ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΝ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ

Θαλής – ΤΕΙ Καβάλας - Nanocapillary

Αναφορά 2ου Πειράματος

MIS 375233

ΠΕΙΡΑΜΑ 2ο

Το έργο NANOCAPILLARY υλοποιήθηκε από το ΤΕΙ Ανατολικής Μακεδονίας & Θράκης σε συνεργασία με το ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» αλλά και το ΤΕΙ Κρήτης, έχοντας ταυτόχρονα στενή συνεργασία με ερευνητές από τα ακόλουθα Ιδρύματα του εξωτερικού: University of Oxford, University of Antwerp, French National Centre for Scientific Research (CNRS), University of Alicante και με την εταιρεία JJ X-Ray Danish Science Design. Αντικείμενο του υποέργου υπήρξε η παραγωγή κατάλληλου, έξυπνου και φιλικού στο χρήστη, λογισμικού [*NANOCAPILLARY*©] για τη μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς των ρευστών στο νανοχώρο καθώς και η πειραματική μελέτη της προσρόφησης ατμών σε μεσοπορώδες υλικό υπό στατικές αλλά και υπό δυναμικές συνθήκες. Με χρήση δηλαδή σταθερού δείγματος αλλά και έχοντας το υπό εξέταση δείγμα υπό περιστροφική κίνηση.

Μετά την επιτυχή πραγματοποίηση του 1ου πειράματος, ήτοι την επι τόπου προσρόφηση CH_2Br_2 και σκέδαση ακτίνων–Χ σε μικρές γωνίες τόσο σε μεσοπορώδη ύαλο Vycor® 7930 όσο και σε νανοδομημένα μεσοπορώση υλικά πυριτίας (SBA-15 & MCM-41) η ερευνητική ομάδα επικεντρώθηκε στην πραγματοποίηση του 2ου πειράματος, σύμφωνα με την περιγραφή υλοποίησής του έτσι όπως περιγράφεται στο εγκεκριμένο Τ.Δ. του υποέργου.

