

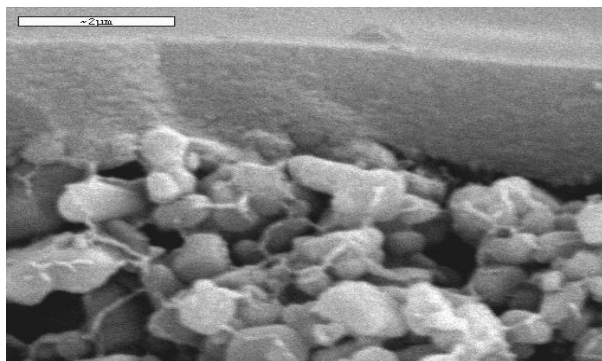
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Πορώδη υλικά. Εφαρμογές στον έλεγχο και προστασία του
περιβάλλοντος.**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΑΤΣΗΣ ΒΥΡΩΝΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Δρ. ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΠΑΤΡΑ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Εισαγωγή.....	1
1.2	Γενικές έννοιες πορωδών μέσων.....	3
1.2.1	Χαρακτηριστικά των πορωδών μέσων.....	4

2. ΤΟΠΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΡΩΔΩΝ ΜΕΣΩΝ

2.1	Εισαγωγή.....	7
-----	---------------	---

3. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΚΑΙ ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

3.1	Είδη κλιμάκων.....	9
-----	--------------------	---

4. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΜΕΣΟΥ

4.1	Εισαγωγή.....	11
4.2	Περιοχές κορεσμού φάσεων.....	13
4.3	Συμπεριφορά των πορωδών μέσων απέναντι στο νερό.....	15

4.3.1 Η δυνατότητα αναρρόφησης νερού.....	15
4.3.2 Υδροαπορροφητικότητα.....	15
4.3.3 Δυνατότητα απόδοσης νερού.....	16
4.3.4 Υδατοπερατότητα.....	17
4.3.5 Υδατοδιαβρεκτά πορώδη μέσα.....	17
4.3.6 Ελαιοδιαβρεκτά πορώδη μέσα.....	19

5. ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΡΩΔΟΥΣ

5.1 Μέθοδοι μέτρησης.....	22
---------------------------	----

6. ΜΕΛΕΤΗ ΠΟΡΩΔΩΝ ΜΕΣΩΝ

6.1 Εισαγωγή.....	23
6.2 Συνεχή και διακριτά πρότυπα.....	24

7. ΡΟΗ ΜΙΑΣ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΠΟΡΩΔΗ ΜΕΣΑ

7.1 Απόλυτη διαπερατότητα και νόμος του Darcy.....	26
7.2 Διαπερατότητα πορώδους μέσου.....	31
7.2.1 Υπολογισμός του πορώδους υλικού.....	34
7.3 Θεωρητικά πρότυπα της ροής μιας φάσης σε πορώδη μέσα.....	35

7.4 Ροή δύο μη αναμίξιμων ρευστών κατά ομορροή σε δοκίμιο δικτύου πόρων.....	39
7.5 Ροή δύο μη αναμίξιμων φάσεων σε πορώδη μέσα.....	40
7.5.1 Σχετικές διαπερατότητες.....	40
7.5.2 Τριχοειδής αριθμός.....	43
7.5.3 Παράμετροι ροής.....	44
7.5.4 Ιστορία της ροής.....	45
7.5.5 Μορφολογία της πορώδους δομής.....	46
7.5.6 Διαβρεκτικότητα.....	46
7.6 Επίδραση διαβρεκτικότητας στη τριχοειδή πίεση.....	49
7.7 Λόγος ιξωδών.....	51
7.8 Επίδραση τριχοειδή αριθμού.....	52
8.ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΕΩΝ	
8.1 Εφαρμογές μονοφασικής ροής.....	53
9.ΡΥΠΑΝΣΗ	
9.1 Εισαγωγή.....	56
10.ΤΥΠΟΙ ΠΟΡΩΔΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ	

10.1	Συνήθεις ιδιότητες των κεραμικών.....	61
10.2	Γενικά χαρακτηριστικά των κεραμικών δομών.....	61
11.ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ- ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΑΝΤΙΠΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ		
11.1	Εναλλάκτες θερμότητας.....	63
11.2	Θερμικές μηχανές.....	63
11.3	Κεραμικά φίλτρα- Καταλύτες.....	64
11.4	Ορισμός καταλύτη και η λειτουργία του.....	65
11.5	Λειτουργία καταλύτη.....	66
11.6	Κατασκευαστική διαμόρφωση τριοδικού καταλυτικού μετατροπέα.....	68
11.7	Αισθητήρας λ (ή αισθητήρας οξυγόνου). Εφαρμογές στην αυτοκίνηση.....	72
11.8	Τεχνολογίες κεραμικών φίλτρων και μεμβρανών.....	75
12. ΦΙΛΤΡΑ ΝΕΡΟΥ		
12.1	Είδη φίλτρων.....	77
13. ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΕΚΕΠΥ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΩΝ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ		

13.1 Εισαγωγή.....	84
--------------------	----

14. ΧΗΜΕΙΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

14.1 Συνεισφορά στη προστασία των αρχαιολογικών και παραδοσιακών μνημείων.....	88
--	----

14.2 Ορισμός χημείας των δομικών υλικών.....	89
--	----

14.3 Στερέωση των δομικών υλικών.....	90
---------------------------------------	----

14.4 Συγκολλήσεις- Πλήρωση κενών και ρωγμών.....	91
--	----

15. ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

15.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία.....	92
---------------------------------	----

15.2 Το Διοξείδιο του Τιτανίου (TiO ₂).....	94
---	----

15.2.1 Χρήσεις: Καθαρισμός αέρα και νερού.....	94
--	----

16. ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

16.1 Πορώδες ηχοαπορροφητικό.....	95
-----------------------------------	----

17. ΑΝΤΙΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

17.1 Τεχνολογία Clean Mag.....	96
--------------------------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

$\Pi(h)$ = πίεση αποσύνδεσης

A = κλασματικό πορώδες ή εμβαδόν της διατομής του πορώδους μέσου

β_p = γενικευμένος εκθέτης κλιμάκωσης

b = αριθμός των κλάδων

Ca = τριχοειδής αριθμός

d = χαρακτηριστικό μήκος της ροής

D_s = κλασματική διάσταση

G_v = γένος ανά μονάδα όγκου

Fr = αριθμός Froude

e = πορώδες υλικού

h και g_{ef} = πάχος και η ενεργή αγωγιμότητα του υμένα

I_R = δείκτης ηλεκτρικής αντίστασης

g = επιτάχυνση της βαρύτητας

g_b = ηλεκτρική αγωγιμότητα των λαιμών

K = διαπερατότητα του πορώδους μέσου

L = μήκος του πορώδους μέσου

μ = ιξώδες ή γενικευμένος εκθέτης κλιμάκωσης

μ_o = δυναμικό ιξώδες Μ.Δ.Φ

μ_w = δυναμικό ιξώδες Δ.Φ

n = εκθέτης κορεσμού

P = ολική πίεση

P_c = τριχοειδής πίεση ισορροπίας

P_o = πίεση από πλευρά πετρελαίου

P_w = πίεση από πλευρά νερού

Q = ογκομετρική παροχή του ρευστού

q_b και q_s = κλάσματα δεσμών (λαιμών) και κόμβων (θαλάμοι) του δικτύου στη Μ.Δ.Φ.

$\langle r_b \rangle$ και $\langle r_s \rangle$ = μέσες ακτίνες θαλάμων και λαιμών

Re = αριθμός Reynolds

S_o = κορεσμός της ελαϊκής φάσης

S_w = κορεσμός της υδατικής φάσης

T = τανυστής

V = μέτρο της ταχύτητας

$\langle v \rangle$ = μέση ταχύτητα (επιφανειακή ή ταχύτητα φίλτρου)

V_b και ξ_s = συντελεστές σχήματος πόρων

V_s = όγκος των θαλάμων

Z = αριθμός συνδιάταξης

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Μ.Δ.Φ = μη διαβρέχουσα φάση

Δ.Φ = διαβρέχουσα φάση

Π.Ε.Μ = προσέγγιση ενεργού μέσου

q_{scn} = κατώφλι διείσδυσης Μ.Δ.Φ

q_{scw} = κατώφλι διείσδυσης Δ.Φ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας, αναφέρεται στα πορώδη υλικά, τις εφαρμογές τους στον έλεγχο και την προστασία του περιβάλλοντος.

Τα πορώδη υλικά συναντώνται σε μία ευρεία ποικιλία διεργασιών βιομηχανικού και περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος.

Αρχικά αναφέρονται οι ιδιότητες των πορωδών μέσων και οι μέθοδοι υπολογισμού αυτών. Στη συνέχεια μελετάται η σημασία που έχουν στις αντιρρυπαντικές τεχνολογίες και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Μαρία Θεοδοροπούλου Δρ. του Τμήματος Μηχανολογίας καθώς επίσης και την Δρ. Συγγούνη Βαρβάρα για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχαν για την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας.

Πάτσης Βύρωνας

Δεκέμβριος 2009

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, η οποία αναπτύσσεται σε δεκαεπτά κεφάλαια, αναφέρεται στα πορώδη υλικά, τις εφαρμογές τους στον έλεγχο και την προστασία του περιβάλλοντος.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται οι εφαρμογές των πορωδών μέσων και οι γενικοί ορισμοί αυτών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσονται τα τοπολογικά χαρακτηριστικά των πορωδών μέσων με βάση τους αριθμούς Betti.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται τα είδη της μικροσκοπικής και μακροσκοπικής κλίμακας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο μελετώνται οι παράμετροι πορώδους μέσου καθώς επίσης και περιοχές κορεσμού φάσεων με βάση τη συνάρτηση πρόσβασης. Στο τέλος μελετάται η συμπεριφορά των πορωδών υλικών απέναντι στο νερό.

Το πέμπτο κεφάλαιο ασχολείται με τις μεθόδους μέτρησης του πορώδους.

Στο έκτο κεφάλαιο αναλύεται η μελέτη πορωδών μέσων μέσω αριθμητικών μεθόδων καθώς και τα φαινόμενα ροής.

Στο έβδομο γίνεται αναφορά πειραματικά της ροής μιας φάσης σε πορώδη μέσα σύμφωνα με το νόμο του Darcy.

Στο όγδοο κεφάλαιο αναφέρονται παραδείγματα προσομοιώσεων σε εφαρμογές της μονοφασικής ροής.

Στο ένατο κεφάλαιο αναπτύσσεται το θέμα της ρύπανσης και οι μορφές αυτής.

Το δέκατο, ενδέκατο και δωδέκατο κεφάλαιο ασχολούνται με τους τύπους των πορωδών κεραμικών δομών και τις εφαρμογές τους στις αντιρρυπαντικές τεχνολογίες.

Στο δέκατο τρίτο μελετώνται οι δραστηριότητες της ΕΚΕΠΥ στο χώρο των προηγμένων κεραμικών.

Το δέκατο τέταρτο, δέκατο πέμπτο και δέκατο έκτο ασχολούνται με διάφορα είδη πορωδών υλικών και τον τρόπο χρησιμοποίησης τους σε αντιρρυπαντικές τεχνολογίες.

Το δέκατο έβδομο κεφάλαιο αναφέρεται στη ρύπανση της θάλασσας και οι μέθοδοι αντιρρύπανσης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Τα πορώδη μέσα εμφανίζονται στην καθημερινή μας ζωή σε μια μεγάλη συχνότητα πχ: το έδαφος ,τα πετρώματα, διάφορα παράγωγα της αργιλικής μάζας όπως τα προϊόντα γύψου, γυψοσανίδες, κεραμικά υλικά όπως: προϊόντα αγγειοπλαστικής ,είδη υγιεινής, τούβλα, κεραμίδια, πορσελάνες, σε οπτικές εφαρμογές όπως: λάμπες, οπτικές ίνες, οπτικά παράθυρα, ενεργός άνθρακας, πολυεστερικό βαμβάκι, αφρολέξ, ξύλο και τα παράγωγα του, σφουγγάρια, αφροί μεταλλικών τηγμάτων οι οποίοι βρίσκουν εφαρμογή στην ηχομόνωση στην θερμομόνωση, απορρόφηση ενέργειας σε αυτοβιομηχανίες κτλ.

Πρέπει να τονίσουμε ότι τα πορώδη μέσα είναι πολύ διαδεδομένα τόσο στις τεχνολογικές όσο και στις βιομηχανικές εφαρμογές. Βιομηχανικές, τεχνολογικές ή και αμιγώς επιστημονικές περιοχές ενδιαφέροντος στις οποίες απαντώνται τα πορώδη μέσα είναι η βιομηχανία πετρελαίου (δημιουργία και βελτίωση τεχνικών εξορύξεως πετρελαίου),στην φαρμακοβιομηχανία, στην βιοχημική μηχανική (κατασκευή βιολογικών μεμβρανών),στην ιατρική (μελέτη κυκλοφορίας αίματος),στην βιομηχανία πλαστικών, στις βιομηχανίες βαρέων κατασκευών (χρήση ειδικών πορωδών αντισεισμικών υλικών, κατασκευή γεφυρών και αυτοκινητοδρόμων),στην γεωλογία, στις επιστήμες περιβάλλοντος ,επίσης απαντώνται σε εφαρμογές όπως η κατασκευή κεραμικών (αντιτριβικά μέρη, κοπτικά εργαλεία, μέρη μηχανών κινητήρων και τουρμπινών, θερμαντικά

στοιχεία, μονωτές, μαγνήτες, στόμια καυστήρων εναλλακτών θερμότητας, θερμομονωτές κτλ) ,σε κατασκευές σύνθετων υλικών, καταλυτικές διεργασίες όπως η βάση, η διήθηση ετερογενών διαλυμάτων, η επεξεργασία αποβλήτων.

Τα πορώδη μέσα αποτελούν ένα σημαντικό πεδίο έρευνας για την επιστήμη της Μηχανικής επειδή οι βασικές εφαρμογές τους άπτονται των ενδιαφερόντων της επιστήμης αυτής. Οι κυριότερες περιοχές της τεχνολογίας οι οποίες εξαρτώνται από τα πορώδη μέσα ενώ ταυτόχρονα αποτελούν σημεία ερευνητικής αιχμής για τους Μηχανικούς, είναι (Dullien, 1979) η υδρολογία (hydrology) η οποία ασχολείται με την κίνηση ρευστών στο έδαφος και σε άλλες πορώδεις δομές, και η μηχανική πετρελαίου (petroleum engineering) η οποία ασχολείται με την παραγωγή του πετρελαίου και των προϊόντων του (φυσικό αέριο κλπ). Επιπροσθέτως, τα πορώδη μέσα εμφανίζονται και σε άλλες εφαρμογές οι οποίες αφορούν την Μηχανική όπως είναι η ετερογενής κατάλυση ,η ροή διαμέσου στερεών η ρευστοποιημένων κλινών (packed or fluidized beds flow), η υγρή χρωματογραφία, πολλές διεργασίες διαχωρισμού, τα φίλτρα καθαρισμού υγρών και αερίων, η κατασκευή πλαστικών κτλ.

Ένας άλλος βασικός τομέας που χρησιμοποιούνται τα πορώδη υλικά είναι σε μελέτες που αφορούν την αποθεραπεία του μολυσμένου υδροφόρου ορίζοντα από ρύπους.

1.2 Γενικές έννοιες πορωδών μέσων

Τα υλικά χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη των πόρων.

Τα πορώδη υλικά έχουν είτε ανοιχτούς είτε κλειστούς πόρους,(**Σχήμα 1**)



Ανοιχτοί πόροι



Κλειστοί πόροι

Σχήμα 1

Κατηγορίες δομής πορωδών υλικών

1.2.1 Χαρακτηριστικά των πορωδών μέσων :

- Πορώδες
- Σχήμα και διαστάσεις πόρων
- Διασύνδεση πόρων
- Διαβρεκτικότητα σε σχέση με τα ρευστά
- Ανομοιογένεια
- Ανισοτροπία

Το πορώδες (ϵ) ενός υλικού ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των διάκενων που παρουσιάζει ένα στρώμα του υλικού προς τον συνολικό όγκο που καταλαμβάνει το στρώμα.

Πόρος καλείται κάθε κενός χώρος μέσα στη δομή του πορώδους μέσου ανεξαρτήτως σχήματος ή μεγέθους. Το σχήμα και οι διαστάσεις τους καθορίζονται από το είδος του υλικού και την ιστορία διαγένεσης η οποία καθορίζει τον τελικό σχηματισμό.

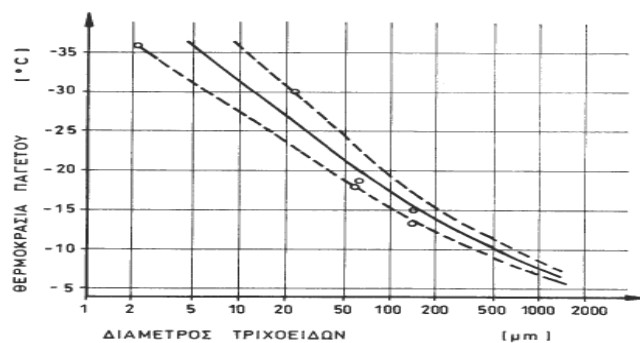
Το ποσοστό των πόρων του υλικού δίνεται από το πορώδες του υλικού u το οποίο προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$u = 1 - d (\%) \quad (1)$$

$$d = \frac{\rho_R}{\rho} = \frac{\frac{m}{V_g - V_z}}{\frac{m}{V_g - V_z - V_h}} = \frac{V_g - V_z - V_h}{V_g - V_z} \quad (2)$$

Η σχέση (1) λόγω της σχέσης (2) γίνεται :

$$u = 1 - \frac{V_g - V_z - V_h}{V_g - V_z} = \frac{V_h}{V_g - V_z} \quad (\%) \quad (3)$$



Η θερμοκρασία παγετού του νερού σε σχέση με τη διάμετρο των τριχοειδών αγγείων.

Οι πόροι των φυσικών υλικών διακρίνονται σε **θαλάμους** και **λαιμούς**.

Θάλαμοι καλούνται οι μεγάλοι πόροι οι διαστάσεις των οποίων είναι συγκρίσιμες με αυτές των κόκκων. Οι **λαιμοί**, ωστόσο, είναι μικρότεροι πόροι και μοιάζουν με κανάλια που συνδέουν τους θαλάμους. Προσεγγιστικά, μπορεί

να αποδοθεί μια χαρακτηριστική διάσταση στους θαλάμους ως η αποτελεσματική ακτίνα της σφαίρας που έχει τον ίδιο όγκο με τους πόρους. Η διαδικασία αυτή ορίζει τους πόρους σαν μέγιστα και ελάχιστα της μεγαλύτερης σφαίρας που εγγράφεται στους πόρους και έχει χρησιμοποιηθεί σε διαδικασίες προτυποποίησης ορισμένων μη στερεοποιημένων και στερεοποιημένων πετρωμάτων των ταμιευτήρων. Το πορώδες υλικό μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα δίκτυο στο οποίο τους κόμβους τοποθετούνται οι θάλαμοι ενώ στους δεσμούς τοποθετούνται οι λαιμοί. Το πορώδες αποδίδεται είτε όλο στους θαλάμους είτε στους λαιμούς ή ακόμη και να διαμοιραστεί στους δύο αυτούς τύπους πόρων.

Οι ταμιευτήρες αποτελούνται από υλικά στα οποία οι θάλαμοι μπορούν να χαρακτηριστούν από μια ισοδύναμη ογκομετρική διάμετρο και οι αποτελεσματικές διαμέτροι που προκύπτουν είναι τυχαία κατανεμημένες στο διάστημα από 5 έως 100 μm . Οι λαιμοί παρουσιάζουν σχισμοειδές και ακανόνιστο σχήμα και ο χαρακτηρισμός τους γίνεται με το πάχος, βάθος και ενδεχομένως πλάτος. Το μήκος τους είναι συγκρίσιμο με αυτό των κόκκων του υλικού, το πάχος τους κυμαίνεται από 1 έως 10 μm και το πλάτος τους είναι συγκρίσιμο με αυτό των θαλάμων.

Οι πληροφορίες για τους πόρους είναι ουσιαστικά οι κατανομές μεγέθους τους οι οποίες μπορεί να αναφέρονται σε ένα αποτελεσματικό ή χαρακτηριστικό μέγεθος. Οι κατανομές εξαρτώνται από την πειραματική μέθοδο και το πρότυπο που χρησιμοποιείται για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

2. ΤΟΠΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΡΩΔΩΝ ΜΕΣΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Κάθε πορώδες μέσο αποτελείται από τον πορώδη χώρο και το στερεό που διαχωρίζονται μεταξύ τους από τα τοιχώματα των πόρων, τα οποία σχηματίζουν μια διεπιφάνεια. Ένας απλός τρόπος χαρακτηρισμού της τοπολογίας του υλικού είναι ο αριθμός συνδιάταξης, Z . Επειδή όμως ο υπολογισμός του είναι δύσκολος, υπολογίζεται αντί αυτού ο μέσος αριθμός συνδιάταξης, \bar{z} , σε ένα επαρκώς μεγάλο δείγμα του πορώδους. Η ποσοτική στερεολογία και η σειριακή τομογραφία είναι δυο άμεσες μέθοδοι για τον υπολογισμό του μέσου αριθμού συνδιάταξης (Τσακίρογλου, 1990). Τα δεδομένα λαμβάνονται από λεπτές τομές απλών και διπλών πυροχυτευμάτων και ένας κατάλληλος αλγόριθμος υπολογίζει τον αριθμό συνδιάταξης, ταυτόχρονα με τις κατανομές μεγέθους των χαρακτηριστικών της πορώδους δομής. Έμμεσες μέθοδοι για τον ίδιο υπολογισμό είναι ο πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός, η ποροσιμετρία και οι ισόθερμες ρόφησης – εκρόφησης. Με χρήση της θεωρίας διαπέρασης για την προτυποποίηση ρόφησης – εκρόφησης αζώτου υπολογίζεται άμεσα ο μέσος αριθμός συνδιάταξης (Sahimi, 1993).

Τα τοπολογικά χαρακτηριστικά καθορίζονται ακριβέστερα με βάση τους αριθμούς Betti. Δύο δομές είναι τοπολογικά ισοδύναμες όταν όλοι οι αριθμοί Betti είναι ίδιοι.

Ο μηδενικός αριθμός Betti, p_0 , ισούται με τον αριθμό των απομονωμένων υποδικτύων της πορώδους δομής. Για παράδειγμα η στερεή δομή ενός μοναδικού συνδεδεμένου κοκκώδους υλικού, όπως ένας ψαμμίτης, έχει $p_0 = 1$.

Αν για μια πορώδη δομή, $p_0 > 1$, τότε αυτή αποτελείται από απομονωμένα μεταξύ τους δίκτυα πόρων

Ο πρώτος αριθμός Betti, είναι ο αριθμός των μη τεμνόμενων κλειστών καμπυλών που μπορούν να σχεδιαστούν πάνω στην επιφάνεια της δομής, χωρίς να την τμήσουν. Η πορώδης δομή μπορεί να αναπαρασταθεί ισοδύναμα από τη συσταλτική παραμόρφωσή της που είναι το δίκτυο κόμβων και δεσμών που απομένει όταν η πορώδης δομή συρρικνώνεται σε γραμμές και σημεία. Ο πρώτος αριθμός Betti δίνεται από τη σχέση:

$$p_1 = b - n + 1 \quad (2.1)$$

όπου, b είναι ο αριθμός των κλαδών και n είναι αριθμός των κόμβων του δικτύου.

Η τοπολογία της δομής εκφράζεται μέσω του γένους το οποίο είναι ίσο με τον πρώτο αριθμό Betti, για δίκτυα που ανήκουν στον ίδιο τοπολογικό χώρο. Το γένος ανά μονάδα όγκου, G_v , χρησιμοποιείται ευρέως γιατί η τιμή του εξαρτάται από τον όγκο της δομής. Για μεγάλα συστήματα ισχύει:

$$G_v = \frac{b}{n} - 1 \quad (2.2)$$

Η παραπάνω εξίσωση συσχετίζει το γένος με το μέσο αριθμό συνδιάταξης, όμως το γένος και το γένος ανά μονάδα όγκου είναι πιο γενικές έννοιες.

