύ γύψου και ανυδρίτη.

Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι, τα λατομεία εβαποριτών πρέπει να έχουν δίκτυο συλλογής των όμβριων υδάτων (τεχνητές λεκάνες όπου τα μεταφερόμενα υλικά καθιζάνουν) και τα ιζήματα των φερτών υλικών αποτίθενται εντός των λατομείων.

Η επιφανειακή απορροή μεταφέρει αδιάλυτα υλικά μικρών διαστάσεων, τα οποία παρασύρει το νερό (άργιλος, σκόνη γύψου, υλικά διαστάσεων άμμου), το οποίο περιέχει επίσης διαλυμένα υλικά σε μορφή ιόντων. Σε έρευνα, που πραγματοποιήθηκε με προσομοίωση γυψοφόρων εδαφών βρέθηκε ότι, σε εδάφη γυμνά από βλάστηση, με παρουσία εβαποριτικών όγκων, μεγάλη κλίση εδάφους και κάτω από έντονη βροχόπτωση, τα διαλυμένα ποσοστά γύψου στα νερά της επιφανειακής απορροής μπορούν να φτάσουν τα 39,9 g/m<sup>2</sup>/h.

### 7.3.2 Επιφανειακοί υδάτινοι σχηματισμοί

Η κατάληξη των ποσοτήτων γύψου σε λίμνες και λιμνοθάλασσες έχει ως αποτέλεσμα να επηρεάζεται το οξειδοαναγωγικό δυναμικό των ιζημάτων. Η γύψος επικάθεται στα ιζήματα, με αποτέλεσμα να δυσκολεύεται η κίνηση του διαλυμένου οξυγόνου προς τα ιζήματα μέσω του νερού. Η παρουσία μεγάλων συγκεντρώσεων SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ευνοεί την ανάπτυξη των θειοαναγωγικών βακτηρίων, τα οποία αναπτύσσονται εις βάρος των βακτηρίων παραγωγής μεθανίου κάτω από ανοξικές συνθήκες. Τα θειοβακτήρια είναι ιδανικός ανταγωνιστής των βακτηρίων παραγωγής μεθανίου, με αποτέλεσμα να περιορίζουν στο ελάχιστο τη δράση τους και την επακόλουθη παραγωγή μεθανίου. Η μείωση του εκλυόμενου μεθανίου στερεί από την υδάτινη στήλη το βασικό μέσο

μεταφοράς, που είναι οι φυσαλίδες μεθανίου, των στοιχείων που προκαλούν «ανοργανοποίηση» των οργανικών υλικών του πυθμένα.

Σε πειράματα *in situ* βρέθηκε ότι, η γύψος από κοιτάσματα εβαποριτών, όταν επικάθεται σε ιζήματα λιμνών – λιμνοθαλασσών, αυξάνει την ποσότητα εκλυόμενου υδρόθειου  $H_2S$ , καθώς και τις ανηγμένες μορφές Μαγγανίου  $Mn^{+2}$  και σιδήρου  $Fe^{+2}$  στο πορώδες των ιζημάτων. Επίσης, αυξάνεται σημαντικά η παρουσία σουλφιδίων σιδήρου. Η ροή των ενώσεων από το ίζημα προς την υδάτινη στήλη καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την πηγή της γύψου και την περιεκτικότητά του σε σίδηρο. Όταν η γύψος είναι πλούσια σε σίδηρο (παραπροϊόν της βιομηχανίας παραγωγής τιτανίου), μεγάλο μέρος του ανηγμένου θείου μετατρέπεται σε σιδηροπυρίτη, περιορίζοντας έτσι την υπερβολική έκλυση υδρόθειου. Οι μικρές ποσότητες σιδήρου των εβαποριτών ευνοούν την αύξηση του εκλυόμενου υδρόθειου.

Η προσθήκη γύψου σε υδατικά ευτροφικά συστήματα εμποδίζει την απελευθέρωση μεθανίου και κατά αυτόν τον τρόπο εμποδίζει τον εμπλουτισμό της υδάτινης στήλης σε θρεπτικά. Σίγουρα, είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, η οποία πρέπει να εξεταστεί σφαιρικά, αφού εκτός του μεθανίου αλλάζει η συγκέντρωση όλων των αερίων και των ανόργανων συστατικών. Πιθανόν η αύξηση των συγκεντρώσεων Μαγγανίου ή άλλων κατιόντων (λόγω αναγωγής) να επιδρά τοξικά σε οργανισμούς του νερού .

