



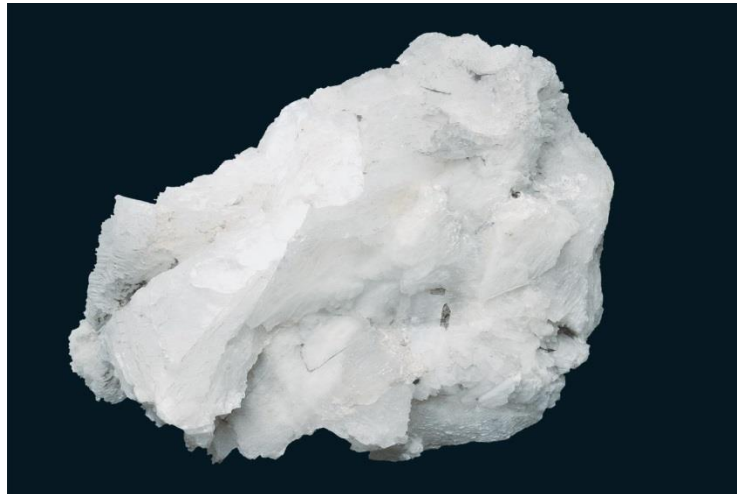
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΧΙΟΝΑΤΗ Γ. ΠΙΤΤΙΡΗ

ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΤΩΝ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ: **ΓΥΨΟΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2021





ΧΙΟΝΑΤΗ Γ. ΠΙΤΤΙΡΗ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5721

ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ: **ΓΥΨΟΣ**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας,
Εργαστήριο Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

Καντηράνης Ν., Αν. Καθηγητής

© Χιονάτη Γ. Πιττιρή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας,
Κοιτασματολογίας, 2021



Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ANATOMIA KAI PROOPTIKES TOY ELLHNIKOY KΛΑΔΟΥ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ: ΓΥΨΟΣ – *Διπλωματική Εργασία*

© Chionati G. Pittiri, School of Geology, Dept. of Mineralogy, Petrography, Economic
Geology, 2021

All rights reserved.

ANATOMY AND PROSPECTS OF THE GREEK SECTOR OF INDUSTRIAL
MINERALS AND ROCKS: GYPSUM – *Bachelor Thesis*

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Ευχαριστίες

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού κύκλου σπουδών στη Σχολή Θετικών Επιστημών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Νιώθω αδήριτη ανάγκη να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους οι οποίοι συνέλαβαν στην πραγματοποίηση και ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Νικόλαο Καντηράνη για τη συνεχή καθοδήγηση, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου την εργασία και την πολύτιμη βοήθεια για επίλυση διαφόρων θεμάτων.

Ακολουθώντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω, όλους τους αξιότιμους καθηγητές μου, οι οποίοι συνέλαβαν με έμμεσο τρόπο στην επίτευξη της εργασίας, αφού αποκόμισα πολύτιμες πληροφορίες και γνώσεις όλα αυτά τα χρόνια, οι οποίες συνέδραμαν στην υλοποίηση μιας ανεπτυγμένης και εμπλουτισμένης εργασίας.

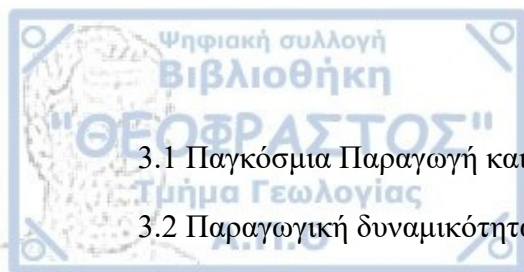
Έπειτα, τον φίλο Θωμά, ο οποίος αποτέλεσε καθοριστικό κομμάτι της εργασίας μου, δίνοντας μου σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο συγγραφής. Τον ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου για τη συνεχή συμπαράσταση και στήριξη, παρέχοντας μου απίστευτες συμβουλές, στέκοντας σημαντικός αρωγός στην παρούσα φάση της πορείας μου.

Κλείνοντας, η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, θα ήταν αδύνατη χωρίς την προσφορά της οικογένειάς μου, η οποία αποτελεί πρότυπο οικογένειας και παρείχε ανιδιοτελή υποστήριξη, οικονομική, ηθική και ψυχολογική, κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου. Τους ευχαριστώ που στέκονται βράχοι σε κάθε απόφασή μου, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωσή μου.



Πίνακας Περιεχομένων

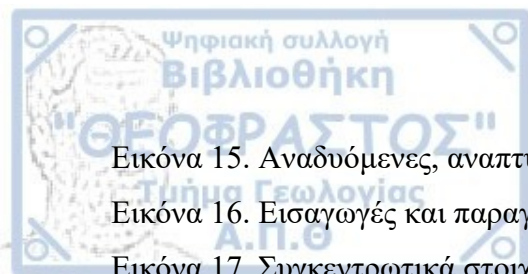
Πίνακας Εικόνων.....	7
Πίνακας Γραφημάτων	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	10
Κεφάλαιο 1 ^ο . Εισαγωγή	11
1.1 Περιγραφή Γύψου – Ανυδρίτη	11
1.2 Ιδιότητες	13
1.3 Κυριότερες χρήσεις της γύψου	17
Κεφάλαιο 2 ^ο . Γεωλογικά στοιχεία – Συνθήκες σχηματισμού	19
2.1 Γεωλογία περιβάλλοντος Βαθιάς Λεκάνης	19
2.2 Συνθήκες Σχηματισμού	21
2.3 Κυριότερες τεχνικές εκμετάλλευσης	24
Κεφάλαιο 3 ^ο . Παραγωγή και αποθέματα γύψου	28



3.1 Παγκόσμια Παραγωγή και αποθέματα	28
3.2 Παραγωγική δυναμικότητα και αποθέματα Ελλάδας.....	36
Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα	40
Βιβλιογραφία.....	42

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1. Σεληνίτης	12
Εικόνα 2. Αλάβαστρο.....	12
Εικόνα 3. Μετάβαση γύψου-ανυδρίτη,	14
Εικόνα 4. Υδατοδιαλυτότητα διαφόρων μορφών CaSO_4	16
Εικόνα 5. Drierite με δείκτη κορεσμού υγρασίας και τυπική εμπορική συσκευασία Drierite..	19
Εικόνα 6. Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου Βαθείας Λεκάνης.....	19
Εικόνα 7. Αλληλουχία ιζηματογένεσης	21
Εικόνα 8. Βασικά στάδια σχηματισμού των ιζηματογενών πετρωμάτων	22
Εικόνα 9. Αποτέλεσμα εξάτμισης θαλασσινού νερού	22
Εικόνα 10. Παραγωγή εβαποριτών σε σχέση με τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού στη λεκάνη ιζηματογένεσης	23
Εικόνα 11. Μοντέλα εβαποριτικής απόθεσης	24
Εικόνα 12. Στάδια μετατροπής γύψου σε ημιυδρίτη και ανυδρίτη.....	26
Εικόνα 13. Παραγωγή Γύψου ανά χώρα 2018-2019.....	29
Εικόνα 14. Αποθέματα Γύψου ανά χώρα 2018-2019	30



Εικόνα 15. Αναδύμενες, αναπτυσσόμενες και ανεπτυγμένες χώρες για αγορά της γύψου ..	32
Εικόνα 16. Εισαγωγές και παραγωγή φυσικής γύψου στην Ελλάδα	37
Εικόνα 17. Συγκεντρωτικά στοιχεία γύψου	39

Πίνακας Γραφημάτων

Γράφημα 1. Παραγωγή Γύψου 2018-2019	28
Γράφημα 2. Παγκόσμια παραγωγή γύψου 2010-2020.....	31
Γράφημα 3. Παγκόσμια παραγωγή φυσικής γύψου από ορυχεία 1994-2004.....	33
Γράφημα 4. Παγκόσμια παραγωγή φυσικής γύψου από ορυχεία 2005-2015.....	34
Γράφημα 5. Η αγορά γυψοσανίδων στις ΗΠΑ το διάστημα 2017-2018	35
Γράφημα 6. Παραγωγή γύψου & ανυδρίτη στην Ελλάδα σε χιλιάδες τόνους 2005-2017	37
Γράφημα 7. Αξία εξαγωγών γύψου & ανυδρίτη 2005-2017	38



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας ήταν η παρουσίαση και περιγραφή των ιδιοτήτων της γύψου, των βασικών γεωλογικών στοιχείων και των συνθηκών σχηματισμού της. Παράλληλα έγινε αποτύπωση της παγκόσμιας παραγωγής και των αποθεμάτων του ορυκτού, με έμφαση στην παραγωγική δυναμικότητα και τα αποθέματα της Ελλάδας. Η γύψος αξιοποιείται κυρίως στον οικοδομικό, στον βιομηχανικό, στο γεωργικό, στο καλλιτεχνικό και στον ιατρικό κλάδο. Η γύψος μπορεί να ληφθεί με εφαρμογή επιφανειακών ή υπόγειων τεχνικών εξόρυξης. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το πάχος και την κλίση του κοιτάσματος, των υπερκειμένων και το ανάγλυφο της περιοχής. Η τελική επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από μια πληθώρα παραγόντων (όπως δαπάνες, αποθέματα νερού, ακαθαρσίες που εμπεριέχονται στο γύψο, ανταγωνισμός κ.ά.) και ανάλογα με την επιλεγμένη μεθοδολογία επηρεάζεται αντιστοίχως και η ποιότητα της γύψου. Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός αργού γύψου στον κόσμο με την παραγωγή του να φτάνει τα 20 εκατομμύρια τόνους το 2019. Η Κίνα και το Ιράν έρχονται δεύτερες στην παραγωγή γύψου με 16 εκατομμύρια τόνους. Η ραγδαία αύξηση της χρήσης γυψοσανίδων σε

συνδυασμό με την εμφάνιση νέων οικοδομικών προϊόντων γύψου τα οποία χρησιμοποιούνε φυτικά συστατικά έχει ωθήσει στην αυξημένη παραγωγή γύψου στις χώρες αυτές. Στην Ευρώπη (συμπεριλαμβανομένου όλων των χωρών και όχι μόνο των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης) ο ετήσιος κύκλος εργασιών της βιομηχανίας γύψου είναι περίπου 9,7€ δισεκατομμύρια. Λειτουργούν 154 λατομεία, ενώ ο αριθμός των εργοταξίων παραγωγής φυσικής γύψου ανέρχεται στα 160. Απασχολούνται 28.000 εργαζόμενοι, ενώ υπολογίζεται ότι ο κλάδος δίνει εργασία (έμμεση) σε περίπου 300.000 εργαζομένους. Η γύψος δεν είναι βασικό βιομηχανικό ορυκτό της Ελλάδας, καθώς η χώρα κατέχει ηγετική θέση παγκοσμίως στην παραγωγή περλίτη, μπετονίτη και ελαφρόπετρας. Ο έντονος διεθνής ανταγωνισμός και η εμφάνιση προϊόντων υψηλότερης ποιότητας από τα Ελληνικά, σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές λόγω ισοτιμιών (π.χ. με τις αντίστοιχες τιμές της Τουρκίας) και την μειωμένη παραγωγή τσιμέντου αναμένεται να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση της εγχώριας ζήτησης τα επόμενα χρόνια, με αποτέλεσμα να μένει σημαντική ποσότητα μη αξιοποιήσιμη.

Λέξεις-κλειδιά: **Γύψος, Βιομηχανικό Ορυκτό, Παγκόσμια Παραγωγή, Αποθέματα**

ABSTRACT

The objective of the present research was the presentation and description of the properties of gypsum, its basic geological elements and the conditions of its formation. Moreover the world production and reserves of gypsum were recorded, with emphasis on the production capacity and reserves of Greece. Gypsum is mainly used in the construction, industrial, agricultural, artistic and medical sectors. Gypsum can be obtained by applying surface or underground mining techniques. The method that is used depends on the thickness and the slope of the deposit, the supernatants and the repousse of the area. The final choice of the method depends on a variety of factors (such as costs, water reserves, impurities contained in the gypsum, competition etc) and depending on the chosen procedure, the quality of the gypsum can be affected accordingly. The United States of America is the largest producer of gypsum worldwide, with its production reaching 20 million tons in 2019. China and Iran are second in the gypsum production with 16 million tons each. The rapid increase in the usage of gypsum boards in combination with the emergence of new gypsum construction products that use

environmentally friendly products, have increased the production of gypsum in these countries. In Europe (including all countries and not just the Member States of the European Union), the annual turnover of the gypsum industry is estimated around 9,7€ billion. There are 154 quarries with the number of construction sites for the production of natural gypsum counting for 160. The industry employs around 28.000, while it is estimated that the industry provides indirect work to about 300.000 employees. Gypsum is not a key industrial mineral in Greece, as the country is a world leader in the production of perlite, bentonite and pumice. Intense international competition and the emergence of higher qualitative products than the Greek, combined with low prices due to the exchange rates (eg with the corresponding prices in Turkey), and the reduced cement production are expected to lead to a significant reduction in domestic demand in the forthcoming years, leaving a significant amount of gypsum unusable.

Key-words: **Gypsum, Industrial Mineral, World Production, Reserves**

Κεφάλαιο 1^ο. Εισαγωγή

1.1 Περιγραφή Γύψου – Ανυδρίτη

Φυσικές μορφές του θειικού ασβεστίου αποτελούν η γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) γνωστή και ως διυδρίτης και ο ανυδρίτης (CaSO_4). Η χημική σύσταση της γύψου παρουσιάζει πολύ μικρές διακυμάνσεις, ενώ στην καθαρή της μορφή μπορεί να εμφανίζεται από άσπρη μέχρι διαφανής. Έχει τέλειο σχισμό και η σκληρότητα της είναι 1,5-2 της κλίμακας Mohs, ενώ περιέχει 32,5% CaO , 46,6% SO_3 και 20,9% H_2O (Babel, 1991). Ανάλογα με τις προσμίξεις που έχει και την κατεργασία που έχει υποστεί η γύψος, μπορεί να εμφανίζει μια πληθώρα χρωμάτων όπως καφέ, ροζ, γκρι, κόκκινο, ενώ οι εμπορικά εκμεταλλεύσιμες αποθέσεις περιέχουν συνήθως προσμίξεις ανυδρίτη, δολομίτη, πυριτίου, ασβεστόλιθου κ.ά. (Bernard, 1975). Ως υλικό έχει πολύ καλή αντίσταση στη φωτιά (λόγω της απομάκρυνσης του νερού ως αποτέλεσμα της θερμοκρασίας), ενώ γενικότερα είναι ένα αδρανές ορυκτό το οποίο έχει μεγάλες αντιστάσεις στις χημικές αλλαγές (Bernard, 1975). Στη πρωτογενή της μορφή μπορεί

να μετατραπεί σε ανυδρίτη όταν υφίστανται θέρμανση μεταξύ 35-45°C (εάν τα ρευστά των πόρων προσεγγίσουν τον κορεσμό), ενώ εάν η συγκέντρωσή τους είναι μικρότερη τότε για να μετατραπεί σε ανυδρίτη αναγκαία είναι η ύπαρξη θερμοκρασίας μεταξύ 50-60°C, καθώς και ταφή σε αρκετά μεγάλα βάθος (Babel, 1991). Ως υλικό εμφανίζεται σε αρκετές ποικιλίες, όπως ο σεληνίτης ο οποίος αποτελεί τη διάφανη μορφή της γύψου (Βλ. Εικ. 1) και το αλάβαστρο το οποίο αποτελεί μια πιο συμπαγή μορφή και μοιάζει με το αντίστοιχο μάρμαρο (Βλ. Εικ. 2).



