

# Η χρήση του μπετονίτη στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων

## 1. Εισαγωγή.

των  
Θ. Περράκη,  
Επικ. καθηγήτριας  
Α. Ορφανουδάκη,  
Επικ. καθηγήτριας  
Τμ. Μηχανικών  
Μεταλλείων-Μετ/γών  
Ε.Μ.Π.

Το 75%, περίπου, των υλικών, τα οποία χρησιμοποιούνται για την διαχείριση αποβλήτων είναι άργιλοι και ειδικότερα μπετονιτικές άργιλοι.

Η ευρεία χρήση του μπετονίτη στη διάθεση στερεών αποβλήτων, οφείλεται, κύρια, στη μεγάλη προσροφητική του ικανότητα, την υψηλή του πλαστικότητα, τη δυνατότητα ιοντοανταλλαγής που παρουσιάζει, την υψηλή διογκωσιμότητα, τη θιξοτροπία του κ.λ.π., ιδιότητες τις οποίες οφείλει, κύρια, στο μοντιμοριλλονίτη (1\*), αλλά και στα άλλα, συνυπάρχοντα, ορυκτά της ομάδας των σμεκτιτών (μπαϊντελίτη, νοντρονίτη, εκτορίτη, σαπονίτη).

## 2. Γενικά χαρακτηριστικά του μπετονίτη.

Ο μπετονίτης είναι ένα αργιλικό πέτρωμα, το οποίο έχει, ως κύριο ορυκτολογικό του συστατικό, το μοντιμοριλλονίτη, σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80%. Όταν η περιεκτικότητα του πετρώματος σε μοντιμοριλλονίτη είναι 60-80%, τότε χαρακτηρίζεται ως μπετονιτική άργιλος.

Ο μοντιμοριλλονίτης είναι ένα αργιλικό ορυκτό της ομάδας των διοκταεδρικών σμεκτιτών, των οποίων ο χημικός τύπος  $(M_{x+y}) [(Mg,Fe)_y Al_{2-y}] [Al_x Si_{4-x}] O_{10} (OH)_2 \cdot nH_2O$ , προκύπτει από το χημικό τύπο του πυροφυλίτη  $[Al_2 Si_4 O_{10} (OH)_2]$ , με υποκατάσταση ιόντων Si από x ιόντα  $Al^{IV}$  και ιόντων  $Al^{VI}$  από y ιόντα  $Mg^{2+}$  ή  $Fe^{2+}$  ( $2^+$ ). Με τις υποκαταστάσεις αυτές, δημιουργείται περίσσεια αρνητικών φορτίων, τα οποία, προκειμένου να επέλθει ηλεκτροστατική ισορροπία στον κρύσταλλο, εξουδετερώνονται με δέσμευση  $(x+y)$  κατιόντων M (όπου M: Ca, Na, Mg, K κ.λ.π.), υπό ανταλλάξιμη μορφή. Τα  $nH_2O$ , στο χημικό τύπο του μοντιμοριλλονίτη, χαρακτηρίζουν τα μόρια νερού, τα οποία βρίσκονται στον διαστρωματικό του χώρο,

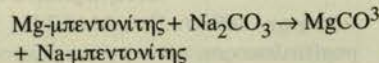
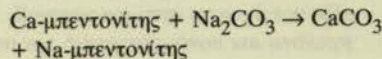
όπως και αυτά που ενυδατώνουν τα προσροφηθέντα κατιόντα.

Οι μπετονίτες διακρίνονται σε Ca-ούχους ή Na-ούχους, ανάλογα με το εάν, το, υπό ανταλλάξιμη μορφή, κατιόν στο μοντιμοριλλονίτη, είναι το  $Ca^{2+}$  ή το  $Na^+$ .

Οι Na-ούχοι μπετονίτες παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά από τους Ca-ούχους, σε ό,τι αφορά τη διογκωσιμότητα, τη διασπορά, το ιξώδες τους κ.λ.π. Αυτό συμβαίνει διότι, τα κατιόντα  $Na^{1+}$  που βρίσκονται στον διαστρωματικό χώρο του μοντιμοριλλονίτη, δεδομένου ότι είναι μονοσθενή, δεσμεύουν ένα, μόνο, από τα υπάρχοντα στον διαστρωματικό χώρο ελεύθερα αρνητικά σθένη. Αντίθετα, τα κατιόντα  $Ca^{2+}$ , ως δισθενή, δεσμεύουν δύο αρνητικά σθένη, τα οποία, συνήθως, ανήκουν σε διαφορετικά στρώματα. Έτσι, τα μεν  $Na^{1+}$ , δεδομένου ότι είναι δεσμευμένα σε ένα μόνο στρώμα, επιτρέπουν ελευθερία κίνησης των αργιλικών σωματιδίων (καλύτερη διασπορά, ιξώδες κ.λ.π.), ενώ τα  $Ca^{2+}$  δεδομένου ότι, συνδέουν μεταξύ τους δύο στρώματα, συντελούν στην κροιάδωση του υλικού ( $3^+$ ).