Είναι αποτέλεσμα μεταβολισμού βακτηρίων, που υπάρχουν τόσο στο στόμα των θηλαστικών, όσο και στο εντερικό σύστημα. Η συγκέντρωση ενδογενούς υδρόθειου σε ποντίκια έχει μετρηθεί σε 50-160  $\mu\text{mol/litre}$  στον εγκέφαλο και 1  $\text{mmol/litre}$  στον ειλεό. Η απορρόφηση του εξωγενούς υδρόθειου από τον ανθρώπινο οργανισμό γίνεται ταχύτατα, μέσω της αναπνοής, ενώ η εξουδετέρωσή του γίνεται μέσω οξειδωσης στο ήπαρ, μεθυλίωσης ή αντίδρασης με μεταλλοπρωτεΐνες .

Η τοξικότητα του υδρόθειου στον άνθρωπο και τα ζώα προκύπτει μέσω της αντίδρασής του με μεταλλοένζυμα της αναπνευστικής αλυσίδας . Η αντίδραση γίνεται με την κυτοχρωμική οξειδάση των μιτοχονδρίων , το τελευταίο ένζυμο της αναπνευστικής αλυσίδας . Ακόμη και μικρής έκτασης έκθεση σε υδρόθειο προκαλεί οφθαλμικά προβλήματα, νευρικές διαταραχές, καρδιαγγειακές διαταραχές και αναπνευστικά προβλήματα. Το πιο ευαίσθητο όργανο είναι η ρινική μεμβράνη.

Η χαμηλότερη συγκέντρωση υδρόθειου, στην οποία έχουν παρατηρηθεί επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία άμεσα, είναι  $2,8 \text{ mg/m}^3$ , όπου ασθματικοί παρουσίασαν προβλήματα στη λειτουργία της αναπνοής και των νεύρων. Η οσμή γίνεται αντιληπτή από τον άνθρωπο σε συγκεντρώσεις από  $11 \mu\text{g/m}^3$  και πάνω, ενώ σε συγκεντρώσεις  $140 \text{ mg/m}^3$  παραλύει η οσφρητική μεμβράνη, με αποτέλεσμα να μην γίνεται αισθητή η δυσσομία. Συγκεντρώσεις  $100 \mu\text{g/m}^3$  είναι το όριο της συγκέντρωσης για έκθεση 1-14 ημέρες στο υδρόθειο, ενώ  $20 \mu\text{g/m}^3$  είναι το όριο για έκθεση μέχρι 90 ημέρες, πριν αρχίσουν οι επιπτώσεις στη λειτουργία της αναπνοής. Είναι σύνηθες φαινόμενο εργάτες ΧΥΤΑ και περίοικοι να παραπονιούνται για πονοκεφάλους, ναυτία, κάψιμο στα μάτια. Οι ΧΥΤΑ, που δέχονται παραπροϊόντα γύψου παρουσιάζουν υψηλή έκλυση υδρόθειου. Το υδρόθειο είναι ιδιαίτερα τοξικό για τους υδρόβιους οργανισμούς. Σύμφωνα με την EPA (Environmental Protection Agency, U.S.A.), το ανώτατο επιτρεπτό επίπεδο για τους υδρόβιους οργανισμούς είναι τα  $0,002 \text{ ppm}$ . Η τοξικότητα του υδρόθειου στους υδρόβιους οργανισμούς είναι σε άμεση συνάρτηση με το pH και την περιεκτικότητα οξυγόνου του νερού. Σε τιμές pH 6,5 και κάτω παρουσιάζεται η μέγιστη τοξικότητα στα ψάρια. Συνήθως, οι τοξικές συγκεντρώσεις παρουσιάζονται σε υδατικά συστήματα τον Ιούλιο και Αύγουστο, όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο των νερών μικρή λόγω θερμοκρασίας και μικρών εισροών επιφανειακών υδάτων, η ανάμειξη των νερών λόγω στρωμάτωσης των υδάτων πολύ μικρή και η παραλλακτικότητα του pH μεγάλη, ώστε κάποιες περιορισμένες περιοχές να εμφανίζουν μειωμένο pH. Σε συγκεντρώσεις  $0,033 \text{ ppm}$  ψάρια και γαρίδες πεθαίνουν.

Η βασική επίδραση της γύψου στο εδαφικό νερό και μέσω αυτού στο υπόγειο

νερό είναι η αύξηση της περιεκτικότητας σε ηλεκτρολύτες, όπως αυτή εκδηλώνεται με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των νερών. Αυτό οφείλεται στην υψηλή διαλυτότητα της γύψου, αλλά και στην αύξηση της συγκέντρωσης ευκίνητων μορφών κατιόντων λόγω της μείωσης του pH, που επιφέρει η γύψος στο έδαφος.