Εικόνα 1. Σεληνίτης (Πηγή: <https://www.catawiki.com/el/1/24118501-58x50x40-mm-670-g-10>)



Εικόνα 2. Αλάβαστρο (Πηγή: https://magazino1.blogspot.com/2019/06/blog-post_33.html)

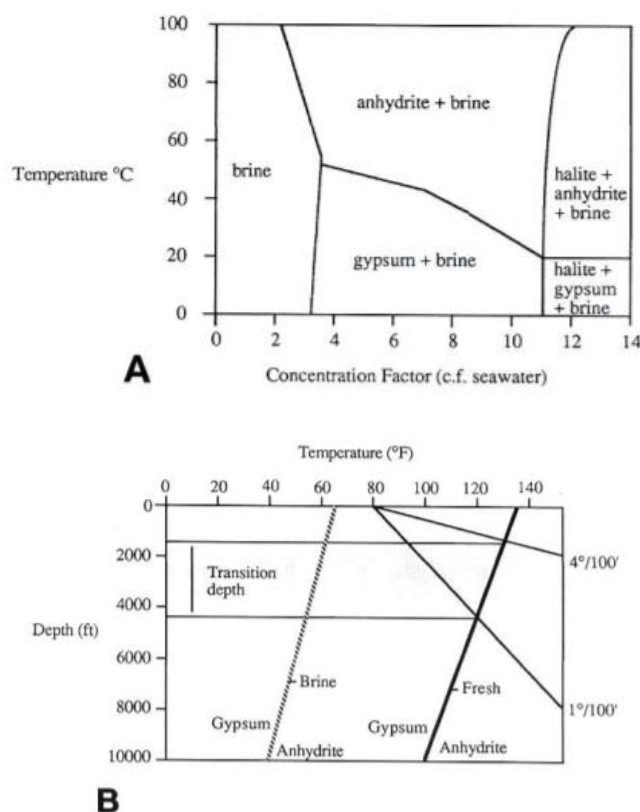
Ήδη από την αρχαιότητα ο άνθρωπος είχε αναγνωρίσει τα οφέλη της εφαρμογής της γύψου, χρησιμοποιώντας το θειικό ασβέστιο ως βασικό υλικό οικοδόμησης. Επιπρόσθετα διαπίστωσε πως όταν η γύψος υποβάλλεται σε μια ήπια θέρμανση τότε αυτή άρχιζε να αφυδατώνεται, χάνοντας νερό και μετατρέπεται σε ένα πολύτιμο υλικό, αυτό του πλαστικού γύψου, ο οποίος όταν αναμιγνύεται με νερό παράγει μια αρκετά εύπλαστη μάζα (γυψοπολτός) που είχε την ιδιότητα να σκληραίνει πολύ γρήγορα. Το υλικό είχε έντονη εφαρμογή κυρίως για εκτέλεση οικοδομικών εργασιών (πχ σφράγιση ταφικών μνημείων, σφράγιση διάκενων κ.ά.), σε κατασκευή αντικειμένων και για διακοσμήσεις εσωτερικών χώρων. Υπολογίζεται ότι

ο πλαστικός γύψος χρησιμοποιούνται πριν από 9.000 χρόνια, κυρίως στους πρώτους πολιτισμούς της Συρίας, της Ανατολίας, της Αιγύπτου και της Μεσοποταμίας. Ο όρος γύψος έχει σημιτική προέλευση και στα Αραμαϊκά ονομάζονταν «gassa» που σήμαινε πλαστική ύλη. Κατά την αρχαιότητα ο όρος «γύψος» περιείχε και τον ασβέστη (CaO) (στην Αρχαία Ρώμη την αποκαλούσαν «gypsum»), ενώ γενικά δήλωνε ένα υλικό γεώδες που μετά από διαδικασία «ψησίματος» και ανάμιξης με νερό, μετατρέπονταν σε ένα πολτώδες υλικό, το οποίο μέσα σε αρκετά σύντομο χρονικό διάστημα σκλήραινε και αποκτούσε συμπαγή μορφή. Η παραγωγή και η χρήση του πλαστικού γύψου μετατράπηκε και εξελίχθηκε σε υψηλή τέχνη από τους Γαλλορωμαϊκούς χρόνους και ειδικά στα γυψορυχεία της Μονμάρτης. Η καταστροφική πυρκαγιά του Λονδίνου το 1666, είχε σαν αποτέλεσμα το Παρίσι να εισάγει ειδικό νόμο (έτος 1700) για την κάλυψη των τοίχων των ξύλινων σπιτιών με γύψο, προκειμένου να προστατευθεί η πόλη από τις πυρκαγιές. Για τον άνωθι λόγο είναι κιόλας ευρύτερος γνωστός ο πλαστικός γύψος ως πλαστικός γύψος των Παρισίων (Plaster of Paris). Στις επόμενες υποενότητες θα παρουσιαστούν οι βασικές ιδιότητες και οι κυριότερες χρήσεις της γύψου.

1.2 Ιδιότητες

Στην καθαρή του μορφή ο ανυδρίτης περιέχει περίπου 41,5% CaO και 58,8% SO_3 , ποσοστό το οποίο είναι ισοδύναμο με 23,5% S (Bjorn, 2000). Δεν περιλαμβάνει ποσότητες κρυσταλλικού νερού, ενώ σε περίπτωση επαφής με το νερό ενυδατώνεται και αυτομάτως μετατρέπεται σε γύψο (Bjorn, 2000). Όσο πιο λεπτομερής είναι ο ανυδρίτης τότε εντονότερη είναι η ταχύτητα ενυδάτωσης και μετατροπής στην ένυδρη μορφή (Bjorn, 2000). Ο ανυδρίτης έχει συνήθως βασικό χρώμα το λευκό με τόνους μπλε, καφέ, κόκκινο ή γκρι και παρουσιάζει τρεις σχισμούς οι οποίοι είναι κάθετοι μεταξύ τους. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με τις αλλαγές στην πίεση, επηρεάζουν τις αρχικές αποθέσεις του γύψου όπως επίσης και την περιεκτικότητα των αλάτων των ρευστών, οδηγώντας στην αφυδάτωση της γύψου σε ανυδρίτη και την ενυδάτωση του ανυδρίτη σε γύψο. Όταν υπάρχουν θερμοκρασίες μεταξύ 150-160°C τότε η γύψος χάνει περίπου τα $\frac{3}{4}$ της περιεκτικότητας σε κρυσταλλικό νερό, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ο ημιυδρίτης ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), ενώ εάν προστεθεί νερό τότε αυτός μετατρέπεται ξανά σε γύψο (Bock, 1961). Όταν οι θερμοκρασίες είναι ακόμη υψηλότερες τότε έχουμε μετατροπή του ημιυδρίτη σε ανυδρίτη, ενώ σε γενικές γραμμές εάν η γύψος βρίσκεται σε βάθη που έχουν θερμοκρασία υψηλότερη από 60°C τότε αρχίζει σιγά-

σιγά η μετατροπή της σε ανυδρίτη (Bock, 1961). Η διαδικασία μετατροπής ολοκληρώνεται σε βάθη άνω των 1.000 μέτρων, ωστόσο εάν οι πόροι των ρευστών έχουν υψηλή περιεκτικότητα (saline), τότε η μετατροπή γίνεται σε βάθη μόλις 1 ή 2 μέτρων (Ghrefat & Howari, 2011). Όταν η γύψος μετατρέπεται σε ανυδρίτη τότε υφίσταται μείωση του όγκου του θεικού πετρώματος κατά 38%, ενώ αυξάνεται αντιστοίχως το πορώδες (Bouzit et al., 2019) (Βλ. Εικόνα 3).



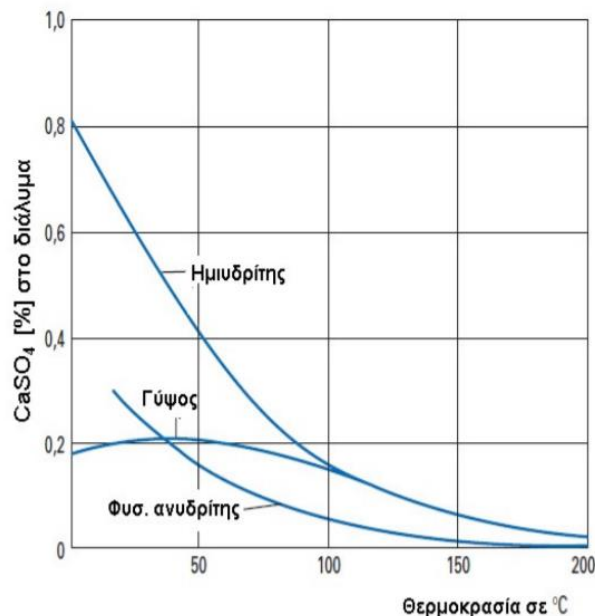
Εικόνα 3. Μετάβαση γύψου-ανυδρίτη, από Melvin (1991). Α) Η σταθερότητα των ορυκτών θεικού ασβεστίου (κατά Hardie, 1967). Β) Η σταθερότητα των ορυκτών θεικού ασβεστίου υπό όρους πίεσης και βάθους. (κατά Holster, 1979).

Οι πιο γνωστοί τύποι ημιυδρίτη είναι δυο, ο **α-ημιυδρίτης** και ο **β-ημιυδρίτης**. Ο α-ημιυδρίτης είναι πιο σταθερός (παίρνει τη μορφή του άνυδρου θεικού ασβεστίου σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 1.200°C και εμφανίζει πληθώρα φυσικών ιδιοτήτων καθώς οι κρύσταλλοι του έχουν μεγαλύτερο μέγεθος. Ο β-ημιυδρίτης ή αλλιώς φυσικός, όταν οι θερμοκρασίες είναι της τάξεως των 1.200°C είναι σταθερός (Bouzit et al., 2019). Η αποσύνθεση του εκάστοτε ορυκτού εξαρτάται από την υπάρχουσα θερμοκρασία αλλά και την περιεκτικότητα σε άλατα του υδατικού διαλύματος. Θα πρέπει να σημειωθεί πως ο ανυδρίτης

είναι η πιο συχνή μορφή ορυκτού σε μεγάλα βάθη, κυρίως λόγω της αφυδάτωσης της γύψου. Για να μετατραπεί ο ανυδρίτης σε γύψο (γυψοποίηση του ανυδρίτη), τότε ο ανυδρίτης θα πρέπει να ανέλθει από τα μεγάλα βάθη που βρίσκεται σε μικρότερα και να έλθει σε επαφή με πετρώματα που έχουν νερό.

Οι κρύσταλλοι που συνθέτουν τη γύψο εμφανίζονται με διάφορες μορφές (πλακώδεις, πρισματικοί, φυλλώδεις, βελονοειδείς) ανάλογα με το εξωτερικό περιβάλλον στο οποίο έρχονται σε επαφή. Όταν η περιοχή είναι ερημική, τότε η γύψος σχηματίζει ρόδακες από κρυστάλλους που είναι αδιαφανείς και οι οποίοι περιέχουν κόκκους άμμου λαμβάνοντας τη γνωστή μορφή του «ρόδου της ερήμου». Η εισχώρηση πολλών κρυστάλλων ο ένας μέσα στον άλλον (ύπαρξη διδυμίας) έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ξεχωριστού φαινομένου που ονομάζεται «ουρά χελιδονιού». Οι κρύσταλλοι που συνθέτουν τη γύψο χαρακτηρίζονται από υαλώδη έως μαργαριτωδή λάμψη, αρκετά ανώμαλο θραυσμό και σχισμό ο οποίος είναι τέλειος. Εξαιτίας του σχισμού αυτού, δημιουργούνται πλακίδια και φύλλα, τα οποία ωστόσο δεν έχουν την αναγκαία ευκαμπτότητα και θρυμματίζονται πολύ εύκολα (Ghrefat & Howari, 2011). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η γύψος είναι κυρίως λευκή ή άχρωμη, ενώ μερικές φορές εμφανίζει αποχρώσεις άλλων χρωμάτων όπως κόκκινο, κίτρινο και γκρι. Οι ποικιλίες των χρωμάτων που μπορεί να εμφανίσει το ορυκτό δημιουργούνται λόγω της παρουσίας εγκλεισμάτων. Το ειδικό της βάρος είναι περίπου $2,79\text{g/cm}^3$, είναι αρκετά εύθρυπτη και σε περίπτωση που τοποθετηθεί κάτω από λυχνία υπεριώδους ακτινοβολίας τότε εκπέμπει πράσινο φως (Giuliaet.al., 2021). Σε φυσικό περιβάλλον μπορεί να διαλυθεί ευκολότερα από τον ασβεστίτη, ωστόσο όταν διαλύονται πετρώματα που αποτελούνται από γύψο τότε δημιουργούνται κενά τα οποία πολλές φορές είναι επικίνδυνα έγκοιλα. Με την ανάμιξη της πλαστική γύψου στο νερό τότε δημιουργείται ένα μίγμα το οποίο σκληραίνει γρηγορότερα και μετατρέπεται ξανά σε γύψο (Ghrefat & Howari, 2011)(ιδιότητα που αξιοποιείται σε οικοδομικές και ιατρικές εργασίες). Όταν υπάρχουν θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 175°C τότε η γύψος χάνει ακόμη περισσότερο νερό και σκληρύνεται σε βραδύτερους ρυθμούς (Giuliaet.al., 2021). Όταν οι θερμοκρασίες είναι $200\text{-}300^\circ\text{C}$ τότε δημιουργείται ο ανυδρίτης II ή βιομηχανική γύψος (Βλ. Εικ. 4), η οποία δεν διαθέτει καθόλου νερό, όμως έχει ακόμη την ικανότητα να ανακτήσει τα δυο μόρια νερού που έχει χάσει (ικανή για επαναπρόσληψη νερού). Η συγκεκριμένη γύψος πήζει πολύ γρήγορα και χρησιμοποιείται κυρίως στον τομέα της τοιχοποιίας. Όταν η θερμοκρασία είναι μεταξύ $300\text{-}500^\circ\text{C}$ τότε δημιουργείται η υδραυλική γύψος, η οποία έχει ακόμη πιο αργή πήξη (Giuliaet.al., 2021). Η συγκεκριμένη γύψος είναι ακόμη πιο πολύ ανθεκτική και για να πλαθεί χρειάζεται ίσος όγκος νερού με τον αντίστοιχο της ποσότητας. Τέλος, όταν η θερμοκρασία είναι άνω των 500°C ,

τότε δημιουργείται η αδρανής γύψος η οποία δεν έχει πλέον την ικανότητα να προσλάβει νερό και αξιοποιείται σε τσιμέντα και μαρμαροκονιάματα (Gobran, 1985).



Εικόνα 4. Υδατοδιαλυτότητα διαφόρων μορφών CaSO_4 (Copeland & Kantro 1968).

Η πλαστική γύψος έχει **μικρή μηχανική αντοχή** η οποία εξαρτάται από το λόγο νερό/γύψος (Ghrefat&Howari, 2011). Ο τραχύς γύψος από την άλλη έχει τετραπλάσια αντοχή, ενώ η υγρασία στους πόρους επιδρά αρνητικά στην αντοχή της γύψου μειώνοντας την κατά 60% περίπου όταν υπάρχει υγρασία της τάξεως του 0% και 1% (Gorban, 1985). Η γύψος όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως είναι διαλυτή στο νερό, ακόμη και μετά τη σκλήρυνση της. Αυτό αποτελεί ένα από τα βασικά της μειονεκτήματα σε σχέση με τις υπόλοιπες κονίες. Από την άλλη πλευρά η γύψος έχει **μικρό συντελεστή θερμοαγωγιμότητας** με αποτέλεσμα να μην επιτρέπεται εύκολα η διέλευση της θερμότητας (Ghrefat & Howari, 2011). Τα κονιάματα από γύψο έχουν τριπλάσια μονωτική ικανότητα από τα υπόλοιπα, με αποτέλεσμα να διέρχεται δύσκολα όχι μόνο θερμότητα αλλά και ήχος από αυτά. Είναι περισσότερο **ανθεκτική σε υψηλές θερμοκρασίες** από ότι τα υπόλοιπα υλικά, ενώ παράλληλα έχει την ικανότητα να απορροφά μεγάλες ποσότητες θερμότητας χωρίς να αυξάνεται η θερμοκρασία της και χωρίς να διαστέλλεται όπως συμβαίνει με άλλα υλικά (Herreroet.al., 2009). Τη μεγαλύτερη σκληρότητα την έχει ο τραχύς γύψος, ο οποίος μέσα από ειδικές μεθόδους μπορεί να εμφανίζει σημαντικό βαθμό σκληρότητας σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους (Honorka, 1992).