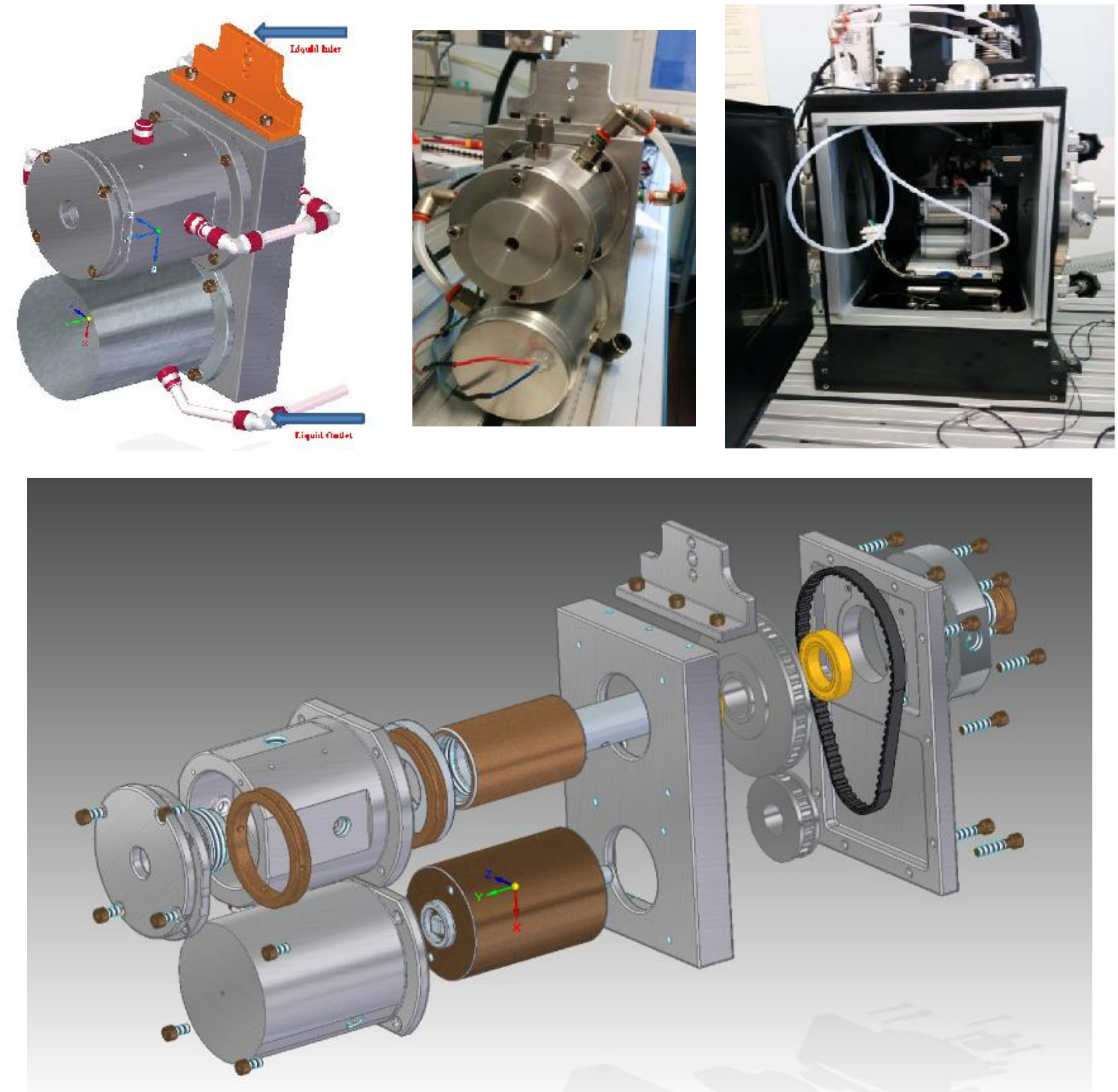
Σε αυτή την φάση, και για τη πραγματοποίηση του πειράματος, η κατασκευή ειδικού κελιού το οποίο θα διαθέτει σύστημα θερμοστάτησης–ψύξης, δυνατότητα ελεγχόμενης περιστροφής του τμήματος όπου βρίσκεται το υπό εξέταση δείγμα (Vycor® 7930) καθώς και απόλυτη στεγανότητα από το περιβάλλον υπήρξε ο πρώτος στόχος. Μετά την βελτιστοποίηση της κατασκευής, οι οποίες και περιγράφονται στην σχετική έκθεση αναφοράς «*Αναφορά Αριστοποίησης Περιστρεφόμενου Κελιού*», χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο περιγραφόμενο κελί.

ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΚΕΛΙ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΜΑΤΑΩΝ

Το πρωτότυπο κελί το οποίο και χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των in-situ πειραμάτων ρόφησης και μικρογωνιακής σκέδασης ακτίνων–Χ απικονίζεται στην εικόνα 1. Το κελί είναι κατασκευασμένο εξ ολοκλήρου από αλουμίνιο, διαθέτει κινητήρα με δυνατότητα περιστροφής του προσαρμοσμένου κυλινδρικού χώρου

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

εισαγωγής του δείγματος έως και ~5000 στροφών/λεπτό και ταυτόχρονα διαθέτει κλειστό κύκλωμα κυκλοφορίας ρευστού για τον ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας που του δείγματος.



Εικόνα 1. Περιστρεφόμενο κελί για in-situ πειράματα προσρόφησης και σκέδασης ακτίνων–Χ σε μικρές γωνίες.

Τα πλεονεκτήματα του νέου περιστρεφόμενου κελιού, όπως αυτό προέκυψε κατά την διαδικασία της αριστοποίησης είναι τα εξής:

1. Όλη η διαδικασία του πειράματος βρίσκεται πλέον μέσα στο χώρο του θαλάμου σκέδασης. Η επίτευξη αυτού του στόχου καλύπτει την ανάγκη για ύπαρξη συνθηκών κενού στην περιοχή γύρω από αυτή του μελετούμενου δείγματος.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

2. Το κελί είναι ιδιαίτερα μικρό και ελαφρύ με αποτέλεσμα ο χειρισμός του και η εγκατάστασή του εντός του θαλάμου σκέδασης να είναι ασφαλής και χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες.
3. Έχει προστεθεί κλειστό κύκλωμα νερού στο χώρο μετάδοσης της κίνησης έτσι ώστε να μην επηρεάζεται ο χώρος του πειράματος από την θερμοκρασία που θα ανεβάζει ο κινητήρας.
4. Έχει προστεθεί κλειστό κύκλωμα νερού στο κελί που διενεργείται η μέτρηση με σκοπό την διατήρηση της θερμοκρασίας στον χώρο του πειράματος για την διενέργεια πειραμάτων σε σταθερή θερμοκρασία.
5. Έχουν μειωθεί η αποστάσεις και τα κινούμενα μέρη μεταξύ κινητήρα και δειγματοφορέα έτσι ώστε να υπάρχουν όσον το δυνατότερων λιγότεροι κραδασμοί.