Η διαλυτότητα τόσο της γύψου, όσο και του ανυδρίτη είναι  $2,05 \text{ g/L}$  ( $23,8 \text{ meq/L}$ ) για τη γύψο και  $30,1 \text{ meq/L}$  για τον ανυδρίτη. Η διαλυτότητα αυτή οδηγεί σε αύξηση των ιόντων ασβεστίου και θειικών στα νερά. Τα ιόντα

ασβεστίου (στο εδαφικό νερό) θα προσροφηθούν σε μεγάλο βαθμό από τα αρνητικά φορτισμένα φύλλα των αργιλικών ορυκτών, οδηγώντας σειρά άλλων ιόντων από την άργιλο στο εδαφικό διάλυμα και μετά στα υπόγεια νερά. Από τα ελεύθερα ιόντα ασβεστίου, που θα παραμείνουν στο νερό μερικά θα καθιζήσουν ως  $\text{CaCO}_3$  (μικρή διαλυτότητα στο νερό). Τα θειικά ιόντα, επειδή δεν συγκρατούνται από την άργιλο (κυρίως αρνητικά φορτισμένη) και ελάχιστες ενώσεις τους είναι δυσδιάλυτες (θειικό Βάριο, Στρόντιο, Μόλυβδος), πάντα ανιχνεύονται στα υπόγεια νερά σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Η EPA έχει ορίσει ως ανώτερο επίπεδο θειικών ιόντων στο πόσιμο νερό τα 250ppm. Η παρουσία μεγαλύτερων συγκεντρώσεων θειικών στο πόσιμο προκαλεί διάρροια στους καταναλωτές με μεγαλύτερο κίνδυνο για τα βρέφη μέχρι 15 μηνών (USA EPA).

Η γύψος, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, μειώνει το pH αλκαλικής αντίδρασης εδαφών στα επίπεδα 7,5-7,7 μετά από συνεχή προσθήκη. Στα επίπεδα αυτά του pH αυξάνει η διαθεσιμότητα πολλών κατιόντων, τα οποία διαφεύγουν με το νερό στράγγισης στα υπόγεια νερά αυξάνοντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C., electricconductivity) του νερού, αλλά και τη συγκέντρωση στοιχείων πιθανά επιβλαβών στην υγεία καταναλωτών. Ο κίνδυνος είναι αυξημένος μετά την ξηρή περίοδο, κατά τις πρώτες βροχές μέχρι να κορεστεί το έδαφος με νερό και να επέλθει ισορροπία με τα ανθρακικά άλατα. Αυτό γιατί, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, η γύψος δίνει ισχυρά όξινη αντίδραση μόλις διαλυθεί στο νερό, λόγω γρήγορης διάλυσης σε σχέση με τα ανθρακικά άλατα.

Επίσης, αναερόβιες συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία υδρόθειου με επακόλουθο την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, λόγω δυσοσμίας και την αύξηση της διαβρωτικότητας του νερού .

## 8. ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΓΥΨΟΣ

Η βιομηχανία γύψου προσπαθώντας να κάνει οικονομία στα αποθέματα φυσικής γύψου, προχώρησε στην παραγωγή ασφαλών, οικονομικών και ανακυκλώσιμων προϊόντων χρησιμοποιώντας υποκατάστατα δηλ. τεχνητές μεθόδους.

### 8.1 FGD (Flue Gas Desulfurization)

Μια εναλλακτική πηγή είναι η γύψος που προέρχεται από την υγρή αποθείωση καπναερίων των σταθμών παραγωγής ενέργειας. Η παγκόσμια ανησυχία για τις βλαβερές εκπομπές αερίων από τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, οδήγησε στην εφαρμογή αυστηρών ορίων στις τιμές των παραγόμενων αερίων που διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα και από την προσπάθεια μείωσης τους προέκυψε αυτό το νέο προϊόν.