1.3 Κυριότερες χρήσεις της γύψου

Η γύψος αξιοποιείται κυρίως στον οικοδομικό, στον βιομηχανικό, στο γεωργικό, στο καλλιτεχνικό και στον ιατρικό κλάδο. Στον **οικοδομικό τομέα** η πιο συνηθισμένη γύψος είναι ο πλαστικός γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) με εφαρμογή σε απλές οικοδομικές εργασίες και ως διακοσμητικό στοιχείο στο εσωτερικό των χώρων. Σε μεγαλύτερες ποσότητες η πλαστική γύψος χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των γυψοσανίδων, οι οποίες κατασκευάζονται ύστερα από πίεση του πλαστικού γύψου με τα παχιά φύλλα χαρτιού (οι διαστάσεις των γυψοσανίδων είναι συνήθως τυποποιημένες). Εκτός από το αρκετά μικρό κόστος των γυψοσανίδων και την ευκολία εγκατάστασης τους, διαθέτουν αρκετά μικρή θερμική αγωγιμότητα με αποτέλεσμα σε περίπτωση που εντός της οικίας ξεσπάσει πυρκαγιά, να προστατευθεί ο χώρος καθώς ο γύψος λειτουργεί ως μονωτικό υλικό. Η θερμοκρασία του τοίχου μπορεί να προστατευθεί μέχρι ο γύψος να αφυδατωθεί πλήρως, ενώ μπορεί να προσφέρει επίσης και εξαιρετική ηχομόνωση η οποία ωστόσο εξαρτάται από τον τρόπο κατασκευής και τη τεχνολογία που εφαρμόστηκε στη γυψοσανίδα (Cooper & Calow, 1998). Στον **βιομηχανικό κλάδο**, η γύψος χρησιμοποιείται στην τσιμεντοβιομηχανία έχοντας τη μορφή της φυσικής γύψου. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή του τσιμέντου Portland, συμμετέχοντας σε αναλογία περίπου 5% (Cooper & Calow, 1998). Κατά την παραγωγή των τσιμέντων Portland η γύψος ή η γύψος σε ανάμιξη με ανυδρίτη, αλέθονται με κλίνκερ μαζί μέχρι να παραχθεί το τελικό προϊόν το οποίο είναι το τσιμέντο (βασική παράμετρος πήξης και σκλήρυνσης του τσιμέντου είναι η αντίδραση ενυδάτωσης του CaSO_4). Η χρήση της γύψου στην τσιμεντοβιομηχανία πραγματοποιείται λόγω του επιβραδυντικού της ρόλου και τις δράσεις της κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου (θειοαρλικό ασβέστιο) (Honorka, 1992). Η φυσική γύψος έχει εφαρμογή και σε μικρότερης κλίμακας εφαρμογές όπως παραδείγματος χάρη στις βιομηχανίες υφασμάτων, χαρτιού και χρωμάτων ως πληρωτικό υλικό. Εφαρμόζεται ακόμη και στις φαρμακευτική βιομηχανία (για την παραγωγή οδοντόκρεμας, πούδρας, εντομοκτόνων κ.ά.) καθώς και στη βιομηχανία των ελαστικών (Tesáreket.al., 2015). Επιπρόσθετα στη χημική βιομηχανία η φυσική γύψος αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά για την παραγωγή χημικών προϊόντων, όπως το θειικό οξύ (H_2SO_4) και η θειική αμμωνία η οποία αξιοποιείται για την παραγωγή θεικών λιπασμάτων. Η μορφή της πλαστικής γύψου αξιοποιείται κυρίως στον τομέα της κεραμικής

για τη δημιουργία καλουπιών, ειδών υγιεινής, κεραμικών και μασκών, λόγω της μεγάλης πλαστικότητας η οποία διέπει την ημιάνδρη μορφή της γύψου. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί πως η φυσική μορφή της γύψου έχει εφαρμογή και στους τομείς της ζυθοποιίας, για την αποσκλήρυνση του νερού, των γεωτρήσεων πετρελαίου, της υαλουργίας για τη διαύγηση του γυαλιού και της μεταλλουργίας προκειμένου να γίνει η τήξη των μεταλλευμάτων.

Στον **γεωργικό κλάδο** η φυσική γύψος αξιοποιείται προκειμένου να εξουδετερωθούν τα αλκαλικά και αλατούχα εδάφη, ενώ παράλληλα μέσα από την χρήση της διευκολύνεται η διαπερατότητα των αργιλικών στρωμάτων και ο εφοδιασμός τους με θειάφι και άλλα θρεπτικά στοιχεία. Επίσης χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις και σαν συνθετικό λίπασμα $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ κατόπιν βιομηχανικής επεξεργασίας. Στον **κλάδο της τέχνης** η γύψος αξιοποιείται ως υλικό χύτευσης, ενώ εφαρμόζεται παράλληλα για τη δημιουργία και παραγωγή διάφορων αγαλμάτων και λεπτουργημάτων. Θα πρέπει να σημειωθεί πως ειδικά το αλάβαστρο και η ινομεταξώδης μορφή της φυσικής γύψου αξιοποιούνται σε μεγάλο βαθμό στον τομέα της αγαματοτεχνίας και διακοσμητικής, λόγω του υπέροχου λευκού χρώματος και της μοναδικής πλαστικότητας της. Στον **ιατρικό κλάδο** η πλαστική γύψος εφαρμόζεται κυρίως στον τομέα της ορθοπεδικής ως νάρθηκας-επίδεσμος, κυρίως λόγω της πλαστικότητας και της σκληρότητας της, αλλά και του εξαιρετικού pH το οποίο είναι περίπου ίδιο με αυτό του ανθρώπινου δέρματος. Χρησιμοποιείται επίσης και στον τομέα της οδοντοτεχνικής για καλούπια, υπό τη μορφή διαλυτού ανυδρίτη προκειμένου να δημιουργηθούν εκμαγεία οδοντοστοιχιών. Το θειικό ασβέστιο είναι αρκετά βιοσυμβατό υλικό (Jeschke et.al., 2001) και αξιοποιείται ως ένα συστατικό οστικής αναγέννησης αλλά και ως υλικό οδοντικών εμφυτευμάτων. Όταν εμφυτευθεί στο σώμα, τότε αυτό αρχίζει να διαλύεται με βραδύ ρυθμό, προσφέροντας στον οργανισμό τα αναγκαία ιόντα ασβεστίου και θείου. Τα ιόντα αυτά στη συνέχεια συνδέονται με τα φωσφορικά ιόντα των σωματικών υγρών και δημιουργούν το φωσφορικό ασβέστιο. Αυτό με τη σειρά του συνδέεται με το υπάρχον κρυσταλλικό πλέγμα των ιστών και δημιουργείται η αναγκαία οστική μάζα στο σημείο του σώματος. Τέλος, αξιοποιείται από διάφορα **χημικά εργαστήρια** υπό τη μορφή χονδρόκοκκου διαλυτού ανυδρίτη ως ξηραντικό μέσο αερίων και διαλυτών, υπό την εμπορική ονομασία Drierite (Βλ. Εικ. 5). Αν και έχει περιορισμένη χωρητικότητα σε νερό (μόλις 10%), είναι σχετικά χημικά αδρανής με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα να αναζωογονηθεί αρκετά εύκολα με θέρμανση στους 200°C προκειμένου να γίνει επαναχρησιμοποίησή του (Herrero et.al., 2009).

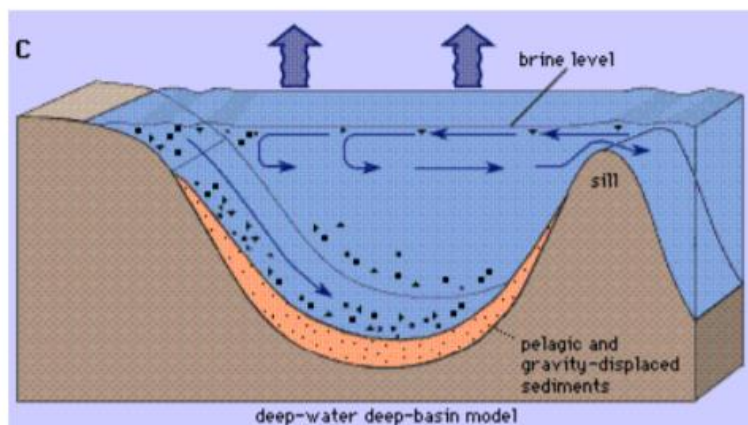


Εικόνα 5. Αριστερά: Drierite με δείκτη κορεσμού υγρασίας (φρέσκος και εξαντλημένος). Δεξιά: Τυπική εμπορική συσκευασία Drierite (Πηγή: http://195.134.76.37/chemicals/chem_CaSO4.htm)

Κεφάλαιο 2°. Γεωλογικά στοιχεία – Συνθήκες σχηματισμού

2.1 Γεωλογία περιβάλλοντος Βαθιάς Λεκάνης

Στο μοντέλο βαθιάς λεκάνης, όπως και σε όλα τα μοντέλα απόθεσης εβαποριτών, απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο ρυθμός εξάτμισης να υπερβαίνει το ρυθμό εισροής νερού ύστερα από τη βροχόπτωση, επιφανειακή ή υπεδάφικη ροή καθώς και την εισροή νερού από την ανοιχτή θάλασσα (Jeschke et al., 2001). Μορφολογική ανάγκη κρίνεται επομένως η ύπαρξη ενός φραγμού ο οποίος εμποδίζει την ελεύθερη και απεριορίστη ανάμειξη του νερού της βαθιάς λεκάνης με το αντίστοιχο της ανοιχτής θάλασσας (Βλ. Εικ. 6).



Εικόνα 6. Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου Βαθιάς Λεκάνης (Πηγή: <https://www.britannica.com/science/sedimentary-rock/Evaporites>)

Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι παρόμοιο με το αντίστοιχο της Μεσογείου, της Ερυθράς Θάλασσας και των Νορβηγικών φιόρδ. Θα πρέπει να σημειωθεί ωστόσο πως η διαδικασία απόθεσης των εβαποριτών στο μοντέλο της Βαθιάς Θάλασσας δεν έχει αποκρυπτογραφηθεί πλήρως. Σύμφωνα με τους ερευνητές, μια πιθανή αλληλουχία των σταδίων που υφίστανται και οδηγούν στην απόθεση των εβαποριτών διακρίνεται σε τέσσερα συνεχόμενα και αλληλένδετα στάδια (Einsele, 2000). Στο πρώτο στάδιο το νερό της ανοιχτής θάλασσας (πυκνότητα $1,02\text{g/cm}^3$) εισάγεται στη λεκάνη και ως αποτέλεσμα αυξάνει την πυκνότητα του νερού που βρίσκεται σε αυτήν, λόγω της επιφανειακής εξάτμισης (Karni, &Karni, 1995). Η πυκνότητα των περιθωρίων της λεκάνης αυξάνεται περισσότερο, ενώ η κυκλοφορία του νερού δημιουργεί βύθιση του πυκνότερου νερού (οι συνθήκες αυτές συμβαίνουν πιο συχνά στη Μεσόγειο). Στο δεύτερο στάδιο η συνεχής βύθιση του αλμυρού νερού, το οποίο έχει σχηματισθεί στην επιφάνεια και είναι πυκνό, έχει ως αποτέλεσμα την μετάθεση του νερού με κανονική πυκνότητα εντός της λεκάνης και το σχηματισμό στάσιμου νερού στον πυθμένα στον οποίο δεν υπάρχει οξυγόνο. Το συγκεκριμένο στάδιο είναι όξινο, και η κανονική απόθεση ανθρακικών σταματάει και αντικαθίσταται από τη συσσώρευση σκούρων οργανικών πηλών (Iovine, et.al., 2001). Η πυκνότητα του νερού το οποίο βρίσκεται στον πυθμένα υπολογίζεται περίπου στα $1,08\text{g/cm}^3$ (Iovine et.al., 2001). Στο επόμενο στάδιο η συνεχής επιφανειακή εξάτμιση έχει σαν αποτέλεσμα την καθίζηση του πρώτου εβαποριτικού ορυκτού, της **γύψου** (Testa & Lugli, 2000). Η γύψος εμφανίζεται στα απόκεντρα μέρη της λεκάνης και για να σχηματισθεί θα πρέπει να υπάρχουν πυκνότητες της τάξεως του $1,10\text{g/cm}^3$. Στη συνέχεια οι κρύσταλλοι της γύψου διαλύονται καθώς καθιζάνουν προς το βάθος της λεκάνης μέσα από το νερό το οποίο έχει μικρότερη πυκνότητα και δεν είναι πλήρως κορεσμένο σε θειικό ασβέστιο. Στο τέταρτο στάδιο όλη σχεδόν η λεκάνη έχει γεμίσει με νερό πυκνότητας περίπου $1,25\text{g/cm}^3$. Γύψος, ανυδρίτης και αλίτης αποτίθενται χωρίς να υπάρχει επαναδιαλυτοποίηση, ενώ παράλληλα μικροδιακυμάνσεις που μπορεί να υπάρχουν στην αλατότητα επηρεάζουν την ποσότητα και το είδος των αποτιθέμενων ορυκτών (Karni, &Karni, 1995). Στο σημείο αυτό υφίσταται συνεχής απόθεση εβαποριτών. Στο τελευταίο στάδιο, η λεκάνη έχει γεμίσει εξολοκλήρου με εβαποριτικά άλατα τα οποία βρίσκονται στην επιφάνεια και η κανονική ιζηματογένεση που σχετίζεται με κινήσεις της ακτογραμμής καλύπτει τους εβαπορίτες διατηρώντας τα στρώματα (Kasprzyk, 1995). Εάν το επίπεδο της θάλασσας χαμηλώσει ή ανυψωθεί ως αποτέλεσμα τεκτονικών κινήσεων, τότε η εισροή θαλασσινού νερού θα σταματήσει με αποτέλεσμα να διατηρηθούν οι εβαποριτικοί σχηματισμοί. Προκειμένου να σχηματισθεί ο γύψος ωστόσο, πρέπει να υφίστανται συγκεκριμένες συνθήκες οι οποίες λειτουργούν αλληλένδετα ως αλληλουχία ιζηματογένεσης.

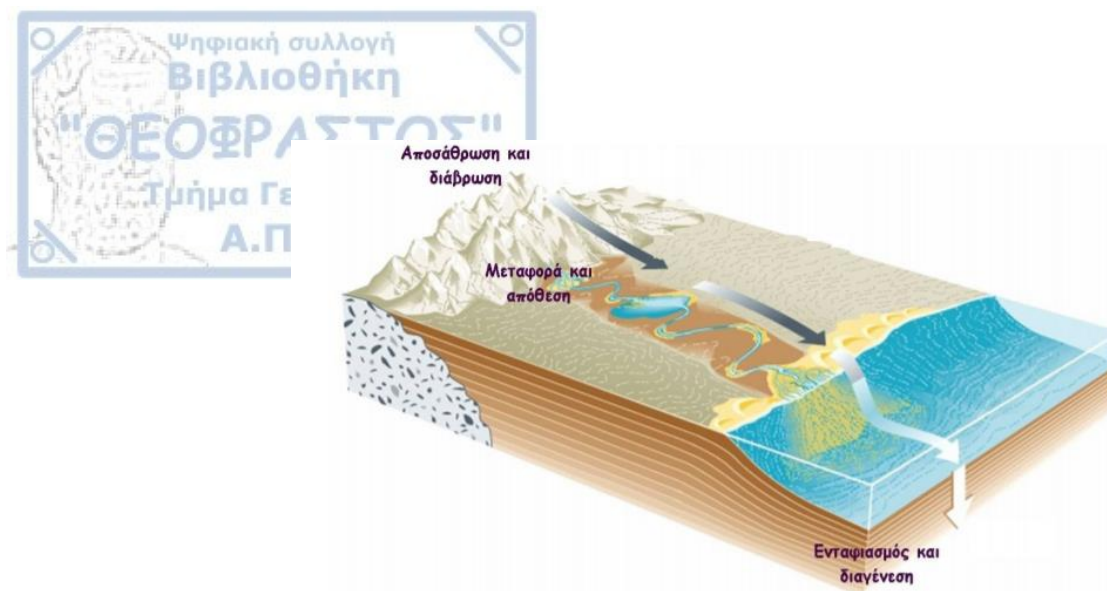
2.2 Συνθήκες Σχηματισμού

Οι εβαπορίτες είναι χημικά ιζηματογενή κοιτάσματα τα οποία έχουν δημιουργηθεί από την απόθεση διάφορων χλωριούχων και θεικών αλάτων σε λεκάνες θαλασσών ή λίμνες. Με την εξάτμιση του νερού (το θαλάσσιο ή το λιμναίο) σχηματίζονται ανθρακικά ορυκτά για αρχή, ενώ στη συνέχεια δημιουργούνται θειικά ορυκτά και τέλος όσο η εξάτμιση συνεχίζει να υφίσταται δημιουργούνται χλωριούχα ορυκτά (Kasprzyk, 1995). Τα κυριότερα ορυκτά των εβαποριτών είναι η γύψος, ο ανυδρίτης και ο αλίτης. Υπάρχουν βέβαια και άλλα ορυκτά σε μικρότερες ποσότητες και ανάλογα το περιβάλλον όπως ο συλβίνης, ο καρναλλίτης, ο πολυαλλίτης, ο κιζερίτης κ.ά. Η διαδικασία της ιζηματογένεσης ξεκινάει από την απόθεση των υδροξειδίων Fe&Al, ακολουθεί η ανάπτυξη του ασβεστίτη και δολομίτη, στη συνέχεια ακολουθεί η δημιουργία της γύψου, του ανυδρίτη και της εναλλαγής μεταξύ αυτών, ενώ η ιζηματογένεση ολοκληρώνεται με τη δημιουργία του αλίτη και αλάτων μαγνησίου (Βλ. Εικ. 7).

