

Προς:

Την υπεύθυνη του Εργαστηρίου Βιοχημικών Διεργασιών & Περιβαλλοντικής
Βιοτεχνολογίας του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης
κ. Παντίδου Αριάδνη

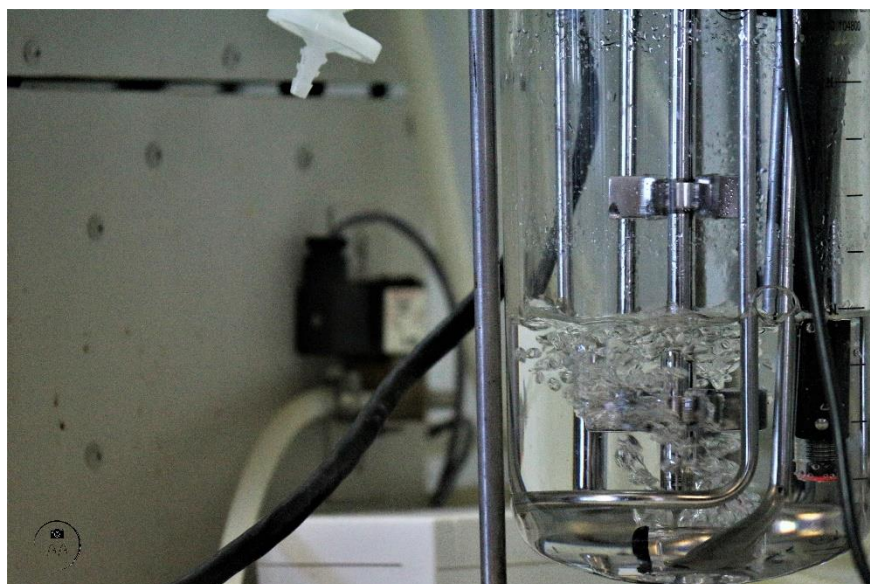
Σας παραδίδω την τεχνική έκθεση που αντιστοιχεί στην τρίτη εργαστηριακή
άσκηση του μαθήματος 'Τεχνική Χημικών & Βιοχημικών Διεργασιών' με θέμα
«Υπολογισμός του ρυθμού οξυγόνωσης σε βιοαντιδραστήρα χωρίς
μικροοργανισμούς», η οποία διεξήχθη Πέμπτη 19/11/2020 στο προπτυχιακό
εργαστήριο του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης
(κτίριο K1 – ΜΗΠΕΡ).

Με εκτίμηση, η υπεύθυνος της εργαστηριακής
άσκησης και συγγραφέας της τεχνικής έκθεσης
Θεοχάρη Κυριακή



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Υπολογισμός του ρυθμού οξυγόνωσης σε βιοαντιδραστήρα χωρίς μικροοργανισμούς



Εργαστήριο: Βιοχημικών Διεργασιών και Περιβαλλοντικής Βιοτεχνολογίας	
Ομάδα:	18
Συντελεστής της τεχνικής έκθεσης & AM:	Κυριακή Θεοχάρη 2018050043
Ονοματεπώνυμο & AM Μελών Ομάδας :	Παντής Άγγελος 2018050055 Σιγαλός Δημήτριος 2018050024 Σελιμάς Χρήστος 2018050083
Είδος Αναφοράς :	Ατομική
Ημερομηνία Εκτέλεσης :	17/11/2020
Ημερομηνία Παράδοσης:	03/12/2020

Περίληψη

Σε αυτό το πείραμα έγινε ο καθορισμός του ρυθμού οξυγόνωσης με την χρήση ενός βιοαντιδραστήρα με συνεχή ανάδευση χωρίς την παρουσία μικροοργανισμών. Για την διεξαγωγή της άσκησης έγινε χρήση της μεθόδου του δυναμικού αερισμού μέσω της οποίας προκύπτει ο συντελεστής μεταφοράς μάζας (k_{La}) από την αέρια στην υγρή φάση.

Το πείραμα έγινε 6 φορές και για κάθε φορά άλλαζε μια από τις 3 παραμέτρους (ο όγκος, η ογκομετρική παροχή του αέρα και ο ρυθμός περιστροφής του αναδευτήρα). Όταν λήφθηκαν οι πειραματικές τιμές για το διαλυμένο οξυγόνο (DO%) κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα $\ln(100-DO)$ ως προς το t για κάθε περίπτωση. Ακόλουθος από τις κλίσεις των ευθειών υπολογίστηκαν οι πειραματικές συντελεστές μεταφοράς μάζας (k_{La}) όπου συγκρίθηκαν ως προς την συμπεριφορά τους με τις ήδη υπάρχουσες τιμές. Μεγάλη εντύπωση παρουσίασαν οι περιπτώσεις 4 και 6 που είχαν τεράστια απόκλιση οι πειραματικές από τις θεωρητικές τιμές του συντελεστή μεταφοράς μάζας. Επίσης σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα του k_{La} ως προς την ογκομετρική παροχή του αέρα (Fair) και k_{La} ως προς τον ρυθμό περιστροφής του αναδευτήρα (N) όπου και αποδείχθηκε ότι ο συντελεστής μεταφοράς μάζας εξαρτάται από της 3 παραμέτρους.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Πίνακας Συμβόλων.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	5
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΑΝΑΛΥΣΗ	9
Υπολογισμός της τιμής του k_{La} για κάθε περίπτωση:	9
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	18
Βιβλιογραφία	19
Παράρτημα 1° : Πειραματικές μετρήσεις.....	19
Παράρτημα 2° : Ανάλυση Δεδομένων.....	20
Παράρτημα 3°: Προγράμματα Η/Υ	21

Πίνακας Συμβόλων

Σύμβολο	Ορισμός
k_{La}	Συντελεστής μεταφοράς μάζας από την αέρια στην υγρή φάση
P_g	Ισχύς που μεταφέρεται από τον αναδευτήρα στην υγρή φάση για αεριζόμενο βιοαντιδραστήρια
V_R	Όγκος του βιοαντιδραστήρα (της υγρής φάσης)
u_s	Φαινομενική ταχύτητα του αέρα
F_{air}	Ογκομετρική παροχή του αέρα
A_R	Εμβαδόν διατομής του βιοαντιδραστήρα
N	Ρυθμός περιστροφής του αναδευτήρα (rpm)
P_u	Η απαιτούμενη ισχύς σε μη αεριζόμενο αντιδραστήρα
D_i	Η διάμετρος του αναδευτήρα
C^*	Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στην υγρή φάση σε ισορροπία με την αέρια φάση
C_L	Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου την χρονική στιγμή t
C_{L0}	Η τιμή του C_L την χρονική στιγμή t_0
DO	Διαλυμένο οξυγόνο
T	Θερμοκρασία σε $^{\circ}C$

ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το πείραμα έγινε ο καθορισμός του ρυθμού οξυγόνωσης με την χρήση ενός βιοαντιδραστήρα με συνεχή ανάδευση χωρίς την παρουσία μικροοργανισμών. Ο σκοπός της εργαστηριακής άσκησης ήταν

α) ο υπολογισμός του πειραματικού συντελεστή μεταφοράς μάζας ($k_L a$) από την αέρια στην υγρή φάση και να γίνει σύγκριση με τις υπάρχουσες συσχετίσεις

β) η εξοικείωση στην απλή βαθμονόμηση ενός μετρητή διαλυμένου οξυγόνου

ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ: Είναι ένα δοχείο όπου πραγματοποιούνται διάφοροι τύποι βιοχημικών αντιδράσεων με την παρουσία μικροοργανισμών και χρησιμοποιείται στην βιομηχανία για την παραγωγή φαρμάκων, αντισωμάτων και εμβολίων, στην επεξεργασία αποβλήτων και σε άλλες περιβαλλοντικές διεργασίες.

Υπάρχουν πάρα πολύ βιοαντιδραστήρες διάφορων τύπων:

1. Ομοιογενής Βιοαντιδραστήρας
2. Βιοαντιδραστήρας Ακινητοποιημένων Ενζύμων/Κυττάρων
3. Βιοαντιδραστήρα Πλήρους Αναμίξεως
4. Βιοαντιδραστήρα Στήλης
5. Βιοαντιδραστήρα Διαλείποντος Έργου Ή Ασυνεχούς Λειτουργία
6. Τον Βιοαντιδραστήρα Συνεχούς Λειτουργίας
7. Τον Ανοιχτό Βιοαντιδραστήρα
8. Τον Κλειστό Βιοαντιδραστήρα

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Οξυγόνωση βιοαντιδραστήρων : Η οξυγόνωση βιοαντιδραστήρα γίνεται συνήθως με συνεχή παροχή αέρα που περνά μέσα από την υγρή φάση υπό μορφή φυσαλίδων.

Η μέθοδος του δυναμικού αερισμού (gassing-in method): Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο βιοαντιδραστήρας είναι γεμάτος με νερό χωρίς να υπάρχουν ζωντανά κύτταρα στο διάλυμα. Για αυτό τον λόγο, πολύ συχνά ερευνητές χρησιμοποιούν σωματίδια από αδρανή υλικά που έχουν παρόμοιες ιδιότητες με τα ζωντανά κύτταρα. Ξεκινώντας από μία χαμηλή τιμή του διαλυμένου οξυγόνου, αρχίζει η παροχή αέρος και έχουμε σταδιακή αύξηση του διαλυμένου οξυγόνου το οποίο μπορούμε να μετράμε πολύ εύκολα.

Ο συντελεστή μεταφοράς μάζας μπορεί να συσχετιστεί σε τροφοδοτούμενους με αέρα βιοαντιδραστήρες με την παρακάτω σχέση:

$$k_L a \sim \left(\frac{P_g}{V_R} \right)^{0,4} (u_s)^{0,5} (N)^{0,5} \quad (1)$$

Όπου:

 P_g = η ισχύς που μεταφέρεται από τον αναδευτήρα στην υγρή φάση για αεριζόμενο

βιοαντιδραστήρα

 V_R = ο όγκος του βιοαντιδραστήρα

 N = ο ρυθμός περιστροφής του αναδευτήρα (rpm)

 u_s = η φαινομενική ταχύτητα (superficial velocity) του αέρα που μπορεί να γραφτεί και ως:

$$\frac{F_{air}}{A_R}$$

όπου

F_{air} είναι η ογκομετρική παροχή του αέρα

A_R το εμβαδόν της διατομής του βιοαντιδραστήρα

Αεριζόμενος βιοαντιδραστήρα

$$P_g \sim \left(\frac{P_u^2 * N * D_t^3}{F_{air}^{0,56}} \right)^{0,45} \quad (2)$$

Η μέθοδος του δυναμικού αερισμού : Στηρίζεται σε μετρήσεις του διαλυμένου οξυγόνου (DO) ως προς τον χρόνο κατά την οξυγόνωση του βιοαντιδραστήρα.

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στην υγρή φάση αυξάνει με βάση στην ακόλουθη σχέση :

$$\frac{dC_L}{dt} = k_L a (C^* - C_L) \quad (3)$$

Αν λυθεί η διαφορικής εξίσωσης (3) προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$\ln \left(\frac{C^* - C_L}{C^* - C_{L0}} \right) = -k_L a (t - t_0) \quad (4)$$

Άρα η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να υπολογιστεί ως

$$C_L = C^* * \left(\frac{DO}{100}\right) \quad (5)$$

(5)

$$(4) \Leftrightarrow \ln\left(\frac{100-DO}{100-DO_0}\right) = -k_L a(t - t_0) \quad (6)$$

Η εξίσωση 6 είναι της μορφής $y=-ax$ επομένως η πειραματική τιμή του $k_L a$ μπορεί να υπολογιστεί από την κλίση της ευθείας γραμμής στο διάγραμμα του

$\ln(100 - DO)$ ως προς τον χρόνο

Βαθμονόμηση του μετρητή DO: Αρχικά πρέπει να γίνει η απομακρύνουμε όλο το οξυγόνο που είναι διαλυμένο στην υγρή φάση (ο μετρητής DO πρέπει να δείχνει 0 %). Για την απομάκρυνση χρησιμοποιείται το άζωτο με συνεχή ανάδευση του διαλύματος που βρίσκεται στο δοχείο του βιοαντιδραστήρα. Όταν ο μετρητής γίνει 0% τότε χρησιμοποιώντας αέρα και συνεχή ανάδευση στο βιοαντιδραστήρα ανοίγει η ροή για το οξυγόνο που είναι διαλυμένο στην υγρή φάση. Η ροή του οξυγόνου παραμένει ανοιχτή μέχρι ο μετρητής του DO π να δείξει 100 % δηλαδή να φτάσει σε συνθήκες. Όταν ο μετρητής DO δείχνει 100% γνωρίζουμε ότι αντιστοιχεί σε τόσα mg/L όσα υπολογίζονται από την σχέση διαλυτότητας του οξυγόνου για την θερμοκρασία του πειράματος.

Στο εργαστήριο ο αισθητήρας του διαλυμένου οξυγόνου δίνει την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ως ποσοστό. Δηλαδή, για ένα τέλεια βαθμονομημένο όργανο, ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$DO = \left(\frac{C_L}{C^*}\right) * 100\%$$

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Πειραματική Διάταξη



Εικόνα 1

1. Ελέγχει την ροή του οξυγόνου
2. Ηλεκτρόδιο του διαλυμένου οξυγόνου
3. Πολύμετρο
4. Λάστιχο όπου ρέει το οξυγόνο
5. Δοχείο με αναδευτήρα

Βαθμονόμηση του μετρητή DO για πρώτη περίπτωση:

Για την διεξαγωγή της πρώτης περίπτωσης ($V_R=1\text{lt}$, $N=500\text{rpm}$ και $F_{\text{air}}=1\frac{\text{L}}{\text{min}}$) του πειράματος προσθετικέ στο δοχείο του βιοαντιδραστήρα 1 λίτρο νερό όπου με συνεχή παροχή αζώτου μέσα στο δοχείο άρχισε η απομάκρυνση του διαλυμένου οξυγόνου που βρισκόταν στην υγρή φάση. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα παρατηρήθηκε με την βοήθεια του βαθμονομημένο αισθητήρα ότι η τιμή του DO πλησίασε το μηδέν και έγινε παύση της ροής του αζώτου.

Αφού το διάλυμα απέκτησε μια τιμή DO περίπου 0% με την χρήση αέρα και συνεχή ανάδευση στο βιοαντιδραστήρα ξεκίνησε να προστίθεται στο δοχείο του βιοαντιδραστήρα οξυγόνο που είναι διαλυμένο στην υγρή φάση μέχρι το διάλυμα να φτάσει την τιμή του DO περίπου 100%(συνθήκες κορεσμού).



Εικόνα2: Για όγκο1L

Ταυτόχρονα με την είσοδο του διαλυμένου οξυγόνου καταγράφονται οι μετρήσεις του DO ανά 30 δευτερόλεπτα που παρουσιάζονται στον πίνακα 1 (παράρτημα 1).

Αυτή η διαδικασία γίνεται ακόμα 5 φορές αλλά κάθε φορά **αλλάζει μια από τις 3 συνθήκες** (N , V_R , F_{air}). Για την περίπτωση 2 ήταν $N=500$ rpm και $V_R=1$ L, $F_{air}=2 \frac{L}{min}$. Για την περίπτωση 3 $N=500$ rpm, $V_R=1$ L, $F_{air}=3 \frac{L}{min}$. Για την περίπτωση 4 $F_{air}=2,0 \frac{L}{min}$, $V_R=1$ mL, $N=600$ rpm. Για την περίπτωση 5 $F_{air}=2 \frac{L}{min}$, $V_R=2$ L, $N=500$. Για την περίπτωση 6 $F_{air}=2 \frac{L}{min}$, $V_R=2$ L, $N=600$.



Εικόνα 3: Για όγκο 2L

Τέλος όταν γίνουν και οι 6 περιπτώσεις με την χρήση του υπολογιστικού φύλλου EXCEL γίνονται τα σχετικά γραφήματα και από την κλίση της ευθείας που περνά από τα πειραματικά δεδομένα βρέθηκαν οι τιμές των πειραματικών k_{La} που παρουσιάζονται στο θέμα Αποτελέσματα-Ανάλυση.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΑΝΑΛΥΣΗ

Υπολογισμός της τιμής του k_{La} για κάθε περίπτωση:

Για τον υπολογισμό του k_{La} όπως αναφέρεται στο θεωρητικό υπόβαθρο υπολογίζεται από την κλίση της ευθείας του διάγραμμα του $\ln(100 - DO)$ ως προς τον χρόνο.

Ακολουθούν τα διαγράμματα για κάθε περίπτωση κατά τις οποίες βρέθηκε η κλίση τους. Για την δημιουργία των διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας 4 που βρίσκεται στο παράρτημα 2.

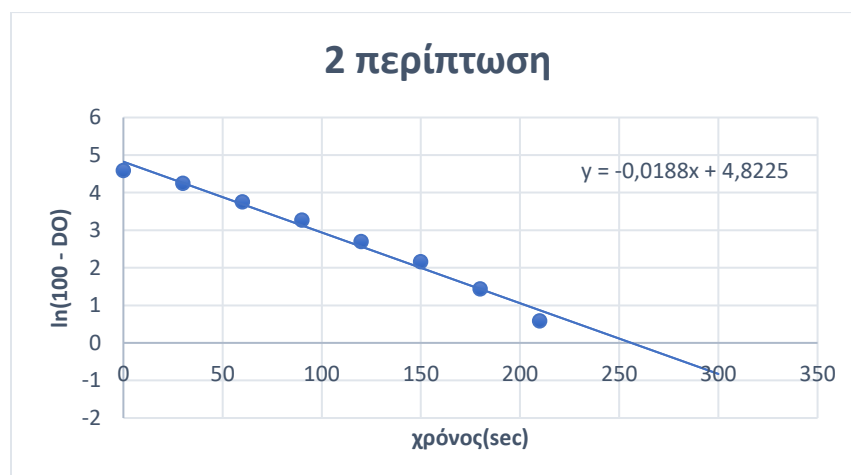
Περίπτωση 1 : $V=1$ L, $N=500$ (rpm), $F_{air}=1(\frac{L}{min})$



Από το διάγραμμα με την χρήση του excel υπολογίζεται η ευθεία : $y = -0,0119x + 4,7743$.Απο την εξίσωση της ευθείας βρέθηκε η κλίση ότι είναι -0,0119.

Άρα το $k_L a = 0,0119$

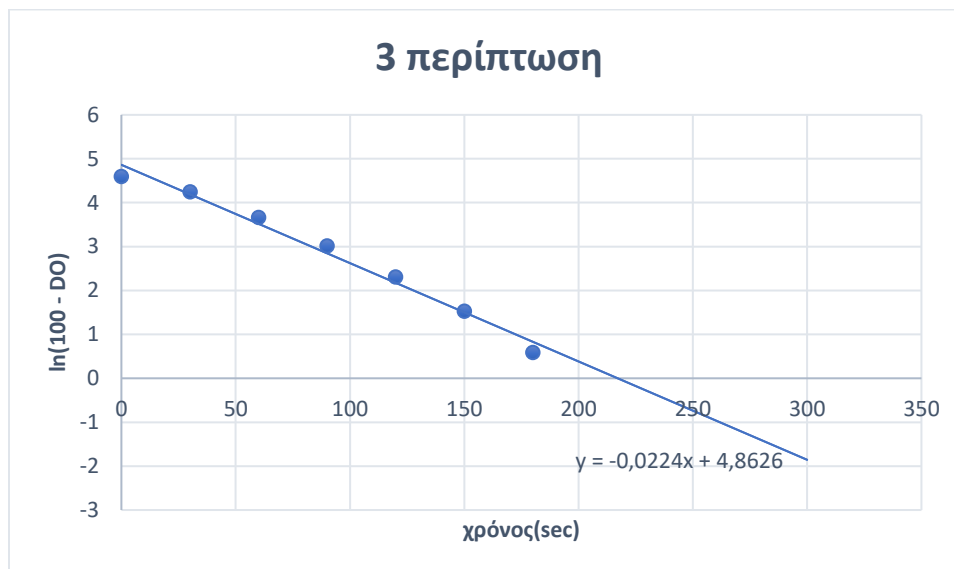
Περίπτωση 2: $V=1L$, $N=500(\text{rpm})$, $F_{\text{air}}=2(\frac{L}{\text{min}})$



Από το διάγραμμα με την χρήση του excel υπολογίζεται η ευθεία : $y = -0,0188x + 4,8225$.Απο την εξίσωση της ευθείας βρέθηκε η κλίση ότι είναι -0,0188.

Άρα το $k_L a = 0,0188$

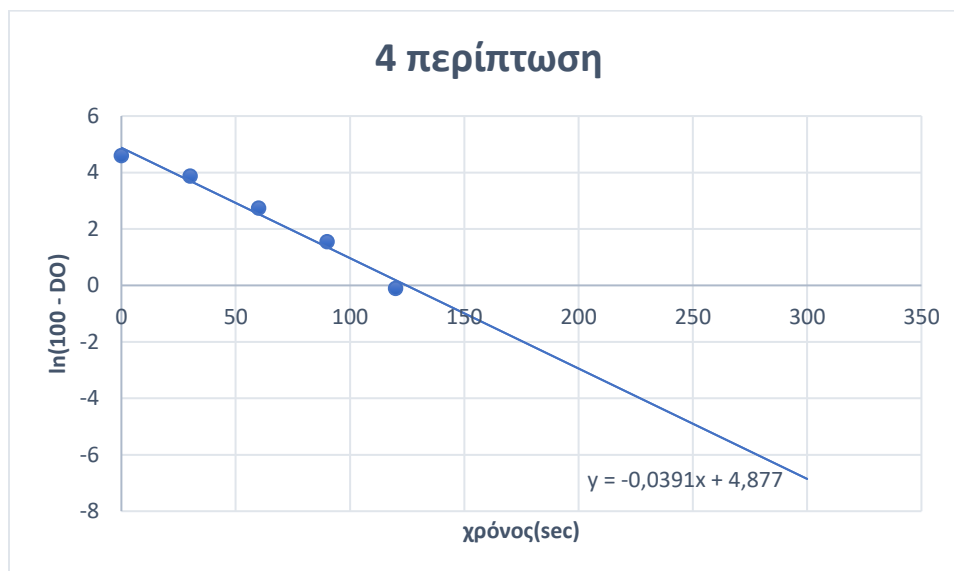
Περίπτωση 3: $V=1L$, $N=500(\text{rpm})$, $F_{\text{air}}=3(\frac{L}{\text{min}})$



Από το διάγραμμα με την χρήση του excel υπολογίζεται η ευθεία : $y = -0,0224x + 4,8626$. Απο την εξίσωση της ευθείας βρέθηκε η κλίση ότι είναι $-0,0224$.

Άρα το $k_L a = 0,0224$

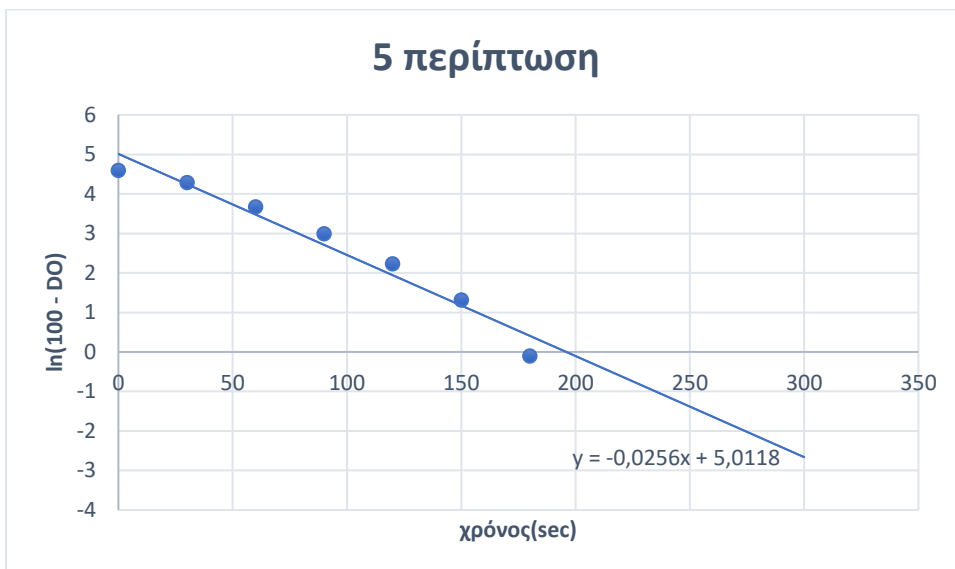
Περίπτωση 4: $V=1L$, $N=600(\text{rpm})$, $F_{\text{air}}=2(\frac{L}{\text{min}})$



Από το διάγραμμα με την χρήση του excel υπολογίζεται η ευθεία : $y = -0,0391x + 4,877$. Απο την εξίσωση της ευθείας βρέθηκε η κλίση ότι είναι $-0,0391$.

Άρα το $k_L a = 0,0391$

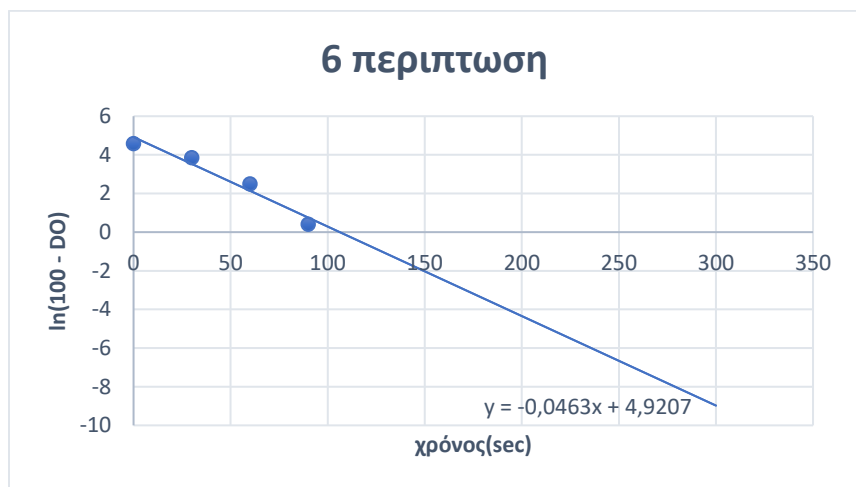
Περίπτωση 5: $V=2L$, $N=500(\text{rpm})$, $F_{\text{air}}=2\left(\frac{L}{\text{min}}\right)$



Από το διάγραμμα με την χρήση του excel υπολογίζεται η ευθεία : $y = -0,0256x + 5,0118$. Απο την εξίσωση της ευθείας βρέθηκε η κλίση ότι είναι $-0,0256$.

Άρα το $k_L a = 0,0256$

Περίπτωση 6: $V=2L$, $N=600(\text{rpm})$, $F_{\text{air}}=2\left(\frac{L}{\text{min}}\right)$



Από το διάγραμμα με την χρήση του excel υπολογίζεται η ευθεία : $y = -0,0463x + 4,9207$. Απο την εξίσωση της ευθείας βρέθηκε η κλίση ότι είναι $-0,0463$.

Άρα το $k_L a = 0,0463$

Σχεδίαση διαγραμμάτων για (K_{La} vs F_{air}) και (K_{La} vs N)**Κατασκευή για το διάγραμμα k_{La} ως προς F_{air}**

Με την βοήθεια του παρακάτω πίνακα βρέθηκαν οι περιπτώσεις όπου οι συνθήκες του όγκου (V) καθώς και του ρυθμού περιστροφής του αναδευτήρα (N) παραμένουν σταθερές ενώ παροχή (F_{air}) μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του πειράματος.

Περιπτώσεις	$V(L)$	$N(rpm)$	$F_{air}(\frac{L}{min})$
1	1	500	1
2	1	500	2
3	1	500	3
4	1	600	2
5	2	500	2
6	2	600	2

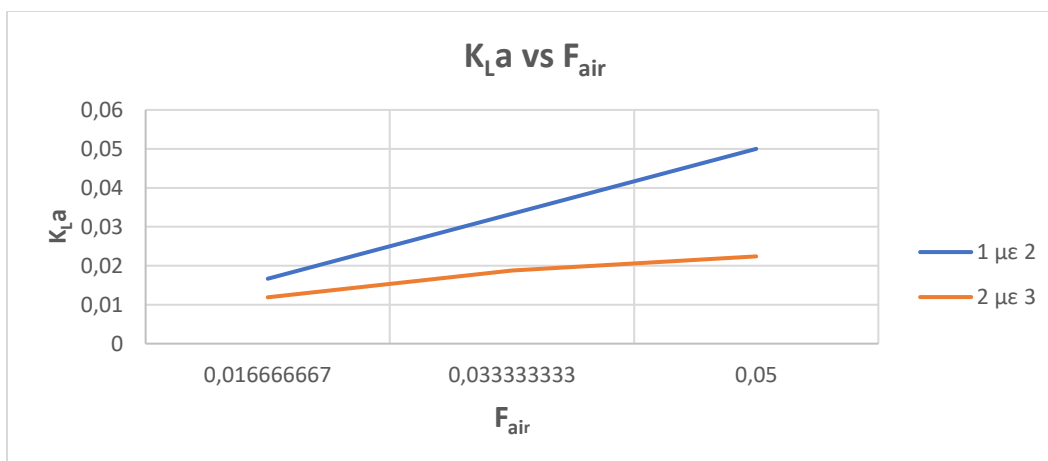
Οι περιπτώσεις είναι οι εξής :

α) περίπτωση 1 και 2,

β) περίπτωση 2 και 3

Πριν την δημιουργία του διαγράμματος πρέπει να αλλάξουν οι μονάδες μέτρησης του F_{air}

Περιπτώσεις	$V(L)$	$N(rpm)$	$F_{air}(\frac{L}{sec})$	kLa
1	1	500	0,02	0,0119
2	1	500	0,03	0,0188
3	1	500	0,05	0,0224
4	1	600	0,03	0,0391
5	2	500	0,03	0,0256
6	2	600	0,03	0,0463



Από το παραπάνω γράφημα παρατηρείται ότι και για τις δύο περιπτώσεις όσο αυξάνεται η παροχή τόσο αυξάνεται και η τιμή του K_{La} (ανάλογα). Άρα μπορεί να διεξαχθεί το συμπέρασμα ότι η τιμή του K_{La} εξαρτάται από το F_{air}

Διάγραμμα kLa ως προς N

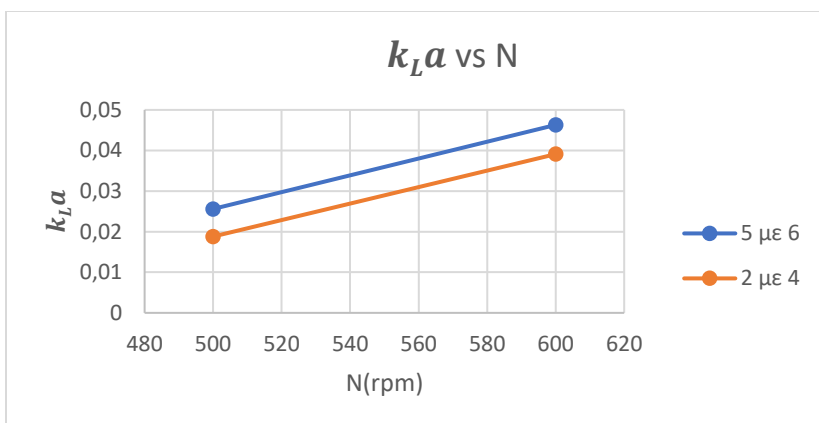
Για να κατασκευαστεί το διάγραμμα kLa ως προς N εξετάστηκαν οι περιπτώσεις στις οποίες ο ρυθμός περιστροφής του αναδευτήρα (N) μεταβάλλεται και οι παράμετροι του όγκου (V) καθώς και της παροχής (F_{air}) παραμένουν σταθεροί κατά την διάρκεια του πειράματος.

Περιπτώσεις	$V(L)$	$N(rpm)$	$F_{air}(\frac{L}{min})$
1	1	500	1
2	1	500	2
3	1	500	3
4	1	600	2
5	2	500	2
6	2	600	2

Αυτές οι περιπτώσεις είναι οι εξής :

α) περίπτωση 2 και 4

β) περίπτωση 5 και 6



Από το παραπάνω γράφημα παρατηρείται ότι για τη και στις δύο περιπτώσεις όσο αυξάνεται η ο ρυθμός περιστροφής του αναδευτήρα τόσο αυξάνεται και η τιμή του $k_L a$ (ανάλογα). Άρα μπορεί να διεξαχθεί το συμπέρασμα ότι η τιμή του $k_L a$ εξαρτάται από το N .

Συσχέτιση πειραματικών και θεωρητικών αποτελεσμάτων

Για περίπτωση 1

Βήμα1: Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{k_L a}{(k_L a)_0}$ για τις θεωρητικές τιμές των $k_L a$

Όπως αναφέρεται και στο θεωρητικό υπόβαθρο η θεωρητική τιμή του $k_L a$ υπολογίζεται από τον τύπο:

$$k_L a \sim (P g V_R)^{0,4} \cdot (u_s)^{0,5} \cdot (N)^{0,5}$$

Επίσης ορίστηκε ότι η τιμή του $(k_L a)_0$ αντιστοιχεί στις συνθήκες αναφοράς της 2^{ης} περίπτωσης ($V=1L$, $N=500\text{rpm}$ και $F_{air}=2\frac{L}{min}$)

$$(k_L a)_0 = (k_L a)_2 = 0,0188$$

Και όπου u_s ορίζεται ως $\frac{F_{air}}{A_R}$

Άρα

$$\begin{aligned} \frac{(k_L a)_1}{(k_L a)_2} &= \frac{\left(\frac{P g}{V_{R1}}\right)^{0,4} (u_s)^{0,5} (N_1)^{0,5}}{\left(\frac{P g}{V_{R2}}\right)^{0,4} (u_s)^{0,5} (N_2)^{0,5}} = \frac{\left(\frac{F_{air1}}{A_R}\right)^{0,5}}{\left(\frac{F_{air2}}{A_R}\right)^{0,5}} \\ \Leftrightarrow \frac{(k_L a)_1}{(k_L a)_2} &= \frac{\left(\frac{F_{air1}}{A_R}\right)^{0,5}}{\left(\frac{F_{air2}}{A_R}\right)^{0,5}} = \left(\frac{F_{air1}}{F_{air2}}\right)^{0,5} = \left(\frac{0,02}{0,03}\right)^{0,5} = 0,82 \end{aligned}$$

Βήμα2: Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{k_L a}{(k_L a)_0}$ για τις πειραματικές τιμές των $k_L a$.

Όπως και στο βήμα 1 θεωρούμε ότι η τιμή του $(k_L a)_0$ αντιστοιχεί στις συνθήκες αναφοράς της 2^{ης} περίπτωσης ($VR=1$, $N=500\text{rpm}$ και $F_{air}=2\frac{L}{min}$)

$$(k_L a)_0 = (k_L a)_2 = 0,0188$$

Άρα

$$\frac{(k_L a)_1}{(k_L a)_2} = \frac{0,0119}{0,0188} = 0,63$$

Βήμα 3: Υπολογίζεται η απόκλιση

$$\text{Απόκλιση} = \frac{|(k_L a)_\theta - (k_L a)_\pi|}{(k_L a)_\theta} * 100\% = \frac{|0,82 - 0,63|}{0,82} * 100\% = 23,17\%$$

Περίπτωση 2 :

Βήμα1: Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{k_L a}{(k_L a)_0}$ για τις θεωρητικές τιμές των $k_L a$

$$\frac{(k_L a)_2}{(k_L a)_2} = \frac{\left(\frac{P_g}{VR_2}\right)^{0,4} (u_S)^{0,5} (N_2)^{0,5} \left(\frac{F_{air2}}{AR}\right)^{0,5}}{\left(\frac{P_g}{VR_3}\right)^{0,4} (u_S)^{0,5} (N_3)^{0,5} \left(\frac{F_{air3}}{AR}\right)^{0,5}} = 1$$

$$\Leftrightarrow \frac{(k_L a)_2}{(k_L a)_2} = \left(\frac{0,03}{0,03}\right)^{0,5} = 1$$

Βήμα2: Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{k_L a}{(k_L a)_0}$ για τις πειραματικές τιμές των $k_L a$.

$$\frac{(k_L a)_2}{(k_L a)_2} = \frac{0,0188}{0,0188} = 1$$

Βήμα 3: Υπολογίζεται η απόκλιση

$$\text{Απόκλιση} = \frac{|(k_L a)_\theta - (k_L a)_\pi|}{(k_L a)_\theta} * 100\% = 0\%$$

Περίπτωση 3 :

Βήμα1: Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{k_L a}{(k_L a)_0}$ για τις θεωρητικές τιμές των $k_L a$

$$\frac{(k_L a)_3}{(k_L a)_2} = \frac{\left(\frac{P_g}{VR_3}\right)^{0,4} (u_S)^{0,5} (N_3)^{0,5} \left(\frac{F_{air3}}{AR}\right)^{0,5}}{\left(\frac{P_g}{VR_2}\right)^{0,4} (u_S)^{0,5} (N_2)^{0,5} \left(\frac{F_{air3}}{AR}\right)^{0,5}} = 1,29$$

$$\Leftrightarrow \frac{(k_L a)_3}{(k_L a)_3} = \left(\frac{0,05}{0,03}\right)^{0,5} = 1,29$$

Βήμα2: Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{k_L a}{(k_L a)_0}$ για τις πειραματικές τιμές των $k_L a$.

$$\frac{(k_L a)_3}{(k_L a)_2} = \frac{0,0224}{0,0188} = 1,19$$

Βήμα 3: Υπολογίζεται η απόκλιση

$$\text{Απόκλιση} = \frac{|(k_L a)_\theta - (k_L a)_\pi|}{(k_L a)_\theta} * 100\% = \frac{|1,29 - 1,19|}{1,29} * 100\% = 7,75\%$$

Περίπτωση 4:

Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{k_L a}{(k_L a)_0}$ για τις θεωρητικές τιμές των $k_L a$

$$\frac{(k_L a)_4}{(k_L a)_2} = \frac{\left(\frac{P_g}{V_{R4}}\right)^{0,4} (u_S)^{0,5} (N_4)^{0,5}}{\left(\frac{P_g}{V_{R2}}\right)^{0,4} (u_S)^{0,5} (N_2)^{0,5}} = \frac{\left(\frac{F_{air4}}{A_R}\right)^{0,5} * (N_4)^{0,5}}{\left(\frac{F_{air3}}{A_R}\right)^{0,5} * (N_3)^{0,5}}$$

$$\Leftrightarrow \frac{(k_L a)_4}{(k_L a)_2} = \left(\frac{600}{500}\right)^{0,5} = 1,2$$

Βήμα2: Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{k_L a}{(k_L a)_0}$ για τις πειραματικές τιμές των $k_L a$.

$$\frac{(k_L a)_4}{(k_L a)_2} = \frac{0,0391}{0,0188} = 2,08$$

Βήμα 3: Υπολογίζεται η απόκλιση

$$\text{Απόκλιση} = \frac{|(k_L a)_\theta - (k_L a)_\pi|}{(k_L a)_\theta} * 100\% = \frac{|1,2 - 2,08|}{1,2} * 100\% = 73\%$$

Περίπτωση 5:

Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{k_L a}{(k_L a)_0}$ για τις θεωρητικές τιμές των $k_L a$

$$\frac{(k_L a)_5}{(k_L a)_2} = \frac{\left(\frac{P_g}{V_{R5}}\right)^{0,4} (u_S)^{0,5} (N_5)^{0,5}}{\left(\frac{P_g}{V_{R2}}\right)^{0,4} (u_S)^{0,5} (N_2)^{0,5}} = \frac{\left(\frac{P_g}{V_{R5}}\right)^{0,4} * \left(\frac{F_{air5}}{A_R}\right)^{0,5}}{\left(\frac{P_g}{V_{R5}}\right)^{0,4} * \left(\frac{F_{air3}}{A_R}\right)^{0,5}}$$

$$\Leftrightarrow \frac{(k_L a)_5}{(k_L a)_3} = \left(\frac{2}{1}\right)^{0,4} = 1,32$$

Βήμα2: Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{k_L a}{(k_L a)_0}$ για τις πειραματικές τιμές των $k_L a$.

$$\frac{(k_L a)_5}{(k_L a)_2} = \frac{0,0256}{0,0188} = 1,36$$

Βήμα 3: Υπολογίζεται η απόκλιση

$$\text{Απόκλιση} = \frac{|(k_L a)_\theta - (k_L a)_\pi|}{(k_L a)_\theta} * 100\% = \frac{|1,32 - 1,36|}{1,32} * 100\% = 3,03\%$$

Για περίπτωση 6

Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{k_L a}{(k_L a)_0}$ για τις θεωρητικές τιμές των $k_L a$

$$\frac{(k_L a)_6}{(k_L a)_2} = \frac{\left(\frac{P_g}{V_{R6}}\right)^{0,4} (u_S)^{0,5} (N_6)^{0,5}}{\left(\frac{P_g}{V_{R3}}\right)^{0,4} (u_S)^{0,5} (N_3)^{0,5}} = \frac{\left(\frac{P_g}{V_{R6}}\right)^{0,4} * \left(\frac{F_{air6}}{A_R}\right)^{0,5} * (N_6)^{0,5}}{\left(\frac{P_g}{V_{R5}}\right)^{0,4} * \left(\frac{F_{air3}}{A_R}\right)^{0,5} * (N_3)^{0,5}}$$

$$\Leftrightarrow \frac{(k_L a)_5}{(k_L a)_2} = \left(\frac{2}{1}\right)^{0,4} * \left(\frac{0,03*600}{0,03*500}\right)^{0,5} = 1,45$$

Βήμα2: Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{k_L a}{(k_L a)_0}$ για τις πειραματικές τιμές των $k_L a$.

$$\frac{(k_L a)_6}{(k_L a)_2} = \frac{0,0463}{0,0188} = 2,46$$

Βήμα 3: Υπολογίζεται η απόκλιση

$$\text{Απόκλιση} = \frac{|(k_L a)_\theta - (k_L a)_\pi|}{(k_L a)_\theta} * 100\% = 69\%$$

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η 3η εργαστηριακή άσκηση είχε ως σκοπό την εξοικείωση με την απλή βαθμονόμηση ενός μετρητή διαλυμένου οξυγόνου (D.O. meter) με στόχο τον πειραματικό υπολογισμό του συντελεστή μεταφοράς μάζας ($k_L a$) από την αέρια φάση στην υγρή με την μέθοδο του δυναμικού αερισμού. Παράλληλα εξετάστηκε κατά πόσο η συμπεριφορά του πειραματικά υπολογιζόμενου ($k_L a$) είναι η αναμενόμενη από υπάρχουσες συσχετίσεις αλλά και ,αν τελικά το $k_L a$ εξαρτάτε από τις 3 παραμέτρους:

- ✚ Η ογκομετρική παροχή του αέρα F_{air}
- ✚ Ο ρυθμός περιστροφής του αναδευτήρα N
- ✚ Ο όγκος του βιοαντιδραστήρα VR

Ο συντελεστής μεταφοράς μάζας εξαρτάται και από τους 3 παραπάνω παραμέτρους και αυτό αποδείχτηκε στο θέμα αποτελέσματα- ανάλυση όπου σχεδιάστηκαν τα δυο διαγράμματα ($K_L a$ vs F_{air}) και ($K_L a$ vs N) όπου παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται η παροχή F_{air} και ο ρυθμός περιστροφής του αναδευτήρα (N), τόσο αυξάνεται και το $K_L a$ (ανάλογα).

Τέλος οι αποκλίσεις των πειραματικών τιμών με τις αντίστοιχες θεωρητικές ήταν αρκετά μικρές για τις περιπτώσεις 1,3,5 με τιμές 23,17%, 7,75%, 3,03% και χωρίς καμία απόκλιση η περίπτωση 2 γιατί οριστική ως $(k_L a)_0$. Σε αντίθεση με τις περιπτώσεις 4 με 6 που είναι πάρα πολύ μεγάλες με τιμές 73% και 69%. Αυτές οι αποκλίσεις πιθανόν να οφείλονται σε σφάλματα που ενδέχεται να έχουν προκύψει τόσο από τον μετρητή που χρησιμοποιήθηκε, όσο και κατά την πραγματοποίηση των μαθηματικών πράξεων.

Βιβλιογραφία

-  Σημείωσης 3^{ης} εργαστηριακής άσκησης
-  Μικροβιακή Τεχνολογία -Βιοντιδραστές ,κ. Δημήτρης Κέκος

Παράρτημα 1° : Πειραματικές μετρήσεις**Πίνακας1: Πειραματικές μετρήσεις για DO%**

ΧΡΟΝΟΣ (sec)	DO%					
	1	2	3	4	5	6
0	3	1,5	1,3	0,5	1,5	1,7
30	19	29,8	30,2	52,1	27,2	53
60	38,5	57,1	61	84,5	60,7	87,8
90	56,8	73,6	79,7	95,3	80,2	98,5
120	69,6	85,1	90	99,1	90,7	
150	78,5	91,3	95,4		96,3	
180	84,8	95,8	98,2		99,1	
210	89,4	98,2				
240	92,8					
270	95,4					
300	97,2					

Πίνακας 2: Πειραματικές συνθήκες

<i>Περίπτωση</i>	<i>V(L)</i>	<i>N(rpm)</i>	<i>F_{air}($\frac{L}{min}$)</i>
1	1	500	1
2	1	500	2
3	1	500	3
4	1	600	2
5	2	500	2
6	2	600	2

Παράρτημα 2° : Ανάλυση Δεδομένων**Πίνακας 3: Αποτελεσμάτων για (100- DO(%))**

ΧΡΟΝΟΣ (sec)	100-DO%					
	1	2	3	4	5	6
0	97	98,5	98,7	99,5	98,5	98,3
30	81	70,2	69,8	47,9	72,8	47
60	61,5	42,9	39	15,5	39,3	12,2
90	43,2	26,4	20,3	4,7	19,8	1,5
120	30,4	14,9	10	0,9	9,3	
150	21,5	8,7	4,6		3,7	
180	15,2	4,2	1,8		0,9	
210	10,6	1,8				
240	7,2					
270	4,6					
300	2,8					

Πίνακας4: Αποτελέσματα για ln(100-DO (%))

ΧΡΟΝΟΣ (sec)	ln(100-DO%)					
	1	2	3	4	5	6
0	4,574711	4,590057	4,592085	4,600158	4,590057	4,588024
30	4,394449	4,251348	4,245634	3,869116	4,287716	3,850148
60	4,119037	3,758872	3,663562	2,74084	3,671225	2,501436
90	3,76584	3,273364	3,010621	1,547563	2,985682	0,405465
120	3,414443	2,701361	2,302585	-0,10536	2,230014	
150	3,068053	2,163323	1,526056		1,308333	
180	2,721295	1,435085	0,587787		-0,10536	
210	2,360854	0,587787				
240	1,974081					

270	1,526056					
300	1,029619					

Πίνακας5: κLa για κάθε περίπτωση

<i>Πείραμα</i>	<i>Συντελεστής κLa</i>
1	0,0119
2	0,0188
3	0,0224
4	0,0391
5	0,0256
6	0,0463

Παράρτημα 3°: Προγράμματα Η/Υ

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκεκριμένη εργαστηριακή άσκηση είναι τα εξής :

-  Microsoft Office Excel 2010
-  Microsoft Office Word 2010
-  Paint