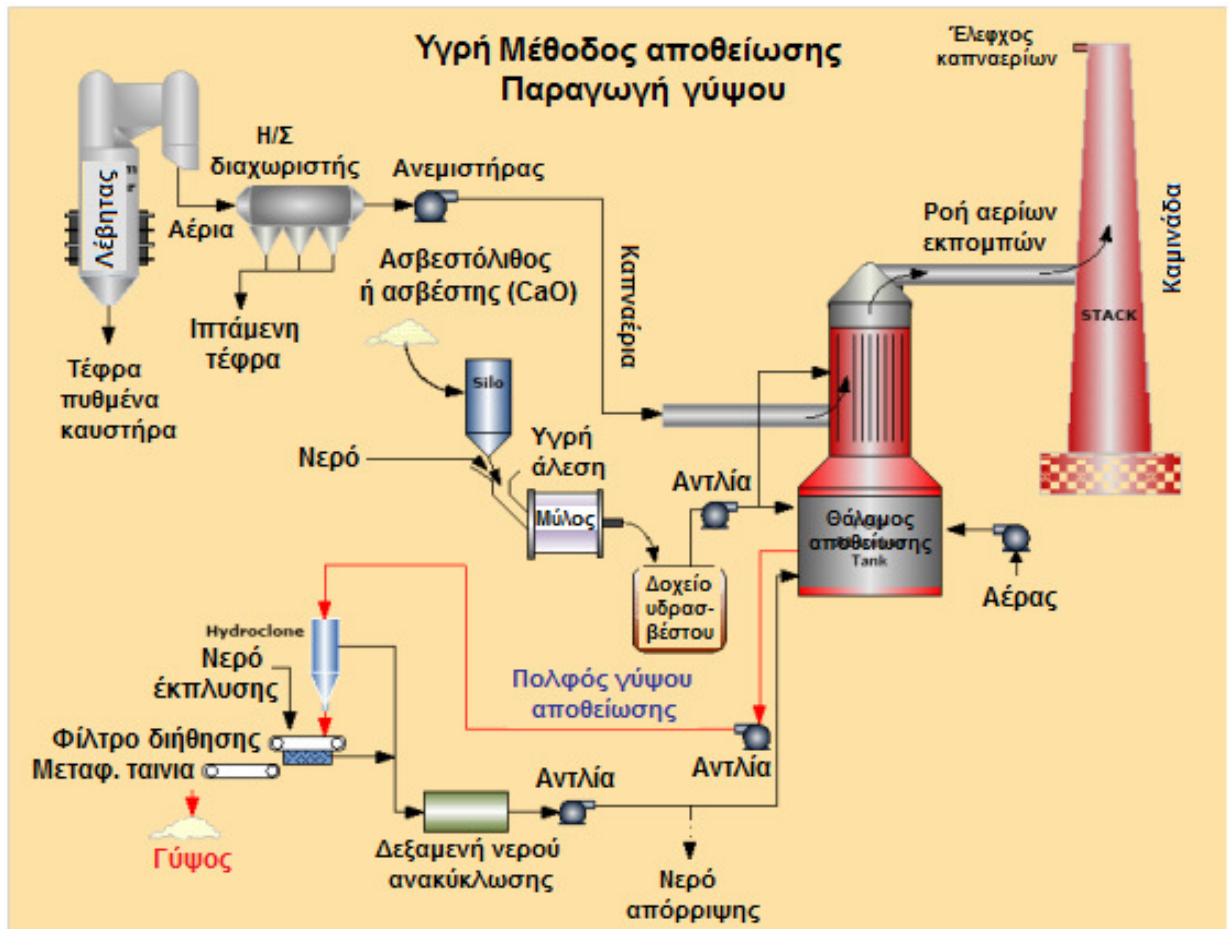
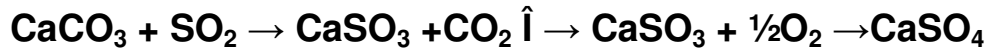
Η γύψος FGD είναι προϊόν που προέρχεται από τη διαδικασία υγρού καθαρισμού των καπναερίων με ασβεστόλιθο (Σχήμα 8.1), η οποία σχηματίζεται με την ίδιο ακριβώς τρόπο με τη φυσική γύψο, αλλά που απαιτεί πολύ λιγότερο χρόνο, μόλις λίγες ώρες.

Η γύψος αποθείωσης είναι ένα πολύ σημαντικό συμπλήρωμα και στον ανεφοδιασμό φυσικής γύψου. Αυτή η συνθετική γύψος έχει πολύ υψηλή (96%) καθαρότητα, μεγαλύτερη από τη συνηθισμένη καθαρότητα της φυσικής γύψου. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αναμειχθεί με γύψο χαμηλής καθαρότητας και με αυτόν τον τρόπο μπορούν να μετατραπούν σε αξιοποιήσιμα, κοιτάσματα που παλαιότερα δεν θεωρούνταν εκμεταλλεύσιμα.