Αντίστοιχη επίδραση με αυτή των κατιόντων  $Ca^{2+}$ , θεωρείται ότι έχουν και τα, υπό ανταλλάξιμη μορφή, κατιόντα  $Mg^{2+}$ .

Οι μπετονίτες των οποίων η περιεκτικότητα σε Ca, κυρίως, αλλά και σε ανταλλάξιμο Mg, είναι υψηλή, χαρακτηρίζονται ως «μπετονίτες κατώτερης ποιότητας» (low-grade bentonites). Προκειμένου οι Ca-ούχοι και οι Mg-ούχοι μπετονίτες να αποκτήσουν καλύτερη διογκωσιμότητα, όπως επίσης και διάφορες άλλες χρήσιμες ιδιότητες, είναι απαραίτητη η «ενεργοποίησή» τους, η μετατροπή τους, δηλαδή, σε Na-ούχους μπετονίτες, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



## 3. Ορυκτολογικές ιδιότητες των σμεκτιτών.

Οι σμεκτίτες είναι ένυδρα-αργιλοπυριτικά ορυκτά, της ομάδας των φυλλοπυριτικών ορυκτών, στα οποία βασική δομική μονάδα είναι το τετραέδρο  $[SiO_4]^{4-}$  (σχ. 1α). Για το σχηματισμό της κρυσταλλικής τους κυψελίδας, τετραέδρα  $[SiO_4]^{4-}$  ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν εξαμελείς δακτύλους (σχ. 1β). Με τη διάταξη αυτή δημιουργούνται τρία οκταεδρικά κενά, το κέντρο των οποίων καταλαμβάνεται, συνήθως, από  $Al^{3+}$  (ή  $Mg^{2+}$  ή  $Fe^{2+}$ ), ενώ οι κορυφές καταλαμβάνονται από οξυγόνα ή υδροξύλια. Η παραπάνω διάταξη έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φύλλων τετραέδρων  $[SiO_4]^{4-}$  (σχ. 1γ) και φύλλων οκταέδρων  $Al^{3+}$  (ή  $Mg^{2+}$  ή  $Fe^{2+}$ ), (σχ. 1δ), αντίστοιχα.

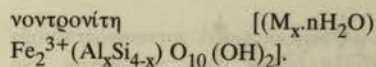
Οι σμεκτίτες χαρακτηρίζονται ως ορυκτά δομής 2:1 (T-O-T). Σχηματίζονται, δηλαδή, από ένα φύλλο οκταέδρων που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο φύλλα τετραέδρων. Τα φύλλα αυτά εκτείνονται κατά το επίπεδο που ορίζεται από τις διευθύνσεις των κρυσταλλογραφικών αξόνων a και b, ενώ εναλλάσσονται το ένα επί του άλλου, κατά τη διεύθυνση του άξονα c (σχ. 2).

Οι σμεκτίτες διακρίνονται σε ορυκτά διοκταεδρικής και τριοκταεδρικής δομής (σχ.3.α και β):

### α. Σμεκτίτες διοκταεδρικής δομής.

Στους σμεκτίτες διοκταεδρικής δομής οι οκταεδρικές θέσεις καταλαμβάνονται από δύο τρισθενή κατιόντα (ως επί το πλείστον  $Al^{3+}$ ), όπως π.χ. στο μοντιμοριλλονίτη  $[(M_y \cdot nH_2O) (M_x Al_{2-y}) Si_4 O_{10} (OH)_2]$  και τον μπαϊντελίτη  $[(M_x \cdot nH_2O) Al_2 (Al_x Si_{4-x}) O_{10} (OH)_2]$  ή  $Fe^{3+}$ , όπως στον





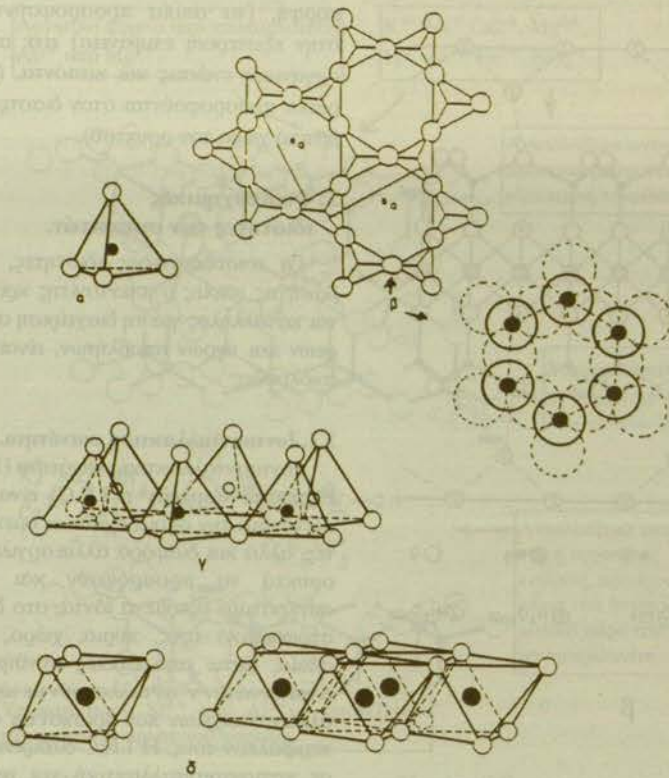
**β. Σμεκτίτες τριοκταεδρικής δομής.**

Στους σμεκτίτες τριοκταεδρικής δομής οι οκταεδρικές θέσεις καταλαμβάνονται από τρία διάσπενή κατιόντα ( $Mg^{2+}$  ή  $Fe^{2+}$  κ.λ.π.), όπως π.χ. στο σαπωνίτη  $[(M_{x-y} \cdot nH_2O) (Mg_{3-y} (Al,Fe)_y) (Si_{4-x} Al_x) O_{10} (OH)_2]$  και τον εκτορίτη  $[(M_y \cdot nH_2O) (Mg_{3-y} Li_y) Si_4 O_{10} (OH)_2]$ .

**Ισόμορφες υποκαταστάσεις στο κρυσταλλικό πλέγμα των σμεκτιτών.**

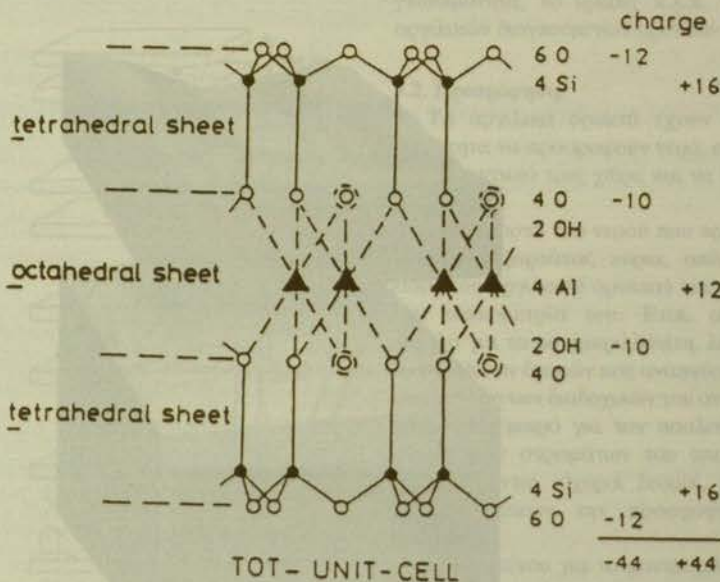
Στο πλέγμα των σμεκτιτών, συμβαίνουν ισόμορφες υποκαταστάσεις, τόσο του  $Si^{4+}$  των τετραεδρικών θέσεων, από  $Al^{3+}$  όσο και του  $Al^{3+}$  των οκταεδρικών θέσεων, από  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  κ.λ.π.

Οι υποκαταστάσεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία περισσείας αρνητικών φορτίων στον κρυσταλλο, τα οποία εξουδετερώνονται είτε από κατιόντα (K, Na, Ca, Mg, H,



- ○ = Οξυγόνο ή Υδροξύλιο
- ● = Πυρίτιο
- = Αργίλιο, Μαγνήσιο κ.λ.π.

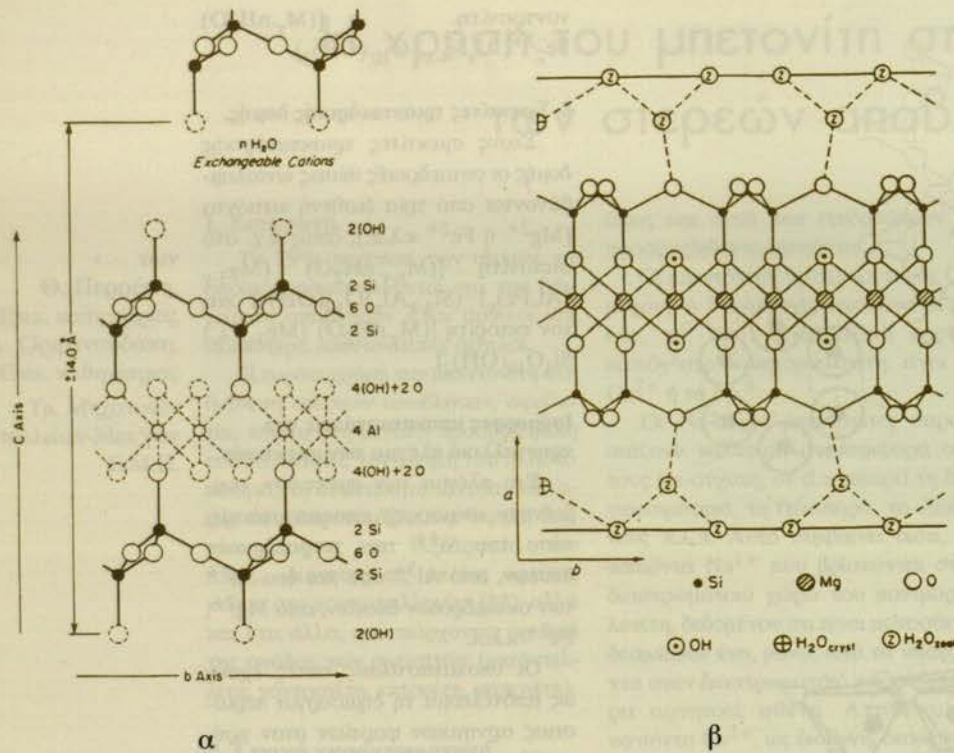
Σχήμα 1:  
 α) Τετράεδρο  $[SiO_4]^{4-}$ ,  
 β) εξαγωνική διάταξη τετραέδρων στο χώρο,  
 γ) οκτάεδρο, και  
 δ) διάταξη οκταέδρων (4\* και 5\*).



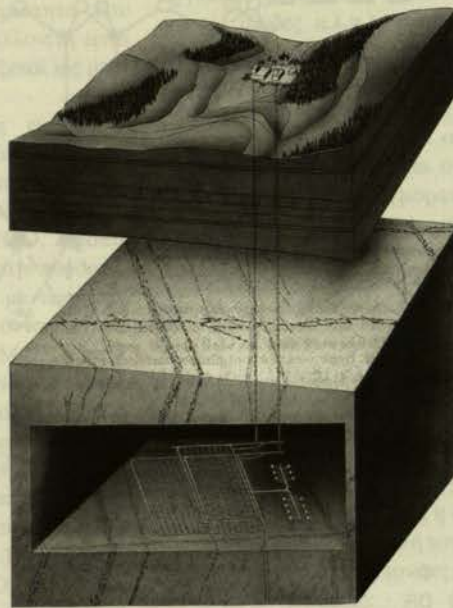
Σχήμα 2:  
 Στοιχειώδης κυψελίδα φυλλοπηριτικού ορυκτού, δομής 2:1 (T-O-T) (6\*).

- O
- OH
- Si
- ▲ Al





Σχήμα 3: α) Ορυκτά διοκταεδρικής δομής (4\*). β) Ορυκτά τριοκταεδρικής δομής (4\*).



Ειχ. 1: Σχηματική αναπαράσταση ταφής ραδιενεργών αποβλήτων.

Al, Fe, NH<sub>4</sub>), υπό ανταλλάξιμη μορφή, (τα οποία προσροφούνται στην εξωτερική επιφάνεια) είτε από οργανικές ενώσεις και κατιόντα, (τα οποία προσροφούνται στον διαστρωματικό χώρο του ορυκτού).

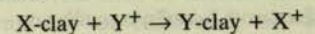
### 3. Φυσικοχημικές ιδιότητες των σμεκτιτών.

Οι σπουδαιότερες ιδιότητες, με βάση τις οποίες ο μπετονίτης κρίνεται κατάλληλος για τη διαχείριση στερεών και υγρών αποβλήτων, είναι οι ακόλουθες:

#### 3.1. Ιοντοανταλλακτική ικανότητα.

Ιοντοανταλλακτική ικανότητα (Ion Exchange Capacity ή I.E.C) είναι η ικανότητα την οποία έχουν οι σμεκτίτες, αλλά και διάφορα άλλα αργιλικά ορυκτά να προσροφούν και να συγκρατούν ορισμένα ιόντα, στο διαστρωματικό τους, κύρια, χώρο, τα οποία, κάτω από ειδικές συνθήκες, είναι δυνατόν ν' ανταλλάξουν με ιόντα άλλων στοιχείων που βρίσκονται στο περιβάλλον τους. Η I.E.C διακρίνεται σε καπνοτοανταλλακτική και ανιοτοανταλλακτική ικανότητα, ανάλογα με το εάν, το υπό ανταλλαγή ιόν είναι κατιόν ή ανιόν.

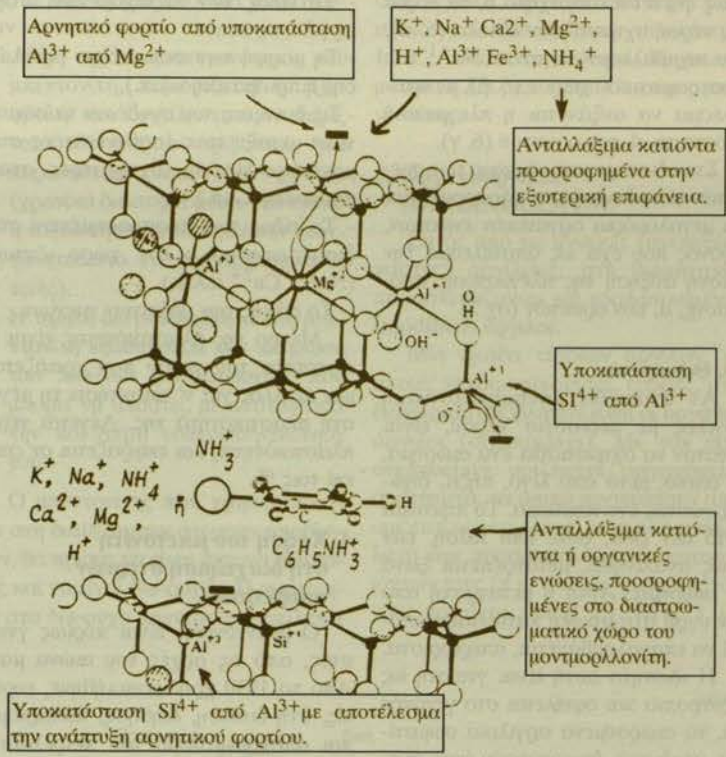
Έτσι, αν μία αργίλος τοποθετηθεί σε διάλυμα ενός ηλεκτρολύτη, τότε συμβαίνει ανταλλαγή μεταξύ των ιόντων της αργίλου και των ιόντων του ηλεκτρολύτη, σύμφωνα με την αντίδραση:



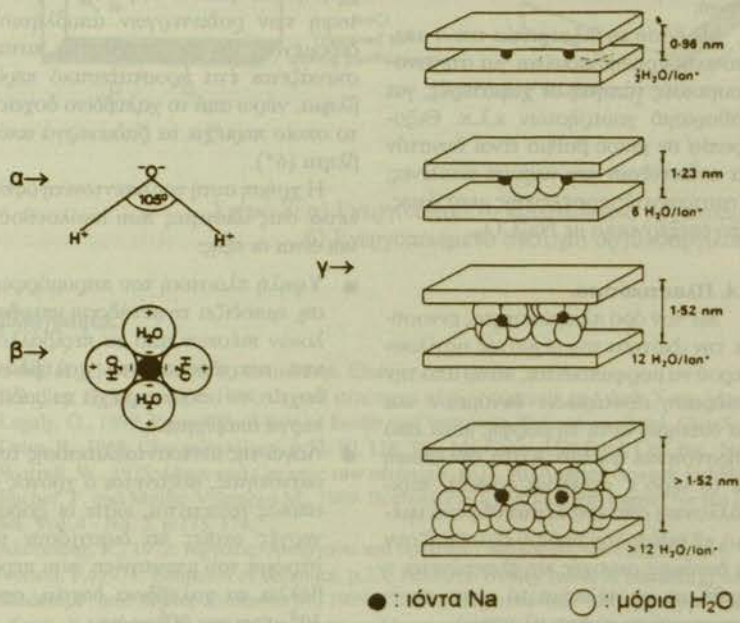
Εκτός από τη φύση των, υπό ανταλλάξιμη μορφή, ιόντων η I.E.C εξαρτάται και από τη σχετική τους συγκέντρωση στο διάλυμα, την κοκκομετρία της αργιλικής ύλης, το Ph του περιβάλλοντος κ.λ.π. Έτσι, ακόμα και για ισοδύναμες συγκεντρώσεις κατιόντων η σειρά προσρόφησης τους είναι: H > Al > Ba > Sr > Ca > Mg > NH<sub>4</sub> > K > Na > Li (5\*).

Η ιοντοανταλλακτική ικανότητα επηρεάζεται, επίσης, έντονα και από το ποσοστό των θραυστικών δεσμών (broken bonds) που δημιουργούνται στο κρυσταλλικό πλέγμα, δεδομένου ότι εξ αιτίας τους αναπτύσσονται ακόρεστα ηλεκτρικά φορτία, τα οποία





Σχήμα 4: Κρυσταλλικό πλέγμα του μοντιμοριλλονίτη (7\*).



Σχήμα 6: Διαδοχικά στάδια προσρόφησης ύδατος από Na-ούχο μοντιμοριλλονίτη (9\*).

εξουδετερώνονται δια προσροφήσεως, κατιόντων, υπό ανταλλάξιμη μορφή.

Έτσι, η ιοντοανταλλακτική ικανότητα των ορυκτών της ομάδας του καολινίτη, όπως και της ομάδας των χλωριτών, οφείλεται κατά το πλείστον, στα αρνητικά φορτία, που προέρχονται από τους θραυσιγενείς δεσμούς (δεδομένου ότι στον διαστρωματικό χώρο αυτών των ορυκτών, δύσκολα προσροφώνται κατιόντα).

Αντίθετα, στα ορυκτά της ομάδας του μοντιμοριλλονίτη, όπως και στον βερμικουλίτη, μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό της ιοντοανταλλακτικής τους ικανότητας, οφείλεται στα φορτία, τα προερχόμενα από τους θραυσιγενείς δεσμούς.

Γενικά, η I.E.C είναι μεγάλη για την ομάδα του μοντιμοριλλονίτη (80-150 meq/100 gr), ενδιάμεσα για τον ιλλίτη (10-40 meq/100 gr) και μικρή για τα ορυκτά της ομάδας του καολινίτη (3-5 meq/100 gr). Οι βερμικουλίτες παρουσιάζουν πολύ υψηλή ιοντοανταλλακτική ικανότητα (>160 meq / 100 gr).

Η ιοντοανταλλακτική ικανότητα επηρεάζει την πλαστικότητα τη διογκωσιμότητα, το ιξώδες κ.λ.π. των αργιλικών διογκούμενων ορυκτών.

3.2. Προσρόφηση.

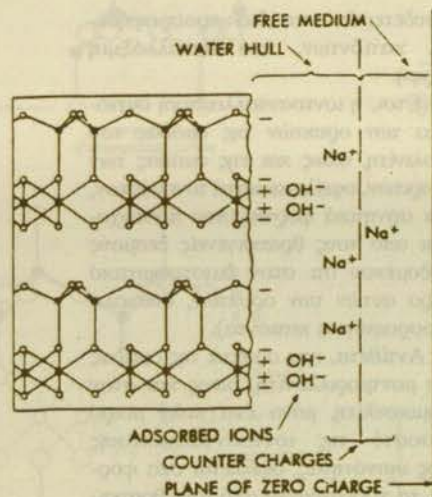
Τα αργιικά ορυκτά έχουν την ικανότητα να προσροφούν νερό, στον διαστρωματικό τους χώρο και να διογκώνονται.

Το ποσοστό του νερού που προσροφάται, εξαρτάται, κύρια, από το είδος του αργιλικού ορυκτού και από την κοκκομετρία του. Έτσι, είναι μεγάλο για το μοντιμοριλλονίτη, λόγω των ασθενών δεσμών που αναπτύσσονται μεταξύ των διαδοχικών του στρωμάτων και μικρό για τον καολινίτη, μεταξύ των στρωμάτων του οποίου αναπτύσσονται ισχυροί δεσμοί, που δεν επιτρέπουν την προσρόφηση νερού.

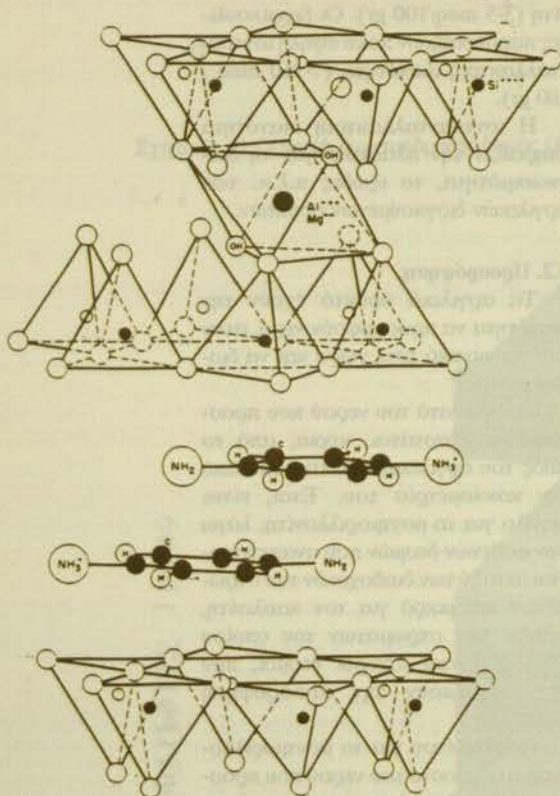
Προκειμένου για το μοντιμοριλλονίτη, το ποσοστό του νερού που προσροφάται, εξαρτάται, εκτός από το είδος των δεσμών και από το είδος των κατιόντων ( $Ca^{+2}, Na^{+1}$  κ.λ.π), που βρίσκονται προσροφημένα στον διαστρωματικό του χώρο. Πράγματι,

ΠΥΡΦΟΡΟΣ 1999





Σχήμα 5: Ακόρεστα ηλεκτρικά φορτία, σε θραυσίγενείς δεσμούς, τα οποία εξουδετερώνονται από ιόντα  $\text{Na}^+$  ( $8^*$ ).



Σχήμα 7: Κρυσταλλική δομή του μοντμοριλλονίτη με προσροφημένα μεγαλομόρια οργανικών ενώσεων, στο διαστρωματικό του χώρο ( $4^*$ ).

όπως φαίνεται στο σχήμα 6, τα μόρια του νερού σχηματίζουν δίπολα (6. α), που περιβάλλουν τα ιόντα  $\text{Na}^+$  του διαστρωματικού χώρου (6. β), με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πλεγματική απόσταση, d, του ορυκτού (6. γ).

Στον διαστρωματικό χώρο των σμηκτικών είναι δυνατόν να προσροφώνται και μεγαλομόρια οργανικών ενώσεων, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την έντονη αύξηση της πλεγματικής απόστασης, d, των ορυκτών (σχ.7).

### 3.3. Θιξοτροπία.

Αν αναμιχθεί μοντμοριλλονιτική άργιλος με περίσσεια νερού, είναι δυνατόν να σχηματισθεί ένα αώρημα, το οποίο, μετά από λίγο, πήζει, δημιουργώντας ένα πήκτωμα. Το πήκτωμα αυτό δεν ρέει, ούτε υπό κλίση, εάν όμως ανακινήθει, μετατρέπεται ξανά σε αώρημα. Αυτή η μετατροπή από την γρήγη στη στερεή κατάσταση μπορεί να επαναλαμβάνεται, απεριόριστα.

Η ιδιότητα αυτή είναι γνωστή ως *θιξοτροπία* και οφείλεται στο γεγονός ότι, τα αωρούμενα αργιλικά σωματίδια, σταδιακά, δημιουργούν έναν σκελετό, στα κενά του οποίου, εγκλωβίζονται τα μόρια του νερού, με αποτέλεσμα να μη ρέει το μίγμα αργίλου-νερού.

Με βάση τη θιξοτροπία του ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται για στεγανοποιητικούς τάπητες σε χωματερές, για καθαρισμό γεωτρήσεων κ.λ.π. Θιξοτροπία σε μικρό βαθμό είναι δυνατόν να αναπτύξουν και μερικοί καολίνες, ιζηματογενούς προέλευσης μετά όμως, από επεξεργασία με  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

### 3.4. Πλαστικότητα.

Με τον όρο πλαστικότητα, εννοούμε την ιδιότητα του μίγματος αργίλου-νερού να μορφοποιείται, κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων και να διατηρεί αυτή τη μορφή, μετά από ξήρανση και ψήσιμο. Κατά την επαφή με το νερό τ' αργιλικά ορυκτά, περιβάλλονται από ένα λεπτό υδάτινο υμένιο, εξ αιτίας του οποίου εξασθενίζουν οι δυνάμεις συνοχής και ελαττώνεται η τριβή, με αποτέλεσμα το μίγμα αργίλου-νερού να γίνεται πλαστικό.

Η πλαστικότητα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως οι ακόλουθοι:

- Το είδος των περιεχομένων, στην άργιλο, ορυκτών.
- Τη μορφή των σωματιδίων (φυλλώδης ή πρισματική κ.λ.π.).
- Τις δυνάμεις που συνδέουν τα σωματίδια μεταξύ τους (ασθενέστερες στο μοντμοριλλονίτη, ισχυρότερες στον καολινίτη κ.λ.π.).
- Το είδος των προσροφημένων στο διαστρωματικό κ.λ.π. χώρο ιόντων ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  κ.λ.π.).
- Το πάχος των υδάτινων υμενίων.

Μέτρο της πλαστικότητας είναι η ποσότητα του νερού που χρειάζεται μια άργιλος για ν' αποκτήσει τη μέγιστη πλαστικότητά της. Λέγεται νερό πλαστικότητας και εκφράζεται σε  $\text{cm}^3$  επί τοις %.

## 4. Χρήση του μπεντονίτη στη διαχείριση στερεών αποβλήτων.

Ο μπεντονίτης είναι κύριως γνωστός, από τις αρχές του αιώνα μας. Από το 1930 χρησιμοποιήθηκε, ευρέως, στη διύλιση, διήθηση, καθαρισμό και αποχρωματισμό του πετρελαίου, στην κατασκευή στεγανοποιητικών ταπήτων στις χωματερές κ.λ.π. ( $10^*$ ). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση του μπεντονίτη στην υγιεινή ταφή των ραδιενεργών αποβλήτων, δεδομένου, ότι με μπεντονίτη κατασκευάζεται ένα προστατευτικό περίβλημα, γύρω από το χαλύβδινο δοχείο, το οποίο περιέχει τα ραδιενεργά απόβλητα ( $6^*$ ).

Η χρήση αυτή του μπεντονίτη οφείλεται στις ιδιότητες που ακολουθούν και είναι οι εξής:

- Υψηλή πλαστική του παραμόρφωση, εμποδίζει τη μετάδοση υπερβολικών πιέσεων από τα περιβάλλοντα πετρώματα στο χαλύβδινο δοχείο, το οποίο περιέχει τα ραδιενεργά απόβλητα.
- Λόγω της ιοντοανταλλακτικής του ικανότητας, αυξάνεται ο χρόνος ο οποίος απαιτείται, ώστε οι ραδιενεργές ουσίες να διασπίσουν το στρώμα του μπεντονίτη, που περιβάλλει τα χαλύβδινα δοχεία, από  $10^4$  μέχρι και  $10^6$  χρόνια.

Μετά την παρέλευση του χρόνου αυτού, η τοξικότητα των περιεχομένων αποβλήτων έχει μειωθεί σε τιμές



ίσε με εκείνες των φυσικών ουρανούχων κοιτασμάτων.

- Λόγω της υδατοστεγανότητας του μπεντονίτη, περιορίζεται η προβολή των δοχείων από το νερό, του υδροφόρου ορίζοντα, για περισσότερο από 1000 χρόνια (χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο η τοξικότητα των αποβλήτων ελαττώνεται στο 1% της αρχικής τους τιμής).

- Η υψηλή διογκωσιμότητα του μπεντονίτη εξασφαλίζει την πλήρωση των πιθανών ρωγματώσεων, που μπορεί να υποστεί, με αποτέλεσμα την καλύτερη υδατοστεγανότητά του.

Ο μπεντονίτης που χρησιμοποιείται στη διάθεση των στερεών αποβλήτων, θα πρέπει να είναι έντονα συμπαγής και να είναι Na-ούχος. Η προτίμησή στο Na-ούχο μπεντονίτη οφείλεται

στο γεγονός, ότι έχει καλύτερη πλαστικότητα, όπως και υψηλότερη I.E.C., υδατοστεγανότητα, διογκωσιμότητα κ.λ.π., απ' ό,τι ο Ca-ούχος μπεντονίτης.

### 5. Οργανοάργιλοι (ORGANOCLAYS).

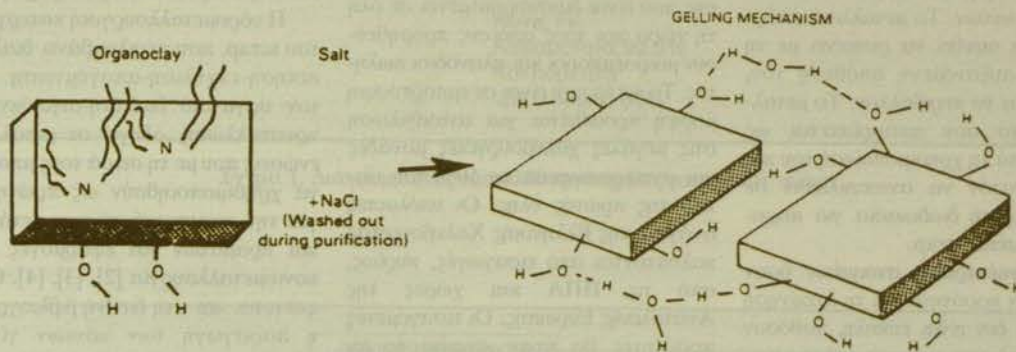
Εκτός από τις φυσικές (ανεπεξέργαστες) αργίλους, στη βιομηχανία παρασκευάζονται και τροποποιημένες (modified) αργίλοι.

Μία ομάδα τέτοιων αργίλων, οι οποίες χρησιμοποιούνται, ευρέως, στη διαχείριση αποβλήτων είναι οι οργανο-άργιλοι (organoclays). Με τον όρο organoclays ορίζονται οργανόφιλα συστήματα, τα οποία προκύπτουν από σμεκτιτικές αργίλους, μετά από ανταλλαγή των προσροφημένων ανόργανων ιόντων τους (π.χ. του  $\text{Na}^+$ ), από οργανικά κατιόντα (όπως π.χ.  $\text{NH}_4^+$ ), με

την επίδραση, επ' αυτών,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (10\*). Στο σχήμα 8, φαίνεται ένα απλό ενεργοποιημένο κρυσταλλίδιο οργανοαργίλου (σχ. 8α). Δύο ή περισσότερα τέτοια κρυσταλλίδια, συνδεόμενα, μέσω μιάς γέφυρας ύδατος, δίδουν ένα σύστημα οργανοαργίλου-ύδατος (σχ. 8β), το οποίο εμφανίζει δομή γέλης.

Για την παραγωγή οργανοαργίλων χρησιμοποιούνται τόσο οι μοντιμοριλλοντικές (Al-πυριτικές αργίλοι), όσο και εκτοριτικές αργίλοι (Mg-πυριτικές αργίλοι), μετά από κατάλληλη επεξεργασία (καθαρισμό και αντίδραση με τετρασθενή οργανικά κατιόντα).

Οι εκτοριτικές γέλες είναι περισσότερο δραστικές στις διάφορες χρήσεις, σε σύγκριση με τις μοντιμοριλλοντικές, δεδομένου ότι, η γέλη που σχηματίζεται από αυτές, είναι πιο συνεκτική.



Σχήμα 8: α) Ενεργοποιημένο κρυσταλλίδιο οργανοαργίλου (11\*).  
β) Ενεργοποιημένο σύστημα οργανοαργίλου-ύδατος (11\*).

### Βιβλιογραφία.

1. Grim, R., Guven, N., 1978 : Bentonites. Elsevier.
2. Brindley, G., Brown, G., 1984: Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. Mineralogical Society.
3. Lagaly, G., 1989: Principles of flow of kaolin and bentonite dispersions. Appl. Clay Sci. Vol. 4.
4. Grim, R., 1968: Clay mineralogy, p:52, 90, 118, 361, Mc Graw- Hill Book Co., Inc., New York.
5. Worrall, W., 1975: Clays and Ceramic raw materials, p:27, 90, Applied Science Publishers, London.
6. Bucher, F. and Muller-Vonmoos M., 1989: Bentonite as a containment barrier for the disposal of highlyradioactive wastes. Appl. Clay Sci. Vol. 4 - No. 2, p:173, 174.
7. Αλεξιάδης, Κ., 1972: Αργίλος, Ανόργανα και οργανικά κolloειδή του εδάφους σελ. 90. Θεσσαλονίκη.
8. Norton, F., 1974: Elements of ceramics, p:27.. Addison-Wesley series in metallurgy and materials.
9. Madsen, F. and Muller-Vonmoos M., 1989: The swelling behaviour of clays. Appl. Clay Sci. Vol. 4 - No. 2, p:144.
10. Keith, K., Murray, H., 1994: Clay liners and barriers, p:435, in: Industrial minerals and rocks. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Colorado.
11. Industrial minerals, 1889, Special review, p:78, 79.