Εικόνα 2. Δείγμα Vycor® 7930 και ο δακτυλοειδής δειγματοφορέας.

Για την πραγματοποίηση του 2^{ου} Πειράματος Vycor® 7930 σε μορφή δισκίου τοποθετήθηκε σε αλουμίνιο δακτύλιο (Εικ.2) και ακολούθως ο δκατύλιος μεταφέρεται εντός του περιστρεφόμενου κελιού. Με αυτό τον τρόπο έχουμε την ταυτόχρονη επίτευξη των ακόλουθων:

1. Ταυτόχρονη προσρόφηση CH_2Br_2 και σκέδαση ακτίνων – Χ σε μικρές γωνίες υπό απόλυτα σταθερή θερμοκρασία
2. Προσρόφηση ατμών σε διαφορετικές σχετικές πιέσεις.
3. Περιστροφή του δείγματος σε εύρος γωνιακών ταχυτήτων.

Στον πίνακα 1 καταγράφονται κάποιες μεταβλητές λειτουργίας του κελιού οι οποίες αναφέρονται στις συνθήκες όπου έλεβαν χώρα τα πειράματα περιστροφής, προσρόφησης CH_2Br_2 και επιτόπου μικρογωνιακής σκέδασης ακτίνων–Χ. Η ταχύτητα περιστροφής ήταν 282.6 rad/s ή 2700 rpm.

	r_o (m)	r_s (m)	ω (rad/s)
PRB	3.6×10^{-3}	3.65×10^{-3}	282.6

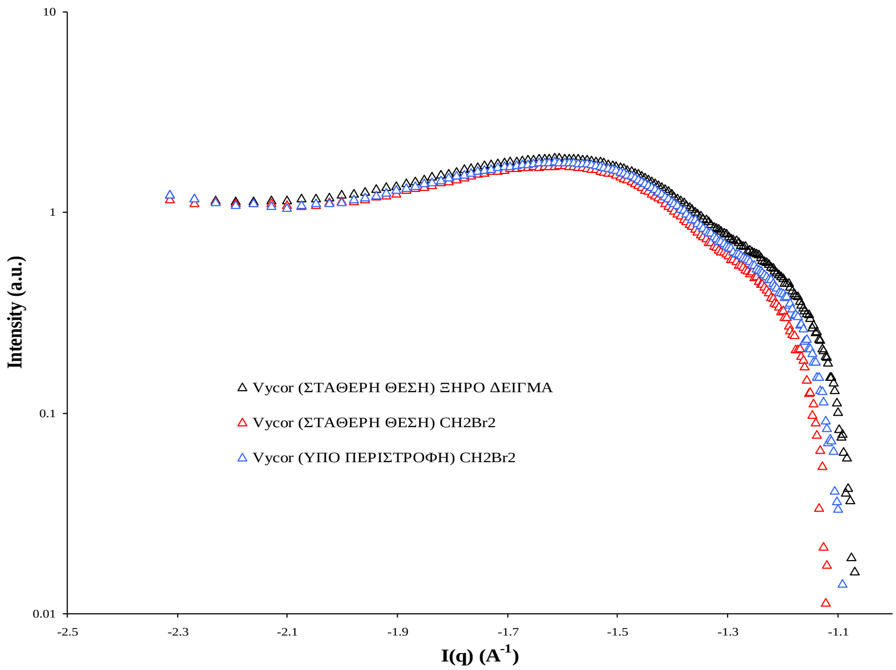
Πίνακας 1. Μεταβλητές λειτουργίας του περιστρεφόμενου κελιού (*RPB: Rotated Packed Bed*).