#### 8.1.1 Διαδικασία Παραγωγής FGD

Από τις διαθέσιμες διαδικασίες για την αποθείωση των καπναερίων η πιο δημοφιλής είναι η «εξουδετέρωση» με πολφό ασβεστόλιθου. Η αποθείωση γίνεται μέσα σε πύργους έκπλυσης, στους οποίους τα καπναέρια έρχονται σε επαφή με υδατικό αιώρημα το οποίο περιέχει κονιοποιημένο ασβεστόλιθο ή άνυδρη καυστική άσβεστο υπό μορφή πολφού  $[Ca(OH)_2]$ . Το διοξείδιο του θείου  $SO_2$  εκπλύνεται από το νερό, οξειδώνεται με περίσσεια αέρα σε τριοξείδιο του θείου  $SO_3$  στο υδατικό διάλυμα και τέλος καταβυθίζεται με

ασβέστιο από τον ασβεστόλιθο ή την καυστική άσβεστο σαν διυδρίτης του θειικού ασβεστίου ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), δηλαδή γύψος. Οι κρύσταλλοι γύψου διαχωρίζονται από το αιώρημα σαν μια υγρή κρυσταλλική σκόνη με την βοήθεια φυγόκεντρων διαχωριστών ή φίλτρων. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι:



Σχήμα 8.1. Διάγραμμα υγρής μεθόδου αποθείωσης καπναερίων (παραγωγή γύψου)



## **8.2 ΦΩΣΦΟΡΙΚΗ, ΤΙΤΑΝΙΟΥ, ΚΙΤΡΙΚΗ ΓΥΨΟΣ**

### **8.2.1 Φωσφορική**

Το φωσφορικό οξύ είναι ένα εμπορικό χημικό το οποίο χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στην παραγωγή λιπασμάτων και απορρυπαντικών. Εξασφαλίζεται με διαδικασίες που βασίζονται στην διάσπαση φωσφορούχων ορυκτών με θειικό οξύ. Το φωσφορικό ασβέστιο αντιδρά με το θειικό οξύ σχηματίζοντας φωσφορικό οξύ και θειικό ασβέστιο. Συνήθως το λιγότερο διαλυτό θειικό ασβέστιο διαχωρίζεται από το φωσφορικό οξύ με διήθηση. Το θειικό ασβέστιο εμφανίζεται συνήθως ως ημιυδρίτης ή διϋδρίτης, ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας και τις συγκεντρώσεις θειικού και φωσφορικού οξέος.

Οι παράγοντες που αποτρέπουν την εκτεταμένη χρήση του προϊόντος στη βιομηχανία γύψου είναι από τη μια οι προσμίξεις που απομένουν στο υλικό και από την άλλη τα υψηλά επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας, ανάλογα με το φωσφορικό πέτρωμα.

Επίσης, το σχήμα των κρυστάλλων και οι ποιοτικές διακυμάνσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε ένα προϊόν μη συμβατό με τη διαδικασία επεξεργασίας γύψου.

### **8.2.2 Τιτανίου**

Το διοξείδιο του τιτανίου είναι ένα λευκό χρωστικό υλικό και είναι το πιο σημαντικό υλικό από ποσοτικής πλευράς. Η παγκόσμια παραγωγή διοξειδίου του τιτανίου είναι 4 εκατ. Τόνοι/ χρόνο, από τους οποίους το μισό παράγεται από θειικό οξύ και το άλλο μισό από διεργασίες με χλώριο ( $Cl_2$ ). Μόνο η διαδικασία με θειικό οξύ παράγει γύψο, από την οποία ένα μεγάλο ποσοστό (50%), που λέγεται λευκή γύψος, χρησιμοποιείται στη βιομηχανία γύψου.

### **8.2.3 Κιτρική γύψος**

Το κιτρικό οξύ είναι ένα συστατικό το οποίο βρίσκεται σχεδόν σε όλα τα είδη φυτών και ζώων και είναι ζωτικής σημασίας για τον κύκλο ενέργειας των

ζωντανών οργανισμών. Μεγάλες ποσότητες κιτρικού οξέος για χρήση σε βιομηχανίες τροφίμων, φαρμάκων και απορρυπαντικών παράγονται από μυκητολογική ζύμωση αργών διαλυμάτων σακχάρων όπως οι μελάσες. Για να ελευθερωθεί το κιτρικό οξύ από ακαθαρσίες, όπως πρωτεΐνες και σάκχαρα, καταβυθίζεται με άσβεστο σε κιτρικό ασβέστιο και εκπλύνεται. Καθαρό κιτρικό οξύ επανακτάται και θειικό οξύ και διαχωρίζεται από τη σχηματιζόμενη γύψο. Τεχνολογικά αυτή η γύψος μπορεί να καθαριστεί σε βαθμό που θα επιτρέπει τη χρήση της στη βιομηχανία γύψου. Μέρος αυτής της γύψου χρησιμοποιείται ως βοηθητικό φίλτρο για την απομάκρυνση complex tracemetals. Έχει χρώμα μπλε εξαιτίας της απορρόφησης Ferric Hexacyanoferrate complexes, που μπορούν να απομακρυνθούν μόνο με ασβεστοποίηση σε υψηλές θερμοκρασίες παράγοντας ανυδρίτη.