Ο τρίτος αριθμός του Betti είναι ένα μέτρο της κατευθυντικότητας της διεπιφάνειας. Έτσι η ταινία του Mobius έχει μόνο μία πλευρά, αφού το κάθετο διάνυσμα στην επιφάνειά της, μπορεί να μετακινηθεί με συνεχή τρόπο και να

επιστρέψει στο ίδιο σημείο δείχνοντας προς την αντίθετη κατεύθυνση . Ακόμη, μια σφαίρα με έναν απομονωμένο πόρο στο εσωτερικό της, έχει δύο πλευρές, ενώ μια δομή με n απομονωμένους πόρους, έχει $n+1$ πλευρές.

Οι παραπάνω αριθμοί του Betti μπορούν να οριστούν για τη στερεή δομή, p_0^s, p_1^s, p_2^s , όσο και για την πορώδη δομή, p_0^p, p_1^p, p_2^p . Ωστόσο, ανάμεσά τους ισχύουν οι σχέσεις:

$$p_0^p = 1+p_2^s \quad (2.3)$$

$$p_1^p = p_1^s = G \quad (2.4)$$

$$p_0^s = 1+p_2^p \quad (2.5)$$

δηλαδή, τα τοπολογικά χαρακτηριστικά της πορώδους δομής είναι συζυγή με αυτά της στερεής δομής και επομένως απαιτείται η μέτρηση μόνο του ενός συνόλου από αυτά. Τα πετρώματα των ταμευτήρων έχουν εξαιρετικά πολύπλοκη δομή και μεγάλο γένος. Για ένα μεγάλο αριθμό ψαμμιτικών πετρωμάτων, ο μέσος αριθμός συνδιάταξης κυμαίνεται από 4 έως 8.

3. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΚΑΙ ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

3.1 Είδη κλιμάκων

Κλίμακα μεγέθους L: χαρακτηρίζει την έκταση ή το χώρο της ροής

Εργαστηριακή (0-10⁰ m), σχετίζεται με τις εργαστηριακές μετρήσεις για μικρά ή μεγάλα δείγματα από το πορώδες μέσο.

Τοπική (10^1-10^2), σχετίζεται με το πάχος του ταμιευτήρα και τα συνδεδεμένα με αυτό φαινόμενα όπως άνοιγμα πηγαδιών και ροή σε εδάφη .

Περιφερειακή ($10^3-10^5 m$), αφορά όλο τον ταμιευτήρα ή τον πορώδη σχηματισμό και τις διαδικασίες εκμετάλλευσής του από ετερογένειες στην χωρητικότητα και την διαπερατότητα του ταμιευτήρα.

Κλίμακα μεγέθους I: αφορά τη διάσταση στην οποία εμφανίζονται τα ετερογενή χαρακτηριστικά του πορώδους μέσου δηλαδή τη διάσταση όπου παύουν να συσχετίζονται οι ιδιότητες του μέσου. Προσδιορίζεται στατιστικά και θεωρείται ότι είναι πολύ μικρότερη της κλίμακας L προκειμένου να είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για τον πορώδη σχηματισμό από μικρότερα δείγματα.

Κλίμακα μεγέθους D: αυτή η κλίμακα δίνει τη δυνατότητα παράστασης των διαφόρων φυσικών ιδιοτήτων από τις μέσες τους τιμές στον πορώδη χώρο. Σχετίζεται άμεσα με τις διαστάσεις των μετρητικών οργάνων άμεσα με τις διαστάσεις των μετρητικών οργάνων ή της περιοχής όπου ενδιαφέρει να γίνουν οι μετρήσεις. Όλα τα μετρητικά όργανα λειτουργούν ως συσκευές μέσων τιμών και γι' αυτό η κλίμακα μπορεί να περιλαμβάνει χαρακτηριστικά μεγέθη από τις διαστάσεις των εργαστηριακών δοκιμίων έως και τις διαστάσεις ενός πηγαδιού στον ταμιευτήρα ή και ολόκληρο το σχηματισμό.

Η ιεράρχιση των παραπάνω κλιμάκων στο εργαστήριο είναι η εξής:
 $I \ll D \ll L$. Έτσι, το ενδιαφέρον εστιάζεται στις χωρομέσες τιμές οι οποίες μπορούν να εναλλαχθούν με τις μέσες τιμές σε μια ολότητα μέσω της εργοδικής υπόθεσης.

Στην παρούσα εργασία ορίζουμε σαν μικροσκοπική κλίμακα αυτήν της οποίας το μήκος είναι της τάξης των $1-10^2$ χαρακτηριστικών διαμέτρων των πόρων του πορώδους μέσου. Ως μακροσκοπική κλίμακα ορίζουμε μια κλίμακα με μήκος της τάξης των 10^2-10^4 διαμέτρου των πόρων και μια ενδιάμεση κλίμακα καλείται μεσοσκοπική. Η μεσοσκοπική και μακροσκοπική κλίμακα λαμβάνονται ως ταυτόσημες αφού το χαρακτηριστικό τους μέγεθος είναι της τάξης των διαστάσεων του χρησιμοποιούμενου δοκιμίου πόρων.

Τα φαινόμενα που συμβαίνουν κατά τη διφασική ροή ταξινομούνται ανάλογα με την κλίμακα μεγέθους που χρησιμοποιείται για την περιγραφή τους. Έτσι ως μικροεκτόπιση καλούνται τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα σε μικροσκοπική κλίμακα μεγέθους.

Το πορώδες μέσο που χρησιμοποιείται είναι ισότροπο και έχει τυχαία δομή στη μικροσκοπική κλίμακα αλλά είναι μακροσκοπικά ομογενές. Χαρακτηρίζεται από καλά ορισμένες και μοναδικές ιδιότητες του πορώδη χώρου όπως το πορώδες, οι κατανομές μεγέθους των πόρων και συντελεστές μεταφοράς, όπως η απόλυτη διαπερατότητα και οι σχετικές διαπερατότητες που είναι ανεξάρτητες του μεγέθους του πορώδους μέσου.

4. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΜΕΣΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Το πορώδες μέσο θεωρείται σαν ένα δίκτυο θαλάμων συνδεδεμένων μέσω λαιμών με σταθερό μέσο αριθμό συνδιάταξης Z . Ο όγκος των θαλάμων, V_s , και η ηλεκτρική αγωγιμότητα των λαιμών, g_b , δίνονται από τις σχέσεις:

$$V_s(r) \sim r^{\xi_s} \quad \text{και} \quad g_b(r) \sim r^{V_b} \quad (4.1\alpha)$$

όπου οι εκθέτες ξ_s και V_b είναι συντελεστές σχήματος πόρων. Τα μεγέθη (ακτίνες) θαλάμων και λαιμών ακολουθούν Weibull συναρτήσεις κατανομής της μορφής:

$$F_s(r) = K_s \lambda_s r^{\lambda_s - 1} \cdot e^{-k_s \cdot r^{\lambda_s}} \quad \text{και} \quad F_b(r) = K_b \lambda_b r^{\lambda_b - 1} \cdot e^{-k_b \cdot r^{\lambda_b}} \quad (4.2\alpha)$$

Η τραχύτητα των θαλάμων χαρακτηρίζεται από το κλασματικό πορώδες A και την κλασματική διάσταση D_s . Ο κορεσμός διαβρέχουσας φάσης στη τραχύτητα πόρων ακτίνας r δίνεται από τη:

$$S_f(r) = A (P_c \cdot r / \gamma)^{D_s - 3} \quad (4.3\alpha)$$

όπου P_c είναι η τριχοειδής πίεση ισορροπίας

Αντίστοιχα, η αποστράγγιση ενός διαβρέχοντος λεπτού υγρού υμένα από έναν λαιμό ακτίνας r περιγράφεται από τις:

$$P_c = \Pi(h) = \Delta h^{-\delta} \quad (4.4\alpha)$$

$$g_{ef}(r, h) = c_f (h/r)^{v_f} \quad (4.5\alpha)$$

όπου $\Pi(h)$ είναι η πίεση αποσύνδεσης (disjoining pressure), h και g_{ef} είναι το πάχος και η ενεργή αγωγιμότητα του υμένα ενώ D , δ , c_f , v_f καθορίζονται από

την γεωμετρία των πόρων.

Οι στατιστικές συσχετίσεις μεταξύ των μεγεθών γειτονικών πόρων περιγράφονται από την:

$$q_b = q_s^a \quad (4.6a)$$

όπου q_b και q_s είναι τα κλάσματα δεσμών (λαιμών) και κόμβων (θαλάμοι) του δικτύου στη μη διαβρέχουσα φάση (ΜΔΦ), όπου ορίζονται στη θεωρία διείσδυσης.

Δηλαδή, η αποστράγγιση της διαβρέχουσας φάσης από το δίκτυο προσομοιώνεται σαν συσχετισμένη διαδικασία διείσδυσης κόμβων και δεσμών (bond-correlated site percolation).

4.2 Περιοχές κορεσμού φάσεων

Με βάση τη συνάρτηση πρόσβασης κόμβων (Σχήμα. 4.3.5a) διακρίνονται 4 περιοχές κορεσμού.

Περιοχή 1: κοντά στο κατώφλι διείσδυσης q_{scn} η μη διαβρέχουσα φάση (ΜΔΦ) διαπερνάει το δίκτυο και ο κορεσμός της αυξάνεται

αγνοώντας επιδράσεις τραχύτητας, οι κορεσμοί και των δύο φάσεων προσεγγίζονται με νόμους κλιμάκωσης της συνάρτησης πρόσβασης (universal

scaling laws) .Η ενεργή αγωγιμότητα της διαβρέχουσας φάσης ($\Delta\Phi$) μπορεί να υπολογιστεί με την προσέγγιση ενεργού μέσου (PEM), ενώ η ενεργή αγωγιμότητα της ΜΔΦ καθορίζεται από νόμους κλιμάκωσης.

Περιοχή 2:Μετά το q_{scn} αλλά μακριά από το q_{scw} η συνάρτηση πρόσβασης είναι σχεδόν γραμμική ενώ επιδράσεις τραχύτητας και λεπτών υμένων μπορούν να αμεληθούν. Οι ενεργές αγωγιμότητες της $\Delta\Phi$ και ΜΔΦ δίνονται από PEM και νόμους κλιμάκωσης αντίστοιχα.

Περιοχή 3:Κοντά στο q_{scw} η συνάρτηση πρόσβασης είναι ακόμη γραμμική αλλά η συνεισφορά της τραχύτητας των θαλάμων και της αγωγιμότητας των λεπτών υμένων στον κορεσμό και ενεργή αγωγιμότητα της $\Delta\Phi$ αντίστοιχα γίνεται σημαντική. Η ολική αγωγιμότητα της $\Delta\Phi$ είναι ίση με το άθροισμα των αγωγιμοτήτων του δικτύου και των υμένων (σύστημα παράλληλων αντιστάσεων) ενώ η μέση αγωγιμότητα της ΜΔΦ υπολογίζεται από την PEM.

Περιοχή 4:Μετά το q_{scw} η $\Delta\Phi$ παγιδεύεται στο δίκτυο λόγω έλλειψης κινητικότητας και η αποστράγγιση περιορίζεται στα στοιχεία τραχύτητας. Καθώς η τριχοειδής πίεση αυξάνεται σημαντικά ο κορεσμός της $\Delta\Phi$ τείνει στην μη αναγώγιμη τιμή της ενώ η ενεργή της αγωγιμότητα καθορίζεται πλέον από το πάχος των υμένων. Αντίστοιχα η μέση αγωγιμότητα της ΜΔΦ δεν αλλάζει, εφόσον δεν συμβαίνει ανακατανομή των ρευστών μέσα στους πόρους.

4.3 Συμπεριφορά των πορώδων απέναντι στο νερό

Από το πορώδες επηρεάζονται οι περισσότερες ιδιότητες των υλικών και ιδιαίτερα η αντοχή τους, η συμπεριφορά τους απέναντι στο νερό, στα αέρια και στις καιρικές συνθήκες, καθώς και η θερμική συμπεριφορά τους.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η θερμοκρασία παγετού εξαρτάται από την διάμετρο των τριχοειδών αγγείων του υλικού και μάλιστα η θερμοκρασία αυτή είναι τόσο χαμηλότερη, όσο μικρότερη είναι αυξάνεται η διάμετρος των τριχοειδών αγγείων.

4.3.1 Δυνατότητα αναρρόφησης νερού: Η δυνατότητα αναρρόφησης νερού οφείλεται στα τριχοειδή αγγεία του υλικού και προσδιορίζεται με μερική εμβάπτιση του υλικού στο νερό (**Σχήμα 4α**)

4.3.2 Υδροαπορροφητικότητα

Η υδροαπορροφητικότητα, W , δίνεται από τη σχέση:

$$W = M_w - M_t \quad (1)$$

όπου M_w : η μάζα του κορεσμένου υλικού

M_t : η μάζα του υλικού από πλήρη ξήρανση στους 105°C

Ο κορεσμός επιτυγχάνεται είτε με σταδιακή εμβάπτιση (**Σχήμα 4β**), είτε με εμβάπτιση υπό πίεση.

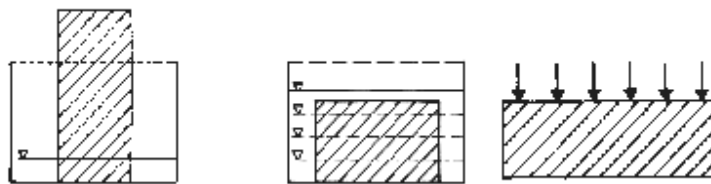
4.3.3 Δυνατότητα απόδοσης νερού

Η δυνατότητα απόδοσης νερού, W_a , δίνεται από τη σχέση:

$$W_a = M_t - M_{a,t} \quad (2)$$

όπου M_w : μάζα κορεσμένου υλικού

$M_{a,t}$: μάζα του υλικού που έχει ξηρανθεί στους 20°C σταθερού βάρους



Αναρρόφηση νερού Υδροαπορροφητικότητα Υδατοπερατότητα

α

β

γ

Σχήμα 4.

Δοκιμές για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των υλικών απέναντι στο νερό.

4.3.4 Υδατοπερατότητα

Υδατοπερατότητα είναι η αντίσταση που προβάλλουν τα υλικά κατά τη διέλευση του νερού μέσα από τη μάζα τους. Ελέγχεται με τη βοήθεια υδραυλικής πίεσης, η οποία εφαρμόζεται σε δοκίμιο του υλικού (Σχήμα 4γ)

4.3.5 Υδατοδιαβρεκτά πορώδη μέσα

Κάτω από συνθήκες υδατοδιαβροχής, η ελαϊκή φάση (ΜΔΦ) εκτοπίζει βαθμιαία την υδατική φάση (ΔΦ) με αποτέλεσμα την σταδιακή αύξηση του δείκτη ηλεκτρικής αντίστασης. Με βάση όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως για τις διάφορες περιοχές κορεσμού (Σχήμα 4.3.5α) καταλήγουμε στις παρακάτω προσεγγιστικές εξισώσεις.

Περιοχή :1

$$I_R^{-1} \cong 1 - \frac{z}{z-2} \left[\frac{\alpha q_{scn}^{\alpha-1} (1 - q_{scn})}{(1 - q_{scn}^{\alpha})} \right]^{\beta_p} \left(\frac{1 - S_w}{1 - A} \right)$$

όπου β_p ένας γενικευμένος εκθέτης κλιμάκωσης ($\beta_p=0.4$ για 3-Δ συστήματα)

Περιοχή: 2

$$I_R^{-1} \cong 1 - \frac{z}{z-2} \left[1 - \left(\frac{S_w - A}{1-A} \right)^{\lambda_s/(\lambda_s + \xi_s)} \right]^\alpha$$

Περιοχή:3 $S_{wcw!} \cong (1 - q_{scw})^{\xi_s + \lambda_s} / \lambda_s$

$$I_R^{-1} \cong \left\{ 1 - \left[\frac{1 - S_{wl}^{\lambda_s/(\lambda_s + \xi_s)}}{1 - S_{wcw!}^{\lambda_s/(\lambda_s + \xi_s)}} \right]^\alpha \right\}^\mu + c_f \frac{[(D/\gamma)(\alpha/\kappa_b)]^{v_f/\delta}}{\langle r_b \rangle^{v_f}} S_{wl}^{v_f \lambda_s / [\delta \lambda_b (\lambda_s + \xi_s)]}$$

$$S_w \cong S_{wl} + (1 - S_{wl}) A \langle r_s \rangle^{-1} (\alpha/\kappa_b)^{1/\lambda_b} \beta^{-D_s} S_{wl}^{\lambda_s(3-D_s)/[\lambda_b(\lambda_s + \xi_s)]}$$

όπου μ είναι ένας γενικευμένος εκθέτης κλιμάκωσης ($\mu=2.0$ για 3- Δ συστήματα) ενώ $\langle r_b \rangle$ και $\langle r_s \rangle$ είναι οι μέσες ακτίνες λαιμών και θαλάμων αντίστοιχα.

Περιοχή 4

$$I_R^{-1} \equiv c_f \frac{[(D/\gamma) < r_s >]^{v_f/\delta}}{< r_b >^{v_f}} \left[\frac{S_w - S_{wcl}}{(1 - S_{wcl})A} \right]^{v_f/[\delta(\beta - D_s)]}$$

4.3.6 Ελαιοδιαβρεκτά πορώδη μέσα

Αρχικά το πορώδες μέσο καταλαμβάνεται από την διαβρέχουσα ελαϊκή φάση η οποία σταδιακά αποστραγγίζεται και το πορώδες μέσο γίνεται για πρώτη φορά ηλεκτρικά αγώγιμο στο κατώφλι διείσδυσης q_{scn} . Λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές της ενεργής αγωγιμότητας της ΜΔΦ στις διάφορες περιοχές κορεσμού, καταλήγουμε στις παρακάτω σχέσεις:

Περιοχή: 1

$$I_R^{-1} \equiv \left[\frac{\alpha q_{scn}^{\alpha-1} (1 - q_{scn})}{(1 - q_{scn}^\alpha)} \right]^\mu \left(\frac{S_w}{1 - A} \right)^{\mu/\beta_p}$$

Περιοχή:2

$$S_w \cong S_{w1} (1 - A)$$
$$S_{wcn1} \cong 1 - (1 - q_{scn})^{(\xi_s + \lambda_s)/\lambda_s}$$
$$I_R^{-1} \cong \left\{ \alpha q_{scn}^{\alpha-1} \left[(1 - S_{wcn1})^{\lambda_s/(\lambda_s + \xi_s)} - (1 - S_{w1})^{\lambda_s/(\lambda_s + \xi_s)} \right] / (1 - q_{scn}^\alpha) \right\}^\mu$$

Περιοχή:3

$$I_R^{-1} \cong \left\{ z \left[1 - (1 - S_{w1})^{\lambda_s/(\lambda_s + \xi_s)} \right]^\alpha - 2 \right\} / (z - 2)$$
$$S_w \cong S_{w1} \left\{ 1 - A \left[< r_s >^{-1} (\alpha / \kappa_b)^{1/\lambda_b} \right]^{3 - D_S} (1 - S_{w1})^{\lambda_s(3 - D_S)/[\lambda_b(\lambda_s + \xi_s)]} \right\}$$

Περιοχή:4

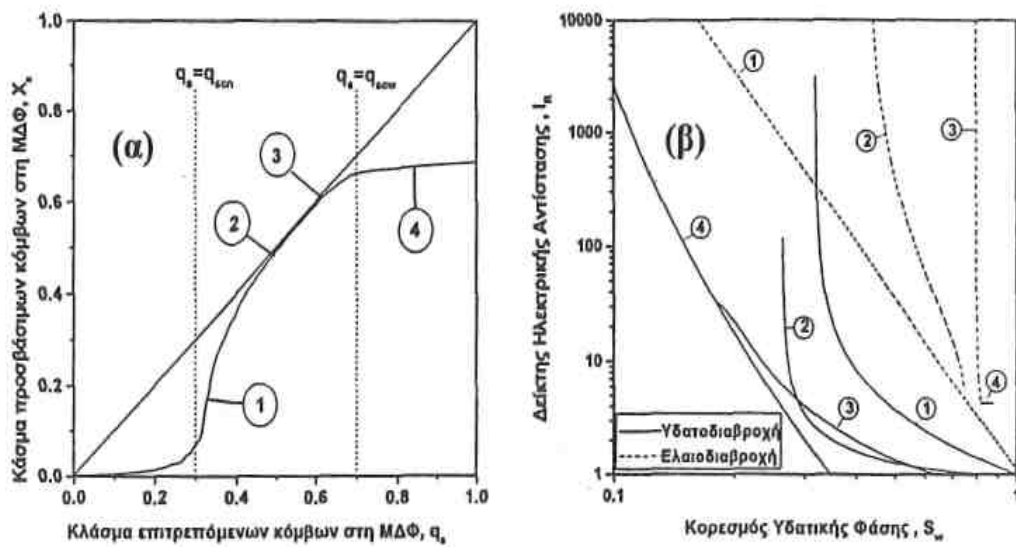
$$S_{wcn1} \cong 1 - (1 - q_{scw})^{(\xi_s + \lambda_s)/\lambda_s}$$
$$I_R^{-1} \cong \left\{ z \left[1 - (1 - S_{wcn1})^{\lambda_s/(\lambda_s + \xi_s)} \right]^\alpha - 2 \right\} / (z - 2)$$
$$S_w = S_{wcn1} \left\{ 1 - A \left[< r_s >^{-1} (\alpha / \kappa_b)^{1/\lambda_b} \right]^{3 - D_S} (1 - S_{w1})^{\lambda_s(3 - D_S)/[\lambda_b(\lambda_s + \xi_s)]} \right\}$$

Για τυπικές παραμέτρους της πορώδους δομής (**Πίνακας 4**) ο δείκτης ηλεκτρικής αντίστασης (και ο εκθέτης κορεσμού) είναι σημαντικά μεγαλύτερος για ελαιοδιαβρεκτά απ' ό τι για υδατοδιαβρεκτά πορώδη μέσα για όλες τις περιοχές κορεσμού των φάσεων. (**Σχήμα 4.3.5α**)

Πίνακας 4 Παράμετροι πορώδους δομής

z	q_{scn}	q_{scw}	α	ξ_s	λ_s	$\langle r_s \rangle^*$	λ_b	κ_b	$\langle r_b \rangle^*$	A	D_s	c_f	ν_f	Δ	D^*	γ^*
6	0.3	0.7	2	2	1.5	19.4	1	0.12	8.3	0.25	2.5	1	1	0.5	250	25

Διαστατικά μεγέθη: $^*(\mu\text{m})$ $^+(\text{dyn/cm}^{1.5})$ $^{\#}(\text{dyn/cm})$



Σχήμα 4.3.5α (α)Συνάρτηση πρόσβασης διεργασίας διείσδυσης κόμβων σε ένα κυβικό δίκτυο (q_{scn} =κατώφλι διείσδυσης ΜΔΦ, q_{scw} =κατώφλι διείσδυσης ΔΦ). (β) Μεταβολή του δείκτη ηλεκτρικής αντίστασης στις διάφορες περιοχές κορεσμού φάσεων κατά την αποστράγγιση υδατοδιαβρεκτού και ελαιοδιαβρεκτού πορώδους μέσου.

5. ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΡΩΔΟΥΣ

5.1 Μέθοδοι μέτρησης

Οι συνήθεις μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του μεγέθους των πόρων είναι η ποροσιμετρία υδραργύρου, η προσρόφηση και εκρόφηση αερίων και τέλος κάποιες νεώτεροι μέθοδοι όπως η σκέδαση νετρονίων και ακτίνων Χ, σε μικρές γωνίες, ο πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός, η υπερηχογραφία και η αξονική τομογραφία. Συνήθως, λόγω των μειονεκτημάτων της κάθε μεθόδου, απαιτείται συνδυασμός μεθόδων με κάποια γνώση για το σχήμα και τη διασύνδεση των πόρων, προκειμένου να χαρακτηριστεί ένα πορώδες μέσο.

Η ποροσιμετρία συνίσταται στη σταδιακή είσδυση του υδραργύρου σε συνεχώς μικρότερους πόρους του μέσου με την αύξηση της πίεσης καθώς ο υδράργυρος δε διαβρέχει τα περισσότερα στερεά. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται εξαρτώνται από το σχήμα, τη διασύνδεση των πόρων και την τοπολογία του πορώδους. Οι μεγαλύτεροι πόροι σκιάζονται από τους μικρότερους και δεν είναι προσπελάσιμοι από τον υδράργυρο στην αντίστοιχη πίεση. Σαν κατάλληλη μέθοδος χαρακτηρισμού της πορώδους δομής με βάση τους Payatakes and Dias, θεωρείται ο συνδυασμός ποροσιμετρίας και σειριακής τομογραφίας σε απλά και διπλά εκμαγεία πορώδων μέσων και με τη βοήθεια εξομοίωσης της είσδυσης υδραργύρου σε ένα ρεαλιστικό πρότυπο του πορώδους μέσου. Οι Tsakiroglou and Payatakes (1989) ανέπτυξαν ένα

εξομοιωτή ποροσιμετρίας σε τρισδιάστατα πρότυπα δικτύων πόρων όπου ενσωματώνονται τα παραπάνω χαρακτηριστικά και είναι πιο γενικός από τη θεωρία διαπέρασης.

Η διασύνδεση των πόρων εκφράζεται ποσοτικά με τον αριθμό συνδιάταξης. Έτσι σαν τοπικός αριθμός συνδιάταξης, Z , θεωρείται εδώ ως ο αριθμός των λαιμών που συνδέονται με ένα θάλαμο. Ο μέσος αριθμός συνδιάταξης, \bar{Z} , σχετίζεται με τα τοπολογικά χαρακτηριστικά της πορώδους δομής και κυμαίνεται από 4 έως 7, αλλά σε μερικές περιπτώσεις έως 25 ή 30 (Sahimi, 1993). Ο λόγος διαμέτρου θαλάμου προς πάχος λαιμού καθορίζει ορισμένα από τα φαινόμενα αστάθειας των διεπιφανειών και τελικά το ποσοστό πετρελαίου που παγιδεύεται στον πορώδη χώρο ενώ κυμαίνεται από 3 έως 10. Σε αυτή την περίπτωση, τα τυπικά πορώδη υλικά θεωρούνται ομογενή και ισότροπα.

6. ΜΕΛΕΤΗ ΠΟΡΩΔΩΝ ΜΕΣΩΝ

6.1 Εισαγωγή

Η μελέτη των πορωδών μέσων είναι δύσκολη και παρουσιάζει προβλήματα τα οποία πηγάζουν από την πολυπλοκότητα της δομής των πορώδων μέσων καθώς και από την ανάγκη συνυπολογισμού των αλληλεπιδράσεων που πιθανώς εμφανίζονται μεταξύ των διάφορων σημείων του πορώδους μέσου.

Οι αριθμητικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ευρέως για την επίλυση προβλημάτων ροής, όπως πεπερασμένες διαφορές και πεπερασμένα στοιχεία

έχουν αποδειχθεί πολύ χρήσιμα για περιπτώσεις σχετικά απλής γεωμετρίας.

Η δυσκολία εφαρμογής τους σε πορώδη μέσα έγκειται κυρίως στην περίπλοκη γεωμετρία των στερεών τοιχωμάτων και στις πολύ ψηλές απαιτήσεις σε υπολογιστικό χρόνο και μνήμη.

Για να υπερνικηθούν αυτές οι δυσκολίες στην μικροσκοπική μελέτη των πορωδών μέσων έχουν αναπτυχθεί θεωρητικά πρότυπα (που στο εξής θα αναφέρονται ως μοντέλα) τα οποία, μέσω σειράς υποθέσεων και απλουστεύσεων, κατορθώνουν να απλοποιούν τη μαθηματική περιγραφή των προβλημάτων ροής και μεταφοράς μάζας και ενέργειας επιτυγχάνοντας έτσι ευκολότερη πρόσβαση στη λύση τους. Το πρόβλημα με την δημιουργία ενός τέτοιου μοντέλου είναι η επιλογή των παραδοχών και υποθέσεων που πρέπει να γίνουν ώστε να επιτυγχάνονται η απλούστερη δυνατή μορφή αποτελεσμάτων.

6.2 Συνεχή και διακρίτα πρότυπα

Τα φαινόμενα ροής μπορούν να περιγραφθούν είτε με συνεχή είτε με διακριτά πρότυπα. Οι φυσικοί νόμοι που διέπουν τη ροή ρευστών στη μικροσκοπική κλίμακα είναι καθορισμένοι. Έτσι, μπορούν να εφαρμοστούν διαφορικές εξισώσεις ισοζυγίων μάζας, ορμής και ενέργειας με κατάλληλες αρχικές και συνοριακές συνθήκες για τη διεπιφάνεια ρευστού - στερεού. Ωστόσο, ο προσδιορισμός της διεπιφάνειας είναι δύσκολος έως αδύνατος γι' αυτό και καθίσταται αναγκαία η περιγραφή του φαινομένου σε μια κλίμακα μεγέθους μεγαλύτερη του μεγέθους των πόρων του δοκιμίου.

Οι μακροσκοπικές ιδιότητες ορίζονται ως μέσες τιμές των αντιστοίχων μικροσκοπικών. Οι μέθοδοι ομογενοποίησης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ένας στοιχειώδης όγκος ορίζεται με κέντρο κάθε σημείο του πορώδους μέσου και η μέση τιμή λαμβάνεται σε αυτόν. Ο όγκος καλείται στοιχειώδης αντιπροσωπευτικός όγκος και πρέπει να είναι αρκετά μικρός σε σχέση με τον όγκο του συστήματος αλλά παράλληλα αρκετά μεγάλος για την εξαγωγή μέσων τιμών.

Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί μια κατάλληλα ορισμένη συνάρτηση βάρους, $m(x)$, όπου x είναι το διάνυσμα θέσης στο πορώδες. Οι μακροσκοπικές ιδιότητες εξάγονται από τη συνέλιξη των αντιστοίχων μικροσκοπικών ιδιοτήτων με τη συνάρτηση βάρους.

Η πολύπλοκη δαιδαλώδης πορώδης δομή δυσκολεύει την εξαγωγή των μέσων τιμών. Οι μακροσκοπικές εξισώσεις που εξάγονται εφοδιασμένες με τους κατάλληλους αποτελεσματικούς συντελεστές μεταφοράς συνιστούν την περιγραφή του συστήματος ως συνεχές. Τα συνεχή πρότυπα δε λαμβάνουν υπόψη τους την επίδραση της συνεκτικότητας της πορώδους δομής και παύουν να ισχύουν σε συστήματα όπου γίνονται συσχετίσεις σε μεγάλη κλίμακα.

Στα διακριτά πρότυπα δεν ισχύουν οι ανωτέρω περιορισμοί και τα περισσότερα βασίζονται στην αναπαράσταση του πορώδους μέσου σαν ένα δίκτυο πόρων. Με βάση τους Mohanty and Salter (1982) και Lin and Cohen (1982) κάθε τυχαία πορώδης δομή μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα ισοδύναμο τυχαίο δίκτυο κόμβων και δεσμών.

Εναλλακτικά, τα φαινόμενα μεταφοράς σε πορώδη μέσα με τυχαία μικροδομή μπορούν να περιγραφούν από τη θεωρία της διαπέρασης στην οποία

νόμοι στατιστικής φυσικής οδηγούν σε νόμους κλιμάκωσης με συντελεστές που κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις είναι ανεξάρτητοι από την πορώδη μικροδομή.

7. ΡΟΗ ΜΙΑΣ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΠΟΡΩΔΗ ΜΕΣΑ

7.1 Απόλυτη διαπερατότητα και νόμος του Darcy

Η αγωγιμότητα που παρουσιάζει ένα διαπερατό μέσο κατά τη ροή σε αυτό ενός Νευτώνειου ρευστού καλείται *απόλυτη* ή *ειδική* διαπερατότητα και εξαρτάται μόνο από τη δομή του. Η απόλυτη διαπερατότητα έχει διαστάσεις επιφάνειας για αυτό και ερμηνεύεται ως την ένδειξη της οπισθέλκουσας λόγω της ροής του ρευστού στη στερεή επιφάνεια του πορώδους μέσου ([=] $\text{Da} [=] 0,987\mu\text{m}^2$).

Ορίζουμε την απόλυτη διαπερατότητα μέσω του νόμου του Darcy (1856) ο οποίος ισχύει για το είδος των ροών σε πορώδη μέσα όπου οι αδρανειακές δυνάμεις είναι αμελητέες (έρπουσα ροή ή Stokes).

Η εξίσωση Navier–Stokes για ισόθερμη ροή ασυμπίεστου Νευτώνειου ρευστού γράφεται σε αδιάστατη μορφή:

$$\frac{Dv^*}{Dt^*} = \frac{\partial v^*}{\partial t^*} + (v^* \cdot \nabla^*)v^* = -\nabla^* r^* + \frac{1}{Re} \nabla^{*2} v^* + \frac{1}{Fr} g^* \quad (7.1.1)$$

όπου: $Re = \rho v d / \mu$, ο αριθμός Reynolds

$Fr = v^2 / d g$, ο αριθμός Froude

ρ : η πυκνότητα

v : το μέτρο ταχύτητας

d : το χαρακτηριστικό μήκος της ροής

μ : το ιξώδες και g : η επιτάχυνση της βαρύτητας

Για περιπτώσεις όπου η ροή ενός ή περισσότερων ρευστών είναι αργή, ο αριθμός Re είναι πολύ μικρός, οπότε όταν και ο όρος: $\left[\frac{\partial v^*}{\partial t^*} \right]$, είναι πολύ μικρός, τότε ο όρος των αδρανειακών δυνάμεων είναι μικρός σε σχέση με την πίεση ή τις ιξώδεις δυνάμεις. Αμελώντας, λοιπόν τον όρο των αδρανειακών δυνάμεων, λαμβάνουμε την εξίσωση Stokes σε σταθερή κατάσταση:

$$\frac{1}{Re} \nabla^{*2} v^* = \nabla^* r^* - \frac{1}{Fr} g^* = \nabla^* P^* \quad (7.1.2)$$

η οποία σε διαστατική μορφή γράφεται:

$$m \nabla^2 v = \nabla P \quad (7.1.3)$$

όπου P: η ολική πίεση, που ορίζεται από τη σχέση: $P = p + \rho g z$ και z είναι το ύψος από το επίπεδο αναφοράς.

Όταν σε ένα πορώδες μέσο ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις για την έρπουσα ροή τότε ισχύει ο νόμος του Darcy:

$$\langle v \rangle = -\frac{k}{m} \langle \nabla P \rangle \quad (7.1.4)$$

όπου $\langle v \rangle$ η μέση ταχύτητα (επιφανειακή ή ταχύτητα φίλτρου), m το ιξώδες, k η διαπερατότητα και $\langle \nabla P \rangle$ η μέση (μακροσκοπική) βαθμίδα της ολικής πίεσης, η οποία δίνεται από: $\langle \nabla P \rangle = \langle \nabla r - r g \rangle$, με g το διάνυσμα της βαρύτητας.

Ο νόμος Darcy σε ολοκληρωτική μορφή και για ροή στη μια διάσταση δίνεται από τη σχέση:

$$q = -\frac{k}{m} A \frac{\Delta P}{L} \quad (7.1.5)$$

όπου $q \equiv$ η παροχή του ρευστού που διοχετεύεται μέσω της επιφάνειας της διατομής του πορώδους μέσου, A , η οποία περιλαμβάνει το στερεό και τον πορώδη χώρο, P η ολική πίεση και L το μήκος του πορώδους μέσου.

Όταν το πορώδες είναι ανισότροπο ισχύει ένας γενικευμένος νόμος Darcy, όπου η διαπερατότητα πλέον είναι τανυστής δευτέρας τάξης:

$$\langle v \rangle = -\frac{K}{m} \langle \nabla P \rangle \quad (7.1.6)$$

Με ολοκλήρωση της (7.1.3) σε έναν αντιπροσωπευτικό στοιχειώδη όγκο και στη συνέχεια αντικατάστασή της στην (7.1.6) προκύπτει:

$$\langle v \rangle = -K \langle \nabla^2 v \rangle \quad (7.1.7)$$

όπου, K , είναι η απόλυτη διαπερατότητα, που προκύπτει από τη διαδικασία ολοκλήρωσης. Από τις εξισώσεις (7.1.6) και (7.1.7) προκύπτει:

$$\mu \langle \nabla^2 v \rangle = \langle \nabla P \rangle \quad (7.1.8)$$

Η εξίσωση που προέκυψε προκαλεί σύγχυση όσον αφορά την ακριβή σημασία του νόμου Darcy. Η εξίσωση Navier – Stokes για ασυμπίεστα ρευστά και υπό τη συνθήκη μη ολίσθησης στα τοιχώματα περιγράφει ικανοποιητικά τη σταθερή ροή σε πορώδη μέσα, αφού αν οι αδρανειακοί όροι είναι αμελητέοι η μακροσκοπική (μέση) ταχύτητα της ροής είναι ανάλογη με τη μακροσκοπική (μέση) βαθμίδα πίεσης. Το πορώδες πρέπει να είναι επαρκώς ομογενές στην κλίμακα της ολοκλήρωσης ώστε οι μέσες τιμές ταχύτητας και βαθμίδας ολικής πίεσης να είναι υπαρκτές. Ουσιαστικά, ο νόμος Darcy, συνδέει τις μέσες τιμές των ιδιοτήτων, όπου η ολοκλήρωση γίνεται σε κάποιον όγκο του πορώδους μέσου και το αποτέλεσμα εξαρτάται από την πορώδη δομή. Ενώ η εξίσωση Navier – Stokes και όσες προκύπτουν από τη λύση της περιλαμβάνουν τοπικές τιμές ταχυτήτων και πιέσεων, που ορίζονται μέσα σε ξεχωριστούς πόρους του μέσου. Παρατηρούνται αποκλίσεις από το νόμο του Darcy σε αριθμούς Re της τάξης 1-10 λόγω αδρανειακών δυνάμεων. Αντίθετα, σε κυλινδρικό σωλήνα η απόκλιση από τον αντίστοιχο γραμμικό νόμο των Hagen - Poiseuille, που προκύπτει ως λύση της Navier – Stokes για πλήρως ανεπτυγμένη ροή συμβαίνει για τιμές Re 1000 φορές μεγαλύτερο. Έτσι η απόδοση των αποκλίσεων από το νόμο Darcy σε εμφάνιση τυρβώδους ροής είναι εσφαλμένη αφού εμφανίζεται

πολύ νωρίτερα και οφείλεται στις αδρανειακές δυνάμεις. Ο νόμος Darcy παύει να ισχύει για τιμές Re μεγαλύτερους από μία τιμή στο διάστημα 0.1-750, ανάλογα με την πορώδη δομή.

Έχει γίνει δυνατή η εξαγωγή του νόμου Darcy με τη μέθοδο της ομογενοποίησης, δηλαδή μια διαδικασία μέσης τιμής. Ο νόμος που προκύπτει όταν η εξίσωση Navier – Stokes, εφαρμοσθεί για τους πόρους του συστήματος και με τις κατάλληλες συνοριακές συνθήκες ολοκληρωθεί σε ένα στοιχειώδη όγκο είναι ο εξής (Whitaker, 1986a):

$$\langle v_b \rangle = -\frac{K}{m} \cdot (\nabla \langle P_b \rangle^b - p_b g) \quad (7.1.9)$$

όπου, ο κάτω δείκτης β υποδεικνύει ποσότητες που αναφέρονται στην πορώδη δομή (φάση β) και ο άνω δείκτης β υποδηλώνει μέσες τιμές στον πορώδη όγκο (εσωτερικές μέσες τιμές).

Η διαπερατότητα K , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K = \varepsilon_\beta T^{-1} \quad (7.1.10)$$

με τον τανυστή T να δίνεται από τη σχέση:

$$T = -\frac{1}{V_b} \int_{A_{\beta\sigma}} n_{\beta\sigma} \cdot (\nabla B - I b) dA \quad (7.1.11)$$

όπου, ε_β είναι το πορώδες, V_β είναι ο πορώδης όγκος, $n_{\beta\sigma}$ είναι το κάθετο μοναδιαίο διάνυσμα στη διεπιφάνεια μεταξύ των φάσεων β και σ , δηλαδή της πορώδους και στερεής δομής, $A_{\beta\sigma}$ είναι η αντίστοιχη επιφάνεια και B , b είναι αντίστοιχα ένας τανυστής και ένα διάνυσμα, που προκύπτουν από τις

αποκλίσεις των τοπικών τιμών της ταχύτητας και της πίεσης από τις εσωτερικές μέσες τιμές τους και εξαρτώνται από την πορώδη δομή μόνο.

Η μακροσκοπική περιγραφή συμπληρώνεται από τον αντίστοιχο μακροσκοπικό νόμο της συνέχειας για ασυμπίεστο ρευστό:

$$\nabla \cdot \langle V_b \rangle = 0 \quad (7.1.12)$$

7.2 Διαπερατότητα πορώδους μέσου.

Η διαπερατότητα K (cm^2) ενός πορώδους μέσου είναι ένα μέτρο της ευκολίας με την οποία διέρχεται ένα ρευστό μέσα από αυτό και δίνεται από το νόμο του Darcy:

$$Q = \frac{-KA}{\mu} \frac{\Delta P}{L} \quad (1)$$

όπου:

Q (mL s^{-1}) :είναι η ογκομετρική παροχή του ρευστού,

ΔP ($\text{gs}^2 \cdot \text{cm}$) :είναι η βαθμίδα πίεσης στα άκρα πορώδες μέσου,

- μ :είναι το ιξώδες του ρευστού,
 K :είναι η διαπερατότητα του πορώδους μέσου,
 A (cm^2) :είναι το εμβαδόν της διατομής του πορώδους μέσου,
 L (cm) : είναι το μήκος του πορώδους μέσου,

Το αρνητικό πρόσημο χρειάζεται γιατί το ρευστό κινείται από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη πίεση.

Ο (Darcy, 1856) περιγράφει την αργή ροή ενός Νευτώνειου ρευστού μέσα σε ένα ισότροπο και ομογενές πορώδες μέσο. Αργότερα ο νόμος επεκτάθηκε σε ανισότροπα (Ferrandon, 1948, Hubbert, 1956) και ανομοιογενή (Massarani, 1967) πορώδη μέσα.

Πειραματική διαδικασία:

Για τον υπολογισμό της διαπερατότητας σε μια πληρωμένη κλίνη, χρησιμοποιείται η πειραματική διάταξη του (**Σχήματος 7.2.α**). Ένα δοχείο μεγάλης σχετικά διατομής γεμίζεται μέχρι κάποιο ύψος με νερό και τοποθετείται σε μια θέση ρυθμιζόμενου ύψους. Η μεγάλη διατομή εξασφαλίζει ότι κατά τη διάρκεια της μέτρησης το ύψος του νερού δε μεταβάλλεται σημαντικά. Το κάτω μέρος του δοχείου πρέπει να διαθέτει ένα άνοιγμα το οποίο συνδέεται με την είσοδο της κλίνης. Η κλίνη βρίσκεται τοποθετημένη σε σταθερό σημείο.

Η Δp που δημιουργείται μεταξύ της επιφάνειας του νερού και της εξόδου

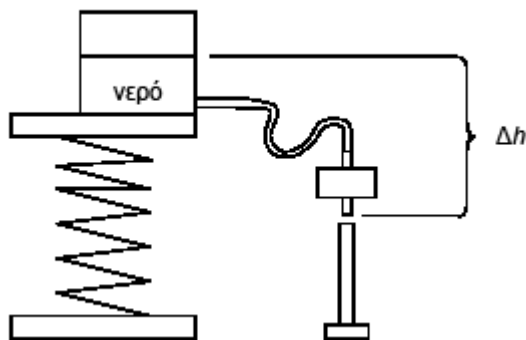
της κλίνης δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta p = \rho g \Delta h \quad (2)$$

όπου: ρ είναι η πυκνότητα του νερού (1 gmL^{-1})

g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας ($0,0981 \text{ cm. s}^{-2}$)

Δh είναι η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του νερού και της εξόδου της κλίνης (cm).



Σχήμα 7.2.α: σχηματική αναπαράσταση διάταξης μέτρησης της διαπερατότητας πληρωμένης κλίνης.

Η ΔP προκαλεί την κίνηση του νερού προς την έξοδο της κλίνης όπου αυτό συλλέγεται σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο για κάποιο χρονικό διάστημα. Από τον όγκο του νερού που συλλέχθηκε σε ορισμένο χρόνο υπολογίζεται η Q για τη συγκεκριμένη Δh και άρα, μέσω των σχέσεων (1) και (2), για τη

συγκεκριμένη ΔP . Η ίδια διαδικασία μετρήσεων επαναλαμβάνεται τοποθετώντας το δοχείο του νερού σε θέσεις διαφορετικού ύψους. Από την κλίση της ευθείας που προκύπτει από τη γραφική παράσταση της Q έναντι της ΔP , υπολογίζεται η διαπερατότητα του υλικού της κλίνης.

Στη διαδικασία αυτή θεωρούμε ότι οι απώλειες πίεσης από τα υπόλοιπα υλικά πέρα του υλικού πλήρωσης είναι αμελητέες.

7.2.1 Υπολογισμός του πορώδους υλικού

Το πορώδες του υλικού πλήρωσης της κλίνης μπορεί να υπολογιστεί με δύο διαφορετικούς τρόπους:

(α) τρόπος:

Σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο τοποθετείται V_{va} (mL) όγκος νερού. Στη συνέχεια προστίθεται το στερεό και αφού ενυδατωθεί και καθιζήσει πλήρως καταγράφονται ο όγκος που καταλαμβάνει το στερεό, έστω V_{σ} (mL) και ο νέος όγκος που καταλαμβάνει το νερό μαζί με το στερεό, έστω V_{vt} (mL). Το πορώδες e του υλικού θα δίνεται από τη σχέση:

$$e = \frac{V_{va} - (V_{vt} - V_{\sigma})}{V_{\sigma}} \quad (7.2.1.1)$$

(β) τρόπος:

Μετά το πέρας του πειράματος εκρόφησης στην κλίνη, η κλίνη ανοίγεται και το υλικό πλήρωσης συλλέγεται και ζυγίζεται. Στη συνέχεια τοποθετείται σε φούρνο και αφήνεται μέχρι να εξατμιστεί όλο το νερό. Το υλικό ζυγίζεται πάλι και από τη διαφορά βάρους υπολογίζεται ο όγκος του νερού που περιέχονταν στους πόρους. Ο όγκος αυτός προς τον κενό όγκο της κλίνης ισούται με το πορώδες του υλικού.

7.3 Θεωρητικά πρότυπα της ροής μιας φάσης σε πορώδη μέσα

Μεγάλος αριθμός προτύπων περιγράφει τη ροή μίας φάσης μέσω πορωδών υλικών, μερικά από τα πρότυπα αυτά προβλέπουν τη διαπερατότητα πορωδών υλικών ενός συγκεκριμένου τύπου, ενώ άλλα προσεγγίζουν πιο γενικές έννοιες που σχετίζονται με τη ροή.

- Θεωρία διαπέρασης (Percolation theory).

Η θεωρία αυτή με βάση την έννοια του δικτύου **δεσμών** (bonds) και (sites) **κόμβων** απαντά στο ερώτημα ποιο είναι το ποσοστό, p_c , των δεσμών ή των κόμβων, που πρέπει να είναι ανοικτοί ή κατειλημμένοι, δηλαδή αγωγιμοί στην

περίπτωση ροής ενός ρευστού, ώστε να σχηματίζεται ένα δίκτυο συνδεδεμένων αγωγίμων δεσμών ή κόμβων που να εκτείνεται από τη μία ως την άλλη άκρη του δικτύου. Το κρίσιμο αυτό ποσοστό ή πιθανότητα, p_c , λέγεται **κατώφλι διαπέρασης**, κάτω από το οποίο το δίκτυο δεν είναι αγωγίμο, δηλαδή η διαπερατότητα του είναι μηδενική. Αν το πρόβλημα ερευνά το ποσοστό των δεσμών, καλείται **πρόβλημα διαπέρασης δεσμών**, ενώ αν ερευνάται το ποσοστό των κόμβων, λέγεται **πρόβλημα διαπέρασης κόμβων**, ενώ υπάρχουν και μεικτά προβλήματα διαπέρασης δεσμών και κόμβων. Στον **πίνακα 7.3.α** που ακολουθεί παρουσιάζονται τιμές για το κατώφλι διαπέρασης ορισμένων διδιάστατων δικτύων.

Πίνακας 7.3.α: Τιμές για το κατώφλι διαπέρασης δεσμών, p_{cb} , το κατώφλι διαπέρασης κόμβων, p_{cs} , και για τον παράγοντα, $B_c = Z p_{cb}$, για τρία επίπεδα δίκτυα.^a ακριβές αποτέλεσμα

Δίκτυο	Z	p_{cb}	B_c	p_{cs}
Εξαγωνικό	3	1- $2\sin(\pi/18) \cong 0.6527^a$	1.96	0.69 62
Τετραγωνικό	4	$1/2^a$	2	0.59 27
Τριγωνικό	6	$2\sin(\pi/18) \cong 0.347$ 3^a	2.08	$1/2^a$

Η θεωρία της διαπέρασης εξάγει τους νόμους κλιμάκωσης, για τη διαπερατότητα, καθώς και για άλλους συντελεστές μεταφοράς. Κοντά στο κατώφλι διαπέρασης, ο νόμος για τη διαπερατότητα έχει τη μορφή:

$$k(p) \sim (p-p_c)^e \quad (7.3.1)$$

Ο εκθέτης e είναι περίπου 1.3 για διδιάστατα δίκτυα και 2.0 για τρισδιάστατα. Οι τιμές αυτές μπορεί να διαφέρουν για διαπέραση σε συνεχή μέσα, ωστόσο ισχύουν για μεγάλα δίκτυα, αλλά σε μικρότερα δίκτυα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η επίδραση του μεγέθους.

- Προσέγγιση αποτελεσματικού μέσου (Effective medium approximation, EMA).

Η μέθοδος αντικαθιστά το πορώδες μέσο με ένα τυχαίο δίκτυο αγωγών που κατανέμονται στους δεσμούς του. Το δίκτυο αυτό αντικαθίσταται με ένα ισοδύναμο δίκτυο, όλοι οι αγωγοί του οποίου έχουν την ίδια αγωγιμότητα, g_e . Η αγωγιμότητα αυτή προκύπτει από την επίλυση της ολοκληρωτικής εξίσωσης (Kirkpatrick, 1971, 1973):

$$\int h(g_p) \frac{g_p - g_e}{g_p + (g^{-1} - 1)g_e} dg_p = 0 \quad (7.3.2)$$

όπου, $\gamma=2/Z$ και $h(g_p)$ είναι η κατανομή των αγωγιμοτήτων των δεσμών του δικτύου, g_p . Η διαπερατότητα του δικτύου δίνεται τώρα από τη σχέση:

$$k = g_e \left\langle \frac{l}{S} \sum l \cdot n \right\rangle \quad (7.3.3)$$

όπου, S είναι το εμβαδόν της διατομής, l είναι το μήκος των δεσμών του δικτύου και n είναι μοναδιαίο διάνυσμα στην κατεύθυνση της βαθμίδας της πίεσης.

Η θεωρία δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα για επίπεδα δίκτυα και για συστήματα που δεν είναι κοντά στο κατώφλι διαπέρασης, p_c . Εξάλλου, προβλέπει για το κατώφλι διαπέρασης δεσμού, την τιμή, $p_{cb}=2/Z$.

Ένα ενδιαφέρον αποτέλεσμα (self-similar EMA) είναι η πρόβλεψη της σχέσης μεταξύ της διαπερατότητας και της αγωγιμότητας του δικτύου:

$$\Sigma = \sigma_f \varphi^m \quad (7.3.4)$$

όπου, σ είναι η αγωγιμότητα και σ_f είναι η αγωγιμότητα του ρευστού. Η εξίσωση (7.3.3) είναι γνωστή ως νόμος του Archie (1942). Παρόμοια σχέση έχει προταθεί στο παρελθόν για τη διαπερατότητα του μέσου, k , αλλά γρήγορα έγινε κατανοητό ότι μια γενική σχέση του είδους αυτού δεν είναι δυνατό να υπάρξει επειδή δύο πορώδη μέσα είναι δυνατόν να έχουν διαφορετικό πορώδες, φ , αλλά την ίδια διαπερατότητα, k .

7.4 Ροή δυο μη αναμειξιμων ρευστών κατά ομορρόη σε δοκίμιο δικτύου πόρων

Για τη μελέτη των υπογείων υδάτων και την αποκατάσταση του μολυσμένου υδροφόρου ορίζοντα από υγρά απόβλητα, διεξάγονται πειράματα ταυτόχρονης ροής δυο μη αναμειξιμων ρευστών μέσω πορωδών μέσων είτε σε μεταβατική κατάσταση, ως εκτόπιση του ενός ρευστού από το άλλο, είτε σε μόνιμη κατάσταση, ως ταυτόχρονη ροή των δυο ρευστών σε σταθερές παροχές.

Η μορφή που έχουν τα μη αναμειξιμα ρευστά κατά τη ροή τους μέσα από πορώδη μέσα ενδέχεται να είναι συνεχής ή ασυνεχής, δηλαδή υπό τη μορφή μικρών ή μεγάλων σταγόνων ή και στις δύο μορφές ανάλογα με τις συνθήκες. Με τον όρο *γάγγλιο* υποδηλώνεται μια σταγόνα της μη διαβρέχουσας φάσης που εντοπίζεται στον πορώδη χώρο ενός πορώδους μέσου και καταλαμβάνει χώρο μεγαλύτερο του ενός πόρου. Ως *διαπερατά πορώδη* χαρακτηρίζονται τα υλικά που έχουν την ικανότητα αγωγής ρευστών φάσεων μέσα από τη μάζα τους με ιξώδη ροή, διαμέσου ενός δικτύου πόρων που συνδέονται μεταξύ τους και με τα σύνορα του μέσου. *Κλειστός πορώδης όγκος* καλείται ένα πορώδες μέσο το οποίο διαθέτει δίκτυο πόρων χωρίς να συνδέεται με το περιβάλλον. Ένας κλειστός πορώδης όγκος ή ένα μέσο χωρίς πόρους καλείται *αδιαπέρατο* υλικό. Στην περίπτωση της εκτόπισης, το εκτοπίζον ρευστό καλείται *εισβολέας* ενώ το εκτοπιζόμενο *υπερασπιστής*. Έτσι λοιπόν, στην εισρόφηση υπερασπιστής είναι το μη διαβρέχον ρευστό και η εκτόπιση προχωρά με αύξηση του κορεσμού του διαβρέχοντος ρευστού (περίπτωση εκτόπισης πετρελαίου από νερό), αντιθέτως, στην αποστράγγιση

έχουμε αύξηση του κορεσμού του μη διαβρέχοντος ρευστού (περίπτωση εκτόπισης νερού από πετρέλαιο). Καλούμε κορεσμό μιας φάσης το ποσοστό του πορώδους ή κενού όγκου του πορώδους μέσου που καταλαμβάνει η συγκεκριμένη φάση.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο διεργασίες εισρόφησης και αποστράγγισης διαφέρουν πολύ μεταξύ τους με αποτέλεσμα οι φυσικές ιδιότητες που μετρούνται να παρουσιάζουν **υστέρηση**. Αυτό οφείλεται στις διαμορφώσεις που λαμβάνουν τα ρευστά και στις διαφορές των διεπιφανειών που τα διαχωρίζουν λόγω διαφορετικών συνθηκών διαβρεκτικότητας. Στην εισρόφηση οι τριχοειδείς δυνάμεις υποβοηθούν τον εισβολέα, ο οποίος προχωρά από τους μικρότερους πόρους και σχηματίζει έναν λεπτό υμένα που καλύπτει τα τοιχώματά τους, ενώ στην αποστράγγιση οι τριχοειδείς δυνάμεις εμποδίζουν τον εισβολέα, ο οποίος τώρα κινείται μέσω των μεγαλύτερων πόρων καταλαμβάνοντας το εσωτερικό τους.

7.5 Ροή δύο μη αναμείξιμων φάσεων σε πορώδη μέσα

7.5.1 Σχετικές διαπερατότητες

Η συνύπαρξη δύο μη αναμείξιμων ρευστών σε ένα πορώδες καθιστά δύσκολη την περιγραφή της ροής λόγω ανάπτυξης διεπιφανειών στους πόρους (διαμόρφωση των δύο ρευστών στο χώρο). Ξεκινώντας πάλι από την εξίσωση του Stokes και την εξίσωση συνέχειας εξάγονται οι παρακάτω εξισώσεις (Whitaker, 1986b):

$$\langle v_b \rangle = -\frac{K_b}{m_b} \cdot (\nabla \langle P_b \rangle^b - r_b g) + K_{bg} \cdot \langle v_g \rangle \quad (1)$$

$$\frac{\partial S_b}{\partial t} + \nabla \cdot \langle v_b \rangle = 0 \quad (2)$$

$$\langle v_g \rangle = -\frac{K_g}{m_g} \cdot (\nabla \langle P_g \rangle^g - r_g g) + K_{gb} \cdot \langle v_b \rangle \quad (3)$$

$$\frac{\partial S_g}{\partial t} + \nabla \cdot \langle v_g \rangle = 0 \quad (4)$$

$$S_\beta + S_\gamma = 1 \quad (5)$$

Όπου S_β , S_γ οι κορεσμοί των δύο φάσεων. Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν όταν ο τριχοειδής αριθμός είναι μικρός $Ca \ll 1$ και η επίδραση από την κίνηση των γραμμών επαφής είναι αμελητέα.

Στη βιομηχανία του πετρελαίου οι όροι σύζευξης αμελούνται. Έτσι οι συντελεστές των φάσεων, K_β και K_γ , που απομένουν από τους συντελεστές των μακροσκοπικών εξισώσεων, διαιρεμένοι με την απόλυτη διαπερατότητα K δίνουν τις σχετικές διαπερατότητες των δυο φάσεων :

$$k_{r\beta} = \frac{K_{\beta}}{K} \quad k_{r\gamma} = \frac{K_{\gamma}}{K} \quad (6)$$

Η έννοια των σχετικών διαπερατοτήτων χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα στο παρελθόν σαν επέκταση του νόμου του Darcy, στην περίπτωση της ροής δύο φάσεων.

Η δικαιολόγηση της έννοιας των σχετικών διαπερατοτήτων απαιτεί:

- α. η οπισθέλκουσα της ροής στην περιοχή των διεπιφανειών να είναι αμελητέα, και
- β. η διεπιφάνεια να μπορεί να θεωρηθεί άκαμπτη, ως μια συνέχεια της διεπιφάνειας ρευστού και στερεού.

Υπό τις παραπάνω συνθήκες οι όροι σύζευξης είναι αμελητέοι και η περιγραφή της ροής των δύο φάσεων απαιτεί μόνο τη μέτρηση των σχετικών διαπερατοτήτων

7.5.2 Τριχοειδής αριθμός

Ορίζεται από τη σχέση:

$$Ca = \frac{\mu \cdot v}{g} \quad (1)$$

όπου, γ είναι η διεπιφανειακή τάση των δυο φάσεων.

Ο τριχοειδής αριθμός εκφράζει το λόγο των ιξωδών προς τις τριχοειδείς δυνάμεις και για τις διεργασίες που μας ενδιαφέρουν λαμβάνει συνήθως πολύ μικρές τιμές της τάξης 10^{-4} έως 10^{-8} . Συνήθως, ο Ca αναφέρεται στη διαβρέχουσα φάση.

Η ροή σε πορώδη μέσα διέπεται επίσης από τους παρακάτω αδιάστατους αριθμούς:

$$\begin{array}{ll} We = \frac{rv^2d}{\mu} & Bo = \frac{\Delta r g d^2}{\mu} \\ \text{λόγος} & \text{λόγος βαρυτικών} \\ \text{αδρανειακών} & \text{δυνάμεων προς} \\ \text{δυνάμεων προς τις} & \text{τις τριχοειδείς} \\ \text{τριχοειδείς} & \text{δυνάμεις} \\ \text{δυνάμεις} & \end{array} \quad (2)$$

Ενώ παράλληλα παράγονται και άλλοι αδιάστατοι αριθμοί:

$$\text{Re} = \frac{We}{Ca} \quad \text{Fr} = \frac{We}{Bo} \quad (3)$$

Επειδή, η διάσταση d είναι πολύ μικρή, οι αριθμοί που την εμπεριέχουν είναι αμελητέοι. Αυτό συμβαίνει και στην παρούσα εργασία όπου ο μόνος αδιάστατος αριθμός που παίζει σημαντικό ρόλο είναι ο τριχοειδής και ο οποίος παραμένει σταθερός και ίσος με 10^{-6} .

7.5.3 Παράμετροι της ροής

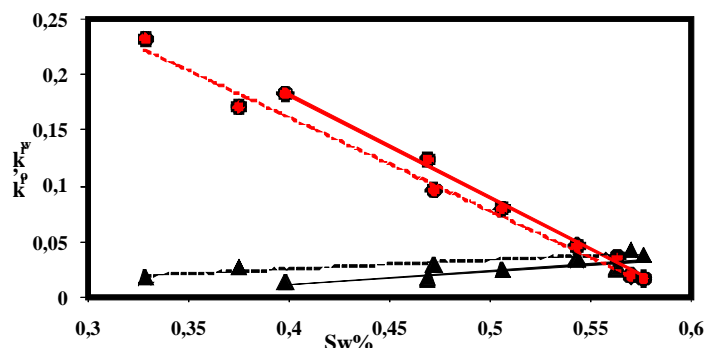
Οι παράμετροι που επηρεάζουν τις σχετικές διαπερατότητες είναι κυρίως ο κορεσμός των δύο φάσεων και η ιστορία της ροής. Έχει γίνει κατανοητό όμως ότι πρέπει να εξεταστεί οι επίδραση κάποιων επιπλέον παραμέτρων, όπως είναι:

- Η μορφολογία πορώδους χώρου
- Η διαβρεκτικότητα των ρευστών
- Λόγος ιξωδών
- Τριχοειδής αριθμός

- Ο τρόπος κατανομής των δυο ρευστών στον πορώδη χώρο είτε σε μόνιμη κατάσταση είτε σε μεταβατική

7.5.4 Ιστορία της ροής

Οι σχετικές διαπερατότητες εξαρτώνται από την ιστορία της ροής, δηλαδή τις αλλαγές που έγιναν στον κορεσμό των δύο φάσεων (συνθήκες εισρόφησης ή αποστράγγισης) γιατί υπάρχουν πολλές διαφορετικές διαμορφώσεις των ρευστών, οι οποίες ικανοποιούν την εξίσωση του Stokes. Η ιστορία της ροής επηρεάζει κατά τέτοιο τρόπο που προκαλεί μια *υστερητική* συμπεριφορά στις σχετικές διαπερατότητες (**Σχήμα 7.5.α**).



Σχήμα 7.5.α: Σχετικές διαπερατότητες ως συναρτήσεις του κορεσμού του νερού. Φαίνεται καθαρά η υστέρηση που παρουσιάζουν οι σχετικές διαπερατότητες (οι συνεχείς γραμμές αντιστοιχούν σε αποστράγγιση και οι διακεκομμένες σε εισρόφηση με κόκκινο αναπαριστώνται οι σχετικές διαπερατότητες λαδιού και με μαύρο αυτές του νερού).

7.5.5 Μορφολογία της πορώδους δομής

Σύμφωνα με τους Morgan and Gordon (1970) τα υλικά με μεγάλους πόρους και αντίστοιχα μεγάλη ειδική επιφάνεια, έχουν μικρούς μη αναγωγίμους κορεσμούς σε νερό αφήνοντας ένα μεγάλο μέρος του πορώδους χώρου στη ροή. Έτσι, οι τελικές τιμές των σχετικών διαπερατοτήτων είναι μεγάλες και κυμαίνονται σε μεγάλο διάστημα τιμών του κορεσμού (0.18-0.70).

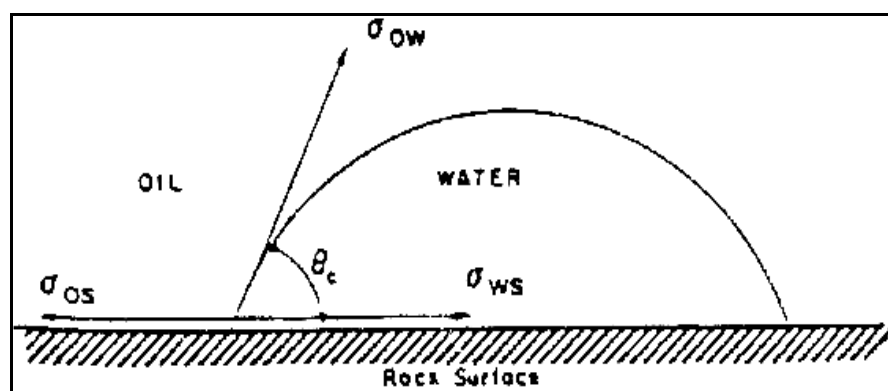
Αντίθετα, υλικά με μικρούς πόρους και μικρή ειδική επιφάνεια, ο χώρος που είναι διαθέσιμος για τη ροή είναι μικρότερος οπότε και οι τελικές τιμές των σχετικών διαπερατοτήτων είναι μικρές με τιμές που κυμαίνονται σε μικρότερα εύρη (0.33-0.73).

7.5.6 Διαβρεκτικότητα

Με τον όρο αυτό περιγράφονται οι αλληλεπιδράσεις ρευστών–στερεού, οι τάσεις δηλαδή που έχει ένα ρευστό να προσκολληθεί ή να εξαπλωθεί σε μία στερεή επιφάνεια κατά την παρουσία άλλων μη αναμίξιμων με αυτό ρευστών, αναφέρονται με τον όρο διαβρεκτικότητα. Η πιο άμεση εκδήλωση της διαβρεκτικότητας σε ένα σύστημα στερεού-υγρού-υγρού, είναι η γωνία επαφής ισορροπίας, θ_e , που παρατηρείται στο **Σχήμα 7.5.β** στην ισορροπία οι τρεις διεπιφανειακές τάσεις συνδέονται με τη σχέση Young – Dupree :

$$\gamma_{ow} \cos\theta_e = \gamma_{os} - \gamma_{ws} \quad (1)$$

όπου γ_{ow} η διεπιφανειακή τάση μεταξύ του πετρελαίου και του νερού ενώ γ_{os} , γ_{ws} οι διεπιφανειακές τάσεις του πετρελαίου και της στερεής επιφάνειας και του νερού και στερεής επιφάνειας, αντίστοιχα.



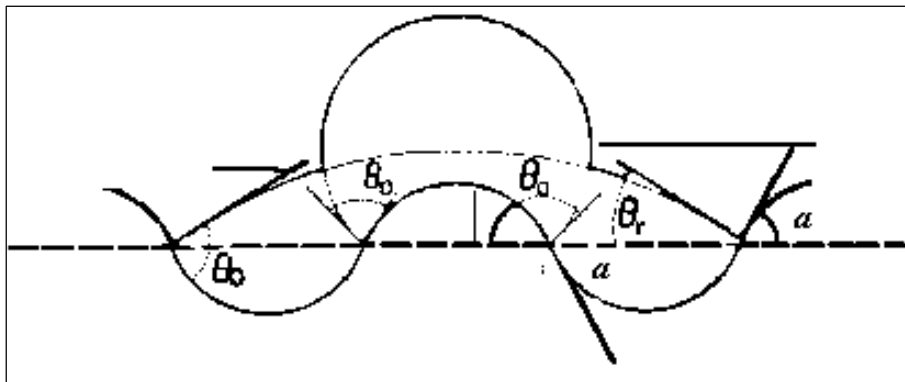
Σχήμα 7.5.β: Γωνία επαφής ισορροπίας.

Η γωνία επαφής ισορροπίας μετρείται μέσω της διαβρέχουσας φάσης αν $\theta_c < 90^\circ$, η επιφάνεια θεωρείται υδατοδιαβρεκτή. Στην πραγματικότητα η επιφάνεια θεωρείται υδατοδιαβρεκτή όταν $\theta_c < 65^\circ$. Όταν $150 < \theta_c < 180$, η επιφάνεια θεωρείται πετρελαιοδιαβρεκτή. Αν $65^\circ < \theta_c < 150^\circ$, η επιφάνεια είναι ενδιάμεσης διαβρεκτικότητας και δεν δείχνει ιδιαίτερη προτίμηση σε κάποιο από τα δύο ρευστά. Τέλος, αν $\theta_c = 0^\circ$ τότε το ρευστό διαβρέχει πλήρως την επιφάνεια και αναπτύσσεται ένας διαβρέχων υμένας που διαχωρίζει το στερεό από το άλλο ρευστό και οι συνθήκες αυτές αποκαλούνται συνθήκες τέλει διαβροχής.

Η γωνία επαφής της εξίσωσης Young-Dupree θεωρείται ως η πραγματική γωνία επαφής, ενώ στα πραγματικά συστήματα παρατηρείται η φαινομενική γωνία επαφής (Σχήμα 7.5.γ). Η γωνία που μετρείται παρουσιάζει πολλές διαφορετικές τιμές, εμφανίζει δηλαδή υστέρηση .

$$\theta_r^0 < \theta_{app} < \theta_a^0 \quad (2)$$

όπου, θ_r^0 είναι η στατική οπισθοχωρούσα γωνία και παρατηρείται όταν η επιφάνεια επαφής στερεού-ρευστού τείνει να αυξηθεί. θ_a^0 είναι η στατική προϊούσα γωνία επαφής και παρατηρείται όταν η επιφάνεια επαφής τείνει να συρρικνωθεί.



Σχήμα Σχήμα 7.5.γ : Σταγόνα που ηρεμεί πάνω σε ομόκεντρα αυλάκια. Μικροσκοπικά και για τις δυο διαμορφώσεις η γωνία επαφής είναι ίδια, αν και μακροσκοπικά διαφέρει.

Οι λόγοι που οδηγούν σε ενδεχόμενη υστέρηση της γωνίας επαφής είναι οι εξής:

(α) Η τραχύτητα της επιφάνειας

(β) Η χημική ετερογένεια ή η μόλυνση της διεπιφάνειας

(γ) Η ακινησία της διεπιφάνειας σε μακρομοριακό επίπεδο

7.6 Επίδραση της διαβρεκτικότητας στην τριχοειδή πίεση

Ο ακίνητος μηνίσκος μεταξύ δύο αμιγών ρευστών τα οποία βρίσκονται σε ένα πόρο έχει σχήμα που καθορίζεται από τη γεωμετρία του πόρου και τη διαβροχή. Τριχοειδής πίεση είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ της διαβρέχουσας και της μη διαβρέχουσας φάσης που υπάρχει εκατέρωθεν της διεπιφάνειας. Λόγω αυτής της διαφοράς πίεσης η διεπιφάνεια μεταξύ των δύο φάσεων είναι σφαιρική και εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων και τις αναλογίες των ποσοτήτων των υπαρχόντων ρευστών.

Ο νόμος Young-Laplace δίνει την πίεση των ρευστών στις δύο πλευρές μιας στατικής διεπιφάνειας

$$P_c = P_o - P_w = \gamma_{ow} J \quad (1)$$

$P_c \equiv$ τριχοειδής πίεση

$P_o \equiv$ πίεση από πλευρά πετρελαίου

$P_w \equiv$ πίεση από πλευρά νερού

$J \equiv$ μέση καμπυλότητα διεπιφάνειας $= 1/R_1 + 1/R_2$

$R_1, R_2 \equiv$ κύριες ακτίνες καμπυλότητας της διεπιφάνειας.

Η τριχοειδής πίεση που δίνεται από τον παραπάνω είναι τοπική, ορίζεται για κάθε σημείο της διεπιφάνειας. Η συνάρτηση τριχοειδούς πίεσης για ένα πορώδες μέσο δίνεται από τον τύπο:

$$P_c(S_w) = P_o(S_w) - P_w(S_w) \quad (2)$$

όπου, οι συμβολισμοί εννοούν μέσες τιμές στον πορώδη όγκο. Είναι χαρακτηριστική για κάθε πορώδες μέσο και φανερώνει τα χαρακτηριστικά της διαβρεκτικότητάς του.

Η διαβρεκτικότητα επιδρά στις σχετικές διαπερατότητες και έχει αποδειχτεί με βάση παλαιότερες έρευνες πως η σχετική διαπερατότητα της μη διαβρέχουσας φάσης αυξάνεται όταν η γωνία επαφής ελαττώνεται, δηλαδή με βελτίωση των συνθηκών διαβρεκτικότητας. Σε συνθήκες ροής (δυναμικές) ορίζεται η δυναμική τριχοειδής πίεση:

$$P_c = \langle P_o \rangle - \langle P_w \rangle \quad (3)$$

Οι Spanos *et al.* (1986) έδειξαν πως ισχύει μια σχέση ανάλογη της εξίσωσης του Laplace για στατικές διεπιφάνειες:

$$P_c = \gamma \omega f / \varphi \quad (4)$$

Όπου f μια άγνωστη συνάρτηση.

Ο Kalaydjian (1987), με βάση νόμους γραμμικής θερμοδυναμικής μη αντιστρεπτών διεργασιών έδειξε πως κάτω από συνθήκες ροής η δυναμική τριχοειδής πίεση δίνεται από τη σχέση:

$$P_c = g_{ow} Jf + L_1 \frac{\partial(fS_o)}{\partial t} \quad (5)$$

όπου, f είναι μία συνάρτηση που καθορίζει τη σχέση μεταξύ του ρυθμού μεταβολής των διεπιφανειών στο πορώδες και του ρυθμού μεταβολής του κορεσμού της μη διαβρέχουσας φάσης, S_o , L_1 είναι ένας μακροσκοπικός φαινομενολογικός συντελεστής.

Σε σχέση με τη διαβρεκτικότητα η εκτόπιση διακρίνεται σε εισρόφηση και αποστράγγιση. Εισρόφηση είναι η διαδικασία όπου η διαβρέχουσα φάση εκτοπίζει τη μη διαβρέχουσα. Αποστράγγιση είναι η αντίστροφη διαδικασία. Η τριχοειδής πίεση βοηθά την εκτόπιση στην εισρόφηση ενώ την εμποδίζει στην αποστράγγιση.

7.7 Λόγος ιξωδών

Ο λόγος ιξωδών ορίζεται ως ο λόγος του δυναμικού ιξώδους της μη διαβρέχουσας φάσης προς το δυναμικό ιξώδες της διαβρέχουσας φάσης .

$$k = \frac{m_o}{m_w} \quad (6)$$

Η επίδρασή του στις σχετικές διαπερατότητες δεν είναι καθορισμένη. Με βάση τους Goode και Rahmakrishnan (1993) η επίδρασή του λόγου των ιξωδών λαμβάνεται υπόψη σαν τρόπος μεταφοράς ορμής μέσω των διεπιφανειών.

7.8 Επίδραση Τριχοειδή αριθμού

Η χρησιμότητα των σχετικών διαπερατοτήτων στην περιγραφή της ροής δύο μη αναμίξιμων φάσεων σε πορώδη μέσα, προϋποθέτει την ανεξαρτησία τους από άλλες παραμέτρους, εκτός του κορεσμού των ρευστών και φυσικά της πορώδους δομής. Έτσι, η σημαντική επίδραση πολλών άλλων παραμέτρων σαν τους προαναφερθέντες, δυσκολεύει τη χρήση των συντελεστών αυτών στην περιγραφή και ερμηνεία των πειραματικών δεδομένων.

Εξάλλου ο τριχοειδής αριθμός και η σημαντική του επίδραση, περιορίζει δραστικά την αξία των σχετικών διαπερατοτήτων και τους καθιστά εμπειρικούς συντελεστές, καθώς ο νόμος Darcy, είναι πλέον ισχυρά μη γραμμικός.

Όταν ο τριχοειδής αριθμός είναι μικρός, δεν επιδρά σημαντικά στις σχετικές διαπερατότητες μια αύξησή του όμως κάνει τις καμπύλες των σχετικών διαπερατοτήτων να χάνουν την καμπυλότητά τους και τείνουν να γίνουν ευθείες (Rahmakrishnan and Wasan, 1984).

8. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

8.1 Εφαρμογές μονοφασικής ροής

Μεταξύ των εφαρμογών που αφορούν στα πορώδη μέσα ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν αυτές που αναφέρονται σε σχετική κίνηση ρευστού ως προς σμήνη μικρών σωματιδίων. Εφαρμογές τέτοιου είδους μπορούν να θεωρηθούν η καθίζηση, η ροή σε κοκκώδη μέσα (πχ άμμος), η ρευστοποιημένες κλίνες, η υγρή χρωματογραφία, κλπ.

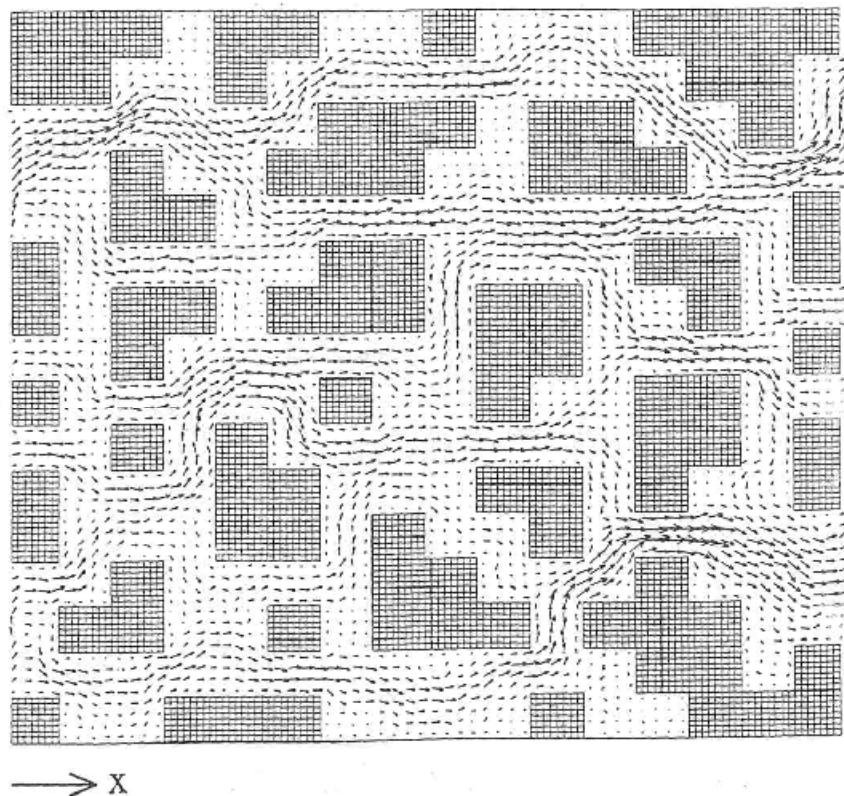
Τα σωματίδια μπορούν είτε να κινούνται σε σμήνη διαμέσου του ρευστού (όπως η καθίζηση η κατακλιση) είτε να παραμένουν στάσιμα εντός του κινούμενου ρευστού (όπως στις ρευστοποιημένες κλίνες).

Ένα μεγάλο εύρος ερευνητικών ενδιαφερόντων προβλημάτων απορρέει από την προσομοίωση διεργασιών οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε τέτοιου είδους πορώδη υλικά, πολλές εκ των οποίων αφορούν στη μεταφορά μάζας από το ρευστό προς το σμήνος των σωματιδίων.

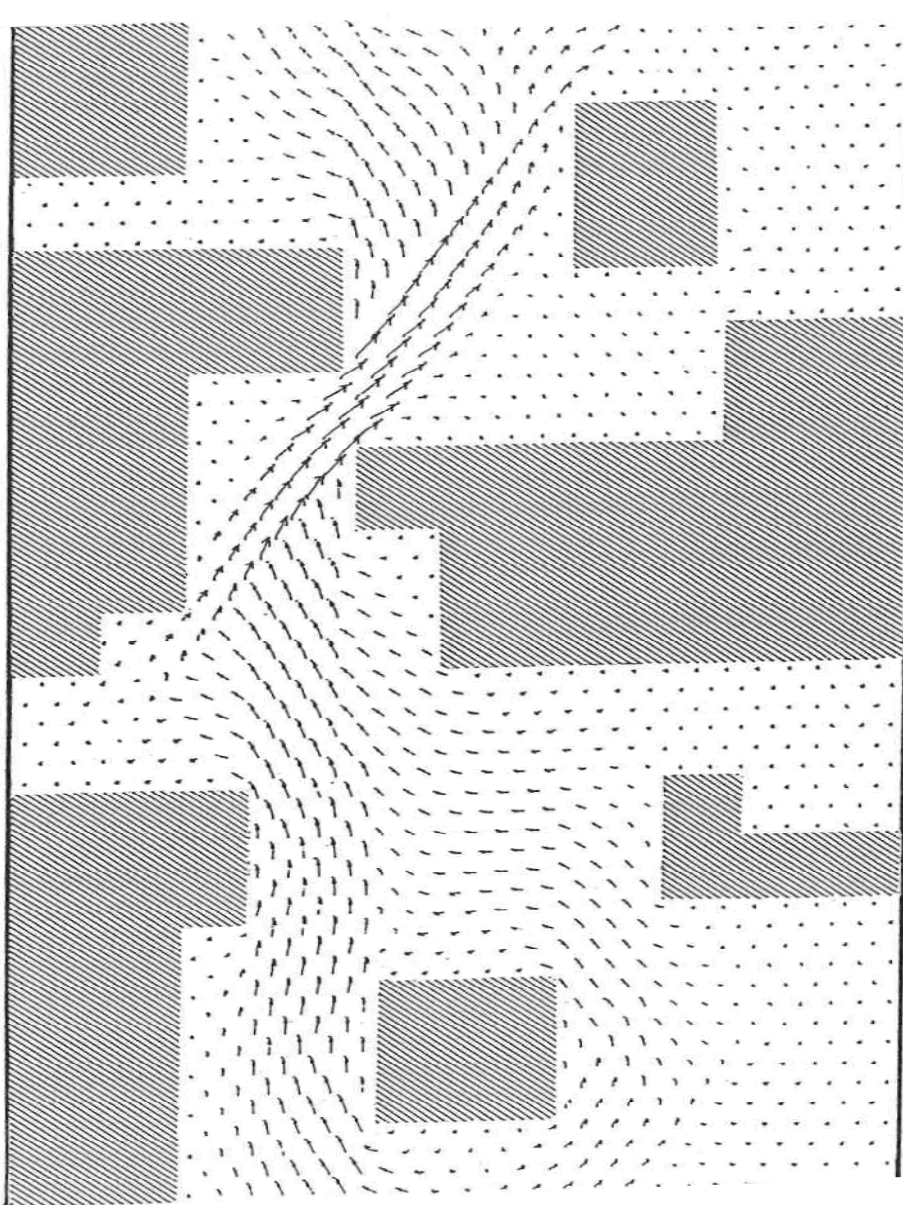
Δύο εφαρμογές μονοφασικής ροής ρευστού μέσα από ένα πορώδες μέσο αναφέρονται σαν ενδεικτικές του μοντέλου πλέγματος-αερίου. Η πρώτη αναπτύχθηκε από τους Rothman et al (1992). Το πορώδες δίκτυο, μεγέθους 512 x 512 κόμβοι, φαίνεται στο **σχήμα 8.1**

Εφαρμόζεται μια βαθμίδα πίεσης στη x διεύθυνση, διατηρώντας τη μέση μεταβολή ορμής $f_x = 0.20$. Οι τοπικές ταχύτητες των κόμβων λαμβάνονται αθροιστικά σε περιοχές 8 x 8 κόμβων και υπολογίζεται ο μέσος όρος. Αποδεικνύεται ότι απαιτείται πάροδος 1000 με 1500 χρονικών στιγμών, για να επιτευχθεί το αποτέλεσμα του διαγράμματος ροής που φαίνεται στο σχήμα. Στη δεύτερη εφαρμογή το πορώδες υλικό είναι αυτό του **σχήματος 8.2**.

Εφαρμόζεται μια βαθμίδα πίεσης στη x διεύθυνση, διατηρώντας τη μέση μεταβολή ορμής $f_x = 0.40$. Το μέγεθος του δικτύου είναι 40 X 120 κόμβοι, ενώ δε λαμβάνεται μέσος όρος των ταχυτήτων, αλλά αποδίδεται η κάθε υπολογιζόμενη ταχύτητα. Απαιτούνται περίπου 3000 χρονικά βήματα, για να επιτευχθεί σταθερή κατάσταση στο φαινόμενο. Το αποτέλεσμα είναι το διάγραμμα ροής, που φαίνεται στο **σχήμα 8.2**



Σχήμα 8.1 Ροή σε πορώδες μέσο



Σχήμα 8.2 Ροή σε πορώδες μέσο

9. ΡΥΠΑΝΣΗ

9.1 Εισαγωγή

Ο όρος ρύπανση (pollution) αναφέρεται σε μεταβολές που συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον και περιλαμβάνει την υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, των νερών, του εδάφους, τους υπερβολικούς θορύβους, τη διατάραξη της ισορροπίας των οικοσυστημάτων και την αισθητική υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος.

Λέγοντας υποβάθμιση του περιβάλλοντος εννοούμε την πρόκληση από ανθρώπινες δραστηριότητες ή όποιας άλλης μεταβολής στο περιβάλλον που πιθανόν να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην οικολογική ισορροπία, στην ποιότητα ζωής και στην υγεία των κατοίκων, στην ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά και στις αισθητικές αξίες

Η ρύπανση είναι σύμπτωμα του σύγχρονου πολιτισμού. Είναι αποτέλεσμα της αλματώδους τεχνολογικής ανάπτυξης και της μη ορθολογικής χρήσης των φυσικών πόρων. Με την στενή έννοια ο όρος ρύπανση συνεπάγεται την εκπομπή στο περιβάλλον ουσιών που ονομάζονται ρυπαντικές ουσίες ή ρύποι.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος ως έννοια αφορά σε οποιοδήποτε ζημιογόνο επίπτωση στο περιβάλλον και επομένως μπορεί να θεωρείται ως προσβολή του δικαιώματος στο περιβάλλον, δηλαδή μια καταστρεπτική παρέμβαση που θίγει το παγκόσμιο οικοσύστημα. Η προσβολή του περιβάλλοντος ουσιαστικά σημαίνει αλλοίωση των φυσικών στοιχείων, δηλαδή αέρας, γη και θάλασσα, διαμέσου της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Ας επιχειρήσουμε μία γενική κατηγοριοποίηση των διάφορων μορφών ρύπανσης η οποία ουσιαστικά υποδεικνύει και το πεδίο δράσης της κάθε μορφής. Συγκεκριμένα, η ρύπανση του περιβάλλοντος μπορεί να είναι:

α) Ατμοσφαιρική ή από τον αέρα γενικότερα και η οποία συχνά συνδέεται με διασυνοριακή ρύπανση. Πηγές αυτών των μορφών ρύπανσης αποτελούν κυρίως οι βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες, οι γεωργικές καλλιέργειες και οι διεθνείς μεταφορές.

β) Ρύπανση των υδάτων η οποία αφορά όχι μόνο στο θαλάσσιο περιβάλλον (ωκεανοί και θάλασσες) αλλά και στα χερσαία επιφανειακά ύδατα (διεθνείς ποταμοί και λίμνες). Αυτή προκαλείται από τις διαρροές φορτίων κατά τη θαλάσσια μεταφορά τους, από την απόρριψη αποβλήτων, καταλοίπων και λυμάτων που προέρχονται από την ξηρά, από τις γεωργικές καλλιέργειες και τη χρήση φυτοφαρμάκων και από την υποθαλάσσια εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου.

γ) Θερμική ρύπανση που αποτελεί μία πολύ ειδική μορφή ρύπανσης και συνδέεται άμεσα με τη ρύπανση των υδάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι

η έκρηξη και πυρκαγιά που ξέσπασε στο 1986 σε αποθήκη της εταιρίας Σαντόζ στην Ελβετία και κατά τις προσπάθειες αντιμετώπισης χύθηκε το υγρό κατάσβεσης στον ποταμό Ρήνο διοχετεύοντας μεγάλες ποσότητες τοξικών χημικών ουσιών.

δ) Ηχητική ρύπανση η οποία συχνά συνδέεται με τις μεταφορές, δηλαδή με την προσγείωση και απογείωση των αεροσκαφών ή τη λειτουργία μεγάλων βιομηχανικών μονάδων αλλά και των οικιακών και άλλων συσκευών (ραδιόφωνο, τηλεόραση).

ε) Ρύπανση από στερεά απόβλητα τα οποία μπορούν να διακριθούν σε πολλές υποκατηγορίες, π.χ. άχρηστο στρατιωτικό υλικό, υπολείμματα από βυθοκορήσεις, τοξικά υλικά, βιομηχανικά απόβλητα και λύματα. Το μεγαλύτερο πρόβλημα σ' αυτή τη μορφή ρύπανσης είναι η εύρεση του κατάλληλου μέρους για την απόρριψη αυτών των αποβλήτων.

στ) Πυρηνική ρύπανση που έχει ταυτιστεί με την ιονική ακτινοβολία και η οποία υποδιαιρείται σε ραδιενέργεια εκλυόμενη από πυρηνικούς σταθμούς που συνήθως αποβλέπει σε ειρηνικούς σκοπούς, π.χ. η περίπτωση του Τσέρνομπιλ και στη λεγόμενη επικίνδυνη ακτινοβολία που προέρχεται από τις στρατιωτικές δραστηριότητες.

ζ) Οπτική ρύπανση δηλαδή αυτή που προκαλείται από αντιαισθητικές διαφημίσεις σε δημόσιους χώρους ή ακαλαίσθητες κατασκευές.

Ο όρος ρύπανση του περιβάλλοντος αναφέρεται συνήθως στην ατμόσφαιρα, τα ύδατα και το έδαφος αλλά στα τελευταία χρόνια δίνεται

ιδιαίτερη σημασία και σε άλλες μορφές ρύπανσης όπως η πνευματική ρύπανση και η ψυχική ρύπανση.

Η συνειδητοποίηση αυτού του κινδύνου προκάλεσε και συνεχώς προκαλεί κινητοποιήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα η επιστημονική έρευνα και η τεχνολογία προσφέρουν τις υπηρεσίες τους στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με το περιβάλλον.

Όσον αφορά τη τεχνολογία αντιμετώπισης των ρύπων την κατατάσσουμε σε 2 μεγάλες κατηγορίες.

α) Στις τεχνολογίες αντιρρύπανσης ή τεχνολογίες αντιμετώπισης της ρύπανσης.

β) Στις αντιρρυπαντικές τεχνολογίες

Λέγοντας τεχνολογίες αντιμετώπισης της ρύπανσης ή τεχνολογίες αντιρρύπανσης εννοούμε εκείνες τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται για να αντιμετωπίσουν ένα υπαρκτό πρόβλημα ρύπανσης για να ελέγξουν δηλαδή τις εκπομπές κάποιας ρυπογόνου πηγής. Το πρόβλημα υφίσταται και προσπαθούμε να βρούμε λύσεις που θα χρησιμοποιηθούν προσθετικά στην διεργασία που εκπέμπει τους ρύπους για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Σε αντίθεση και προς αποφυγή σύγχυσης, θα ονομάσουμε αντιρρυπαντικές τεχνολογίες τις τεχνολογίες εκείνες παραγωγής ενέργειας ή χημικών προϊόντων που ειδική μέριμνα στο σχεδιασμό τους, τους προσδίδει μια δυναμική ελάχιστης ρυπογόνου δραστηριότητας. Με άλλα λόγια οι διεργασίες αυτές είναι έτσι

σχεδιασμένες ώστε να αποφεύγεται εν τω γεννάσσει η δημιουργία ρύπων. Με μερικές τέτοιες τεχνολογίες υψηλής οικονομικής σημασίας θα ασχοληθούμε στα κεφάλαια.

Η συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση για προϊόντα βελτιωμένης ποιότητας, αποδοτικότερες χημικές διαδικασίες και καθαρότερο περιβάλλον δημιουργούν την ανάγκη για ανάπτυξη καινοτομικών πορωδών δομών κατάλληλων για εξειδικευμένες εφαρμογές. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία περιγράφονται οι διάφοροι τύποι κεραμικών δομών οι οποίες χρησιμοποιούνται ως μέσα στις αντιρρυπαντικές τεχνολογίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος

10. ΤΥΠΟΙ ΠΟΡΩΔΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ

Τα κεραμικά είναι συνεκτικές πολυκρυσταλλικές ενώσεις, συνήθως ανόργανες, μη μεταλλικά υλικά που καλύπτουν ένα ευρύτατο φάσμα χημικών και ορυκτολογικών συστάσεων, μηχανικών, ηλεκτρικών, μαγνητικών, ηλεκτρονικών και οπτικών ιδιοτήτων καθώς και πληθώρα εφαρμογών και χρήσεων.

Τα κεραμικά υλικά αποτελούνται από ενώσεις με ισχυρούς ομοιοπολικούς δεσμούς όπως :

- Οξείδια (π.χ. Al_2O_3)
- Καρβίδια (π.χ. B_4C)
- Νιτρίδια (π.χ. Si_3N_4)
- Βορίδια (π.χ. $Nd_2Fe_{14}B$)

10.1 Συνήθεις ιδιότητες των κεραμικών

- αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες
- μονωτικές ιδιότητες, ή ημιαγωγή συμπεριφορά με διάφορες μαγνητικές και διηλεκτρικές ιδιότητες
- αντίσταση στην παραμόρφωση – ευθραυστότητα
- χαμηλές τιμές στις μηχανικές ιδιότητες

10.2 Γενικά χαρακτηριστικά των κεραμικών υλικών

Γενικά τα κεραμικά είναι σκληρά, εύθραυστα, επιρρεπή στο θερμικό σοκ, ηλεκτρικοί και θερμικοί μονωτές, διαφανή (ενδογενώς), μη μαγνητικά χημικά σταθερά και δεν οξειδώνονται εύκολα. Υπάρχουν βέβαια και οι εξαιρέσεις : κάποια κεραμικά είναι μαγνητικά, κάποια είναι υπερ αγωγίμα. Κάποια είναι αγωγοί του ηλεκτρισμού ή της θερμότητας.

Τα κεραμικά αποτελούν μια ευρεία κατηγορία υλικών και διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες : α)Τα παραδοσιακά κεραμικά β)Τα προηγμένα κεραμικά.

α) Τα παραδοσιακά κεραμικά κατασκευάζονται από πρώτες ύλες οι οποίες βρίσκονται σε αφθονία στην φύση και εξαιτίας της ευκολίας παρασκευής τους,

χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές εφαρμογές. Είναι συνήθως υλικά με αυξημένο πορώδες και με μικτή δομή. Τα κύρια συστατικά τους είναι άργιλος, πυριτική άμμος και αργιλοπυριτικά υλικά.

Πχ τα πήλινα αντικείμενα, τούβλα και κεραμίδια. Στα κεραμικά περιλαμβάνονται επίσης το τσιμέντο και το γυαλί.

β) Τα προηγμένα κεραμικά υλικά που δημιουργήθηκαν λόγω της έντονης ερευνητικής δραστηριότητας και της τεχνολογικής ανάπτυξης στο χώρο των ανόργανων μη μεταλλικών υλικών αλλά και των αυξημένων απαιτήσεων για υλικά με ειδικές προδιαγραφές που δημιουργήθηκαν με την ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών.

Τα υλικά αυτά είναι κυρίως οξειδία, νιτρίδια, καρβίδια, βορίδια που συνδυάζουν μοναδικές ιδιότητες όπως εξαιρετική μηχανική αντοχή, μεγάλη σκληρότητα, μοναδικές μαγνητικές, οπτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες, πολύ καλές θερμομηχανικές ιδιότητες που διατηρούνται σε υψηλή θερμοκρασία, θερμομονωτικές ιδιότητες, αντοχή σε θερμικούς αιφνιδιασμούς κ.λ.π.

Φαίνεται ότι δεν υπάρχει ένας συνολικός ορισμός για αυτού του είδους τα κεραμικά. Η γενική ταξινόμησή τους τα κατατάσσει όμως σε τέσσερις μεγάλες περιοχές τα προηγμένα δομικά κεραμικά, τα ηλεκτρονικά κεραμικά, τις κεραμικές επικαλύψεις και τα σύνθετα υλικά.

Οι κεραμικές επικαλύψεις έχουν θεωρηθεί ως η λύση εκεί που τα δομικά κεραμικά αποτυγχάνουν. Αυτός ο χώρος περιλαμβάνει θερμικές επικαλύψεις και εναποθέσεις με χημικές ή φυσικές μεθόδους.

11. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΑΝΤΙΠΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

11.1 Εναλλάκτες θερμότητες

Ένας σημαντικός τομέας εφαρμογής των προηγμένων κεραμικών που όμως ακόμη βρίσκεται κυρίως στο ερευνητικό στάδιο είναι αυτός της ανάκτησης και της διαχείρισης θερμότητας. Οι κεραμικοί εναλλάκτες θερμότητας μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες 1400°C έναντι μόλις 1100°C των μεταλλικών και μπορούν να αποδώσουν οικονομίες καυσίμων της τάξεως του 50% έναντι 20-30% των μεταλλικών. Η εγγενής αντοχή των κεραμικών υλικών σε χημική διάβρωση και απότριψη επιτρέπει στους κεραμικούς εναλλάκτες να λειτουργούν με καύσιμα που περιέχουν διαβρωτικά αέρια ή και σωματίδια και παρέχει τη δυνατότητα μείωσης του κόστους της καύσης χημικών και τοξικών αποβλήτων.

11.2 Θερμικές μηχανές

Οι εφαρμογές των κεραμικών υλικών σε μηχανές εσωτερικής καύσης αποτελούν πεδίο έντονου ερευνητικού ενδιαφέροντος τα τελευταία 15-20 χρόνια. Η χρήση υλικών με υψηλή μηχανική αντοχή, πυριμαχικότητα και αντοχή σε θερμικούς αιφνιδιασμούς, όπως νιτρίδιο του πυριτίου, καρβίδιο του πυριτίου και ζirkονία, επιτρέπει υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας και συνεπώς βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμων, ενώ παράλληλα προκύπτει

έναν αριθμό από δευτερογενή οφέλη λόγω της αντικατάστασης μετάλλων με κεραμικά υλικά (μείωση βάρους, αντικατάσταση μεταλλικών υπεκραμάτων κλπ). Τέλος η υψηλή θερμική αντοχή και οι θερμομονωτικές ιδιότητες των κεραμικών μπορούν – τουλάχιστον θεωρητικά - να οδηγήσουν σε πλήρη εξάλειψη των ψυκτικών συστημάτων. Οι εφαρμογές σε στροβιλοκινητήρες περιλαμβάνουν τόσο ακίνητα μέρη (βάνες, δαχτυλίδια, σώματα καυστήρων) όσο και κινητά (ρότορες και αναγεννητικούς δίσκους).

11.3 Κεραμικά φίλτρα – Καταλύτες

Ένας ραγδαία εξελισσόμενος χώρος εφαρμογής των προηγμένων κεραμικών είναι αυτός της κατάλυσης και των φίλτρων. Τυπικό παράδειγμα εφαρμογής των κεραμικών στο χώρο είναι ο καταλυτικός μετατροπέας των αυτοκινήτων. Το 60 και πλέον, τοις εκατό της ρύπανσης που εκπέμπει ένα αυτοκίνητο στο περιβάλλον προέρχεται από την εξάτμιση. Η ύπαρξη των βλαβερών για τον άνθρωπο αερίων οφείλεται στην ατελή (μη πλήρη) καύση των υδρογονανθράκων του καυσίμου (βενζίνη). Δύο κυρίως αντιδράσεις γίνονται μέσα στον κινητήρα

Βενζίνη + Οξυγόνο \rightarrow Νερό + Διοξείδιο του Άνθρακα

HC O₂ \rightarrow H₂O + CO₂

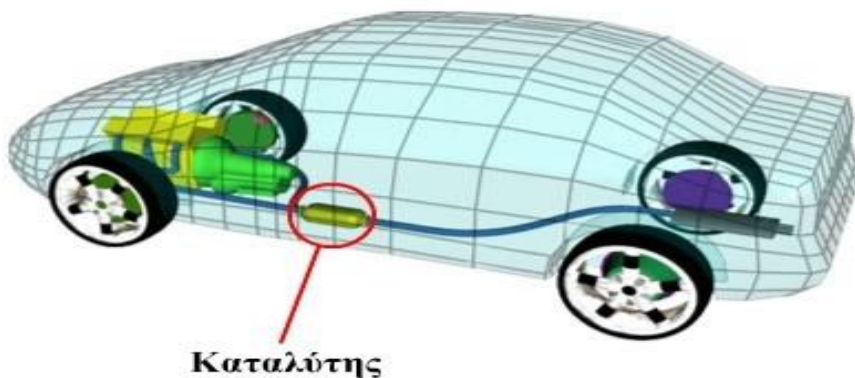
Άζωτο + Οξυγόνο \rightarrow Οξείδια του Αζώτου



Τα αέρια που εκλύονται λόγω του ότι η βενζίνη δεν «καίγεται» είναι τα εξής:

- Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (Hc)
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) το οποίο είναι εξαιρετικά δηλητηριώδες για τον άνθρωπο.

Εξίσου βλαβερά είναι και διάφορα οξείδια του αζώτου (NO και NO₂) θα πρέπει να πούμε ότι τα βλαβερά αυτά αέρια αποτελούν μόνο το 2% των καυσαερίων του αυτοκινήτου, ενώ το υπόλοιπο 98% είναι ακίνδυνο.



11.4 Ορισμός καταλύτη και η λειτουργία του.

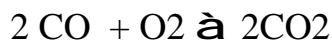
Από την χημεία γνωρίζουμε πως «ο καταλύτης είναι η ουσία που με την παρουσία της διευκολύνει μια χημική αντίδραση, αλλά δεν συμμετέχει σ' αυτήν». Στην περίπτωση των αυτοκινήτων, η χημική αντίδραση είναι η καύση, δηλαδή η ένωση του οξυγόνου με τη βενζίνη ή το πετρέλαιο. Επειδή ο χρόνος που διατίθεται για την καύση είναι απειροελάχιστος, σημαντική ποσότητα βενζίνης ή πετρελαίου δεν προλαβαίνει να καεί 100%.

Μέσα στον καταλύτη υπάρχει ένα πορώδες υλικό από την επιφάνεια του οποίου περνάνε τα καυσαέρια και ενώνονται με το οξυγόνο. Δηλαδή οξειδώνονται ή απλά «καίγονται», με τη βοήθεια ορισμένων «ευγενών μετάλλων» (ρόδιο, παλλάδιο και πλατίνα) τα οποία περιέχονται στον καταλύτη. Λόγω αυτής της καύσης οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μέσα στον καταλύτη είναι της τάξεως των 270C – 800C. Εάν η θερμοκρασία αυξηθεί πάνω από 1200C τότε 5-10 λεπτά λειτουργίας καταλύτη σε αυτές τις συνθήκες είναι αρκετά για να λιώσει το κεραμικό υλικό μέσα του και να καταστραφεί. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας συνήθως οφείλεται σε πρόβλημα στο σύστημα ανάφλεξης όταν δηλαδή η βενζίνη διαφεύγει άκαυτη μέσω της εξάτμισης και καταλήγει στον καταλύτη.

11.5 Λειτουργία καταλύτη

Μέσα στον καταλύτη όπως είπαμε και πριν υπάρχει ένα πορώδες κεραμικό υλικό μέσα από την επιφάνεια του οποίου περνάνε τα καυσαέρια και οξειδώνονται (ενώνονται με το οξυγόνο) σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:

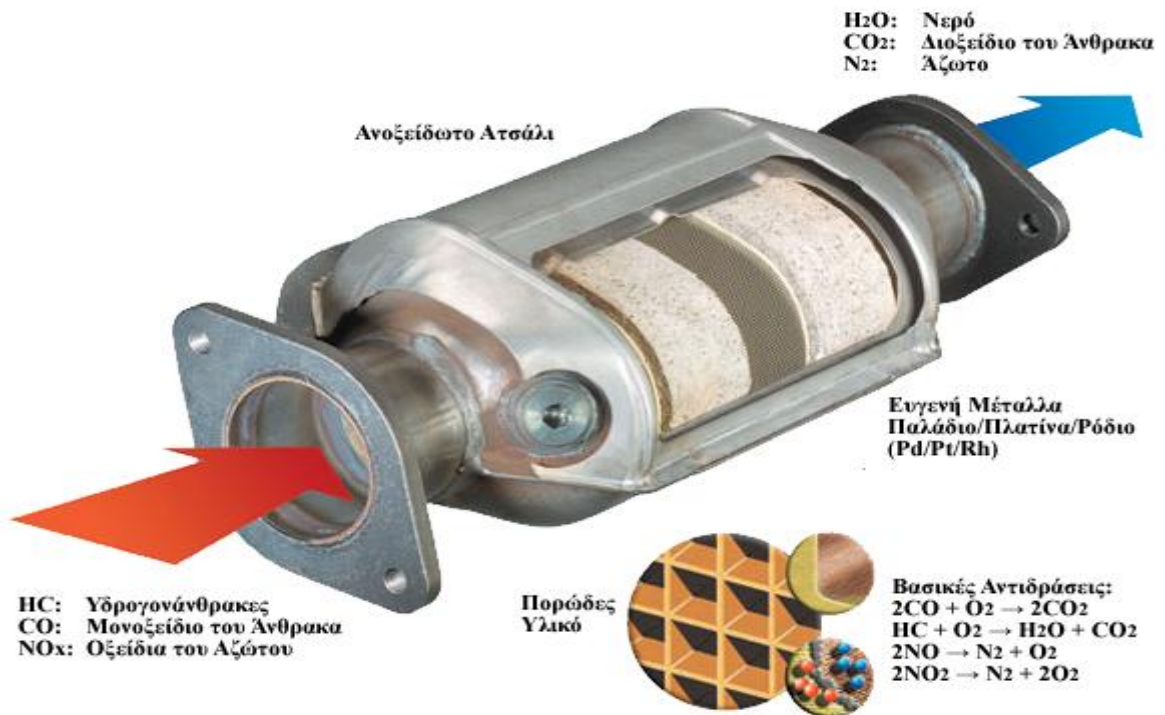
το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) σε διοξείδιο (CO₂) που είναι ακίνδυνο



οι υδρογονάνθρακες σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα



Και οι δύο αυτές αντιδράσεις γίνονται με τη βοήθεια του παλλαδίου (Pd) και της πλατίνας (Pt). Με τη βοήθεια όμως του Ροδίου (Rh) γίνονται δύο ακόμα αντιδράσεις διασπάσεις των οξειδίων του αζώτου (NOx) που είναι οι εξής :



Είδη καταλύτη:

Υπάρχουν 4 είδη καταλυτών.

- Ο Οξειδωτικός καταλύτης
- Ο Μειωτικός

- Ο Δυοδικός
- Ο Τριοδικός (που χωρίζεται σε μη – ρυθμιζόμενο και ηλεκτρονικά – ρυθμιζόμενο).

Ο τριοδικός είναι ο πλέον διαδεδομένος στην κατασκευή των αυτοκινήτων λόγω της καλής συμπεριφοράς του και της υψηλής απόδοσης του στη μετατροπή των ρύπων.

11.6 Κατασκευαστική διαμόρφωση τριοδικού Καταλυτικού Μετατροπέα.

Ένας τυπικός τριοδικός καταλυτικός μετατροπέας (Σχήμα 1.7) αποτελείται από (α) την αλυσίδα θερμότητας, (β) το μεταλλικό περίβλημα, (γ) το στρώμα θερμικής μόνωσης (διαστελλόμενος τάπητας), που χρησιμοποιούνται για την προστασία του καταλυτικού μετατροπέα από μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις και (δ) τον κεραμικό μονόλιθο.

Ο κεραμικός μονόλιθος έχει κυψελοειδή μορφή (honeycomb) και είναι κατασκευασμένος από κορδιερίτη (cordierite, $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$). Ο φυσικός κορδιερίτης μπορεί να περιέχει 52 διαφορετικές κρυσταλλικές φάσεις από τις οποίες οι συνηθέστερες είναι αλουμινο – πυριτικά άλατα του μαγνησίου. Το κεραμικό υλικό είναι το συνηθέστερο χρησιμοποιούμενο γιατί παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα : (α) μικρό κόστος πρώτων υλών, (β) πολύ μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής, γεγονός ιδιαίτερα επιθυμητό αφού προσδίδει υψηλή αντοχή σε θερμική καταπόνηση, (γ) υψηλή μηχανική αντοχή, (δ) πολύ υψηλό σημείο τήξης (1400°C) γεγονός που βελτιώνει τη συμπεριφορά του σε συνθήκες υπερθέρμανσης (αποφυγή τήξης υλικού και ενδεχόμενης απόφραξης των καναλιών και (ε) ικανοποιητικό πορώδες (μέγεθος πόρων της τάξης των μερικών χιλιάδων Å) για την καλή πρόσφυση του φορέα ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) σε αυτό. Παρόλα αυτά ο κεραμικός μονόλιθος είναι ευαίσθητος σε κραδασμούς, δονήσεις και θερμοκρασιακές καταπονήσεις, με βασικό μειονέκτημα το γεγονός ότι αποτελεί εύθραυστο υλικό.

Το σχήμα του κεραμικού μονόλιθου μπορεί να είναι κυλινδρικό ή ωσειδές. Η κυψελοειδής κατασκευή του περιλαμβάνει ισομεγέθη διαμήκη παράλληλα κανάλια ή αγωγούς ροής. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται αύξηση της επιφάνειας επαφής των καταλυτικών στοιχείων που είναι διασπαρμένα στα τοιχώματα του μονόλιθου με τα καυσαέρια. Σε ένα τυπικό μετατροπέα υπολογίζεται ότι περιέχονται κατά μέσο όρο περίπου 400-600cps (cells per square inch). Με τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα αυτό αναφέρεται ότι έχουν επιτευχθεί πυκνότητες καναλιών μέχρι και 900 cps. Το σχήμα των αγωγών ροής μπορεί να ποικίλλει από κυκλικό, τετραγωνικό, εξαγωνικό, τριγωνικό ή ακόμα και ημιτονοειδές. Συνήθως η γεωμετρία των

καναλιών είναι τετραγωνική με το πάχος τους να κυμαίνεται από 0,10 έως 0,15 mm, για μικρότερη αντίθλιψη των καυσαερίων.

Τα εμπορικά κεραμικά μονόλιθου μονολιθικά υποστρώματα έχουν μεγάλους πόρους και πολύ μικρή ειδική επιφάνεια $2-4\text{m}^2/\text{g}$) γι' αυτό δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καταλυτικοί φορείς. Έτσι καθίσταται απαραίτητη η εναπόθεση στην εσωτερική επιφάνεια των καναλιών τους ενός φορέα με υψηλή ειδική επιφάνεια. Οι μονολιθικοί κεραμικοί καταλυτικοί μετατροπείς χρησιμοποιούν σήμερα για την εναπόθεση των ενεργών καταλυτικών στοιχείων πορώδες υπόστρωμα το οποίο αποτελείται κυρίως από $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ και άλλα σταθεροποιητικά πρόσθετα και βελτιωτικά (π.χ. $\text{CeO}_2, \text{ZrO}_2, \text{BaO}, \text{La}_2\text{O}_3$). Μετά την εναπόθεση της επίστρωσης η ειδική επιφάνεια αυξάνεται σε $25-30\text{m}^2/\text{g}$.

Η επικάλυψη της γεωμετρικής επιφάνειας του κεραμικού μονόλιθου με στρώμα αλουμίνας επιτυγχάνεται με τον εμποτισμό του από υδατικό αιώρημά της. Η ποσότητα της $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ φθάνει περίπου το 20-30% της συνολικής μάζας του μετατροπέα και χρησιμοποιείται ευρύτατα γιατί εκτός από πολύ μεγάλη ειδική επιφάνεια παρουσιάζει και καλή θερμική σταθερότητα σε υδροθερμικές συνθήκες. Οι τιμές της ειδικής επιφάνειας της αλουμίνας σε διάφορες μορφές εξαρτούνται από τη θερμοκρασία, όπως φαίνεται στον πίνακα 11.α. Από τις διάφορες μορφές η θερμοδυναμικά σταθερότερη είναι αυτή της $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (κορούνδιο), ενώ η $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ αποτελεί τη λιγότερο σταθερή, αλλά και πιο ενεργή μορφή (μεγάλη ειδική επιφάνεια). Στη θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας του καταλυτικού μετατροπέα ($300-900^\circ\text{C}$) η $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ παραμένει σταθερή και αποτελεί ικανοποιητικό πορώδες υπόστρωμα.

Πίνακας 11.α

Τιμές ειδικής επιφάνειας για διάφορους τύπους Al₂O₃

α -Al ₂ O ₃	γ -Al ₂ O ₃	δ -Al ₂ O ₃	θ -Al ₂ O ₃	
Ειδική Επιφάνεια				
(m ² /g)	150-250	100-150	50-100	< 50
Θερμοκρασία (°C)	450-850	850-1025	1025-1125	> 1125

Εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών (πάνω από 1000° C) που μπορεί να αναπτυχθούν απαιτείται η σταθεροποίηση της γ -Al₂O₃ για την παρεμπόδιση του μετασχηματισμού της α -Al₂O₃ που θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της ειδικής επιφάνειας της ακόμα και κάτω από 10m²/g.

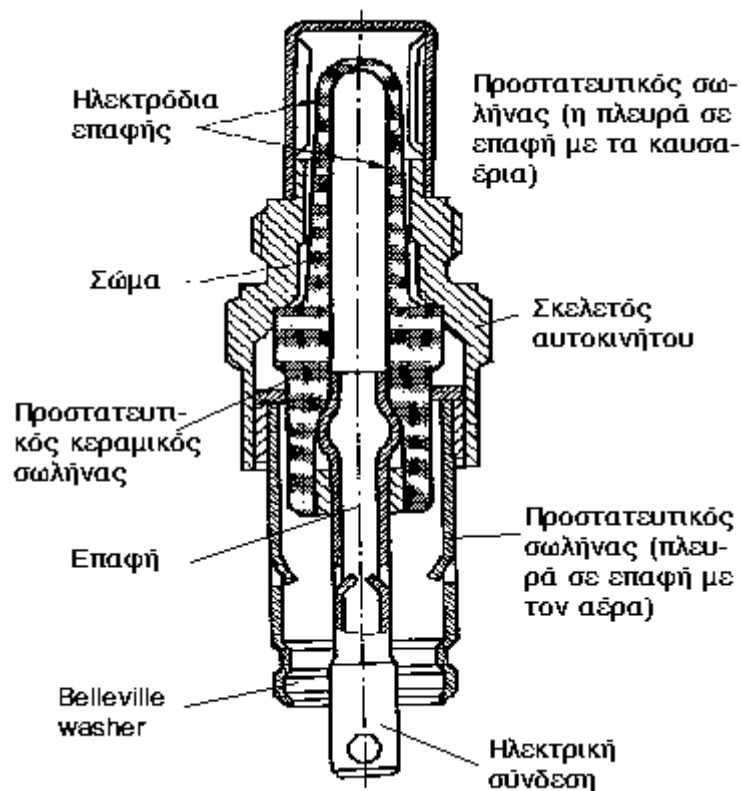
11.7 Αισθητήρας λ (ή αισθητήρας οξυγόνου). Εφαρμογές στην αυτοκίνηση

Αυτός ο αισθητήρας υπολογίζει την ποσότητα του οξυγόνου που περιέχεται στα καυσαέρια και στέλνει σήμα στον εγκέφαλο για να διορθώσει την αναλογία προκειμένου να μειωθεί η ρύπανση. Εφαρμογές του συναντώνται στην αυτοκίνηση, για τον προσδιορισμό των ρύπων στα καυσαέρια και την αποστολή ανάλογων πληροφοριών στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του συστήματος ψεκασμού, για διόρθωση της αναλογίας του καυσίμου μείγματος στοιχειομετρική.

Η εφαρμογή του αισθητήρα ξεκίνησε το 1970 με κατασκευάστρια εταιρία την Robert Bosch. Σήμερα βρίσκεται τεχνολογικά στην Τρίτη γενιά του θερμαινόμενου λήπτη λ. Ο αισθητήρας αυτός για να κάνει σωστά τη δουλειά του είναι τοποθετημένος συνήθως πάνω στο σύστημα εξαγωγής, δηλαδή την εξάτμιση και μάλιστα πριν τον καταλύτη.

Αυτός ο αισθητήρας έχει εξελιχθεί, έτσι ώστε, οι μηχανές σε ορισμένες χώρες, ιδίως της Ε.Ο.Κ, να συμμορφώνονται με την αντιρρυπαντική νομοθεσία, και η ατμόσφαιρα να διατηρείται καθαρή.

Το διάγραμμα 11.β δείχνει τη δομή του λήπτη λ. Αποτελείται από ένα κεραμικό σώμα διοξειδίου του ζirkονίου, περιβαλλόμενο από ένα προστατευτικό κάλυμμα, ενώ η κεφαλή του σώματος, (επίσης προστατευόμενη με ένα είδος περιβλήματος), έρχεται σε επαφή με τα καυσαέρια. Το εσωτερικό του σώματος βρίσκεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα.



διάγραμμα 11.β

Το κεραμικό σώμα του λήπτη είναι στερεωμένο σε ένα στήριγμα, προστατευόμενο από σωλήνες και περιέχει ηλεκτρικές συνδέσεις. Η επιφάνεια του κεραμικού σώματος έχει ένα μικροπορώδες στρώμα πλατίνας που σχηματίζει τα ηλεκτρόδια. Το μέρος του λήπτη που έρχεται σε επαφή με τα καυσαέρια έχει ένα ιδιαίτερα πορώδες κεραμικό στρώμα το οποίο εμποδίζει τις αποθέσεις των καυσαερίων να καταστρέφουν την επιφάνεια της πλατίνας.

Το μέρος που βρίσκεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα έχει ένα προστατευτικό μεταλλικό κέλυφος με μια δίοδο αερισμού, και μία ροδέλα στεγανοποίησης στην έξοδο της ηλεκτρικής επαφής.

Το ηλεκτρικό καλώδιο προστατεύεται από μία θήκη. Στην άκρη του μέρους επαφής με τα καυσαέρια, ο λήπτης έχει έναν προστατευτικό σωλήνα για να προστατεύει το κεραμικό σώμα, από "επαφές" και αποθέσεις των καυσαερίων. Εκτός από τη μηχανική προστασία, ο σωλήνας αυτός ελαχιστοποιεί τις θερμοκρασιακές μεταβολές, καθώς η μηχανική περνάει από μία φάση λειτουργίας σε άλλη.

Η εσωτερική τάση του λήπτη εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Έτσι για να διασφαλιστεί η ανεξαρτησία του από τη θερμοκρασία των καυσαερίων, είναι αυτοθερμαινόμενος.

Λειτουργεί ως εξής:

Αποτελείται βασικά από ένα ειδικό κεραμικό σώμα στην επιφάνεια του οποίου είναι στερεωμένα διαπεραστά ηλεκτρόδια πλατίνας. Το κεραμικό υλικό είναι πορώδες για να επιτρέπει τη διάχυση του οξυγόνου. Όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή, το κεραμικό γίνεται αγώγιμο, και συγκεκριμένα: Όταν το καμένο μείγμα που περνάει από το λήπτη είναι πλούσιο σε οξυγόνο, τα ιόντα στα καυσαέρια εγκαθίστανται στην επιφάνεια των εξωτερικών ηλεκτροδίων. Με δεδομένο ότι υπάρχουν επίσης ηλεκτρόδια στο εσωτερικό, τα οποία βρίσκονται σε επαφή με το οξυγόνο του αέρα, δημιουργείται μια τάση ανάμεσα σε δύο επιφάνειες. Αυτή μεταβιβάζεται στον εγκέφαλο για επεξεργασία. Η μέθοδος

υπολογισμού της σωστής σύνθεσης των καυσαερίων και κατ' επέκταση του υπολογισμού του σωστού μείγματος, λειτουργεί σε αναλογία με την ποσότητα του οξυγόνου που περιέχουν.

11.8 Τεχνολογίες κεραμικών φίλτρων και μεμβρανών

Παράλληλα με την έρευνα στα συμπαγή (consolidate) πορώδη μέσα, αναπτύχθηκε και η αντίστοιχη για τα μη συμπαγή (unconsolidated), τα οποία βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στην κατασκευή φίλτρων. Τα κεραμικά φίλτρα βρίσκουν εφαρμογές στον καθαρισμό τετηγμένων μετάλλων, στο διαχωρισμό αερίων ή στο διαχωρισμό θερμών βιομηχανικών αερίων από αιρούμενα σωματίδια. Η αλουμίνα και το καρβίδιο του πυριτίου είναι τα κεραμικά που συνήθως χρησιμοποιούνται σε αυτές τις εφαρμογές.

Οι κύριοι τύποι των κεραμικών φίλτρων από πλευρά πορώδους δομής είναι οι ακόλουθοι :

- Κεραμικοί αφροί
- Φίλτρα για διαχωρισμό σωματιδίων
- Κεραμικές μεμβράνες
- Μακροπορώδεις (φιλτράρισμα νερού, διαύγαση / συμπύκνωση χυμών.

- Μεσοπορώδεις (διαύγαση / συμπύκνωση χυμών, διαχωρισμός συστατικών γάλακτος)
- Μικροπορώδεις (καθαρισμός νερού από οργανικούς διαλύτες, διαχωρισμός Υδρογόνου κλπ)
- Πυκνές κεραμικές μεμβράνες για διαχωρισμό Υδρογόνου.

Κεραμικοί αφροί : είναι πορώδεις δομές με ελεγχόμενο μέγεθος πόρων και αυξημένο ανοικτό και συνεχόμενο πορώδες που μπορεί να φθάσει μέχρι και 90%. Σημαντικότερο πλεονέκτημα ή πολύ μικρή τους πυκνότητα και η αμελητέα πτώση πίεσης. Συνήθως παρασκευάζονται με χρήση μιας πολυμερικής μήτρας συγκεκριμένου πορώδους, εμβάπτιση της σε ένα αιώρημα κεραμικής πούδρας, καύση του πολυμερούς και τέλος έψηση. Βρίσκουν εφαρμογές στην Μεταλλουργία (διήθηση τηγμάτων μετάλλων και κραμάτων), στην αυτοκινητοβιομηχανία και την πετροχημική βιομηχανία (κατασκευή παγίδων αιθάλης, υποστρωμάτων για καταλύτες κ.α.).

Φίλτρα για διαχωρισμό σωματιδίων : Τα φίλτρα για το διαχωρισμό σωματιδίων είναι πορώδεις δομές με πόρους πάνω από 1μm και πορώδες 40-50%. Παρασκευάζονται με την μέθοδο της εξώθησης που ακολουθείται από ξήρανση και πυροσυσσωμάτωση. Βρίσκουν εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία ως παγίδες αιθάλης, ως συστήματα απομάκρυνσης σωματιδίων από θερμά απαέρια αλλά και για κατακράτηση σωματιδίων από υγρά απόβλητα.

Κεραμικές μεμβράνες : Οι κεραμικές μεμβράνες διακρίνονται σε α)συμμετρικές, αυτόνομες μεμβράνες με ομοιόμορφη δομή και μεγάλο πάχος

β) ασύμμετρες μεμβράνες που στηρίζονται επάνω σε ένα πορώδες υπόστρωμα ενός ή περισσότερων στρωμάτων. Τα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται για τις κεραμικές μεμβράνες είναι η αλουμίνα, η ζirkονία, η τιτανία, το καρβίδιο του πυριτίου, ο κορδιερίτης, η πυριτία και οι ζεόλιθοι. Χαρακτηρίζονται ως : Μακροπορώδεις, Μικροπορώδεις και πυκνές Μεμβράνες. Οι Μακροπορώδεις κεραμικές μεμβράνες έχουν μέγεθος πόρων μεταξύ 0,1-1μm και πορώδες 40-60%. Παρασκευάζονται με την τεχνική dip coating ή με την τεχνική tape casting. Ακολουθεί ξήρανση και έψηση. Οι Μεσοπορώδεις κεραμικές μεμβράνες έχουν πάχος 2-10μm πάνω σε υπόστρωμα βαθμωτού πορώδους, μέγεθος πόρων μεταξύ 2-100[nm] και πορώδες 40-50%. Παρασκευάζονται με dip – coating σε sol σωματιδίων 10-50[nm]. Ακολουθεί ξήρανση και έψηση. Οι Μικροπορώδεις κεραμικές μεμβράνες έχουν πάχος της τάξης του 1μm πάνω σε υπόστρωμα βαθμωτού πορώδους με μέγεθος πόρων μικρότερο του 1[nm]. Παρασκευάζονται με dip – coating όπως οι μεσοπορώδεις μεμβράνες. Οι εφαρμογές τους εντοπίζονται κυρίως στον καθαρισμό του νερού από οργανικούς διαλύτες και υδρογονάνθρακες καθώς και στον διαχωρισμό του υδρογόνου από μεθάνιο ή διοξείδιο του άνθρακα [pervaporation, gas permeation].

12. ΦΙΛΤΡΑ ΝΕΡΟΥ

12.1 Είδη φίλτρων

Το πόσιμο νερό μπορεί να προέλθει από διάφορες πηγές. Πρώτον, μπορεί να αντληθεί από το έδαφος στα πηγάδια επίσης μπορεί να προέλθει απευθείας από τους υδάτινους πόρους επιφάνειας, όπως ποταμοί, οι λίμνες και τα ρεύματα.

Τα πιο σημαντικά προβλήματα τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του πόσιμου νερού. Μερικά από αυτά παρουσιάζονται παρακάτω εν συντομία.

α) Η εμφάνιση των κολοβακτηριδίων, η παρουσία αυτών των βακτηριδίων δείχνει ότι διάφορα παθογόνα μπορεί να εισέλθουν στην παροχή του νερού κατά τον ίδιο τρόπο αν δεν ληφθούν μέτρα αντιμετώπισης.

β) Οι ζύμες και οι ιοί. Είναι μικροβιακοί μολυσματικοί παράγοντες που βρίσκονται συνήθως στα επιφανειακά ύδατα. Παραδείγματα είναι το παράσιτο Giardia και το κρυπτοσπορίδιο. Το Giardia είναι ένας μονοκύτταρος οργανισμός που προκαλεί γαστρεντερικά συμπτώματα. Το κρυπτοσπορίδιο είναι ένα παράσιτο που θεωρείται μια από τις σημαντικότερες αιτίες διαρροϊκής ασθένειας στους ανθρώπους

γ) Τα νιτρικά άλατα στο πόσιμο νερό μπορεί να προκαλέσει κυάνωση, δηλαδή μείωση της ικανότητας μεταφοράς οξυγόνου αίματος.

δ) Ο μόλυβδος μπορεί να εισαχθεί στην παροχή νερού από τις σωληνώσεις νερού προκαλώντας δηλητηρίαση.

ε) Η λεγεωνέλα είναι ένα βακτήριο που αυξάνεται γρήγορα όταν το νερό διατηρείται σε θερμοκρασία μεταξύ 30 και 40 βαθμών Κελσίου για μεγάλη χρονική περίοδο

ζ) Εξασθενές χρώμιο, καρκινογόνες οργανικές ενώσεις, το αρσενικό, ο αμίαντος κλπ.

Η λύση στο πρόβλημα του νερού το οποίο πρέπει να εντοπιστεί πρώτα μπορεί να δοθεί από φίλτρα άνθρακα, φίλτρα KDF, κεραμικά φίλτρα, ειδικές ρητίνες UV και άλλα οικονομικότερα συστήματα.

Τα φίλτρα νερού, ανάλογα με τον τύπο τους και τη διατομή τους, χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά στην αφαίρεση πλήθους στερεών στοιχείων, οργανικών ενώσεων, τοξικών ουσιών, βακτηριδίων και μολυσματικών παραγόντων από το νερό.

Φίλτρα στερεών

Τα φίλτρα στερεών (sediment filters) αποτελούν των απλούστερη, φθηνότερη και πιο διαδεδομένη διαδικασία φίλτρανσης νερού. Χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο φάσμα οικιακών – επαγγελματικών – βιομηχανικών εφαρμογών, αφαιρώντας αποτελεσματικά αιωρούμενα σωματίδια, λάσπη, άμμο, σκουριές, κύστες, βρωμιές και άλλα αδιάλυτα στοιχεία ανάλογα με τον τύπο τους και τη διαπερατότητά τους.

Φίλτρα ενεργού άνθρακα

Τα φίλτρα Ενεργού Άνθρακα (GAC Filters) είναι αποτελεσματικά στην αφαίρεση του χλωρίου, καθώς και πλήθος οργανικών ενώσεων και καρκινογόνων στοιχείων, όπως THM's, benzene, pesticides, herbicides, insecticides, VOC's, PCB's, MTB's. Αφαιρούν επίσης και διάφορες άλλες οργανικές ενώσεις οι οποίες συνδέονται με τη δυσάρεστη γεύση και οσμή.

Χρησιμοποιούνται ευρέως σε οικιακές και βιομηχανικές εφαρμογές ανάλογα με τον τύπο και τη διαπερατότητά τους.

Φίλτρα στερεού άνθρακα

Τα φίλτρα Στερεού Άνθρακα (carbon black Filters) αφαιρούν σειρά από επικίνδυνα βαρέα μέταλλα, όπως ο υδράργυρος και ο μόλυβδος. Επίσης, αφαιρούν πλήθος οργανικών ενώσεων, υπολείμματα εντομοκτόνων και παρασιτοκτόνων ραδιενεργά στοιχεία όπως το ραδόνιο, καθώς και κύστες όπως το κρυπτοσπορίδιο και η Giardia αποτρέπουν την ανάπτυξη βακτηριδίων μέσα στο σύστημα και προσφέρουν καθαρό και διαυγές νερό.

Φίλτρα KDF-55

Τα φίλτρα KDF-55 είναι κατασκευασμένα από στρώματα χαλκού και ψευδάργυρου και αφαιρούν το χλώριο σε ποσοστό 99% και στη συνέχεια παρακρατούν τα βαρέα μέταλλα, όπως χρώμιο, σίδηρο, μόλυβδο, υδράργυρο, χαλκό, νικέλιο, κάδμιο, αλουμίνιο και άλλα. Μειώνουν αρκετά τη σκληρότητα του νερού, ενώ παράλληλα αποτρέπουν την ανάπτυξη βακτηριδίων στα συστήματα φίλτρανσης.

Φίλτρα ρητίνης

Τα φίλτρα ρητίνης είναι σχεδιασμένα για αποσκλήρυνση και μερική αποκέντρωση του νερού. Χρησιμοποιούνται κυρίως για αφαίρεση αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου, καθώς και αφαίρεση νιτρικών.

Φίλτρα ρύθμισης PH – ALKALINE FILTERS

Τα φίλτρα ρύθμισης pH μετατρέπουν το όξινο πόσιμο νερό σε αλκαλικά, έχοντας όλα τα απαραίτητα μεταλλικά στοιχεία. Το αλκαλικό νερό μετά το αλκαλικό φίλτρο έχει ισορροπήσει τέλεια με τα ποσοστά των μεταλλευμάτων τα οποία είναι απαραίτητα για την υγιή ανάπτυξη του ανθρώπινου σώματος. Το αλκαλικό φίλτρο αλλάζει το όξινο νερό σε ένα τέλειο φυσικό αλκαλικό νερό, μειώνοντας την οξύτητα στο σώμα μας, προσθέτοντας παράλληλα τα φυσικά ιόντα ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου και καλίου που μπορούν να απορροφηθούν 100% στο ανθρώπινο σώμα.

Τοποθετούνται στο τελευταίο στάδιο των οσμώσεων, καθώς και σε πλήθος εφαρμογών, όπως ψυγεία μηχανήματα καφέ, αυτόματοι πωλητές ροφημάτων, παγομηχανές κ.α.

Φίλτρα προσθήκης μεταλλικών στοιχείων – MINERAL FILTERS

Τα φίλτρα προσθήκης Μεταλλικών Στοιχείων βελτιώνουν τις ιδιότητες του καθαρού επεξεργασμένου νερού από την αντίστροφη όσμωση, με την προσθήκη των απαραίτητων, για τη σωστή και υγιή ανάπτυξη του ανθρώπινου οργανισμού ανόργανων ουσιών, όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το νάτριο, το κάλιο και άλλα που υπάρχουν σε πολλά φυσικά μεταλλικά νερά. Τοποθετούνται κυρίως στο τελευταίο στάδιο των οσμώσεων, καθώς και σε πλήθος άλλων εφαρμογών.

Φίλτρα FIR

Τα FIR (Infra-red) φίλτρα ενεργοποιούν τα μόρια νερού στον οργανισμό μας, βελτιώνουν το επίπεδο οξυγόνου στο σώμα μας και προκαλούν θέρμανση και εξάλειψη των λιπών, των χημικών ουσιών και των τοξίνων από το αίμα μας, με αποτέλεσμα την απάλυνση της ροής του αίματος. Τοποθετούνται κυρίως στο στάδιο των οσμώσεων, καθώς και σε πλήθος άλλων εφαρμογών.

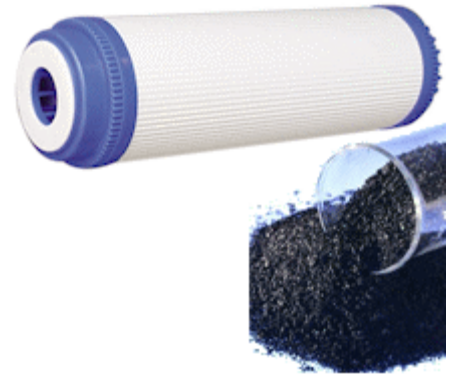
Φίλτρα απιονισμού

Τα φίλτρα απιονισμού Deionitiation (Di) είναι ειδικά προηγμένα φίλτρα νερού εργαστηριακών κυρίως εφαρμογών, τα οποία ταξινομούνται και προσαρμόζονται στα συστήματα αντίστροφης όσμωσης και υψηλής απόδοσης. Είναι φίλτρα σχεδιασμένα για να επεξεργάζονται υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης συνολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στις παροχές του δικτύου ύδρευσης.

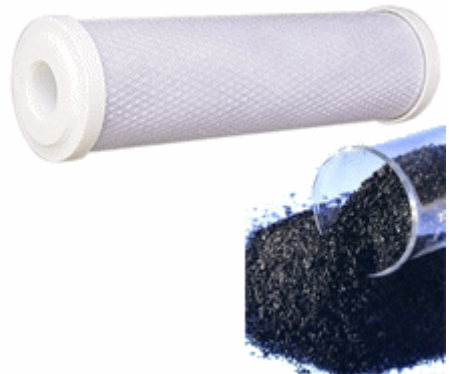
Προσαρμόζονται στο τεχνικό στάδιο επεξεργασίας συστημάτων RO αντίστροφης όσμωσης, εξασφαλίζοντας ακόμη μεγαλύτερη προστασία (99,99% αφαίρεση TDS), και ακόμη καλύτερη ποιότητα πόσιμου νερού.



Φίλτρο κατακαθίσεως νήματος



Φίλτρο ενεργού άνθρακα



Φίλτρο στερεού άνθρακα



Φίλτρο KDF

13. ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΕΚΕΠΥ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΩΝ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

13.1 Εισαγωγή

Η ΕΚΕΠΥ (ιδρύθηκε το 1956) σήμερα διαθέτει την τεχνολογική υποδομή για την ανάπτυξη σε πιλοτική κλίμακα κεραμικών προϊόντων για πολλές από τις εφαρμογές που αναφέρθηκαν.

Η ΕΚΕΠΥ βρίσκεται γεωγραφικά τοποθετημένη στο πλέον βιομηχανοποιημένο αλλά και περιβαλλοντικά επιβαρυνόμενο νομό της Ελλάδας τη Βοιωτία. Για το λόγο αυτό έχει έντονα δραστηριοποιηθεί σε θέματα περιβάλλοντος προκειμένου να ικανοποιήσει τις περιβαλλοντικές ανάγκες σε ένα ευρύ πεδίο ενδιαφερόμενων παραγωγικών μονάδων, κοινωνικών φορέων ή ιδιωτών.

Η εταιρεία έχει αποκτήσει μεγάλη εμπειρία σε διάφορους τομείς των προηγμένων κεραμικών (καταλύτες και φίλτρα, στερεοί ηλεκτρολύτες, κεραμικές επικαλύψεις, βιοκεραμικά, κεραμικοί υπεραγωγοί κ.α. μέσα από πολλές ερευνητικές συνεργασίες που έχει συνάψει σε διεθνές επίπεδο.

Η εταιρεία βρίσκεται σε στενή συνεργασία με τον ΕΛΟΤ και έχει αναγνωριστεί σαν το καταλληλότερο εργοστάσιο στην χώρα για την διενέργεια των δοκιμών που απαιτούνται για την απονομή σήματος ποιότητας ή σήμανσης σε ευρεία γκάμα προϊόντων.

Αποτέλεσμα αυτής της δραστηριότητας είναι η ανάπτυξη τεχνογνωσίας για την Παρασκευή κορδιεριστικών μονολίθων κυψελοειδούς δομής που χρησιμοποιούνται ως υπόβαθρο στους καταλυτικούς μετατροπείς των αυτοκινήτων. Παράλληλα αναπτύσσεται η τεχνογνωσία για την επίστρωση των κεραμικών μονολίθων με τον πορώδη φορέα των καταλυτικών μετάλλων. Στο χώρο αυτό μελετάται εν γένει η τεχνολογία παρασκευής λεπτών πορωδών επιστρώσεων μεγάλης ειδικής επιφάνειας πάνω σε κεραμικά υποστρώματα με σκοπό την ανάπτυξη κεραμικών φίλτρων κατάλληλων για το διαχωρισμό σωματιδίων από θερμά βιομηχανικά απαέρια.

Η ΕΚΕΠΥ δραστηροποιείται ακόμη στο χώρο των ηλεκτρονικών κεραμικών και κυρίως στον τομέα των κεραμικών υπεραγωγών. Παρασκευάζονται με επιτυχία δίσκία μεγάλων διαστάσεων (μέχρι 10cm διαμέτρου) από υπεραγωγίμο υλικό (YBCO) που βρίσκουν εφαρμογή ως στόχοι για τις τεχνικές εναποθέσεων λεπτών υπεραγωγίμων φιλμ (sputtering, laser ablation). Τέτοιοι στόχοι διατίθενται σε συνεργαζόμενα ερευνητικά εργαστήρια της Ελλάδας και του εξωτερικού.

Η ΕΚΕΠΥ διαρκώς επενδύει στην βελτιστοποίηση της εργαστηριακής υποδομής της προκειμένου να παραμείνει στην αιχμή της τεχνολογίας ώστε να ικανοποιεί τις μετρητικές ανάγκες σε επίπεδο εξειδικευμένων υπηρεσιών προς τρίτους αλλά και της εφαρμοσμένης έρευνας.

Η δραστηριότητα της ΕΚΕΠΥ ως προς το περιβάλλον έχει τις ακόλουθες βασικές κατευθύνσεις :

Ερευνητική δραστηριότητα, συμμετοχή σε προγράμματα με αντικείμενο

διεργασίες περιβαλλοντικών εφαρμογών ή περιβαλλοντικής/αντιρρυπαντικής τεχνολογίας.

- Ανάπτυξη κεραμικών φίλτρων για προστασία του περιβάλλοντος, καταλύτες αυτοκινήτων, φίλτρα καθαρισμού.
- Αξιοποίηση παραπροϊόντων της βιομηχανίας για την ανάπτυξη νέων προϊόντων – Μεταλλουργικές σκωρίες – παραπροϊόντα μεταλλευτικών διεργασιών εμπλουτισμού – ιπτάμενη τέφρα από καύση λιγνίτη.
- Διαχείριση βιομηχανικών αποβλήτων.
- Αδρανοποίηση αποβλήτων

Παροχή υπηρεσιών Αναλύσεων Ελέγχου και παρακολούθησης της Ποιότητας του περιβάλλοντος (προσδιορισμοί ανόργανων και οργανικών ρύπων) αποτίμησης και εκτίμησης ρύπανσης :

Όπως τοξικά και ανεπιθύμητα Απόβλητα, Υγρά και στερεά Απόβλητα, Έδαφος, Υδατικοί αποδέκτες (υπόγεια και επιφανειακά ύδατα), Ατμοσφαιρική ρύπανση.

Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με επιστημονικά έγκυρες μεθόδους και με προδιαγραφές από εθνικά ή διεθνή πρότυπα ώστε να επιτυγχάνεται η αξιοπιστία των μετρήσεων και να ικανοποιούνται:

- α) Οι απαιτήσεις της περιβαλλοντικής νομοθεσίας που διέπει τη λειτουργία των επιχειρήσεων καθώς επίσης και
- β) Οι ανάγκες συστημάτων ποιότητας και περιβαλλοντικής διαχείρισης.

Συμβουλευτικές υπηρεσίες και Υπηρεσίες πληροφόρησης:

- Συμβουλευτική δραστηριότητα και εργαστηριακή υποστήριξη στην εφαρμογή και λειτουργία συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης (EN 14001, ΕΜΑΣ)
- Συμβουλευτικές υπηρεσίες σε θέματα περιβαλλοντικής καινοτομίας και προώθησης περιβαλλοντικών τεχνολογικών εφαρμογών.
- Περιβαλλοντική εκπαίδευση (Διοργάνωση σεμιναρίων, εκπαιδευτικών προγραμμάτων, εκδηλώσεων προβολής, ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης σε περιβαλλοντικά θέματα)
- Συνεργασίες με Οργανισμούς, Τοπική Αυτοδιοίκηση, Ερευνητικά Ιδρύματα και αντίστοιχους περιβαλλοντικούς φορείς

Ο χώρος των βιοκεραμικών και των καταλυτικών υποστρωμάτων και φίλτρων φαίνεται ότι ανοίγει μια πολύ μεγάλη αγορά. Συγκεκριμένα πολύ σημαντική είναι ήδη η αγορά κεραμικών φίλτρων για καθαρισμό τετηγμένων μετάλλων που εκτιμάται ότι υπερβαίνει τα 90.000 €ετησίως.

Ενδεικτική είναι η Ευρωπαϊκή αγορά των φίλτρων μετάλλων η οποία ξεπερνά τα 65 εκατ. δολάρια ετησίως και η οποία αυξάνει με ταχύτατους ρυθμούς. Πρέπει να σημειωθεί ότι μερικά χρόνια πριν ήταν σχεδόν ανύπαρκτη. Ολοένα αυξημένη είναι επίσης η χρήση κεραμικών φίλτρων για τον καθαρισμό θερμών βιομηχανικών αερίων από αιρούμενα σωματίδια. Οι παγίδες αιθάλης για τον καθαρισμό καυσαερίων από νητζελομηχανές είναι ένας ακόμη χώρος εφαρμογής των κεραμικών φίλτρων, ενώ οι χρήσεις τους συνεχώς διευρύνονται περιλαμβάνοντας διαχωρισμούς αερίων κλπ.

14. ΧΗΜΕΙΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

14.1 Συνεισφορά στην προστασία των αρχαιολογικών και παραδοσιακών μνημείων.

Η αποτελεσματική προστασία ενός μνημείου αρχαιολογικής ή ιστορικής σημασίας που είναι εκτεθειμένο στις καιρικές και μη συνθήκες του περιβάλλοντος, είναι ένα πολύπλοκο και δύσκολο πρόβλημα. Για τη σωστή λύση του απαιτούνται πολύπλευρες γνώσεις όχι μόνον αρχιτεκτονικής και αρχαιολογίας, αλλά και γνώσεις στατικής χημείας των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του.

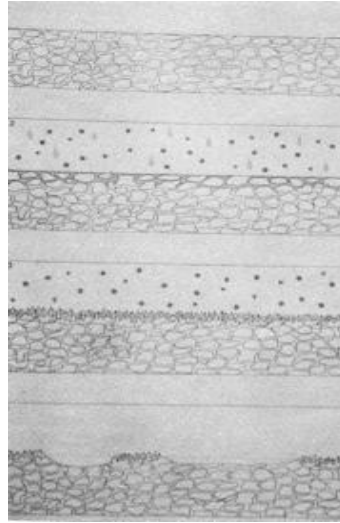
Τα δομικά υλικά είναι ως γνωστόν τα διάφορα είδη πέτρας, τούβλα, συνδετικά υλικά όπως ο ασβέστης και το τσιμέντο μαζί με τα κονιάματα που παράγονται από αυτά, καθώς και το ξύλο, γυαλί και μέταλλο. Βέβαια ο βαθμός χρησιμοποίησης μερικών ή όλων από αυτά δεν υπήρξε πάντα ο ίδιος. Έτσι το μάρμαρο χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλη κλίμακα στην αρχαιότητα, ενώ τα τούβλα και το μπετόν πήραν τη θέση του στη σημερινή εποχή.

14.2 Ορισμός χημείας των δομικών υλικών

Η χημεία των δομικών υλικών είναι η γνώση της σύστασης τους και η μελέτη των αντιδράσεων τους με το περιβάλλον όπου είναι εκτεθειμένα. Σκοπός αυτή της μελέτης είναι η κατάλληλα μέτρα προστασίας. Η προστασία συνίσταται είτε στον εμποτισμό ή στερέωση του διαβρωμένου υλικού για λόγους σταθεροποίησης, είτε στον καθορισμό και αντικατάσταση των κατεστραμμένων περιοχών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι μέθοδοι προστασίας του δομικού υλικού δεν σταματούν τη διάβρωσή του, απλώς καλυτερεύουν τις δυνατότητες αντίστασής του στους κλιματολογικούς και ατμοσφαιρικούς παράγοντες, δηλαδή το κάνουν περισσότερο ανθεκτικό.

Διάβρωση: είναι η προσαρμογή σε μία κατάσταση ισορροπίας των ορυκτών και πετρωμάτων από το πρωταρχικό μέρος της δημιουργίας τους, δηλαδή κάτω από την επιφάνεια της γης στη σημερινή τους θέση.

Στην επιφάνεια της γης όλα τα υλικά και μεταξύ αυτών τα πορώδη όπως το μάρμαρο, γερνούν λόγω των διαβρωτικών επιπτώσεων της ατμόσφαιρας και της υδρόσφαιρας.



Μηχανισμός αλλοίωσης του μαρμάρου από ατμοσφαιρικούς ρυπαντές
Αιολική διάβρωση. Ναός του Ποσειδώνα, Σούνιο

14.3 Στερέωση των δομικών υλικών

Η αποσάθρωση των δομικών λίθων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των μηχανικών αντοχών και της συνοχής τους, έτσι ώστε να κρίνεται απαραίτητη η στερέωσή τους. Το στερεωτικό υλικό πρέπει να είναι αντιστρέψιμο και να έχει παρόμοια σύσταση με αυτή του πετρώματος.

Λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του ψαμμίτη σε χαλαζία ($H_4 Si O_4$). Το οξύ καθιζάνει στους πόρους της πέτρας και χάνοντας βαθμιαία νερό σχηματίζει το επιθυμητό οξείδιο του πυριτίου. Ένα οργανικό υλικό με βάση το πυρίτιο, μη πολυμερές και με μεγάλη διεισδυτική ικανότητα, που χρησιμοποιείται κυρίως σε ψαμμίτες, είναι ο αιθυλοπυριτικός εστέρας. Κατά την εφαρμογή πρέπει να απομακρύνεται η περίσσεια του στερεωτικού από την επιφάνεια της πέτρας, ώστε να μη δημιουργούνται λεκέδες. Σε μελέτες που έγιναν διαπιστώθηκε ότι ο

χρόνος ζωής του στερεωτικού είναι περίπου δέκα χρόνια, διάστημα μετά το οποίο η μέθοδος μπορεί να επανεφαρμοστεί. Οι ιδανικότερες συνθήκες εφαρμογής του στερεωτικού RH 47-55% και θερμοκρασία 22-30 . Ανάλογες συνθήκες επικρατούν στη Βραυρώνα τον μήνα Ιούνιο, όπως προκύπτει και από τους σχετικούς πίνακες.

14.4 Συγκολλήσεις- πλήρωση κενών και ρωγμών

Για τη συγκόλληση πέτρινων τμημάτων χρησιμοποιούνται σήμερα διάφορα συγκολλητικά υλικά ή κονιάματα. Τα κονιάματα είναι πιο σταθερά από τις συνθετικές ρητίνες σε συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος και για το λόγο αυτό, προτιμώνται τόσο σε συγκολλήσεις όσο και σε πληρώσεις ρωγμών και κενών.

Το λευκό τσιμέντο Portland έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε θειικά άλατα, διαθέτει καλές μηχανικές αντοχές, καλή σύμφυση με την επιφάνεια της πέτρας, κατάλληλο θερμικό συντελεστή, πορώδες και κοκκομετρία, και προτείνεται να χρησιμοποιηθεί για τις συγκολλήσεις τόσο στο μάρμαρο όσο και στον ψαμμίτη.

15. ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

15.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Η τεχνολογία με βάση το πυρίτιο έχει εξαπλωθεί σε πολλούς τομείς όπως: επιστήμη, τεχνολογία και πολιτιστικά. Μια από αυτές τις τεχνολογίες στην οποία εφαρμόζεται είναι και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) χρησιμοποιούν ηλιακά κύτταρα ή ηλιακές φωτοβολταϊκές συστοιχίες για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από δύο στρώματα ημιαγωγού υλικού συνήθως πυριτίου. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην ένωση των δύο αυτών στρωμάτων, παράγεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων εξαρτάται από το υλικό και τον τρόπο κατασκευής τους.

Τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι τα άμορφα πολυκρυσταλλικά στοιχεία και μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου. Αυτοί οι δύο τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων διαφέρουν ως προς τον τρόπο κατασκευής τους και τα χαρακτηριστικά τους, δηλαδή ως προς το χρώμα τους, την εμφάνισή τους, την ανακλαστικότητά τους κ.α.

Γενικά ακολουθούνται 4 στάδια κατά την κατασκευή φ/β στοιχείων πυριτίου και πλαισίων:

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την κατασκευή των κρυστάλλων, πολυκρυστάλλων ή άμορφου πυριτίου. Ακολουθεί η αποκοπή ή ο σχηματισμός λεπτών στρωμάτων από τα υλικά αυτά και η εισαγωγή σε αυτά μικρών ποσοτήτων άλλων στοιχείων (προσμείξεις) για να σχηματιστεί το η- πυρίτιο ή ρ- πυρίτιο. Μετά ακολουθεί η συγκόλληση μεταλλικών ηλεκτροδίων στις δύο επιφάνειες των στρωμάτων και η επικάλυψη τους με κατάλληλο υλικό που εμποδίζει την ανάκλαση του φωτός. Το τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει την κατασκευή πλαισίου φ/β στοιχείων με σκοπό την προστασία τους από τις φυσικές και χημικές μεταβολές που γίνονται συνεχώς στην ατμόσφαιρα.

Στο πολυκρυσταλλικό ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 17 έως 20% για την κυψέλη και 10 έως 14% για το πλαίσιο. Χρώμα γαλάζιο – μαύρο. Στο άμορφο ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 6 έως 8%. Χρώμα καφέ.

Πλεονεκτήματα:

- Η χρήση φωτοβολταϊκών για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο είναι πολύ σημαντική διότι εξοικονομεί μεγάλα ποσά ενέργειας και προστατεύει το περιβάλλον.
- Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή.
- Η φ/β μετατροπή δεν προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον, ούτε θόρυβο η άλλη ενόχληση και δεν δημιουργεί απόβλητα ή άχρηστα παραπροϊόντα.
- Σχετικά εύκολη μέθοδος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων από πρώτες ύλες που αφθονούν.
- Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι αδιαμφισβήτητα. Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά και

άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης 1,1 κιλών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ, αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,4 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα του δάσους. Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κλπ.). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον.

15.2 Το Διοξείδιο του Τιτανίου (Ti O₂)

Το Τιτάνιο (Ti- ατομικός αριθμός 22) μπορεί να απομονωθεί από πολλά ορυκτά με τα πιο αξιοποιήσιμα να είναι ο ιλμενίτης (Fe Ti O₃) και το ρουτίλιο. Από τον ιλμενίτη καλύπτεται το 90% της παγκόσμιας αγοράς. Το 95% του παραγόμενου Τιτανίου χρησιμοποιείται κύρια για να προσδώσει λευκό χρώμα και αδιαφάνεια.

15.2.1 Χρήσεις:Καθαρισμός αέρα και νερού.

Η φωτοκαταλυτική ιδιότητα του Ti O₂ χρησιμοποιείται για να αφαιρεθούν από την ατμόσφαιρα παθογόνες ουσίες, όπως το αιθυλένιο και αλλεργιογόνοι

μικροοργανισμοί, όπως οι μύκητες και τα βακτήρια. Το Ti O₂ που χρησιμοποιείται είναι σε μορφή λεπτής ταινίας (thin film). Παρόμοια είναι και η χρήση του υλικού για τον καθαρισμό του νερού. Εδώ η ακτινοβολία λαμβάνεται απευθείας από τον ήλιο και δεσμεύεται με τη χρήση ζεόλιθου (zeolite). Το Ti O₂ αντιδρά και παράγει τους οξειδωτικούς παράγοντες οι οποίοι σε συνδυασμό με την ακτινοβολία καταστρέφουν τις ανεπιθύμητες ουσίες που περιέχονται στο νερό.

16. ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

16.1 Πορώδες ηχοαπορροφητικό

Αντικείμενο της ηχομόνωσης είναι η αποτελεσματική προστασία ενός κτιρίου τόσο από εξωτερικούς θορύβους (κυκλοφοριακός, αεροπορικός κλπ) όσο και ο περιορισμός διάδοσης θορύβων που δημιουργούνται στο εσωτερικό του από χώρο σε χώρο. Για την επίλυση τυπικών προβλημάτων ηχομόνωσης μελετήθηκαν συνήθεις κατασκευαστικές διατάξεις με τη χρήση του ινώδους ηχοαπορροφητικού υλικού πετροβάμβακα.

Όλα τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην πράξη για επιχρίσματα και επικαλύψεις παρουσιάζουν συνήθως χαμηλή ηχοαπορρόφηση. Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται αυξημένη ηχοαπορρόφηση (όπως ακουστικός σχεδιασμός αιθουσών, μείωση θορύβου σε βιομηχανικούς χώρους κλπ) χρησιμοποιούνται ειδικά υλικά σε αντίστοιχες διατάξεις. Τα ηχοαπορροφητικά υλικά διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Πορώδη ή ινώδη ηχοαπορροφητικά

- Συνηχητές μεμβράνης
- Συνηχητές κοιλότητας

Τα πορώδη υλικά είναι υλικά με ανοικτούς πόρους. Το πλέον ευρέως διαδεδομένο σε ευρωπαϊκό επίπεδο πορώδες ηχοαπορροφητικό υλικό που χρησιμοποιείται στις κατασκευές είναι ο πετροβάμβακας.

Η βασική ακουστική λειτουργία του πετροβάμβακα είναι η απορρόφηση του ήχου μέσα από την μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε θερμότητα μέσα στους πόρους. Ο πετροβάμβακας παρουσιάζει ηχοαπορρόφηση στις υψηλές συχνότητες δηλαδή σε ήχους με μικρό μήκος κύματος. Για την αύξηση της ηχοαπορρόφησης σε χαμηλότερες συχνότητες απαιτείται είτε αύξηση του πάχους του υλικού είτε αύξηση της απόστασης του πορώδους υλικού από τη σταθερή επιφάνεια τοποθέτησης.

17. ΑΝΤΙΠΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

17.1 Τεχνολογία CLEANMAG

Είναι γνωστό ότι το υδάτινο στοιχείο κυριαρχεί στη ζωή αφού οι θάλασσες καλύπτουν το 71% της γης, το 80% των ζωντανών οργανισμών βρίσκονται και κατοικούν στη θάλασσα, το 70% του οξυγόνου προσφέρεται από τη θάλασσα, οι ωκεανοί καλύπτουν έκταση $361 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ άνισα κατανεμημένη στα δύο ημισφαίρια.

Από τη θάλασσα ο άνθρωπος αντλεί φυσικούς πόρους (ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς, ορυκτό πλούτο), χρησιμοποιεί ενέργεια από τα κύματα και τις θαλάσσιες θερμικές πηγές, τοποθετεί εγκαταστάσεις για την εκμετάλλευση λ.χ. πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου, αγωγούς, σήραγγες, χώρους εναποθήκευσης, τεχνητά νησιά, πλέοντα αεροδρόμια, σταθμούς πυρηνικής ενέργειας.

Στη σημερινή εποχή γνωρίζουμε ότι η θαλάσσια ρύπανση που προκαλείται από τα εμπορικά πλοία, ιδίως τα δεξαμενόπλοια λόγω και του φορτίου που μεταφέρουν, είναι αυτή που απασχολεί στο μεγαλύτερο βαθμό τη διεθνή κοινότητα. Αυτό επιβεβαιώνεται και από ένα πλήθος διεθνούς, περιφερειακής και εθνικής νομοθεσίας με αυτό το γνωστικό αντικείμενο, μολονότι άλλες μορφές είναι πολύ πιο σημαντικές από την πλευρά των ποσοτήτων και των συνεπειών στο θαλάσσιο περιβάλλον, λ.χ. η ρύπανση που προέρχεται από τις χερσαίες πηγές.

Σήμερα θα τολμούσαμε να εκφράσουμε την άποψη ότι η ρύπανση και επομένως η προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος αποτελούν το σημαντικότερο αλλά και το πρόσφορο κομμάτι για επιστημονική έρευνα και ανάλυση από τη στιγμή που η μελέτη της ρύπανσης των θαλασσών είναι ένα νέο σχετικά πεδίο έρευνας.

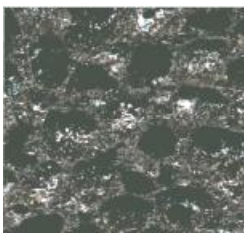
Πολλά είναι τα δεξαμενόπλοια που εμπλέκονται σε ατυχήματα με αποτέλεσμα χιλιάδες τόνοι πετρελαίου να χύνονται στη θάλασσα δημιουργώντας έτσι σοβαρά προβλήματα στη θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα.

Τέτοιου είδους γεγονότα όπως ήταν φυσικό, προκάλεσαν το άμεσο ενδιαφέρον επιστημόνων, πολιτικών, παρατηρητών αλλά και του κοινού

γενικότερα σχετικά με την ατυχηματική (accidental) ή και εσκεμμένη (deliberate) θαλάσσια ρύπανση.

Οι σημερινές διαθέσιμες τεχνολογίες για την καταπολέμηση των πετρελαιοκηλίδων δεν είναι 100% αποδοτικές. Μέρος του πετρελαίου παραμένει στη θάλασσα δημιουργώντας μακροπρόθεσμο οικολογικό πρόβλημα. Εκτός αυτού, υπάρχουν και πιο καταστροφικές συνέπειες ως αποτέλεσμα της χρήσης των χημικών διασκορπίσεων.

Μία νέα όμως εφαρμογή της νέας μεθόδου για τον καθαρισμό θαλάσσιων πετρελαιοκηλίδων θα αλλάξει τα δεδομένα. Ονομάζεται Clean Mag, είναι ένα ελαιόφυλο, πορώδες ελαιοπροσροφητικό υλικό, μαγνητικό με φαινομενική πυκνότητα μικρότερη από αυτή του νερού το οποίο διασκορπίζεται επάνω στην πετρελαιοκηλίδα σε κοκκώδη μορφή. Το πετρέλαιο στιγμιαία προσροφάτε από τους πόρους του υλικού (τριχοειδή φαινόμενα) και μετά περισυλλέγεται με μαγνητικά μέσα όπως για παράδειγμα ο ταινιόδρομος μαγνητικού τυμπάνου.



κόκκος υλικού διαστάσεων $0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm}$

Οι πόροι που προσροφούν το πετρέλαιο είναι εμφανείς

Το Clean Mag (Cleaning Magnetically), ένα μη τοξικό, χημικά αδρανές και ανακυκλώσιμο υλικό έχει επιδείξει σε εργαστηριακή κλίμακα δυνατότητα περισυλλογής πετρελαίου από υδάτινες επιφάνειες σε ποσοστό 100%.

Το υλικό που παρήχθη διαθέτει τις παρακάτω φυσικοχημικές ιδιότητες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 19.α.

Πίνακας 19.α. - Φυσικοχημικές ιδιότητες του CleanMag

<i>Χαρακτήρας προσρόφησης</i>	Ελαιόφιλος-υδρόφοβος
<i>Χρόνος προσρόφησης</i>	Με την επαφή
<i>Φαινομενική πυκνότητα</i>	0.2 - 0.8 g/cc
<i>Μορφή</i>	Πορώδεις κόκκοι
<i>Μέγεθος κόκκων</i>	2 - 10 mm
<i>Παραμένουσα μαγνήτιση</i>	0 - 40 emu/g
<i>Μέγιστη προσρόφηση</i>	1: 6-9 (ανάλογα με τον τύπο πετρελαίου)
<i>Τοξικότητα</i>	Μη τοξικό - χημικά αδρανές
<i>Δυνατότητα ανακύκλωσης</i>	Ναι

Μετά την περισυλλογή το πετρέλαιο μπορεί να ανακτηθεί με διάφορες τεχνολογίες, ή ακόμη και να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο (μαζί με τον Clean Mag) από βιομηχανίες. Τα υπολείμματα της καύσης του υλικού δεν χάνουν τις μαγνητικές ιδιότητες, μπορούν να ανακυκλωθούν και μπορεί να διασκορπιστεί εύκολα το υλικό από πλωτά και εναέρια μέσα. Άλλα προτερήματα της τεχνολογίας CLEANMAG είναι ότι έχουμε ελάττωση του χρόνου καθαρισμού κατά 30%. Το υλικό λόγω της μαγνήτισης του δημιουργεί συσσωματώματα, τα οποία είναι δυσκίνητα στο νερό λόγω του όγκου τους και συνεπώς αρκετό χρόνο στα καθαριστικά συνεργεία. Το υλικό κόμη και σε κακές καιρικές συνθήκες δεν βυθίζεται, δεν γαλακτωματοποιείται από την κίνηση των κυμάτων. Σε περίπτωση που το εμποτισμένο με πετρέλαιο υλικό έλθει στις ακτές δεν τις μολύνει, καθ' όσον το πετρέλαιο είναι εγκλωβισμένο στους πόρους αυτού του υλικού. Το πετρέλαιο παραμένει εγκλωβισμένη στους πόρους του υλικού και δεν λιπαίνει τη θαλάσσια πανίδα (π.χ. θαλάσσια πουλιά). Είναι χαμηλού κόστους τεχνολογία καθ' όσον 1 κιλό υλικού προσροφά 6-9 κιλά πετρελαίου (ανάλογα τον τύπο του πετρελαίου). Θεωρητικά είναι δυνατό να περισυλλέγει όλη τη ποσότητα πετρελαίου που έχει πέσει στη θάλασσα, ο περιορισμός της δυνατότητας περισυλλογής υφίσταται και εξαρτάται μόνο από τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων σκαφών που διαθέτουν αυτήν την τεχνολογία και από την ποσότητα του υλικού Clean Mag που είναι διαθέσιμη στην περечεί. Σύμφωνα με τα παραπάνω, περιορίζεται δυνητικά η ανάγκη για χρήση χημικών διασκορπιστικών, ουσίες πολύ τοξικές για το περιβάλλον, ιδιαίτερα αν συνδυαστεί η τοξικότητα τους με αυτή του πετρελαίου (αυξημένη συνεργητική τοξικότητα).

Πετρελαιοκηλίδα παρουσιάζεται στις φωτογραφίες του σχήματος



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεντεκάκης Ιωάννης, «Φυσικές Διεργασίες: Απόσταξη, Απορρόφηση, Προσρόφηση, Εκχύλιση», Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 1996.
2. Δρ. Κώστας Ε. Σαββάκης «Χημική Τεχνολογία- ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2002.
3. Δρ. Μαρία Π. Θεωοδοπούλου «ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ»
4. Δρ. Συγγούνη Βάρβαρα «Διδακτορική Διατριβή»
5. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΑΝΑΤΥΠΩΣΗ ΔΙΕΘΝΕΣ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΔΙΚΑΙΟ Δρ. Αριστοτέλης Β. Αλεξόπουλος

6. ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ-Εξοικονόμηση Ενέργειας Μέσο της Βιοκλιματικής Δόμησης στην Αττική-Ελένη Πετσάβα Αθήνα 2006
Συστήματα Ψεκασμού & Καταλυτική Τεχνολογία (Εκδόσεις ΙΩΝ)

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Amondham, W., P. Parkpian, C. Polprasert, R. DeLaune, and A. Jugsujinda. 2006.
2. Paraquat adsorption, degradation, and remobilization in tropical soils of Thailand. J. Environ.Sci. Health Part B Pestic. Food Contamin. Agric.Wastes41:485507.
3. Chen, S., H Chen, G Doolen, 1989, How the Lattice-gas model for the Navier- Stokes equation improves when a new speed is added, Complex syst., 3, 243-251
4. Bailey, G. W. and J. L. White. 1970. Factors influencing the adsorption, desorption, and movement of pesticides in soi. Residue Rev **32**:29-92.

5. Bailey, G. W., G. L. White, and T. Rothberg. 1968. Adsorption of organic herbicides by montmorillonite: Role of pH and chemical character of adsorbate. *Soil Sci. Soc. Proc.* **32**:222-234.
6. Barlow, F. 1985. Chemistry and formulation. In P. T. Haskel (ed.), *Pesticide Application: Principles and Practice*. Oxford University Press, Oxford.
7. Barriuso, E. and W. C. Koskinen. 1996. Incorporating nonextractable atrazine residues into soil size fractions as a function of time. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **60**:150-157.
8. Barriuso, E., D. A. Laird, W. C. Koskinen, and R. H. Dowdy. 1994. Atrazine desorption from smectites. *SOIL SCI. SOC. AM. J.* **58**:1632-1638
9. Bredow, T., and Jug, K., *Surf. Sci.* 327, 398 (1995).
10. Brenner, H., *J. Fluid Mech.* 11, 144 (1964).
11. Clayes, I.L. and J.F. Brady, "Suspension of prolate spheroids in Stokes flow (in three parts)", *J. Fluid. Mech.*, 251, 411 (1993)

12. Chwang, A.T. and T.Y. Wu, J. Fluid. Mech., 75, 677 (1976)
13. Dyson, F., 1979, Disturbing the Universe (Harper & Row, New York).
14. Feynman, R., 1982, Simulating physics with computers, Int. J. Theor. Phys., 21, 467-488.
15. « Dullien, F.A.L., “Porus Media Fluid Transport and pore Structure”, Academic Press, New York (1979)
16. Panel. 2000. Atrazine : Hazard and Dose-Response Assessment and Characterization. In.The Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act, Scientific Advisory
17. The Commission of the European Communities. 2004. Commission Decision of 10 March 2004 concerning the non-inclusion of atrazine in Annex I to Council Directive 91/414/EEC and the withdrawal of authorisations for plant protection products containing this active substance. In Anonymous

18. Treybal, R.E., "Mass- Transfer Operations", 3rd Ed., McGraw- Hill, N. YORK, 1980

19. Triegel, E. K. and L. Guo. 1994. Overview of the Fate of Pesticides in the Environment, Water Balance; Runoff vs. Leaching, p. 1-13. In R. C. Honeycutt and P. J. Schabaker (ed.), .

20. Tsakiroglou, C.D. and Fleury, M., *Transp. Porous Media*, 35:89 (1999).

21. Tsakiroglou, C.D. and Fleury, M., *J. Petroleum Sci. and Engng.* 22:253 (1999).

22. Tsegaye, T., A. Johnson, W. Mersie, S. Dennis, and K. Golson. 2007. Transport of atrazine through soil columns with or without switchgrass roots. *J. Food Agric. Environ.* 5:345-350.

23. Turco, R. F. and E. J. Kladvko. 1994. Studies on pesticide mobility: laboratory vs. field, p. 63-80. In R. C. Honeycutt and D. J. Schabacker (ed.), *Mechanisms of Pesticide Movement into Groundwater*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. <http://www.scienceline.gr/Bio-ceramics.doc>.
2. http://pspm3.certh.gr/img/stournaras_ekepy.pdf
3. <http://www.cereco.gr>
4. http://7gym-zograf.att.sch.gr/activities/2007-08/ergasia_xhmeia/05.pdf.
5. http://hirc.ekt.gr/opencms/opencms/hirc/services/newsletter/inn4/keramik_a.htm.
6. <http://www.ibiza.gr/forum/showthread.php?t=11781>
7. http://www.eke.gr/downloads/EKE_newsletter_02.pdf
8. <http://www.greekmoney.gr/index.php?news=3865>
9. http://www.aquapure.gr/GR_M_Filters.htm.

10. <http://www.ntua.gr/vitruvius/ty1.pdf>
11. http://155.207.18.1/~chemtech/foititika/fd/ergastiria/4_fisher.pdf.
12. <http://hirc.ekt.gr/opencms/opencms/hirc/services/newsletter/inn4/keramika.htm>
13. <http://artemis.cslab.ntua.gr/Dienst/UI/1.0/Download/artemis.ntua.ece/DT2008-0131>.
14. http://pernet.teipir.gr/netlab/kb/cleanmag/2LAYMAN_LIFE99_ENV_GR_567_GR.htm
15. http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_hatziastrou.pdf.
16. <http://artemis.cslab.ntua.gr/Dienst/UI/1.0/Download/artemis.ntua.ece/DT2009-0161>
17. <http://www.akx.gr/16-09.asp>
18. www.thalys.gr/pagesgr/.../injection/injection_448_gr.htm