Ακολούθως παρουσιάζονται τρία φάσματα μικρογωνιακής σκέδασης ακτίνων–Χ: 1) σε ξηρό δείγμα Vycor® 7930 σε σταθερή κατάσταση, 2) σε δείγμα Vycor® 7930 το οποίο έχει

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

προσροφήσει CH_2Br_2 σε σταθερή κατάσταση και 3) σε δείγμα Vycor® 7930 το οποίο έχει προσροφήσει CH_2Br_2 και βρίσκεται υπό περιστροφή.

Για την επεξεργασία των φασμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο Saxsgui σε συνεργασία με το περιβάλλον ανάλυσης δεδομένων του MATLAB. Τα σχετικά φάσματα για τις τρεις μελετούμενες καταστάσεις παρουσιάζονται στο διάγραμμα 1 ως Log(I) vs Log(q).



Διάγραμμα 1. Φάσματα σκέδασης ακτίνων – X σε μικρές γωνίες.

Όπως φαίνεται και στις τρεις περιπτώσεις η κύρια χαρακτηριστική κορυφή της πορώδους υάλου εμφανίζεται σε q=0.025 $Å^{-1}$ ενώ μια δεύτερη αχνή μεταβολής της κλίσης παρουσιάζεται σε q=0.06 $Å^{-1}$. Ακολούθως το φάσμα σκέδασης ακολουθεί φθίνουσα τάση ακολουθώντας κλίση q^{-4}. Η κύρια διαφορά μεταξύ των τριών φασμάτων αφορά την ένταση σκέδασης. Αυτό το οποίο συμβαίνει είναι ότι η ένταση σκέδασης στην περίπτωση του πληρωμένου με CH2Br2 δισκίου σε συνθήκες περιστροφής (~2700 rpm) είναι κοντά σε αυτή του φάσματος του ξηρού δείγματος ενώ στην περίπτωση που το δισκίο είναι σταθερό τότε η ένταση μειώνεται χαρακτηριστικά.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Με την χρήση των διαγραμμάτων Porod ($q^4 \Delta I$(q) vs. Q^4 η σταθερά background B και η σταθερά K_p υπολογίστηκαν. Προϋπόθεση για τους υπολογισμούς είναι η κλίση στο διάγραμμα Porod να είναι -4.

Πείραμα	K_p **(Å^{-4})**	Q_p **(Å^{-3})**	φ	S/V **(Å^{-4})**
Ξηρό Vycor	10 x 10^{-7}	1.79 x 10^{-7}	0.15	2.23
CH_2Br_2 + Vycor	6 x 10^{-7}	2.02 x 10^{-7}	0.15	1.19
CH_2Br_2 + Vycor (ΥΠΟ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ)	8 x 10^{-7}	2.50 x 10^{-7}	0.15	1.28

Είναι εμφανές ότι η υπολογιζόμενη επιφάνεια ανά όγκο για το ξηρό δείγμα καταγράφεται ιδιαίτερα υψηλότερη από αυτήν στις περιπτώσεις όπου το CH_2Br_2 έχει προσροφηθεί στην πορώση ύαλο. Ενδιαφέρον όμως παρουσιάζει το γεγονός ότι στην περίπτωση που το σύστημα Vycor/CH_2Br_2 τεθεί υπό περιστροφή τότε η σχετική επιφάνεια παρουσιάζει μια αύξηση κατά 7.5%.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα ως προς την Δ_p (Difference in Average Electron Density), την P_p (Porod Constant) και το T (thickness of thin plate) παρουσιάζονατι στον ακόλουθο πίνακα.

Πείραμα	Δ_p **(Å$^{-3/2}$)**	P_p **(Å$^{-5/2}$)**	T **(Å^{-2})**
Ξηρό Vycor	8.43 x 10^{-3}	0.118	1.61 x 10^{-4}
CH_2Br_2 + Vycor	8.96 x 10^{-3}	0.067	3.39 x 10^{-4}
CH_2Br_2 + Vycor (ΥΠΟ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ)	9.97 x 10^{-3}	0.080	3.91 x 10^{-4}