#### **8.2.4 Φθοριο-Ανυδρίτης**

Για την παραγωγή υδροφθορικού οξέος το ορυκτό φθορίτης θερμαίνεται με θειικό οξύ. Καθώς η αντίδραση λαμβάνει χώρα συνήθως σε υψηλές θερμοκρασίες, το παραγόμενο θειικό ασβέστιο είναι σε άνυδρη μορφή, δηλαδή ανυδρίτης.

#### **8.2.5 Άλλα συνθετικά προϊόντα**

Μικρές ποσότητες γύψου ανακτώνται από την παραγωγή ορισμένων οξέων, όπως τρυγικό, γαλακτικό, μυρμηκικό και οξαλικό κατά τον ίδιο τρόπο όπως και από το κιτρικό οξύ.

Γενικότερα όλες οι διαδικασίες που καταλήγουν με υποπροϊόν θειικό οξύ, είναι εν δυνάμει παραγωγό γύψου. Με εξουδετέρωση των όξινων λυμάτων με άσβεστο ή ασβεστόλιθο παράγεται γύψος, της οποίας η χρήση εξαρτάται από τις εναπομείνουσες ακαθαρσίες.

Συμπερασματικά, η φυσική γύψος θα συνεχίσει να καλύπτει στο μεγαλύτερο βαθμό τις ανάγκες της βιομηχανίας γύψου, ακολουθούμενη από την FGD. Θα μπορούσε ενδεχομένως να ακολουθήσει η φωσφορική και τιτανιο γύψος μετά από καθαρισμό. Στο παρελθόν έλαβαν χώρα πολλές αναστολές λειτουργίας βιομηχανιών φωσφορικού οξέος και διοξειδίου του τιτανίου στην Ευρώπη, οι οποίες θα μπορούσαν να γίνουν και πάλι βιώσιμες,

είτε με επενδύσεις στον καθαρισμό της παραγόμενης γύψου είτε με νέες εφαρμογές των παραγόμενων αυτών προϊόντων.

## **9. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ**

### **9.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Απώλειες μπορεί να έχουμε σε διάφορα στάδια του κύκλου παραγωγής: κατά την εξόρυξη, την παραγωγή προϊόντων, την κατασκευή ή την καταστροφή προϊόντων. Τα προϊόντα γύψου έχουν την δυνατότητα να ανακυκλωθούν και να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή του ίδιου προϊόντος σε αντίθεση με άλλα δομικά υλικά που ανακτώνται εν μέρει και απλώς χρησιμοποιούνται σε άλλες εφαρμογές.

Η γύψος είναι 100% ανακυκλώσιμη. Η επανεπεξεργασμένη γύψος, που αποτελεί το 94% της γυψοσανίδας στέλνεται ξανά στη βιομηχανία κατασκευής γυψοσανίδων για να κατασκευαστούν νέες γυψοσανίδες. Το χαρτί, με τις σχετικές προσμίξεις, που αποτελεί το 6%, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποικιλοτρόπως, όπως ως λίπασμα, στην παραγωγή θερμότητας, στην κατασκευή άλλων υλικών, κλπ. Έτσι τα προϊόντα γύψου είναι κατ' ουσίαν ένα 100% ανακυκλώσιμο υλικό.

### **9.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΞΟΡΥΞΗ**

Οι «απώλειες» κατά τη διάρκεια της εξόρυξης έγκεινται στο γεγονός ότι μέρος του εξορυσσόμενου ορυκτού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή να ανακυκλωθεί εξαιτίας δυο χαρακτηριστικών:

1. Πολύ λεπτομερές υλικό που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τεχνικούς λόγους.
2. Το πέτρωμα περιέχει προσμίξεις που το καθιστούν ακατάλληλο για χρήση έστω και σαν αδρανές πρόσμιγμα.

Οι εγκαταστάσεις για τη διαχείριση των απωλειών από την εξόρυξη βρίσκονται πολύ κοντά στο κοίτασμα για απευθείας συλλογή και επεξεργασία.