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

Εικόνα 7. Αλληλουχία ιζηματογένεσης (Testa & Lugli, 2000).

Συνήθως η διαδικασία της ιζηματογένεσης φθάνει μέχρι το σημείο που σχηματίζονται οι ακολουθίες γύψου και ανυδρίτη, σε εναλλαγές με ασβεστίτη, δολομίτη ή αργιλικά ορυκτά. Ακόμη πιο συχνά η διαδικασία φτάνει και μέχρι τη δημιουργία αλίτη, ο οποίος αποτίθεται σε στρώσεις και εναλλαγές με γύψο, ανυδρίτη και κλαστικά υλικά (Klimchouket.al., 1996). Κατά τη διαδικασία της εξάτμισης του θαλάσσιου νερού δημιουργείται αρχικά γύψος, όταν ο όγκος του νερού πέσει στο 30% του αρχικού, ανυδρίτης όταν ο όγκος του νερού πέσει στο 14%, αλίτης όταν φτάσει το 10% και αλάτων καλίου & μαγνησίου όταν φτάσει στο 5% (Melvin, 1991). Θα πρέπει να τονισθεί ότι η θερμοκρασία, η αλμυρότητα και η σύσταση του νερού επηρεάζουν τη σειρά σχηματισμού των ορυκτών και οδηγούν την επαναδιάλυση των ορυκτών τα οποία έχουν καθιζήσει και σχηματίζουν τα νέα ορυκτά (Kougiaset.al., 2019) (Βλ. Εικ. 8).



Εικόνα 8. Βασικά στάδια σχηματισμού των ιζηματογενών πετρωμάτων (Πηγή: http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_sedimentary.htm)

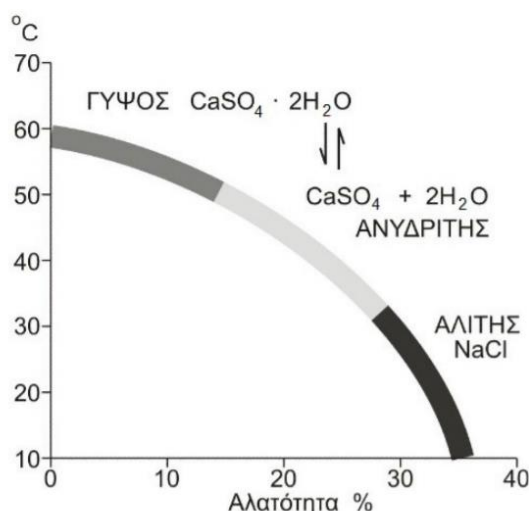
Οι εβαπορίτες είναι τοποθετημένοι σε ενδοηπειρωτικές λεκάνες, τάφρους, λιμνοθάλασσες και στο βυθό των θαλάσσιων λεκανών (Warren, 1997). Η γένεση και δημιουργία τους ακολουθεί συνήθως συγκεκριμένα στάδια. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως μέσω της εξάτμισης του επιφανειακού νερού της θάλασσας ή των λιμνών, δημιουργείται ένα στρώματα μεγαλύτερης αλμυρότητας το οποίο πέφτει στο θαλάσσιο βυθό (καθώς είναι βαρύτερο) και δημιουργείται ένας στάσιμος και μεγάλης συγκέντρωσης υδάτινος ορίζοντας προκαλώντας την καθίζηση των εβαπορίτων (Βλ. Εικ. 9).



Εικόνα 9. Αποτέλεσμα εξάτμισης θαλασσινού νερού (Warren, 1997)

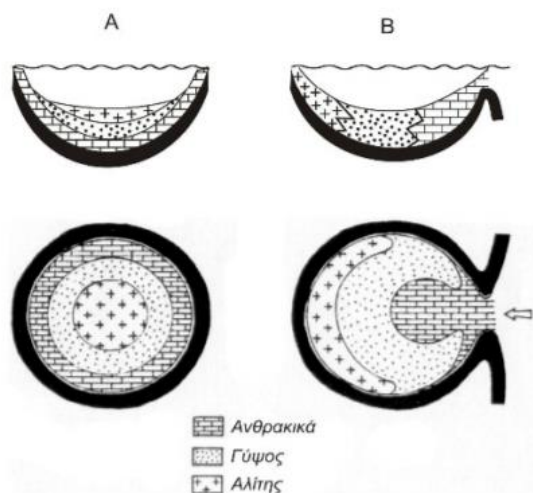
Στην περίπτωση των ενδοκρατονικών λεκανών όπως αυτή της Κασπίας, όταν η εξάτμιση είναι μεγαλύτερη από την εισροή των γλυκών υδάτων, τότε αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία υπέρκορων διαλυμάτων (Minardet.al., 2007) από τα οποία καθιζάνουν αρχικά ανθρακικά ορυκτά και στη συνέχεια γύψος και ορυκτό αλάτι. Η απόθεση τους

πραγματοποιείται σε ομόκεντρες επιφάνειες, έχοντας το κέντρο της λεκάνης τα χλωριούχα άλατα τα οποία είναι και τα τελευταία τα οποία αποτίθενται (Βλ.Εικόνα 10). Όταν υφίσταται απομόνωση λιμνοθάλασσας από την ανοιχτή θάλασσα τότε δημιουργούνται υπέρκορα διαλύματα, από τα οποία καθιζάνουν αρχικά ανθρακικά και έπειτα θειικά και χλωριούχα άλατα (Notholt & Highley, 1975). Όσο η λιμνοθάλασσα ανεφοδιάζεται με θαλασσινό νερό τόσο μεγαλύτερου πάχους εβαπορίτες δημιουργούνται (Notholt & Highley, 1975).



Εικόνα 10. Παραγωγή εβαποριτών σε σχέση με τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού στη λεκάνη ιζηματογένεσης (Τσιραμπίδης, 2005)

Σύμφωνα με εκτιμήσεις επιστημόνων χρειάζεται να εξατμισθούν περίπου 1000m στήλης θαλασσινού νερού, προκειμένου να δημιουργηθούν περίπου 0,75m γύψου και 13,7m αλίτη (Reethu et.al., 2020). Η βασικότερη παράμετρος σχηματισμού εβαποριτών είναι το κλίμα, το οποίο είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με το ρυθμό τροφοδοσίας της εβαποριτικής λεκάνης με υλικά και νερό (Selley et.al., 2005). Το καταλληλότερο κλίμα για τη δημιουργία εβαποριτών είναι το κλίμα τύπου «Arid» ή «Semiarid», το οποίο έχει μικρό ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και έντονο ρυθμό εξάτμισης (Rouchy et.al., 1995). Τα κυριότερα μοντέλα εβαποριτικής σύνθεσης είναι αυτό το μοντέλο κλειστής και ημίκλειστης λεκάνης ιζηματογένεσης (Βλ. Εικ. 11).



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

Εικόνα 11. Μοντέλα εβαποριτικής απόθεσης (Τσιραμπίδης, 2004).

Όσον αφορά την Ελλάδα, εβαπορίτες και κυρίως ανυδρίτης και γύψος υπάρχουν σε ογκώδη κοιτάσματα στη δυτική Ελλάδα, στην Κάρπαθο και στην Κρήτη. Είναι κυρίως περμιο-κατωτριάδικης ηλικίας και καλύπτονται από ένα μεσοζωικό κάλυμμα, με αρκετές παρεμβολές ορυκτού άλατος. Έχουν εξαιρετική ποιότητα και υπάρχουν αρκετά μεγάλα αποθέματα τα οποία τα καθιστούν ανταγωνιστικά σε Διεθνές επίπεδο.

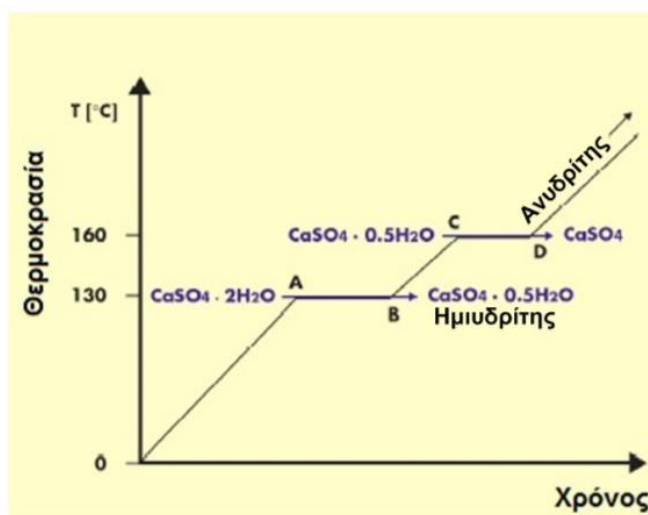
2.3 Κυριότερες τεχνικές εκμετάλλευσης

Η γύψος μπορεί να ληφθεί με εφαρμογή επιφανειακών ή υπόγειων τεχνικών εξόρυξης. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το πάχος και την κλίση του κοιτάσματος, των υπερκειμένων και το ανάγλυφο της περιοχής. Όταν υπάρχουν οριζόντια κοιτάσματα με ελάχιστα ή καθόλου υπερκείμενα, τότε επιλέγεται η επιφανειακή τεχνική εξόρυξης. Αν τα υπερκείμενα έχουν μεγάλο πάχος, τότε αυτά θα πρέπει να απομακρυνθούν για να μην υπάρχουν ανωμαλίες στην οροφή του κοιτάσματος (Shabafrooz et.al., 2013). Εάν η ποσότητα των υπερκειμένων είναι μικρή τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκρηκτικά τα οποία διαχωρίζουν τα υπερκείμενα από το μετάλλευμα. Η γύψος έχει την ικανότητα να απορροφά τη δύναμη της έκρηξης και ως αποτέλεσμα απαιτείται πυκνή διάταξη διατηρημάτων προκειμένου να υπάρχει ικανοποιητική θραύση (Jietal., 2001). Οι υπόγειες μέθοδοι εξόρυξης δεν έχουν συχνή εφαρμογή, εκτός και εάν το κοιτάσμα έχει πολύ ισχυρή οροφή και απαιτείται ελάχιστη ή καθόλου υποστήριξη. Εάν τα κοιτάσματα βρίσκονται σε μεγαλύτερα

βάθη, τότε αναγκαία κρίνεται η εφαρμογή κεκλιμένου ή κατακόρυφου φρέατος. Για οριζόντια ή ελαφρώς βυθιζόμενα στρώματα τότε εφαρμόζεται η τεχνική των θαλάμων και στηλών με απόληψη του συνολικού όγκου πετρώματος της τάξεως του 70-80% (Shearman, 1985). Σημαντικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός πως η γύψος εξορύσσεται και θρυμματίζεται αρκετά εύκολα (Tian&Cohen, 2000), μειώνοντας σημαντικά το κόστος της εξόρυξης. Η προπαρασκευή της χωρίζεται σε τρία βασικά στάδια, στο στάδιο της προετοιμασίας του πετρώματος, στο στάδιο της πύρωσης και στο στάδιο της μορφοποίησης και κατασκευής. Ανάλογα την καθαρότητα της γύψου και το επιθυμητό αποτέλεσμα χρησιμοποιούνται διαφορετικά μέσα για την ολοκλήρωση του κάθε σταδίου (Sadeghiamirshahidi & Vitton, 2019).

Στο αρχικό στάδιο η πρώτη ύλη (πετρώματα με υψηλή περιεκτικότητα σε φυσική γύψο) εξορύσσεται στο ορυχείο, το οποίο τροφοδοτεί το συγκρότημα της θραύσης το οποίο μειώνει τα μεγέθη των τεμαχίων. Τα αρχικά μεγέθη που μπαίνουν στον θραυστήρα είναι συνήθως από 0,5 έως 1 μέτρο, ενώ με την έξοδο τους ανέρχονται σε μέγεθος μικρότερο των 40mm. Το υλικό αφού βγει από τον θραυστήρα οδηγείται μέσα από εάν αναβατόριο σε ένα ενδιάμεσο silo αποθήκευσης το οποίο έχει χωρητικότητα τουλάχιστον 500 τόνους. Από εκεί γίνεται η τροφοδότηση του συγκροτήματος δευτερογενούς θραύσης και προκαταρκτικής ξήρανσης της γύψου. Η πύρωση της γύψου και η λειοτρίβηση της πραγματοποιείται σε κατακόρυφους κυλινδρόμυλους με ενσωματωμένους αεροδιαχωριστές προκειμένου να γίνει καλύτερη ταξινόμηση του μεγέθους των κόκκων. Όταν οι κόκκοι γύψου βγουν τότε το μέγεθος τους θα κυμαίνεται μεταξύ 60 και 200μm. Τα προϊόντα που προκύπτουν από την πρωτογενή και δευτερογενή θραύση ταξινομούνται στη συνέχεια κατά μέγεθος τεμαχίων σε διάφορα δονούμενα κόσκινα, προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση της θραύσης και να ανακτηθούν τα απαραίτητα πετρώματος τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή εμπορικών προϊόντων (όπως το τσιμέντο Πόρτλαντ). Στα πρωτογενής ή δευτερογενή στάδια της θραύσης πραγματοποιείται η προκαταρκτική ξήρανση που επικεντρώνεται στην αφαίρεση της επιφανειακής υγρασίας που υπάρχει στη γύψο. Όταν η γύψος περιέχει υγρασία τότε είναι αρκετά δύσκολη στη χρήση της (YeZhangetal, 2019) και για το λόγο αυτό εφαρμόζεται η διαδικασία της προξήρανσης προκειμένου να εξασφαλιστεί η ελεύθερη ροή του υλικού στα επόμενα στάδια. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε περιστροφικούς ξηραντήρες, οι οποίοι ρυθμίζονται σε θερμοκρασίες το μέγιστο 120°C, για να γίνει η απομάκρυνση του κρυσταλλικού νερού (Ridge, 1958). Μετά τη λειτουργία του μύλου, το κονιοποιημένο και μερικώς ξηραμένο υλικό, εξέρχεται με διάφορα καυσαέρια ξήρανσης και μεταφέρεται σε μια

συστοιχία σακκόφιλτρων όπου γίνεται ο διαχωρισμός και συγκεντρώνεται σε ένα ενδιάμεσο silo αποθήκευσης. Ένα ποσοστό από τα καυσαέρια που βγαίνουν από τα φίλτρα πηγαίνουν στο περιβάλλον και ένα άλλο μέρος τους επανακυκλοφορεί για την εκ νέου ανατροφοδότηση του μύλου. Σε ορισμένες περιπτώσεις που η καθαρότητα της εξορρυσσόμενης γύψου είναι πολύ υψηλή, τότε δεν χρειάζεται εμπλουτισμός της (Zhao & Xu, 2016). Ωστόσο, προκειμένου τα τελικά προϊόντα να είναι ικανοποιητικά για την αγορά, εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές εμπλουτισμού, με την συνηθέστερη από αυτές να είναι η απλή ταξινόμηση του μεγέθους των κόκκων με ξηρή κοσκίνιση ή ο αεροδιαχωρισμός. Όταν τα προϊόντα πρέπει να έχουν λευκό χρώμα τότε εφαρμόζονται τεχνικές όπως έκλυση ή υγρό κοσκίνισμα. Η τελική επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από μια πληθώρα παραγόντων (όπως δαπάνες, αποθέματα νερού, ακαθαρσίες που εμπεριέχονται στο γύψο, ανταγωνισμός κ.ά.) και ανάλογα με την επιλεγμένη μεθοδολογία επηρεάζεται αντιστοίχως και η ποιότητα της γύψου. Μέσω της διαδικασίας της πύρωσης παράγεται ημιένυδρη μορφή γύψου ή ανυδρίτης από την ένυδρη μορφή της (Vigna, et.al., 2017). Με την εξάπλωση της επεξεργασμένης γύψου, αναπτύχθηκαν περισσότερες και προηγμένες μέθοδοι προπαρασκευής της γύψου. Στην πράξη στο εμπόριο παράγονται μέσα από τη διαδικασία της πύρωσης τέσσερα προϊόντα δύο τύπων γύψου (Βλ. Εικ. 12) ο ημιυδρίτης, ο διαλυτός ανυδρίτης, ο αδιάλυτος ανυδρίτης, και ο αδρανής ανυδρίτης (Shearman, 1985). Όλες οι ημιένυδρες μορφές ονομάζονται στο χώρο της βιομηχανίας στόκοι (ανεξαρτήτως του τρόπου παραγωγής τους).