Η ανάγκη για ανάπτυξη νέων πεδίων πέρα της παραδοσιακής μηχανικής, που να οδηγούν σε καθαρές, ενεργειακά επαρκείς, συμπαγές και φιλικές προς το περιβάλλον βιώσιμων διεργασιών αποκαλείται ως "εντατικοποίηση της διαδικασίας" (*process intensification*). Η εξέλιξη αυτή αποτελεί προϊόν νέων τεχνικών και συσκευών, σε σύγκριση με εκείνες που χρησιμοποιούνται σήμερα, και αναμένεται να φέρει δραματικές βελτιώσεις τόσο στην παραγωγή όσο και στην μεταποίηση, μειώνοντας ουσιαστικά την αναλογία μεγέθους εξοπλισμού/παραγωγικής ικανότητας, την

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

κατανάλωση ενέργειας, την παραγωγή αποβλήτων, και τελικά οδηγεί σε φθηνότερα προϊόντα και πιο βιώσιμες τεχνολογίες.

Ο όμιλος "New Science Group" της Imperial Chemical Industries στο Λονδίνο εφήυρε την περιστρεφόμενη συμπαγή κλίνη (*Rotating packed bed*) εξελίσσοντας το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας των Ramshaw και Mallison [1] εντατικοποιώντας την απόδοσης μεταφοράς μάζας αερίου–υγρού. Η τεχνική αυτή τείνει να εξελιχθεί σε έναν από τους πιο ελπιδοφόρους κλάδους της διαδικασίας.

Σε αυτή την προσπάθεια εντάσσεται και η πειραματική μελέτη της συμπερισφοράς προσρόφησης ενός ρευστού (CH_2Br_2) σε μεσοπορώδες μέσο (Vycor® 7930) υπό συνθήκες περιστροφής. Σε αυτή την προσπάθεια οι σχετικοί υπολογισμοί του συντελεστή μεταφοράς μάζας εντός του πορώδους μέσου υπό στατικές και υπό συνθήκες περιστροφής αποτελούν στοιχείο μελέτης του παρόντος υποέργου.

Για τον υπολογισμό των συνετελεστών μεταφοράς μάζας εντός του δισκίου Vycor® 7930 χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα, μεταβλητές, από την διεθνή βιβλιογραφία [2–4] ενώ μια σειρά από παραδοχές λήφθησαν υπόψιν. Για τον υπολογισμό του συντελεστή διάχυσης χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση διάχυσης σύμφωνα με την U.S. EPA, 1987 [5].

	μ (Pa s)	**ρ (kg/m^3)**	**D (m^2/s)**	**σ (kg/s^2)**	**σ_c (kg/s2)**	**MW**
CH_2Br_2	1.09×10^{-3}	2497	6.8×10^{-6}	39×10^{-3}	12×10^{-3}	173.83

Πίνακας 2. Σταθερές για το CH_2Br_2 σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία.

Οι υπολογισμοί ως προς την μεταφορά μάζας έλαβαν χώρα βασιζόμενοι στις σχέσεις, εξισώσεις (Πίνακας 3) που περιγράφονται από το μοντέλο του Chen [6] (2006) και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα μοντέλα των Chen [7] (2005), Tung και Mah [8] (1985) και Onda [9] (1968). Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες προτεινόμενες εξισώσεις μαζί με τις σχετικές αναφορές για τον υπολογισμό του συντελεστή μεταφοράς μάζας (K_L).

Με χρήση των παρακάνω εξισώσεων (Πίνακας 3) υπολογίστηκε ο συντελεστής μεταφοράς μάζας (K_L) υπό περιστροφή (Higee) και συγκρίθηκε (Πίνκας 4) με αυτόν σε στατικές συνθήκες (conventional).

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
ΕΣΠΑ 2007-2013
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Mass Transfer (K_L)	Model
$\frac{k_G \sim d_p}{D \sim_t}\left(1-0.93\frac{V_o}{V_t}-1.13\frac{V_i}{V_t}\right)=0.35S_c^{0.5}\mathrm{Re}^{0.17}Gr^{0.3}We^{0.3}\left(\frac{\sim_t}{a_p'}\right)^{-0.5}\left(\frac{\pm_c}{\pm_s}\right)^{0.14}$	Chen et al., 2006
$\frac{k_G \sim d_p}{D \sim_t}\left(1-0.93\frac{V_o}{V_t}-1.13\frac{V_i}{V_t}\right)=0.35S_c^{0.5}\mathrm{Re}^{0.17}Gr^{0.3}We^{0.3}$	Chen et al., 2005
$k_G=\frac{D}{d_p}\frac{2*3^{1/3}}{®}S_c^{1/2}\mathrm{Re}^{1/3}\left(\frac{\sim_t}{a}\right)^{1/3}Gr^{1/6}$	Tung and Mah, 1985
$k_G\left(\frac{°}{«g}\right)^{1/3}=0.0051\left(\frac{L}{\sim«}\right)^{2/3}S_c^{-1/2}\left(\sim_t d_p\right)^{0.4}$	Onda et al., 1968

Πίνακας 3. Εξισώσεις υπολογισμού του συντελεστή μεταφοράς μάζας.