Η βιομηχανία γύψου προσπαθεί να μειώσει αυτές τις απώλειες τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους. Αυτό επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

1. Με τη χρήση του υλικού αυτού για την πλήρωση κενών που δημιουργούνται κατά την εξόρυξη, συμβάλλοντας έτσι και στην αποκατάσταση του λατομείου.
2. Με την ανάμειξη του υλικού αυτού με γύψο πολύ υψηλής καθαρότητας. (όπως γύψος FGD)

### **9.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΟ ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ**

Είναι γνωστό ότι σε όλες τις διεργασίες υπάρχει πάντα ως στόχος η μείωση των απωλειών σε πρώτες ύλες στα εργοτάξια. Επιδίωξη λοιπόν είναι η μεγαλύτερη απόδοση και η αύξηση του κέρδους μέσω:

- Μικρότερου κόστους των πρώτων υλών
- Μειωμένων εξόδων διακίνησης
- Αποφυγής καθυστερήσεων
- Μειωμένου κόστους διάθεσης
- Καθαρότερων εργοταξίων κλπ

Περίπου το 5% των γυψοσανίδων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή καταστρέφεται κατά τη διάρκεια της εφαρμογής. Για να μειωθούν αυτές οι απώλειες η βιομηχανία έλαβε συγκεκριμένα μέτρα όπως η παράδοση στις ακριβείς ποσότητες που απαιτούνται και η παράδοση σοβάδων και κονιαμάτων μέσω σιλό που εγκαθίστανται στο εργοτάξιο, αποφεύγοντας, έτσι και τη μεγάλη κατανάλωση υλικών για τη συσκευασία και μεταφορά. Οι ποσότητες που δεν χρησιμοποιούνται επιστρέφονται ή χρησιμοποιούνται σε κάποιο άλλο εργοτάξιο.

Στη Δανία, την Ολλανδία και το Ηνωμένο Βασίλειο ακολουθείται ένα πρόγραμμα σύμφωνα με το οποίο τα υπολείμματα από προϊόντα γύψου συγκεντρώνονται ξεχωριστά σε ένα χώρο στο εργοτάξιο, στη συνέχεια μεταφέρονται σε μια κεντρική αποθήκη και όταν συσσωρευτεί αρκετή ποσότητα μεταφέρονται σε εργοστάσιο ανακύκλωσης.

## **9.4 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ Ή ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ**

Κατά τη διάρκεια ανακαίνισης ή κατεδάφισης κτηρίων, τα προϊόντα γύψου είναι σχεδόν πάντα αναμειγμένα με άλλα υλικά όπως χρώματα, στερεωτικά, μονωτικά υλικά, βίδες. Για το λόγο αυτό δεν είναι πάντα εφικτή η ανακύκλωση αυτών των προϊόντων. Για να επιτευχθεί θα πρέπει να υπάρχει αρμονική συνεργασία μεταξύ των εργολάβων που θα αναλάβουν το έργο για την προσεκτική συγκέντρωση-απομάκρυνση των υλικών, των συλλεκτών για την προσεκτική μεταφορά τους, των ανακυκλωτών για τον προσεκτικό διαχωρισμό (διαλογή) του χαρτιού από τον πυρήνα γύψου της γυψοσανίδας και τελικά του κατασκευαστή γυψοσανίδων για την ένταξη του υλικού αυτού εκ νέου στην παραγωγική διαδικασία.

Συμπερασματικά η βιομηχανία γύψου θα πρέπει να επικεντρωθεί σε δυο βασικά κίνητρα όσον αφορά την ανακύκλωση:

- Στην αύξηση, τα επόμενα χρόνια, των απορριμμάτων γύψου από την κατεδάφιση, εξαιτίας της μεγάλης αύξησης της χρήσης γυψοσανίδων στις κατασκευές, δηλ. στην εξασφάλιση «εύκολης» πρώτης ύλης.
- Στην ανάπτυξη κατάλληλων τεχνικών αποσυναρμολόγησης και συλλογής, συγκέντρωσης και μεταφοράς, οπότε η ανακύκλωση θα είναι εφικτή και οικονομικά αποδοτική.

Όμως, μεγάλη σημασία πρέπει να δοθεί στην έλλειψη χώρων απόθεσης μη αδρανών απορριμμάτων, στο υψηλό κόστος απόθεσης, αλλά και στη μη αποδοχή των απορριμμάτων γύψου χωρίς προηγούμενο περιβαλλοντικό χαρακτηρισμό, εξαιτίας του θείου που περιέχουν. Αυτό αναμένεται να είναι ένα πρόβλημα που θα επηρεάσει σημαντικά τα οικονομικά της ανακύκλωσης γύψου.



**Εικόνα 9.1-9.2** Κάδος συλλογής προς ανακύκλωση γυψοσανίδων



**Εικόνα 9.3** Αποθήκη συγκέντρωσης γυψοσανίδων προς ανακύκλωση



**Εικόνα 9.4** Γύψος μετά από ανακύκλωση



## **BIBLIOΓΡΑΦΙΑ**

- Appleyard Frank, Construction Materials - Gypsum and Anhydrite in Industrial Minerals and Rocks, LEFOND, pp. 185-199
- Bundesverband der Gipsindustrie e.V, 2006, Gips Datenbuch
- Bundesverband der Gipsindustrie e.V, Gips – Rohstoffe, Aufbereitung und Calcinierung,
- Danemark Gypsum international recycling, 2002, Plasterboard case study: International practice in plasterboard recycling
- Eurogypsum, 2007, Fact sheet on: What is Gypsum
- Eurogypsum, Living with Gypsum: From Raw Materials to Finished Products
- Gebr.Pfeiffer, Competence in Gypsum
- Gypsum association, 2010, The Gypsum Industry
- Gypsum Manufacturing Society for Mining, Metallurgical and Exploration U.S, Mineral Products Industry
- Gypsum, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2011
- Global Gypsum Magazine, November/December 2009, March 2009
- Groves A.W, 1959, Gypsum and Anhydrite
- Harben P.W., Kuzvart M., A Global Geology, London 1996, Industrial Minerals. IMIL Ltd
- Lehmann Hans und Holland Hermann, 1966, Die Umwandlungsworgange beim Erhitzen von Calciumsulfat- Dihydrat und seinen Entwässerungsprodukten
- Knauf, Gips Entstehung und Gewinnung Eigenschaften
- Knauf, Recycling Service Gypsum Waste Management
- Manias C., Retallack D. and Storer P., A new on stream XRD Technology for Measurement and Control of Gypsum De-hydration/setting times, FCT- ACTech, Australia
- Rainer Kündig, Cristoph Bühler, Heinz Subeck, 2009, Angewandte Mineralogie und nichtmetallische Rohstoffe: Nutzung und Umweltaspektel
- Roskill Information, 1992, The economics of Gypsum
- Schmersky H, Trankle U, Reinmann M, Gypsum habitats and biodiversity

Szednyj Ilona, Bandhuber Doris, 2007, Stand der Technik zur Kalk-, Gips- und Magnesiaherstellung Beschreibung von Anlagen in Österreich

Taggart Arthur, 1954, Handbook of Minerals Dressing Ores and Industrial Minerals

Thienel Ch., 2010, Chemie und Eigenschaften mineralischer Baustoffe und Bindemittel

VDMA Construction Equipment and Building Material Machinery

Αυλωνίτης Χρ., 2008, Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λατόμευση και επεξεργασία Γύψου στο νομό Αιτ/νιας, Διπλωματική εργασία, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον», ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ

Γκαλμπένης Χ., Φυσικές ιδιότητες Γύψου και Ανυδρίτη

Κατερινόπουλος Α., Αθήνα 2008, Ο Κόσμος των Ορυκτών. Εκδόσεις Συμμετρία, σελ 238.

Κατερινόπουλος Α., Σταματάκης Μ., Αθήνα 1995, Εφαρμοσμένη Ορυκτολογία-Πετρολογία. Τα βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα και οι χρήσεις τους. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ. 311.

Μακρής Π., Φούντη Μ., Λασκαρίδης Κ., 1999, Κατασκευές και Παραγωγή στους τομείς των αδρανών υλικών και βιομηχανικών ορυκτών

Μανουσάκη- Ορφανουδάκη Α., Αθήνα 2002, Κοιτασματολογία,

Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ε.Μ. Πολυτεχνείο, σελ.90-91

Μούσουλος Λ. (1962), Το πρόβλημα της εκμεταλλεύσεως του υπογείου πλούτου της Ελλάδος, Μελέτη βραβευθείσα υπο της Ακαδημίας Αθηνών 1960.

Πουλάκος Γ., Κορωναίος Αιμ., 2006, ΤΕΧΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ, Τόμος 1, Ε. Μ. Πολυτεχνείο

Σταυρόπουλος Α., 1989, Εισαγωγή στους βιομηχανικούς κλάδους, Βασικές βιομηχανικές διεργασίες

Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, Αθήνα 1979, Ελληνικός Ορυκτός πλούτος

<http://www.chemistrydaily.com/chemistry/Gypsum>

<http://www.claudiuspeters.com/>

<http://www.gypsum.org/>

[http://www.metal.ntua.gr/uploads/3298/467/Size reduction crushing grinding .pdf](http://www.metal.ntua.gr/uploads/3298/467/Size_reduction_crushing_grinding.pdf)

[www.metal.ntua.gr/.../sedimentary rocks formation classification.p..\)](http://www.metal.ntua.gr/.../sedimentary_rocks_formation_classification.p..)

<http://www.miningandconstruction.sandvik.com/>

<http://www.biogyps-karvelis.gr/>