Εικόνα 12. Στάδια μετατροπής γύψου σε ημιυδρίτη και ανυδρίτη (Shearman, 1985).

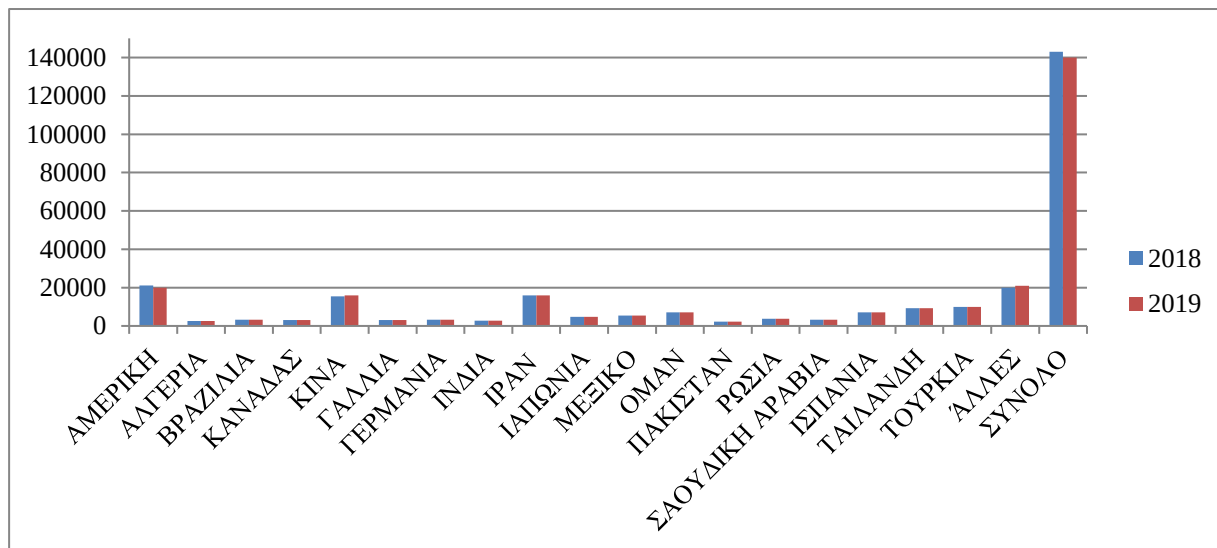
Οι δυο τύποι ημιυδρίτη (ο Α και ο Β) έχουν παρεμφερή κρυσταλλική δομή, ωστόσο ο Β έχει μεγαλύτερη ενεργότητα και υψηλότερο βαθμό διαλυτότητας. Ο ημιυδρίτης Α είναι

σταθερότερος και εμφανίζει χαμηλότερο ρυθμό ανάπτυξης αντοχών (Wali, 1993). Προκύπτει από τη διάσπαση της γύψου σε υδατικά κορεσμένο περιβάλλον (αυτό συμβαίνει σε αυτόκλειστο εσωτερικό περιβάλλον κάτω από υψηλή πίεση ατμού) και σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 97°C (Sijian get.al., 2020) Από την άλλη πλευρά ο ημιυδρίτης Β δημιουργείται από τη διάσπαση της γύψου όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες των 100°C σε κορεσμένο περιβάλλον με χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση (Sijiang et.al., 2020). Αποτέλεσμα της διαδικασίας της πύρωσης είναι η παραγωγή γύψου για δημιουργία γυψοσανίδων και στόκων. Στον τομέα των δομικών υλικών προτιμάται ο περισσότερος ενεργός ημιυδρίτης Β, ενώ ο λιγότερο ενεργός ημιυδρίτης Α προτιμάται σε βιομηχανικές εφαρμογές. Θα πρέπει να σημειωθεί πως το προϊόν που προκύπτει ως αποτέλεσμα της διαδικασίας της πύρωσης (έψησης) δεν αξιοποιείται σχεδόν ποτέ χωρίς να έχει γίνει κάποια περαιτέρω επεξεργασία όπως άλεση, ανάμιξη με πρόσθετα ή επανυδάτωση και χύτευση σε ογκόλιθο (Sudhakar et.al., 2013). Η γύψος η οποία είναι αποτέλεσμα της μεθόδου του «κάδου» δεν είναι μια απλή μορφή θειικού άλατος ασβεστίου, αλλά μίγμα αφυδατωμένων φάσεων από διυδίτη μέχρι ανυδρίτη (Warren, 1999). Η κατάσταση αυτή προκύπτει καθώς τα μέρη δεν έχουν ίδιο βαθμό αφυδάτωσης και το τελικό προϊόν εξαρτάται άμεσα από τη μέθοδο πύρωσης και το βαθμό διαφοροποίησης της έντασης και συνοχής των υλικών. Στην επόμενη ενότητα θα γίνει παρουσίαση της παγκόσμιας και Ελληνικής παραγωγής γύψου, των αποθεμάτων και των μελλοντικών προοπτικών του ορυκτού.

Κεφάλαιο 3°. Παραγωγή και αποθέματα γύψου

3.1 Παγκόσμια Παραγωγή και αποθέματα

Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός αργού γύψου στον κόσμο με την παραγωγή του να φτάνει τα 20 εκατομμύρια τόνους το 2019 (U.S.G.S., 2020). Η Κίνα και το Ιράν ήρθαν δεύτερες στην παραγωγή γύψου με 16 εκατομμύρια τόνους. Η ραγδαία αύξηση της χρήσης γυψοσανίδων σε συνδυασμό με την εμφάνιση νέων οικοδομικών προϊόντων γύψου τα οποία χρησιμοποιούν φυτικά συστατικά έχει ωθήσει στην αυξημένη παραγωγή γύψου στις χώρες αυτές. Η ζήτηση γύψου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τον κατασκευαστικό κλάδο, στον οποίο οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής έχουν τον κυρίαρχο ρόλο και μπορούν να επηρεάσουν είτε θετικά είτε αρνητικά τη ζήτηση σε παγκόσμια επίπεδα. Το μεγαλύτερο ποσοστό της χρήσης της γύψους αφορά την κατασκευή σοβάδων, τσιμεντών Portland και ταπετσαριών, ωστόσο η χρήση ταπετσαριών που περιέχουν συνθετικό γύψο ως πρώτη ύλη, έχει σαν αποτέλεσμα να μειωθεί η εξόρυξη φυσικού γύψου. Η συνολική εξόρυξη γύψου το έτος 2019 ανήλθε σε 140 εκατομμύρια τόνους, μειωμένη κατά 3 εκατομμύρια τόνους το έτος 2018 (Βλ. Εικ. 13 & Γράφημα 1).



Γράφημα 1. Παραγωγή Γύψου 2018-2019, US Geological Survey (2020)

	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΥΨΟΥ (σε τόνους)	
	2018	2019
ΑΜΕΡΙΚΗ	21100	20000
ΑΛΓΕΡΙΑ	2500	2500
ΒΡΑΖΙΛΙΑ	3200	3200
ΚΑΝΑΔΑΣ	3000	3000
ΚΙΝΑ	15500	16000
ΓΑΛΛΙΑ	3000	3000
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	3200	3200
ΙΝΔΙΑ	2700	2700
ΙΡΑΝ	16000	16000
ΙΑΠΩΝΙΑ	4700	4700
ΜΕΞΙΚΟ	5400	5400
ΟΜΑΝ	7000	7000
ΠΑΚΙΣΤΑΝ	2200	2200
ΡΩΣΙΑ	3800	3800
ΣΑΟΥΔΙΚΗ ΑΡΑΒΙΑ	3310	3300
ΙΣΠΑΝΙΑ	7000	7000
ΤΑΙΛΑΝΔΗ	9300	9300
ΤΟΥΡΚΙΑ	10000	10000
Άλλες	20000	21000
ΣΥΝΟΛΟ	143000	140000

Εικόνα 13. Παραγωγή Γύψου ανά χώρα 2018-2019, US Geological Survey (2020)

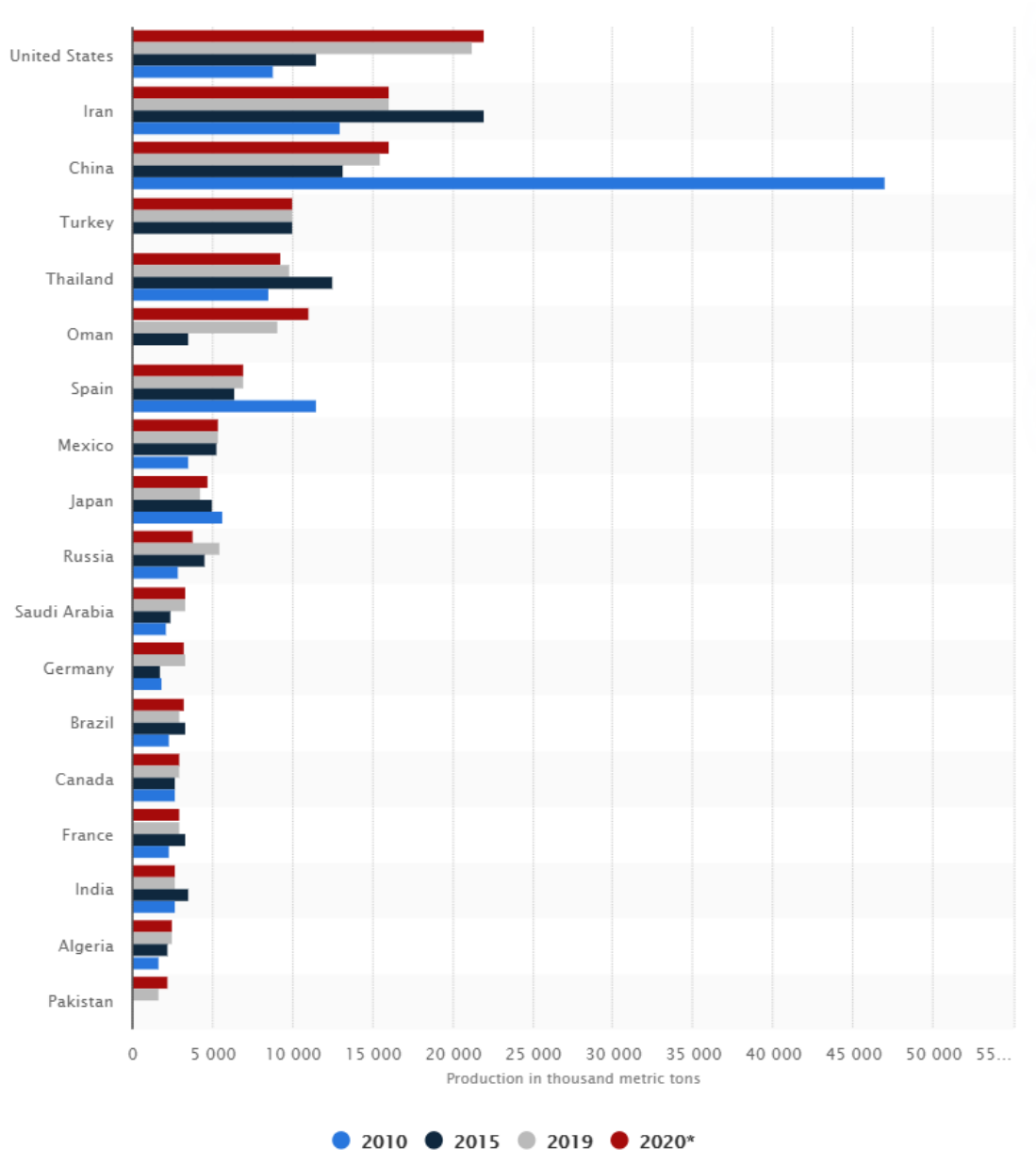
Τα αποθέματα των χωρών σε φυσική γύψο θεωρείται ότι είναι σε υψηλά επίπεδα στις μεγάλες παραγωγικές χώρες, ωστόσο τα δεδομένα για αρκετές από αυτές δεν είναι διαθέσιμα λόγω αδυναμίας εκτίμησης. Παρόλο που τα εγχώρια αποθέματα σε γύψο είναι αρκετά για τις κατασκευαστικές και παραγωγικές ανάγκες, ωστόσο υπάρχει άνιση κατανομή τους στις χώρες με αποτέλεσμα αρκετές από αυτές να αναγκάζονται να εισάγουν τους τόνους που χρειάζονται από μεγάλες παραγωγικές χώρες. Περίπου 80 χώρες σε Παγκόσμια Επίπεδο θεωρείται ότι λειτουργούν ως Παραγωγοί γύψου, ενώ οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας καθώς διαθέτει περίπου 700 εκατομμύρια τόνους φυσικής γύψου σε αποθέματα (US Geological Survey, 2020). Ο Καναδάς έρχεται δεύτερος με 450 εκατομμύρια τόνους, ενώ τρίτη στη λίστα είναι η Βραζιλία με 340 εκατομμύρια τόνους η οποία εξάγει περίπου το 45% της παραγωγής της σε χώρες της Λατινικής Αμερικής και της Ασίας. Τέλος, σημαντικά αποθέματα διαθέτει και η Τουρκία, περίπου 200 εκατομμύρια τόνους, η οποία τροφοδοτεί χώρες της Κεντρικής Ασίας και Μέσης Ανατολής (Βλ. Εικ. 14).

	ΑΠΟΘΕΜΑ ΧΩΡΩΝ ΦΥΣΙΚΟΣ ΓΥΨΟΣ 2019 (σε τόνους)
ΑΜΕΡΙΚΗ	700000
ΑΛΓΕΡΙΑ	NA
ΒΡΑΖΙΛΙΑ	340000
ΚΑΝΑΔΑΣ	450000
ΚΙΝΑ	NA
ΓΑΛΛΙΑ	NA
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	NA
ΙΝΔΙΑ	37000
ΙΡΑΝ	NA
ΙΑΠΩΝΙΑ	NA
ΜΕΞΙΚΟ	NA
ΟΜΑΝ	NA
ΠΑΚΙΣΤΑΝ	4900
ΡΩΣΙΑ	NA
ΣΑΟΥΔΙΚΗ ΑΡΑΒΙΑ	NA
ΙΣΠΑΝΙΑ	NA
ΤΑΙΛΑΝΔΗ	1700
ΤΟΥΡΚΙΑ	200000
ΑΛΛΕΣ	NA
ΣΥΝΟΛΟ	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΟ

Εικόνα 14. Αποθέματα Γύψου ανά χώρα 2018-2019, US Geological Survey (2020)

Η γύψος έχει αρκετά υποκατάστατα υλικά όπως το τσιμέντο και ο ασβέστης, τούβλο, το γυαλί, το ξύλο και τα πλαστικά πάνελ τα οποία είναι αρκετά οικονομικότερα ανάλογα τον τρόπο παραγωγής τους. Υπολογίζεται ότι το έτος 2019 ο συνθετικός γύψος αποτέλεσε περίπου το 45% της Παγκόσμιας παραγωγής γύψου για βιομηχανικές και μη εργασίες (US Geological Survey, 2020). Σημαντικής αναφοράς είναι το γεγονός πως ενώ η **Κίνα το έτος 2010 ήταν η πρώτη χώρα στην παραγωγή γύψου** σε παγκόσμιο επίπεδο με 47 εκατομμύρια τόνους, η παραγωγή της το 2015 έπεσε στους 13,2 εκατομμύρια τόνους, ενώ το έτος 2019 ανήλθε σε 15,5 εκατομμύρια τόνους. Το Πακιστάν από το 2019 και μετά έκανε την εμφάνιση του ως παραγωγός χώρα με 1,67 εκατομμύρια τόνους, ενώ το 2020 η ποσότητα αυτή αυξήθηκε στους 2,2 εκατομμύρια τόνους. **Τρεις είναι οι κυρίαρχες παραγωγικές χώρες στην Ευρώπη** (και κυρίως στην Ευρωπαϊκή Ένωση) με την **Ισπανία** να κατέχει την υψηλότερη θέση με παραγωγή που έφτασε τα έτη 2019 και 2020 στους 7 εκατομμύρια τόνους (ποσότητα αρκετά πιο χαμηλή από τους 11,5 εκατομμύρια τόνους το 2010). Δεύτερη έρχεται η **Γερμανία** με 3,2 εκατομμύρια τόνους (ποσότητα η οποία είναι συνεχώς αυξανόμενη, καθώς τα έτη 2015 και 2010 παρήγαγε 1,82 και 1,80 εκατομμύρια τόνους, αντιστοίχως) και στην

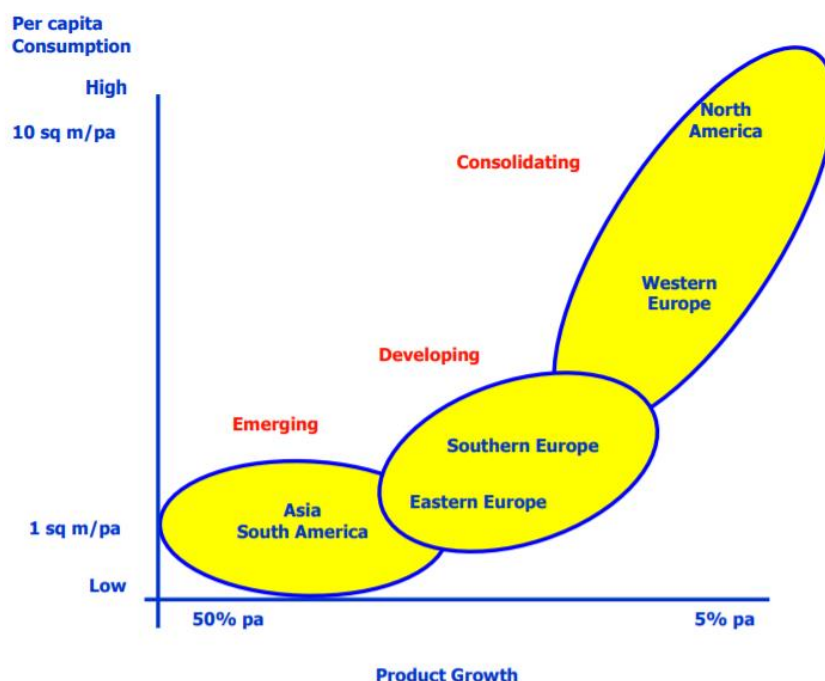
τρίτη θέση βρίσκεται η **Γαλλία** με σταθερή ποσότητα σε μακροπρόθεσμη βάση της τάξεως των 3 εκατομμυρίων τόνων (Βλ. Γράφημα 2).



Γράφημα 2. Παγκόσμια παραγωγή γύψου 2010-2020, (IndexMundi, 2020)

Σε παγκόσμιο επίπεδο υπάρχουν τρεις διαφορετικές αγορές για τα προϊόντα γύψου. Στη Βόρεια Αμερική, την Ιαπωνία, τη Βορειοδυτική Ευρώπη και τη Σκανδιναβία τα προϊόντα γύψου αξιοποιούνται κυρίως ως δομικό προϊόν για εσωτερικές επενδύσεις οικιακών και βιομηχανικών κατασκευών. Σε χώρες της Νότιας και Ανατολικής Ευρώπης υπάρχει έντονη χρήση της γυψοσανίδας η οποία αντικαθιστά σταδιακά το τσιμέντο ή τη βιομηχανική γύψο

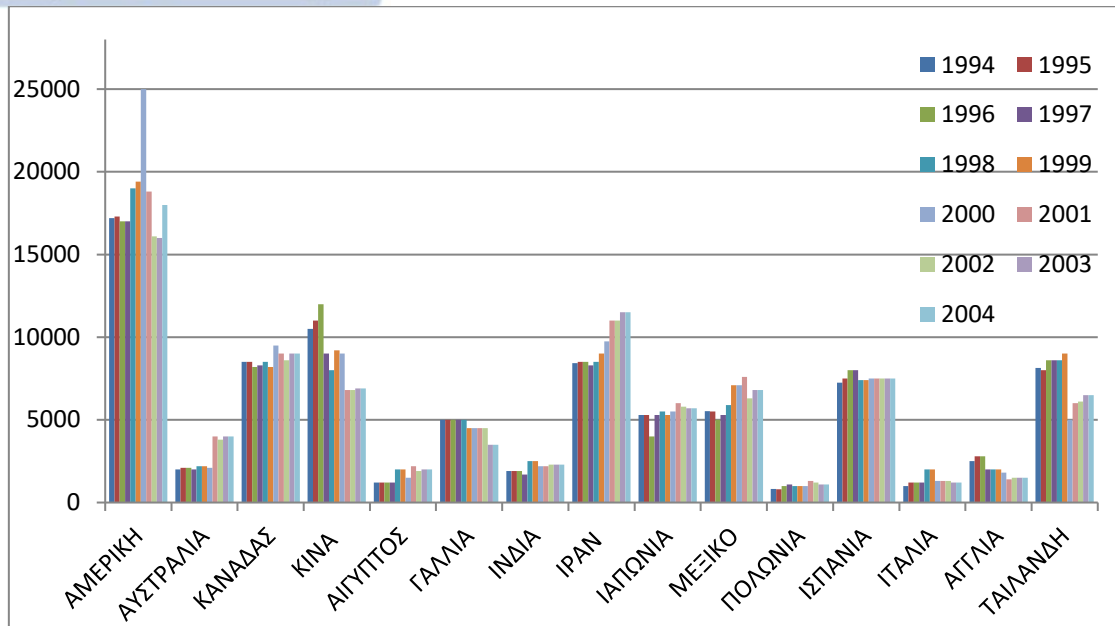
για εσωτερικά συστήματα κατασκευαστικής επένδυσης. Στις υπόλοιπες χώρες η γύψος είναι ένα αρκετά καινούριο δομικό υλικό η οποία χρησιμοποιείται ως υλικό αντικατάστασης κατασκευαστικών υλικών όπως τα τούβλα και η λάσπη. Οι χώρες ανάλογα τον σκοπό χρήσης της γύψου και το ρυθμό διείσδυσης του υλικού στην αγορά διακρίνονται σε αναδυόμενες (Emerging), αναπτυσσόμενες (Developing) και ανεπτυγμένες (Consolidating) (Βλ. Εικ. 15).



Εικόνα 15. Αναδυόμενες, αναπτυσσόμενες και ανεπτυγμένες χώρες για την αγορά της γύψου (EuroGypsum, 2015)

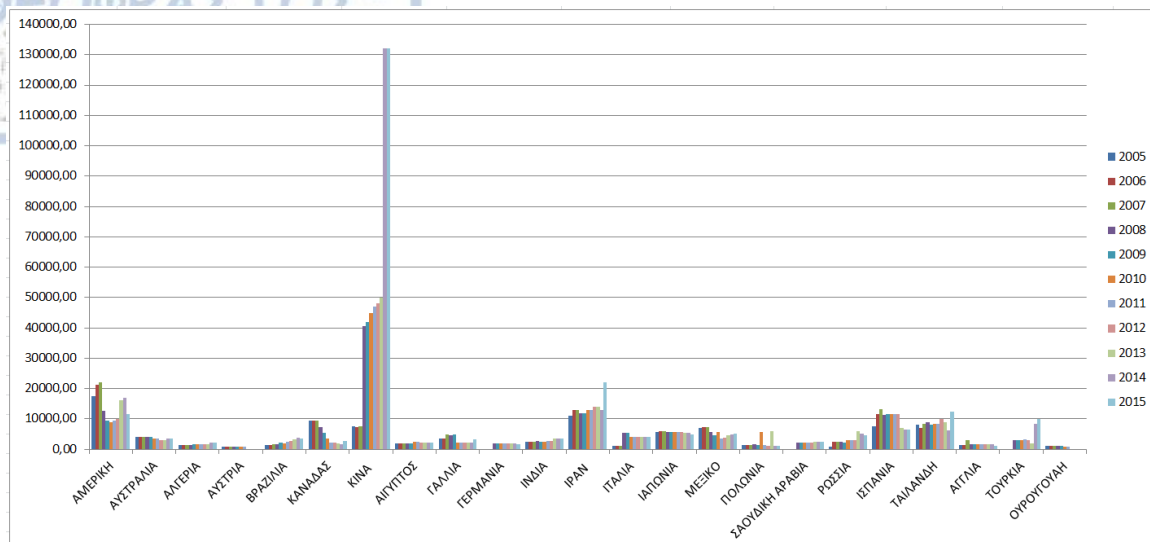
Τη δεκαετία 1994 – 2004 ο αριθμός των χωρών που είχαν τις κυρίαρχες θέσεις στην **παγκόσμια παραγωγή φυσικής γύψου από ορυχεία** (σε εκατομμύρια τόνους) ήταν 15, με την Αμερική, τον Καναδά, την Κίνα, το Ιράν και την Ισπανία να κατέχουν τις υψηλότερες θέσεις, ενώ χώρες όπως Αίγυπτος, Ιταλία, Αγγλία και Πολωνία είχαν μια σταθερή ετήσια παραγωγική δυναμικότητα συνεισφέροντας σημαντικά στην παγκόσμια παραγωγή. Η **Αμερική** τη συγκεκριμένη δεκαετία είχε μέση παραγωγή 18,2 εκατομμύρια τόνους, καταλαμβάνοντας την πρώτη θέση, ενώ στη δεύτερη θέση βρισκόταν το Ιράν με μέση παραγωγή 9,6 εκατομμύρια τόνους. Την πρώτη πεντάδα συμπλήρωναν η **Κίνα** με μέση παραγωγή 8,7 εκατομμύρια τόνους, ο **Καναδάς** με 8,6 εκατομμύρια τόνους και η **Ισπανία** με 7,5 εκατομμύρια τόνους. Στις χαμηλότερες θέσεις βρίσκονταν η **Ινδία** με μέση ετήσια

παραγωγή 2,1 εκατομμύρια τόνους, η **Πολωνία** με μέση ετήσια παραγωγή 1,3 εκατομμύρια τόνους και η **Ιταλία** επίσης με 1,3 εκατομμύρια τόνους (Βλ. Γράφημα 3).



Γράφημα 3. Παγκόσμια παραγωγή φυσικής γύψου από ορυχεία 1994-2004 (σε εκατ.τόνους) USGS (2020)

Την επόμενη δεκαετία, 2005-2015, στην παγκόσμια αγορά μπήκαν και άλλες χώρες, όπως η Αλγερία, η Αυστρία, η Βραζιλία, η Ρωσία και η Ουρουγουάη, ενώ από το 2008 και έπειτα χώρες όπως η Γερμανία, η Σαουδική Αραβία και η Τουρκία απέκτησαν σημαντικό μερίδιο αγοράς. Σημαντικό αποτελεί το γεγονός πως στη συγκεκριμένη περίοδο κυριαρχεί η **Κίνα** με μέση παραγωγή δεκαετίας 50,8 εκατομμύρια τόνους, αφήνοντας στη δεύτερη θέση την **Αμερική** με 14,2 εκατομμύρια τόνους. Το **Ιράν** συνεχίζει να έχει υψηλή θέση με 13,6 εκατομμύρια τόνους, ενώ την πρώτη πεντάδα συμπληρώνουν η **Ισπανία** με 9,9 εκατομμύρια τόνους και η **Ταϊλάνδη** με 8,6 εκατομμύρια τόνους (Βλ. Γράφημα 4).



Γράφημα 4. Παγκόσμια παραγωγή φυσικής γύψου από ορυχεία 2005-2015 (σε εκατ.τόνους) USGS (2020)

Η τιμή της ακατέργαστη γύψου το έτος 1995 ήταν 6,8\$¹ ανά μετρικό τόνο, ενώ πέντε χρόνια μετά το έτος 2000 άγγιξε τα 7\$². Το έτος 2005 η τιμή ήταν περίπου 7,3\$³, ενώ το έτος 2015 σημείωσε την υψηλότερη τιμή αγγίζοντας τα 9\$. Το έτος 2020 η τιμή διαμορφώθηκε στα 8,6\$⁴, ενώ υπολογίζεται ότι το έτος 2025 η τιμή της θα ξεπεράσει τα 10\$ (Merchant Research & Consulting Ltd, 2021), αναδεικνύοντας την ανάπτυξη και περαιτέρω χρήση του υλικού, καθώς νέα βιώσιμα και περιβαλλοντικά υλικά κάνουν την εμφάνισή τους στην αγορά, χρησιμοποιώντας τη γύψο και τα παράγωγά της ως βασικό συστατικό στοιχείο. Το μέγεθος της **παγκόσμιας αγοράς** γυψοσανίδων εκτιμήθηκε σε 45,08\$ δισεκατομμύρια το 2020 και αναμένεται να αυξηθεί με ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) 11,8% από το 2021 έως το 2028 (Merchant Research & Consulting Ltd, 2021).

Η αυξανόμενη ζήτηση από τον κατασκευαστικό τομέα κατοικιών σε συνδυασμό με την αύξηση των καταναλωτικών δαπανών για προχωρημένα δομικά υλικά αναμένεται να αυξήσουν τη ζήτηση του προϊόντος. Η ταχέως αναπτυσσόμενη κατασκευαστική βιομηχανία στις μεγάλες οικονομίες, όπως η Κίνα, η Ινδία, η Βραζιλία, το Μεξικό, η Νότια Αφρική και η Ρωσία, αναμένεται να στηρίξουν την ανάπτυξη της αγοράς. Επιπλέον, το αυξανόμενο εύρος καινοτόμων εφαρμογών στον κατασκευαστικό τομέα είναι πιθανό να ενισχύσει τη ζήτηση

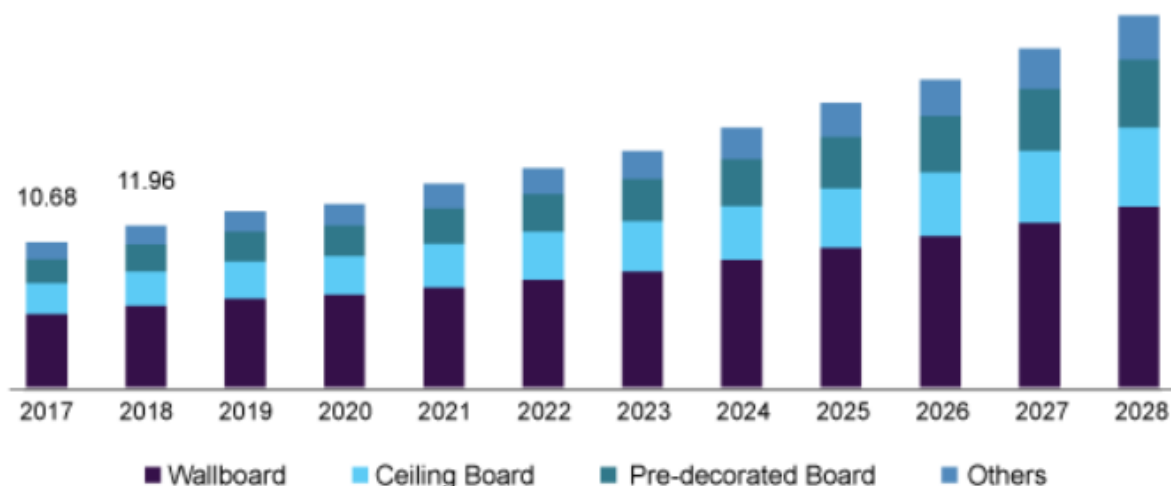
¹<https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/gypsum/gypsumcs96.pdf>

²<https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/gypsum/320301.pdf>

³<https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/gypsum/gypsumcs06.pdf>

⁴<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-gypsum.pdf>

προϊόντων. Στις ΗΠΑ, η αγορά ανήλθε σε 13,57\$ δισεκατομμύρια το 2020 και αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά αγγίζοντας το 2028 τα 17,92\$ δισεκατομμύρια Grand View Researcher, 2021) (Βλ. Γράφημα 5).



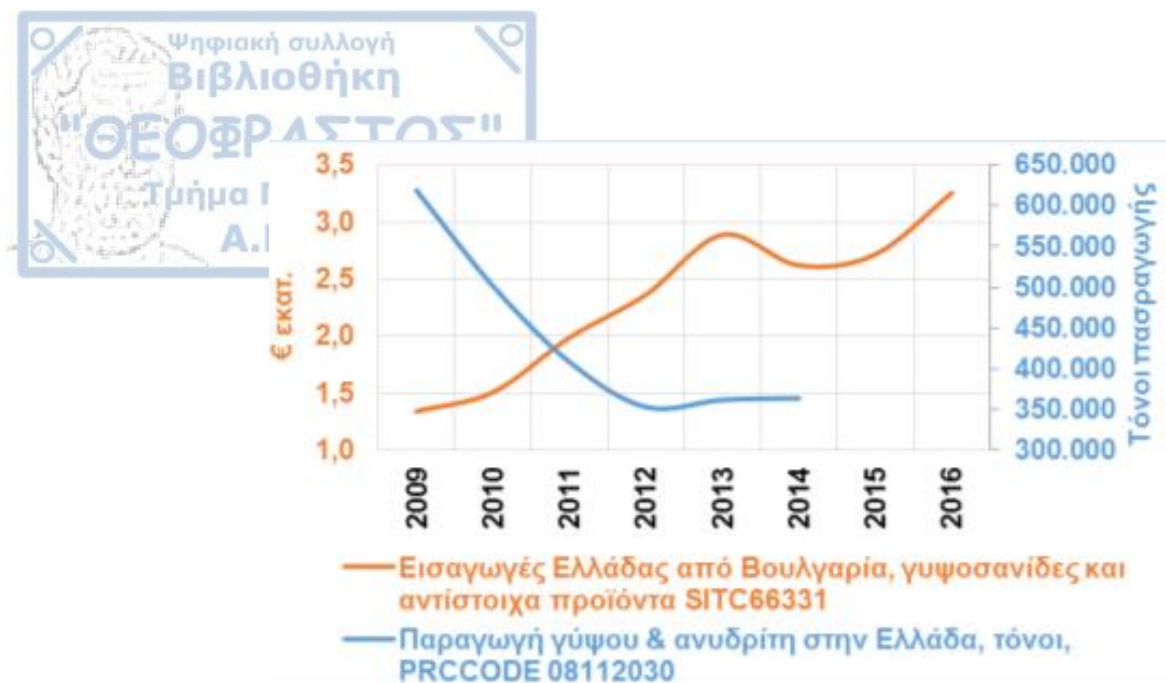
Γράφημα 5. Η αγορά γυψοσανίδων στις ΗΠΑ το διάστημα 2017-2018 (παραγωγή σε αξία \$) (Grand View Researcher, 2021)

Στην Ευρώπη (συμπεριλαμβανομένου όλων των χωρών και όχι μόνο των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης) ο ετήσιος κύκλος εργασιών της βιομηχανίας γύψου είναι περίπου 9,7€ δισεκατομμύρια. Λειτουργούν 154 λατομεία, ενώ ο αριθμός των εργοταξίων παραγωγής φυσικής γύψου ανέρχεται στα 160. Απασχολούνται 28.000 εργαζόμενοι, ενώ υπολογίζεται ότι ο κλάδος δίνει εργασία (έμμεση) σε περίπου 300.000 εργαζομένους (EuroGypsum, 2018). Υπάρχουν 1.100.000 εγκαταστάσεις παραγωγής γυψοσανίδας, ενώ είναι ένας κλάδος ο οποίος απαιτεί συνεχή εκπαίδευση και κατάρτιση του προσωπικού προκειμένου τα συστήματα παραγωγής να είναι σύμφωνα με τις νομοθετικές ρυθμίσεις και να εξασφαλίζουν την προστασία του περιβάλλοντος, προασπίζοντας τη βιωσιμότητά του (EuroGypsum, 2018). Ο γύψος όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο δεν μπορεί να καεί εύκολα, δεν είναι τοξικός και έχει χαμηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη. Είναι ανακυκλώσιμος και πολλές χώρες παγκοσμίως έχουν θέσει κανόνες και υιοθετήσει πολιτικές για την ανακύκλωσή του, οι οποίες αναπτύσσονται συνεχώς τα τελευταία 10 χρόνια. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2050 το 78% της συνολικής κατανάλωσης γύψου (25,1 εκατομμύρια τόνους) θα αφορά τη δημιουργία γυψοσανίδων και κονιάματος, το 17% τη δημιουργία τσιμέντου (5,6 εκατομμύρια τόνους) και μόλις το 5% (περίπου 1,6 εκατομμύρια τόνους) θα αξιοποιείται στη γεωργία (NERA, 2019). Υπολογίζεται επίσης ότι στην Ευρώπη παράγονται περίπου 16-20

εκατομμύρια τόνοι FGD (**flue gas desulfurization**) γύψου, η οποία είναι ένα είδος γύψου πανομοιότυπου με τον φυσικό, αλλά συνήθως μεγαλύτερης καθαρότητας. Αντιστοίχως, παράγονται 16-20 εκατομμύρια τόνοι φυσικού γύψου (από εξορύξεις) προκειμένου να δημιουργούν προϊόντα όπως κονιάματα, γυψοσανίδες, τσιμέντο Portland και αγροτικά υλικά. Από τις ποσότητες αυτές μόλις 0,2 εκατομμύρια τόνοι ανακυκλώνονται κάθε χρόνο, ποσότητα η οποία αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο (NERA, 2019). Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί πως οι ανάγκες της Ευρώπης για φυσική γύψο υπολογίζεται πως θα αυξηθούν κατά 3,9% μέχρι το 2050, ενώ αντιθέτως η παραγωγή FGD γύψου αναμένεται να μειωθεί κατά 40%-50% τα επόμενα 15 χρόνια (Eurostat, 2020). Το ποσοστό ανακύκλωσης φυσικής γύψου αναμένεται πως δεν θα ξεπεράσει το 1,1% εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Eurostat, 2020). Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά της παραγωγικής δυναμικότητας και των αποθεμάτων γύψου στην Ελλάδα

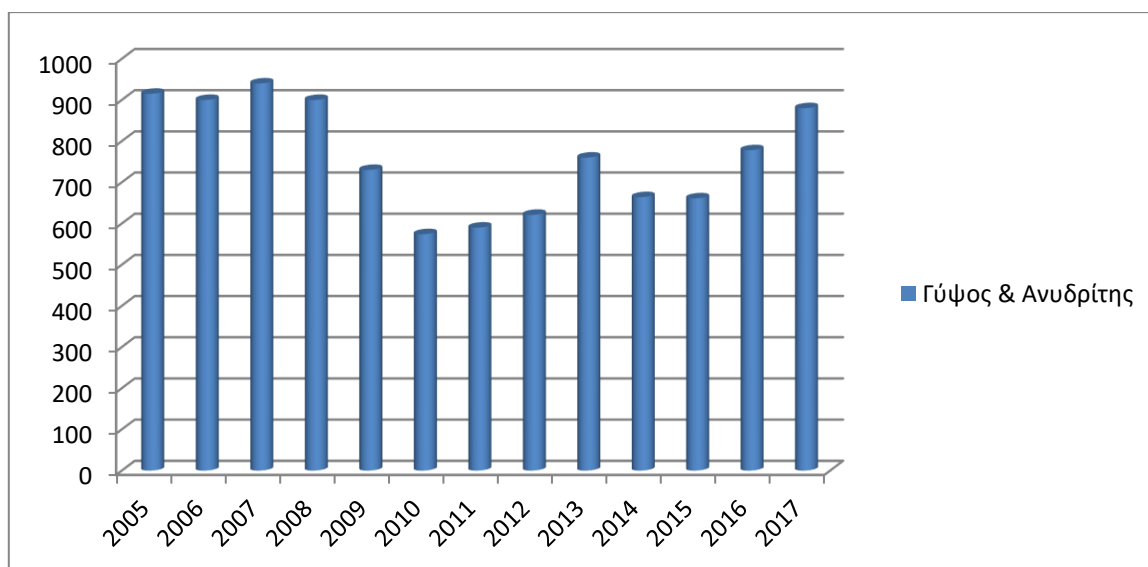
3.2 Παραγωγική δυναμικότητα και αποθέματα Ελλάδας

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικά κοιτάσματα γύψου τα οποία μέχρι και το έτος 2014 τροφοδοτούσαν σε σημαντικές ποσότητες την εγχώρια παραγωγή. Όμως, ο γύψος αποτελεί ένα ξεκάθαρο παράδειγμα των αρνητικών επιπτώσεων που ακολούθησαν την οικονομική κρίση της Ελλάδας και την καθίζηση του κατασκευαστικού κλάδου. Παράλληλα, η μεγάλη αύξηση των ειδικών φόρων στην ενέργεια που καταναλώνει η σχετική βιομηχανία το 2009 οδήγησε στη μείωση της διεθνούς ανταγωνιστικότητας της μεταποίησης της πρώτης ύλης (παραγωγή γυψοσανίδων) και αντίστοιχα σε μείωση της εξόρυξης και παραγωγής του γύψου. Η εξέλιξη αυτή συμβάδισε με τη μείωση της εσωτερικής ζήτησης, αλλά αυτή τελικά δεν ήταν η κρίσιμη διάσταση για τον κλάδο. Και αυτό γιατί ταυτόχρονα με την αύξηση του ειδικού φόρου στην ενέργεια και την υποχώρηση της εγχώριας παραγωγής γύψου και ανυδρίτη, η χώρα βίωσε ραγδαία αύξηση των εισαγωγών του μεταποιημένου προϊόντος (γυψοσανίδες) από τη Βουλγαρία, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η αξία των εισαγωγών από 1,2€ εκατομμύρια το 2009 σε 3,3€ εκατομμύρια το 2016 (Βλ. Εικ. 19).



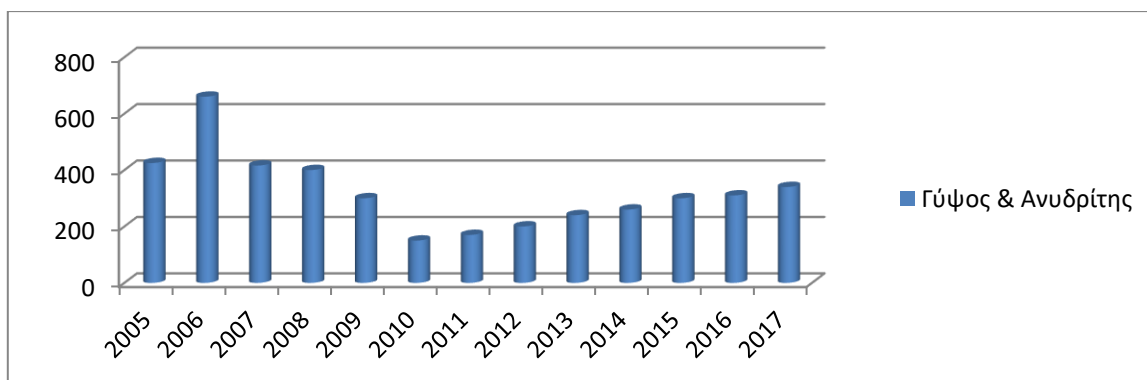
Εικόνα 16. Εισαγωγές και παραγωγή φυσικής γύψου στην Ελλάδα, Eurostat (2016)

Η παραγωγή γύψου & ανυδρίτη το 2005 ήταν στα υψηλότερα επίπεδα με 915 χιλιάδες τόνους, ποσότητα η οποία διατηρήθηκε στα ίδια πλαίσια μέχρι το 2008, ενώ το έτος 2009 σημειώθηκε σημαντική πτώση με την ετήσια παραγωγή να αγγίζει τους 730 χιλιάδες τόνους. Το έτος 2010 η παραγωγή μειώθηκε ακόμη περισσότερο στους 574 χιλιάδες τόνους, ενώ από το 2011 και μετά ακολούθησε αυξητική πορεία φτάνοντας το 2017 στις 880 χιλιάδες τόνους (US Department of the interior, 2019) (Βλ. Γράφημα 6).



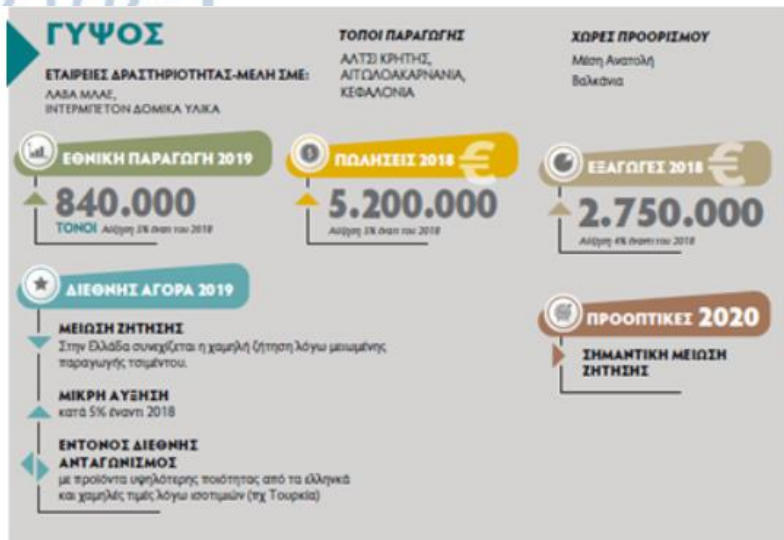
Γράφημα 6. Παραγωγή γύψου & ανυδρίτη στην Ελλάδα σε χιλιάδες τόνους 2005-2017 (US Department of the interior, 2019)

Η υψηλότερη αξία εξαγωγών (σε χιλιάδες €) σημειώθηκε το έτος 2009 με 660.000€, ωστόσο το έτος 2010 καταγράφηκε η χαμηλότερη τιμή με την αξία των εξαγωγών να αγγίζει μόλις τις 150.000€. Από το 2010 και μετά η πορεία των εξαγωγών εμφανίζει θετική πορεία φτάνοντας τις 340.000€ το έτος 2017 (50% μειωμένες σε σχέση με το έτος 2009 – περίοδος προ οικονομικής κρίσης) (Greek Ministry of Environment Energy & Climate Change, 2017) (Βλ. Γράφημα 7)



Γράφημα 7. Αξία εξαγωγών γύψου & ανυδρίτη 2005-2017 (Greek Ministry of Environmental Energy & Climate Change, 2017)

Υπολογίζεται ότι η παραγωγή γύψου & ανυδρίτη σε εθνικό επίπεδο το έτος 2019 ανήλθε στους 840.000 τόνους, με τις πωλήσεις το 2018 να αγγίζουν τα 5.200.000€ (ΣΜΕ, 2020). Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί πως οι αξίες των εξαγωγών το έτος 2018 σημείωσαν τιμή ρεκόρ – 2.750.000€, ωστόσο ο έντονος Διεθνής ανταγωνισμός και η εμφάνιση προϊόντων υψηλότερης ποιότητας από τα Ελληνικά, σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές λόγω ισοτιμιών (π.χ. με αντίστοιχες τιμές της Τουρκίας) και την μειωμένη παραγωγή τσιμέντου αναμένεται να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση της εγχώριας ζήτησης (ΣΜΕ, 2020) (Βλ. Εικ. 22).



Εικόνα 17. Συγκεντρωτικά στοιχεία γύψου, Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων (2020)

Κοιτάσματα και εμφανίσεις γύψου ηλικίας Τριαδικού μέχρι αρχές Κρητιδικού υπάρχουν στην Ηγουμενίτσα, Πρέβεζα, στα Επτάνησα, στην Ακαρνανία, σε Ηλεία και Κρήτη. Οι εμφανίσεις αυτές δημιουργήθηκαν από καταβύθιση αλάτων στον πυθμένα κλειστών θαλασσών. Η παραγωγή και ζήτηση της γύψου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εγχώρια τσιμεντοβιομηχανία η οποία καλύπτει περίπου το 45% της ετήσιας παραγωγής. Υπολογίζεται ότι το συνολικό απόθεμα σε φυσική γύψο στη χώρα ανέρχεται σε 350 εκατομμύρια τόνους, με το 1/3 από αυτούς να βρίσκεται στην Ήπειρο με μέση περιεκτικότητα καθαρής γύψου της τάξεως 90-95% (Ι.Γ.Μ.Ε., 2018). Η γύψος δεν είναι βασικό βιομηχανικό ορυκτό της χώρας, καθώς η Ελλάδα κατέχει ηγετική θέση παγκοσμίως στην παραγωγή περλίτη, μπεντονίτη και ελαφρόπετρας. Το 2016, η Ελλάδα ήταν ο 2ος παγκόσμιος παραγωγός περλίτη, 3ος ελαφρόπετρας, 4ος σε μπεντονίτη, στην 9η θέση παραγωγής σε μαγνησίτη και στην 10η θέση παραγωγής βωξίτη. Αναλυτικά, η Ελλάδα κατείχε το 30% της παγκόσμιας παραγωγής περλίτη, το 5% της παγκόσμιας παραγωγής ελαφρόπετρας και το 4% της παγκόσμιας παραγωγής μπεντονίτη (Ι.Γ.Μ.Ε., 2018).

Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα

Η γύψος αξιοποιείται κυρίως στον οικοδομικό και ακολούθως στον βιομηχανικό, στο γεωργικό, στο καλλιτεχνικό και στον ιατρικό κλάδο. Στον οικοδομικό τομέα η πιο συνηθισμένη γύψος είναι η πλαστική γύψος με εφαρμογή σε απλές οικοδομικές εργασίες και ως διακοσμητικό στοιχείο στο εσωτερικό των χώρων. Σε μεγαλύτερες ποσότητες η πλαστική γύψος χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των γυψοσανίδων, οι οποίες κατασκευάζονται ύστερα από πίεση της πλαστικής γύψου με μεγάλου πάχους φύλλα χαρτιού (οι διαστάσεις των γυψοσανίδων είναι συνήθως τυποποιημένες). Εκτός από το αρκετά μικρό κόστος των γυψοσανίδων και την ευκολία εγκατάστασής τους, διαθέτουν αρκετά μικρή θερμική αγωγιμότητα με αποτέλεσμα σε περίπτωση που εντός της οικίας ξεσπάσει πυρκαγιά, να προστατευθεί ο χώρος, καθώς η γύψος λειτουργεί ως μονωτικό υλικό. Στον βιομηχανικό κλάδο, η γύψος χρησιμοποιείται στην τσιμεντοβιομηχανία έχοντας τη μορφή της φυσικής γύψου. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή του τσιμέντου Portland, συμμετέχοντας σε αναλογία περίπου 5%. Η χρήση της γύψου στην τσιμεντοβιομηχανία πραγματοποιείται λόγω του επιβραδυντικού της ρόλου και τη δράση της κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου. Η φυσική γύψος έχει εφαρμογή και σε μικρότερης κλίμακας εφαρμογές όπως στη βιομηχανία υφασμάτων, χαρτιού και χρωμάτων ως πληρωτικό υλικό. Εφαρμόζεται ακόμη στη φαρμακευτική βιομηχανία για την παραγωγή οδοντόκρεμας, πούδρας, εντομοκτόνων κ.ά., καθώς και στη βιομηχανία των ελαστικών. Επιπρόσθετα, στη χημική βιομηχανία η φυσική γύψος αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά για την παραγωγή χημικών προϊόντων, όπως το θεικό οξύ και η θειική αμμωνία η οποία αξιοποιείται για την παραγωγή θεικών λιπασμάτων. Η μορφή της πλαστικής γύψου αξιοποιείται κυρίως στον τομέα της κεραμικής για τη δημιουργία καλουπιών, ειδών υγιεινής, κεραμικών και μασκών, λόγω της μεγάλης πλαστικότητας η οποία διέπει την ημιάνυδρη μορφή της γύψου. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί πως η φυσική μορφή της γύψου έχει εφαρμογή και στους τομείς της ζυθοποιίας, για την αποσκλήρυνση του νερού, των γεωτρήσεων πετρελαίου, της υαλουργίας για τη διαύγηση του γυαλιού και της μεταλλουργίας προκειμένου να γίνει η τήξη των μεταλλευμάτων. Με την εξάπλωση της επεξεργασμένης γύψου, αναπτύχθηκαν περισσότερες και προηγμένες μέθοδοι προπαρασκευής της γύψου. Στην πράξη στο εμπόριο παράγονται μέσα από τη διαδικασία της πύρωσης τέσσερα προϊόντα δύο τύπων γύψου ο ημιυδρίτης, ο διαλυτός ανυδρίτης, ο αδιάλυτος ανυδρίτης, και ο αδρανής ανυδρίτης.

Η ραγδαία αύξηση της χρήσης γυψοσανίδων σε συνδυασμό με την εμφάνιση νέων οικοδομικών προϊόντων γύψου τα οποία χρησιμοποιούν φυτικά συστατικά έχει ωθήσει στην αυξημένη παραγωγή γύψου. Η ζήτηση γύψου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τον κατασκευαστικό κλάδο, στον οποίο οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής έχουν τον κυρίαρχο ρόλο και μπορούν να επηρεάσουν είτε θετικά είτε αρνητικά τη ζήτηση σε παγκόσμια επίπεδα. Το μεγαλύτερο ποσοστό της χρήσης της γύψου αφορά την κατασκευή σοβάδων, τσιμέντων Portland και κονιαμάτων, ωστόσο η χρήση κονιαμάτων που περιέχουν συνθετική γύψο ως πρώτη ύλη, έχει ως αποτέλεσμα να μειωθεί η εξόρυξη φυσικής γύψου. Περίπου 80 χώρες σε παγκόσμια επίπεδο θεωρούνται παραγωγοί γύψου, ενώ οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας, καθώς διαθέτει περίπου 700 εκατομμύρια τόνους φυσικής γύψου σε αποθέματα, με την παραγωγή της να φτάνει το 2019 τους 20 εκατομμύρια τόνους. Η γύψος δεν είναι βασικό βιομηχανικό ορυκτό της Ελλάδας, καθώς η χώρα κατέχει ηγετική θέση παγκοσμίως στην παραγωγή περλίτη, μπετονίτη και ελαφρόπετρας. Τα αποθέματα γύψου ανέρχονται σε περίπου 350 εκατομμύρια τόνους, ωστόσο ο έντονος διεθνής ανταγωνισμός και η εμφάνιση προϊόντων υψηλότερης ποιότητας από τα Ελληνικά, σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές λόγω ισοτιμιών (π.χ. με τις αντίστοιχες τιμές της Τουρκίας) και την μειωμένη παραγωγή τσιμέντου αναμένεται να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση της εγχώριας ζήτησης με αποτέλεσμα να μένει σημαντική ποσότητα μη αξιοποιήσιμη.



Βιβλιογραφία

- ΣΕΒ 2017. Η εκμετάλλευση των Ορυκτών Πρώτων Υλών ως ευκαιρία βιώσιμης ανάπτυξης για τη χώρα. Διαθέσιμο: http://www.sev.org.gr/Uploads/Documents/50420/SPECIAL_REPORT%20S%20%20ORYKTA.1_5_2017ocx.pdf (ανακτήθηκε 20.04.2021)
- Τσιραμπίδης Α. 2005. Ο ορυκτός πλούτος της Ελλάδος. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη
- Τσιραμπίδης Α. 2004. Πετρολογία Ιζηματογενών Πετρωμάτων, 2^η έκδοση. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Babel, M., 1991. Dissolution of halite within the middle Miocene (Badenian) laminated gypsum of southern Poland. *Acta Geol. Pol.*, 41, 165-182
- Bernard G. 1975. Effect of Clays, Limestone, and Gypsum on Soluble Oil Flooding. *J Pet Technol*, 27, 179–180. doi: <https://doi.org/10.2118/4750-PA>
- Bjorn B. 2000. The Ecology of Building Materials, Great Britain
- Bock, E. 1961. On the solubility of anhydrous calcium sulphate and gypsum in concentrated solutions of sodium chloride at 25 °C, 30 °C, 40 °C and 50 °C. *Can. J. Chem.* 39, 1746–1751
- Bouzit S, Laasri S, Taha M, Laghzizil A, Hajjaji A, Merli F, Buratti C. 2019. Characterization of Natural Gypsum Materials and Their Composites for Building Applications. *Applied Sciences*. 9, V. 12, 2443. <https://doi.org/10.3390/app9122443>
- Cooper, A.H.; Calow, R.C. 1998. Avoiding Gypsum Geohazards: Guidance for Planning and Construction; Technical Report, WC/98/5; British Geological Survey: Nottingham, UK
- Copeland L.E., Kantro D.L. 1968. Gypsum. *Proceedings of the Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement*, Tokyo.
- Einsele G. 2000. Sedimentary basins. Evolution, Facies and Sedimentary Budget. *Springer-Verlag*, Berlin, 81, 258-283
- EuroGypsum 2018. Symposium on availability of raw materials from secondary resources: a key aspect of circular economy. Available on:



https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/unfc_egrm/egrc9_apr2018/24.04_RM/07_Christine.Marlet.pdf (retrieved 15.04.2021)

EuroGypsum 2015. Criticality of Raw Materials: Gypsum Data. Available on: <http://www.eurogypsum.org/wp-content/uploads/2015/05/091109CriticalityGypsumData.pdf> (retrieved 15.04.2021)

Eurostat 2020. Documentation of the EU RME model. Available on: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6874172/Documentation+of+the+EU+RME+model/> (retrieved 10.04.2021)

Ghrefat H., Howari I. 2011. Gypsum: Properties, production and applications. *Applied Sciences*, 21, 191-204.

Giulia B, Owen F, Parikshit S, Hilda K, Wall D. 2021. Potential of Lacto-Gypsum as an Amendment to Build Soil Quality, Frontiers in Sustainability, DOI: 10.3389/frsus.2020.625727

Gobran, G.R. 1985. Miyamoto, S. Dissolution rate of gypsum in aqueous salt solutions. *Soil Sciences*, 40, 89–93.

GrandView Researcher 2021. Gypsum Board Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Pre-decorated Board, Wallboard, Ceiling Board), By Application (Commercial, Residential), By Region, And Segment Forecasts, 2021 – 2028. Available on: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/gypsum-board-market>

Herrero, J., Artieda, O. and Hudnall, W. 2009. Gypsum, a Tricky Material. *Science. Social. American Journal.*, 73, 1757-1763. <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0224>

Hovorka, S.D., 1992. Halite pseudomorphs after gypsum in bedded anhydrite---~lue to gypsum anhydrite relationships..1. *Sediment. Petrol.*, 62, 1098-1111

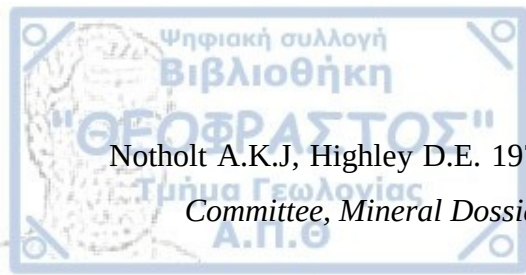
Jeschke, A.; Vosbeck, K.; Dreybrodt, W. 2001. Surface controlled dissolution rates of gypsum in aqueous solutions exhibit nonlinear dissolution kinetics. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 65, 27–34.

Ji, Z., Guo, Y., Chen, J., Guo, L., Yang, B., Zhang, X., Meng, L. & Qin, L. 2016. Microwave-assisted decomposition of fgd gypsum in the presence of magnetite and



anthracite. *Chemical Papers*, 70(10), 1399-1407. <https://doi.org/10.1515/chempap-2016-0071>

- Iovine, G.; Parise, M.; Trocino, A. 2001. Breakdown mechanisms in gypsum caves of southern Italy, and the related effects at the surface. *Z. Geomorphol*, 54 (Suppl. 2), 153–178
- Karni, J., Karni, E. 1995. Gypsum in construction: origin and properties. *Materials and Structures* 28, 92–100. <https://doi.org/10.1007/BF02473176>
- Kasprzyk, K.A., 1995. Gypsum-to-anhydrite transition in the Miocene of southern Poland. *Journal. Sediment. Res.*, 65, 348-375
- Klimchouk, A., Cucchi, F., Calaforra, J.M., Aksem, S., Finocchiaro, F., Forti, P. 1996. Dissolution of gypsum from field observations. *International Journal Speleol*, 25, 37–48
- Klimchouk, A. 1996. The dissolution and conversion of gypsum and anhydrite. *International Journal of Speleology*, 25, 21-36.
- Kougias, V. I., Natsi, P. D., and P. G. Koutsoukos. 2019. On the Efficiency of Gypsum Scale Inhibition by Phosphonates: The Role of Molecular Architecture. *Paper presented at the CORROSION 2019*, Nashville, Tennessee, USA, March
- Melvin J., 1991. Evaporites, Petroleum and Mineral Resources. Developments in sedimentology No. 50, Elsevier, Amsterdam, 174-175
- Merchant Research & Consulting Ltd 2021. Gypsum: 2021 World Market Review and Forecast to 2030. Available on: <https://mcgroup.co.uk/researches/gypsum> (retrieved 10.05.2021)
- Minard H. et al., 2007. Mechanisms and parameters controlling the tricalcium aluminate reactivity in the presence of gypsum, *Cement and concrete research*. 37, 1418-1426
- Ministry of Environment, Energy & Climate Change 2017. Greek Extractive Industry. Prospects – Profile. The Deputy Minister of Environment, Energy & Climate Change
- NERA 2019. The access of gypsum raw material by 2050. November, Paris



Notholt A.K.J, Highley D.E. 1975. Gypsum and Anhydrite. Mineral Resources, *Consultative Committee, Mineral Dossier*, 13, 1-4.

Reethu, B., Kumar, M. S., Sharath, G., Ramanjaneyulu, B., & Manchiryal, R. K. 2020. Stabilization of clayey soil using Gypsum. *Journal of Student Research*. <https://doi.org/10.47611/jsr.vi.879>

Ridge, M. 1958. Effect of Temperature on the Structure of Set Gypsum Plaster. *Nature* 182, 1224–1225. <https://doi.org/10.1038/1821224a0>

Rouchy, J.-M., Pierre, C. and Sommer, E 1995. Deep-water resedimentation of anhydrite and gypsum deposits in the middle Miocene (Belayim Formation) of the Red Sea, Egypt. *Sedimentology Journal*, 42, 267-282

Sadeghiamirshahidi, M., & Vitton, S. 2019. Mechanical properties of Michigan Basin's gypsum before and after saturation. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(4), 739-748. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.10.006>

Selley E.C., Cocks L.R., Plimer I. 2005. Encyclopedia of Geology, Elsevier, 572-573, ISBN 9780123693969

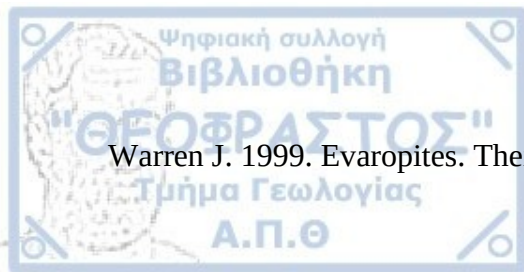
Shabafrooz, R., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R. *et al.* 2013. Facies analysis and sequence stratigraphy of the evaporite bearing Sachun Formation at the type locality, South East Zagros Basin, Iran. *Carbonates Evaporites*, 28, 457–474 <https://doi.org/10.1007/s13146-013-0141-x>

Shearman, D.J., 1985. Syndepositional and late diagenetic alteration of primary gypsum to anhydrite. In: B.C. Schreiber and H.L. Harner (Editors). *Sixth International Symposium on Salt Institute*, 1, 41-50.

Sijiang W. Chongyang Y., Wang T.. 2020. Physical and Mechanical Properties of Gypsum-Like Rock Materials. *Advances in Civil Engineering*. 1-17. DOI: 10.1155/2020/3703706.

Sudhakar M. Rao, K. Asha. 2013. Role of Fly Ash Pozzolanic Reactions in Controlling Fluoride Release from Phosphogypsum. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(8), 999-1005.

- Tesárek, P., Novák, L., Topič, J., Prošek, Z., Nežerka, V., & Lidmila, M. 2015. Compression Testing of Gypsum-Based Composite Reinforced by Recycled Wires from Automobile Tires. *Applied Mechanics and Materials*, 732, 393–396.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.732.393>
- Testa G., Lugli S. 2000. Gypsum-anhydrite transformations in Messinian evaporites of central Tuscany (Italy). *Sedimentary Geology*, 130, 249-268
- Tian B., Cohen M.D. 2000. Does gypsum formation during sulfate attack on concrete lead to expansion? *Cem. Concr. Res.*, 30, 117–123.
- Ye Zhang et al 2019. IOP Conference. Ser.: Earth Environ. Sci. Available on: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/330/4/042003/pdf> (retrieved 04.05.2021)
- Zhao Y.L., Xu X.L. 2016. *Technical Question and Answers of Gypsum Application*, China Building Materials Press, Beijing, China
- US Department of the interior 201). The Mineral Industry of Greece. Available on: <https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/myb3-2016-gr.pdf> (retrieved 04.05.2021)
- U.S. Geological Survey 2020. Mineral Commodity Summaries Gypsum. Available on: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-gypsum.pdf> (retrieved 04.05.2021)
- USGS 2020. Mineral Commodities Summary 2020. Available on: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf> (retrieved 02.05.2021)
- Vigna, B.; D'Angeli, I.M.; De Waele, J. 2017. Hydrogeological flow in gypsum areas: Some examples from northern Italy and main circulation models. *International Journal Speleol*, 46, 205–217
- Wali, A.M.A. 1993. Gharbaniyatstromatolitic gypsum (west Alexandria): a clue from hypersaline syndepositional feature. *Bull. Fac. Sci., Zagazig Univ., Egypt*, 15/2, 399-422.
- Warren J. 1997. Evaporites, brines and base metals: Fluids, flow and 'the evaporite that was'. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44(2), 149-183.



Warren J. 1999. Evaropites. Their Evolution and Economics. Blackwell Science