Οι χρησιμοποιούμενες εξισώσεις για τους υπολογισμούς είναι αυτές του Higee με την αντικατάσταση της σταθεράς επιτάχυνσης της βαρύτητας (gravitational acceleration (g)) με αυτή της φυγόκεντρης επιτάχυνσης (centrifugal acceleration (a_c)). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ακολούθως στον πίνακα 4.

Model	***Mass Transfer (K_L)***	
	Conventional (g)	***Higee (a_c)***
Chen et al., 2006	0.026 *m/s*	*0.058 m/s*
Chen et al., 2005	0.027 *m/s*	*0.061 m/s*
Tung and Mah, 1985	0.027 *m/s*	*0.042 m/s*
Onda et al., 1968	*0.006 m/s*	*0.015 m/s*

Πίνακας 4. Σύγκριση συντελεστών μεταφοράς μάζας σε συμβατό σύστημα και στο σύστημα που ο ροφητής (adsorbate) βρίσκεται υπό συνθήκες περιστροφής.

Αυτό που μπορεί να εξαχθεί από τα αποτελέσματα των υπολογισμών είναι το ότι η μεταφορά μάζας εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής και την ταχύτητα ροής του υγρού. Στην πραγματικότητα, η μεταφορά μάζας αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής και του ρυθμού ροής του υγρού. Επιπλέον, σύμφωνα με την Higee διαδικασία, η μεταφορά μάζας έχει αυξηθεί κατά ένα συντελεστή περίπου 2 σε σχέση με τη συμβατική διαδικασία. Ως εκ τούτου, είναι σαφές ότι κατά τη διάρκεια της προσρόφησης CH_2Br_2, η φυγόκεντρος δύναμη ενισχύει την μεταφορά μάζας σε μια περιστρεφόμενη κλίνη. Ως εκ τούτου, το συγκεκριμένο μέγεθος του συστήματος θα πρέπει να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό. Τέλος, οι

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

υπολογιζόμενες τιμές μας ως προς τη μεταφορά μάζας είναι σε καλή συσχέτιση με αυτές της βιβλιογραφίες.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Ramshaw C., Mallinson R. H., “Mass Transfer Process”, U.S. Patent 4,283,255, 1981.
[2] David S. Weisberg and Martin Dworkin, Method for Measuring Changes in Surface Tension of Agar, Appl. Environ. Microbiol. 1983, 45(4):1338.
[3] David R. Lide, CRC Handbook of Chemistry and Physics, New York 2003, p 1136.
[4] S. Banerjee and F.M. Etzler, An Algorithm for Estimating Contact Angle, Instituteof Paper Scienceand Technology, 1995, Num. 556.
[5] U.S. EPA, Addendum to the Health Assessment Document for Trichloroethylene. Updated Carcinogenicity Assessment for Trichloroethylene. External Review Draft. EPA/600/8-82-006FA. Office of Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington DC, 1987.
[6] Chen Y. S., Lin C. C., Liu H. S., Packing Characteristics for Mass Transfer in a Rotating Packed Bed, Ind. Eng. Chem. Res. 2006, 45, 6846-6853.
[7] Chen Y. S., Lin C. C., Liu H. S., Mass Transfer in a Rotating Packed Bed with Various Radii of the Bed. Ind. Eng. Chem. Res. 2005, 44, 7868.
[8] Tung H. H., Mah R. S. H., Modeling Liquid Mass Transfer in Higee Separation Process. Chem. Eng. Commun. 1985, 39, 147.3.
[9] Onda K., Takeuchi H., Okumoto Y., Mass Transfer Coefficient between Gas and Liquid Phases in Packed Columns. J. Chem. Eng. Jpn. 1968, 1, 56.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης