

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΥΓΡΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΜΕ ΣΤΗΛΕΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

8. Pressure Equalizing Valves

7. Instrument-gas Scrubber

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΤΣΑΤΗΡΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ :

Φ. ΜΠΑΤΖΙΑΣ, Δ. ΣΙΔΗΡΑΣ

Alternating Adsorption  
Desorption Towers

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2009

5. Low BTU dehydrated Feed

6. Valves controlling feed into  
towers

PAUSE STEP

GALESDAS



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	4
1.1 Προσρόφηση - Γενικά.....	4
1.2 Κατηγορίες προσρόφησης.....	5
1.3 Πρακτικές εφαρμογές της προσρόφησης.....	9
1.4 Προσροφητικά μέσα βιομηχανικής κλίμακας και χρήσεις τους.....	10
1.5 Εναλλακτικά προσροφητικά μέσα .....	13
1.6 Στήλες προσρόφησης – Κυριότερα μοντέλα.....	14
1.6.1. εξίσωση των Bohart και Adams.....	14
1.6.2. εξίσωση Clark .....	15
1.6.3. μοντέλο «bed depth service time» (BDST model).....	15
1.6.4. εξίσωση Wolborska.....	16
1.6.5. εξίσωση Yoon και Nelson.....	18
1.7 Σύγκριση των πέντε κυριότερων μοντέλων.....	19
1.8 Αρχές της προσρόφησης – Διαγράμματα συγκέντρωσης σε σταθεροποιημένες κλίνες.....	19
1.9 Καμπύλες διάσπασης (breakthrough curves).....	20
1.10 Προσδιορισμός της βέλτιστης συγκέντρωσης χρωστικής σε επεξεργασμένα απόβλητα βαφείου.....	23
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	24
3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	25
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	27
4.1 Συνθήκες Προκατεργασίας Υλικών.....	27
4.2 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Στηλών Προσρόφησης.....	27
4.2.1 Αναλυτικοί πίνακες και διαγράμματα στηλών.....	28
4.2.2 Συγκεντρωτικοί πίνακες και διαγράμματα στηλών.....	259
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	262
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	263
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	270
7.1 Προσδιορισμός συγκέντρωσης διαλύματος με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου.....	270
7.2. Καμπύλη αναφοράς χρωστικής ουσίας Μπλε του Μεθυλενίου.....	273

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί συμβολή στην έρευνα και ανάπτυξη βιομηχανικών προϊόντων που προέρχονται από την επεξεργασία στερεών απορριμμάτων. Όταν τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιούνται σε διεργασίες απομάκρυνσης/εξουδετέρωσης ρύπων, επιτυγχάνεται μία διπλή περιβαλλοντική παρέμβαση και δημιουργούνται εξωτερικές οικονομίες (external economies) που αποτελούν τη βάση ανάπτυξης μιας ενδιαφέρουσας επιστημονικής/τεχνολογικής περιοχής που έχει γίνει γνωστή με το όνομα Βιομηχανική Οικολογία (Industrial Ecology).

Πέραν των Καθηγητών που επέβλεψαν/καθοδήγησαν την ερευνητική προσπάθειά μου και στους οποίους οφείλω τη μύησή μου στις μεθόδους της επιστημονικής διερεύνησης των ιδιοτήτων καινοτόμων υλικών, ευχαριστώ το προσωπικό του Εργαστηρίου Προσομοίωσης Βιομηχανικών Διεργασιών που αφιέρωσε σημαντικό χρόνο στην εκπαίδευσή μου ώστε να είμαι σε θέση να χειρίζομαι τον κατάλληλο εξοπλισμό για την εκτέλεση των απαιτούμενων πειραματικών μετρήσεων.

Η αναγνώριση του έργου στο οποίο συμμετείχα, όπως φαίνεται από την παρακάτω δημοσίευση σε Πρακτικά Διεθνούς Συνεδρίου παγκοσμίου κύρους, μου δίνει την αναγκαία δύναμη να συνεχίσω και να ολοκληρώσω την προσπάθεια σε ανώτερο επίπεδο, με την υποστήριξη των γονιών μου που ήταν συνεχώς αλλά διακριτικά κοντά μου σε μία μακρά πορεία όπου επιστημονικές/επαγγελματικές/προσωπικές εξελίξεις αλληλοεμπλέκονται.

- Dimitris Tsatiris and Dimitris Sidiras. Industrial wastewater treatment in fixed-bed systems, *7<sup>th</sup> International Conference on Computational Methods in Science and Engineering 2009 (ICCMSE 2009)*, Rhodes, Greece, 29 Sept.-4 Oct. 2009.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Προσρόφηση - Γενικά

Η βιομηχανική ανάπτυξη έχει ως συνέπεια τη δημιουργία πολλών περιβαλλοντικών προβλημάτων. Πολλοί βιομηχανικοί κλάδοι, όπως βαφεία, κλωστοϋφαντουργικές μονάδες, βυρσοδεψεία και βιομηχανίες χρωμάτων, χρησιμοποιούν διαφόρων ειδών βαφές με σκοπό να δώσουν χρώμα στο τελικό προϊόν τους. Η παρουσία των βαφών στα απόβλητα των βιομηχανιών αυτών σχετίζεται άμεσα με τη ρύπανση των υδάτινων αποδεκτών και του υδροφόρου ορίζοντα. Η απόθεσή τους σε λίμνες και ποτάμια εμποδίζει τη διάχυση του φωτός στο νερό, επιβραδύνει την διαδικασία της φωτοσύνθεσης, αναστέλλει την ανάπτυξη των βιολογικών οργανισμών, ενώ έχει την τάση να απελευθερώνει μεταλλικά ιόντα τα οποία προσβάλλουν τοξικά τα ψάρια και άλλους οργανισμούς.

Η απομάκρυνση των χρωμάτων από τα λύματα αποτελεί ένα σημαντικότατο πρόβλημα, κυρίως, λόγω της δυσκολίας στην επεξεργασία αυτών των υδάτινων αποβλήτων με συμβατικές μεθόδους. Επιπρόσθετα, οι συγκεκριμένες μέθοδοι είναι αρκετά δαπανηρές και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά στην επεξεργασία λυμάτων βαφείου μεγάλης κλίμακας. Μια μέθοδος, που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία, είναι η διεργασία της **προσρόφησης**.

Ως προσρόφηση ορίζεται το χημικό φαινόμενο κατά το οποίο διάφορες επιφάνειες στερεών σωμάτων συγκρατούν ξένες ουσίες από υγρά. Η επιφάνεια που συγκρατεί τις ουσίες λέγεται προσροφητικό μέσο (absorbent), ενώ η συγκρατούμενη ουσία λέγεται προσροφούμενο υλικό (absorbate). Πολλά στερεά σώματα χρησιμοποιούνται ως προσροφητικά μέσα για την απομάκρυνση διαφόρων προσμίξεων από υγρά. Τα κοινά προσροφητικά μέσα έχουν κατά κανόνα μεγάλη επιφάνεια ανά μονάδα μάζας, ενώ τα πιο γνωστά από αυτά είναι το πυρίτιο (silica gel), η ενεργή αλουμίνα (activated alumina) και ο ενεργός άνθρακας (activated carbon).

Το φαινόμενο της προσρόφησης παρατηρήθηκε αρχικά στις επιφάνειες στερεών ουσιών, οι οποίες είναι πηγές ελκτικών δυνάμεων, γιατί τα άτομά τους συνορεύουν μονόπλευρα με τα ομοειδή άτομα του πλέγματος του στερεού. Κατά αυτό τον τρόπο δημιουργούνται ελεύθερες μονάδες συγγένειας στην επιφάνεια του στερεού, η οποία μπορεί να συγκρατεί ξένα μόρια ή άτομα πολύ ισχυρά. Στη συνέχεια το φαινόμενο της προσρόφησης παρατηρήθηκε και σε επιφάνειες υγρών, οι οποίες όμως συγκρατούν ξένες ουσίες με λιγότερη δύναμη από ότι οι στερεές.

Το φαινόμενο της προσρόφησης συχνά συγχέεται με αυτό της απορρόφησης, οπότε θα ήταν σκόπιμο να διευκρινιστεί η διαφορά μεταξύ των δυο φαινομένων. *Απορρόφηση* λέγεται το φαινόμενο κατά το οποίο τα μόρια της ξένης ουσίας εισέρχονται (διεισδύουν) ανάμεσα στα μόρια του απορροφητικού μέσου. Η *προσρόφηση* αντιθέτως είναι ένα επιφανειακό φαινόμενο, αφού η προσροφούμενη ουσία συσσωρεύεται στην επιφάνεια του προσροφητικού μέσου. Στην πραγματικότητα το φαινόμενο της προσρόφησης δε συμβαίνει αυτούσιο, αλλά πάντα συνοδεύεται και από το φαινόμενο της απορρόφησης σε μικρά επίπεδα.

Σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, η διεργασία της προσρόφησης ακολουθείται από τη διεργασία της εκρόφησης (*desorption*). *Εκρόφηση* είναι ένα φαινόμενο και μια διαδικασία αντίθετη της προσρόφησης, της απορρόφησης ή γενικότερα της ρόφησης. Η διαδικασία της εκρόφησης, συμβαίνει σε ένα σύστημα στο οποίο βρίσκονται σε ισορροπία προσρόφησης η μάζα του ρευστού (δηλαδή αέριου ή υγρού διαλύματος) και η επιφάνεια που προσροφά (το στερεό, ή τα σύνορα των δύο υγρών). Όταν η συγκέντρωση (ή η πίεση) της προσροφούμενης ουσίας που βρίσκεται στη μαζική φάση είναι χαμηλότερη, το αποτέλεσμα είναι η μείωση της ποσότητας της προσροφούμενης ουσίας.

## 1.2 Κατηγορίες προσρόφησης

Η προσρόφηση διακρίνεται σε κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο που προκαλείται. Τα τρία πιο γνωστά είδη προσρόφησης είναι:

- Η φυσική προσρόφηση

Οφείλεται στην επίδραση αδύνατων ελκτικών δυνάμεων ή δυνάμεων Van der Waals. Κατά τη φυσική προσρόφηση τα προσροφούμενα μόρια μπορούν να κινούνται ελεύθερα πάνω στην επιφάνεια προσρόφησης. Η όλη διεργασία είναι αντιστρέψιμη με μείωση της συγκέντρωσης του προσροφημένου υλικού στην επιφάνεια προσρόφησης, δηλαδή μπορούν μόρια που έχουν προσροφηθεί φυσικά να αποκολληθούν από τις επιφάνειες.

- Η χημική προσρόφηση

Κατά τη χημική προσρόφηση έχουμε επίδραση ισχυρότερων δυνάμεων μεταξύ των υλικών που λαμβάνουν μέρος στη διεργασία (*absorbent* και *absorbate*), όπως οι δυνάμεις που οδηγούν σε σχηματισμό χημικών ενώσεων. Έτσι σχηματίζεται στρώμα πάχους ενός μορίου πάνω στην επιφάνεια προσρόφησης χωρίς ελευθερία κίνησης. Μετά την κάλυψη της

επιφάνειας το προσροφητικό μέσο παύει να προσροφά άλλα μόρια. Σε αντίθεση με τη φυσική προσρόφηση, η διεργασία αυτή είναι μη αντιστρέψιμη με μείωση των συγκεντρώσεων.

- Η προσρόφηση ανταλλαγής

Κατά την προσρόφηση ανταλλαγής ιόντων, οι προσροφούμενες ουσίες προσροφούνται από τα προσροφητικά μέσα με την επίδραση ελκτικών ηλεκτροστατικών δυνάμεων. Όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των ιόντων τόσο ισχυρότερη είναι η ελκτική δύναμη.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η διεργασία της προσρόφησης μπορεί να αναλυθεί σε τρία στάδια:

1. Μακροσκοπική μεταφορά: η διαλυμένη ουσία μετακινείται προς τη ζώνη διασύνδεσης επιφάνειας - υγρού λόγω διάχυσης και υδροδυναμικής μεταφοράς.
2. Μικροσκοπική μεταφορά: η διαλυμένη ουσία διεισδύει στο πορώδες υλικό λόγω διάχυσης.
3. προσρόφηση της ουσίας: η προσρόφηση συμβαίνει σε επιφάνειες μικρότερων πόρων.

Όπως αναφέρθηκε, η προσρόφηση παρατηρείται σε στερεά αλλά και σε υγρά σώματα:

#### Προσρόφηση ατμών και αερίων από στερεά:

Η ποσότητα του προσροφημένου αερίου σε ένα στερεό εξαρτάται αφενός μεν από τη φύση, την παρασκευή και την κατεργασία του προσροφητή, αφετέρου δε από τη φύση, τη θερμοκρασία και την πίεση του αερίου. Η προσρόφηση ενός αερίου είναι εξώθερμη διεργασία. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς τα μόρια του αερίου καταλαμβάνουν πιο καθορισμένες θέσεις πάνω στον προσροφητή και επομένως η εντροπία του μειώνεται. Επίσης, η προσρόφηση σε μια ορισμένη θερμοκρασία και πίεση αυξάνεται με την αύξηση του σημείου ζέσεως ή της κρίσιμης θερμοκρασίας του αερίου (η θερμοκρασία δηλαδή πάνω από την οποία δεν είναι εφικτή η υγροποίηση ενός αερίου ανεξαρτήτως της πίεσης που του ασκείται).

### Προσρόφηση ουσιών από υγρά:

Το παραπάνω φαινόμενο δεν είναι τόσο διαδεδομένο (τουλάχιστον στην βιομηχανία) όσο αυτό της προσρόφησης ουσιών από στερεά, αφού όπως έχει προαναφερθεί στην προσρόφηση ουσιών από στερεά αναπτύσσονται σαφέστερα μεγαλύτερες δυνάμεις. Η προσρόφηση από υγρά μίγματα εμφανίζεται μόνο όταν υπάρχει μια διαφορά μεταξύ της σχετικής σύνθεσης του υγρού στην επιφάνεια αλληλεπίδρασης και αυτής στη γειτονική μαζική φάση (bulk phase). Στα υγρά, η συσσώρευση ενός ή περισσοτέρων συντελεστών συνοδεύεται από απομάκρυνση άλλων συντελεστών στην επιφάνεια αλληλεπίδρασης.

### Προσρόφηση υγρών μιγμάτων από στερεά:

Όταν ένα διάλυμα έρχεται σε επαφή με ένα στερεό προσροφητικό μέσο, μόρια της προσροφούμενης ουσίας μεταφέρονται από το υγρό στο στερεό, μέχρι η συγκέντρωση της προσροφούμενης ουσίας στο διάλυμα να έρθει σε ισορροπία με την προσροφούμενη ουσία στο στερεό. Η στοιχειώδης ισορροπία, σε μια δοσμένη θερμοκρασία, συνήθως αντιπροσωπεύεται από μια ισόθερμη προσρόφησης. Δηλαδή, οι ισόθερμες προσρόφησης αποτελούν μαθηματικές εκφράσεις της προσροφούμενης ουσίας ανά μονάδα μάζας προσροφητικού υλικού συναρτήσει της συγκέντρωσης του ίδιου συστατικού στο αρχικό προς επεξεργασία διάλυμα, σε συνθήκες ισορροπίας και σε σταθερή θερμοκρασία. Επειδή δεν έχει βρεθεί μέχρι τώρα μια εξίσωση για την περιγραφή όλων των μηχανισμών και των σχημάτων της ισόθερμης προσρόφησης, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα περιγραφής του φαινομένου τα οποία αναφορικά είναι τα εξής:

- Η ισόθερμη του Langmuir για την προσρόφηση μίας ουσίας από υγρό διάλυμα. Η ισόθερμη αυτή αφορά προσρόφηση επιφανειών πλήρως ομογενοποιημένων με αμελητέα αλληλεπίδραση μεταξύ των μορίων των σωμάτων που συμμετέχουν στη διαδικασία.

Η ισόθερμη του Langmuir βασίζεται στο ακόλουθο μοντέλο προσρόφησης που χαρακτηρίζεται ως «pseudo-monolayer», δηλαδή στρώμα πάχους όσο ένα κύτταρο:

$$\frac{1}{q} = \left( \frac{1}{q_m} \right) + \left( \frac{1}{K_L q_m} \right) \cdot \left( \frac{1}{C_e} \right)$$

Όπου:

$K_L$  είναι συντελεστής της ισόθερμης Langmuir που σχετίζεται με την ενέργεια της προσρόφησης (L/mg) και

$q_m$  είναι συντελεστής της ισόθερμης Langmuir που σχετίζεται με την ποσότητα της βαφής που προσροφήθηκε (mg/g) όταν ολοκληρώθηκε επιτυχώς ο χρωματικός διαποτισμός.

- Η εξίσωση των Brunauer-Emmett-Teller (BET) που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαστρωματική προσρόφηση. Τα αέρια μόρια που προσκολλώνται στην επιφάνεια του στερεού (adsorbent) έχουν την τάση να δημιουργούν μια λεπτή γραμμή που καλύπτει ολόκληρη την επιφάνεια του προσροφητή. Σύμφωνα με τη θεωρία BET, κάποιος μπορεί να υπολογίσει τον αριθμό των μορίων που απαιτούνται για να καλυφθεί η επιφάνεια του προσροφητή με ένα στρώμα πάχους ενός κυττάρου από μόρια της προσροφούμενης ουσίας. Ο πολλαπλασιασμός αυτής της εκτίμησης με τη διαστρωματική περιοχή ενός μορίου προσροφούμενης ουσίας δίνει την περιοχή επιφάνειας του δείγματος.

- Η εμπειρική εξίσωση του Freundlich για τα αραιά διαλύματα με μικρές συγκεντρώσεις. Συνήθως περιγράφει την προσρόφηση ξένων σωμάτων σε υγρό διάλυμα από ενεργό άνθρακα και σε αντίθεση με αυτή του Langmuir ισχύει για ομογενοποιημένες επιφάνειες στις οποίες υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των μορίων που προσροφούνται.

Για αραιά διαλύματα η ισόθερμη προσρόφησης του Freundlich μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$q = K_F \cdot (C_e)^{\frac{1}{n}}$$

Όπου:

$q$  είναι η ποσότητα της προσροφούμενης ουσίας ανά μονάδα μάζας του προσροφητικού υλικού (mg/g)

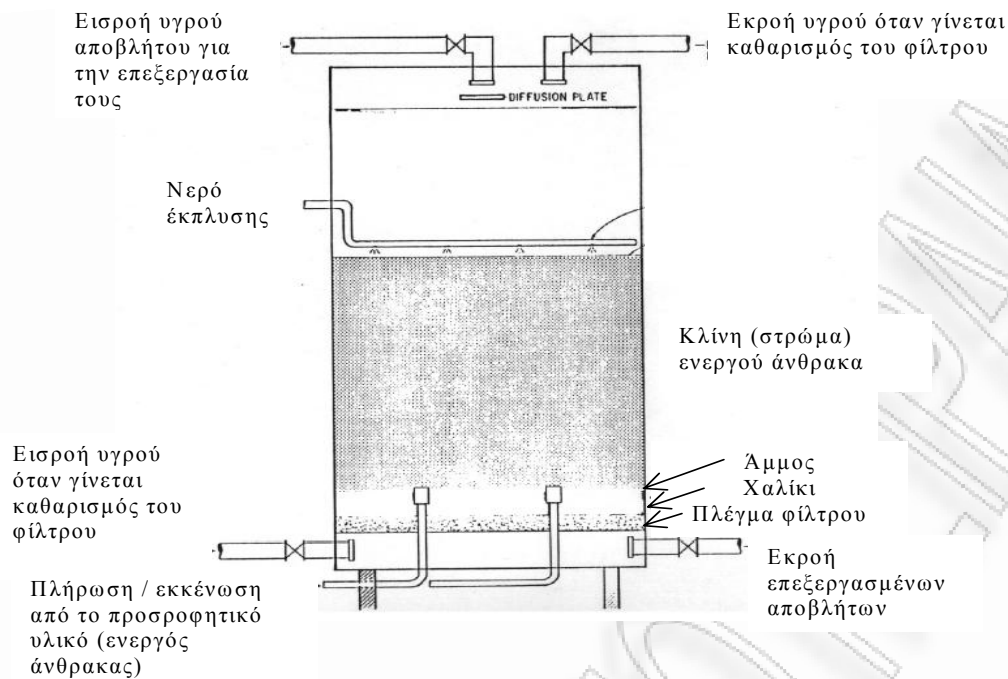
$C_e$  είναι η συγκέντρωση ισορροπίας της προσροφούμενης ουσίας στο διάλυμα (mg/L) για χρόνο  $t \rightarrow \infty$

$1/n$  είναι η κλίση της ισόθερμης Freundlich και αποτελεί ένδειξη της ενέργειας προσρόφησης (αδιάστατη παράμετρος)

$K_F$  είναι ο συντελεστής της ισόθερμης Freundlich που σχετίζεται με τη χωρητικότητα της προσρόφησης, δηλαδή αποτελεί ένδειξη της μέγιστης ποσότητας που δύναται να προσροφηθεί ( $L \text{ mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ )

Η παραπάνω εξίσωση αναφέρεται σε συνθήκες ισορροπίας και για σταθερή θερμοκρασία.





**Λειτουργία στήλης προσρόφησης με πληρωτικό υλικό ενεργό άνθρακα, με ένδειξη της διαδικασίας αναγέννησης που διενεργείται μεταξύ δύο διαδοχικών αντικαταστάσεων του πληρωτικού υλικού.**

### 1.3 Πρακτικές εφαρμογές της προσρόφησης

Οι πρακτικές εφαρμογές της προσρόφησης είναι σημαντικότερες. Παρακάτω περιγράφονται ορισμένες από τις πιο διαδεδομένες:

- ◆ Χρησιμοποιώντας το φαινόμενο της προσρόφησης μπορούμε να επιτύχουμε υψηλό κενό σε περιπτώσεις χαμηλής θερμοκρασίας κατά τις οποίες η προσρόφηση αερίων από στερεά είναι έντονη. Αναφορικά, το κενό που μπορούμε να επιτύχουμε είναι της τάξης των  $10^{-7}$  mmHg
- ◆ Διαχωρισμός μίγματος αερίων από ορισμένη προσροφητική ουσία, που παρουσιάζει ξεχωριστή ικανότητα προσρόφησης για κάθε αέριο. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να διαχωρίσουμε τα ευγενή αέρια, καθώς τη γκαζολίνη και τα εξάνια από το πετρέλαιο
- ◆ Χρωματογραφία
- ◆ Μέθοδοι ανταλλαγής ιόντων
- ◆ Διαχωρισμός και καθαρισμός μιγμάτων χημικών ουσιών, ισομερών και αέρα

- ◆ Καθαρισμός υγρών και αερίων πριν την εισαγωγή τους σε βιομηχανικά συστήματα
- ◆ Αφαίρεση αποβλήτων από το εσωτερικό υγρών και αερίων
- ◆ Τέλος, άλλη μια εφαρμογή είναι ο καθαρισμός του νερού χρησιμοποιώντας ως προσροφητικό μέσο τον ενεργό άνθρακα. Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται ακόμη και στις αντιασφυξιγόνες μάσκες, για την προστασία από τοξικά αέρια.

#### **1.4 Προσροφητικά μέσα βιομηχανικής κλίμακας και χρήσεις τους**

Όπως προαναφέρθηκε, στη βιομηχανία, ως προσροφητικό μέσο χρησιμοποιείται κατά κανόνα ο ενεργός άνθρακας, λόγω της μεγάλης προσροφητικής του ικανότητας, κυρίως σε οργανικά κατάλοιπα. Άλλα προσροφητικά μέσα με ευρεία εφαρμογή είναι η αλουμίνα, το silica gel και τα μοριακά κόσκινα. Οι φυσικές ιδιότητες των παραπάνω προσροφητικών υλικών αναφέρονται στον πίνακα 1.1. Ο ενεργός άνθρακας μπορεί να αναγεννηθεί είτε χημικά είτε θερμικά.

(α) Στη χημική αναγέννηση, ο ενεργός άνθρακας έρχεται σε επαφή με χημικά που αποσυνθέτουν ή οξειδώνουν τα ξένα σώματα που προσροφήθηκαν. Η χημική αναγέννηση είναι μόνο μερικώς δραστική στο να ξαναδίνει την ικανότητα της προσρόφησης στον ενεργό άνθρακα και επομένως χρησιμοποιείται ελάχιστα.

(β) Η θερμική διαδικασία αναγέννησης του ενεργού άνθρακα έχει τρία κύρια βήματα:

- Την εξάτμιση του νερού κοντά στους  $100^{\circ}\text{C}$
- Το ψήσιμο του ενεργού άνθρακα σε θερμοκρασίες έως  $800^{\circ}\text{C}$
- Την ενεργοποίησή του σε θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ  $800^{\circ}\text{C}$  και  $950^{\circ}\text{C}$ .

Οι απώλειες του άνθρακα, κατά τη διάρκεια της θερμής αναγέννησής κυμαίνονται συνήθως από 5-10% της ποσότητάς του. Επομένως με αυτή την μέθοδο επιτυγχάνεται μείωση των εξόδων της διαδικασίας της προσρόφησης.

**Πίνακας 1.1.** Φυσικές ιδιότητες τυπικών προσροφητικών υλικών.

Τύπος	mesh	$\rho_b$	d	$\epsilon$	$\alpha$
Ενεργός Άνθρακας	4/6"	480	3,9	0,34	1000
	6/8		2,8	0,34	1500
	8/10		1,9	0,34	2150
Silica gel	3/8"	720	3,9	0,35	800
	6/16		1,8	0,35	2400
Αλουμίνα	4/8"	830	3,9	0,25	1200
	8/14		1,8	0,25	1600
	14/28		0,8	0,30	3200
Μοριακά Κόσκινα	1/16"	720	1,8	0,34	2150
	1/8		3,1	0,34	1300
	8/12		2,0	0,37	1900

όπου:  $\rho_b$  = φαινόμενη πυκνότητα,  $\text{kg/m}^3$

d = φαινόμενη διάμετρος, mm

$\epsilon$  = πορώδες κλίνης

$\alpha$  = ειδική εσωτερική επιφάνεια  $\text{m}^2/\text{m}^3$

Ειδική θερμότητα  $C_p = 0,22 - 0,25 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

Θερμοκρασία αναγέννησης :  $100 - 500 \text{ }^\circ\text{C}$

Στον πίνακα 1.2 συνοψίζονται οι κυριότερες χρήσεις του ενεργού άνθρακα και των υπόλοιπων προσροφητικών υλικών:

**Πίνακας 1.2.** Χρήσεις ενεργού άνθρακα και άλλων προσροφητικών μέσων.

Σκοπός	Εφαρμογές	Παραδείγματα
<i>Αέρια φάση</i>		
Ανάκτηση	Ανάκτηση ατμών βενζίνης	Ανάκτηση βενζίνης ως καύσιμο

	Ανάκτηση διαλύτη	Κυκλοεξανόνη, τριχλωροεθάνιο, Μεθυλο-αιθυλο- κετόνες (MEK), διθειούχος άνθρακας (CS <sub>2</sub> )
Απόσμηση	Απομάκρυνση οσμών δωματίου	Καπνός, CO, φίλτρα δωματίου, Οσμές τουαλέτας, οσμές κατοικίδιων ζώων
	Ψυγείο / Καταψύκτης	Αποσμητής
	Αυτοκίνητο	Φίλτρα αέρα της καμπίνας
	Καπνός τσιγάρων	Φίλτρα τσιγάρων
	Νοσοκομείο	Απομάκρυνση αναισθητικών αέριων
	Απομάκρυνση όζοντος	Φωτοτυπικά, Εκτυπωτές Laser
Επικίνδυνα αέρια	Κλειστό περιβάλλον	Απομάκρυνση διοξινών, Διαστημόπλοια, CO <sub>2</sub> κάτω από το έδαφος
Διαχωρισμός αερίων	Άζωτο	Διαχωρισμός αερίου αζώτου
	Άλλα αέρια	Ραδιενεργά αέρια
<b>Υγρή φάση</b>		
Επεξεργασία νερού	Εργοστάσιο υγρών αποβλήτων	Καθαρισμός υγρών αποβλήτων
	Επεξεργασία πόσιμου νερού	Απομάκρυνση τριχλωρομεθανίου, χλωρίνης, πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), αρσενικού.
Αποχρωματισμός βιομηχανικών χημικών	Βιομηχανική χρήση	Λεύκανση ζάχαρης, φαρμακευτική χρήση, διύλιση ούισκι
Ιατρικές εφαρμογές	Ιατρική και νοσηλευτική	Συσκευές καθαρισμού νεφρού, νοσηλευτικές προμήθειες, αντιασφυξιογόνες μάσκες

Ηλεκτρονικά	Ηλεκτρόδια	Πυκνωτές διπλής στιβάδας, σκληροί δίσκοι
Ανάκτηση μετάλλων	Ανάκτηση χρυσού	Ανάκτηση χρυσού

### 1.5 Εναλλακτικά προσροφητικά μέσα

Ένα βασικό μειονέκτημα του ενεργού άνθρακα είναι το υψηλό του κόστος. Για το λόγο αυτό, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για φθηνά υλικά, τα οποία είναι διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατα του ενεργού άνθρακα στη διαδικασία της προσρόφησης χρωστικών από υγρά απόβλητα. Τέτοια, είναι κυρίως υπολείμματα ξύλου και αγροτικά κατάλοιπα είτε απροκατέργαστα είτε προκατεργασμένα.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν το πριονίδι ξύλου και πολλά αγροτικά κατάλοιπα όπως άχυρο, ροκανίδια και βότσαλα αραβοσίτου. Τα υλικά αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην απομάκρυνση χρωστικών ουσιών από απόβλητα βαφείων ή κλωστοϋφαντουργικών μονάδων.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν υλικά όπως πριονίδι προκατεργασμένο με φορμαλδεΰδη ή θειικό οξύ καθώς επίσης και λιγνοκυτταρινούχα μέσα, προκατεργασμένα με πολυαιθυλενιμίνη, που παράγονται από αγροτικά κατάλοιπα.

Άλλα προϊόντα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προσροφητικά μέσα, με μικρότερη όμως προσροφητική ικανότητα, είναι οι φλούδες μπανάνας ή πορτοκαλιού, ρητίνες, ο καολίνης και κοκκοποιημένο υδροξείδιο του σιδήρου.

Η καταλληλότητα ενός υλικού για προσροφητικό μέσο καθορίζεται συνήθως από τα αποτελέσματα της διαδικασίας της κινητικής προσρόφησης είτε σε συνθήκες συνεχούς είτε σε συνθήκες ασυνεχούς λειτουργίας.

## 1.6 Στήλες προσρόφησης – Κυριότερα μοντέλα

### 1.6.1. εξίσωση των Bohart και Adams

Ο Oulman το 1980 πρότεινε τη χρήση του μοντέλου 'bed depth service' για την προσομοίωση της προσρόφησης του κοκκώδους ενεργού άνθρακα. Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε πρώτα από τους Bohart και Adams, βασίζεται στη θεωρία αντίδρασης της επιφάνειας και είναι ισοδύναμο με την καμπύλη «συμβολικής λογικής» μια καμπύλη σιγμοειδούς μορφής που είναι συμμετρική γύρω από το μέσο της για  $t = \frac{a}{b}$ ,  $C = \frac{C_i}{2}$ .

Η εξίσωση των Bohart και Adams είναι η εξής :

$$\ln\left(\frac{C_i}{C} - 1\right) = \frac{KNx}{V} - K \cdot C_i \cdot t \quad (2)$$

Όπου:

$C$  είναι η συγκέντρωση εκροής (mg/L)

$C_i$  η συγκέντρωση εισροής (mg/L)

$K$  είναι ο συντελεστής ρυθμού προσρόφησης (L/mg·min)

$N$  ο συντελεστής απόδοσης (capacity) προσρόφησης (mg/L)

$V$  η γραμμική ταχύτητα (cm/min)

$t$  ο χρόνος (min) και  $x$  το ύψος της στήλης προσρόφησης (cm).

Η εξίσωση (2) μπορεί να ξαναγραφτεί ως εξής:

$$\frac{C}{C_i} = \frac{1}{1 + e^{(a-bt)}} \quad (3)$$

όπου  $a = K \cdot N \cdot x / V$  και  $b = K \cdot C_i$ .

Οι συντελεστές  $K$  και  $N$  μπορούν να υπολογιστούν από τη γραφική παράσταση της ποσότητας  $\ln[(C/C_0)-1]$  σε συνάρτηση με το χρόνο  $t$  για δεδομένη ροή και ύψος στήλης. Το μοντέλο δίνει μια καλή περιγραφή των πειραματικών δεδομένων για διάφορες ροές και ύψη στήλης με πολύ καλό συντελεστή συσχέτισης  $R$ .

### 1.6.2. εξίσωση Clark

Το 1987 ο Clark πρότεινε τη γενικευμένη μορφή της παραπάνω συνάρτησης που εμπεριέχει και την παράμετρο  $n$  της ισόθερμης της προσρόφησης του Freundlich γράφεται:

$$C = \left[ \frac{C_i^{n-1}}{(1 + Ae^{-rt})} \right]^{\frac{1}{n-1}}$$

Όπου:

$C$  η συγκέντρωση εκροής (mg/L)

$C_i$  η συγκέντρωση εισροής (mg/L)

$r, A$  σταθερές της συνάρτησης και

$n$  είναι το αντίστροφο της κλίσης στην ισόθερμη του Freundlich.

Η σταθερά  $A$  ορίζεται από τη παρακάτω σχέση :

$$A = e^a = e^{KNx/V}$$

και  $r = b = K \cdot C_i$

Λογαριθμίζοντας την αρχική σχέση έχουμε:

$$\ln \left[ \left( \frac{C_i}{C} \right)^{n-1} - 1 \right] = \ln A - rt$$

Η τελευταία εξίσωση προκύπτει στα δεδομένα της εκρόφησης χρησιμοποιώντας γραμμική παλινδρόμηση. Μέσω της γραφικής παράστασης της ποσότητας  $\ln \left[ \left( \frac{C_i}{C} \right)^{n-1} - 1 \right]$  σε συνάρτηση με το χρόνο  $t$ , υπολογίζονται οι τιμές των  $r$  και  $A$ . Ο συντελεστής συσχέτισης της γραμμικής παλινδρόμησης είναι πολύ υψηλός, δείχνοντας πως το μοντέλο του Clark δίνει σε μεγάλο βαθμό μια καλή περιγραφή των πειραματικών δεδομένων. Για ένα δεδομένο ύψος στήλης, η παράμετρος  $A$  μειώνεται με την αύξηση της ροής.

### 1.6.3. μοντέλο «bed depth service time» (BDST model)

Το μοντέλο αυτό παρουσιάζει τους χρόνους διάρρηξης (breakthrough times) για διαφορετικά ύψη στήλης καθώς και ροές, μέσω της εξίσωσης του Hutchins:

$$t_b = \frac{N_o}{C_o V_o} (Z - Z_o)$$

Όπου:

$t_b$  ο χρόνος διάρρηξης (breakthrough time, h)

$N_o$  ο συντελεστής απόδοσης (capacity) της προσρόφησης (mg/L)

$C_o$  η αρχική συγκέντρωση (mg/L)

$V_o$  η επιφανειακή ταχύτητα του υγρού (mm/h)

$Z$  το ύψος της στήλης (mm)

$Z_o$  το τμήμα της στήλης που αντιστοιχεί στη ζώνη δυναμικής μεταφοράς μάζας (mm).

Συγκεκριμένα, η τελευταία παράμετρος αναφέρεται στο ελάχιστο εκείνο ύψος προσροφητικού υλικού στη στήλη ικανού να αποτρέψει την είσοδο ρυπαντή στο διάλυμα της εκρόφησης. Όπως φαίνεται, ο χρόνος διάρρηξης (breakthrough time) είναι αντιστρόφως ανάλογος των παραμέτρων  $V_o$  και  $C_o$ . Η γραφική παράσταση του χρόνου διάρρηξης ως προς το ύψος της στήλης, για διάφορες ροές είναι γραμμική με πολύ υψηλό συντελεστή συσχέτισης ( $R > 0.997$ ). Θεωρώντας την αρχική συγκέντρωση  $C_o$  και τη γραμμική ταχύτητα  $V_o$  σταθερές κατά τη διάρκεια λειτουργίας της στήλης, τότε μέσω της κλίσης της καμπύλης υπολογίζεται η χωρητικότητα  $N_o$  της προσρόφησης και μέσω της απόκλισης της, το πάχος της ζώνης μεταφοράς μάζας  $Z_o$ .

#### 1.6.4. εξίσωση Wolborska

Ο Wolborska πρότεινε ένα μοντέλο βασισμένο στις γενικές εξισώσεις μεταφοράς μάζας για καμπύλες χαμηλής συγκέντρωσης. Η μεταφορά μάζας σε μια στήλη προσρόφησης περιγράφεται από τις εξής εξισώσεις:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U_o \left( \frac{\partial C}{\partial Z} \right) + \left( \frac{\partial q}{\partial t} \right) = D \left( \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} \right) \text{ και}$$



$$\frac{\partial q}{\partial t} = -u \left( \frac{\partial q}{\partial Z} \right) = \beta_\alpha (C - C_s)$$

Όπου:

$C_s$  η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας στη στερεή/υγρή διεπαφή (mg/L)

$D$  ο συντελεστής αξονικής διάχυσης ( $mm^2/h$ )

$u$  η ταχύτητα μεταφοράς (mm/h)

$\beta_\alpha$  ο συντελεστής κινητικής της εξωτερικής μεταφοράς μάζας ( $h^{-1}$ )

Ο Wolborska έκανε τις εξής παραδοχές:  $C_s \ll C$ ,  $u \ll U_o$  και την αξονική διάχυση  $D$  να τείνει στο μηδέν όταν αντίστοιχα  $t \rightarrow 0$ . Έτσι έχουμε:

$$\ln \frac{C}{C_o} = \frac{\beta_\alpha C_o}{N_o} t - \frac{\beta_\alpha Z}{U_o}$$

Όπου

$$\beta_\alpha = \frac{U_o^2}{2D} \left( \sqrt{1 + \frac{4\beta_o D}{U_o^2}} - 1 \right)$$

Όπου  $\beta_o$ , ο συντελεστής εξωτερικής μεταφοράς μάζας με έναν αμελητέο συντελεστή αξονικής διασποράς  $D$ .

Ο Wolborska παρατήρησε πως σε μικρές στήλες ή σε υψηλές ροές διαλύματος διαμέσου της στήλης, ο συντελεστής διάχυσης είναι σχεδόν αμελητέος και ισχύει:  $\beta_\alpha = \beta_o$ .

Τότε, η ταχύτητα μεταφοράς περιγράφεται από το νόμο του Wicke:

$$u = \frac{U_o C_o}{N_o + C_o}$$

Το μοντέλο του Wolborska εφαρμόζεται σε πειραματικά δεδομένα για την όσο το δυνατόν καλύτερη περιγραφή του αρχικού μέρους των καμπυλών διάρρηξης. Η προσέγγιση αυτή επικεντρώνεται στην εκτίμηση χαρακτηριστικών παραμέτρων όπως είναι η χωρητικότητα  $N_o$  της προσρόφησης και ο συντελεστής κινητικής εξωτερικής μάζας

μεταφοράς  $\beta_\alpha$ , οι οποίες υπολογίζονται από τη γραφική παράσταση του  $\ln \left( \frac{C}{C_o} \right)$  ως προς το

χρόνο  $t$ . Σύμφωνα με το μοντέλο του Wolborska, η σχέση ανάμεσα στις δυο τελευταίες ποσότητες είναι γραμμική για όλες τις καμπύλες διάρρηξης. Αποδεικνύει επίσης πως οι τιμές των παραμέτρων αυτών επηρεάζονται τόσο από το ύψος της στήλης όσο και από τη ροή. Κατά τα αρχικά στάδια της προσρόφησης μέσα στη στήλη, στο σύστημα κυριαρχεί η

εξωτερική μεταφορά μάζας. Με αύξηση της ροής παρατηρείται αύξηση τόσο του  $\beta_\alpha$  όσο και της  $N_o$ .

Παρ' όλο που το μοντέλο του Wolborska παρέχει μια απλή και κατανοητή προσέγγιση, παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ θεωρητικών και πειραματικών τιμών για υψηλές συγκεντρώσεις κι έτσι η αξιοπιστία του περιορίζεται στις χαμηλές συγκεντρώσεις διαλύματος.

### 1.6.5.εξίσωση Yoon και Nelson

Οι Yoon και Nelson ανέπτυξαν ένα σχετικά απλό μοντέλο με κύριο θέμα την προσρόφηση ατμών και αερίων από ενεργό άνθρακα. Το μοντέλο αυτό όχι μόνο είναι το λιγότερο πολύπλοκο συγκριτικά με άλλα, αλλά δεν απαιτεί και λεπτομερή δεδομένα όπως τα χαρακτηριστικά του προσροφούμενου υλικού, τον τύπο του προσροφητικού μέσου και τις φυσικές ιδιότητες της προσροφητικής στήλης. Η εξίσωση των Yoon και Nelson εκφράζεται ως εξής:

$$\ln \frac{C}{C_o - C} = K_{YN}t - t_{1/2}K_{YN}$$

Όπου:

$K_{YN}$  η σταθερά ρυθμού προσρόφησης ( $h^{-1}$ )

$t_{1/2}$  ο χρόνος που αντιστοιχεί στο 50% της καμπύλης διάρρηξης (h)

t ο χρόνος (h)

Μέσω της γραφικής παράστασης του  $\ln \left[ \frac{C}{(C_o - C)} \right]$  προς το χρόνο για διάφορες ροές

και ύψη στήλης υπολογίζονται οι τιμές των  $K_{YN}$  και  $t_{1/2}$  που αντιπροσωπεύουν την κλίση και την απόκλιση της καμπύλης αντίστοιχα. Από τα πειραματικά δεδομένα παρατηρείται αύξηση της  $K_{YN}$  και μείωση του  $t_{1/2}$  με αύξηση του ύψους στήλης και της ροής του διαλύματος. Το μοντέλο των Yoon και Nelson παρέχει μια καλή συσχέτιση μεταξύ των πειραματικών και θεωρητικών τιμών σε ό,τι αφορά την επίδραση του ύψους της στήλης και της ροής του διαλύματος.

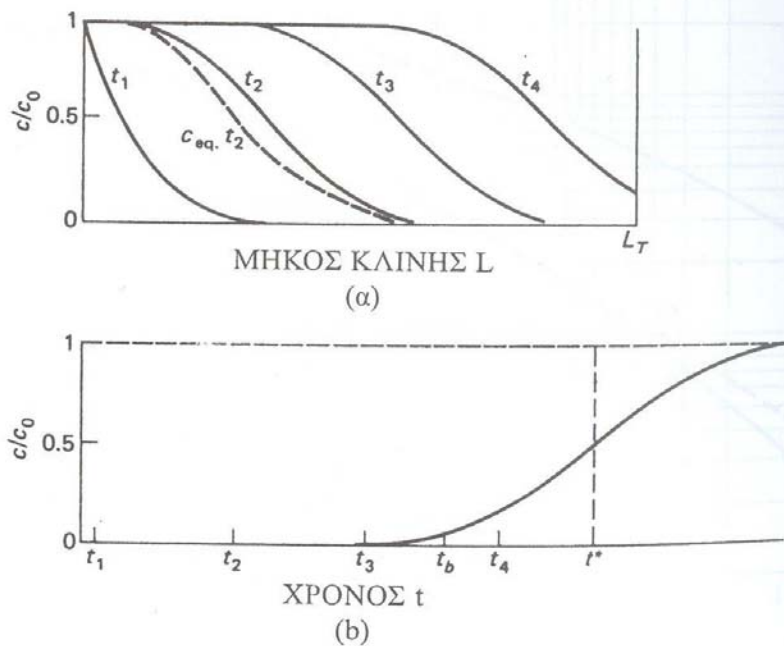
## 1.7 Σύγκριση των πέντε κυριότερων μοντέλων

Τα πέντε αυτά μοντέλα χρησιμοποιούνται με σκοπό την όσο το δυνατόν καλύτερη περιγραφή των καμπυλών διάρρηξης και τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών παραμέτρων για την διεργασία της προσρόφησης σε στήλες. Είναι κατάλληλα για την περιγραφή είτε ολόκληρης είτε μέρους της δυναμικής συμπεριφοράς της στήλης αναφορικά με τη ροή και το ύψος της. Με εξαίρεση το μοντέλο των Bohart και Adams, όλα τα υπόλοιπα δίνουν μια καλή προσέγγιση των πειραματικών δεδομένων και παρατηρείται μια αρκετά καλή συσχέτιση μεταξύ πειραματικών και θεωρητικών τιμών. Για διάφορα ύψη στήλης και ροές διαλύματος, η εξίσωση του Wolborska είναι εκείνη που περιγράφει με μεγαλύτερη ακρίβεια το αρχικό στάδιο της καμπύλης, ενώ η εξίσωση του Clark καθώς και εκείνη των Yoon και Nelson δίνουν μια πολύ καλή πρόβλεψη ολόκληρης της καμπύλης διάρρηξης.

## 1.8 Αρχές της προσρόφησης – Διαγράμματα συγκέντρωσης σε σταθεροποιημένες κλίνες

Κατά την προσρόφηση σε μια σταθεροποιημένη κλίνη οι συγκεντρώσεις στο ρευστό και στο στερεό μεταβάλλονται με το χρόνο και με τη θέση στην κλίνη. Αρχικά η μεταφορά μάζας λαμβάνει χώρα κυρίως κοντά στην είσοδο της κλίνης, όπου το ρευστό έρχεται για πρώτη φορά σε επαφή με το προσροφητικό. Αν το στερεό δεν περιέχει αρχικά προσροφούμενη ουσία, η συγκέντρωση στο ρευστό μειώνεται εκθετικά με την απόσταση και γίνεται ουσιαστικά ίση με το μηδέν πριν το τέλος της κλίνης. Αυτό το προφίλ της συγκέντρωσης παρουσιάζεται ως καμπύλη  $t_1$  στο Σχήμα 1.5 (α), όπου  $c/c_0$  είναι ο λόγος της συγκέντρωσης του ρευστού προς την αρχική συγκέντρωση της τροφοδοσίας. Μετά από μερικά λεπτά το στερεό κοντά στην είσοδο γίνεται σχεδόν κορεσμένο και το μεγαλύτερο μέρος της μεταφοράς μάζας λαμβάνει χώρα μακριά από την είσοδο. Το προφίλ της συγκέντρωσης αποκτά σχήμα S, όπως φαίνεται από την καμπύλη  $t_2$ . Η περιοχή όπου πραγματοποιείται το μεγαλύτερο μέρος της μεταβολής συγκέντρωσης ονομάζεται ζώνη μεταφοράς μάζας και τα όρια που συνήθως λαμβάνονται είναι οι τιμές του λόγου  $c/c_0$  από 0,95 έως 0,05. Με την πάροδο του χρόνου η ζώνη μεταφοράς μετακινείται προς τα κάτω στην κλίνη, όπως φαίνεται από τα προφίλ  $t_3$  και  $t_4$ . Παρόμοια προφίλ μπορούν να σχεδιαστούν και για τη μέση συγκέντρωση της προσροφούμενης ουσίας στο στερεό. Όπως φαίνεται από το σχήμα των προφίλ αυτών στην είσοδο το στερεό είναι σχεδόν κορεσμένο, στη ζώνη μεταφοράς μάζας εμφανίζεται μια μεγάλη μεταβολή, ενώ στο τέλος της κλίνης η

συγκέντρωση είναι ίση με μηδέν. Αντί να σχεδιαστεί η πραγματική συγκέντρωση στο στερεό, στο διάγραμμα παρουσιάζεται (με τη μορφή διακεκομμένης γραμμής) η συγκέντρωση στο ρευστό σε ισορροπία με το στερεό σε χρόνο  $t_2$ . Η συγκέντρωση αυτή θα πρέπει να είναι πάντα μικρότερη από την πραγματική συγκέντρωση του ρευστού. Η διαφορά των συγκεντρώσεων (ή κινητήρια δύναμη) είναι μεγάλη στα σημεία όπου το προφίλ της συγκέντρωσης είναι απότομο και η μεταφορά μάζας είναι ταχύτερη.



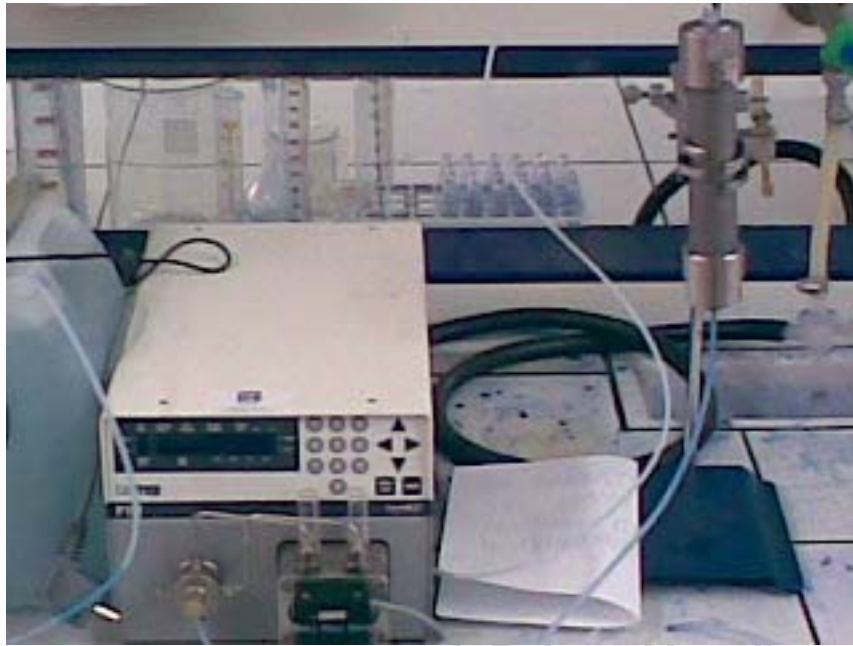
(α) Προφίλ συγκέντρωσης και (β) καμπύλη διάσπασης για προσρόφηση σε σταθεροποιημένη κλίνη.

### 1.9 Καμπύλες διάσπασης (breakthrough curves)

Οι σταθεροποιημένες κλίνες οι οποίες περιλαμβάνουν εσωτερικές διατάξεις που θα επέτρεπαν τη μέτρηση των προφίλ της συγκέντρωσης είναι πολύ λίγες. Ωστόσο αυτά τα προφίλ μπορούν να προβλεφθούν και να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό της γραφικής παράστασης της συγκέντρωσης του ρευστού που εξέρχεται από την κλίνη ως προς το χρόνο. Η καμπύλη του Σχήματος 1.5 (b) ονομάζεται καμπύλη διάσπασης. Σε χρόνους  $t_1$  και  $t_2$  η συγκέντρωση εξόδου πρακτικά είναι ίση με μηδέν, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.5 (α). Όταν η συγκέντρωση αποκτήσει κάποια οριακή επιτρεπτή τιμή, ή κάποιο σημείο διάσπασης η ροή διακόπτεται ή οδηγείται σε μια καινούρια κλίνη προσροφητικού. Το σημείο διάσπασης λαμβάνεται συχνά ως σχετική συγκέντρωση 0,05 ή 0,10 και αφού μια τέτοια υψηλή

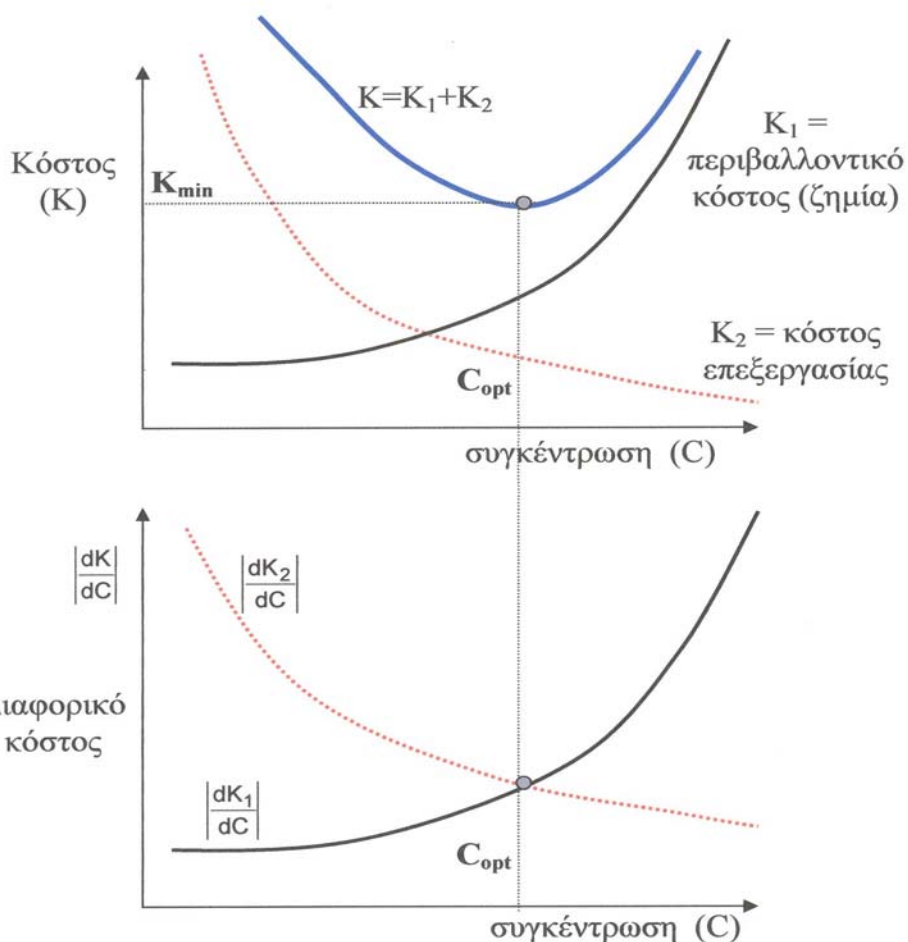
συγκέντρωση συναντάται μόνο στο τελευταίο κομμάτι του ρευστού, το μέσο κλάσμα της διαλυμένης ουσίας που απομακρύνεται από την αρχή έως το σημείο διάσπασης είναι συχνά ίσο με 0,99 ή και μεγαλύτερο.

Αν συνεχιστεί η προσρόφηση και μετά το σημείο διάσπασης, η συγκέντρωση αυξάνεται σε 0,5 περίπου και στη συνέχεια προσεγγίζει λίγο πιο αργά το 1.0, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.5 (b). Αυτή η καμπύλη σχήματος S είναι παρόμοια με τα προφίλ της εσωτερικής συγκέντρωσης και πολλές φορές είναι συμμετρική. Με τη βοήθεια ισοζυγίων μάζας μπορεί να αποδειχθεί ότι το εμβαδόν της επιφάνειας ανάμεσα στην καμπύλη και σε μια γραμμή στο  $c/c_0 = 1,0$  είναι ανάλογο με την ολική ποσότητα της διαλυμένης ουσίας που προσροφάται, αν όλη η κλίση έρθει σε ισορροπία με την τροφοδοσία. Η ποσότητα που προσροφάται είναι επίσης ανάλογη με το εμβαδόν της ορθογωνικής επιφάνειας στα αριστερά της διακεκομμένης γραμμής στο  $t^*$ , που είναι ο ιδανικός χρόνος προσρόφησης για κατακόρυφη καμπύλη διάσπασης. Όταν η καμπύλη είναι συμμετρική, το  $t^*$  αντιπροσωπεύει επίσης το χρόνο στον οποίο ο λόγος  $c/c_0$  προσεγγίζει το 0,5. η μετακίνηση του μετώπου της προσρόφησης μέσα στην κλίση και η επίδραση των μεταβλητών της διεργασίας στο  $t^*$  μπορούν να προσδιοριστούν με ένα απλό ισοζύγιο μάζας.



**Μεταλλικές στήλες προσρόφησης του Εργαστηρίου Προσομοίωσης Βιομηχανικών Χημικών Διεργασιών του Πανεπιστημίου Πειραιώς**

## 1.10 Προσδιορισμός της βέλτιστης συγκέντρωσης χρωστικής σε επεξεργασμένα απόβλητα βαφείου



Το βέλτιστο (optimum) βρίσκεται στο σημείο τομής των καμπυλών του διαφορικού κόστους.

Η μαθηματική απόδειξη είναι η ακόλουθη:

$$\frac{dK_t}{dC} = \frac{d(K_1 + K_2)}{dC} = 0 \Rightarrow \frac{dK_1}{dC} + \frac{dK_2}{dC} = 0 \Rightarrow \frac{dK_1}{dC} - \left( -\frac{dK_2}{dC} \right) = 0$$

επειδή  $dK_2 / dC < 0$  έχουμε :

$$\left| \frac{dK_1}{dC} \right| - \left| \frac{dK_2}{dC} \right| = 0 \Rightarrow \left| \frac{dK_1}{dC} \right| = \left| \frac{dK_2}{dC} \right|$$

## 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Τοποθετούνται 25 L δλμ methylene blue (μπλε του μεθυλενίου) στο δοχείο τροφοδοσίας.
2. Γεμίζεται η στήλη με το προσροφητικό υλικό και την κλείνεται στεγανά.
3. Αντλείται με την αντλία κενού το δλμ methylene blue έτσι ώστε να εισρέει από τον πυθμένα της στήλης και να εκρέει από την κορυφή, με σταθερό ρυθμό.
4. Συλλέγεται το δλμ methylene blue εντός της φιάλης κενού, ογκομετράται τακτικά (κάθε 250 mL), λαμβάνεται δείγμα περίπου 10 ml από το δλμ με σιφόνι και το τοποθετείται σε δοκιμαστικό σωλήνα.
5. Αφού γεμίσουν τουλάχιστον 3 δοκιμαστικούς σωλήνες, λαμβάνονται 3,5 ml από τον καθένα και γεμίζονται 3 κυβέτες στο «καρουσέλ» (η 1<sup>η</sup> από τις 4 κυβέτες γεμίζει με νερό απιονισμένο).
6. Μετρίεται η ABS (απορρόφηση) σε κάθε δείγμα με το φασματοφωτόμετρο UV/VIS για  $\lambda=664\text{nm}$  και γίνεται αποθήκευση των τιμών στον H/Y.
7. Οι μετρήσεις επαναλαμβάνονται για όλα τα δείγματα δύο φορές τουλάχιστον για το καθένα
8. Γίνεται εκτύπωση των μετρήσεων.



### 3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι μετρήσεις που προέκυψαν (απορρόφηση ABS, συγκέντρωση C) καταγράφονται σε πίνακα αρχείου excel. Βάσει της εξίσωσης του Clark θα ισχύει:

$$\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1 = A \cdot e^{-r \cdot t}$$

Η οποία λογαριθμιζόμενη δίνει:

$$\ln \left[ \left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1 \right] = \ln A - r \cdot t$$

Η παραπάνω σχέση με γραμμική παλινδρόμηση δίνει τις τιμές του A και του r για τη βέλτιστη προσαρμογή θεωρητικής καμπύλης και πειραματικών αποτελεσμάτων. Επίσης η αρχική σχέση μπορεί να επιλυθεί ως προς C και να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της θεωρητικής τιμής της συγκέντρωσης  $C_{\text{θεωρ}}$ :

$$C_{\text{θεωρ}} = C_i \cdot \left( A \cdot e^{-r \cdot t} + 1 \right)^{-\frac{1}{n-1}}$$

Η οποία παραγωγιζόμενη δίνει:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{A}{n-1} C_i \cdot \left( A \cdot e^{-r \cdot t} + 1 \right)^{-\frac{1}{n-1}-1} \cdot e^{-r \cdot t}$$

όπου C,  $C_i$  οι συγκεντρώσεις του methylene blue (C εκροής,  $C_i$  εισροής), t ο χρόνος, n το αντίστροφο της κλίσης της ισόθερμης προσρόφησης του Freundlich, A συντελεστής και r μια σταθερά.

Στην ισόθερμη προσρόφησης του Freundlich:

$$q = K \cdot C^{\frac{1}{n}}$$

Είναι:

q η ποσότητα του methylene blue ανά μονάδα μάζας του προσροφητικού υλικού (mg/g)

C η συγκέντρωση ισορροπίας του methylene blue στο διάλυμα (mg/L)

1/n η αδιάστατη παράμετρος της ισόθερμης Freundlich και

K ο συντελεστής κατανομής της ισόθερμης Freundlich ( $L \text{ mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ )

Τέλος, υπολογίζεται το τυπικό σφάλμα απόκλισης  $s = \sqrt{\frac{\sum(C - C_{\text{θεωρ}})^2}{n - p}}$  όπου n ο

αριθμός των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν και p οι παράμετροι. Για τη μικρότερη τιμή του σφάλματος εκτίμησης s (αυτή που πλησιάζει περισσότερο το 0) λαμβάνεται και η βέλτιστη τιμή των παραμέτρων. Για αυτές τις τιμές υπολογίζεται το  $C_{\text{θεωρ}}$  και κατασκευάζεται η γραφική παράστασή του συναρτήσει του χρόνου.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Συνθήκες Προκατεργασίας Υλικών

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκε η προσροφητική ικανότητα του πριονιδιού ως υποκατάστατο του ενεργού άνθρακα μέσα σε προσροφητικές στήλες ύψους 10cm και διαμέτρου 2cm. Οι στήλες είχαν πορώδες υλικό στη βάση και στην κορυφή και στένωση στην είσοδο και την έξοδο. Ως προσροφητικό μέσο χρησιμοποιήθηκε το πριονίδι πεύκου τόσο στην απροκατέργαστη μορφή του όσο και προκατεργασμένο σε μια σειρά συνθηκών συγκέντρωσης  $H_2SO_4$  (0,1125, 0,225, 0,45, 0,9, 1,8, 3,6 N) για διάφορους χρόνους (0,5, 1, 2, 3, 4, 5 h) στους 100°C. Ο χρόνος προθέρμανσης ήταν 40 λεπτά. Η προσρόφηση πραγματοποιήθηκε από διάλυμα 25 L χρωστικής ουσίας methylene blue (Μπλε του Μεθυλενίου) συγκέντρωσης 20 mg/L. Το φαινόμενο της προσρόφησης περιγράφεται από την εξίσωση του Clark.

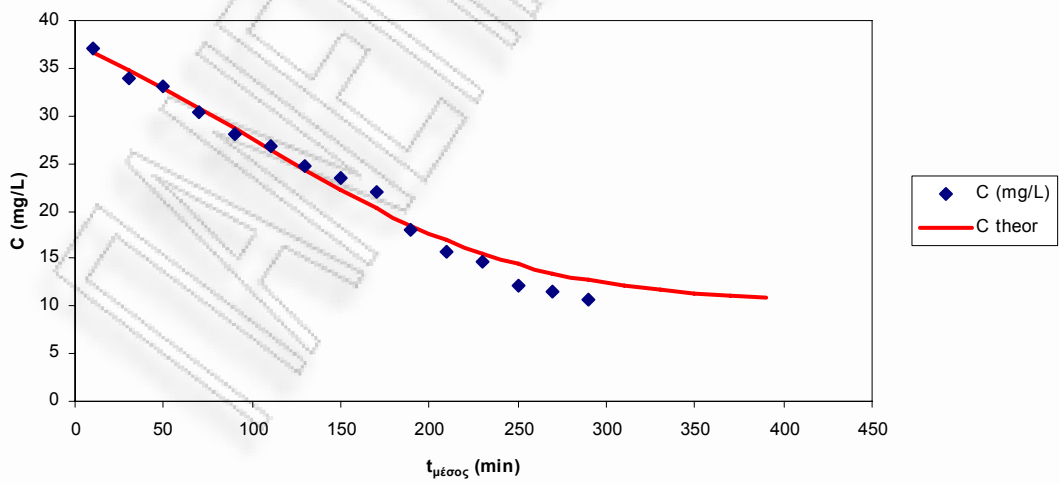
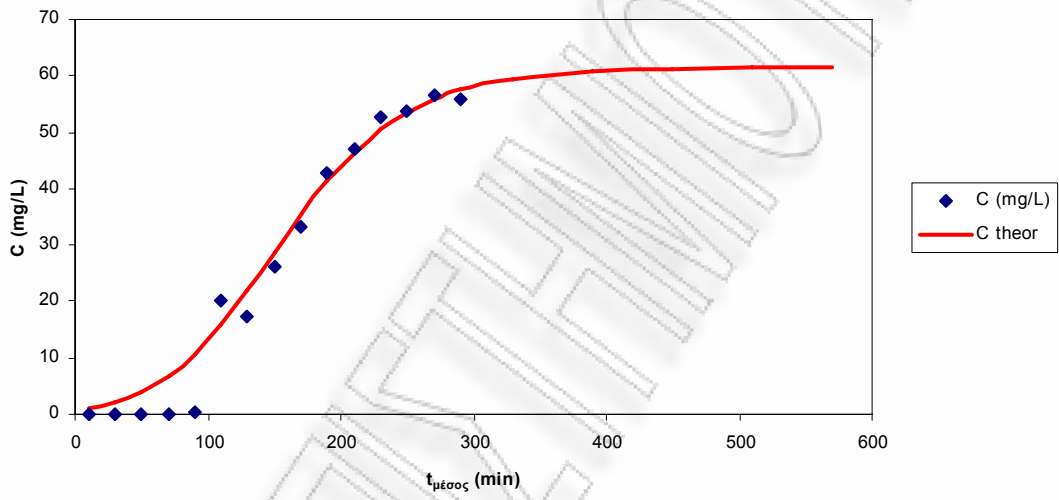
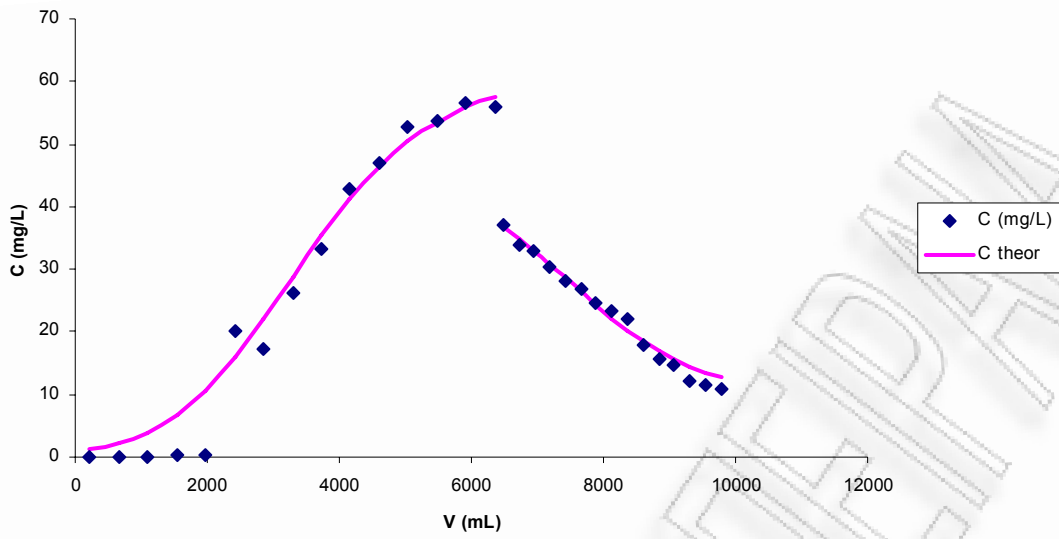
### 4.2 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Στηλών Προσρόφησης

Για καθένα από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ως προσροφητικά μέσα, παρατίθενται πίνακες με τα πειραματικά δεδομένα της προσρόφησης και της εκρόφησης συμπεριλαμβανομένων και των τιμών  $\ln A$ ,  $A$ ,  $r$ ,  $R$ ,  $K$  και  $N$  οι οποίες υπολογίζονται στο φύλλο excel. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται σε κοινό διάγραμμα, τόσο για την προσρόφηση όσο και για την εκρόφηση, η συγκέντρωση συναρτήσει του όγκου, ενώ και για τις δυο διαδικασίες ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις της συγκέντρωσης, της ποσότητας

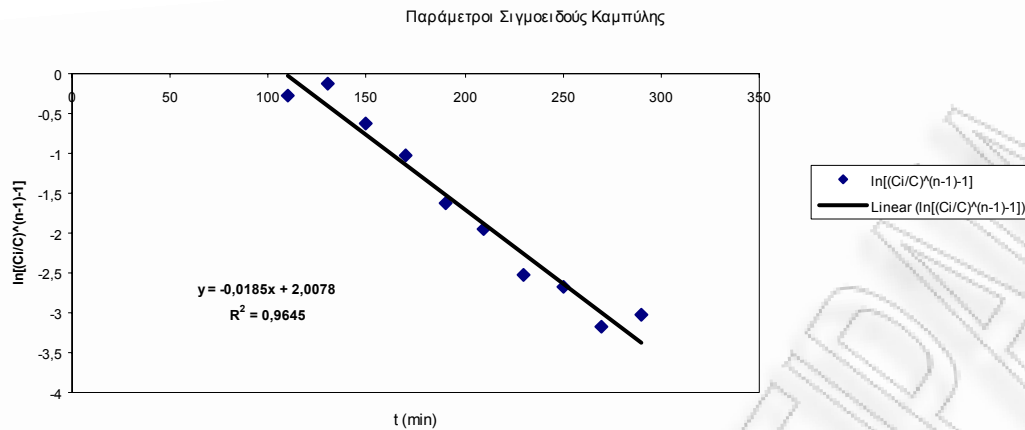
$\ln \left[ \left( \frac{C_i}{C} \right)^{n-1} - 1 \right]$ , του ρυθμού μεταβολής της συγκέντρωσης και του όγκου με το χρόνο.



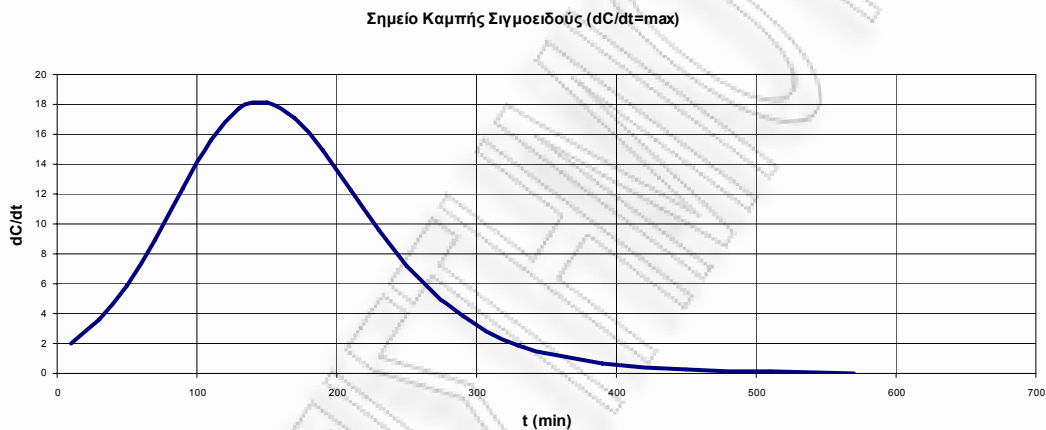




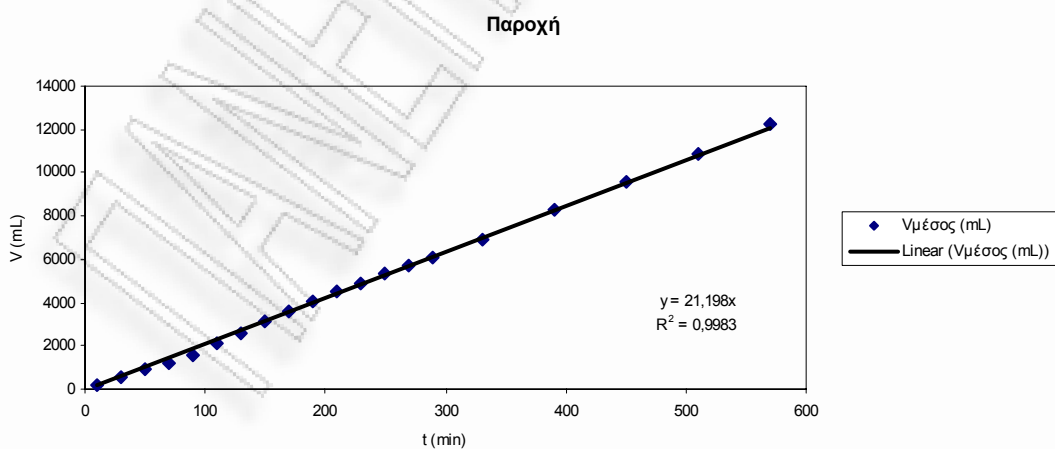
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για απροκατέργαστο πριονίδι πεύκου.



Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

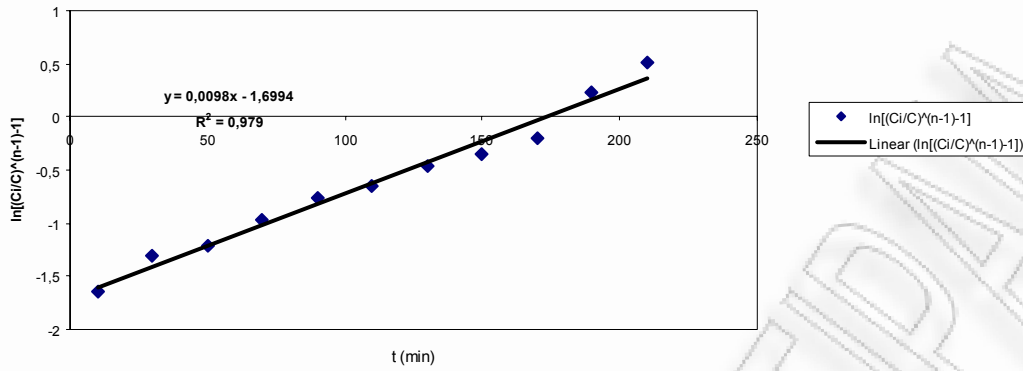


Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο



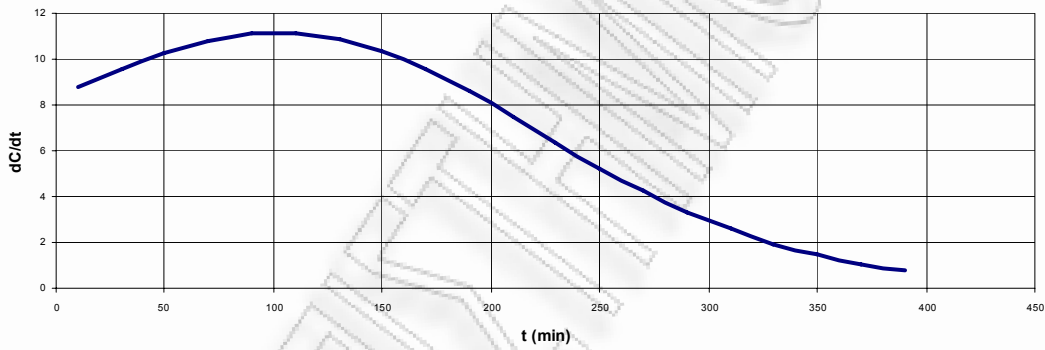
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης

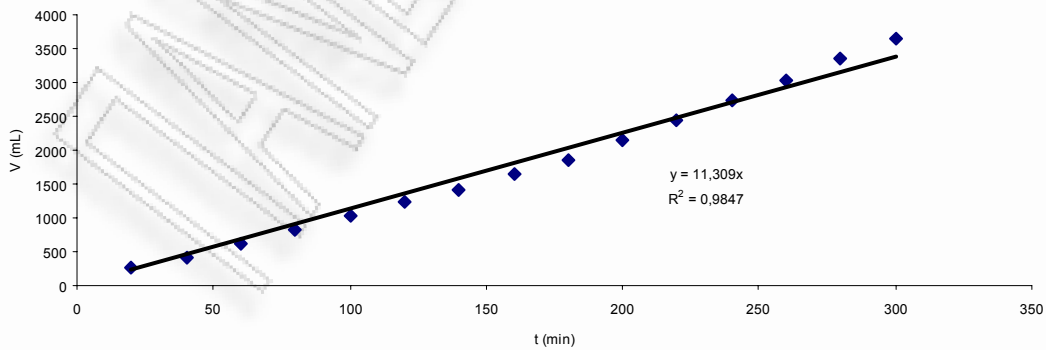


Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

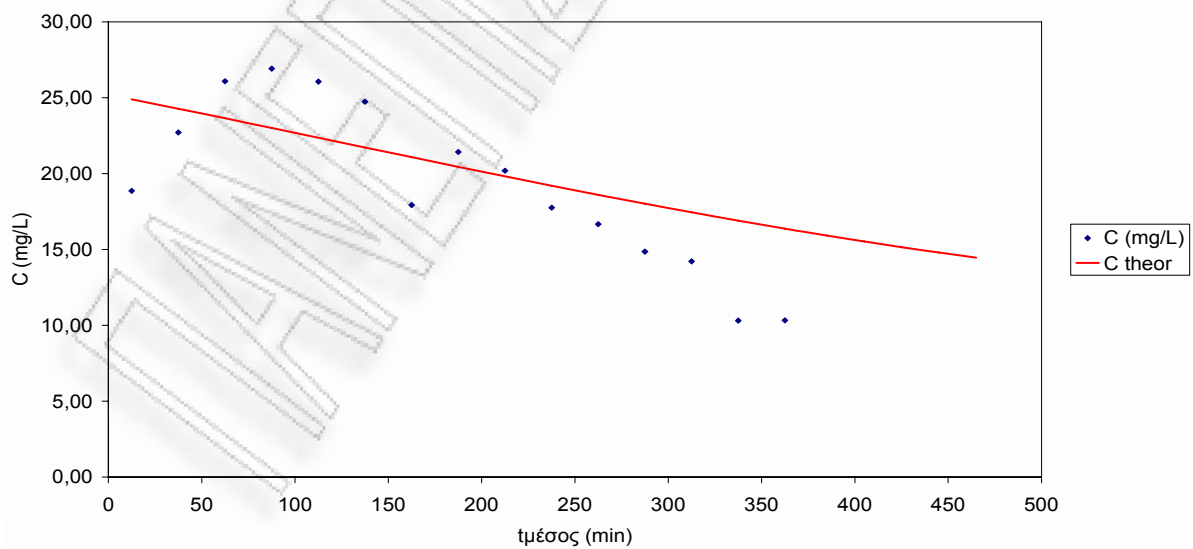
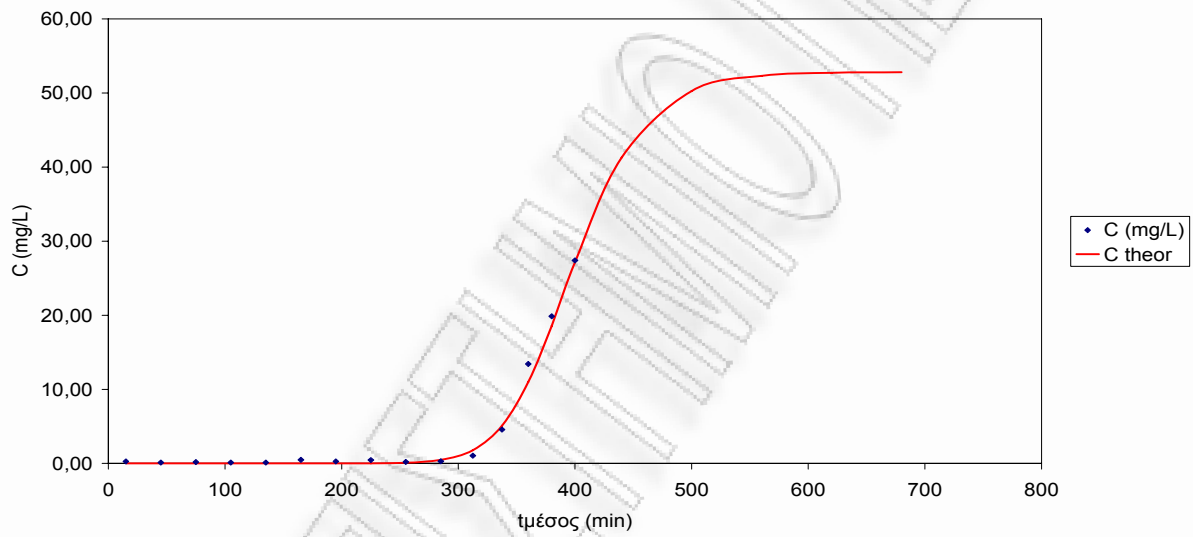
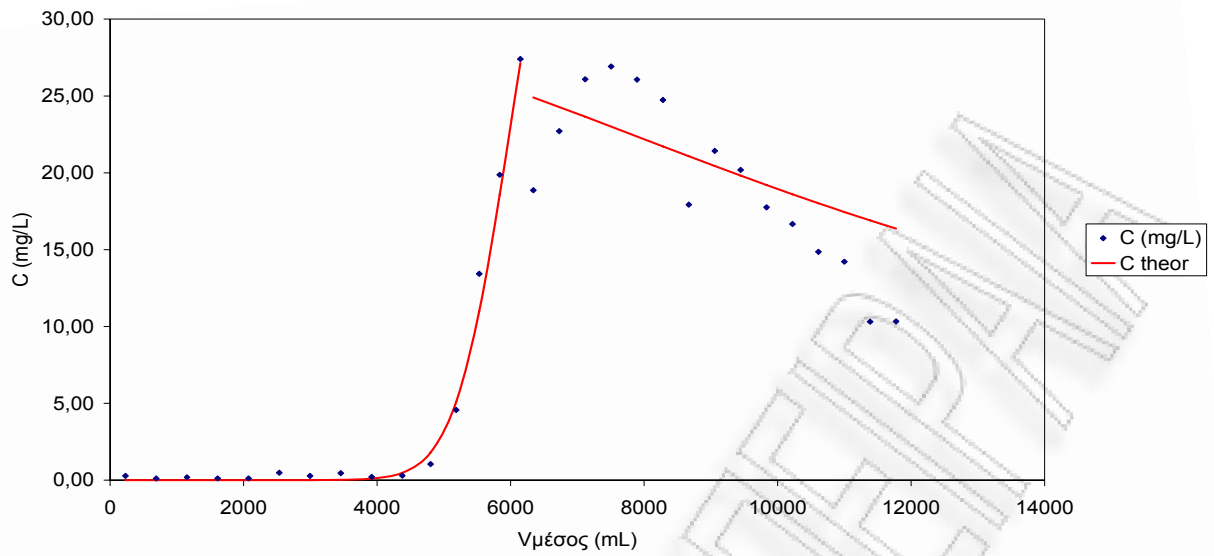


Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο



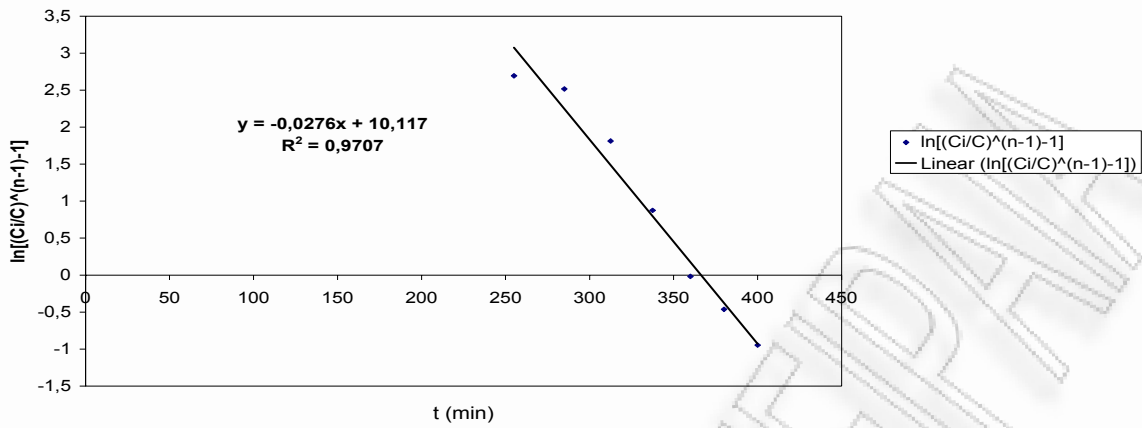






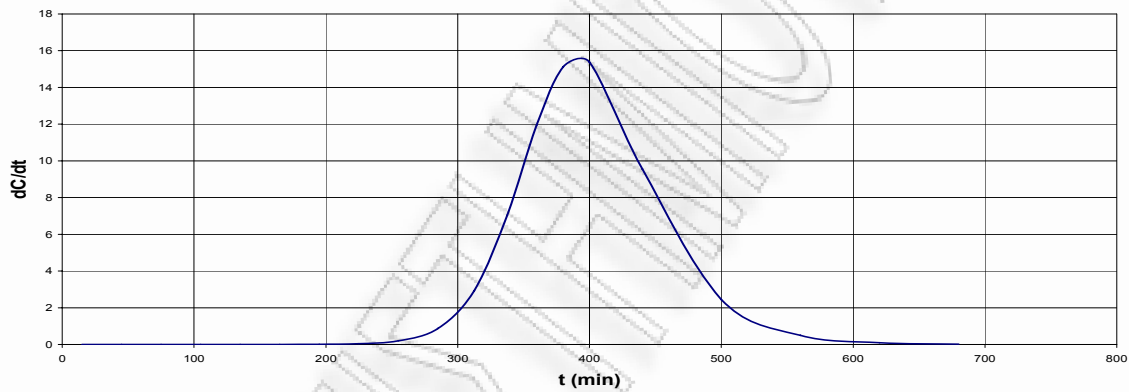
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για απροκατέργαστο πριονίδι πεύκου.

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



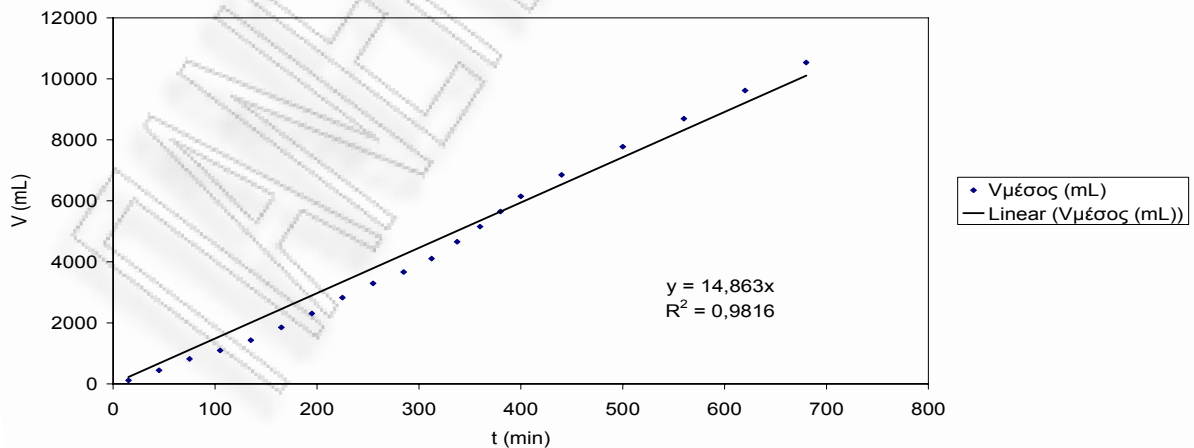
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)

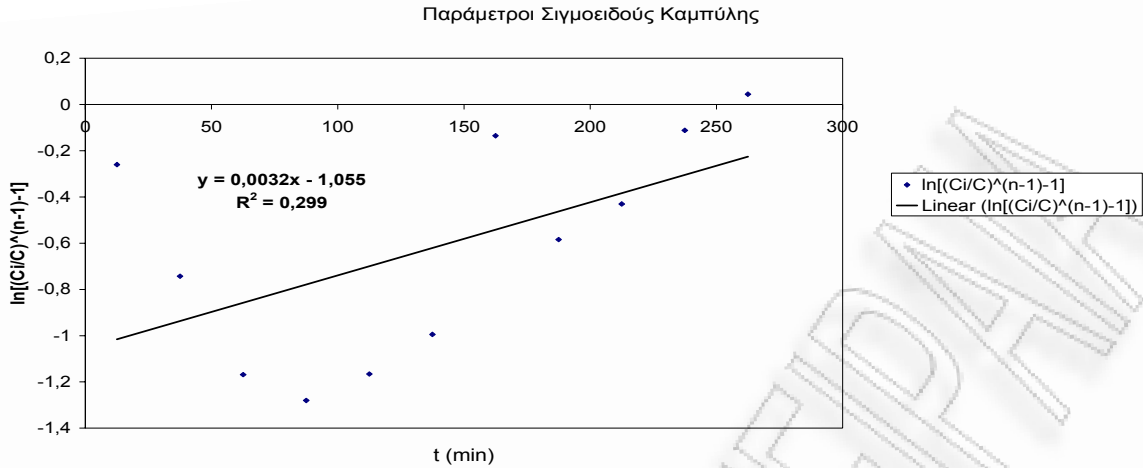


Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

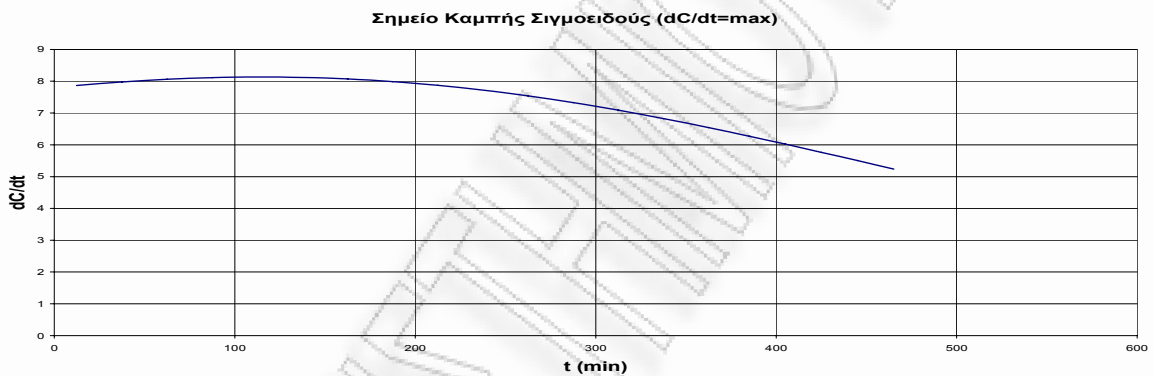
Παροχή



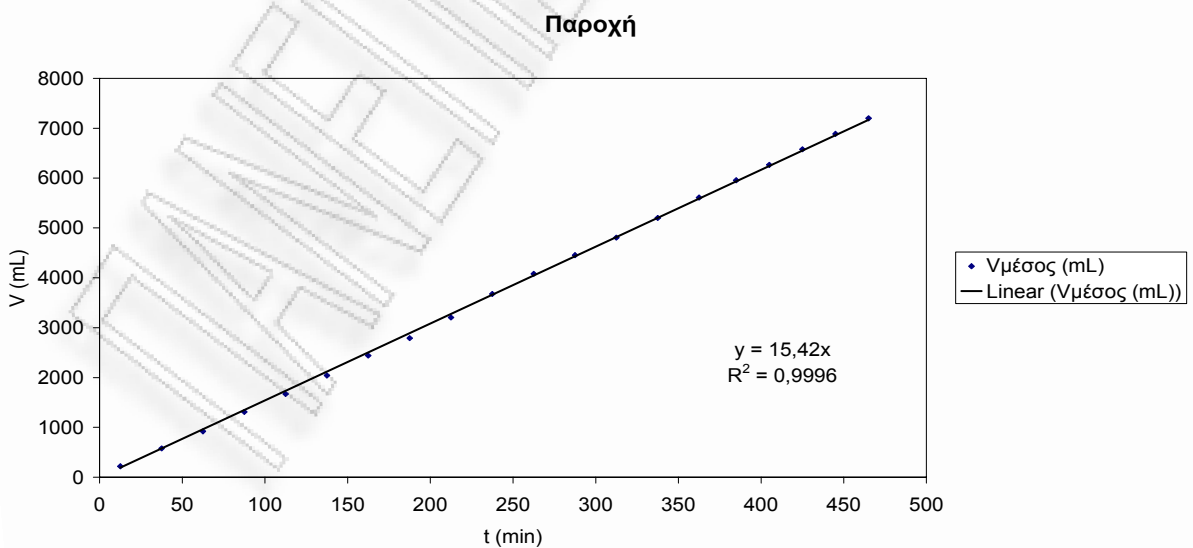
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο



Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο



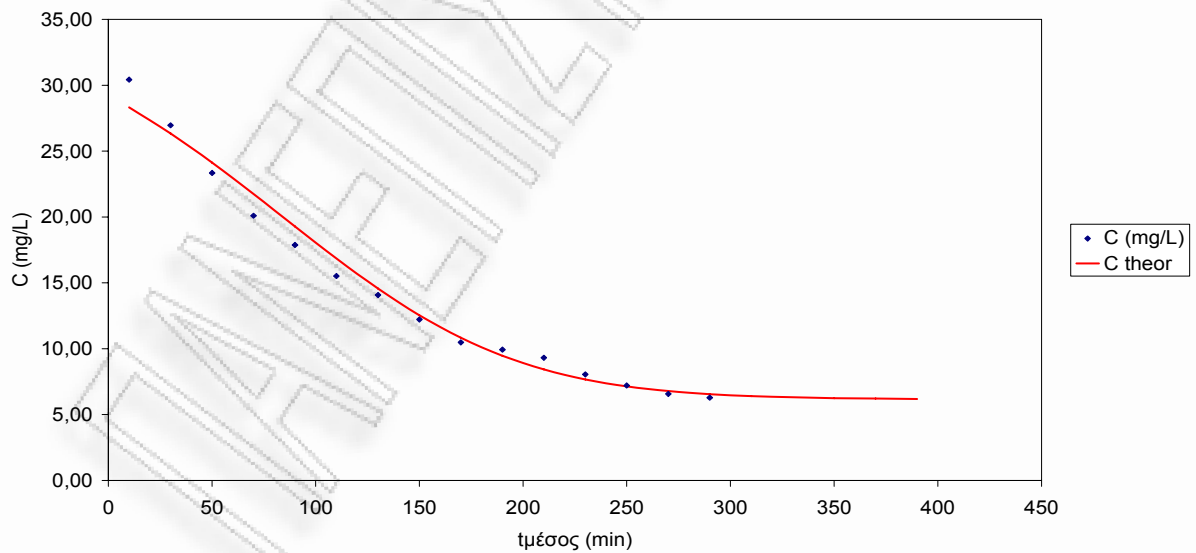
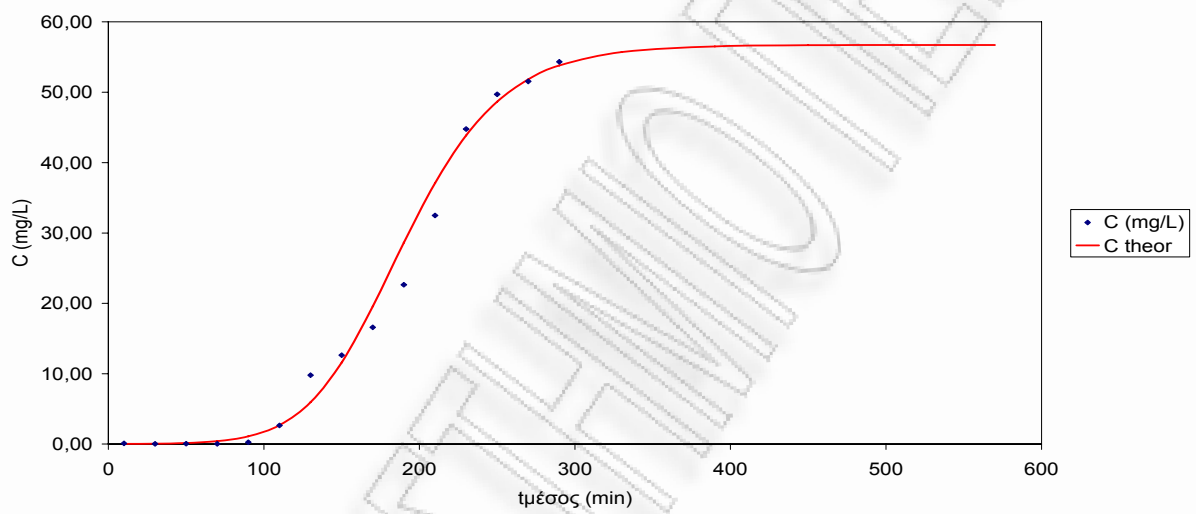
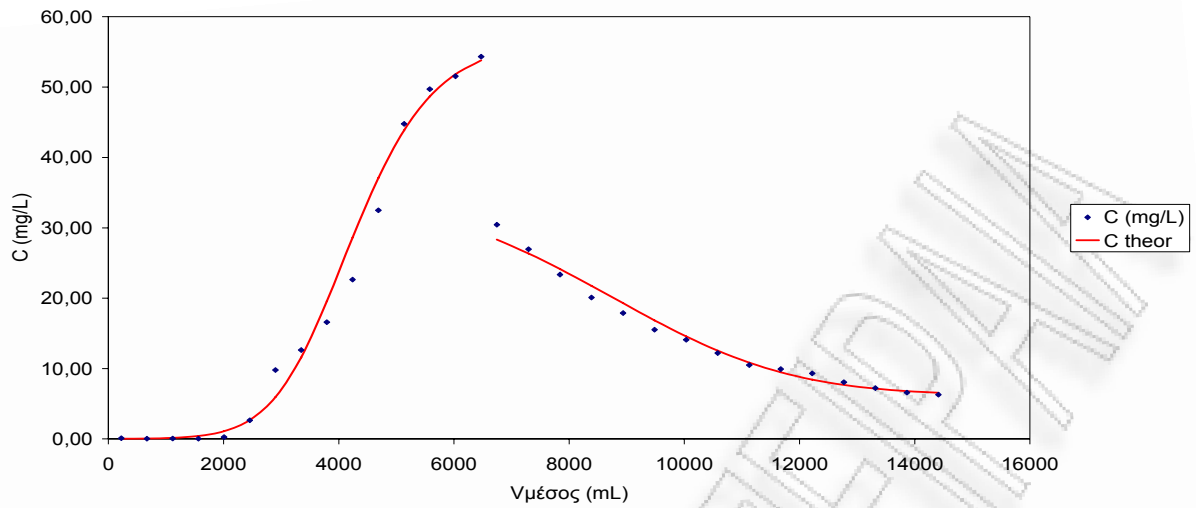
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

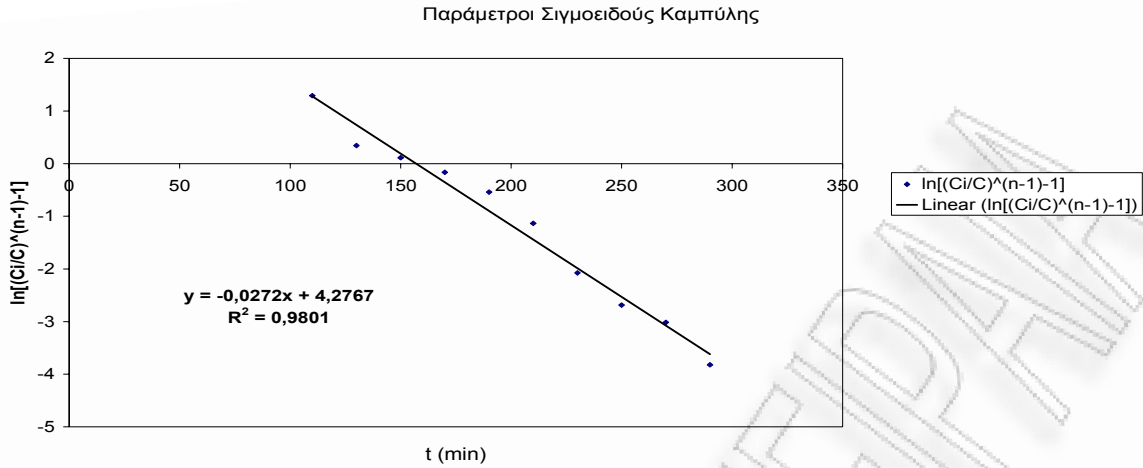




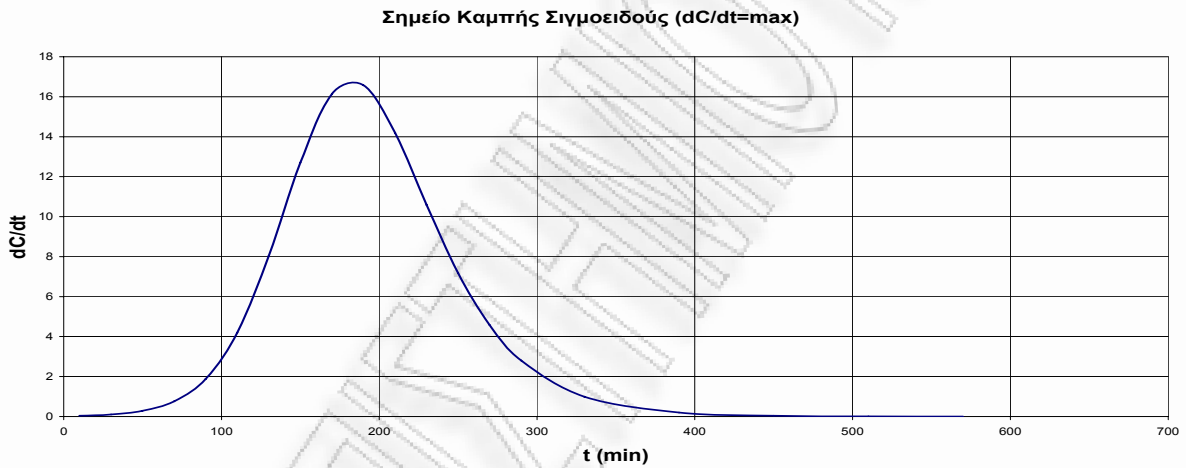


Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$

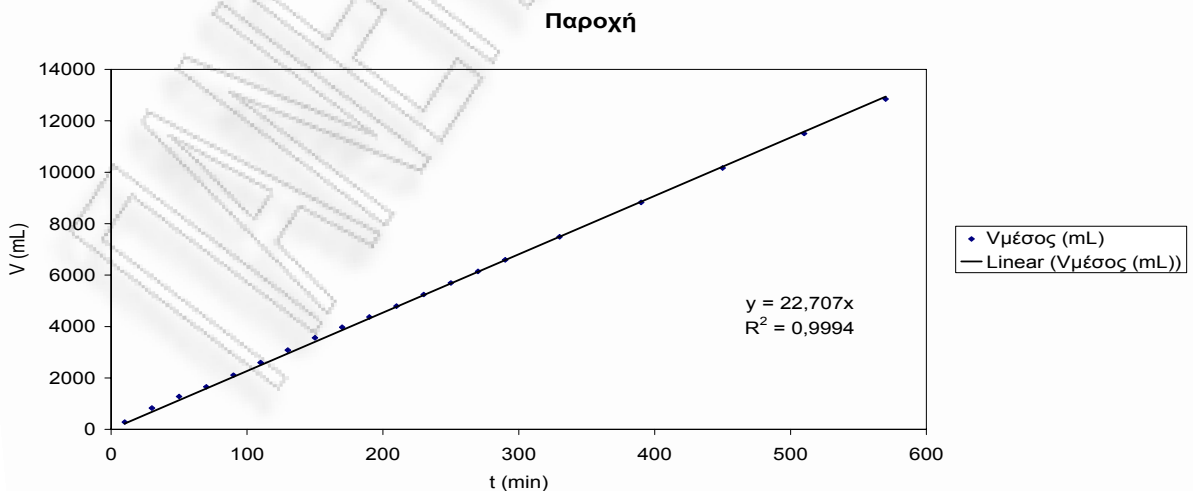




Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$

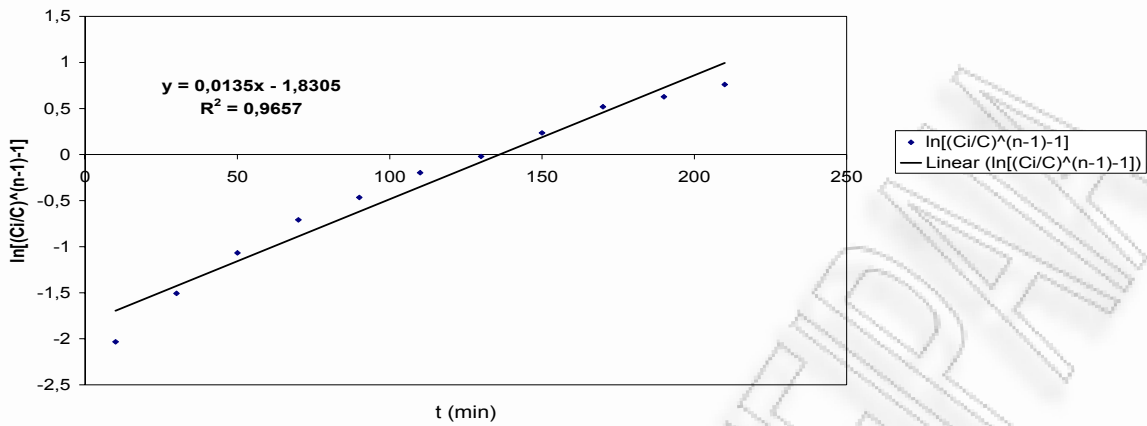


Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$



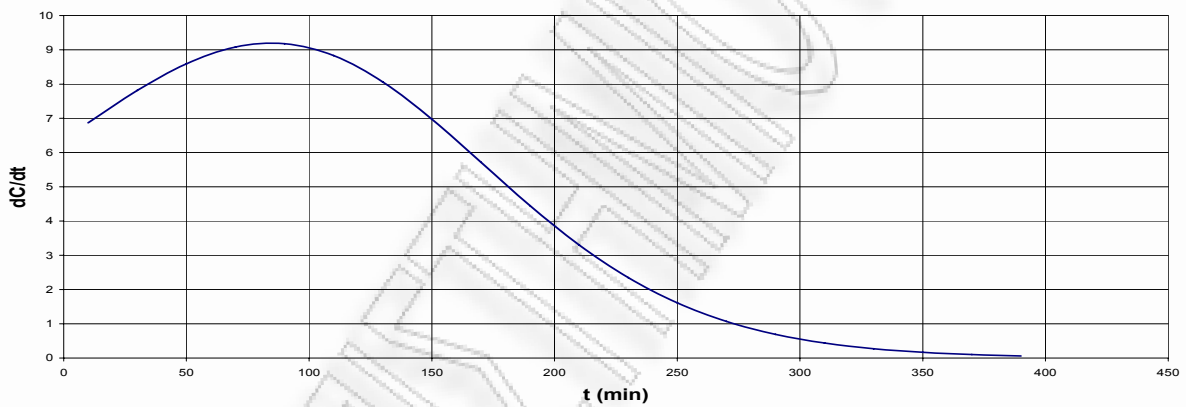
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



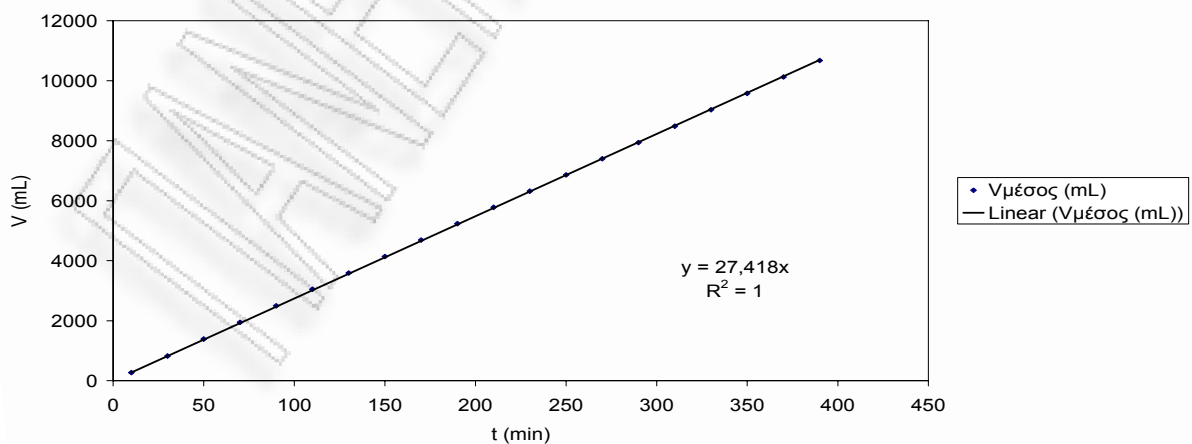
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$

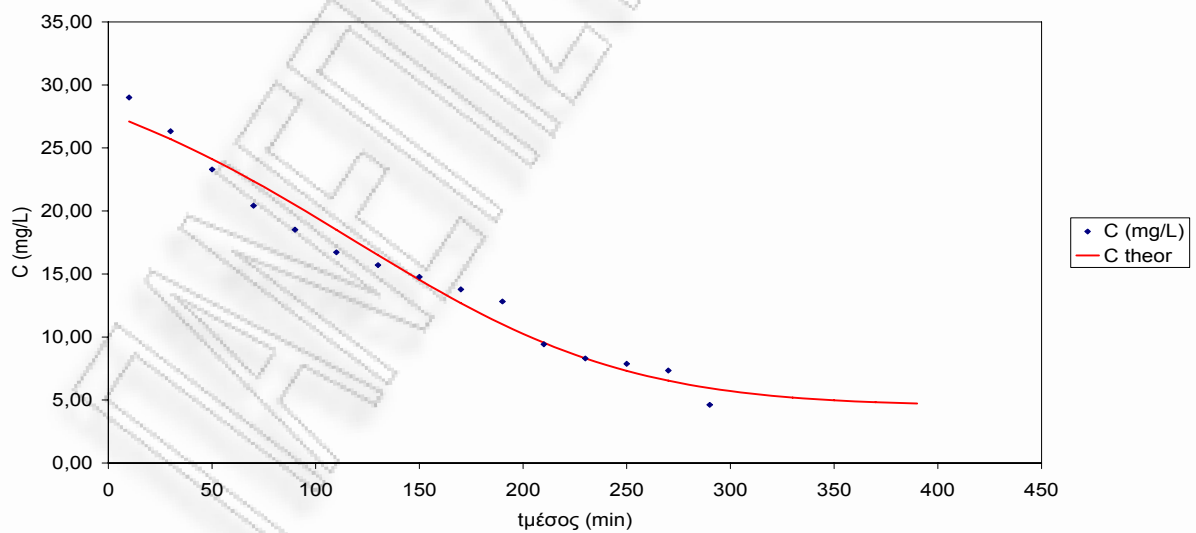
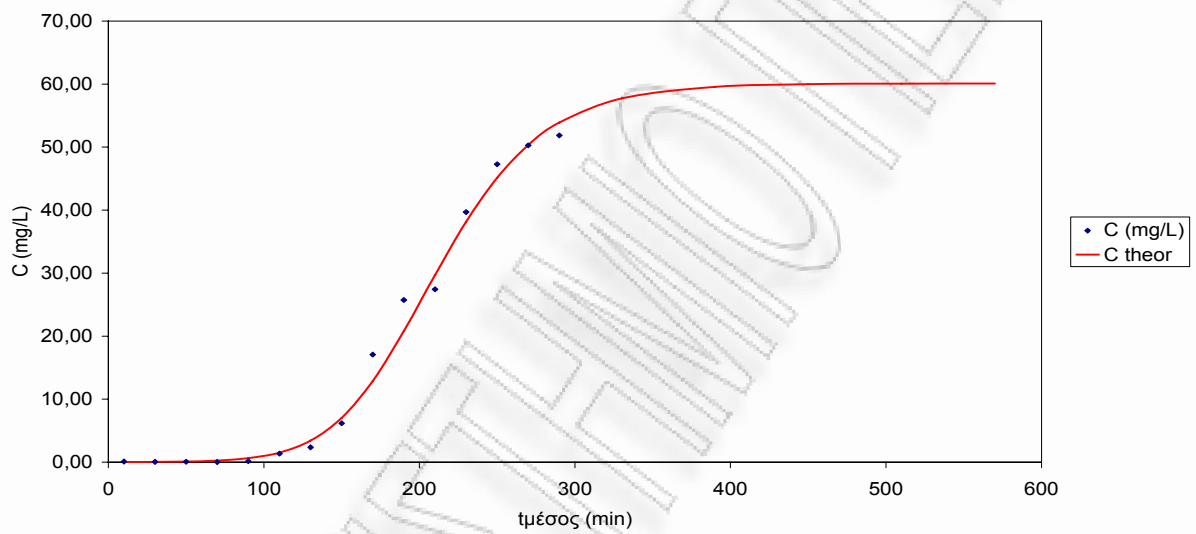
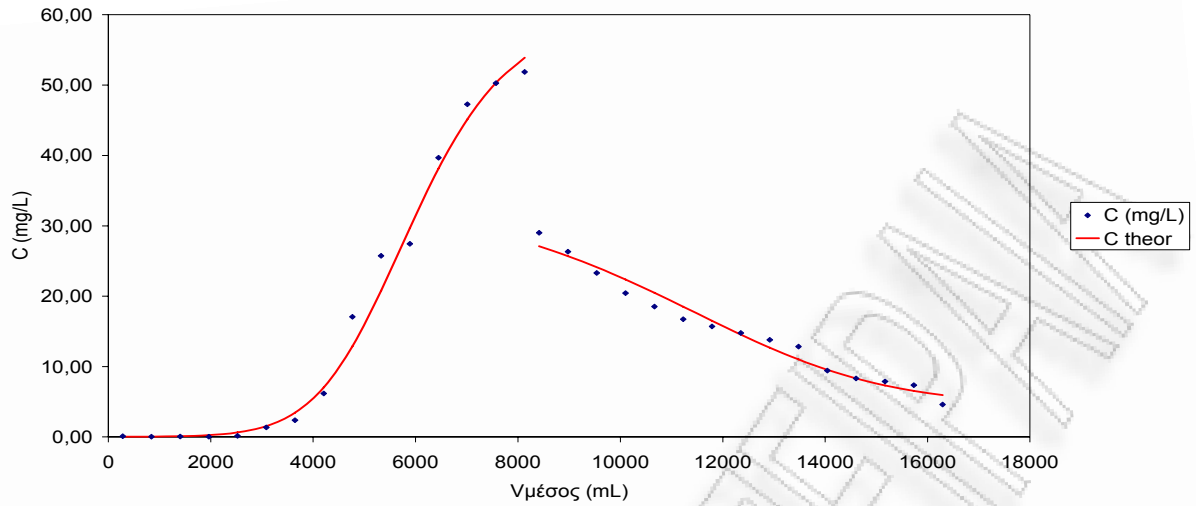
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$

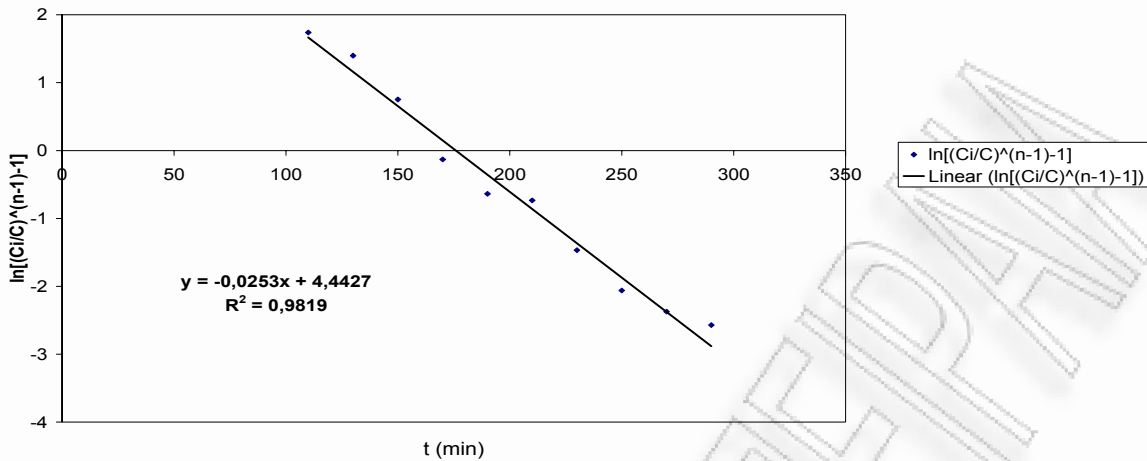






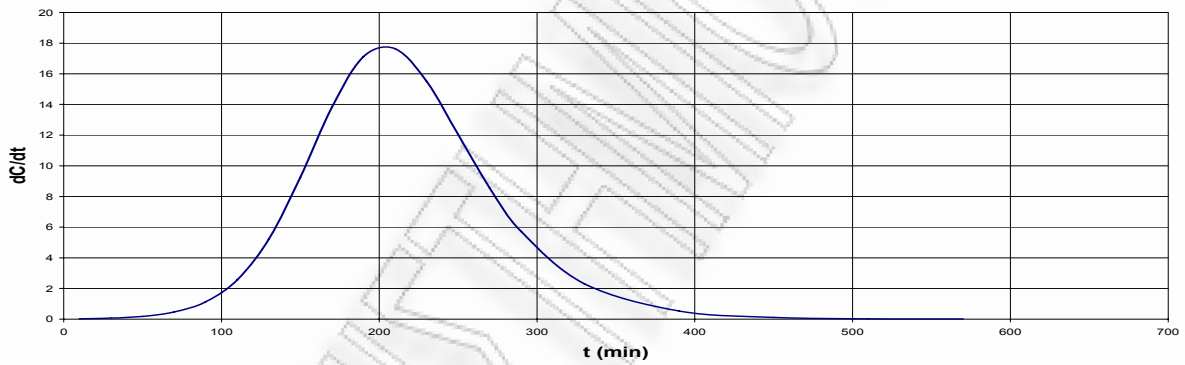
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίση για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



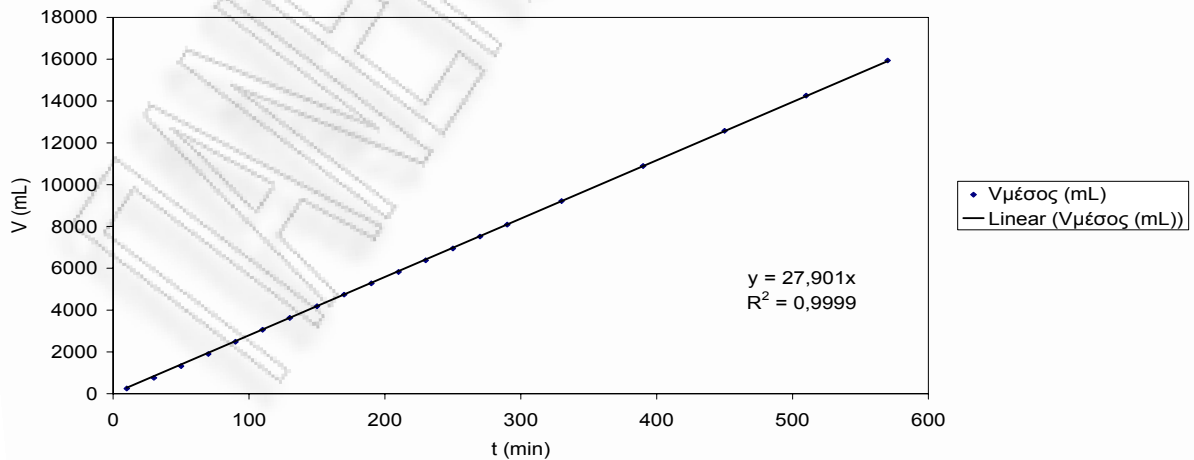
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



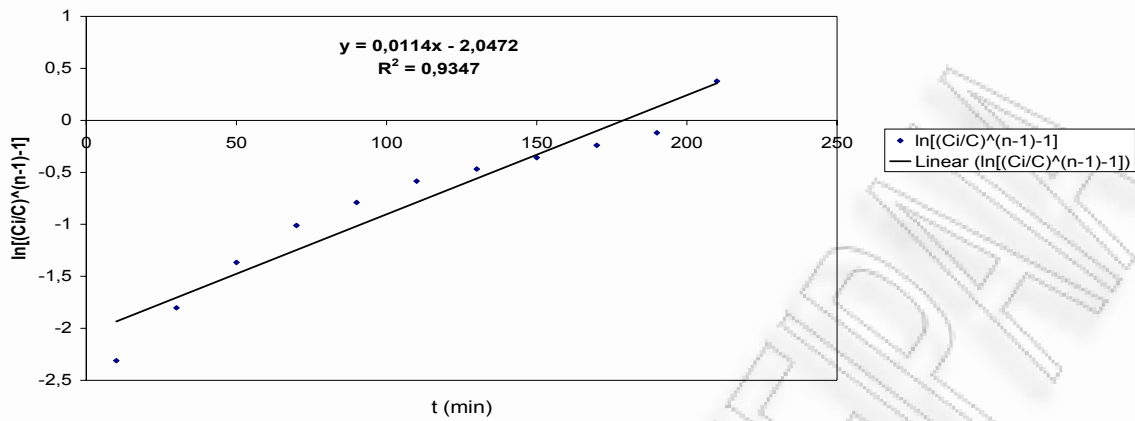
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή



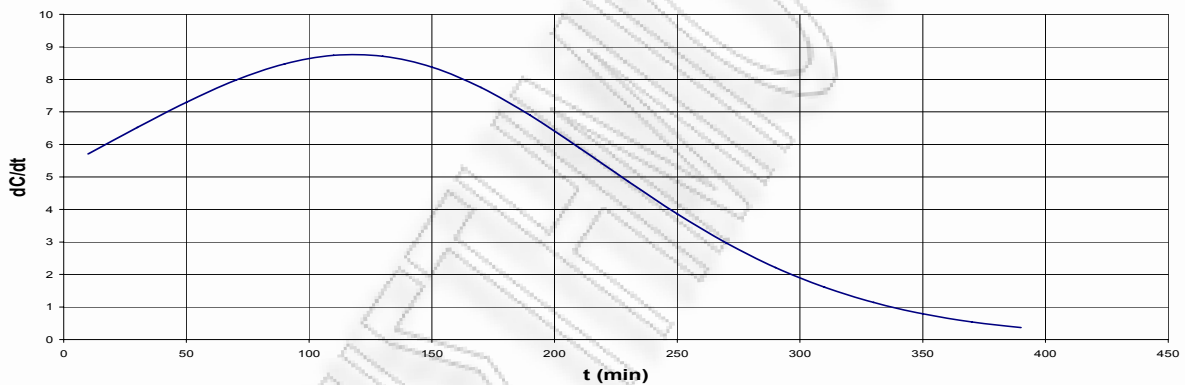
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



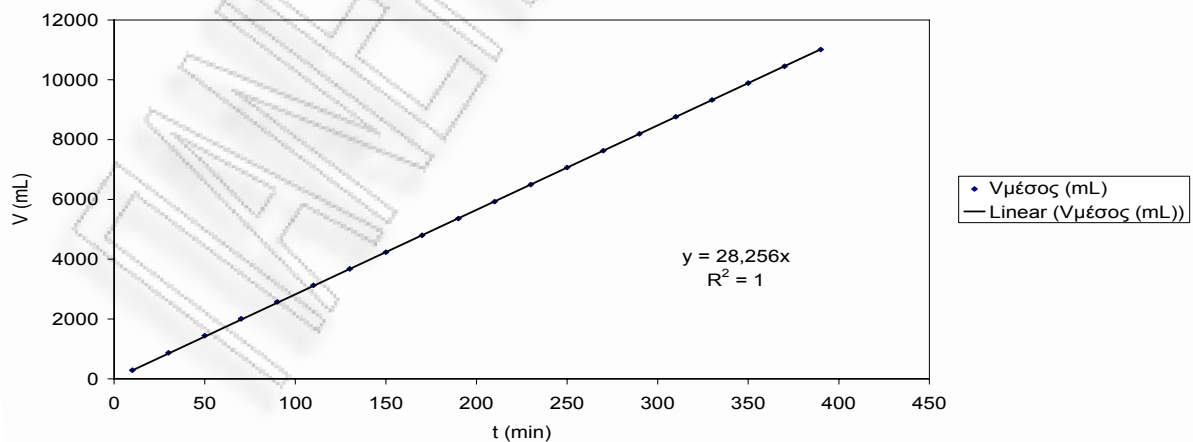
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή



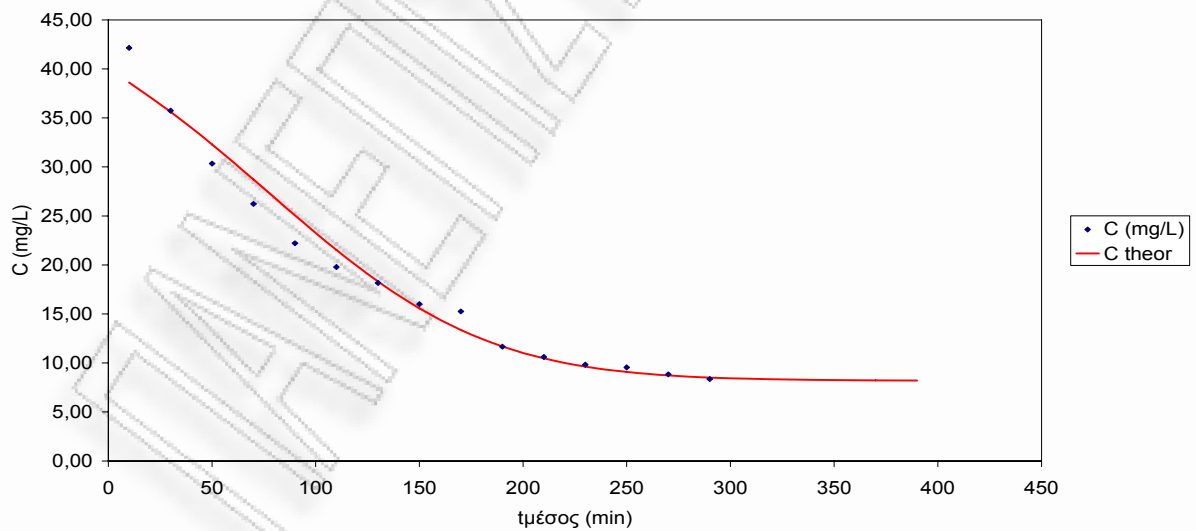
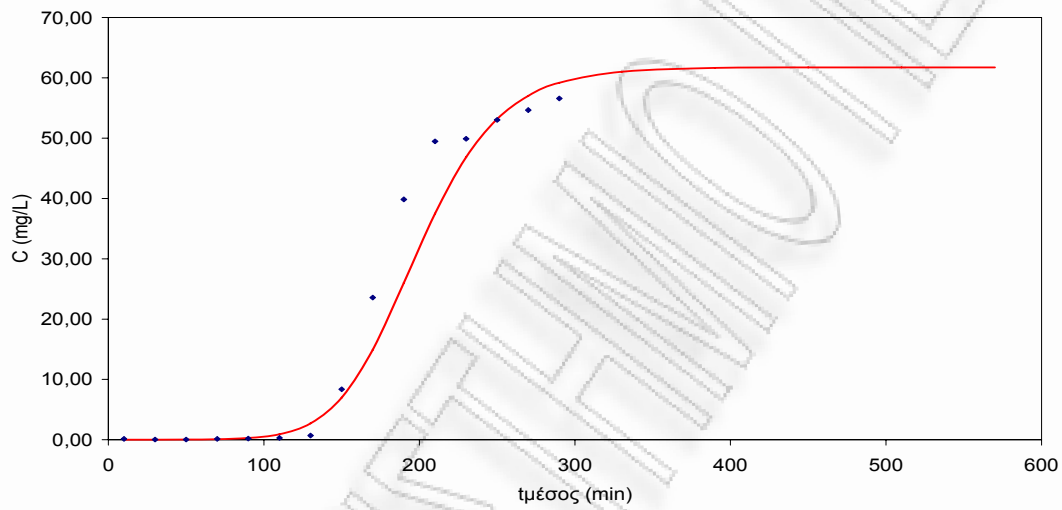
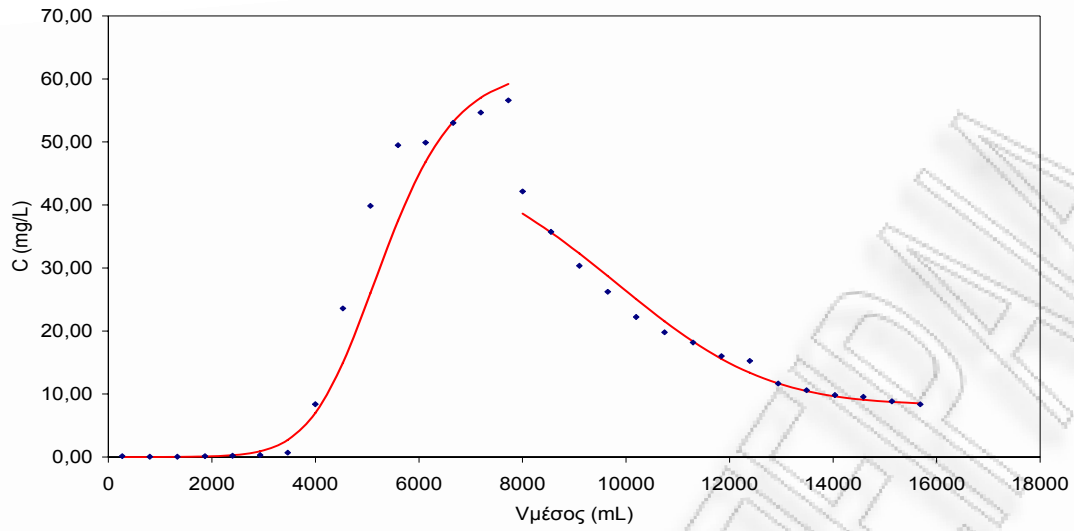
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,1125N  $H_2SO_4$





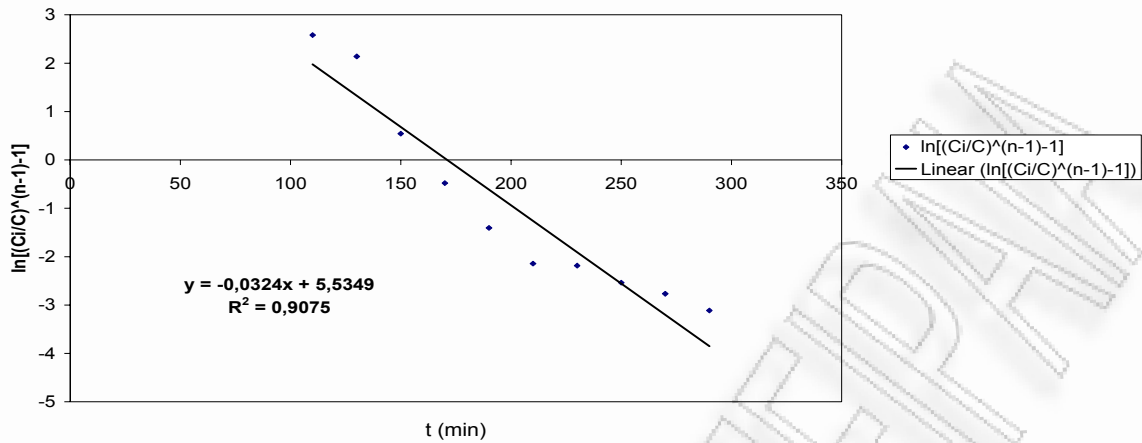






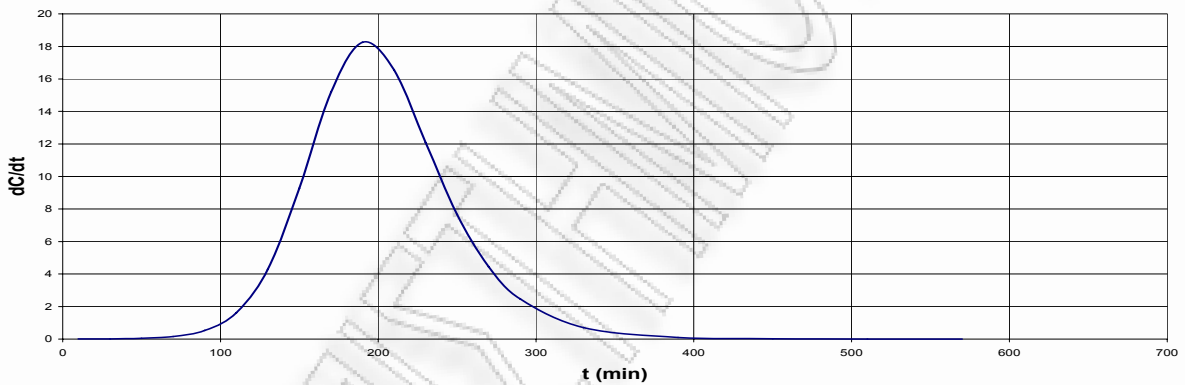
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 1h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



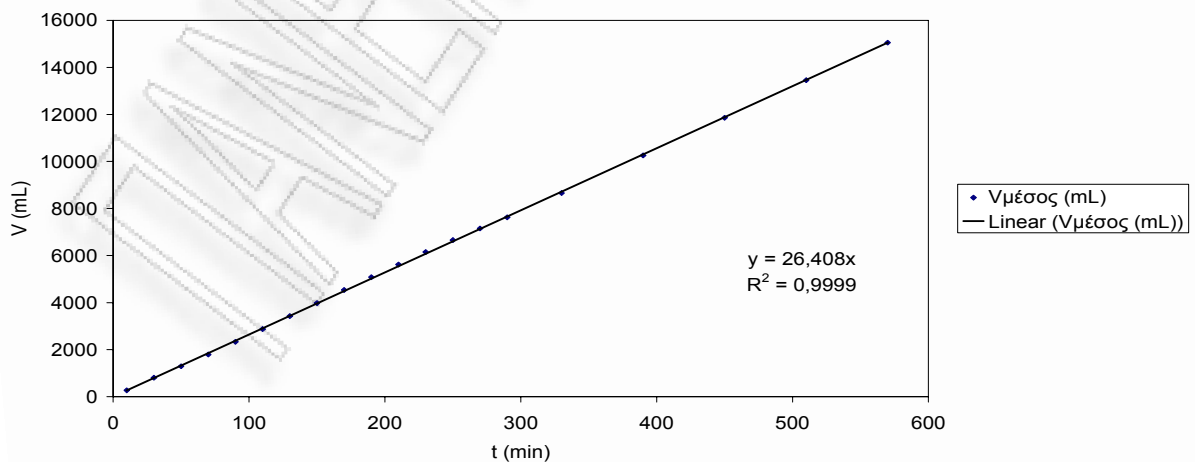
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



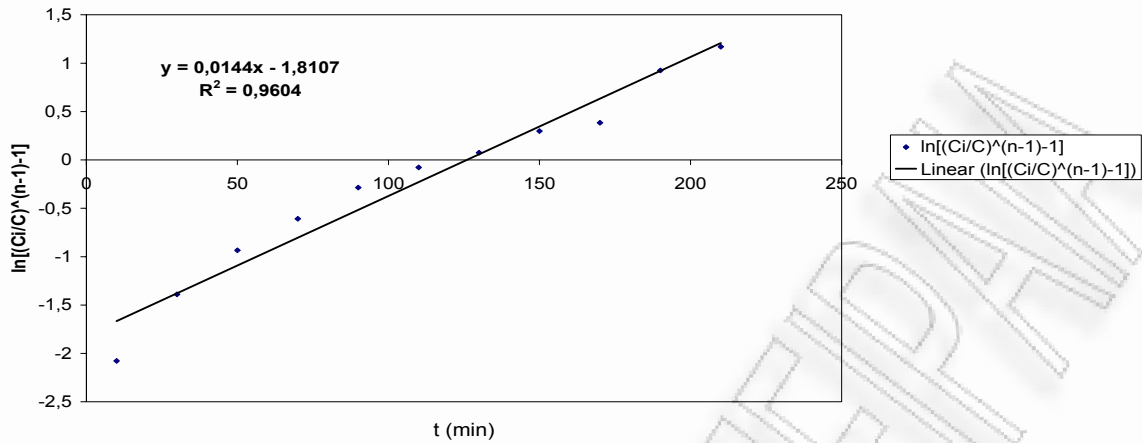
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή



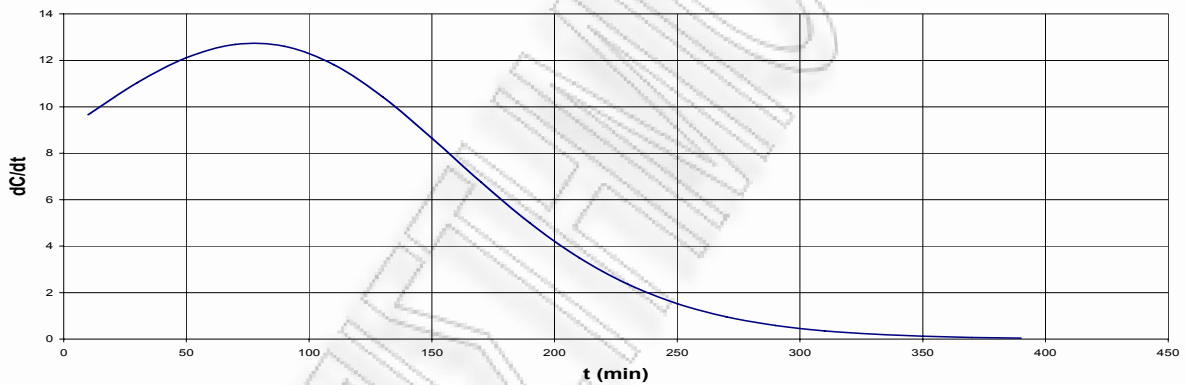
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



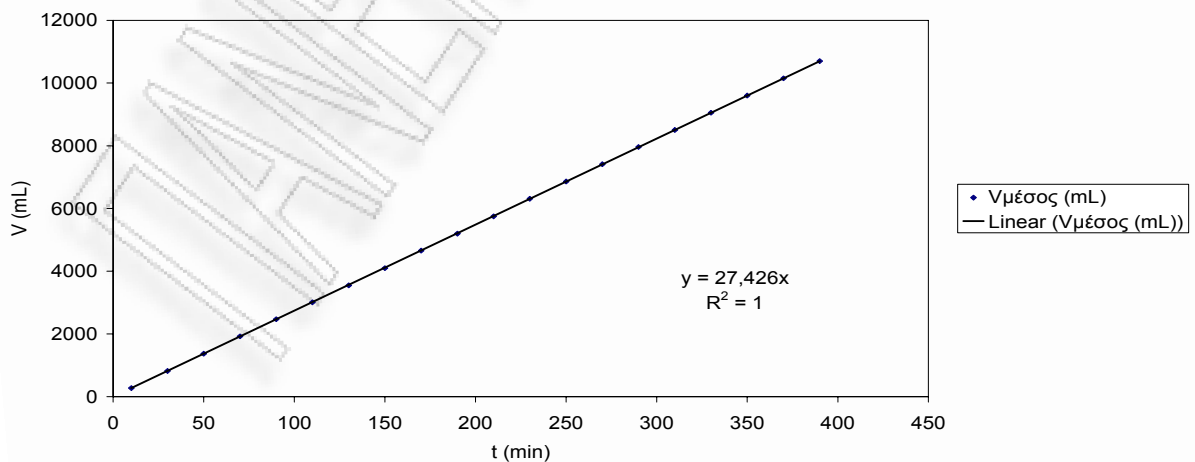
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,1125N  $H_2SO_4$

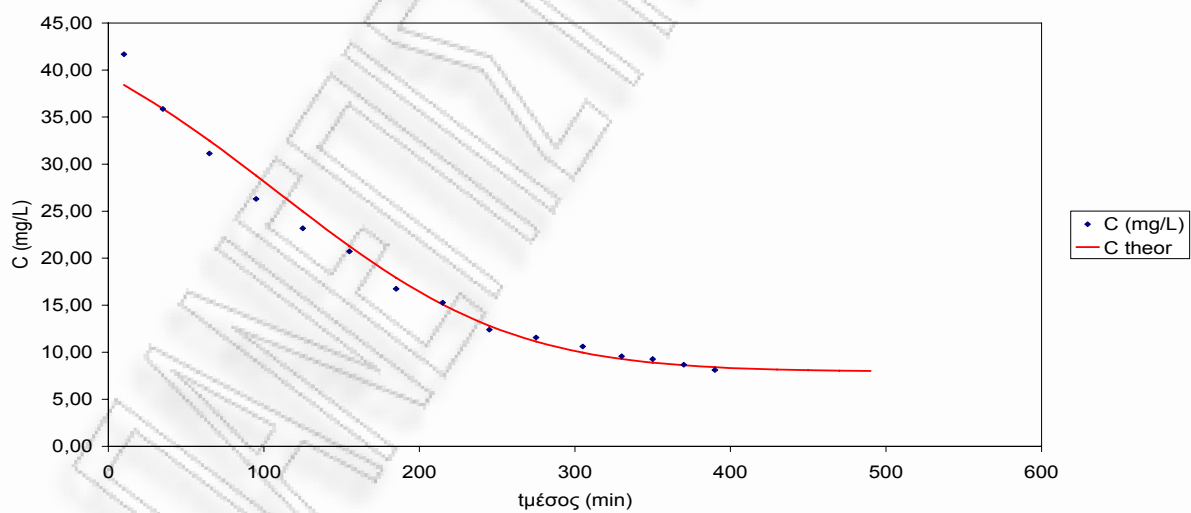
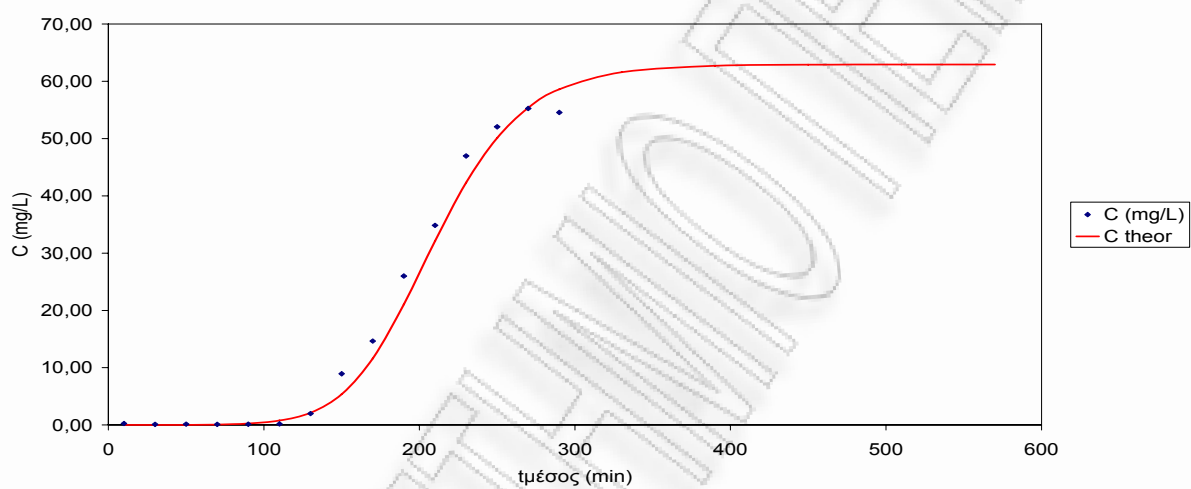
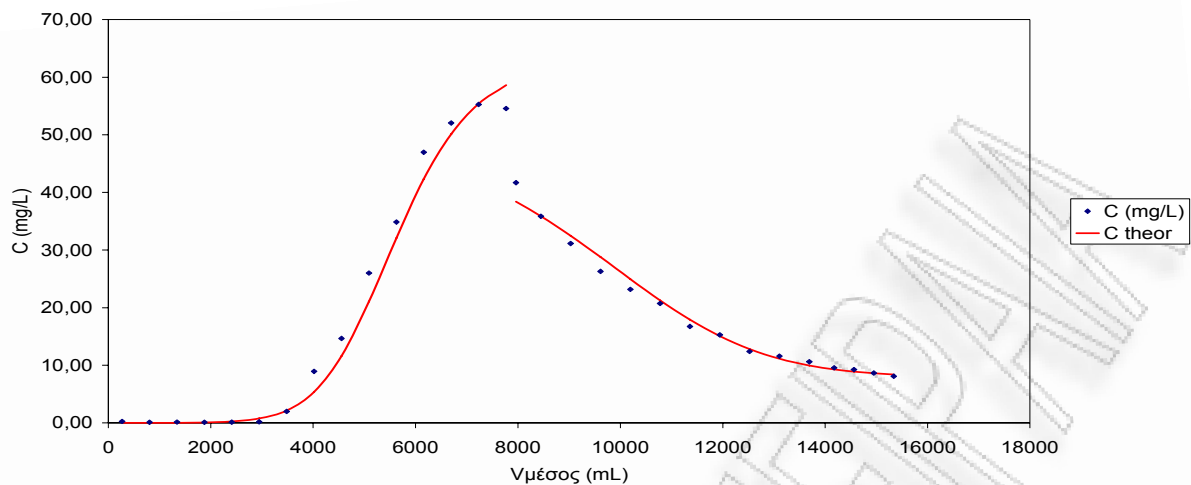
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h. 0,1125N  $H_2SO_4$

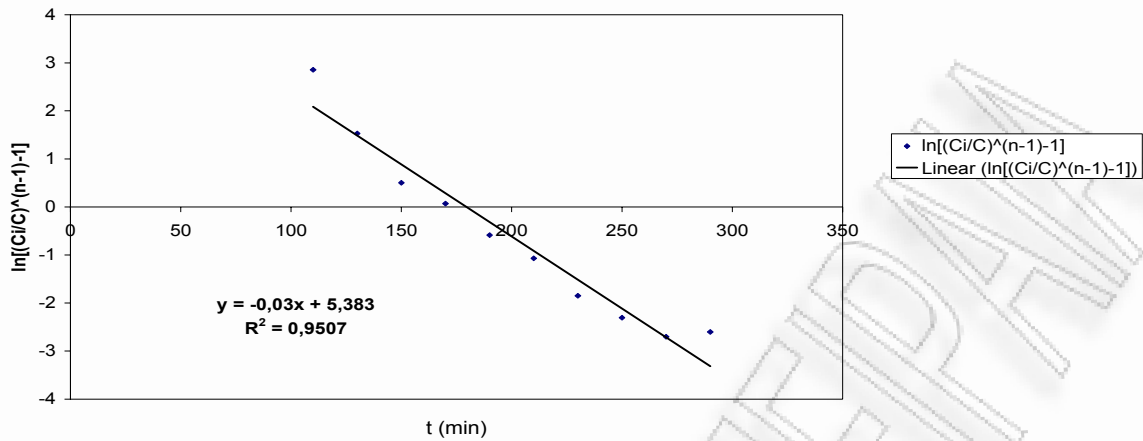






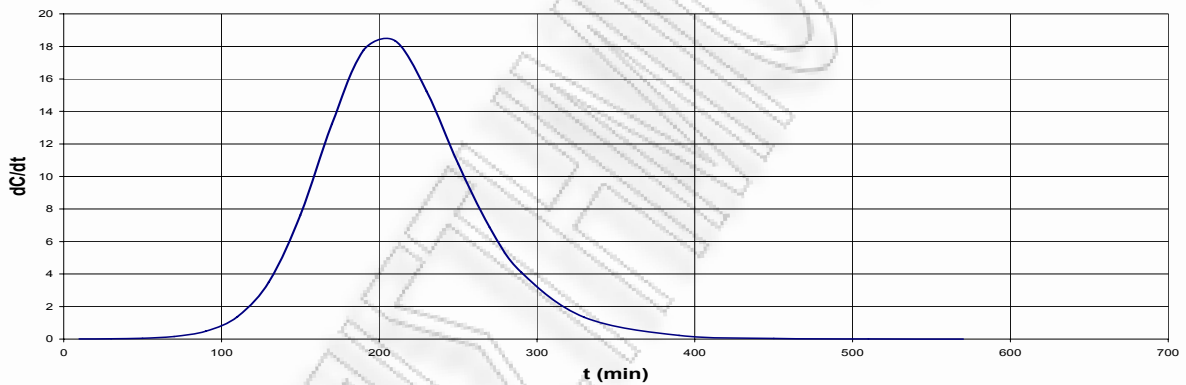
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφισης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 1h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



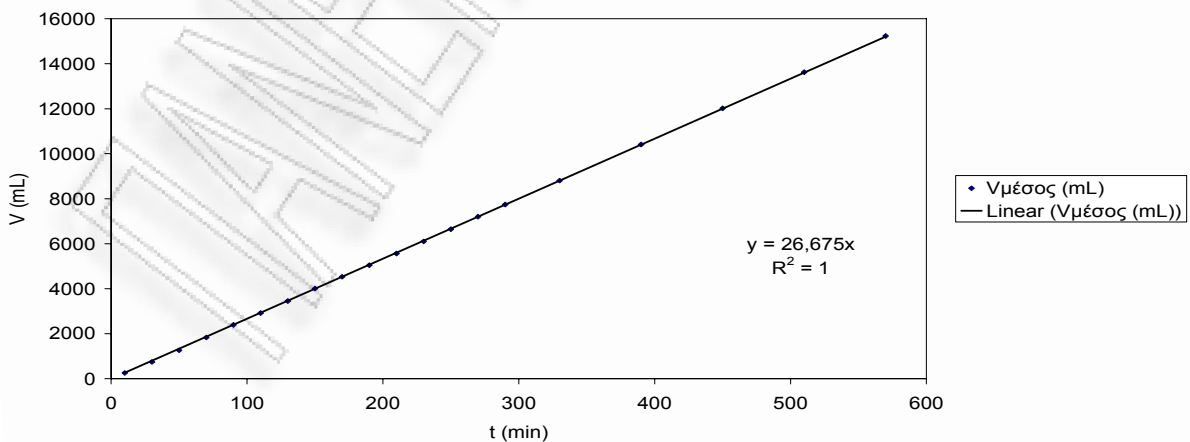
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,1125N  $H_2SO_4$

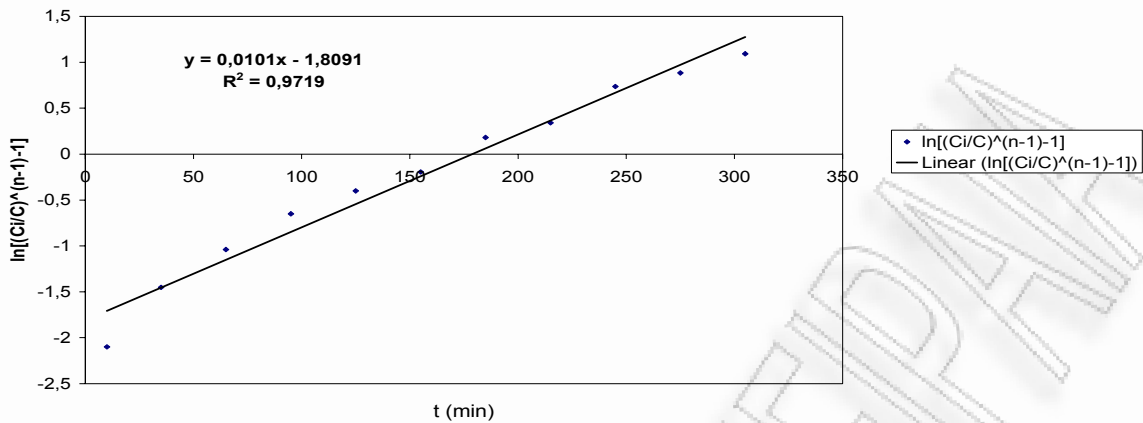
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,1125N  $H_2SO_4$

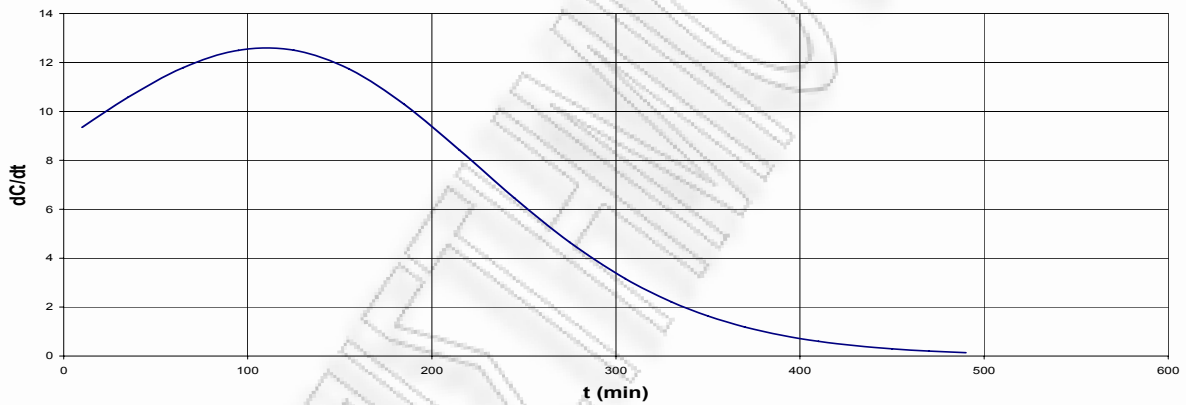


Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



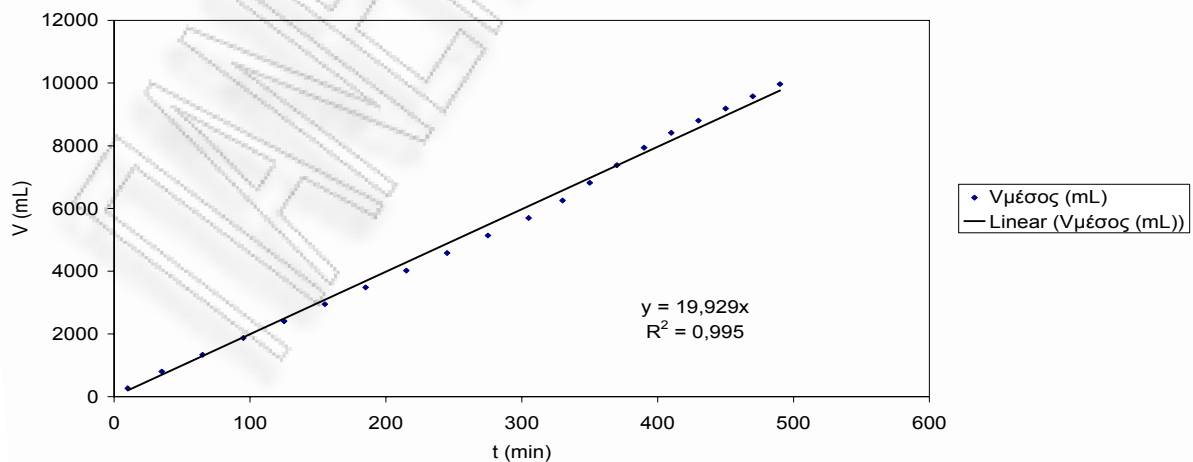
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,1125N  $H_2SO_4$

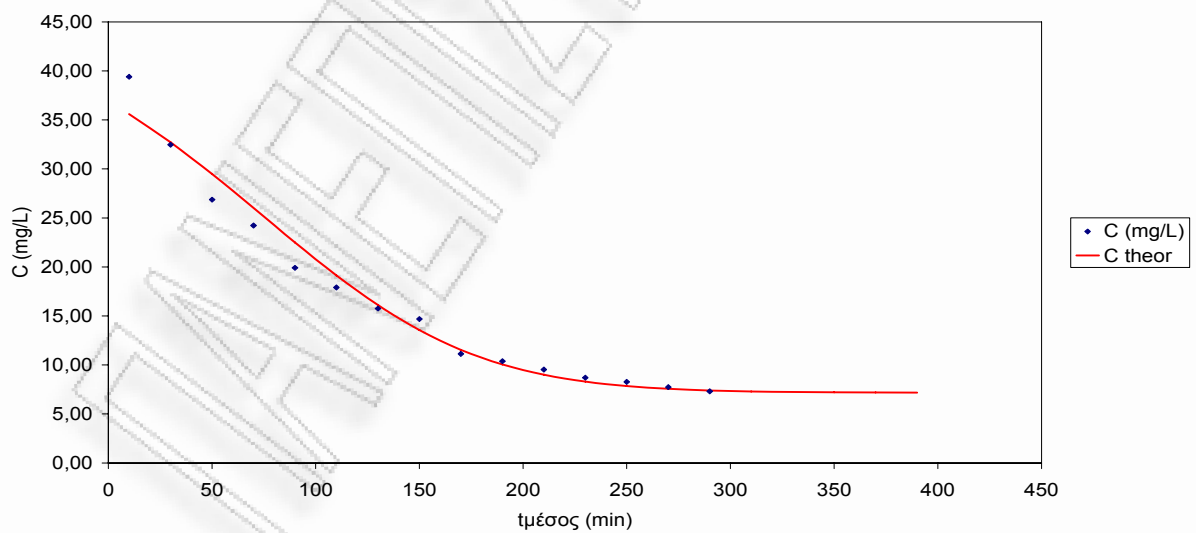
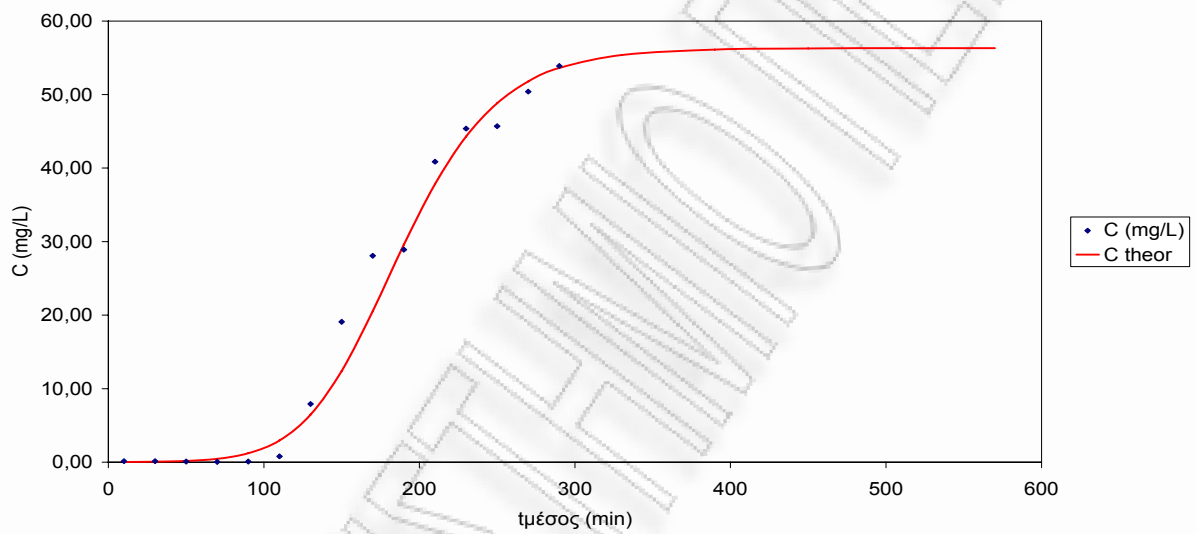
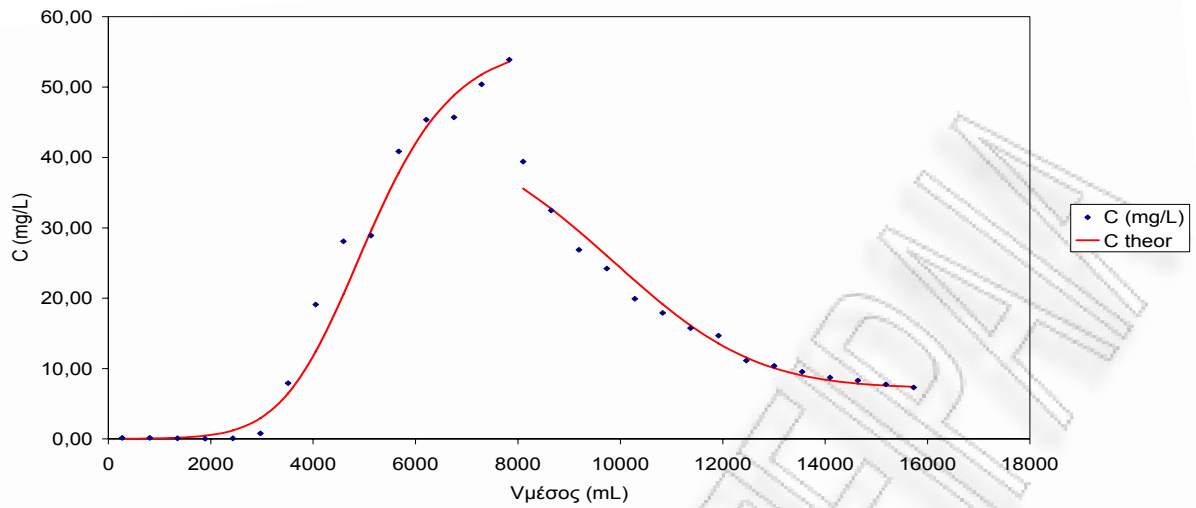
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h. 0,1125N  $H_2SO_4$

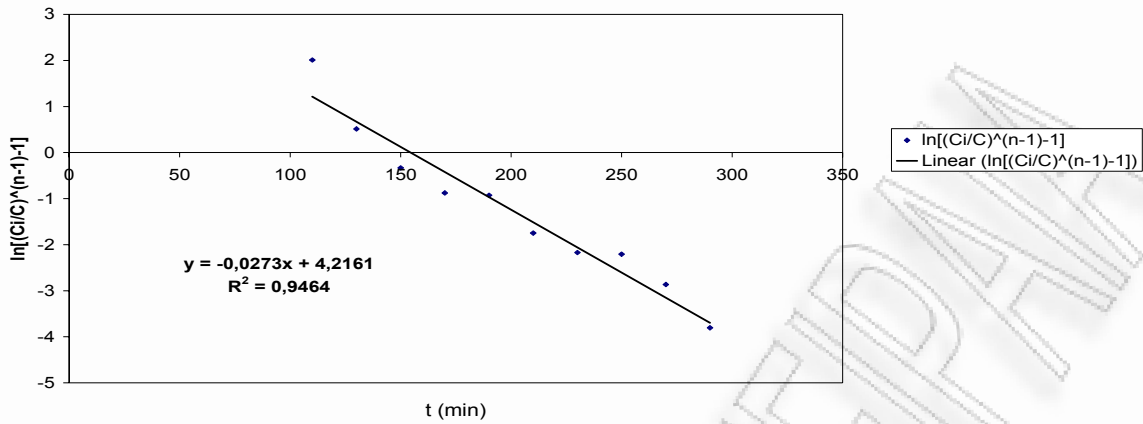






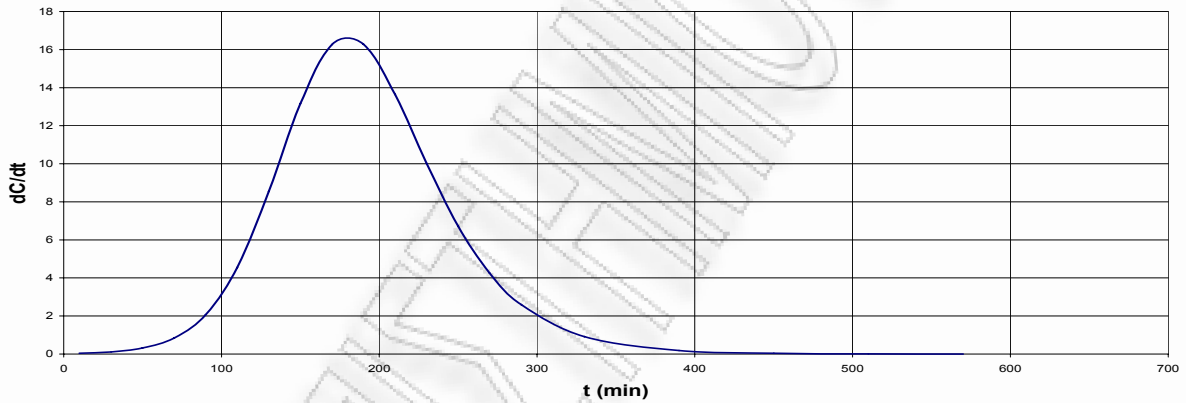
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 2h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



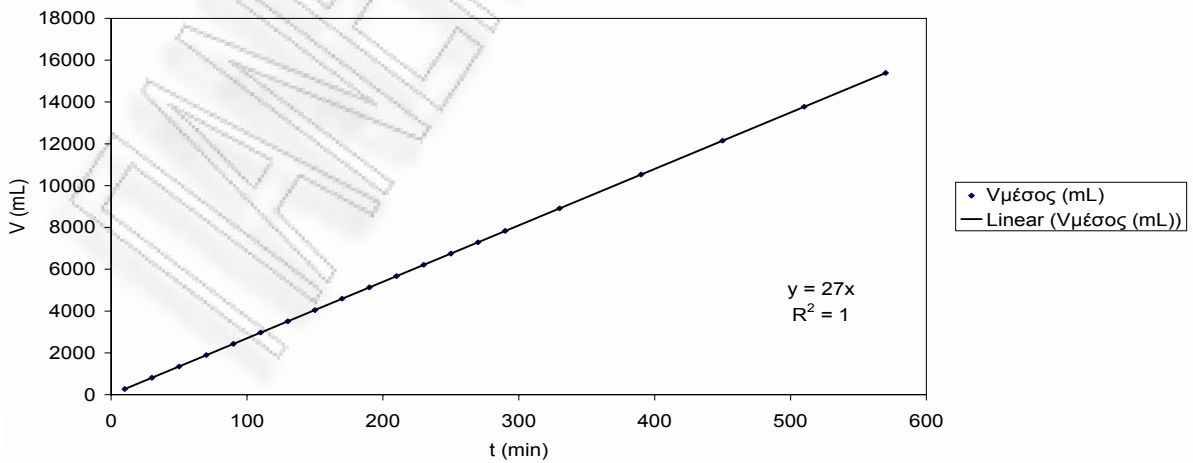
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



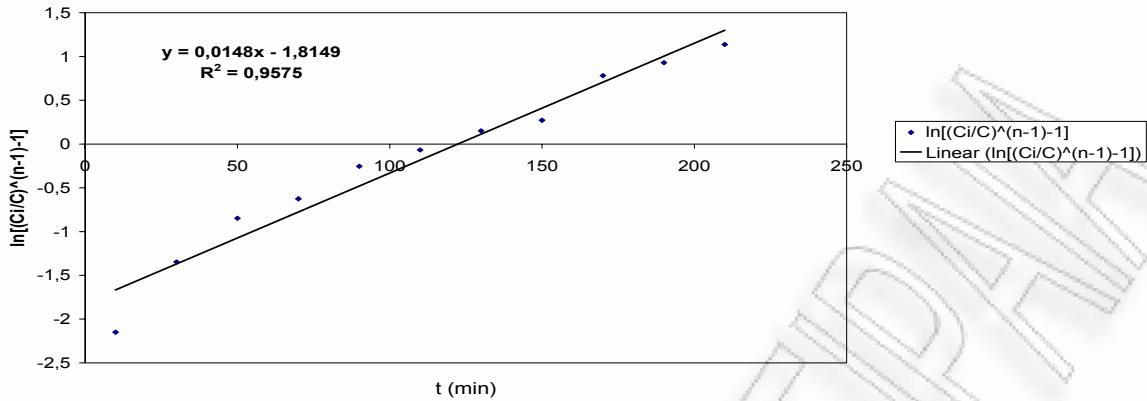
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή



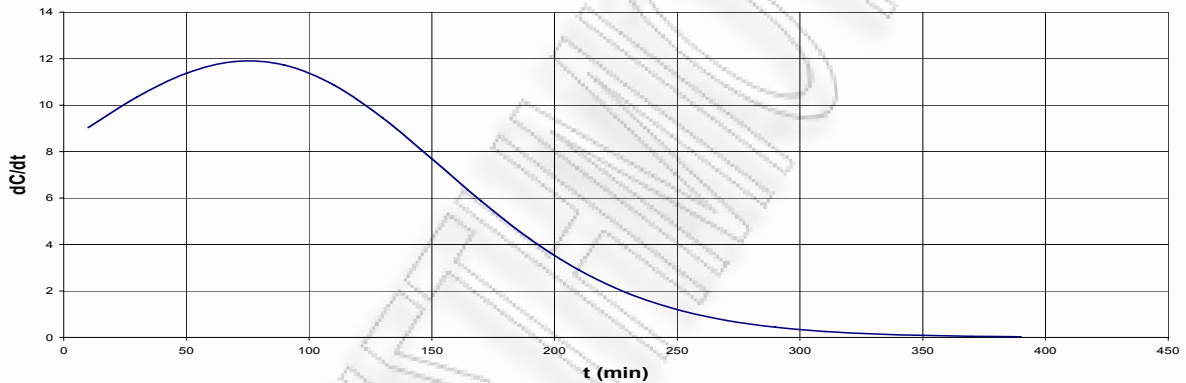
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



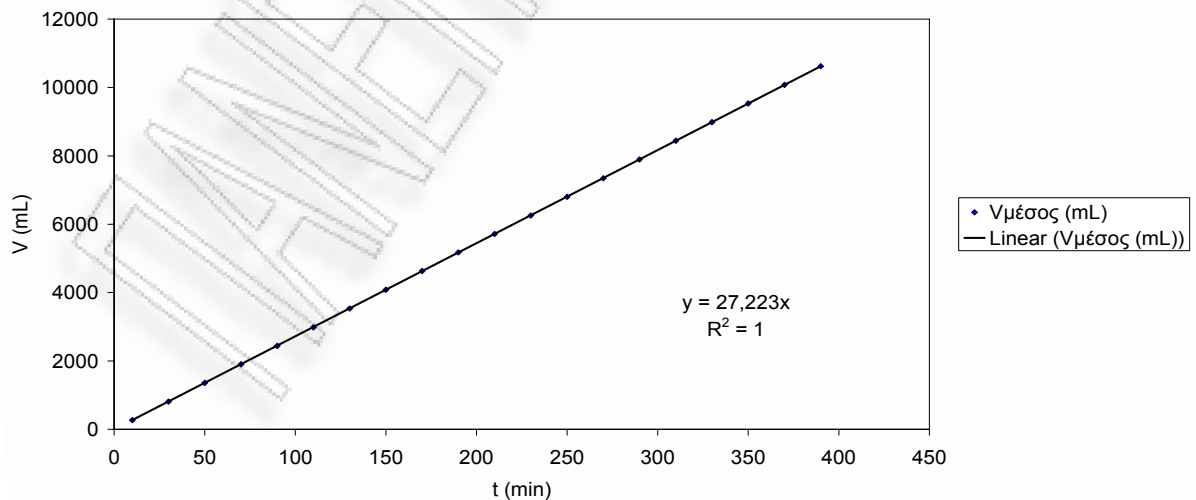
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή

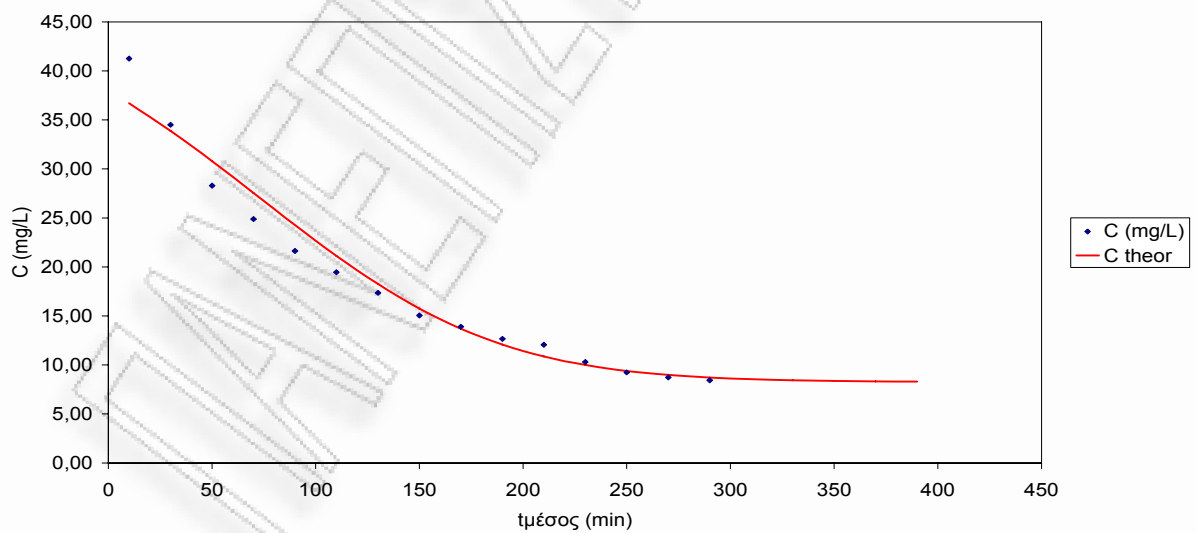
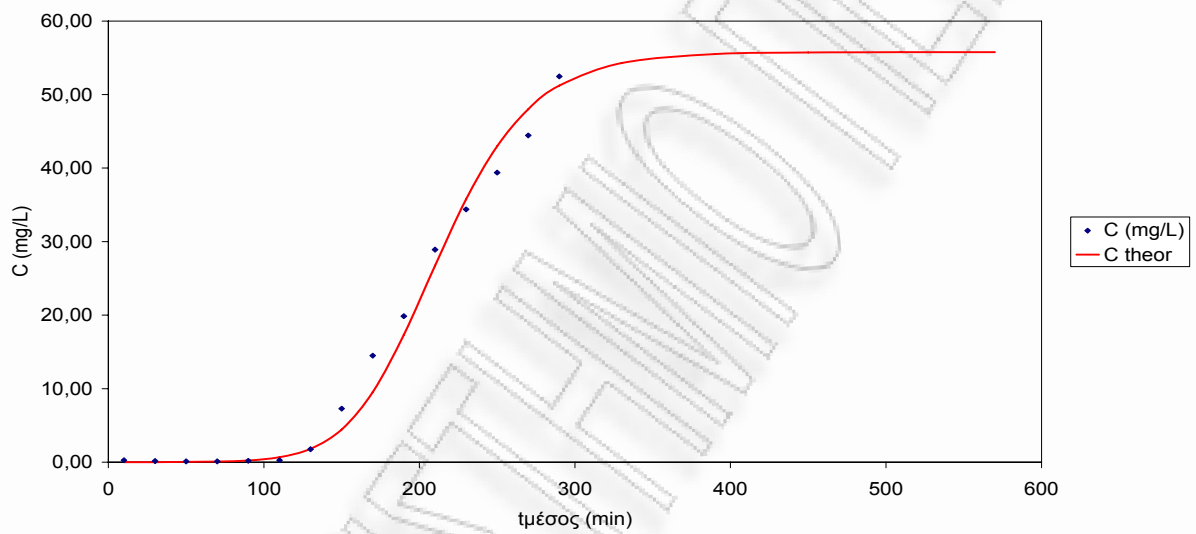
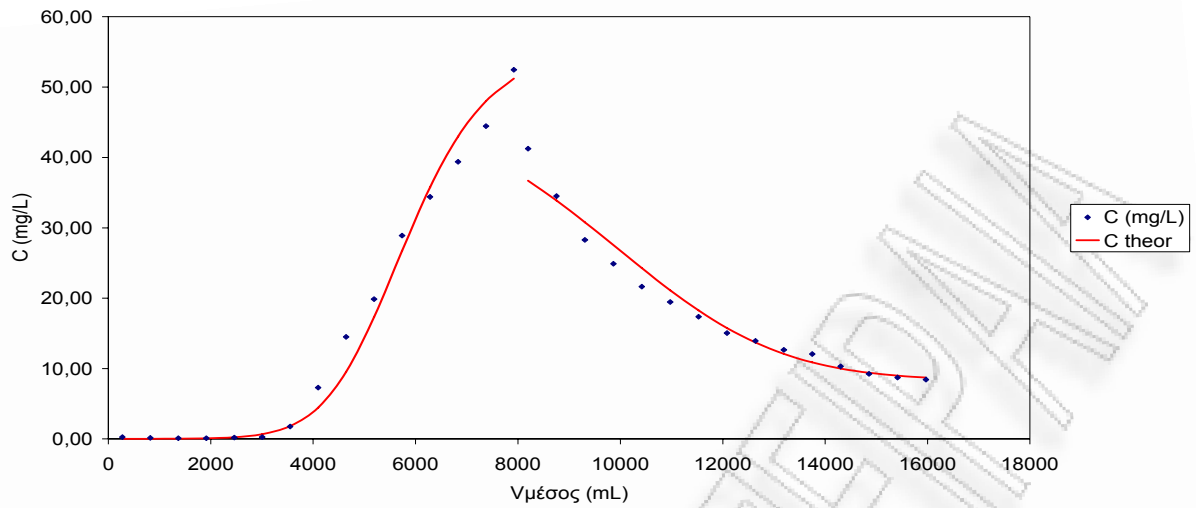


Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h. 0,1125N  $H_2SO_4$



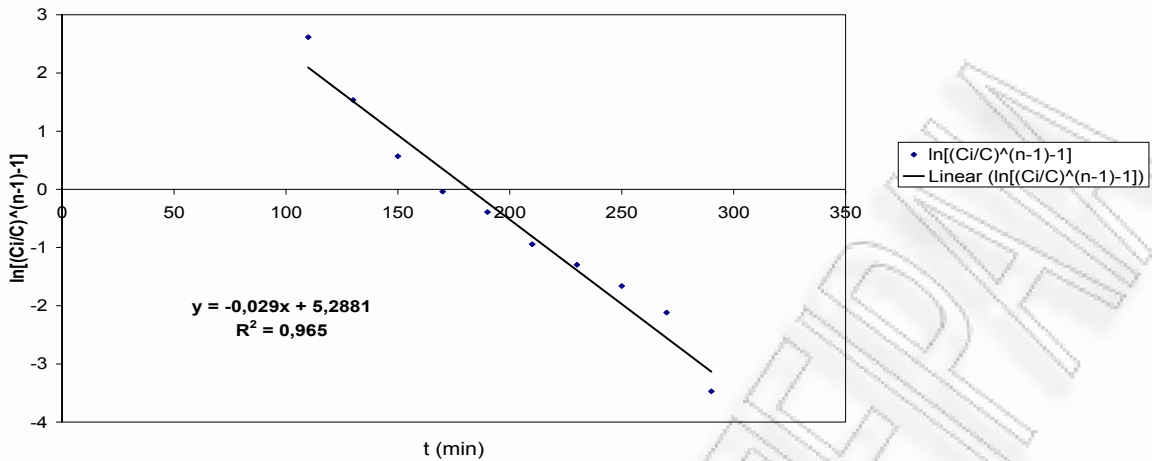






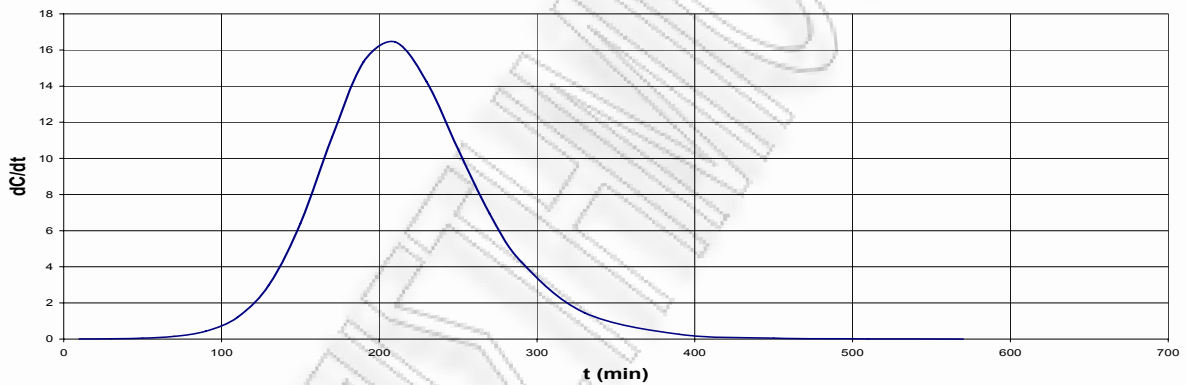
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 2h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



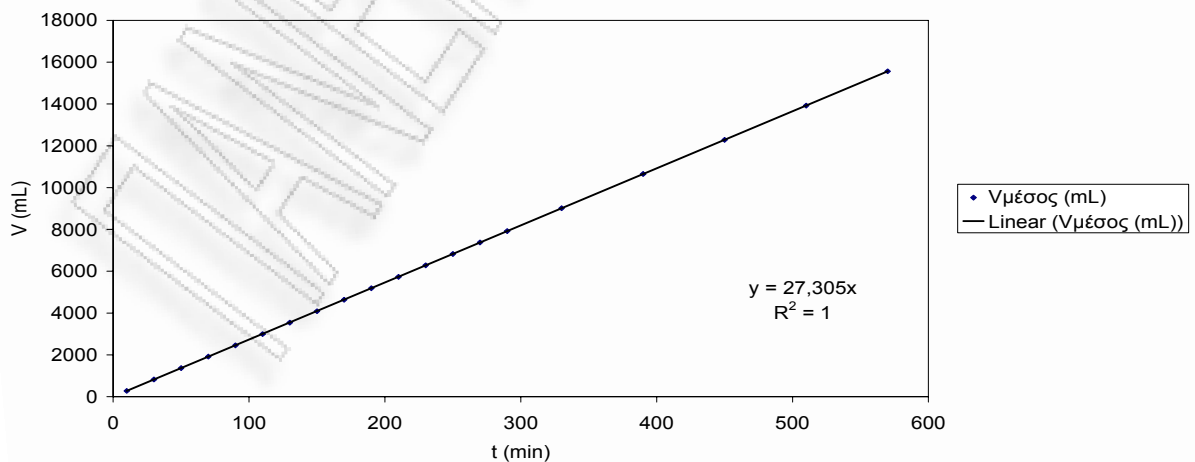
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



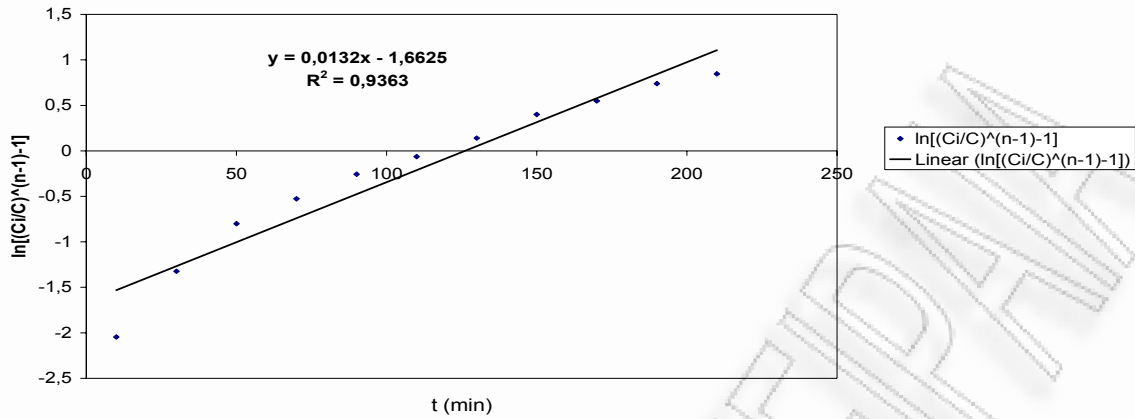
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή



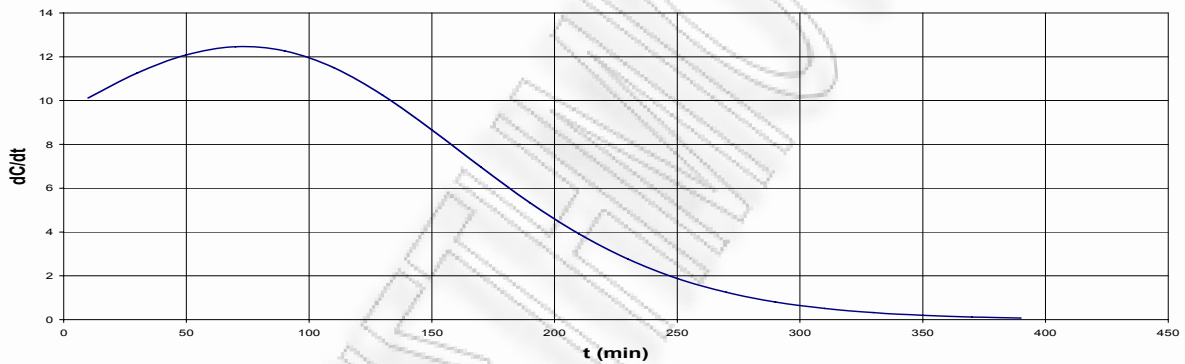
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



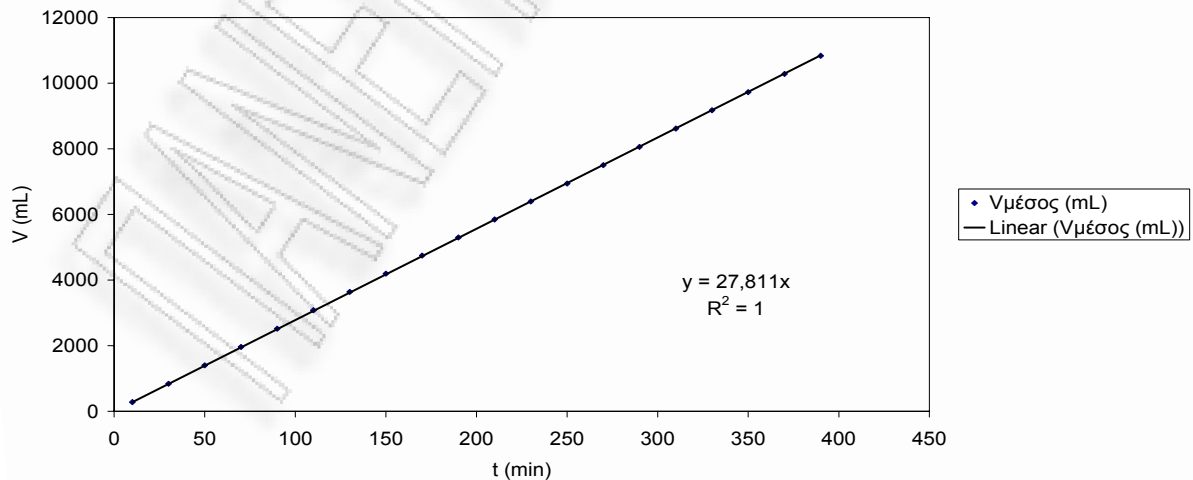
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,1125N  $H_2SO_4$

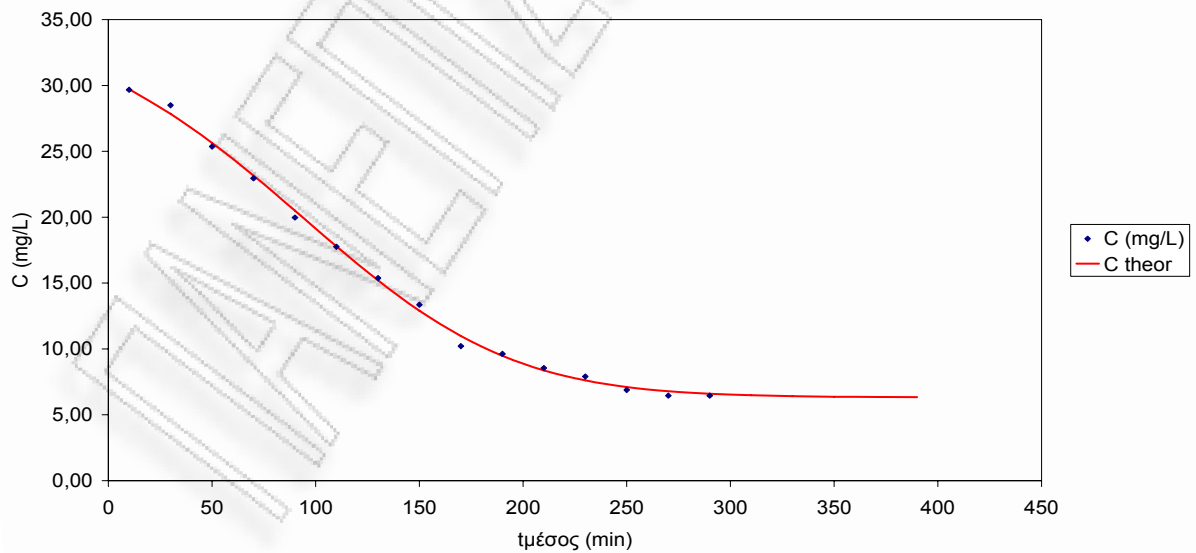
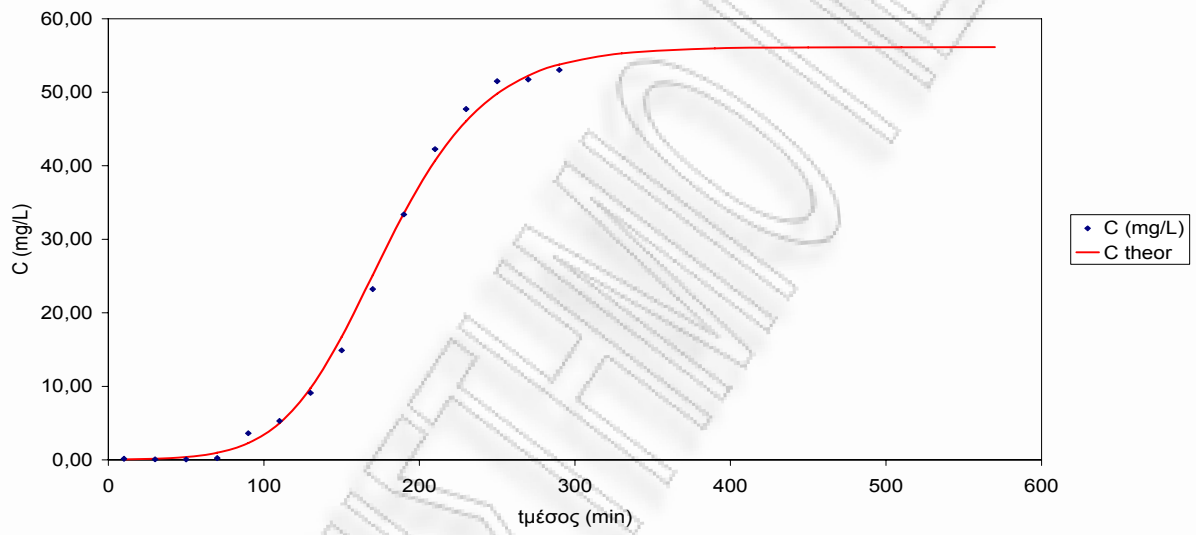
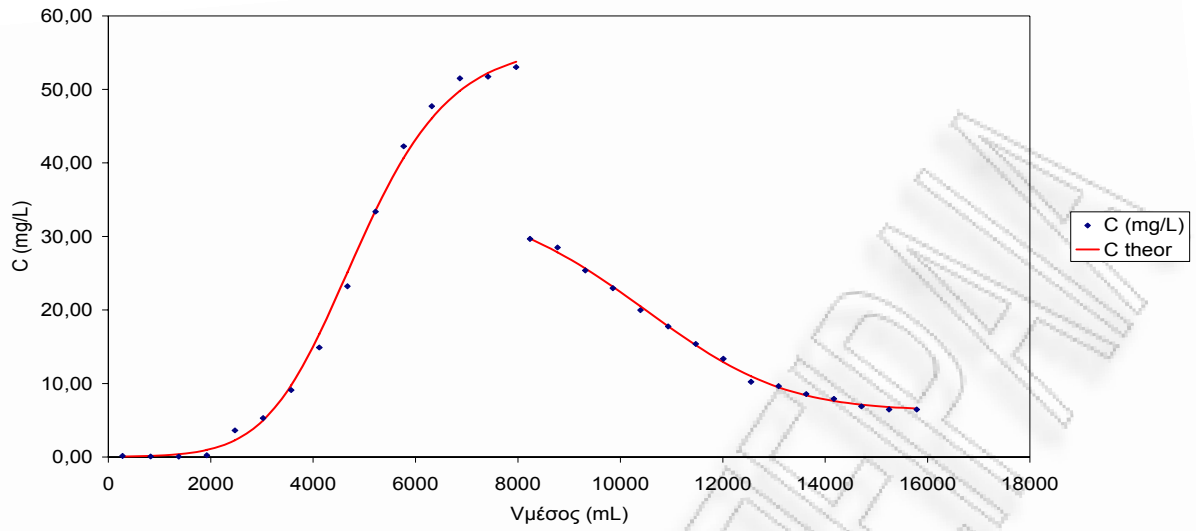
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h. 0,1125N  $H_2SO_4$

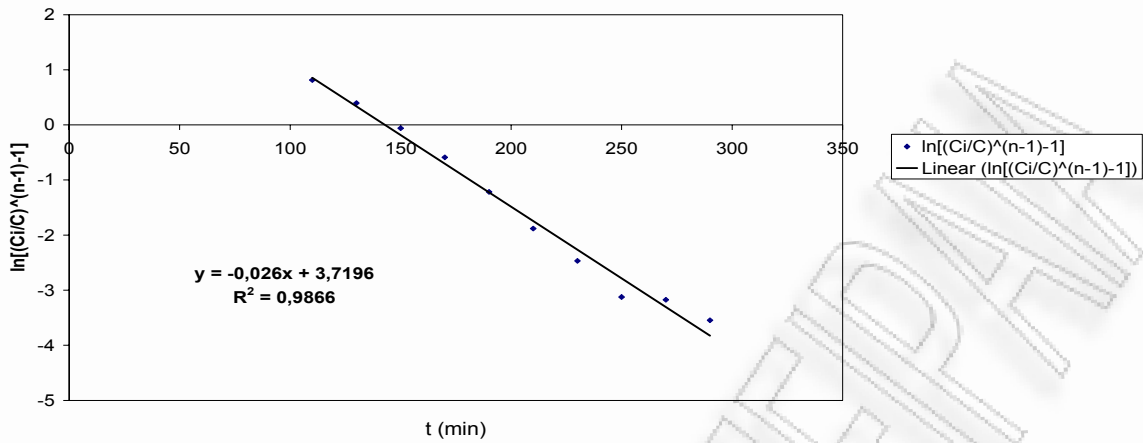






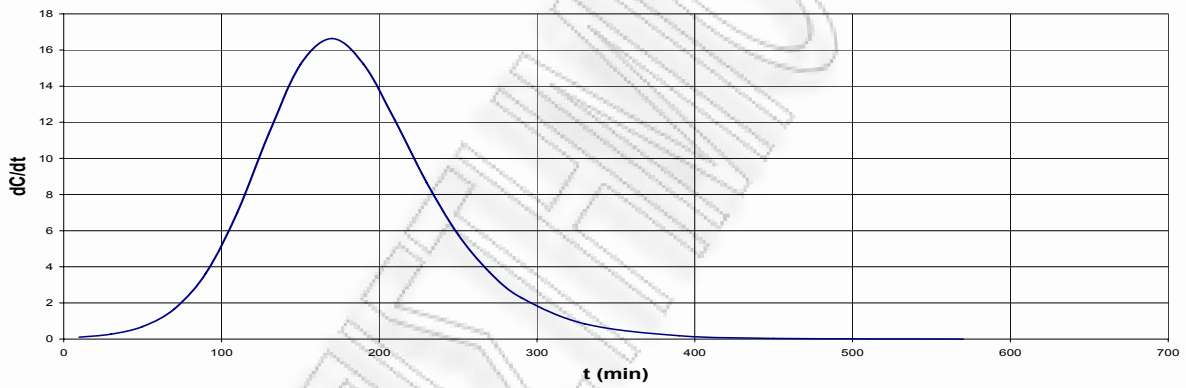
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



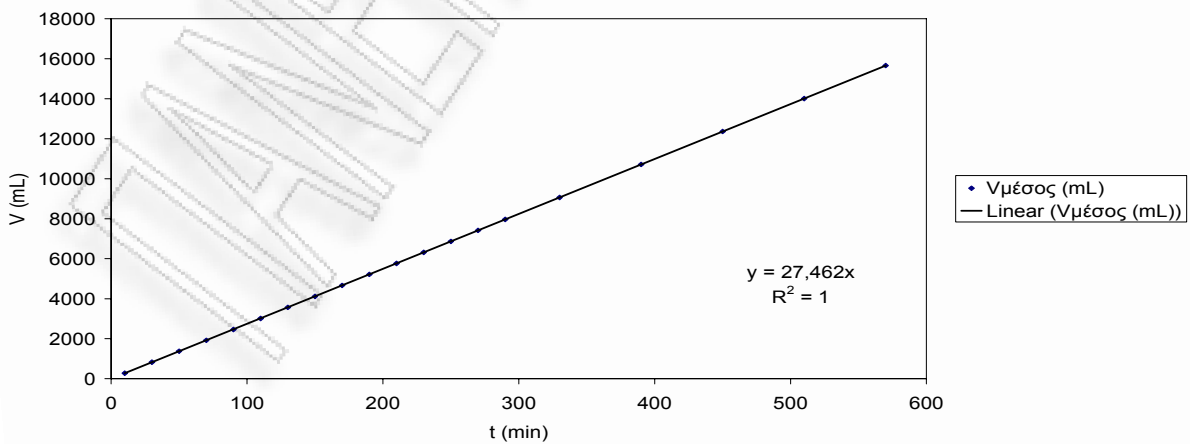
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



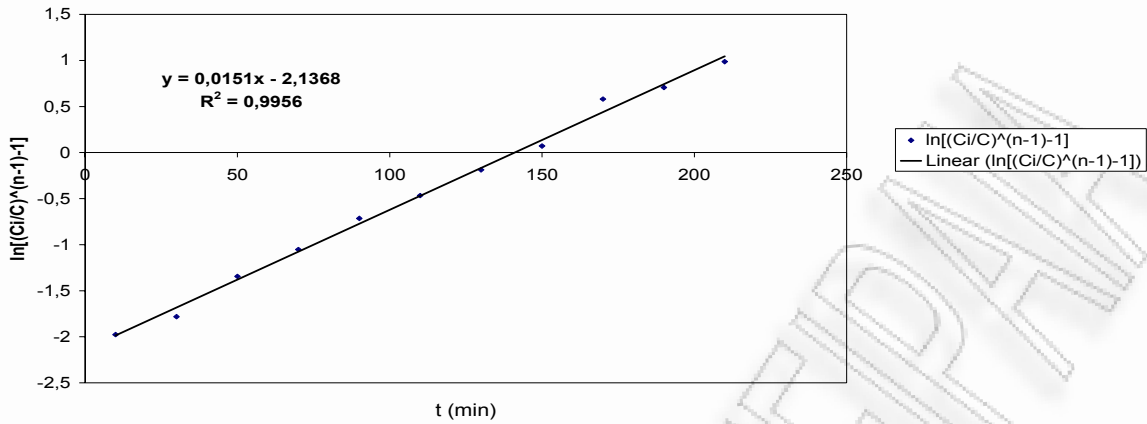
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή



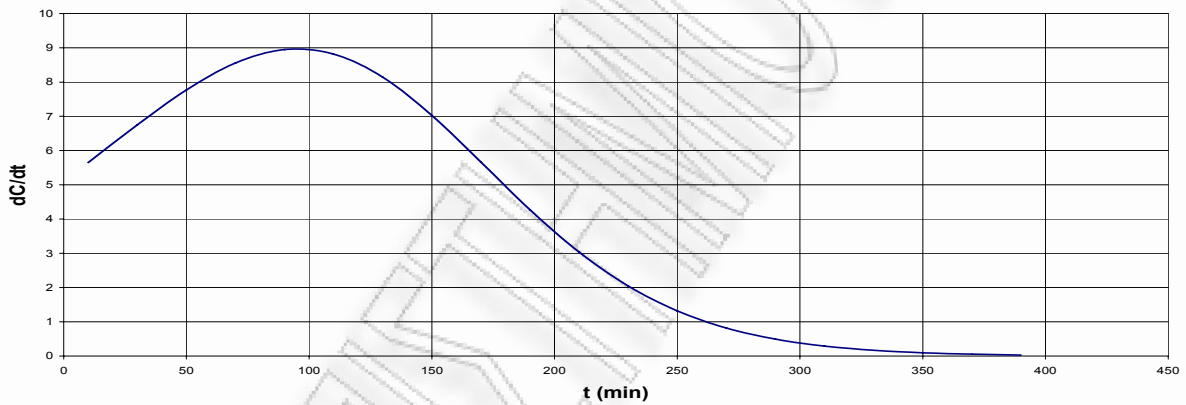
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



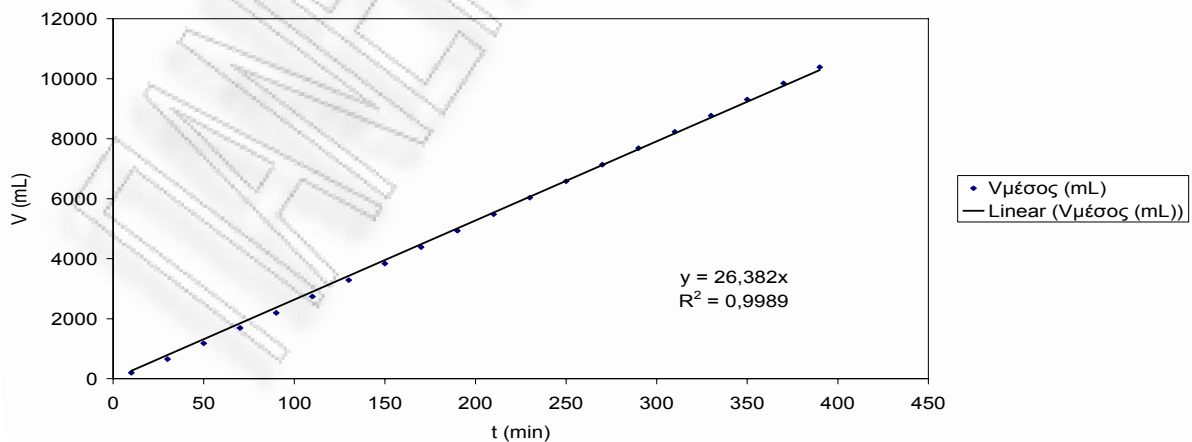
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή

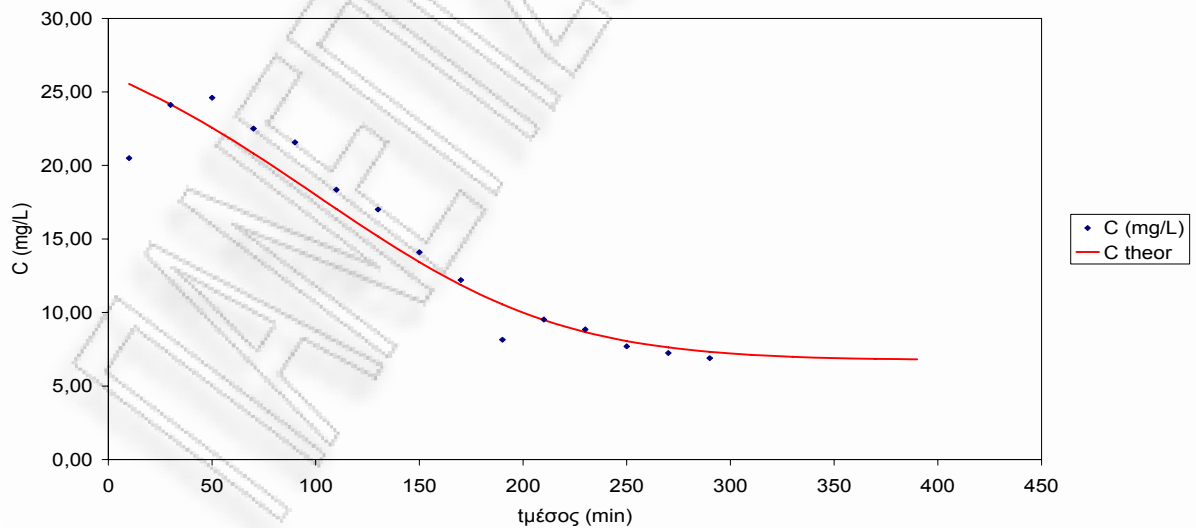
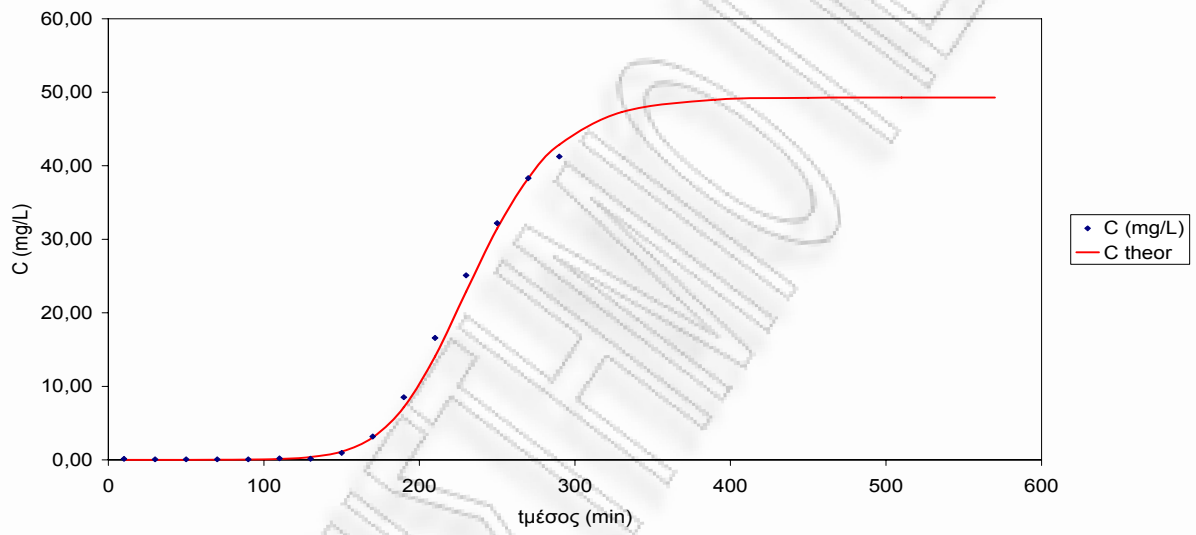
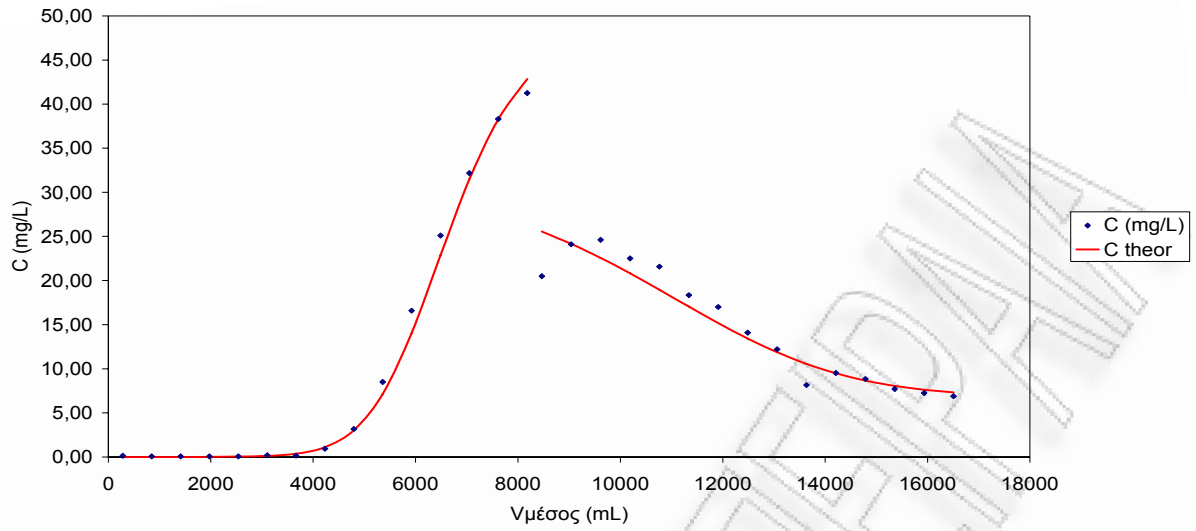


Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h. 0,1125N  $H_2SO_4$



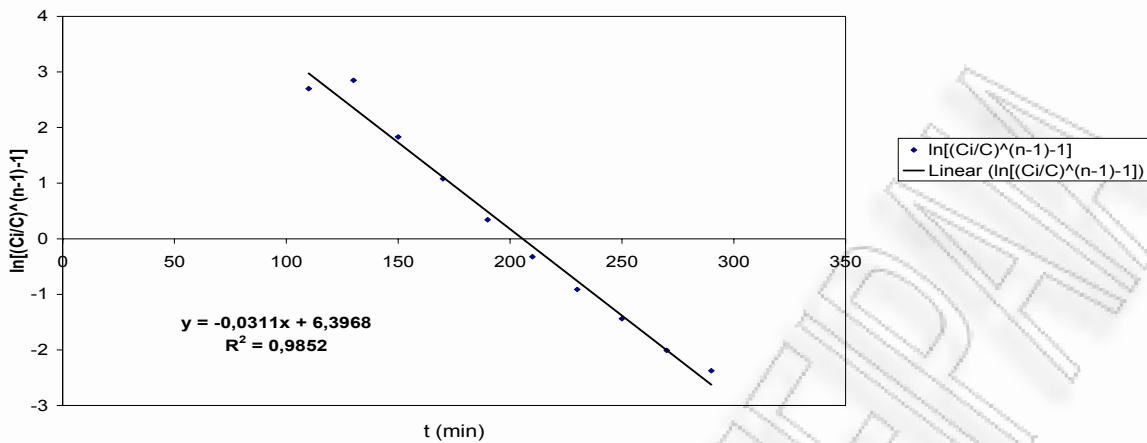






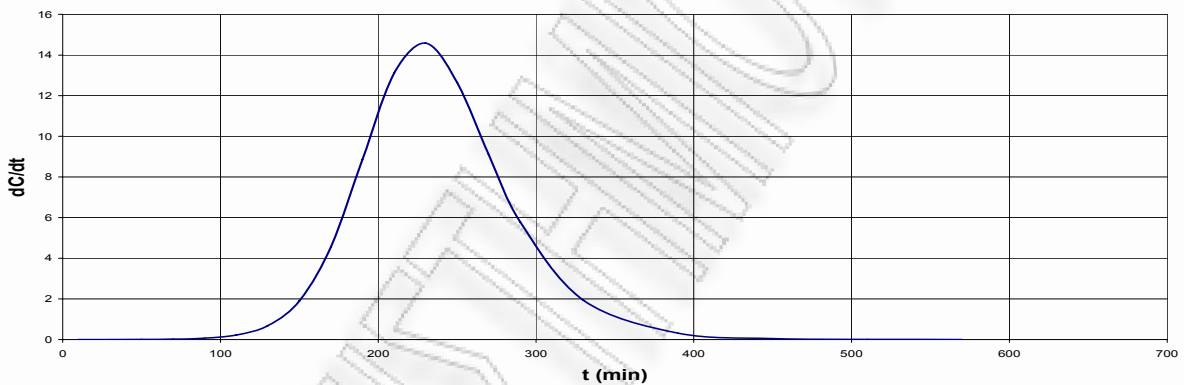
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



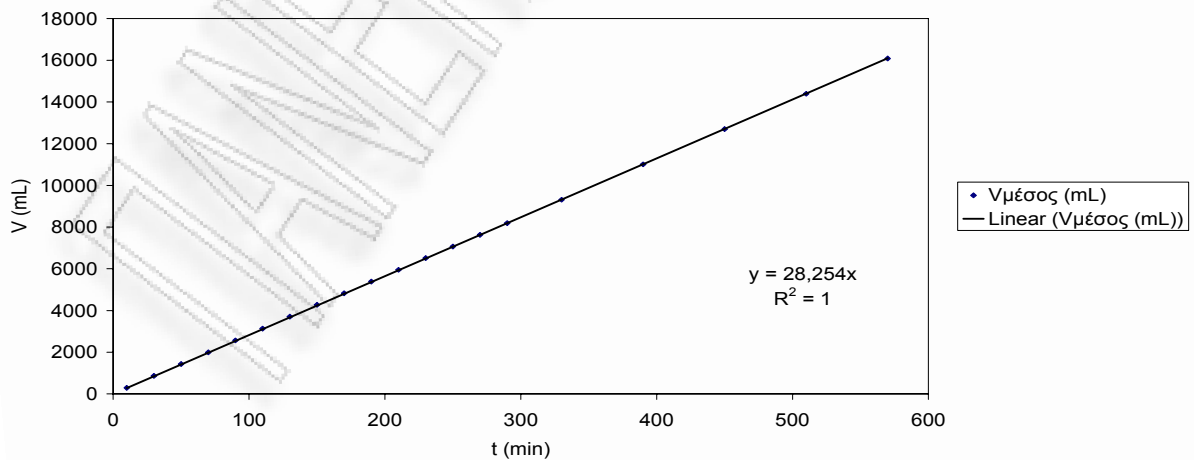
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



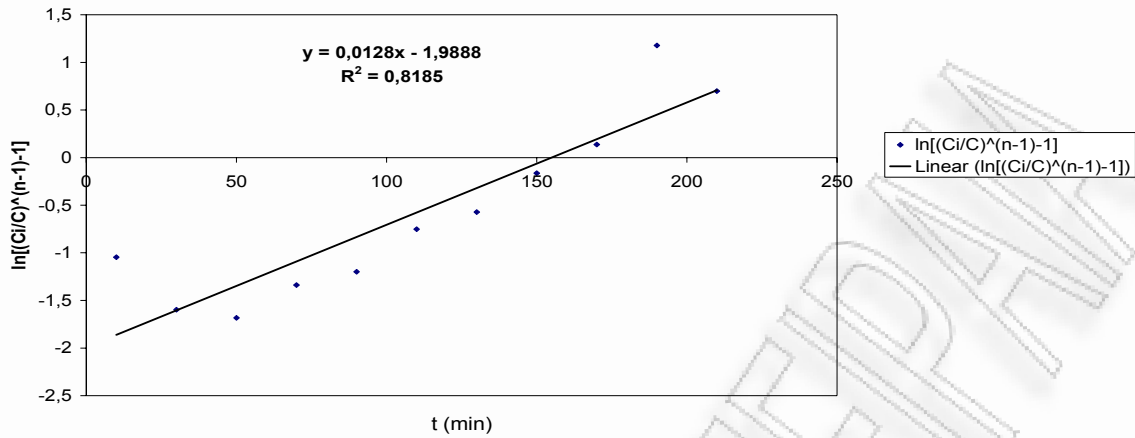
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή



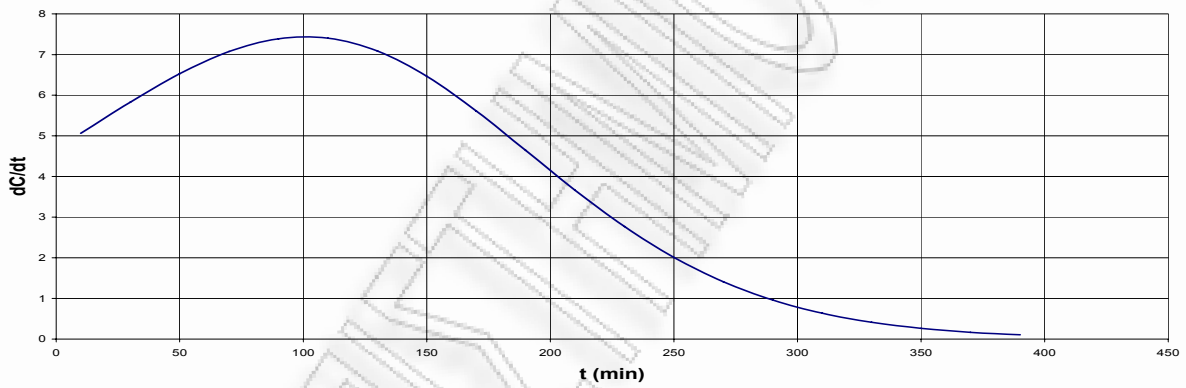
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



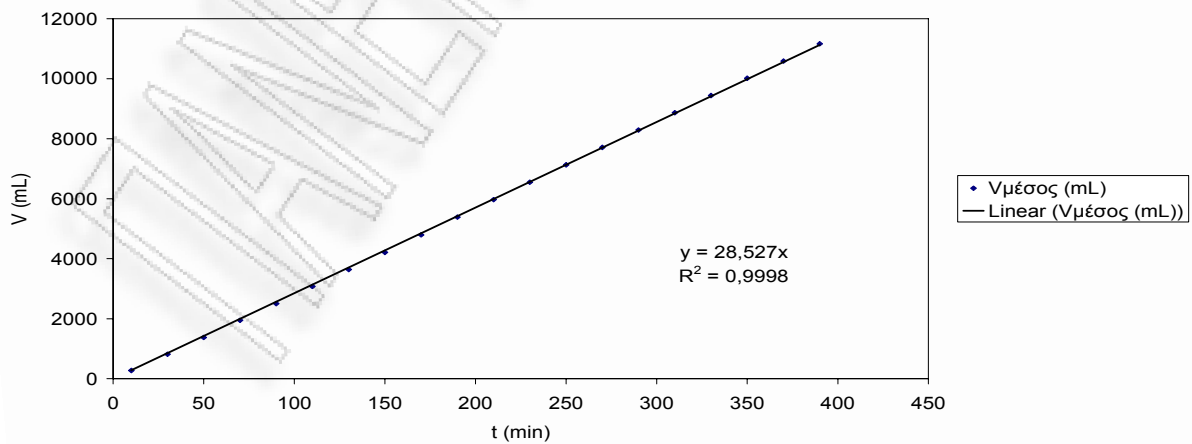
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

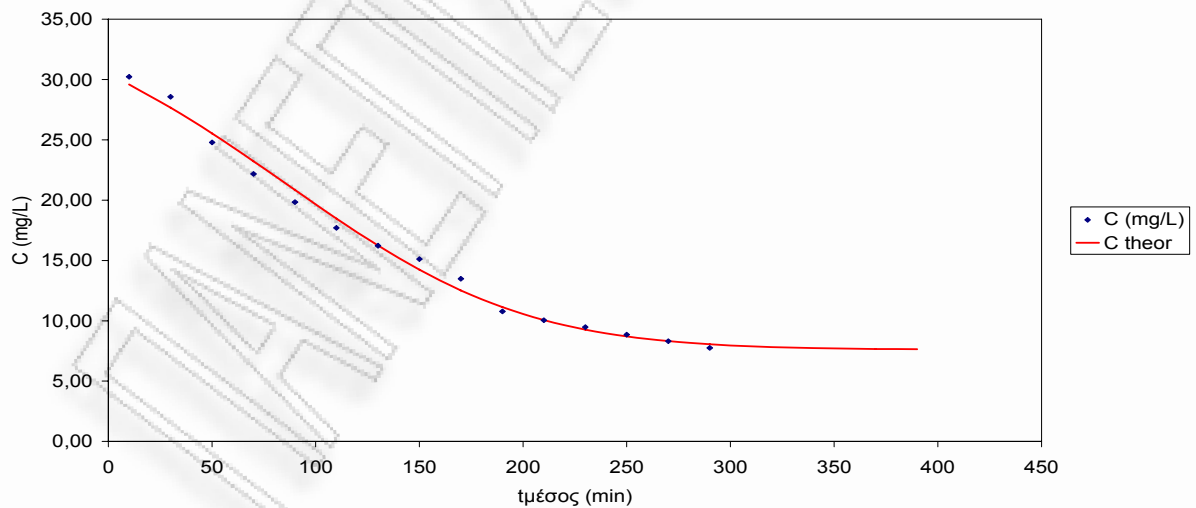
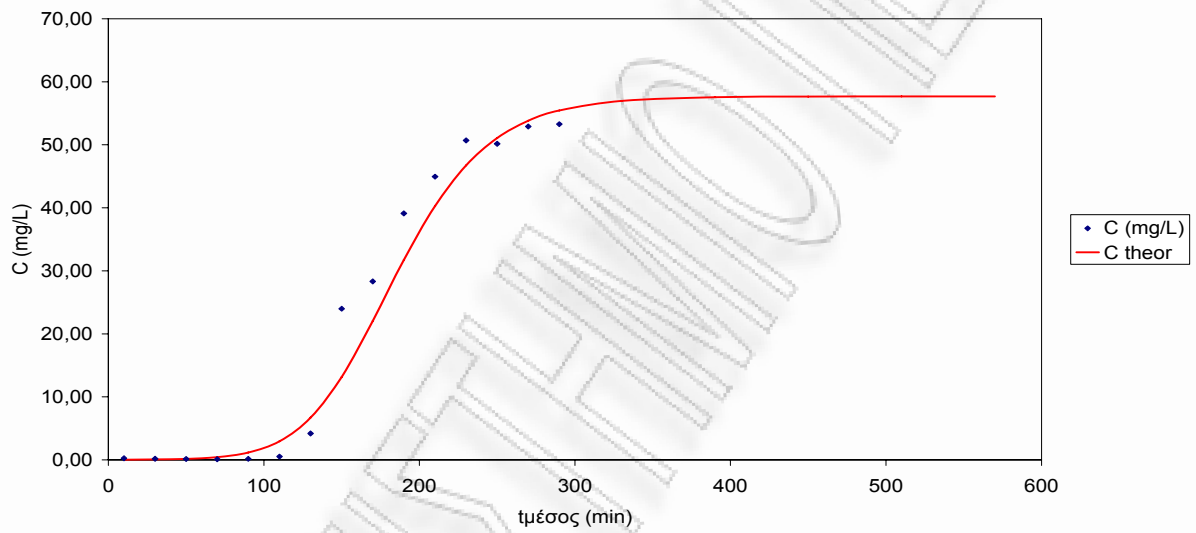
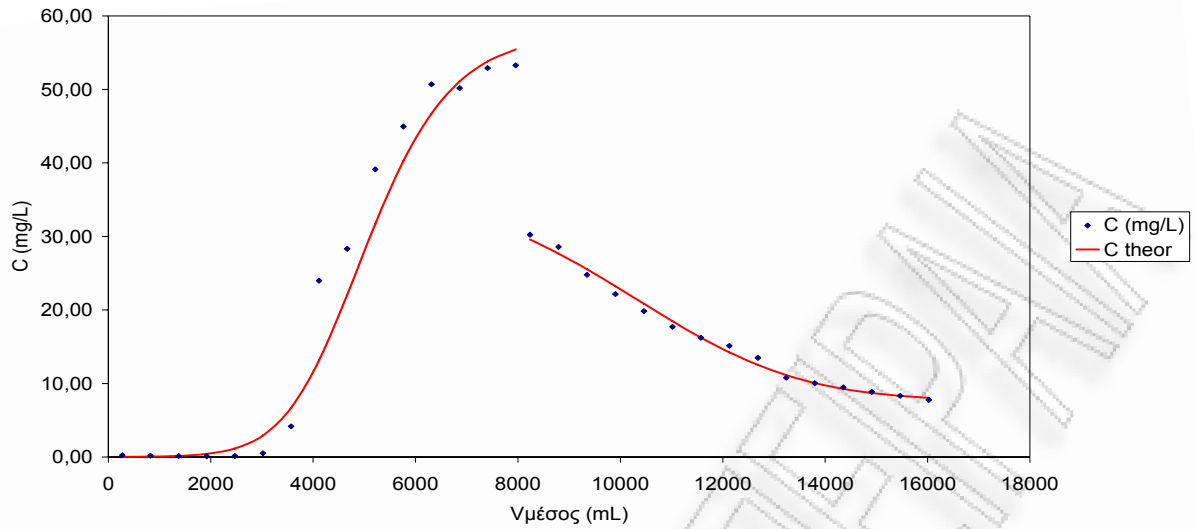
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$



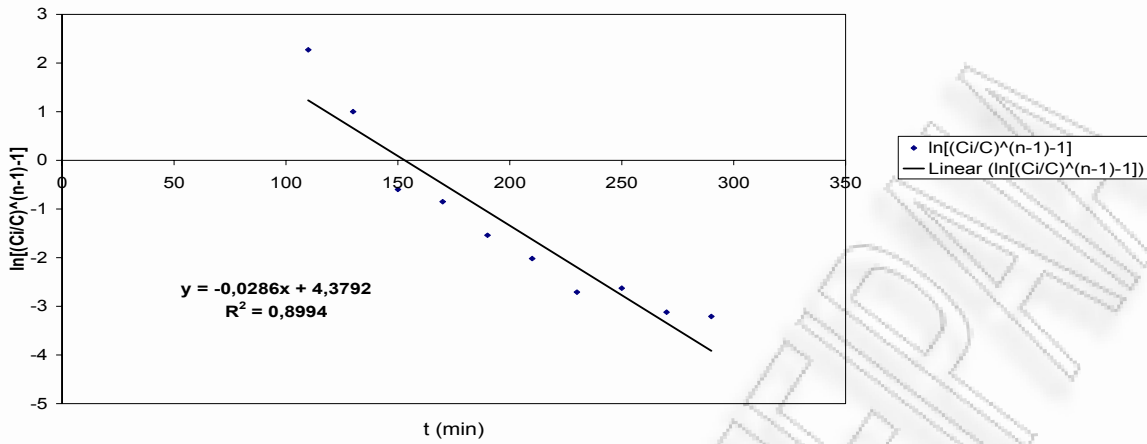




Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο  
 πριονίδι πεύκου 4h 0,1125N  $H_2SO_4$

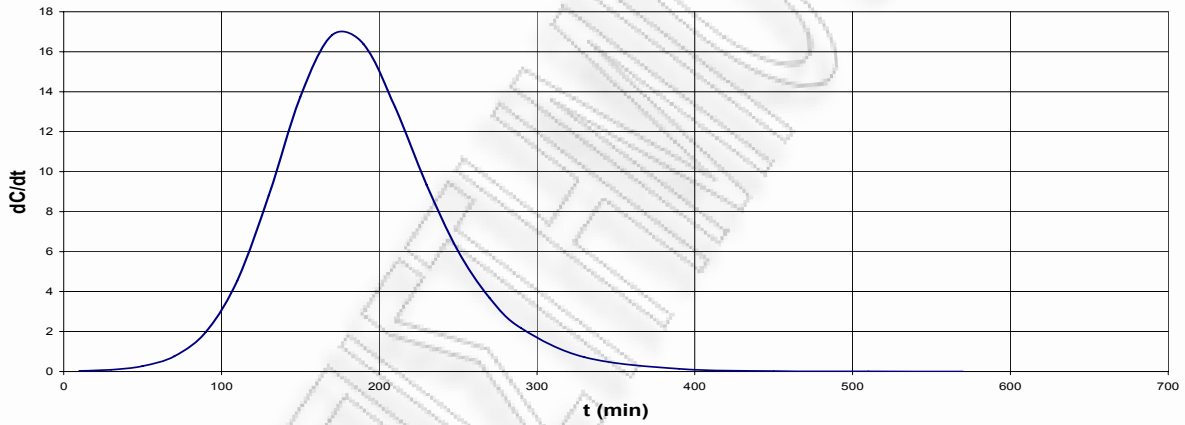


Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



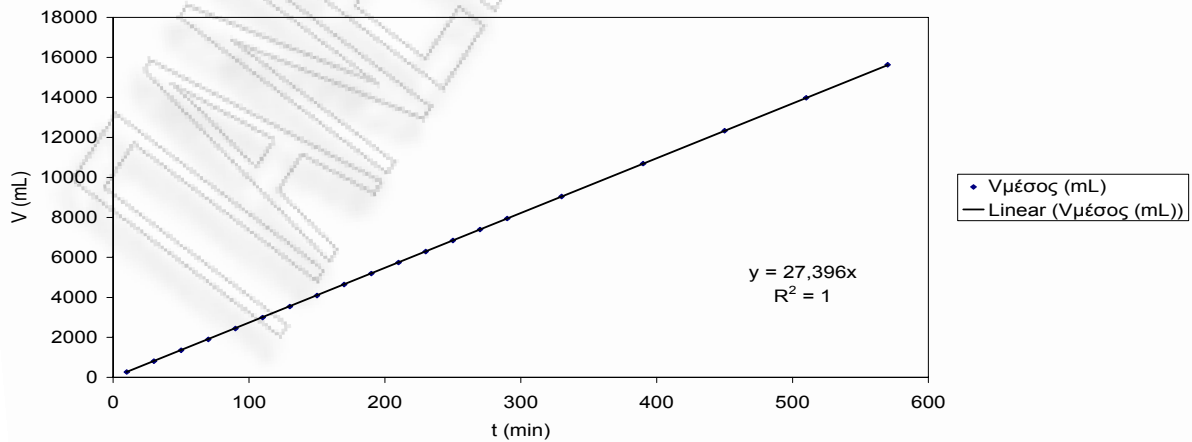
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



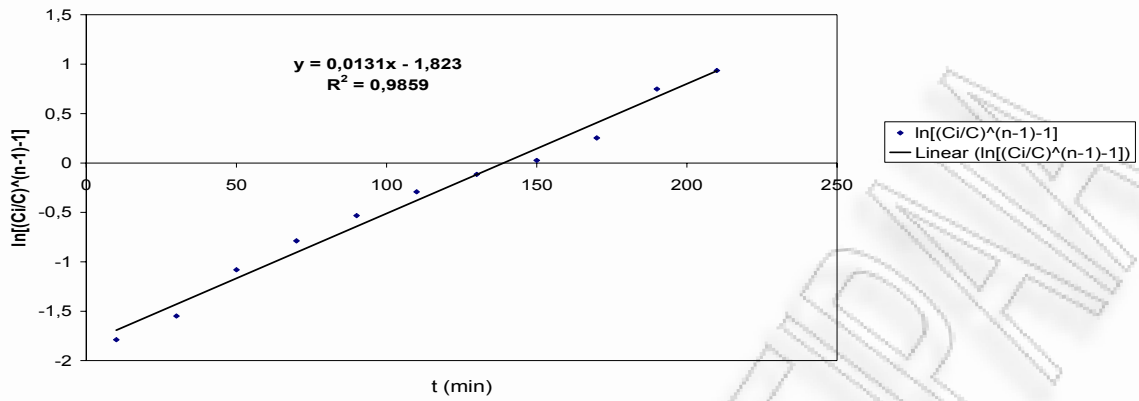
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή



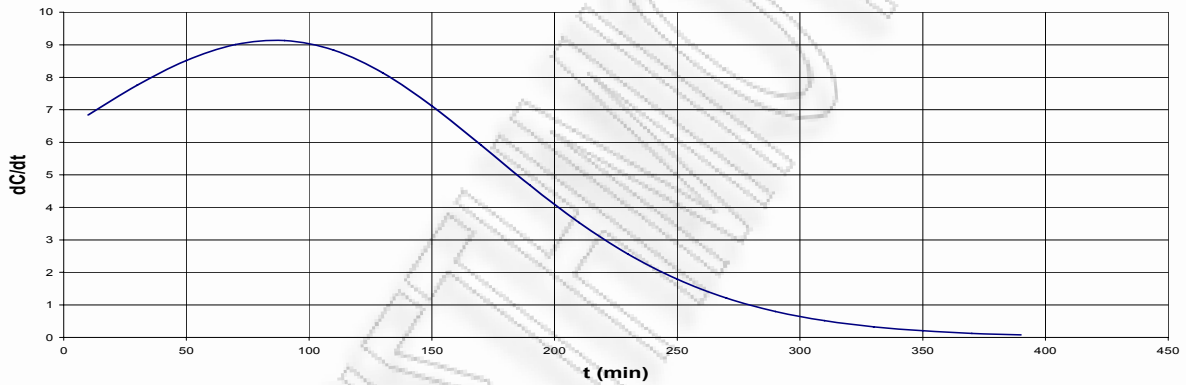
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



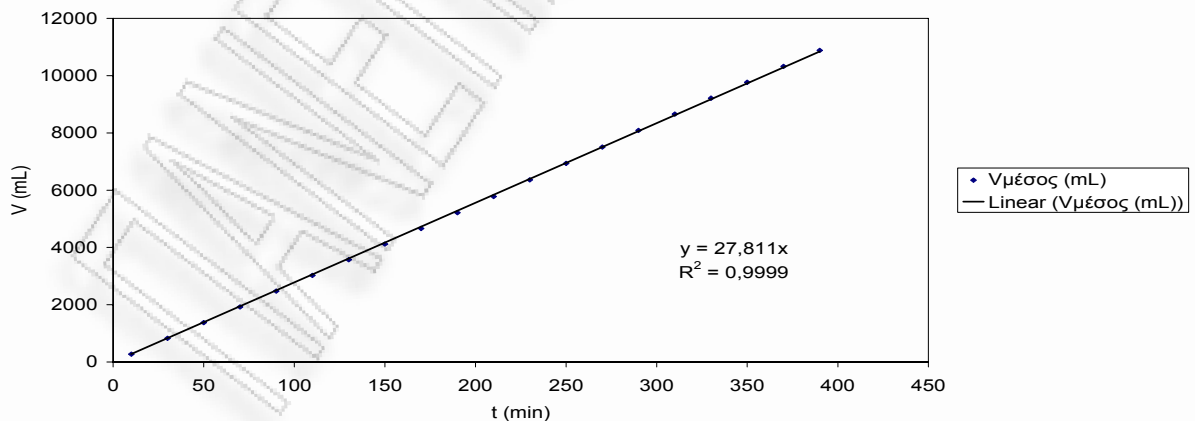
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,1125N  $H_2SO_4$

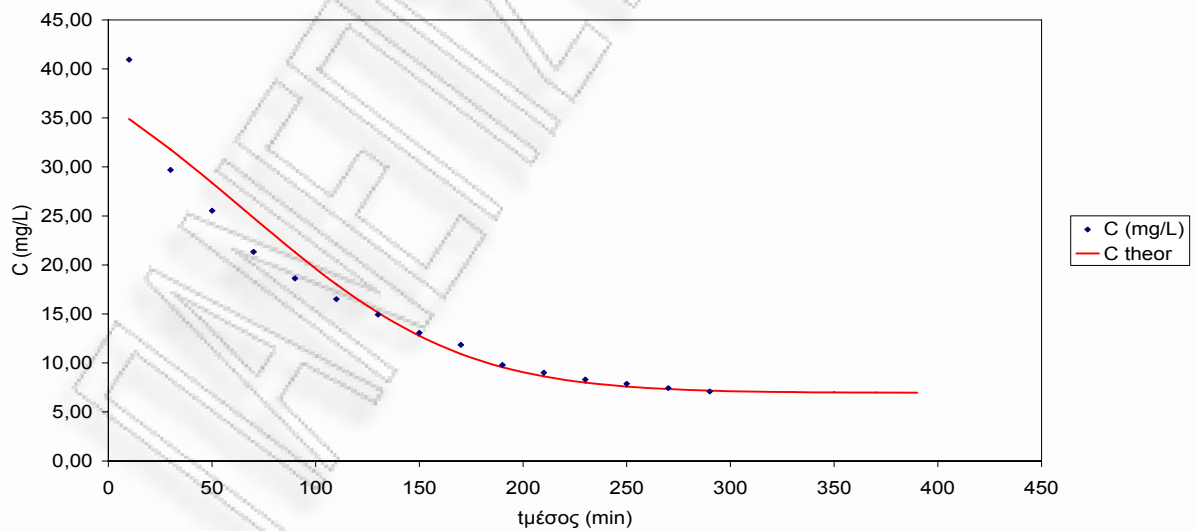
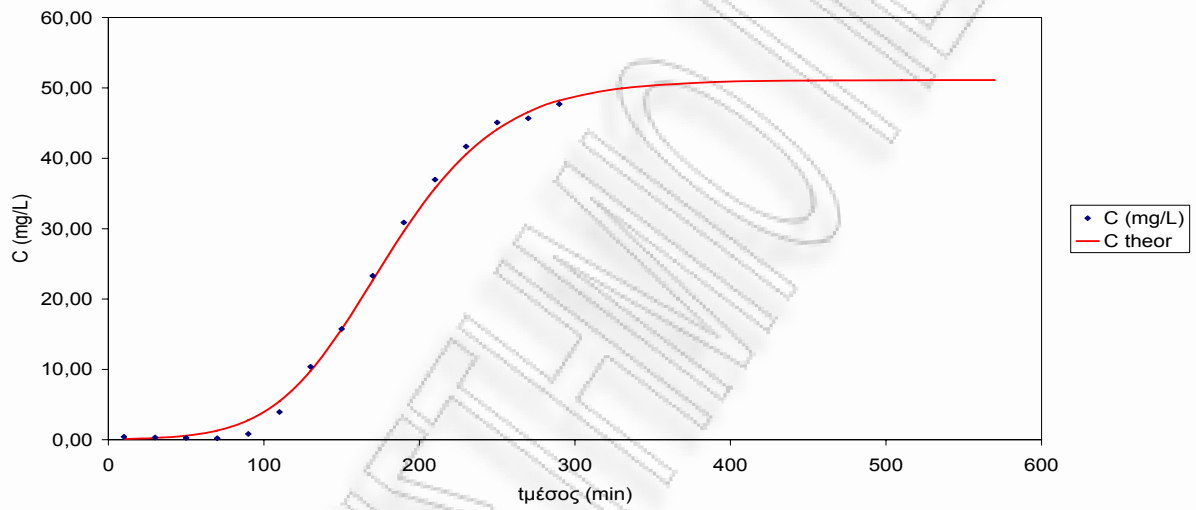
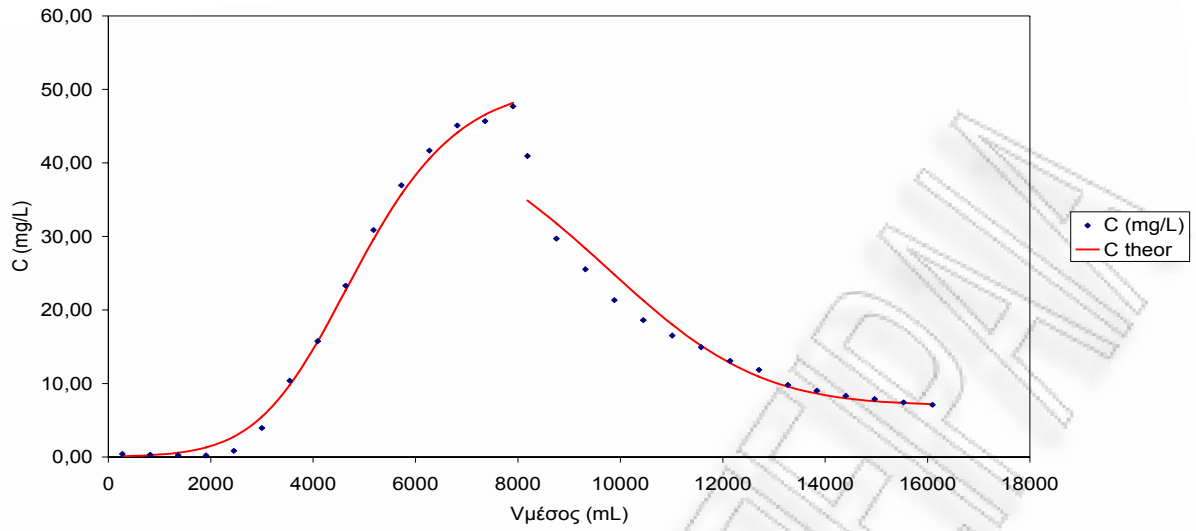
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,1125N  $H_2SO_4$

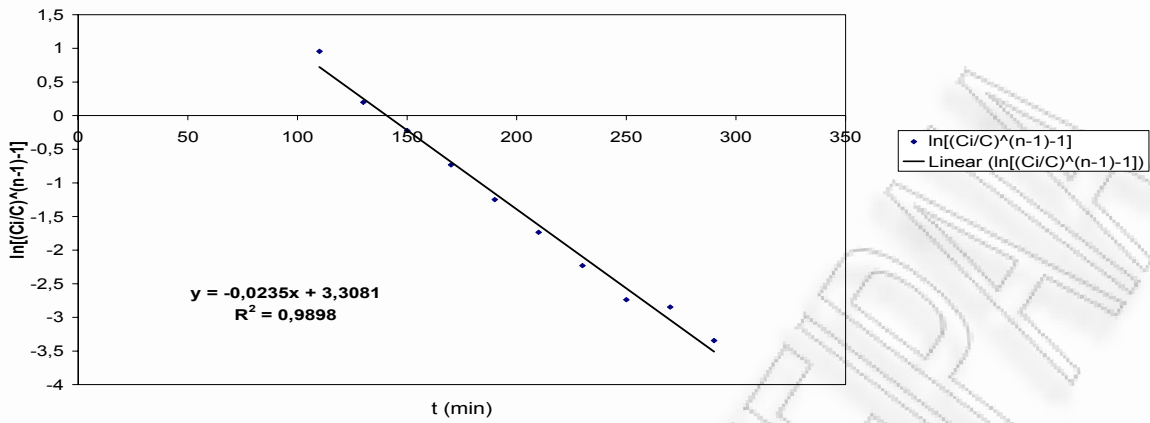






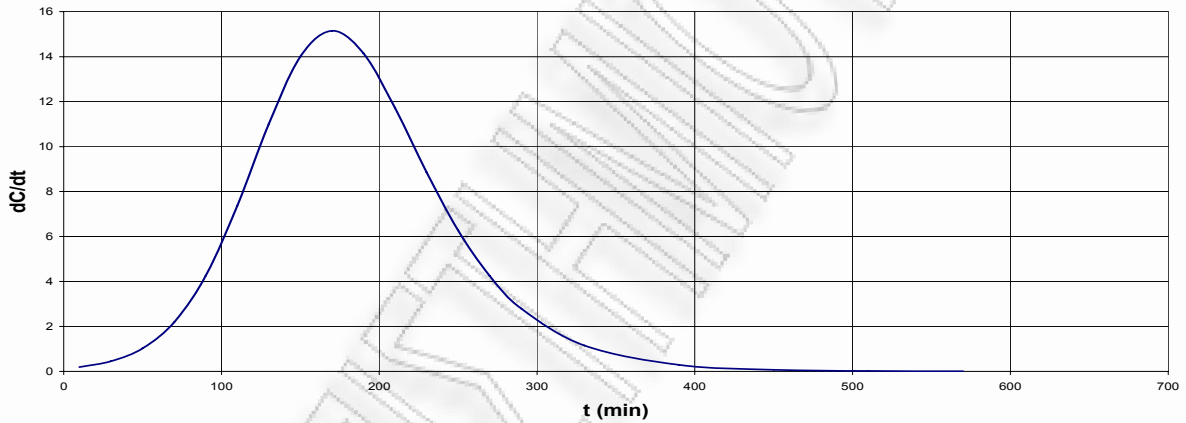
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 5h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



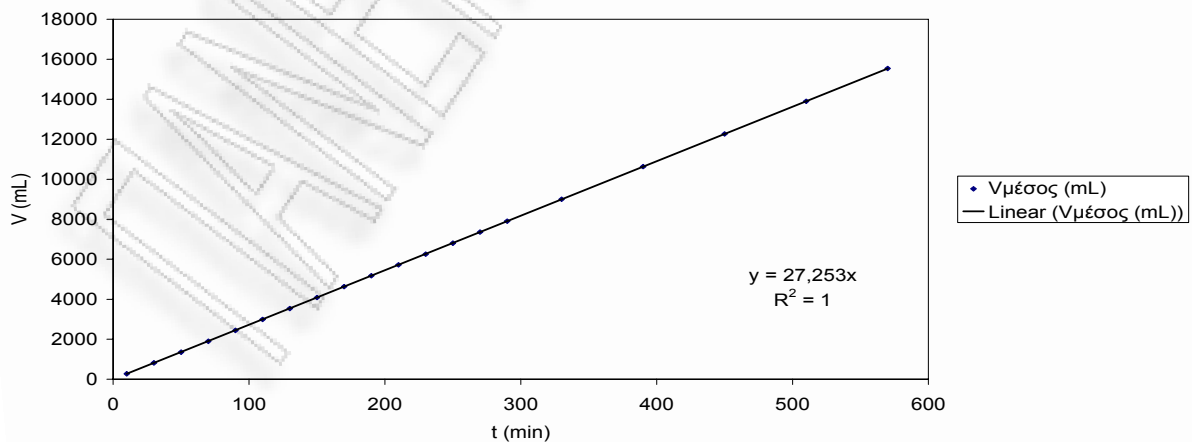
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 5h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



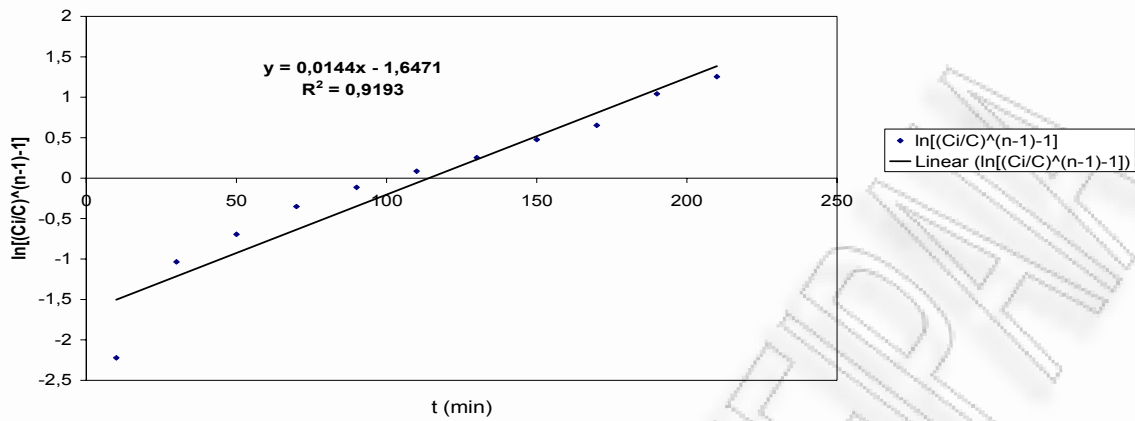
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 5h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή



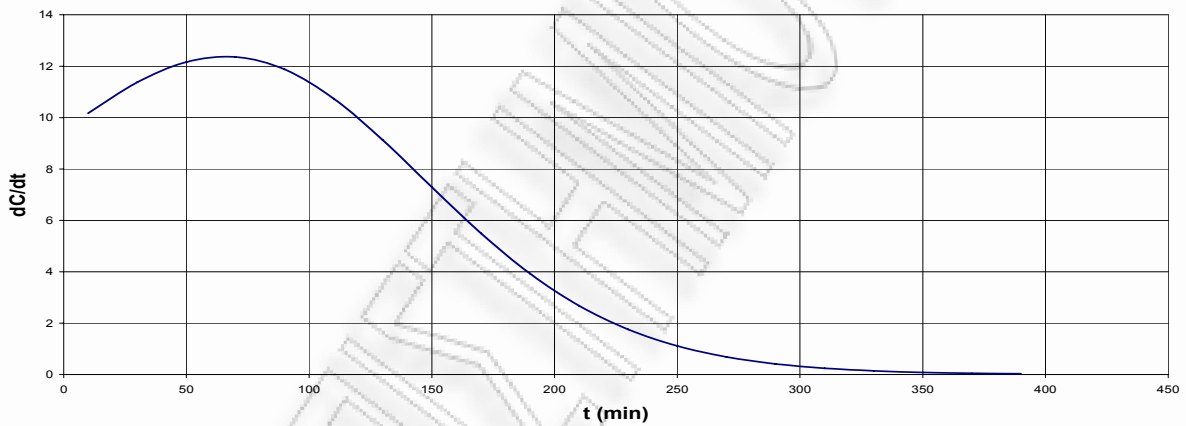
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 5h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



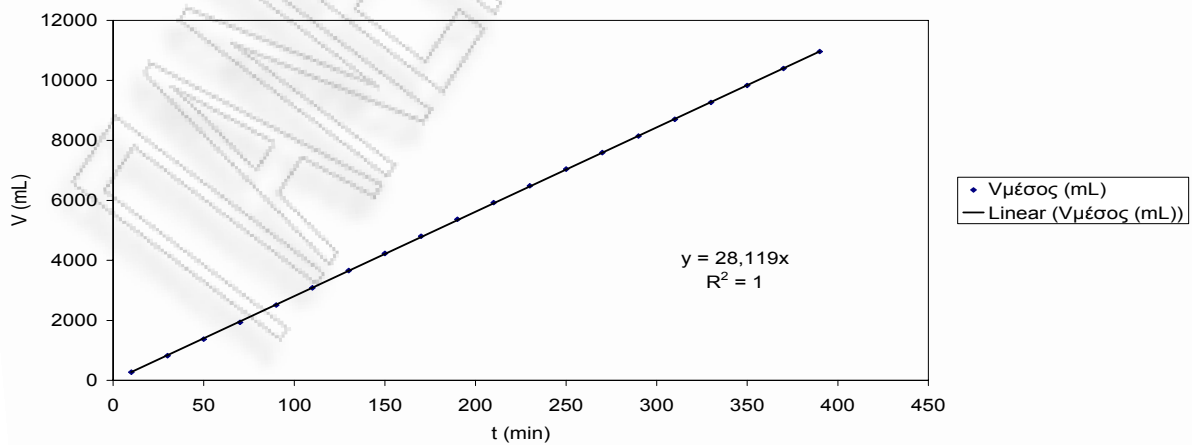
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 5h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 5h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή



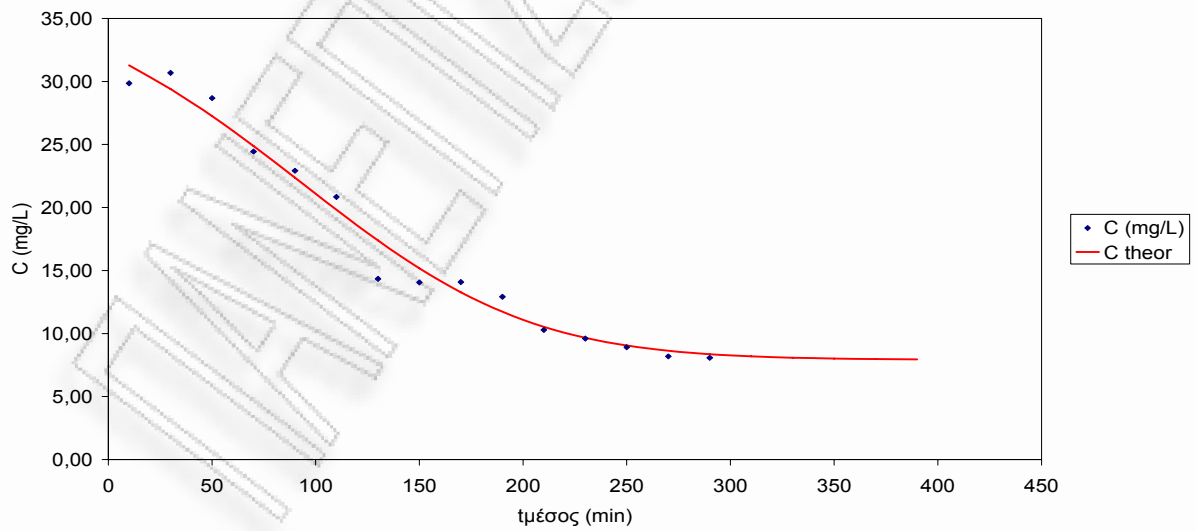
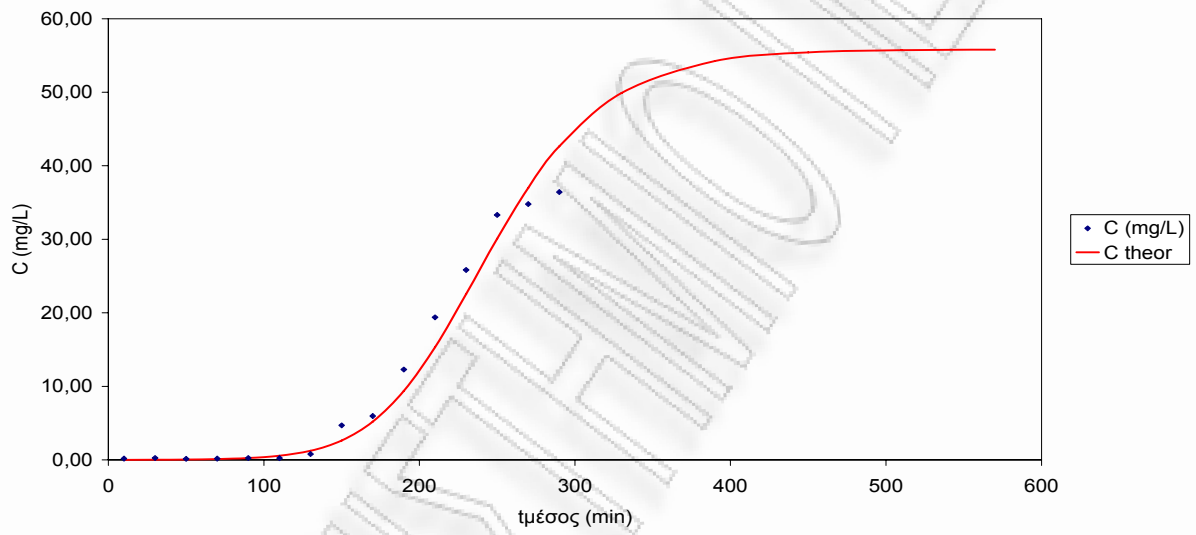
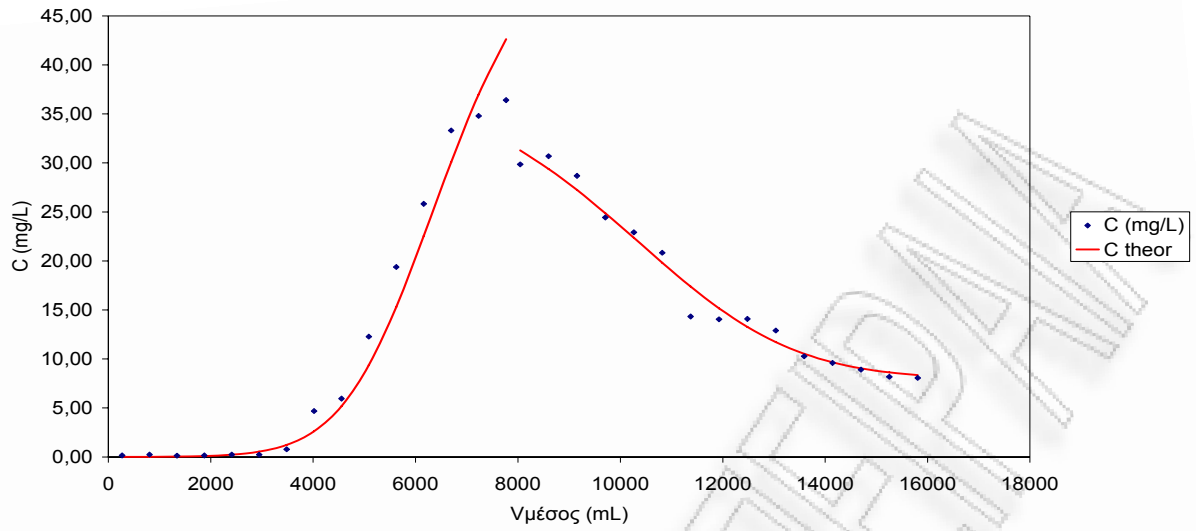
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 5h 0,1125N  $H_2SO_4$





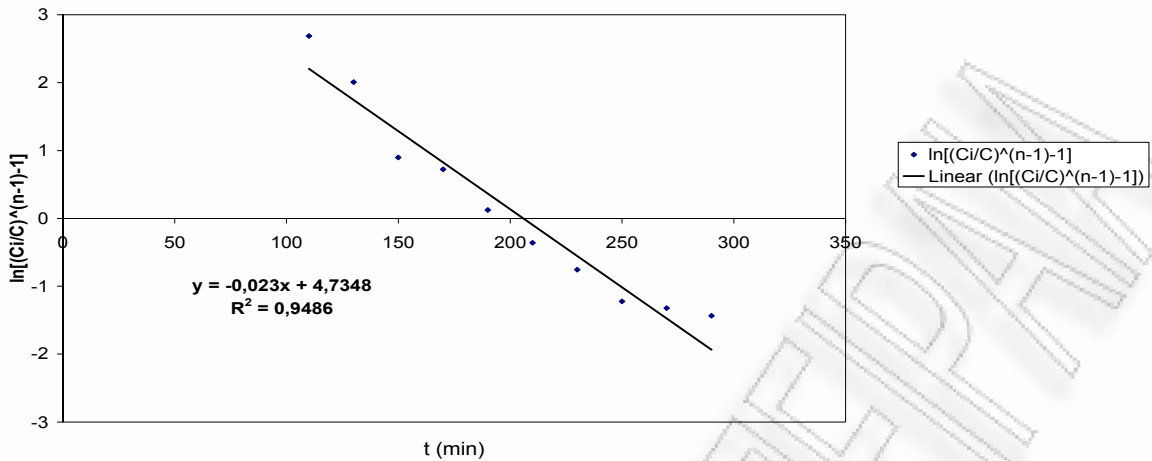






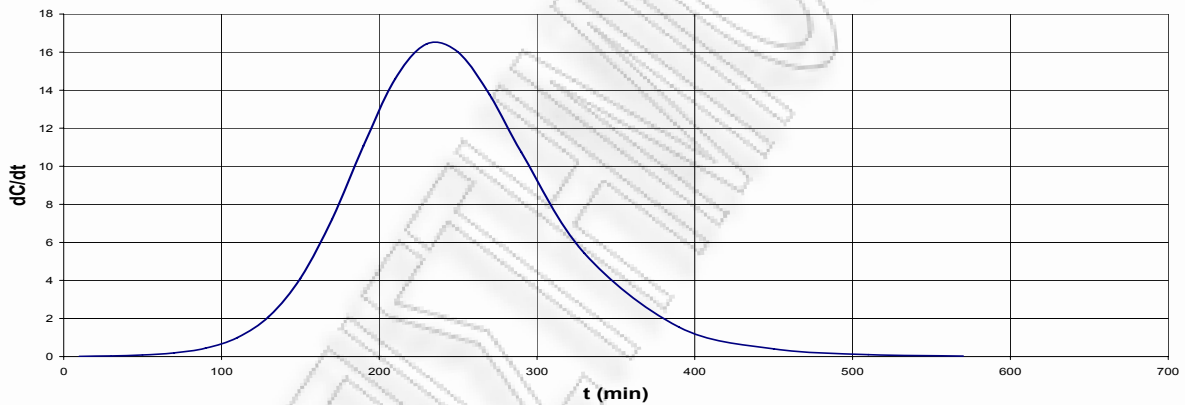
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο  
 πριονίδι πεύκου 30min. 0,225N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



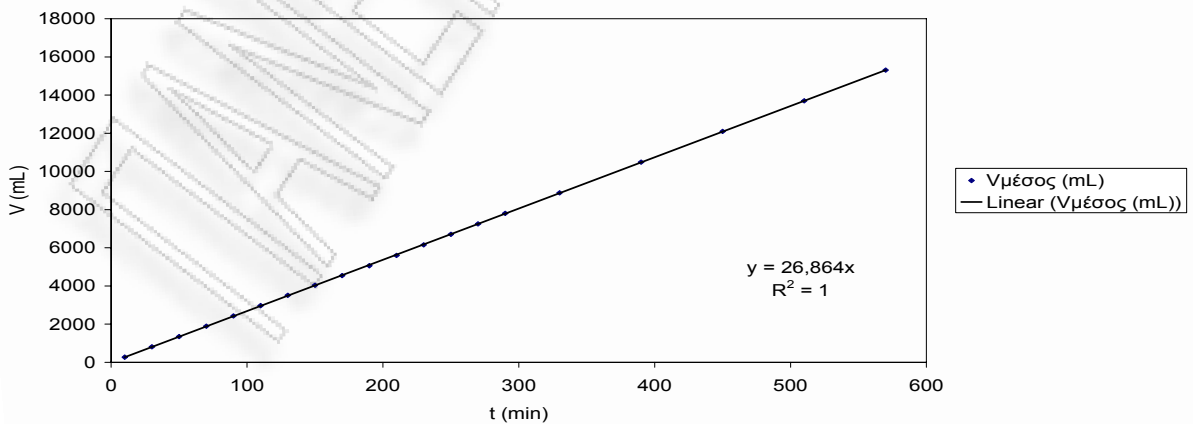
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,225N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



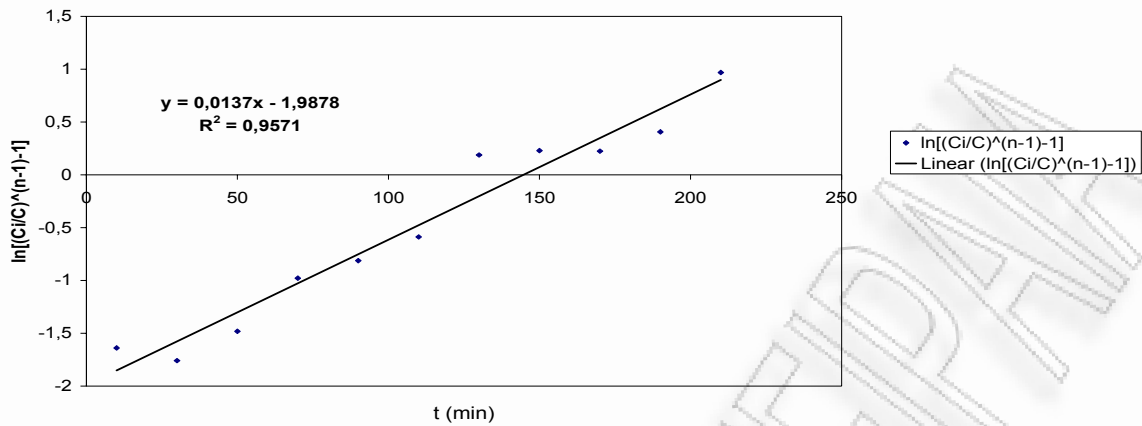
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,225N  $H_2SO_4$

Παροχή



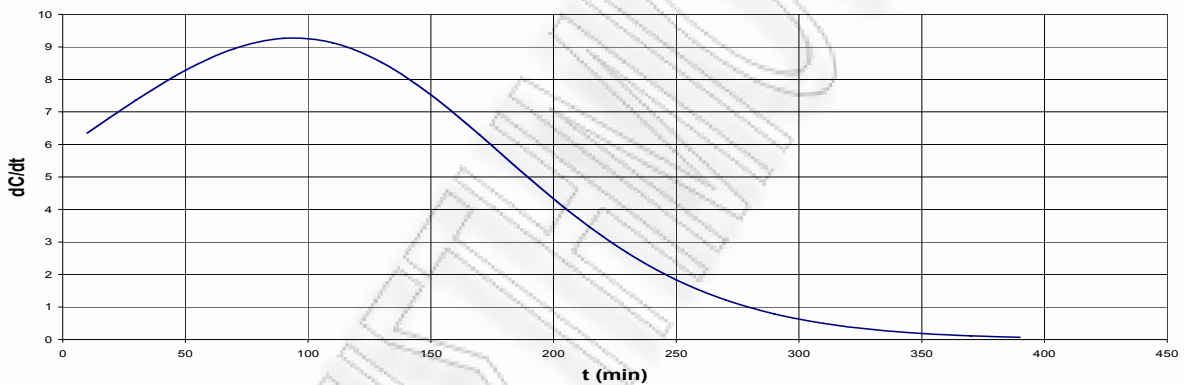
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,225N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



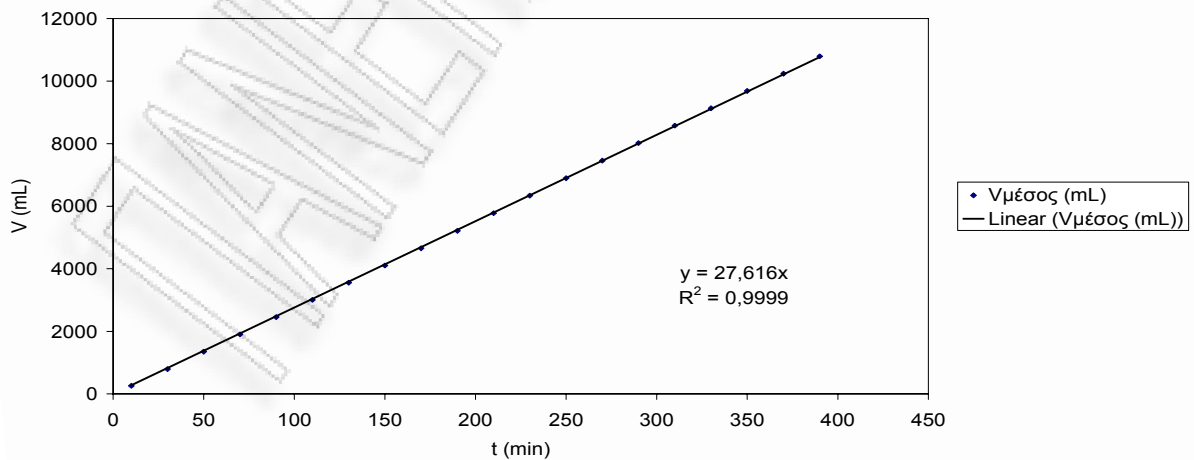
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,225N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,225N  $H_2SO_4$

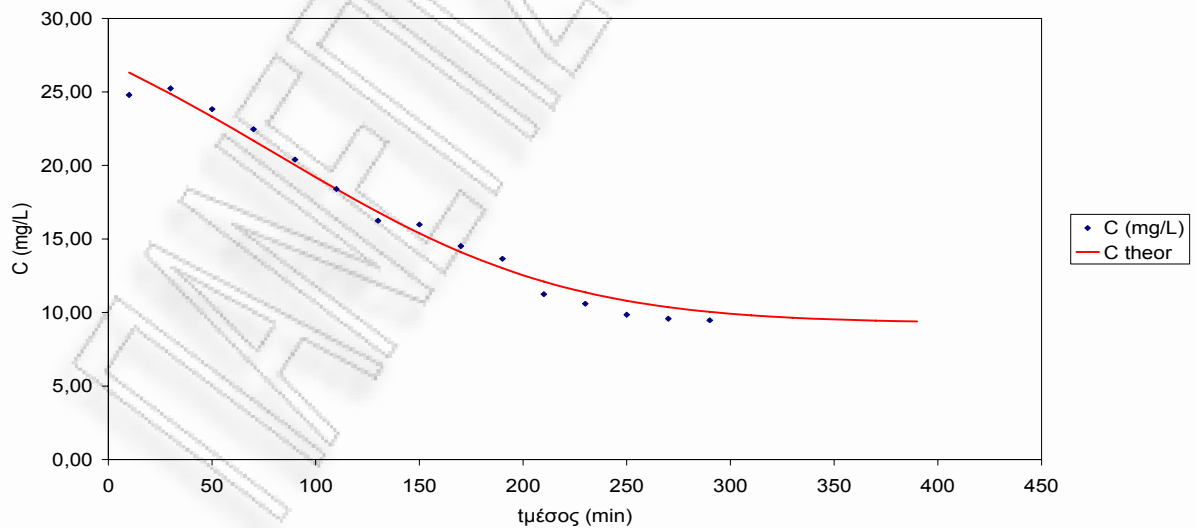
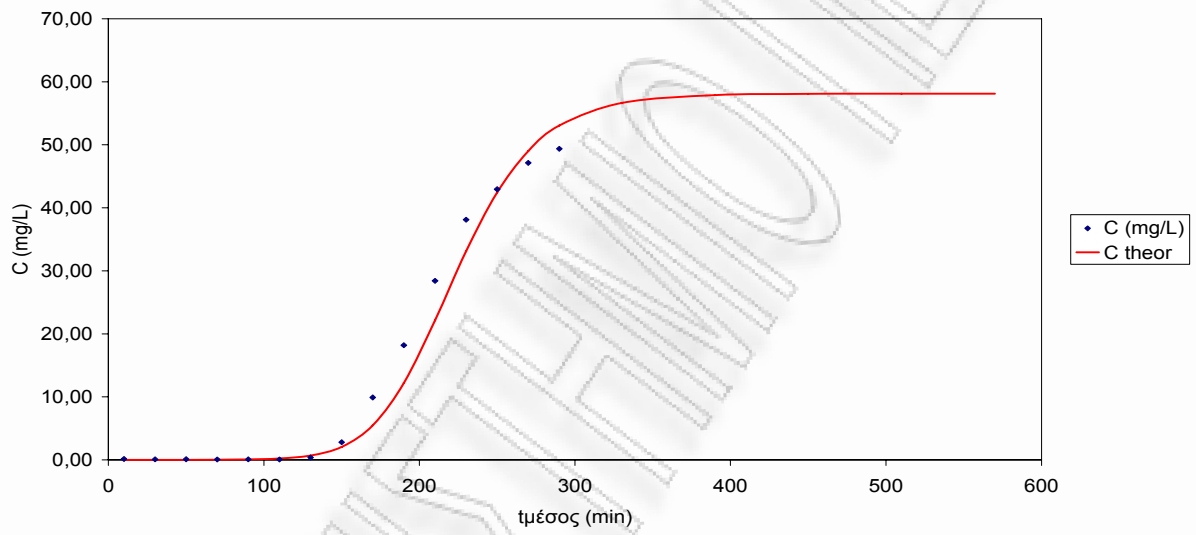
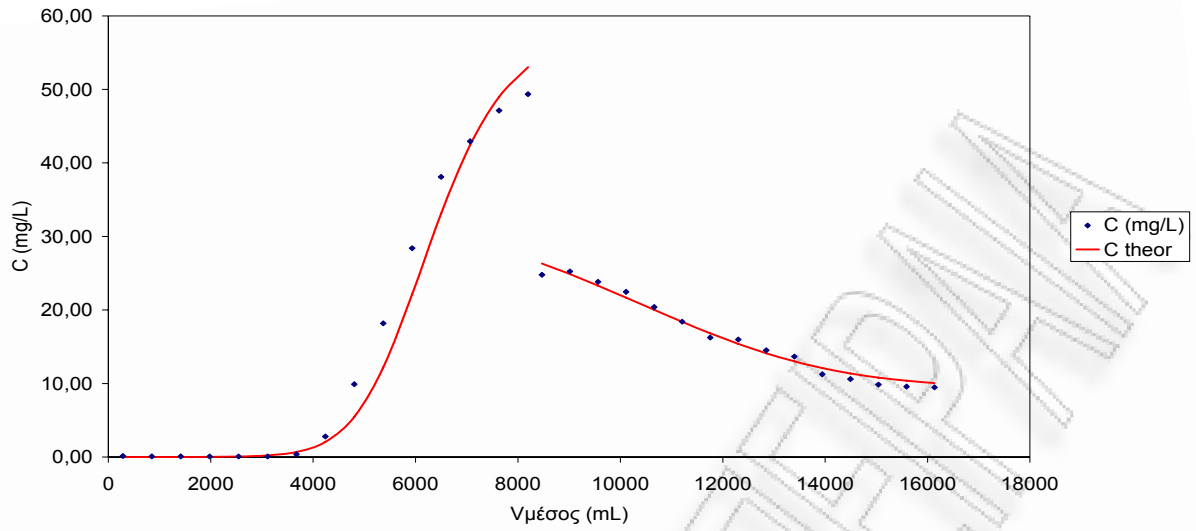
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,225N  $H_2SO_4$

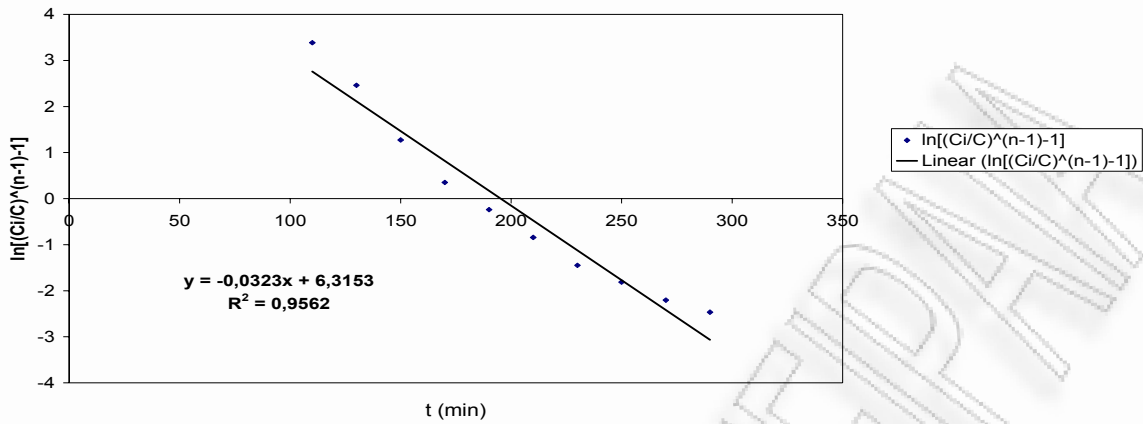






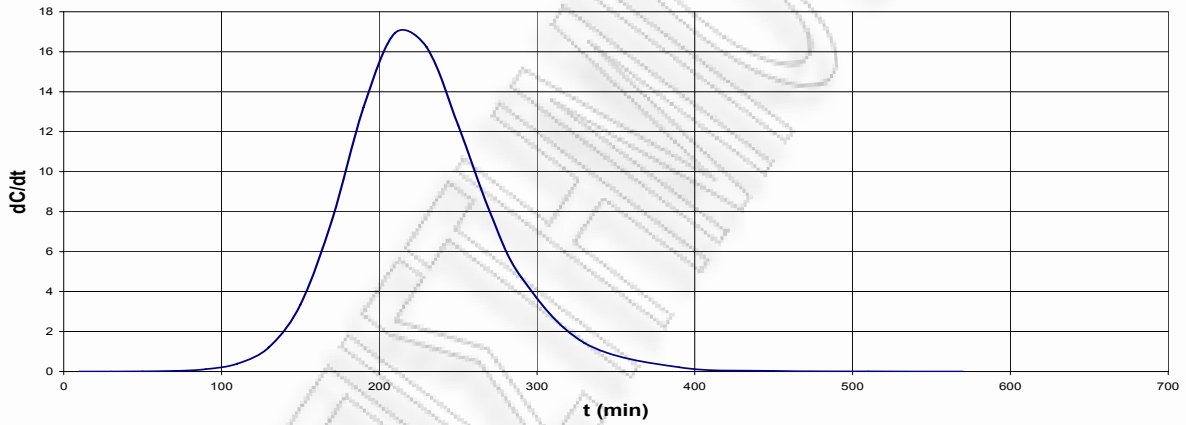
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 2h. 0,225N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



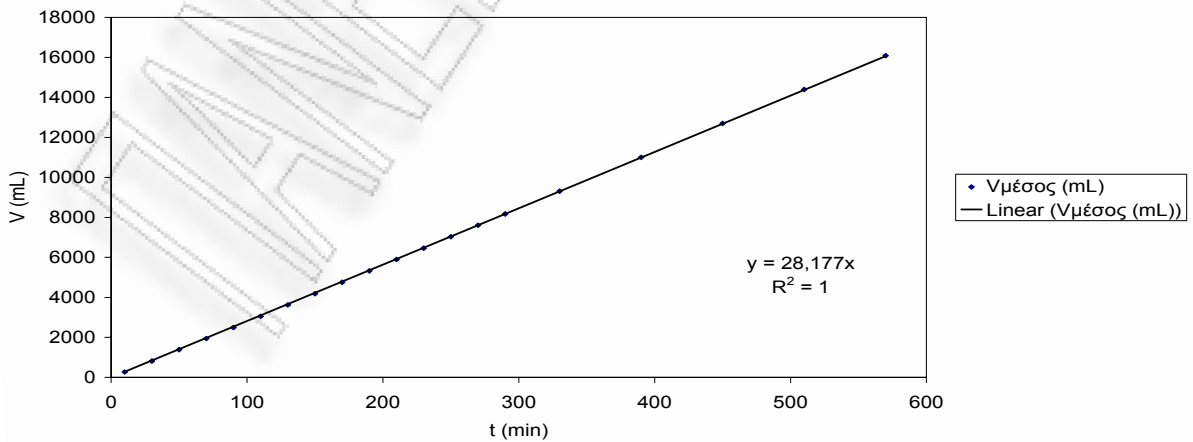
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,225N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,225N  $H_2SO_4$

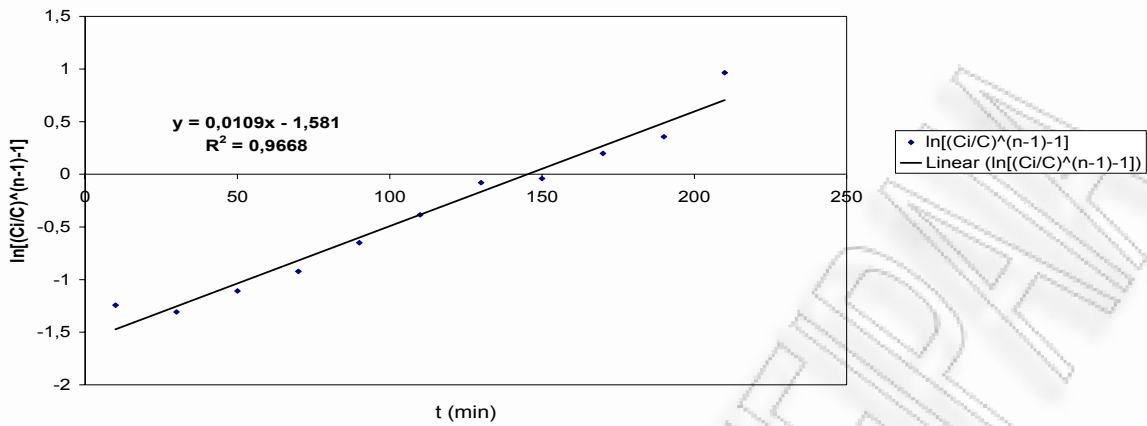
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,225N  $H_2SO_4$

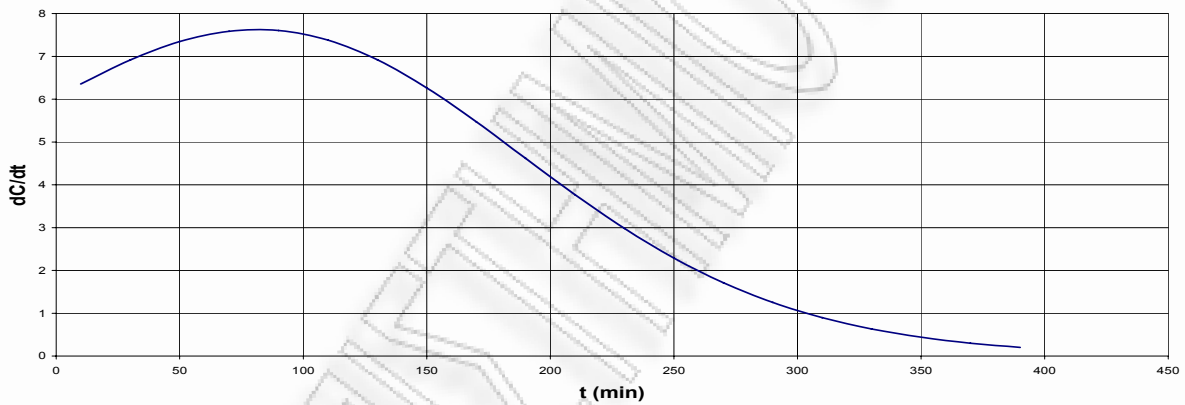


Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



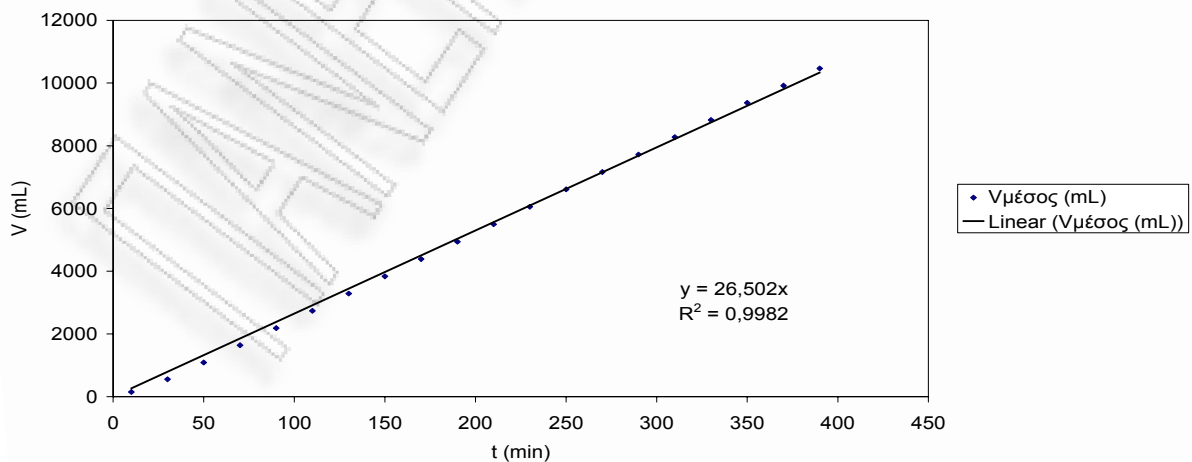
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,225N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,225N  $H_2SO_4$

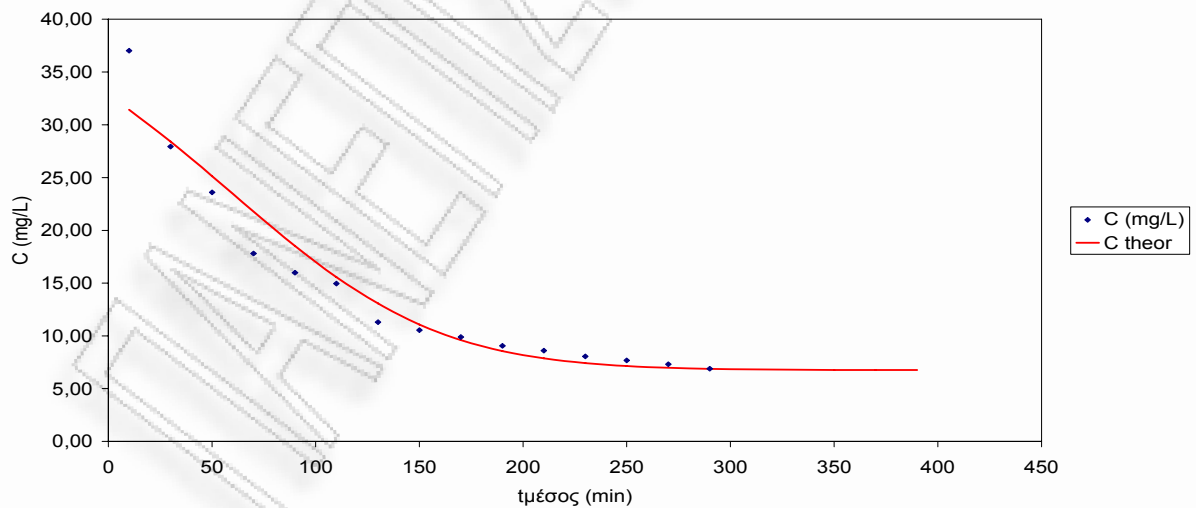
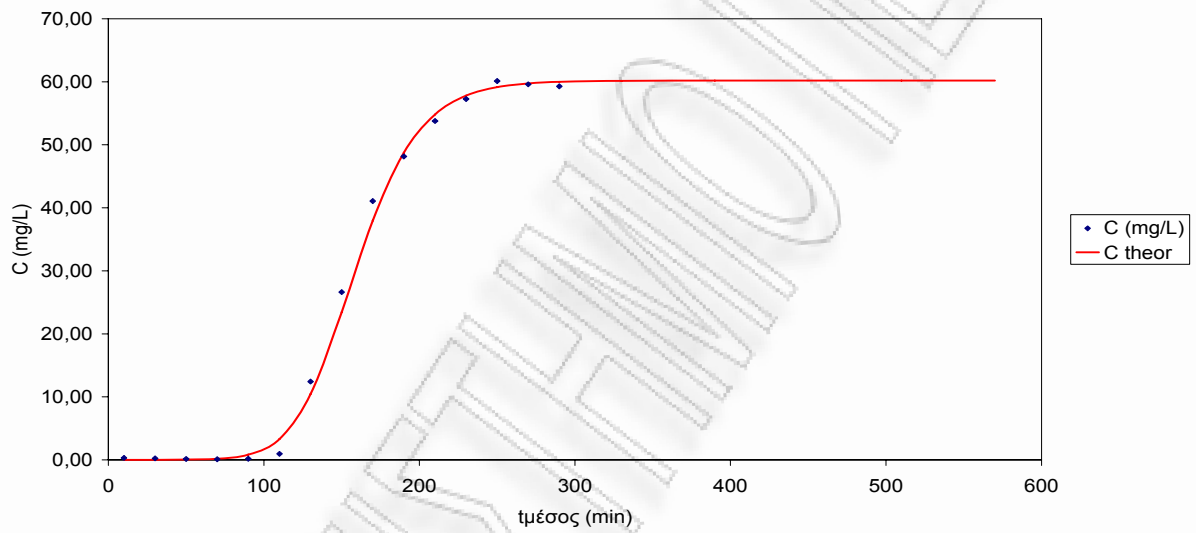
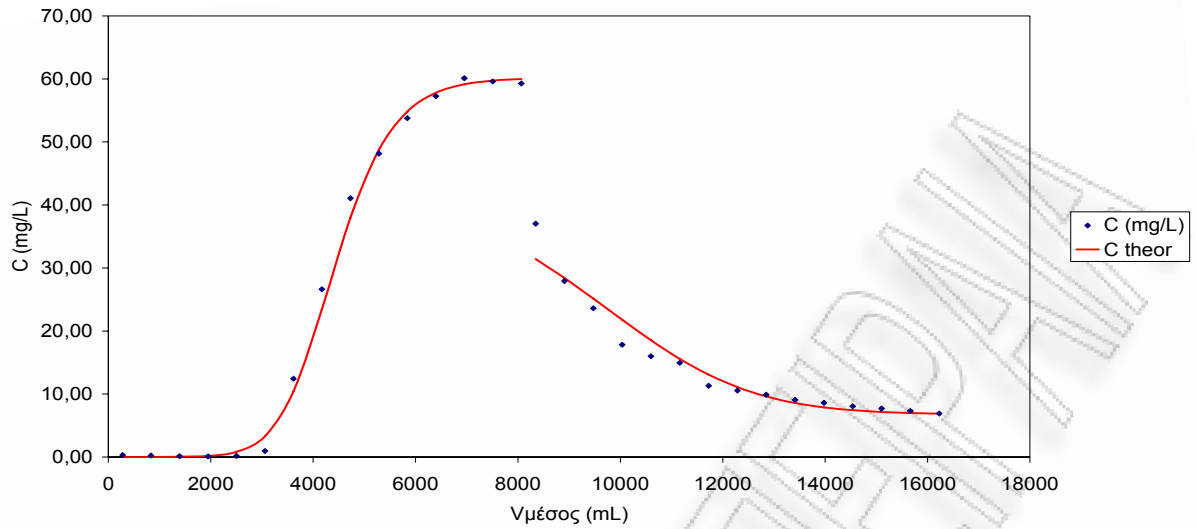
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,225N  $H_2SO_4$

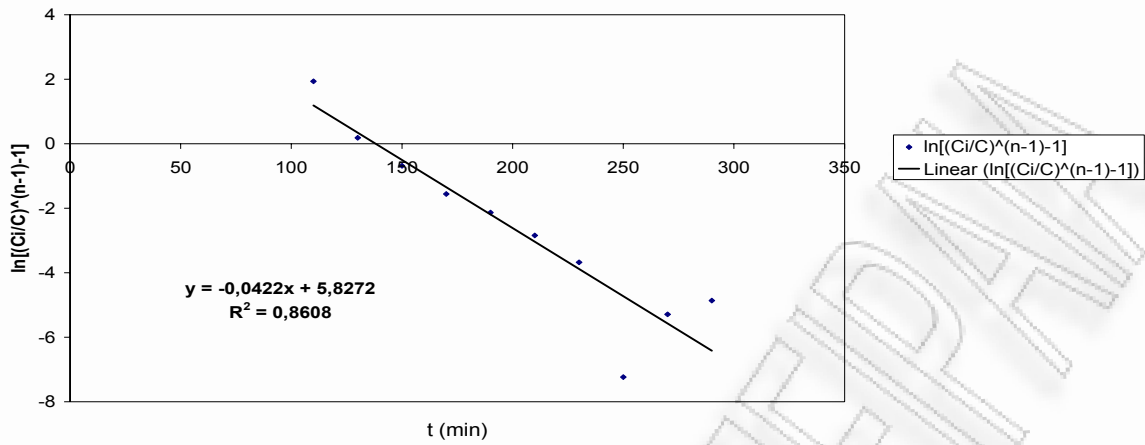






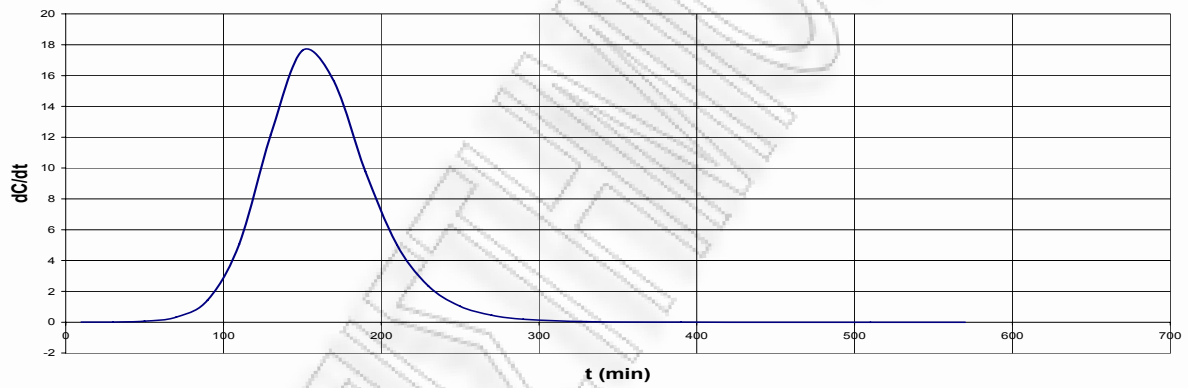
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 4h. 0,225N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



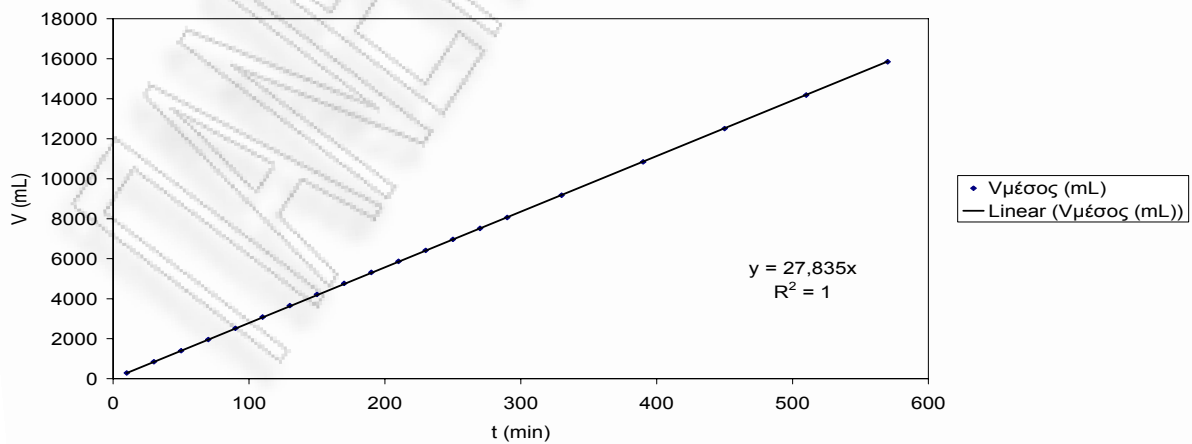
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



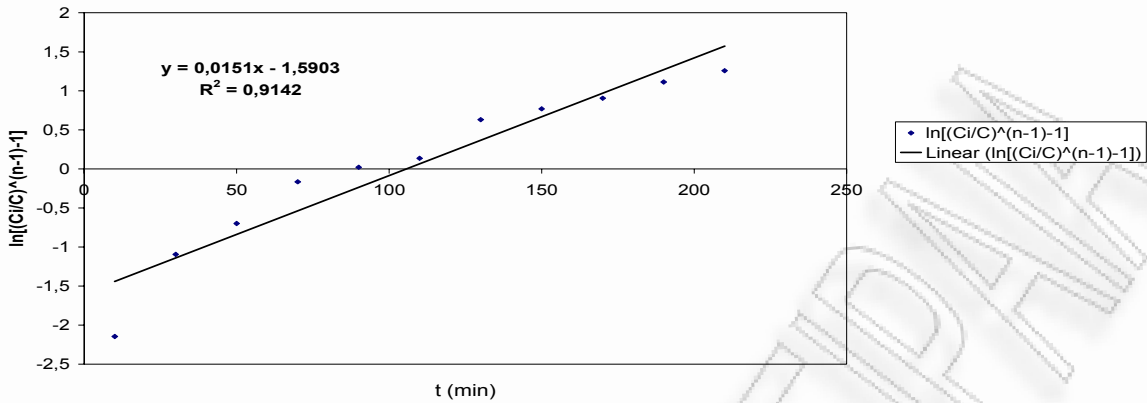
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

Παροχή



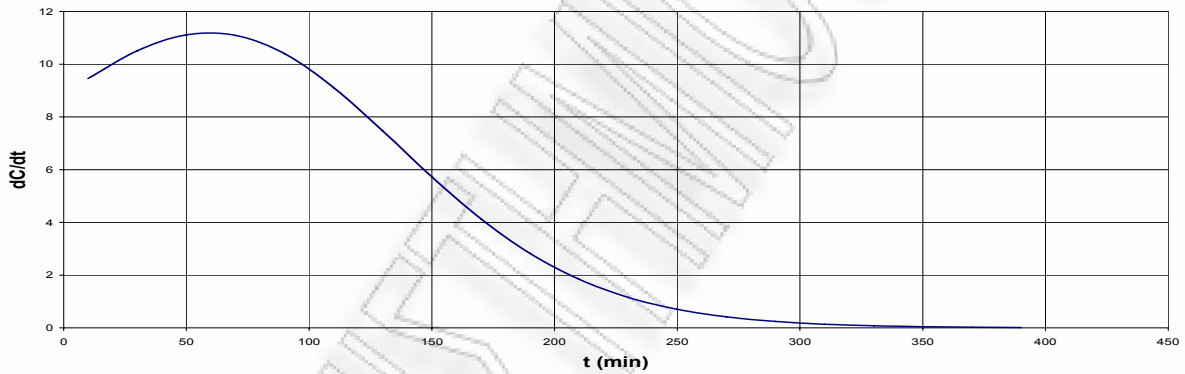
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



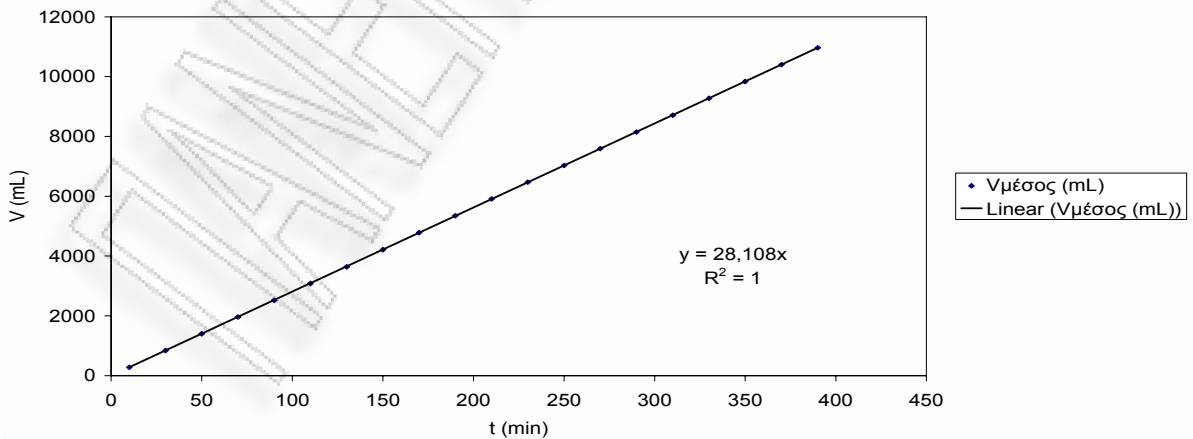
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

Παροχή

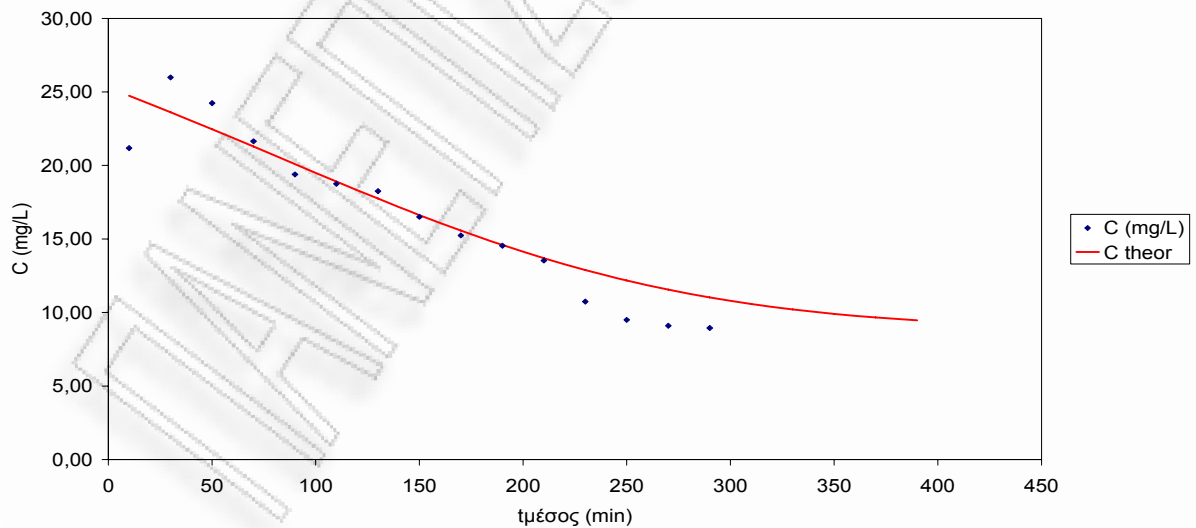
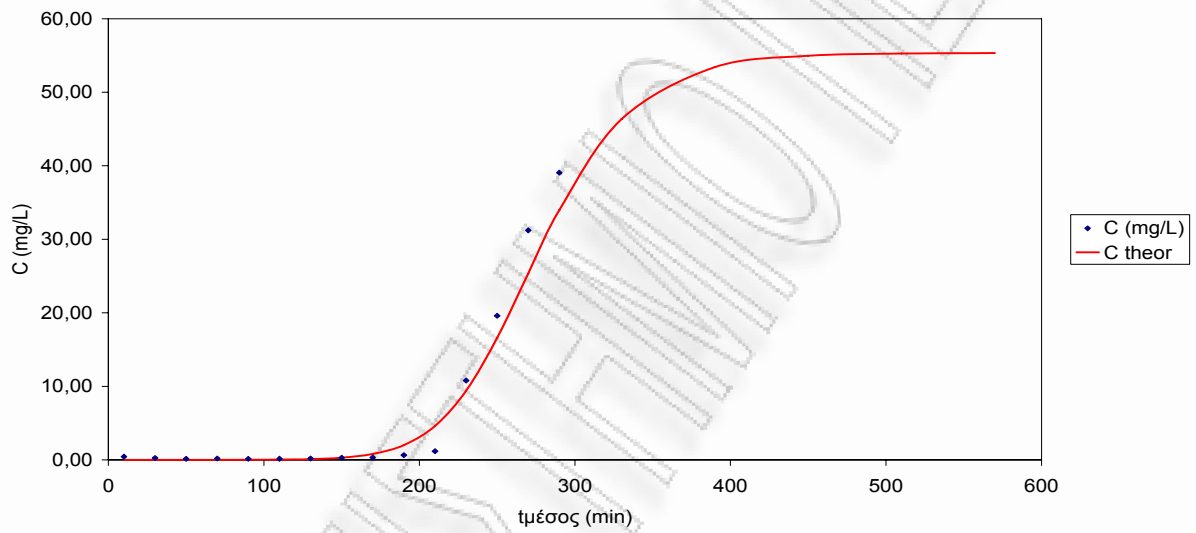
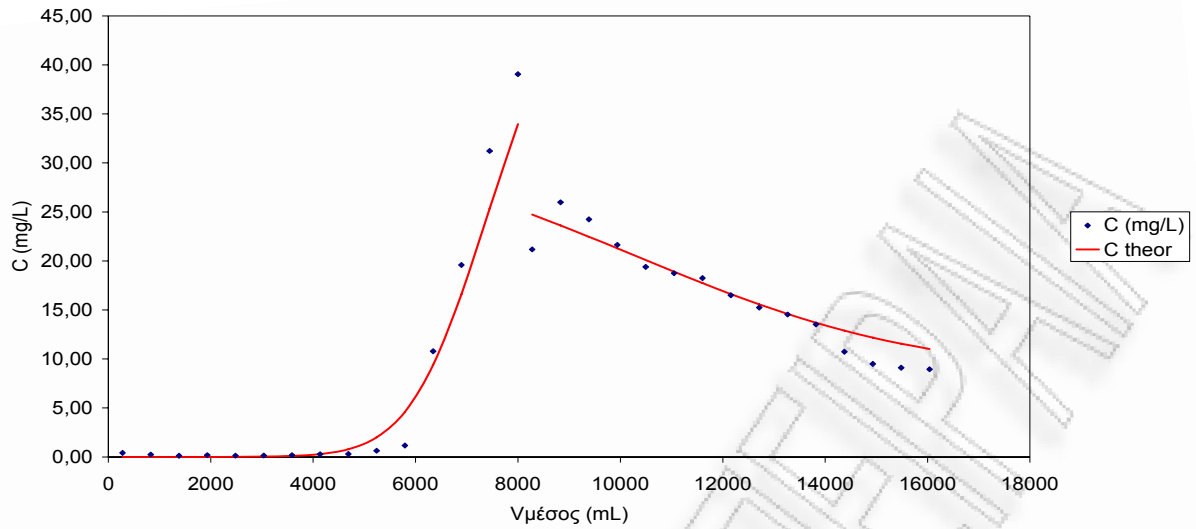


Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$



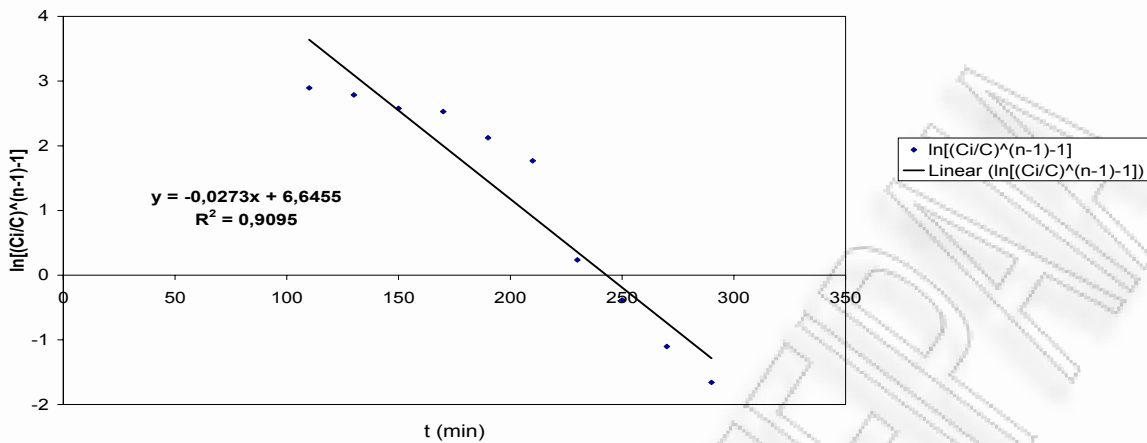






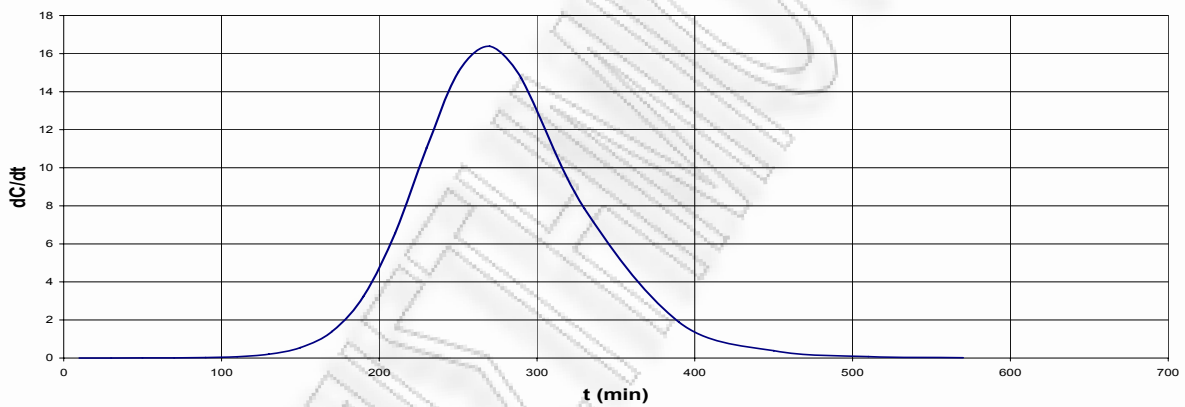
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 4h. 0,225N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



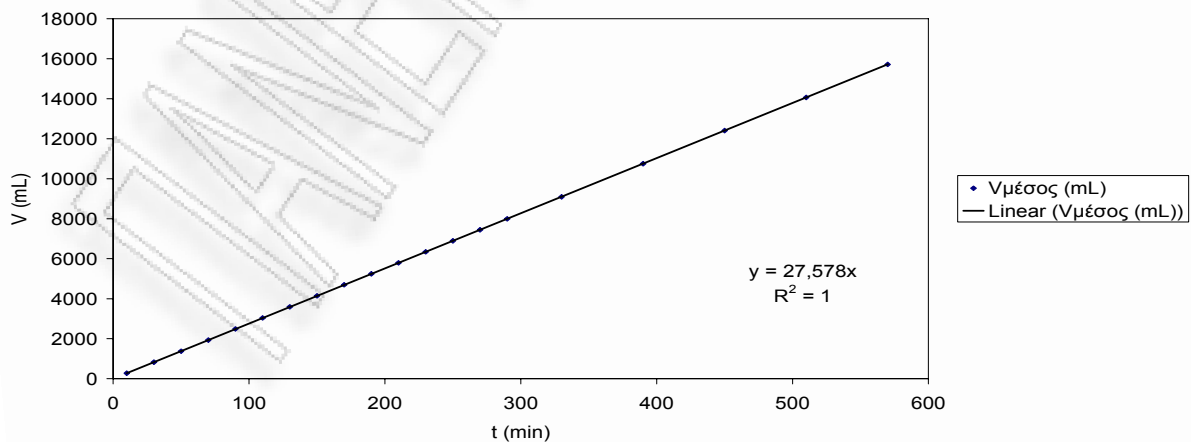
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



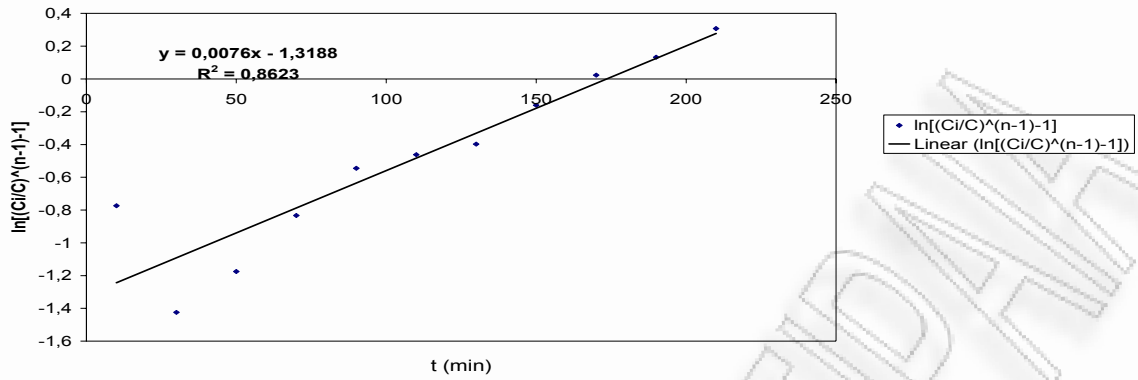
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

Παροχή



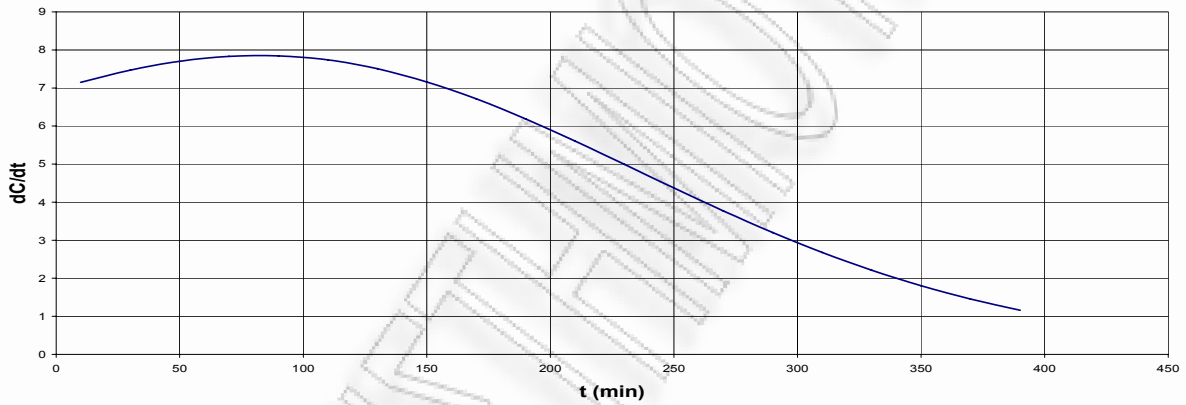
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



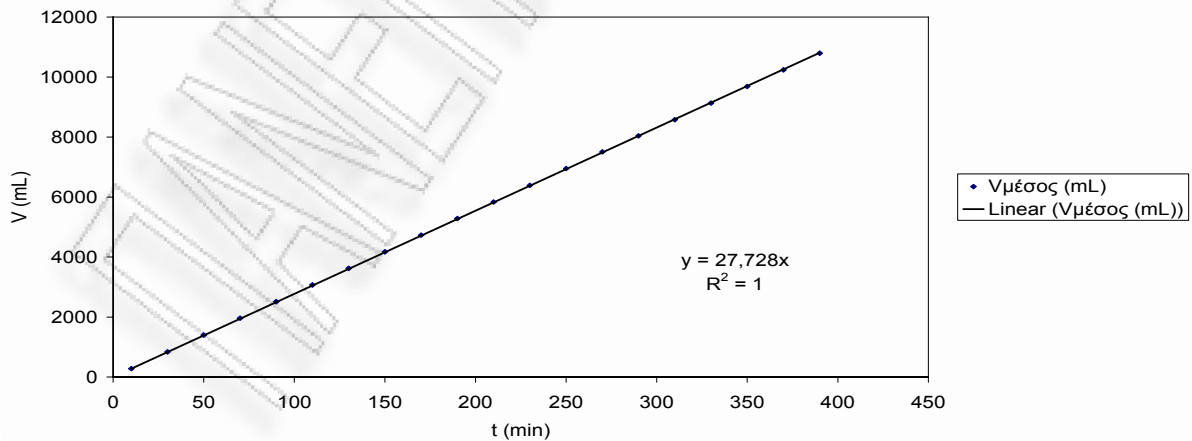
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

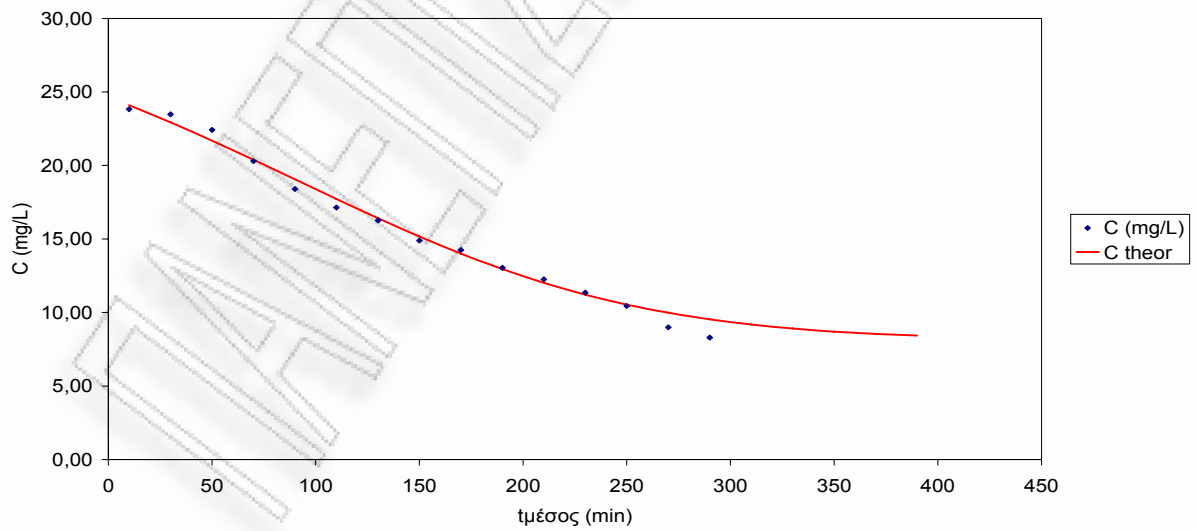
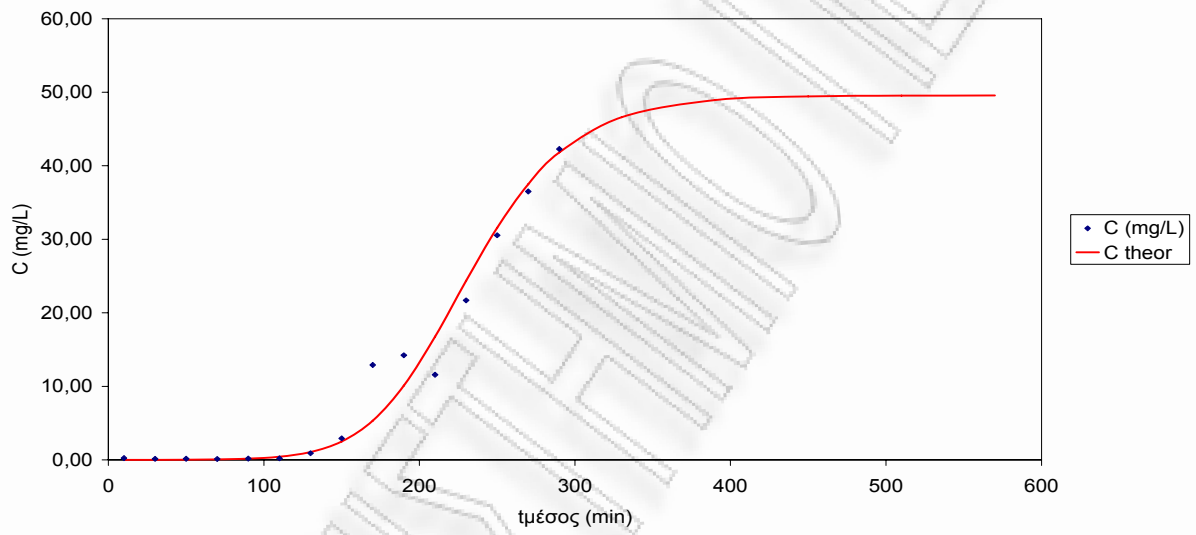
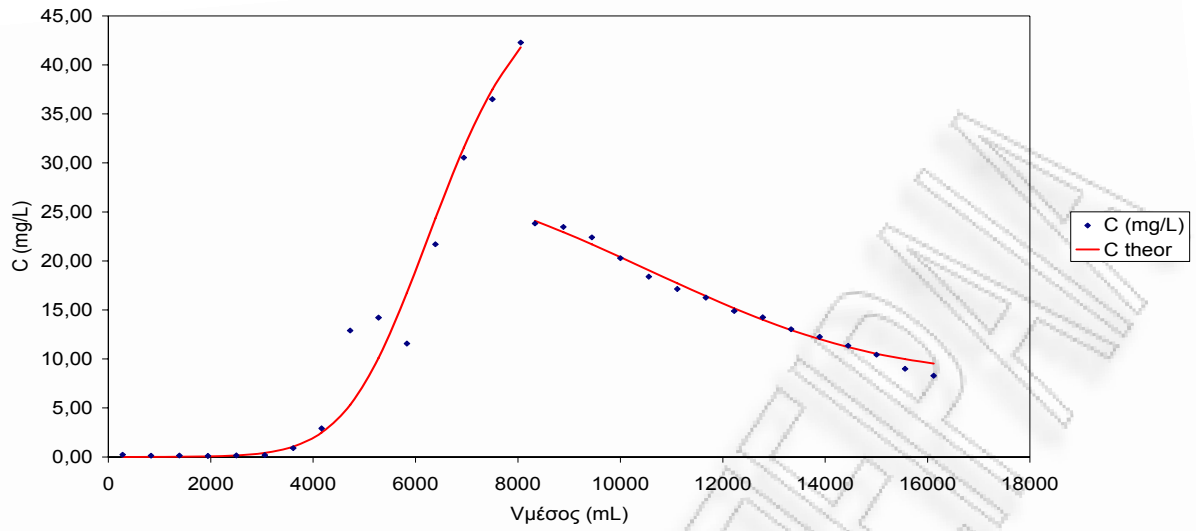
Παροχή



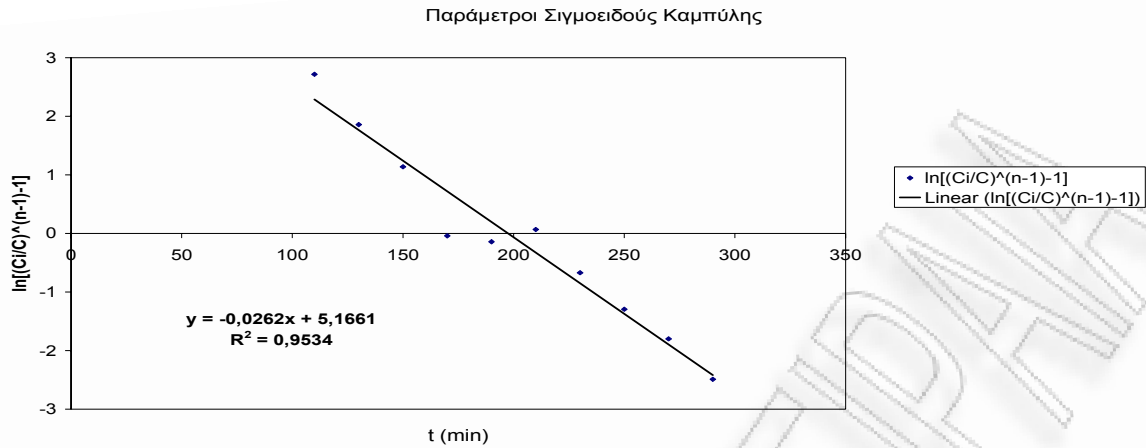
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$



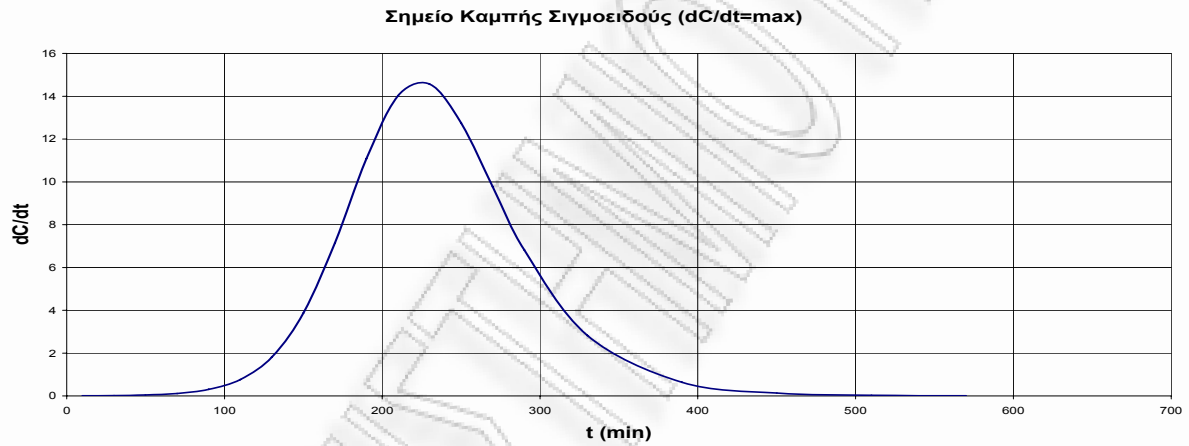




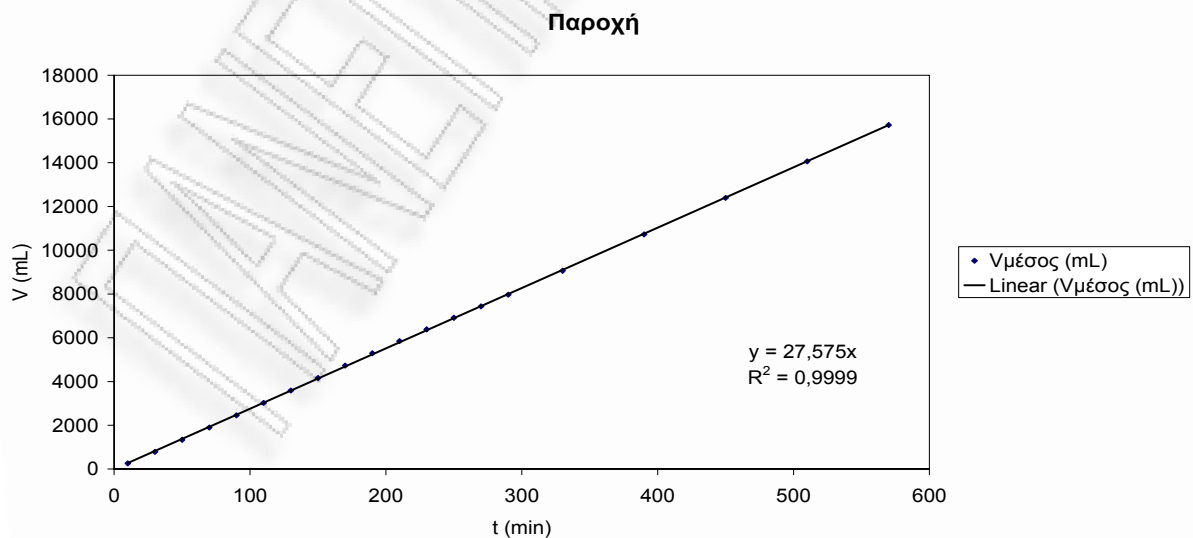
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 30min 0,45N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N  $H_2SO_4$

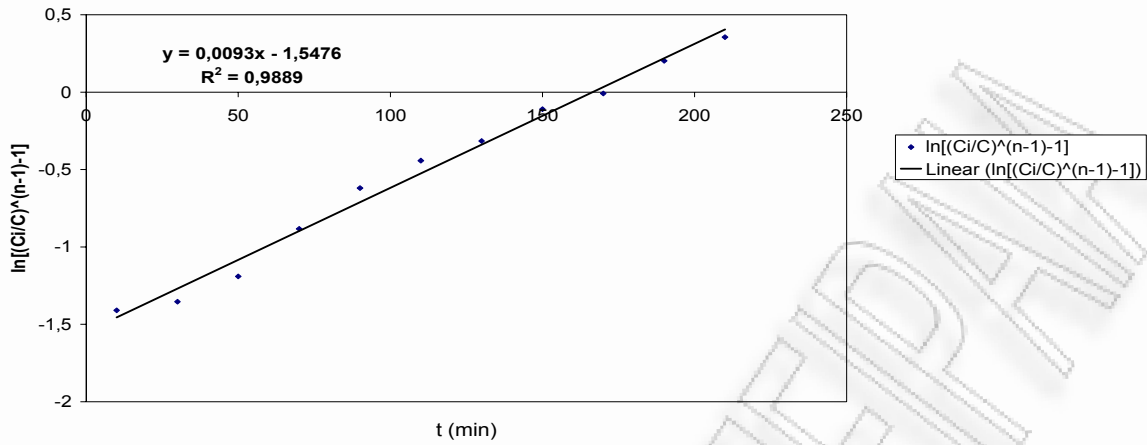


Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N  $H_2SO_4$



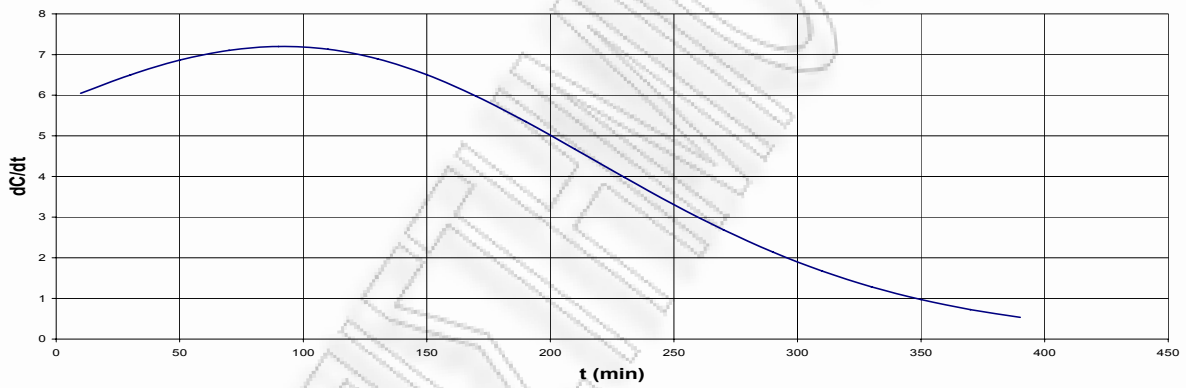
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



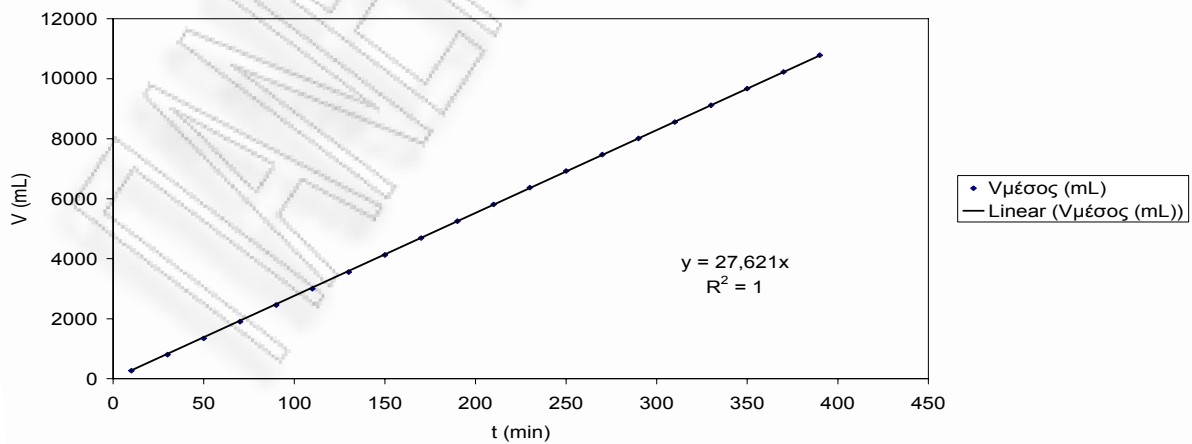
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N  $H_2SO_4$

Παροχή

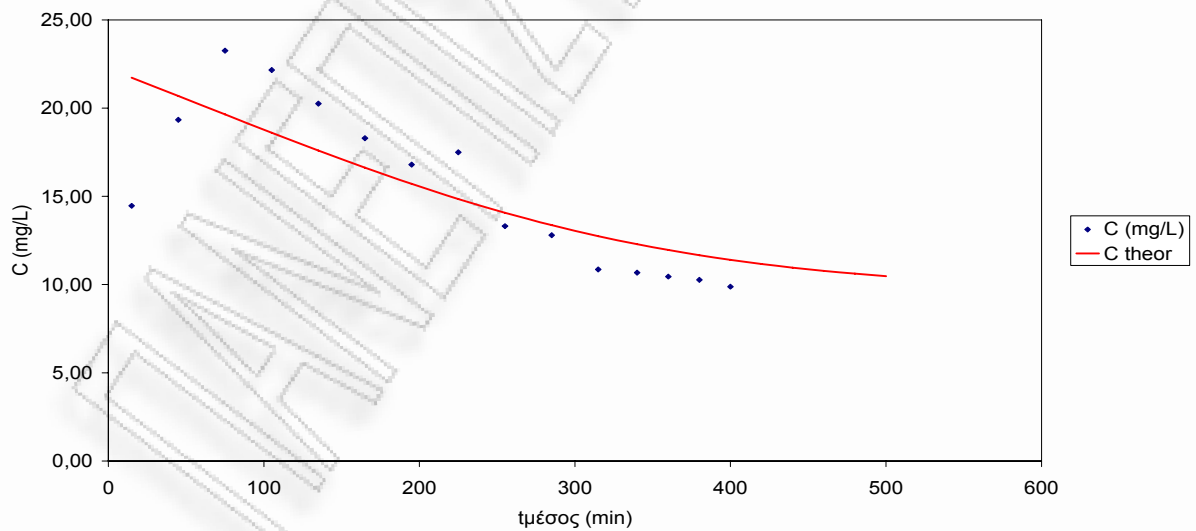
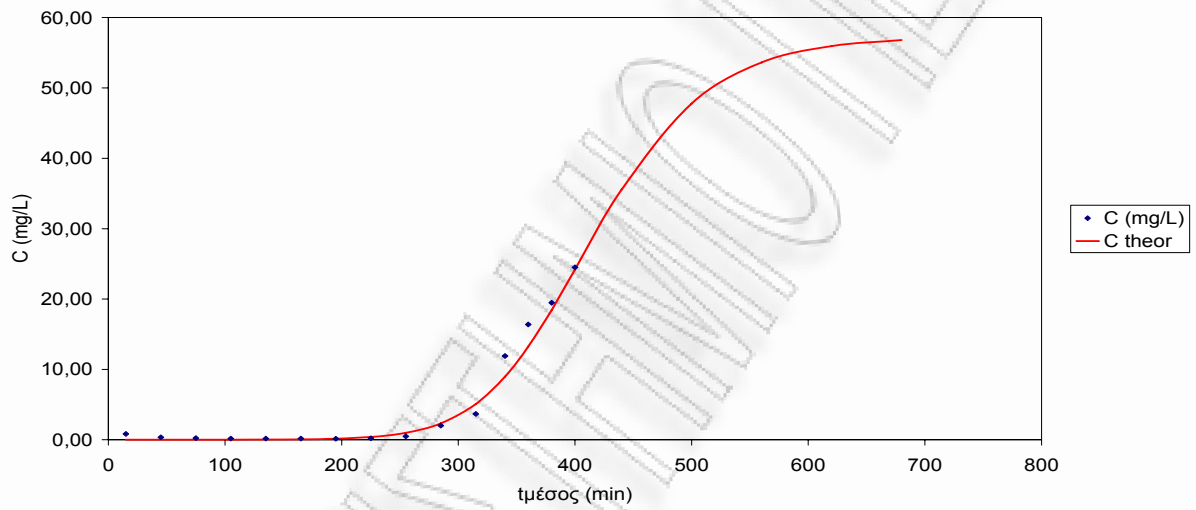
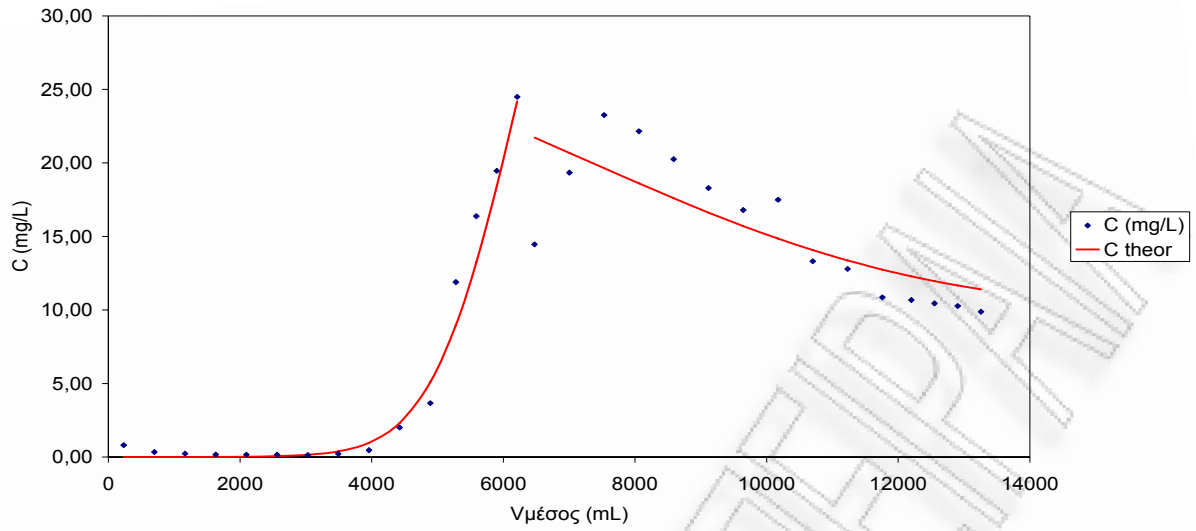


Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N  $H_2SO_4$



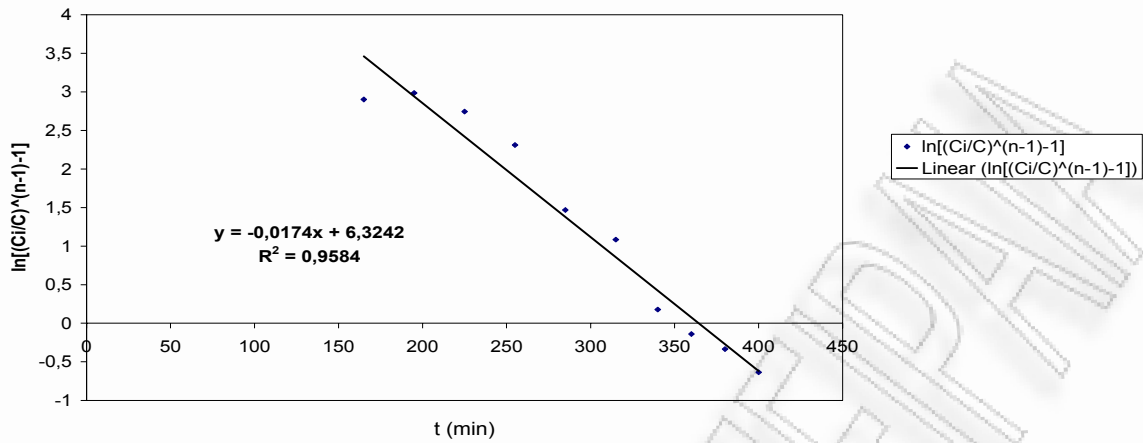






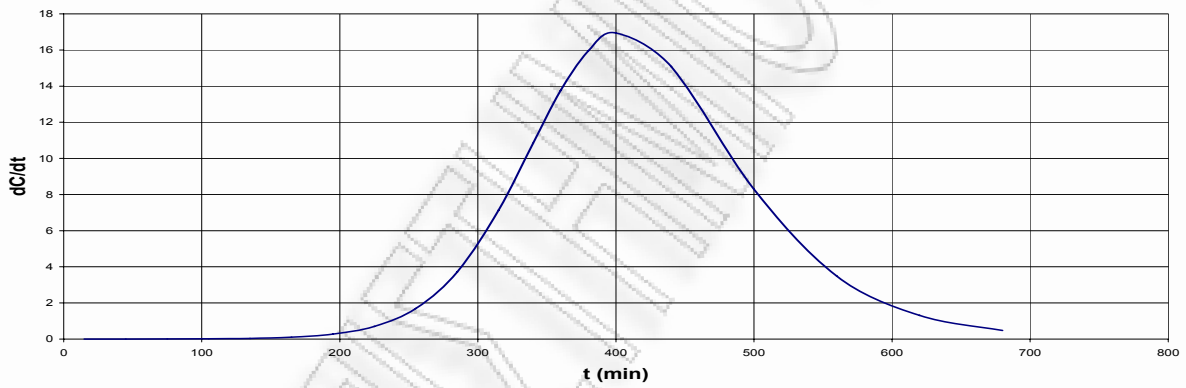
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



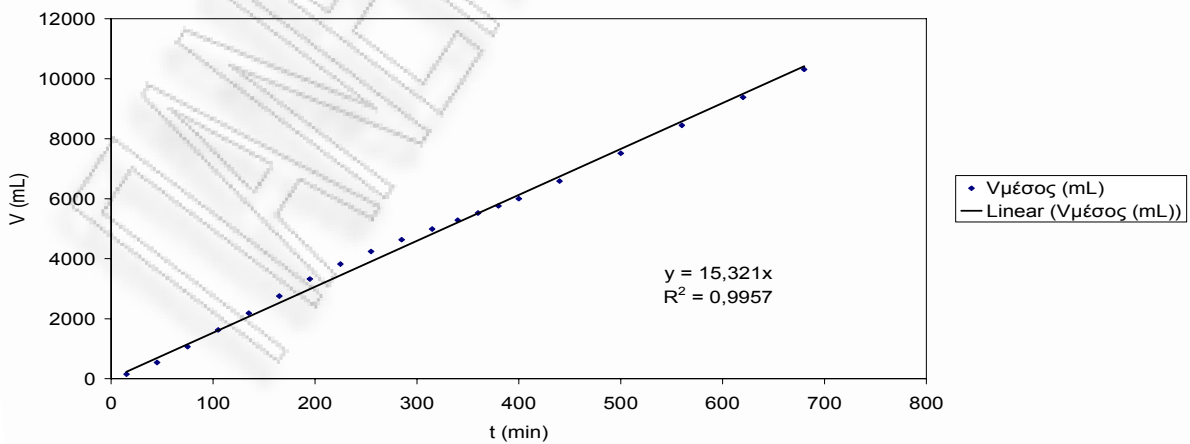
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



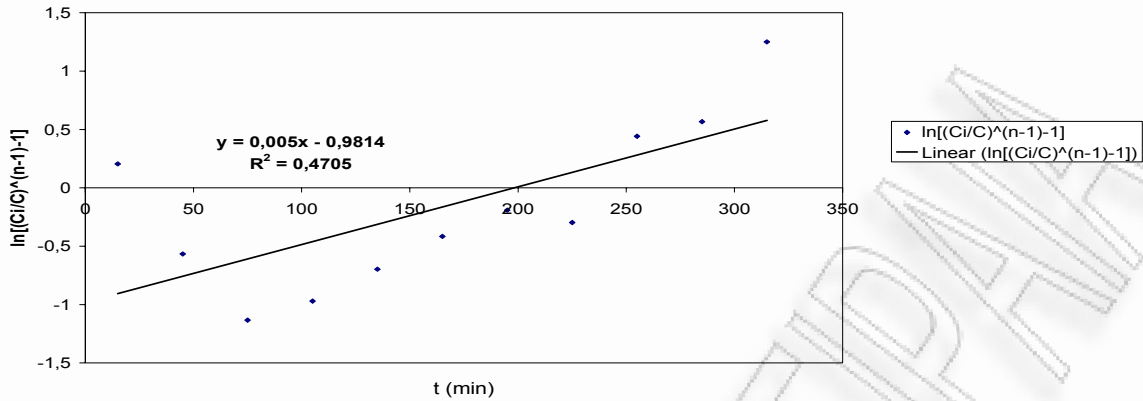
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Παροχή



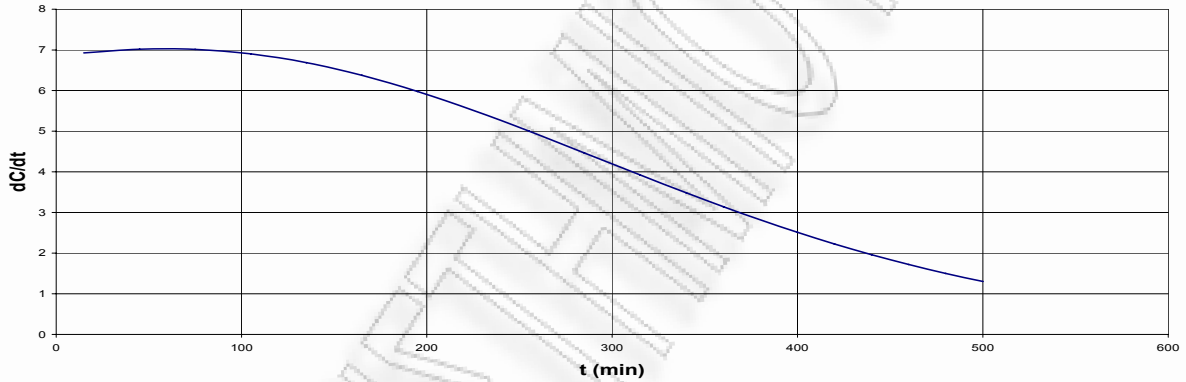
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



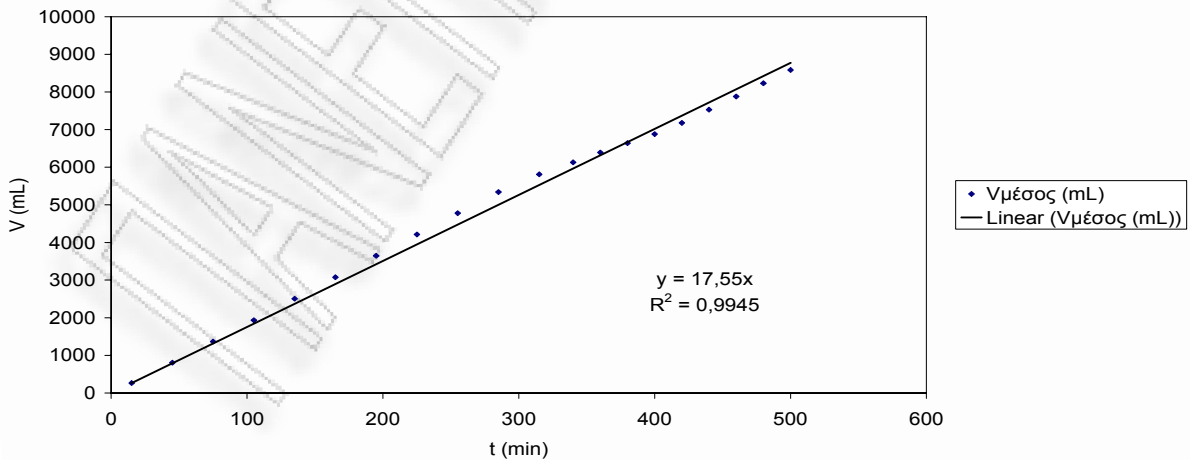
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

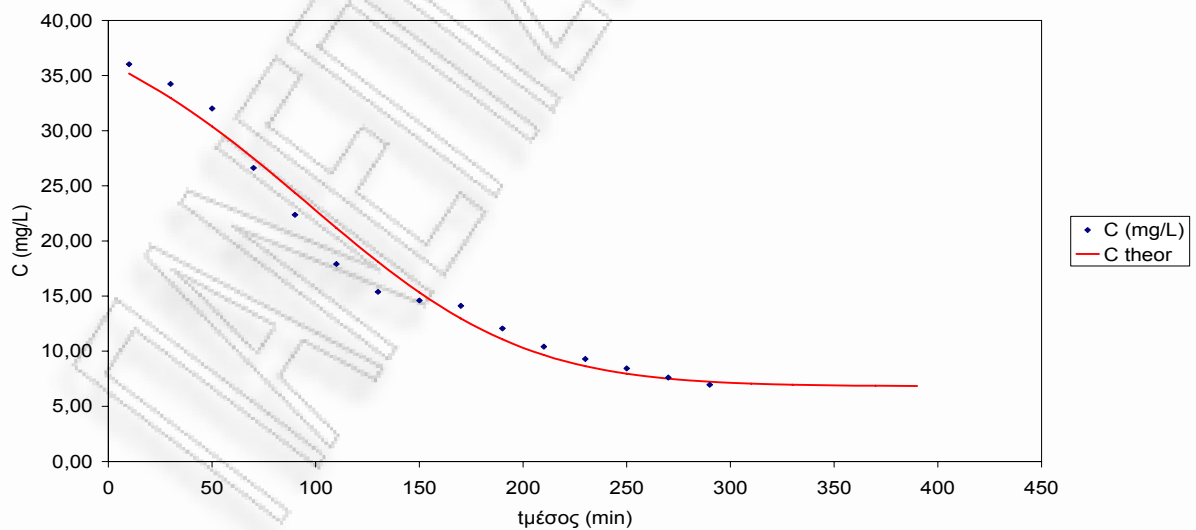
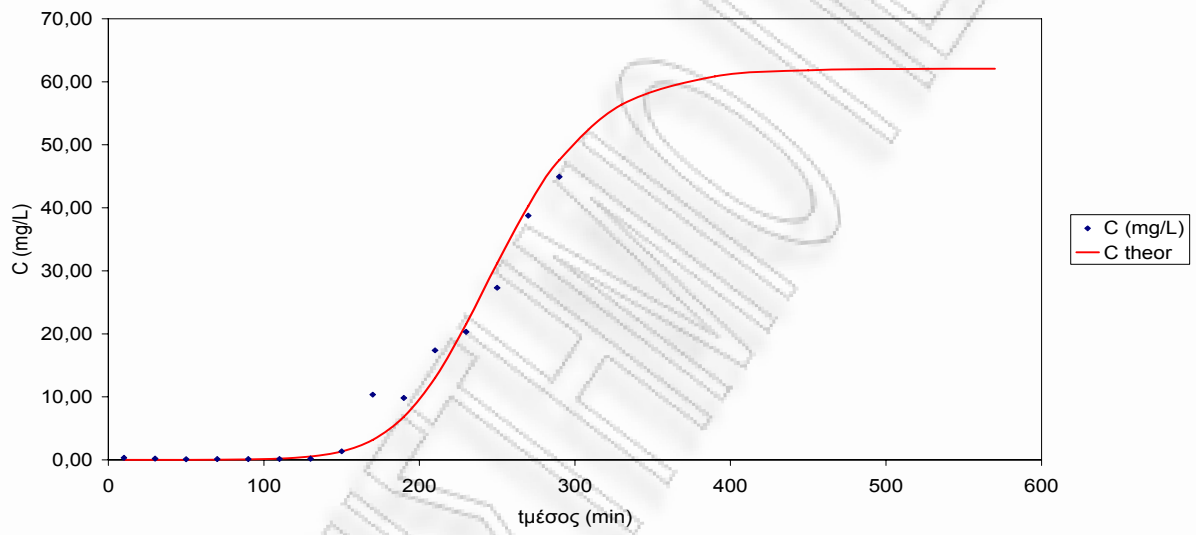
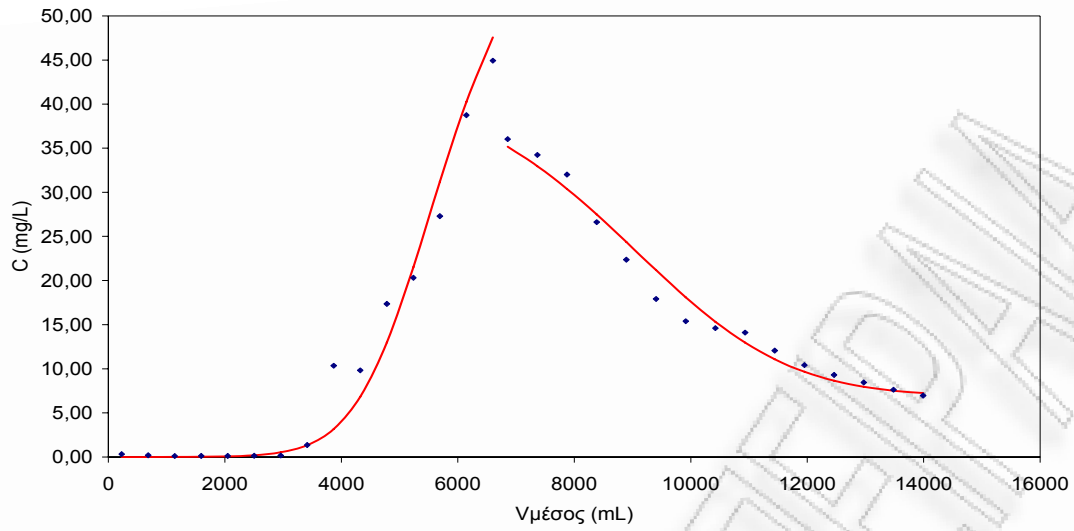
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$



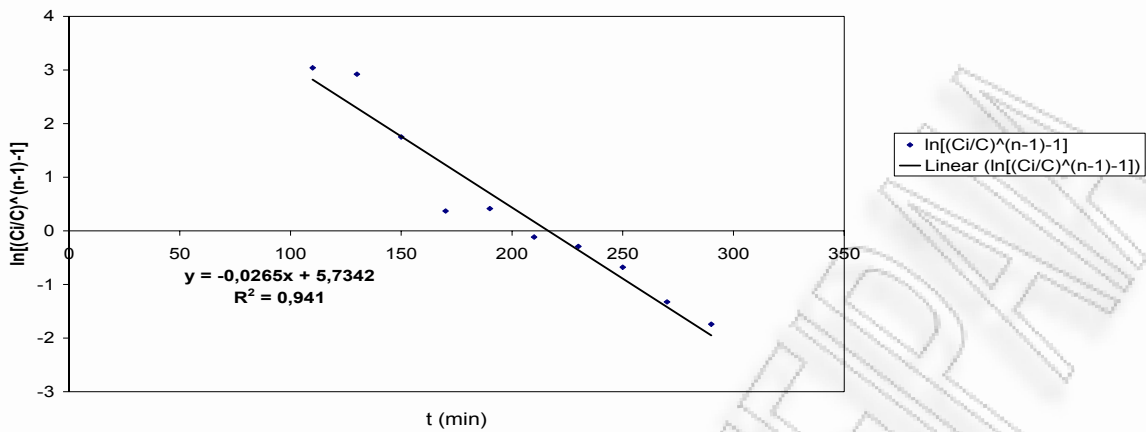




Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 2h 0,45N  $H_2SO_4$

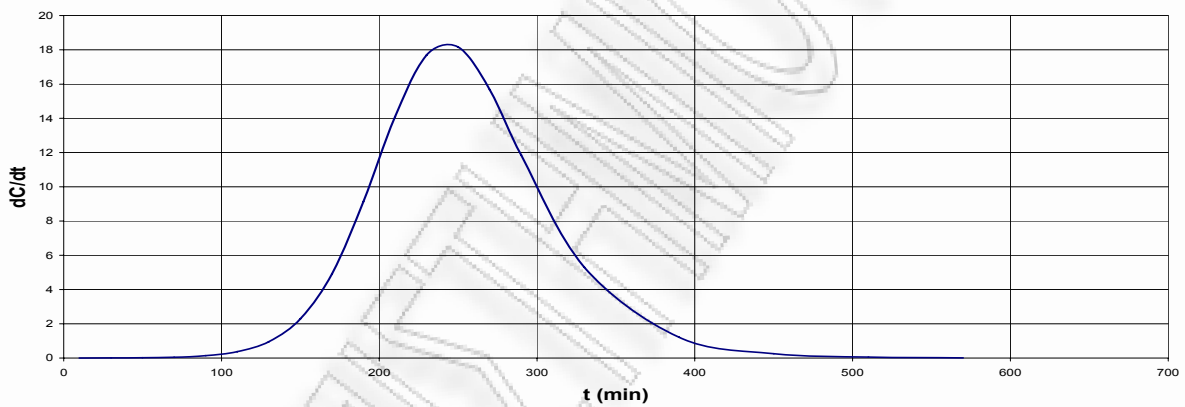


Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



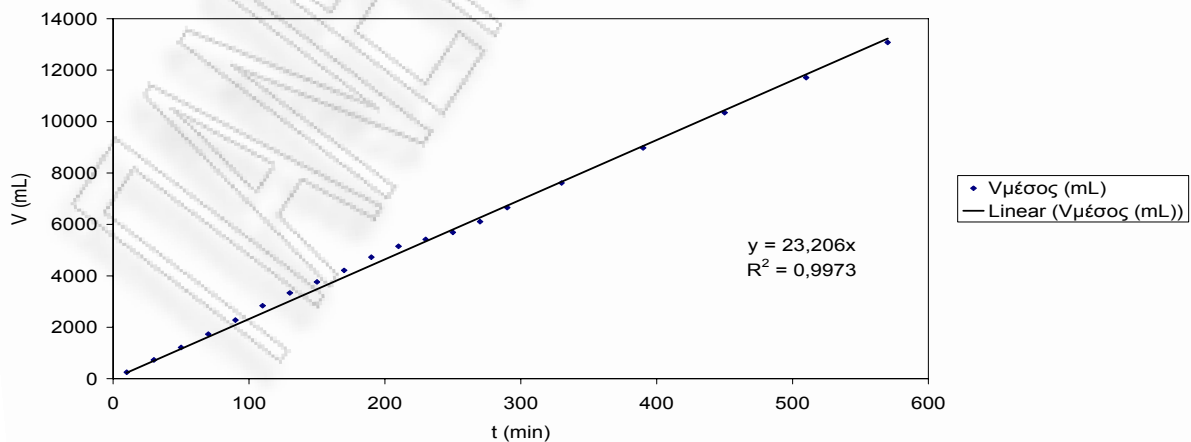
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



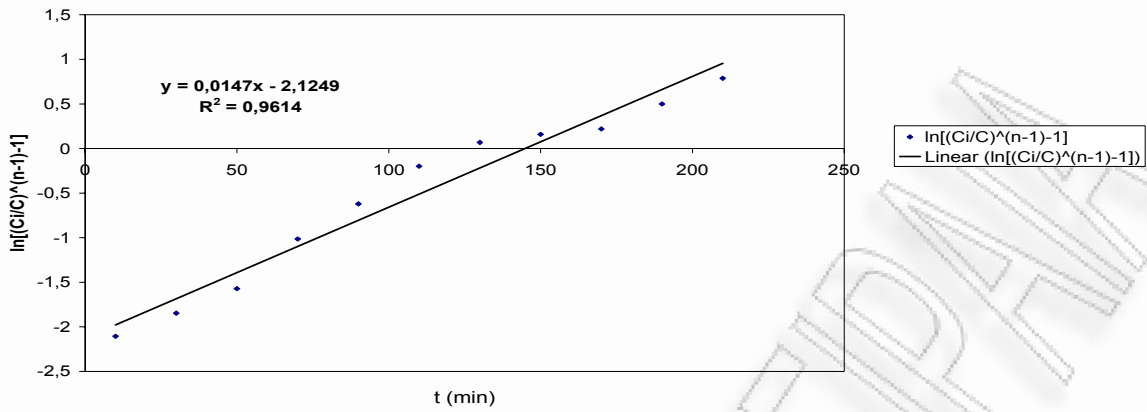
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Παροχή



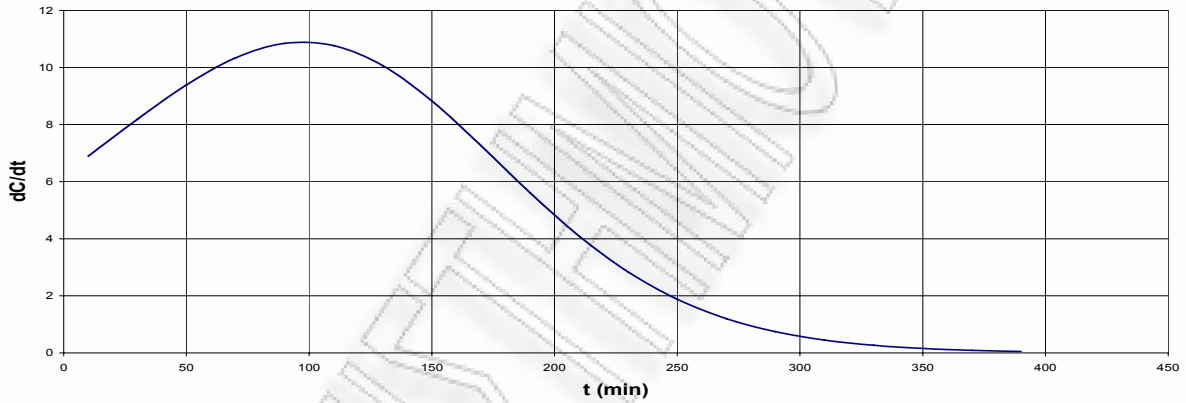
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



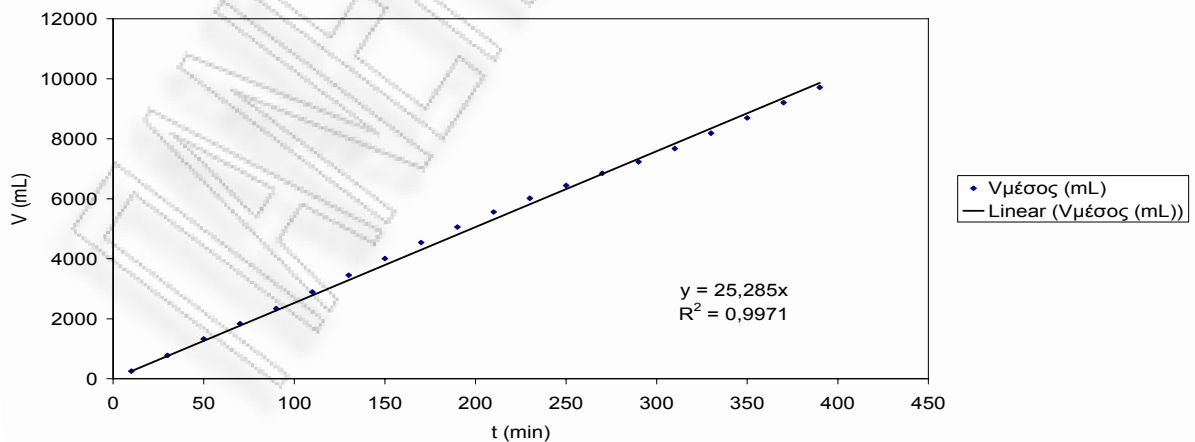
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

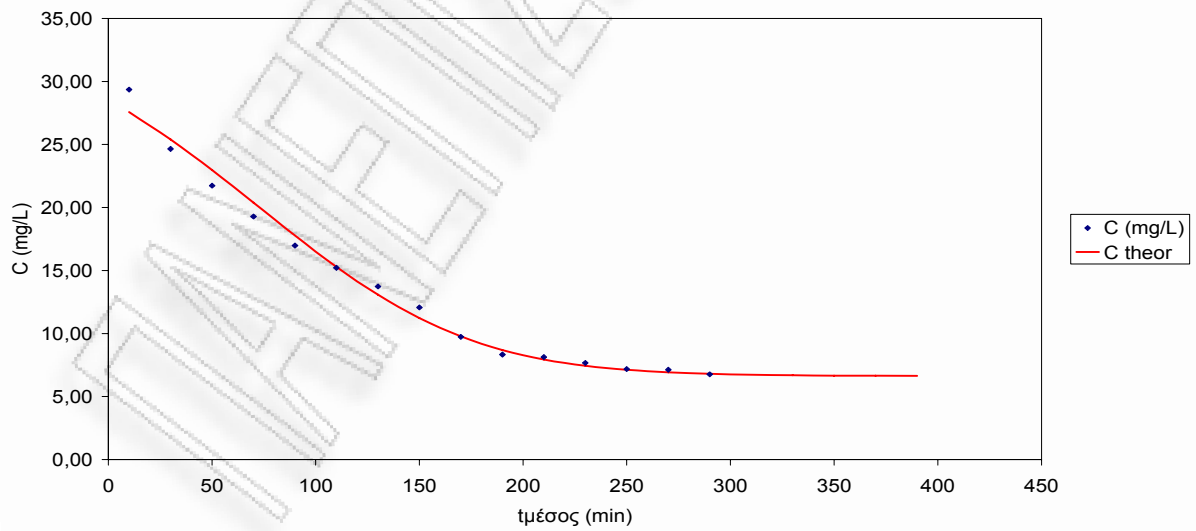
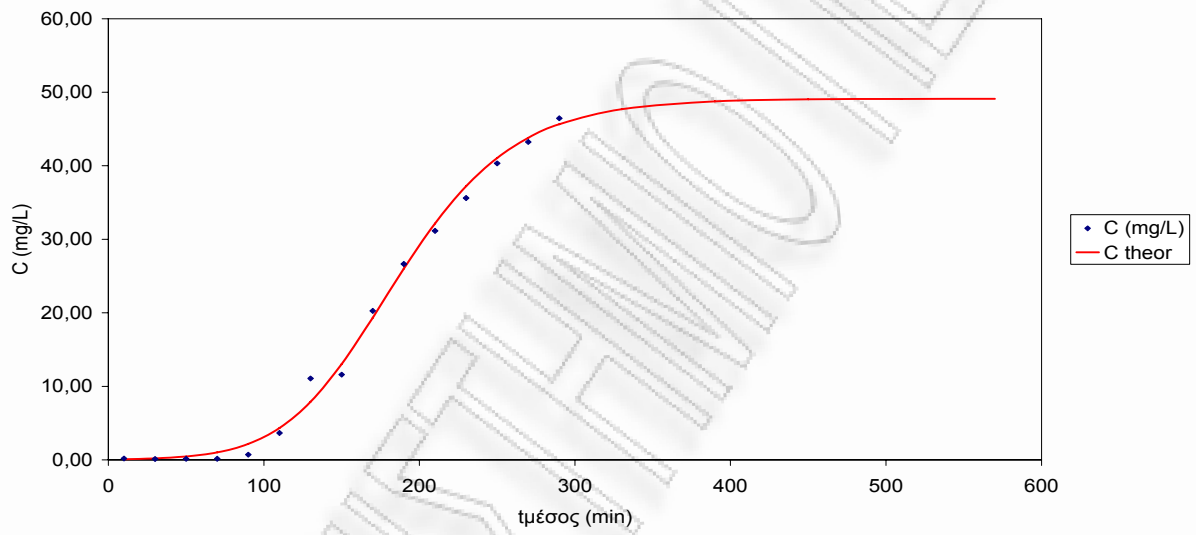
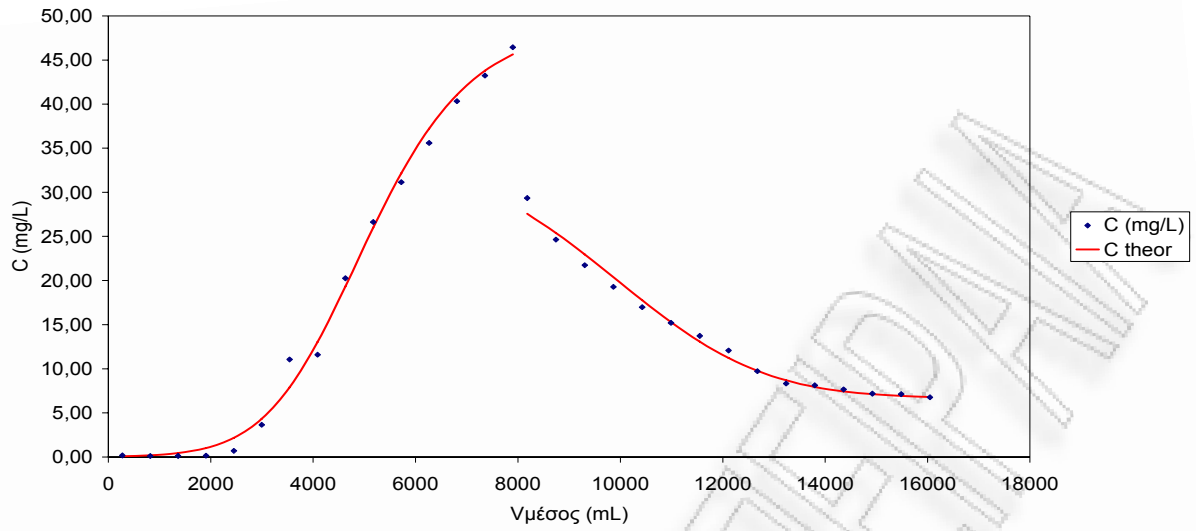
Παροχή



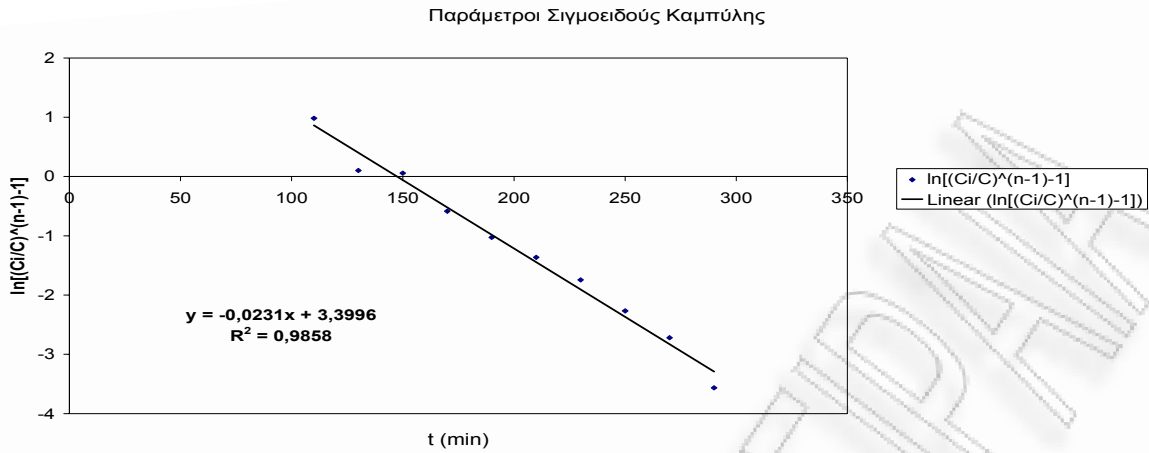
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$



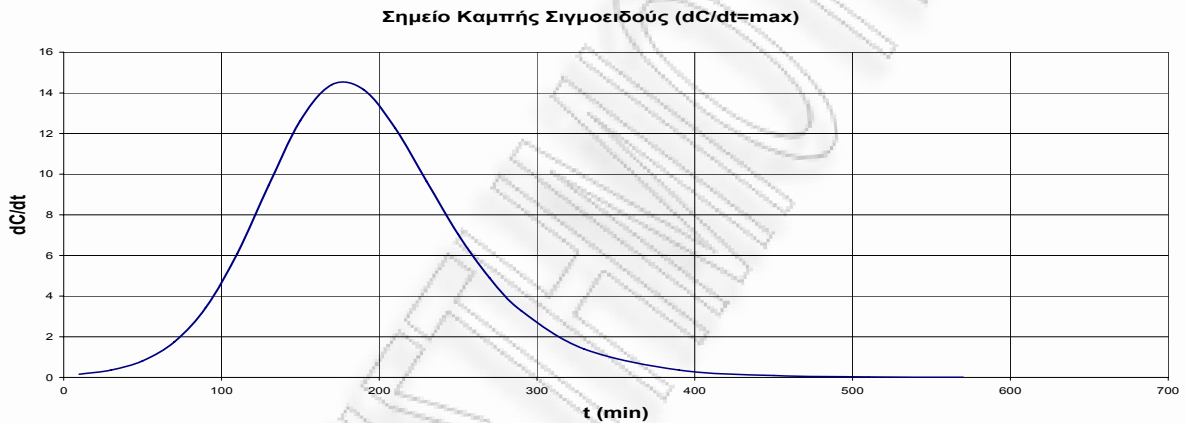




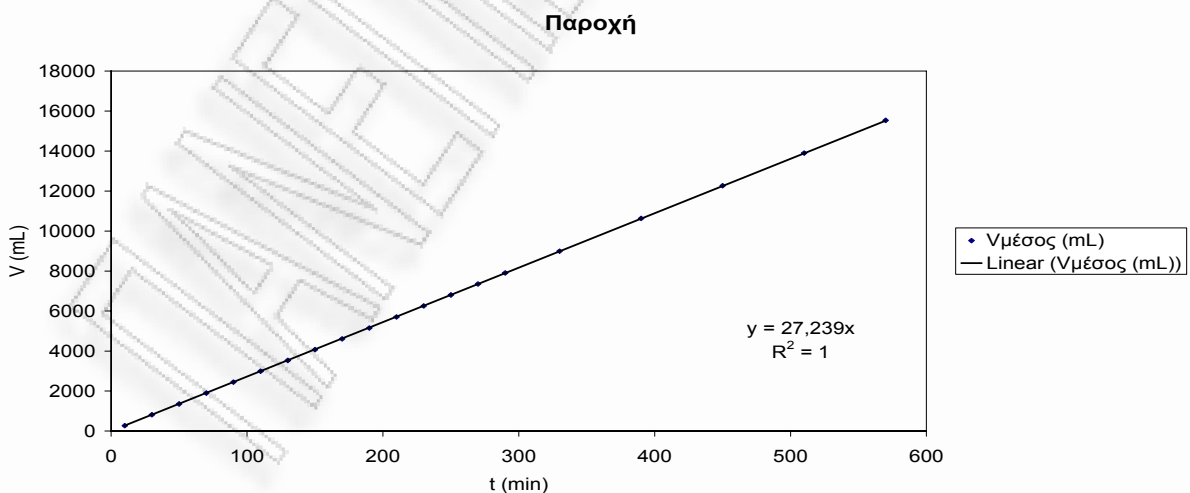
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 30min 0,9N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,9N  $H_2SO_4$

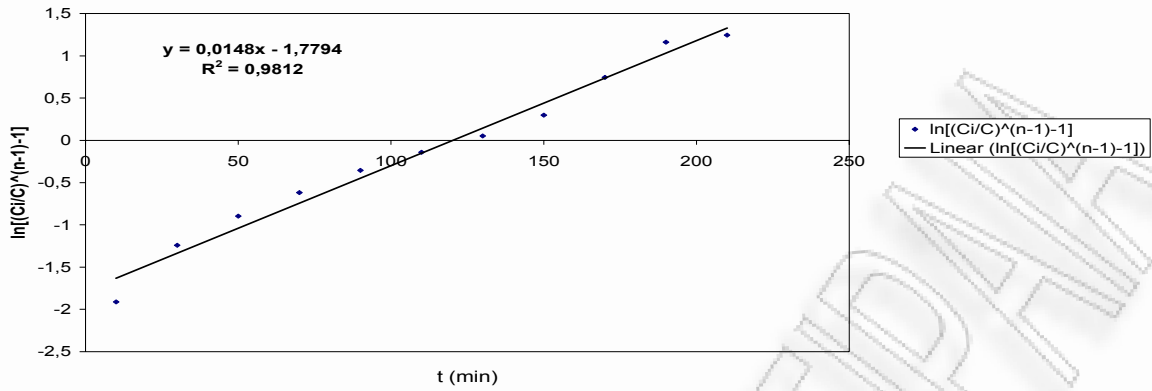


Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,9N  $H_2SO_4$



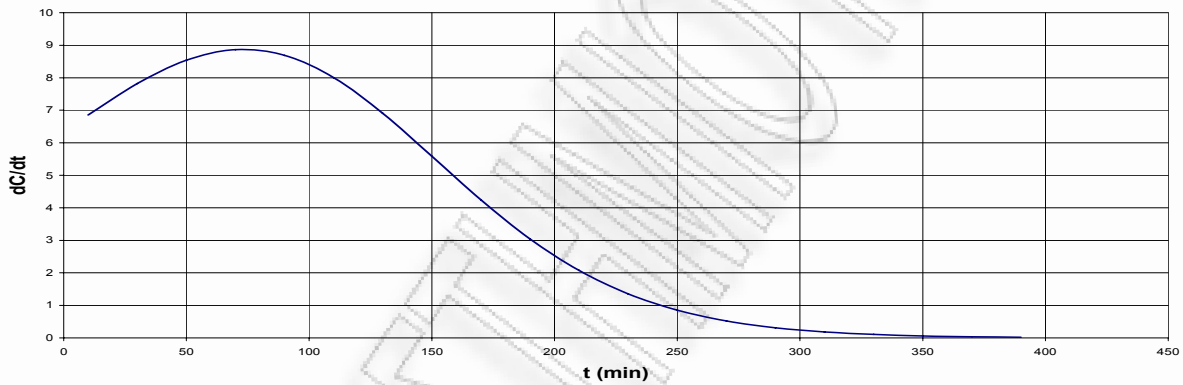
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,9N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



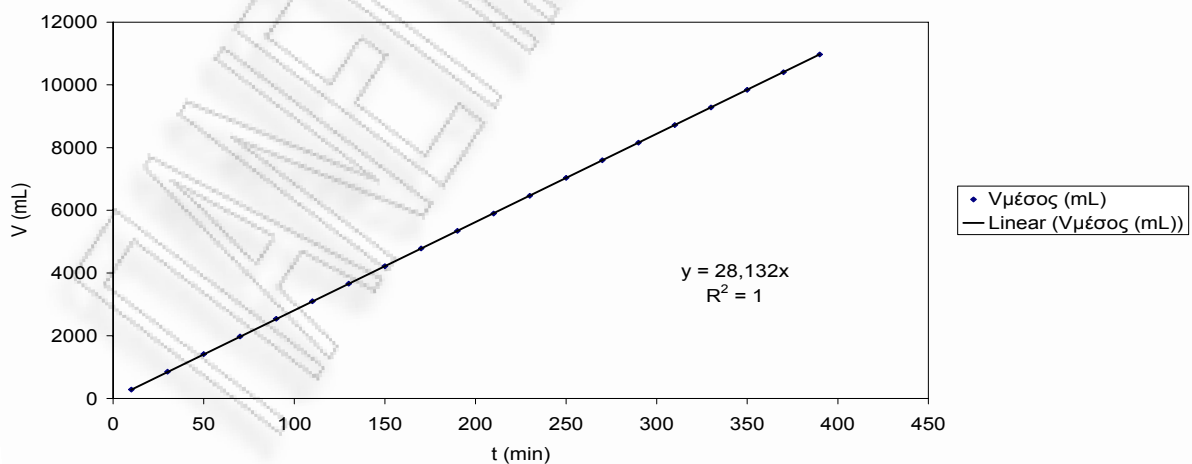
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,9N  $H_2SO_4$

Παροχή



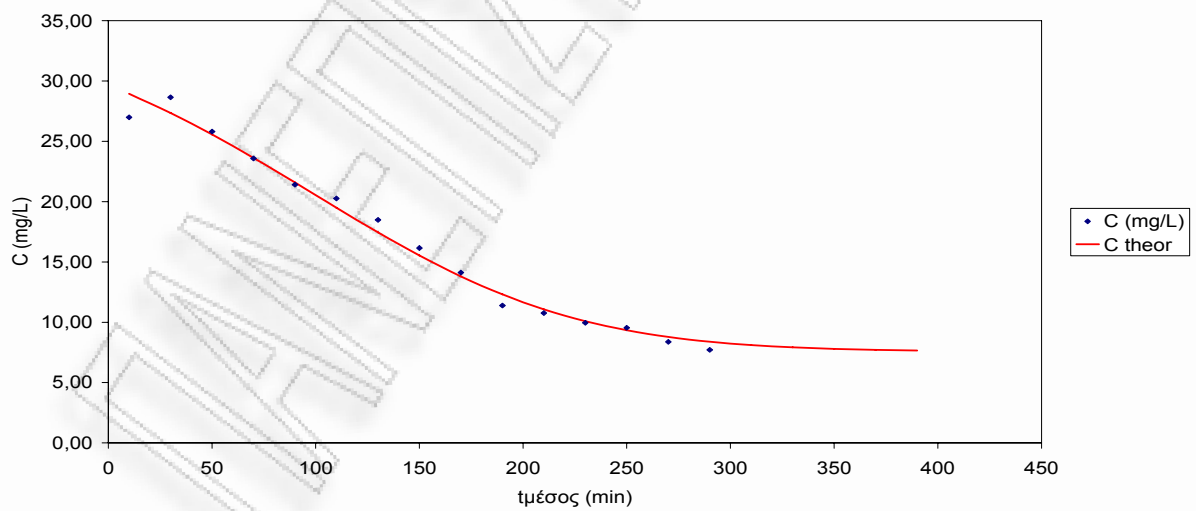
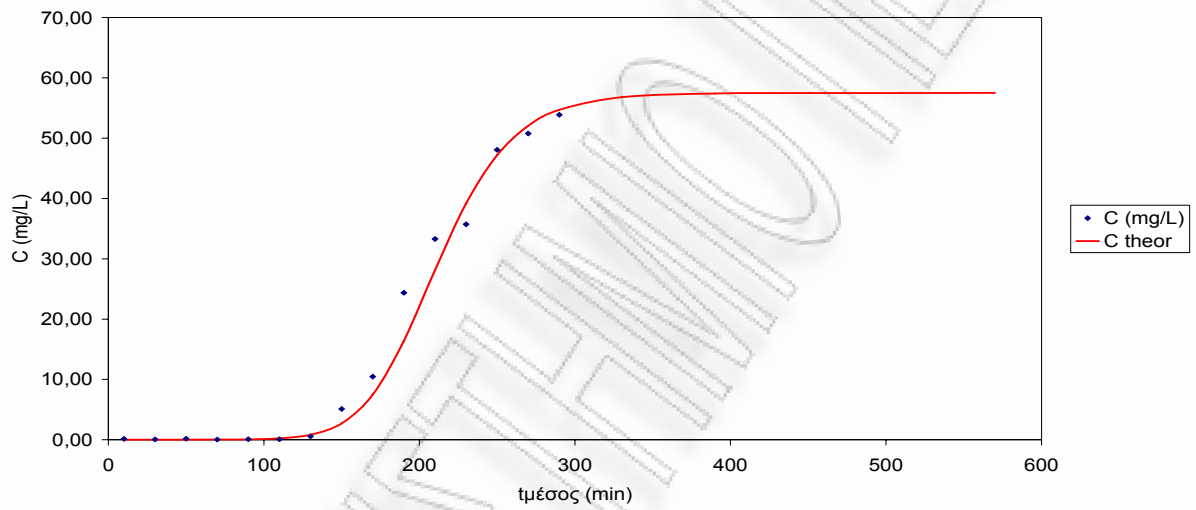
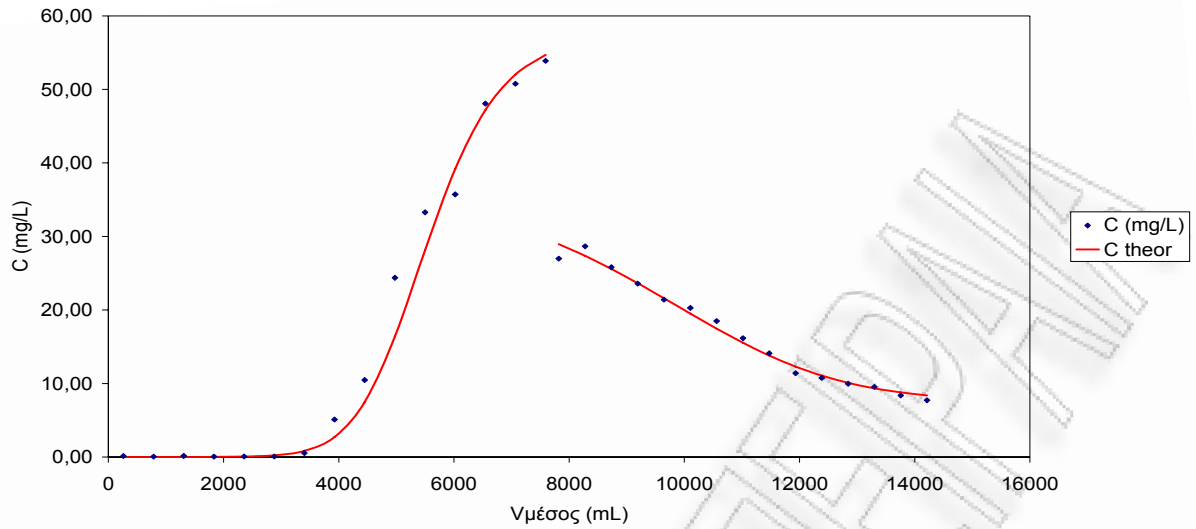
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,9N  $H_2SO_4$



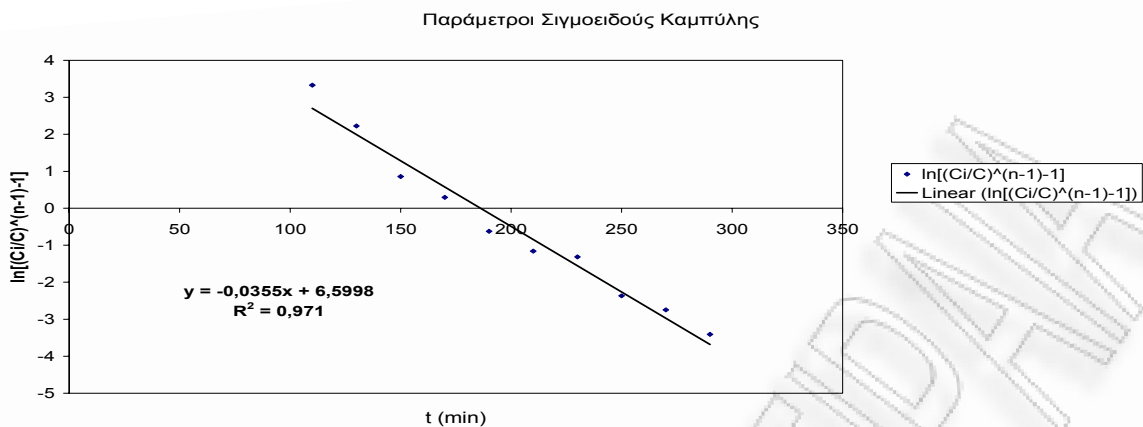




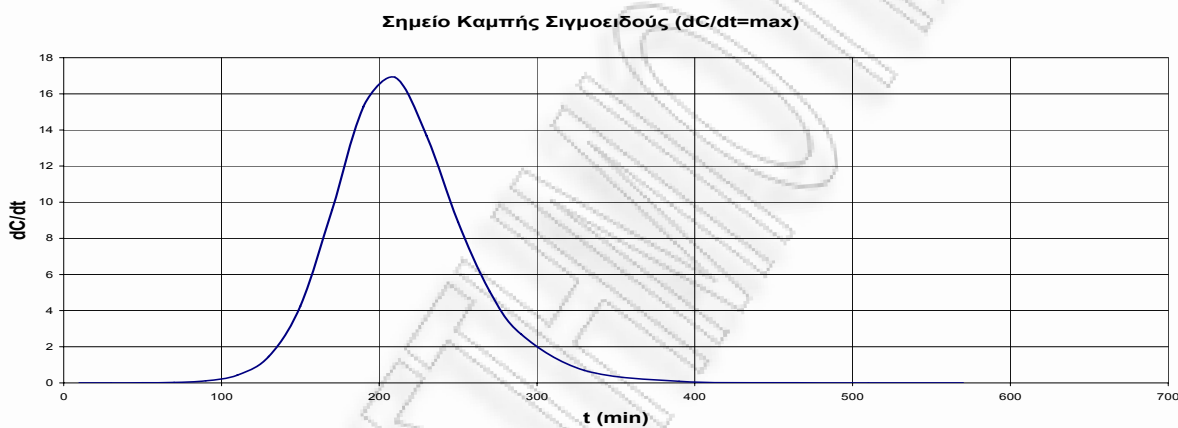




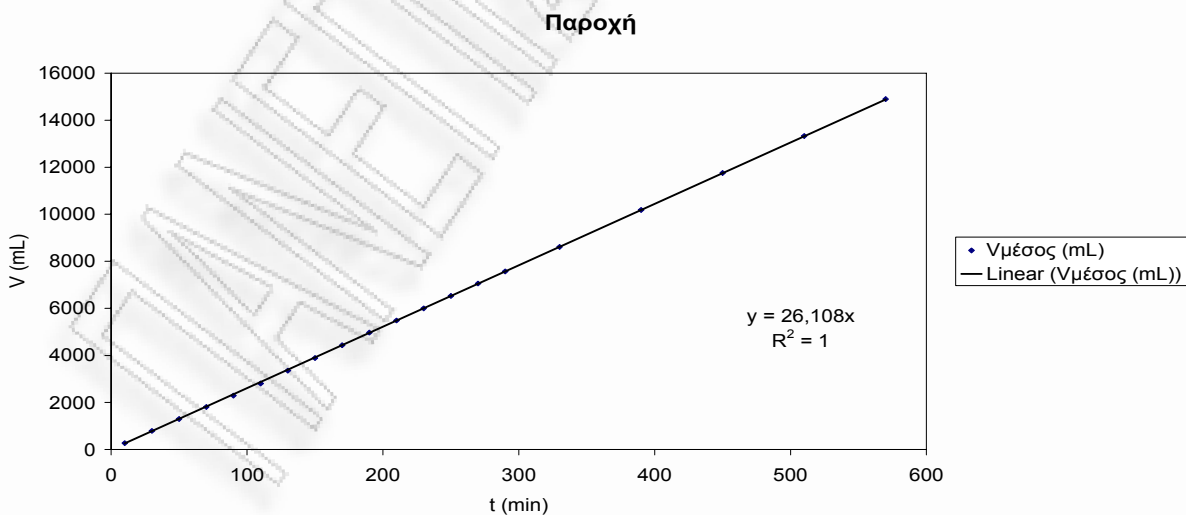
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 1h 0,9N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1}\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

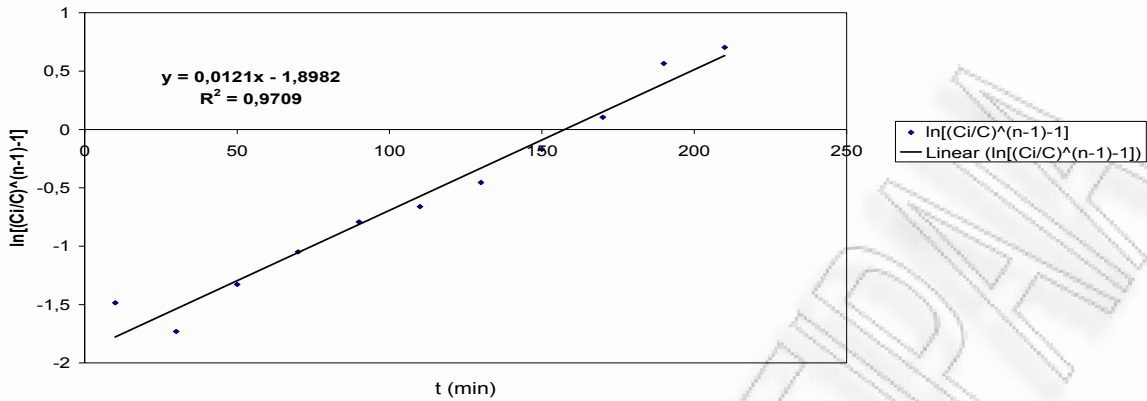


Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$



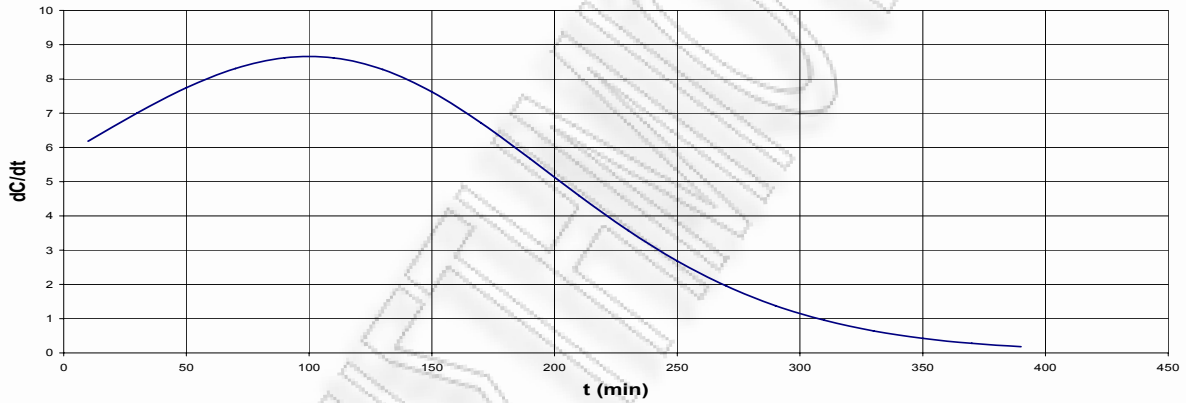
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



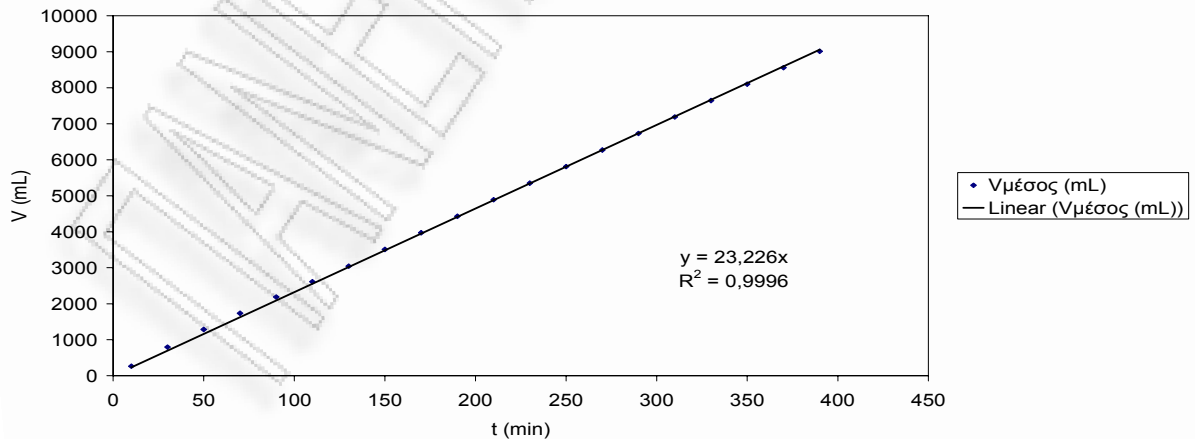
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

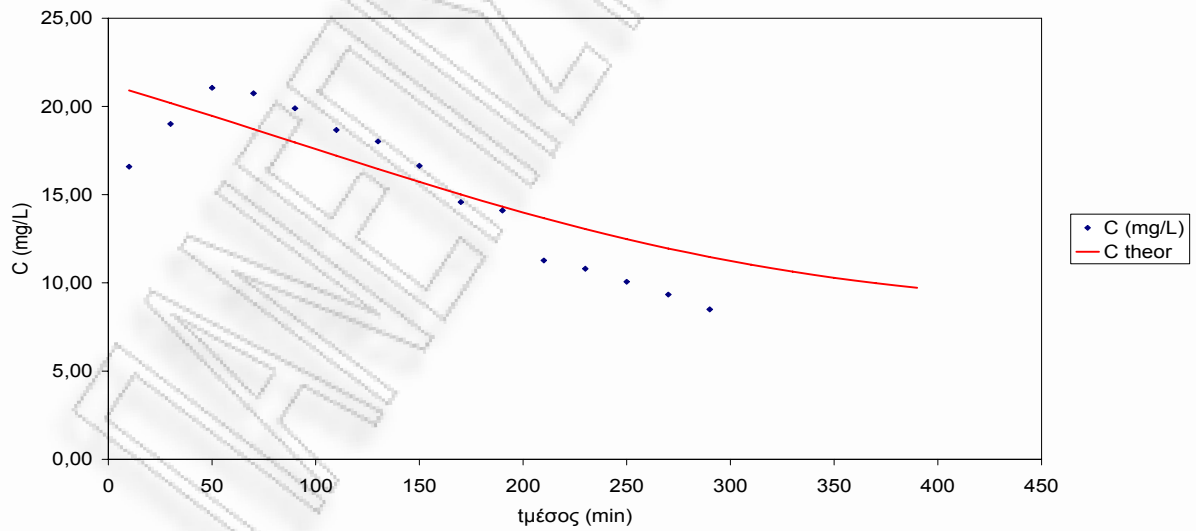
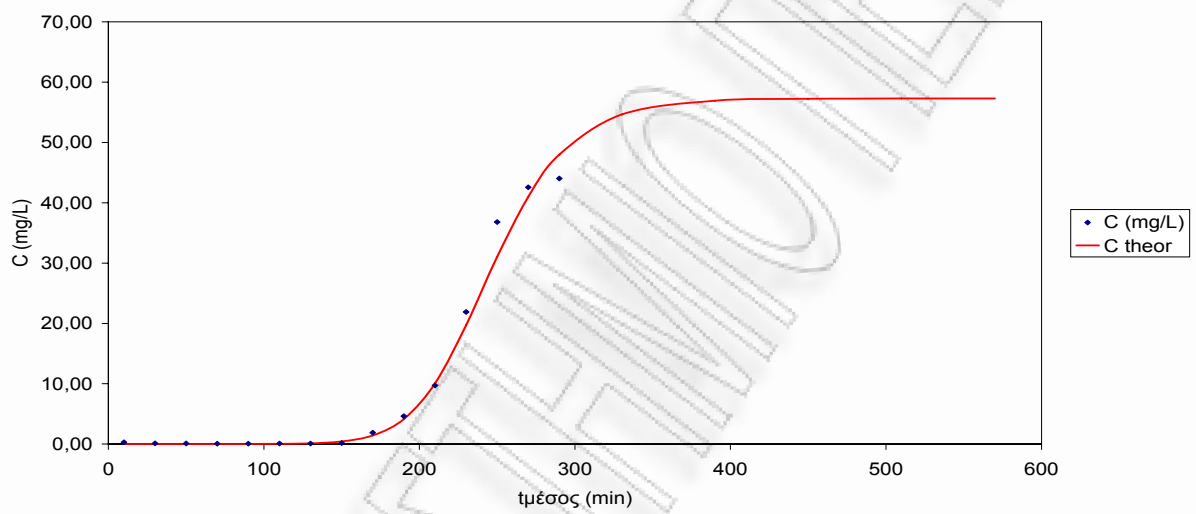
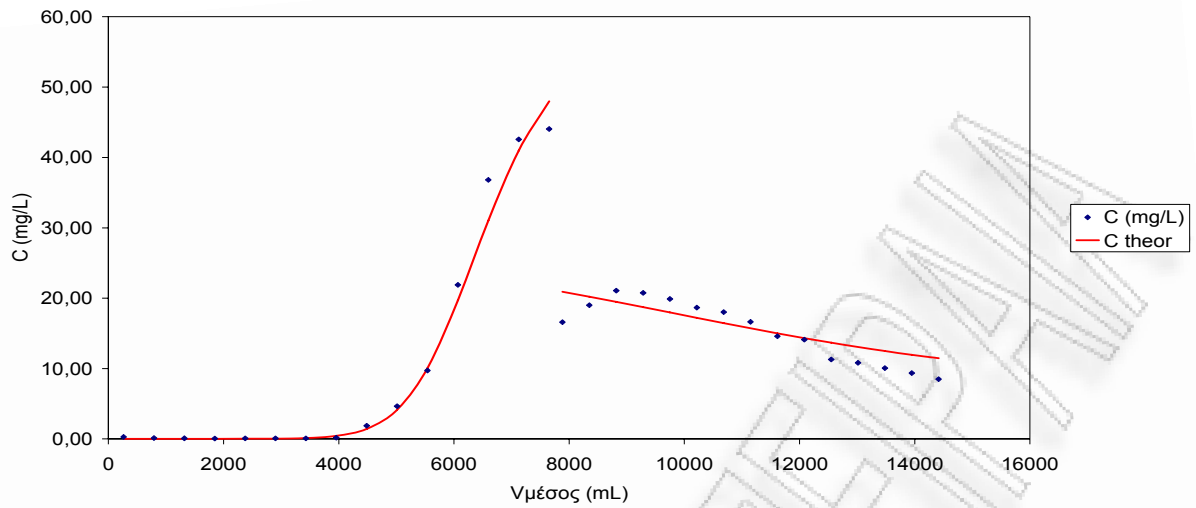
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

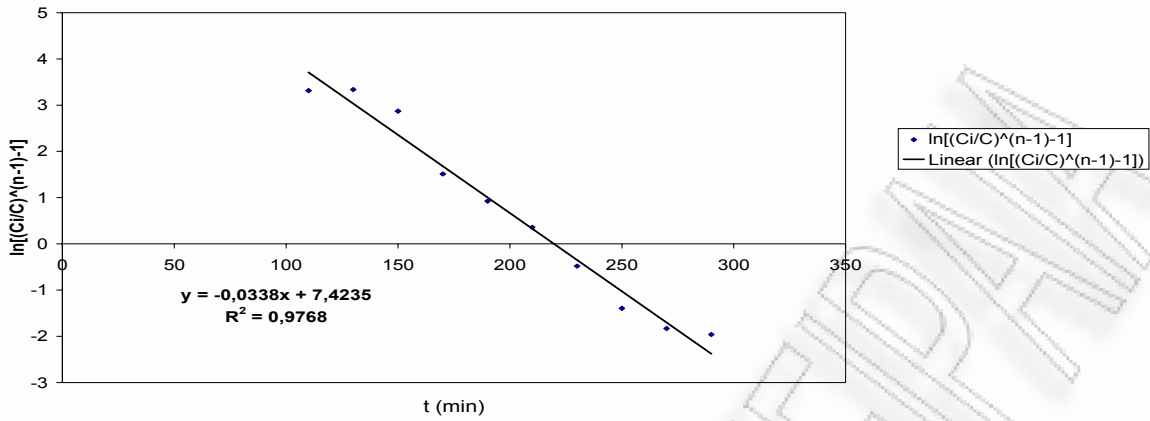






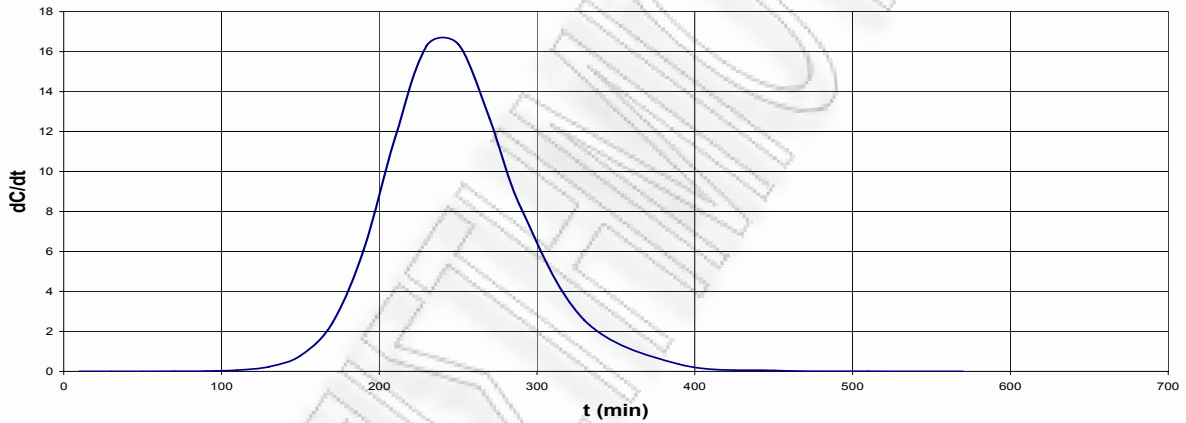
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 1h 0,9N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



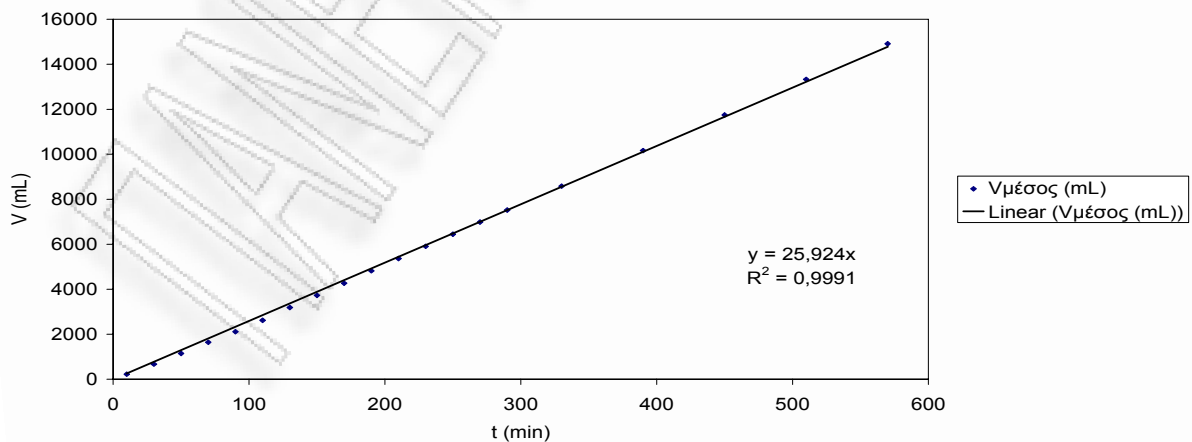
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

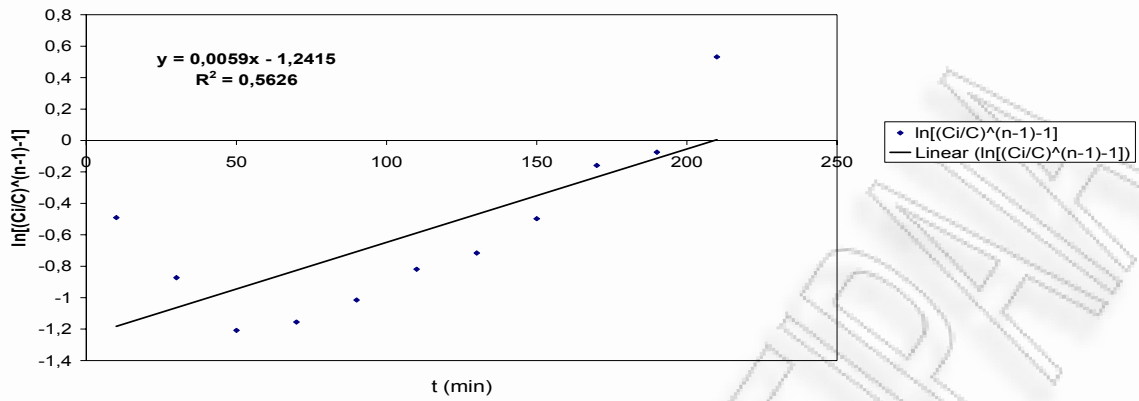
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

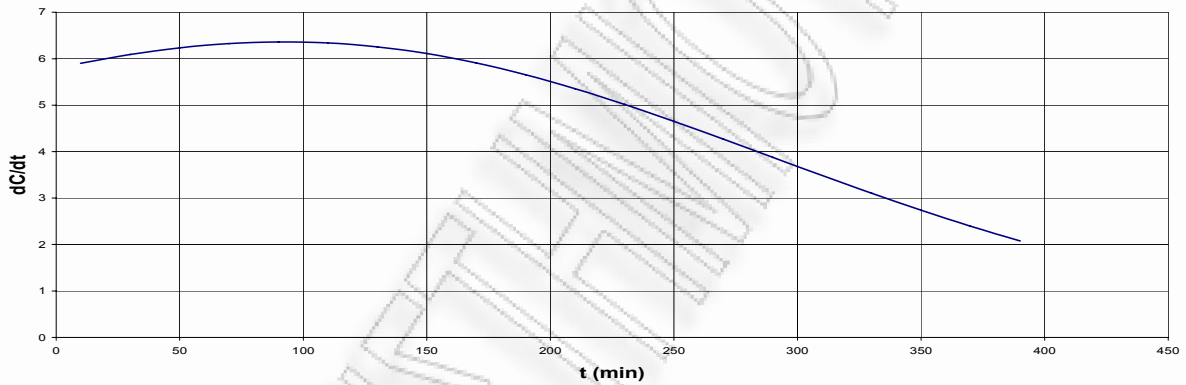


Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



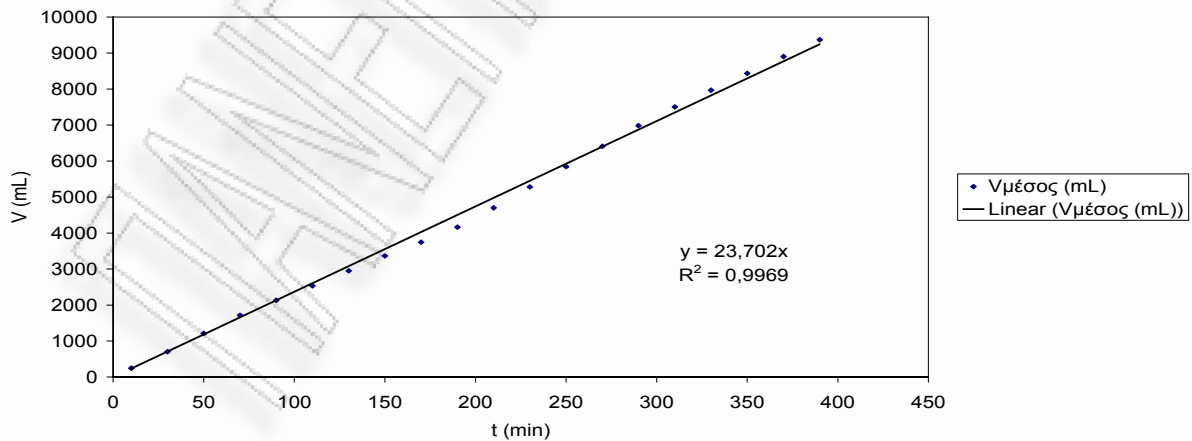
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

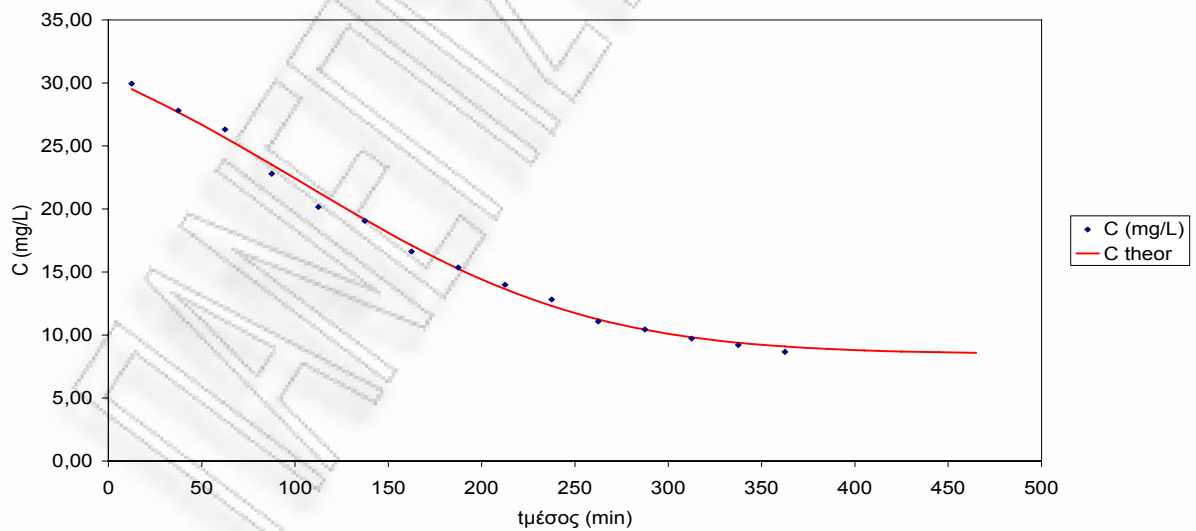
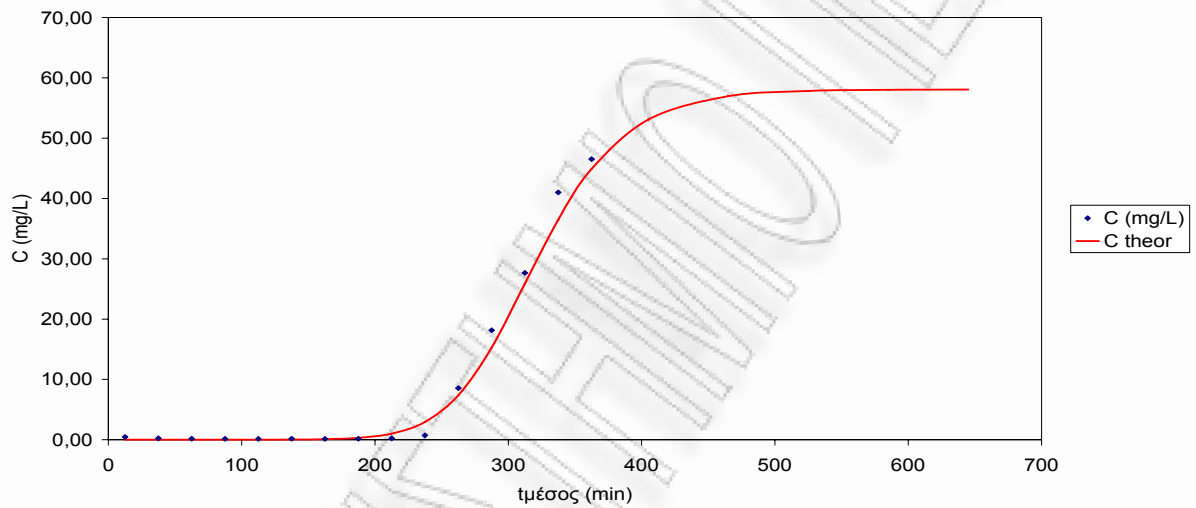
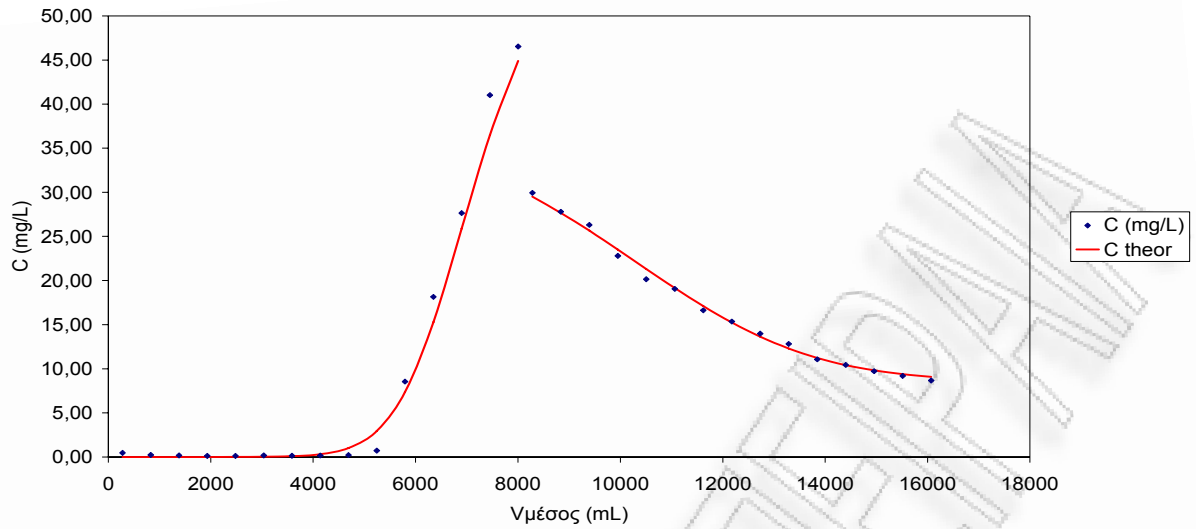
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

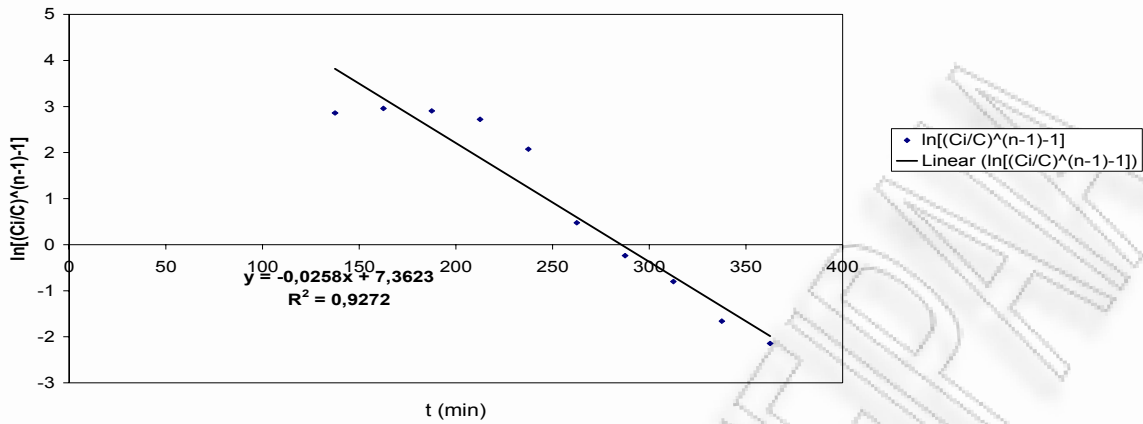






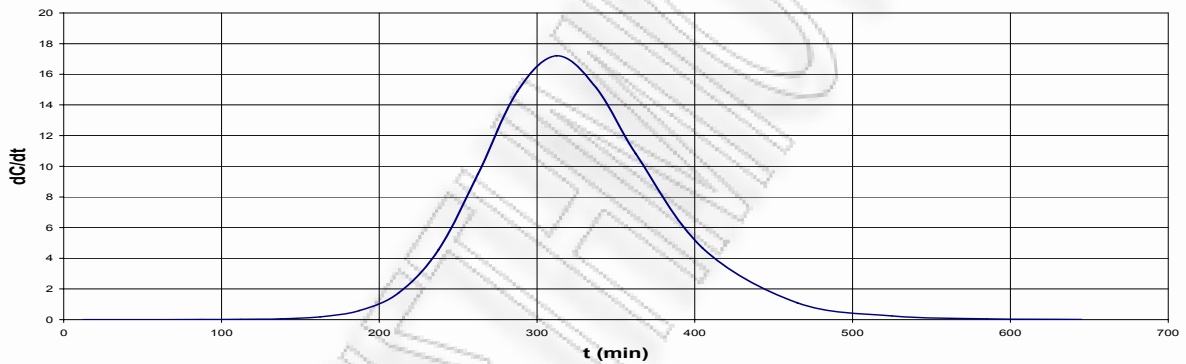
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



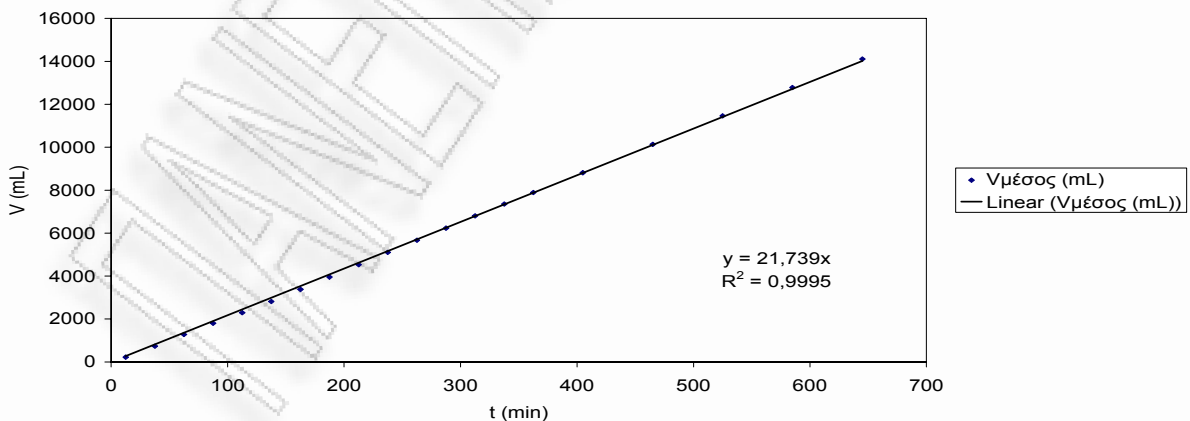
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



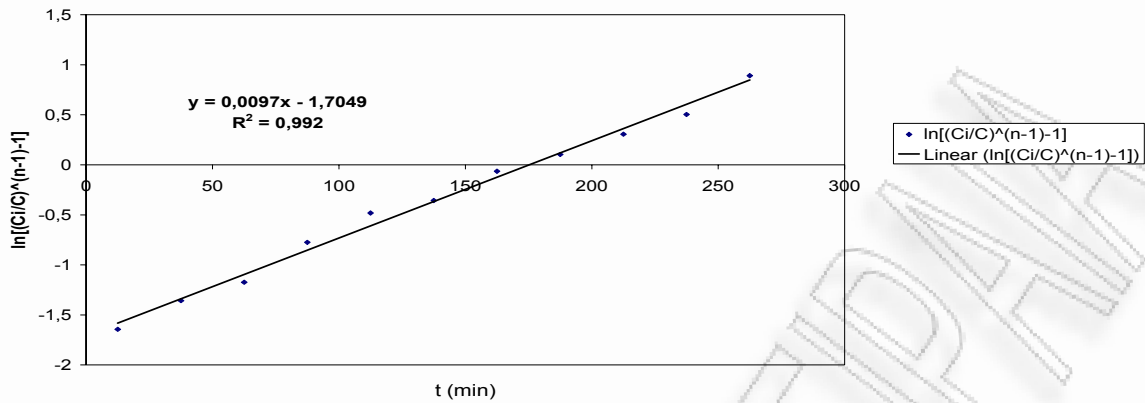
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Παροχή



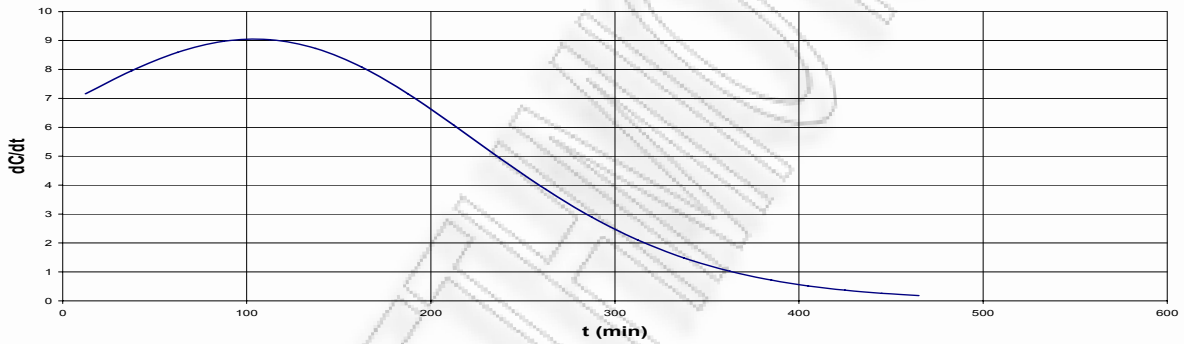
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



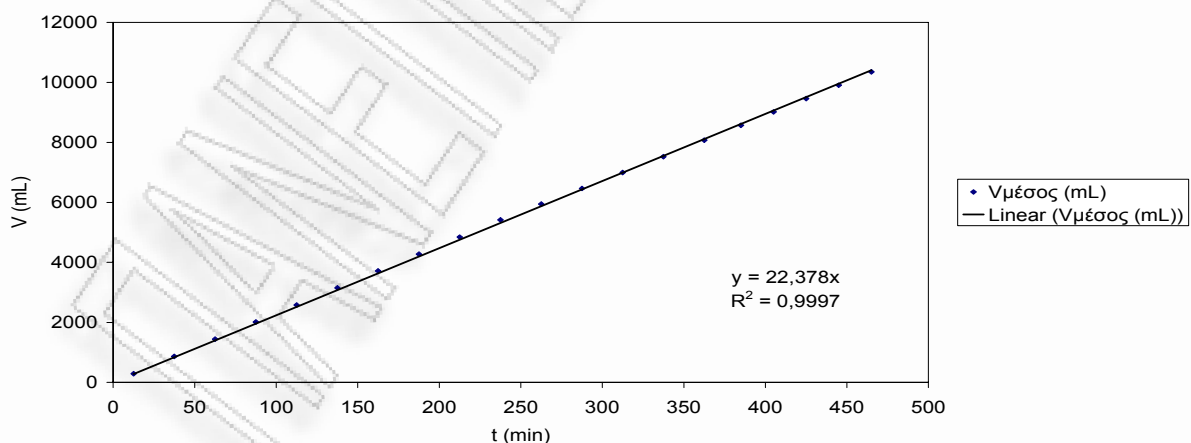
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Παροχή

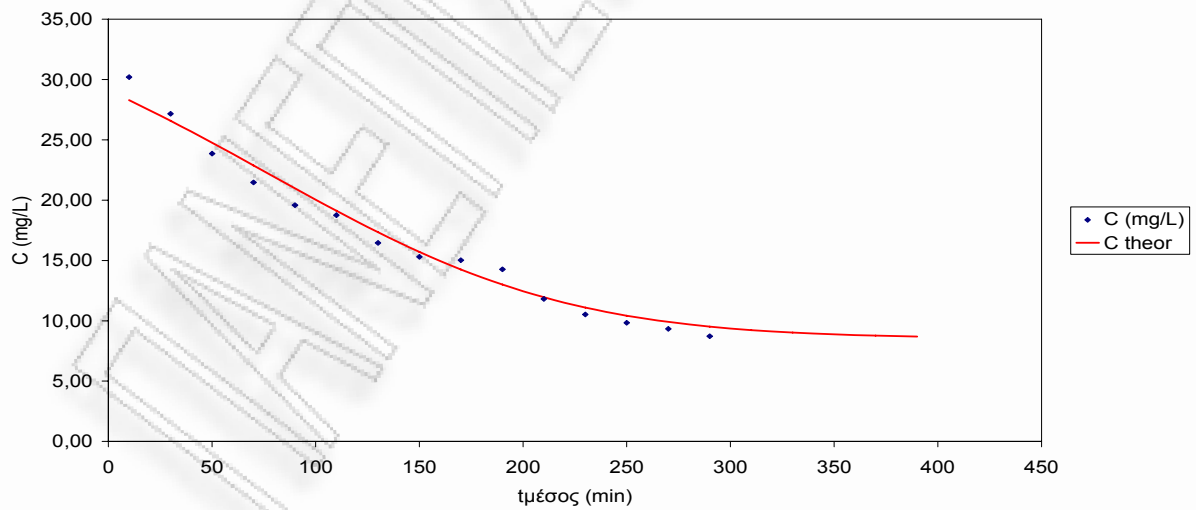
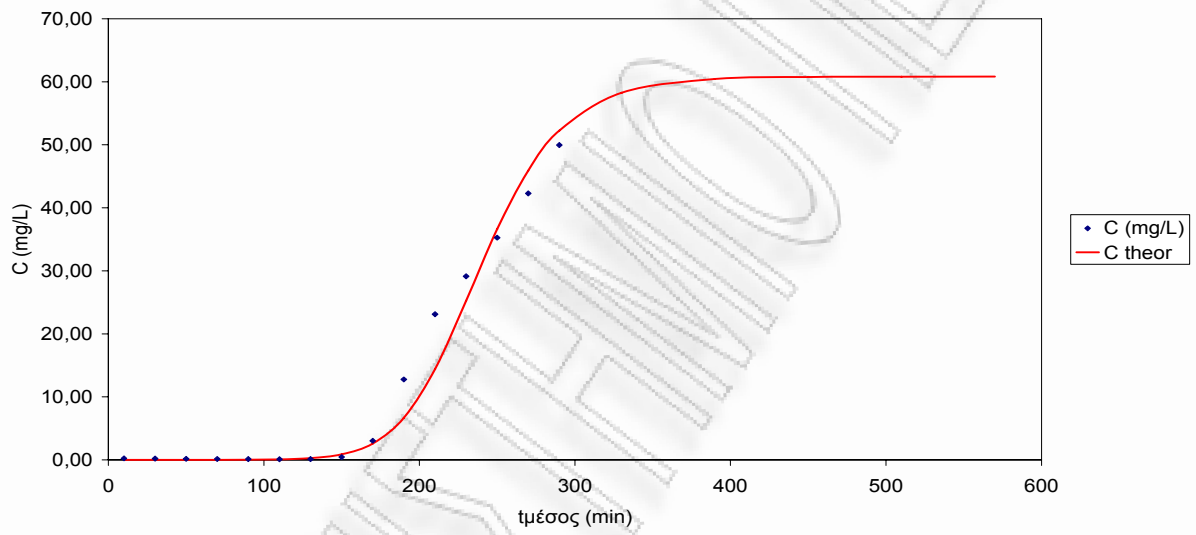
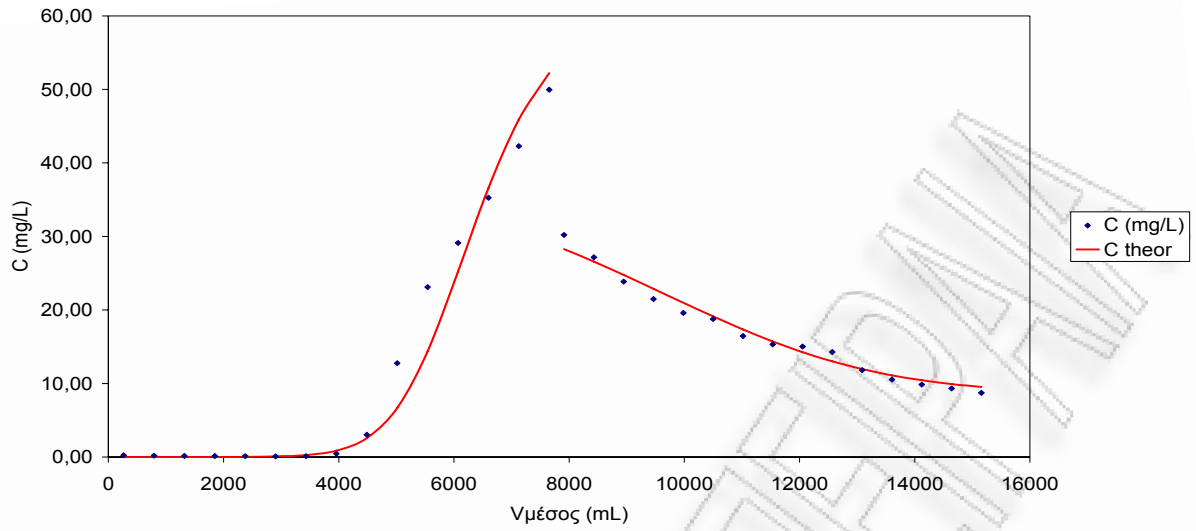


Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$



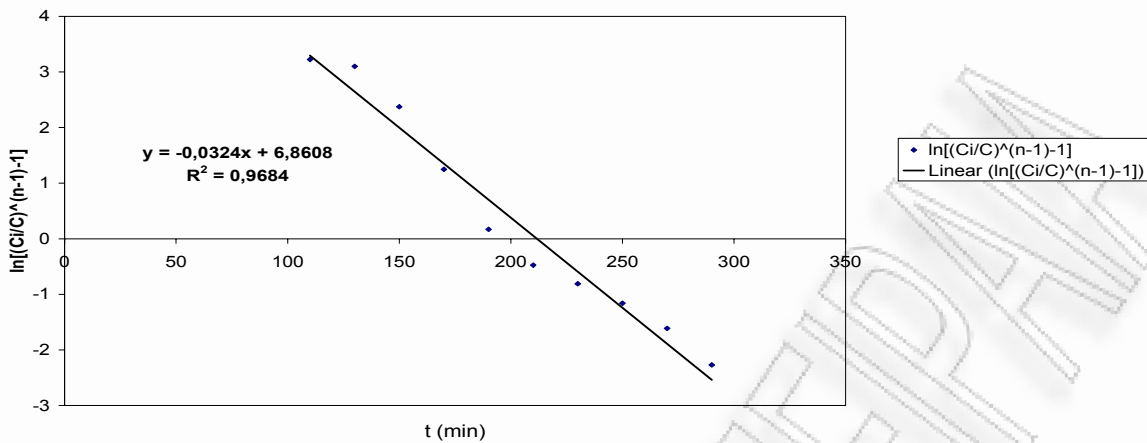






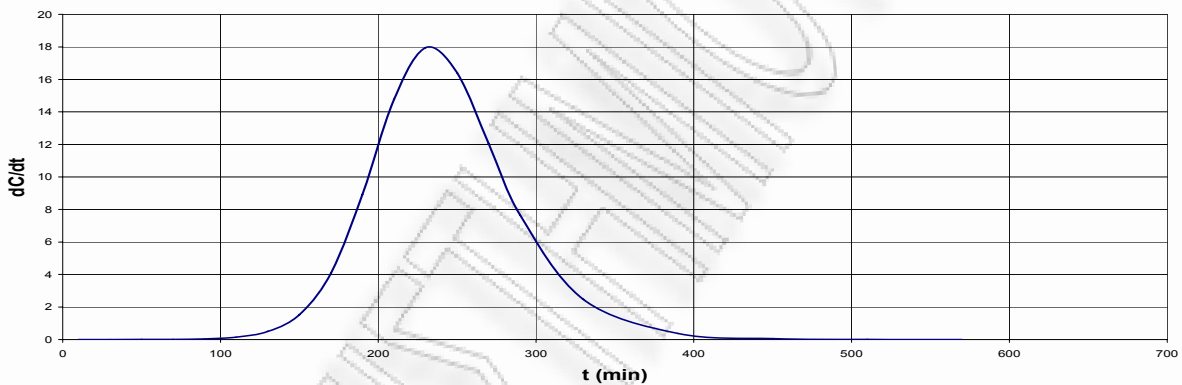
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 3h 0,9N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



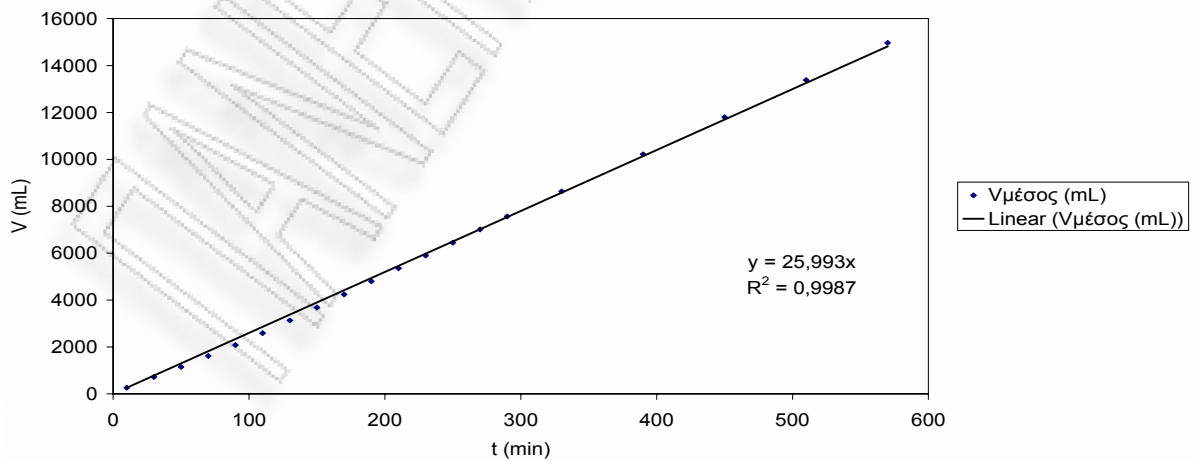
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



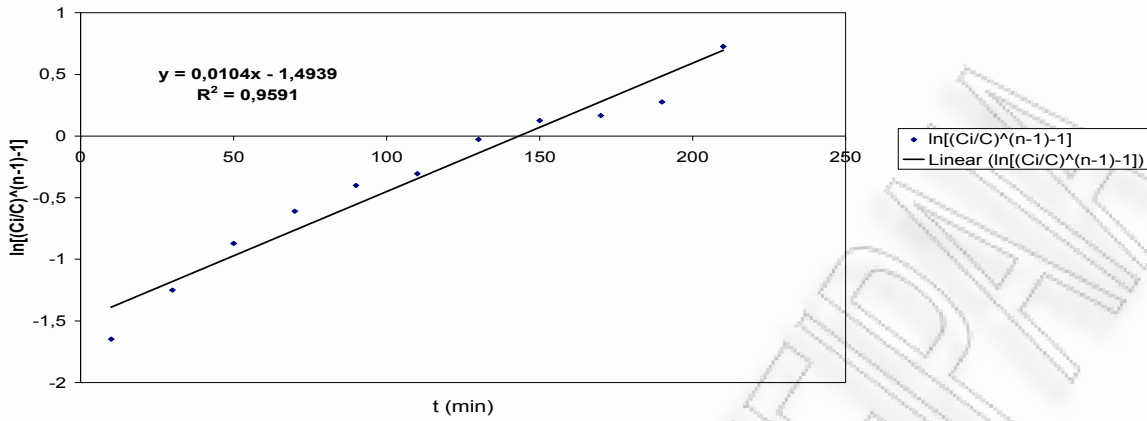
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,9N  $H_2SO_4$

Παροχή



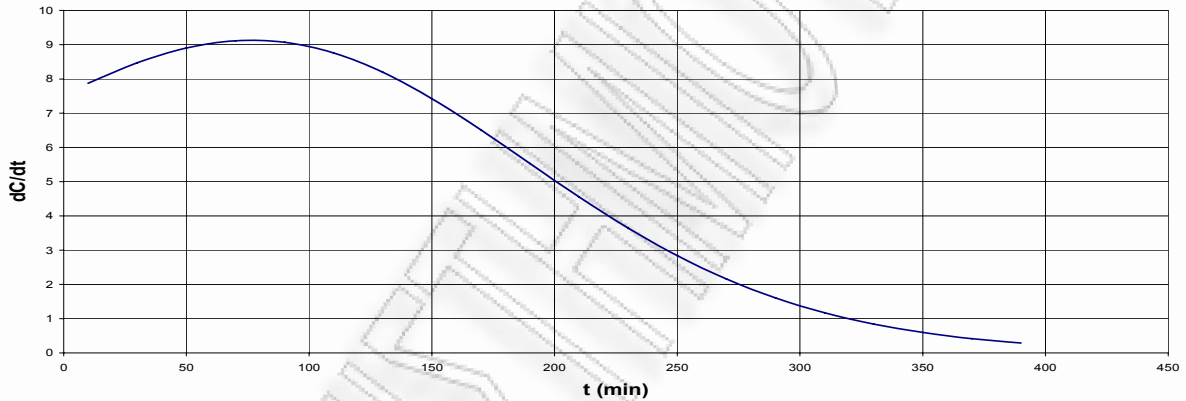
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,9N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



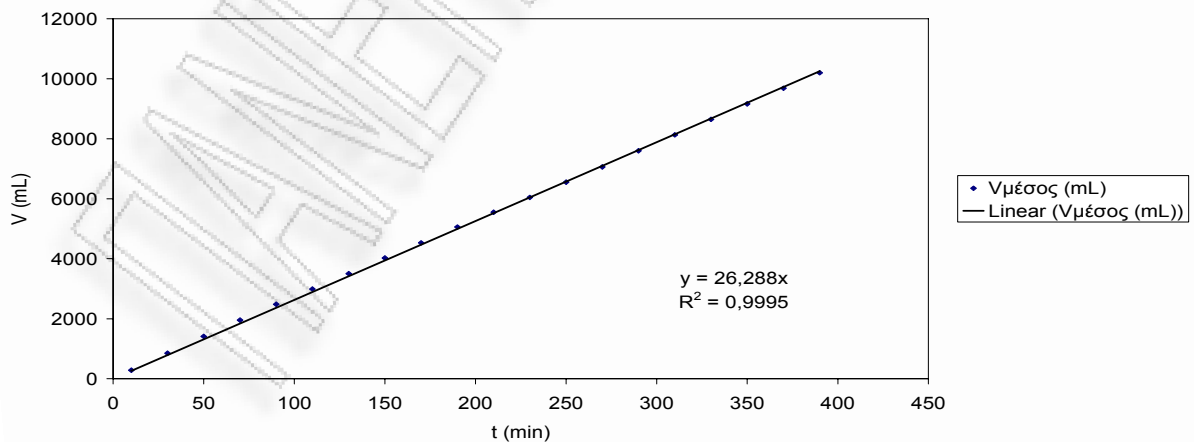
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,9N  $H_2SO_4$

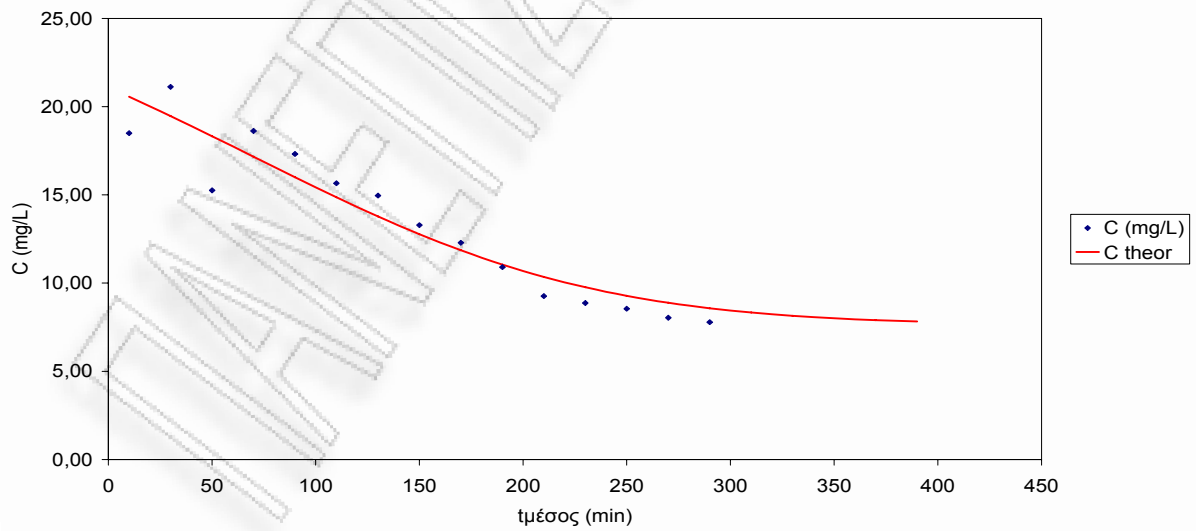
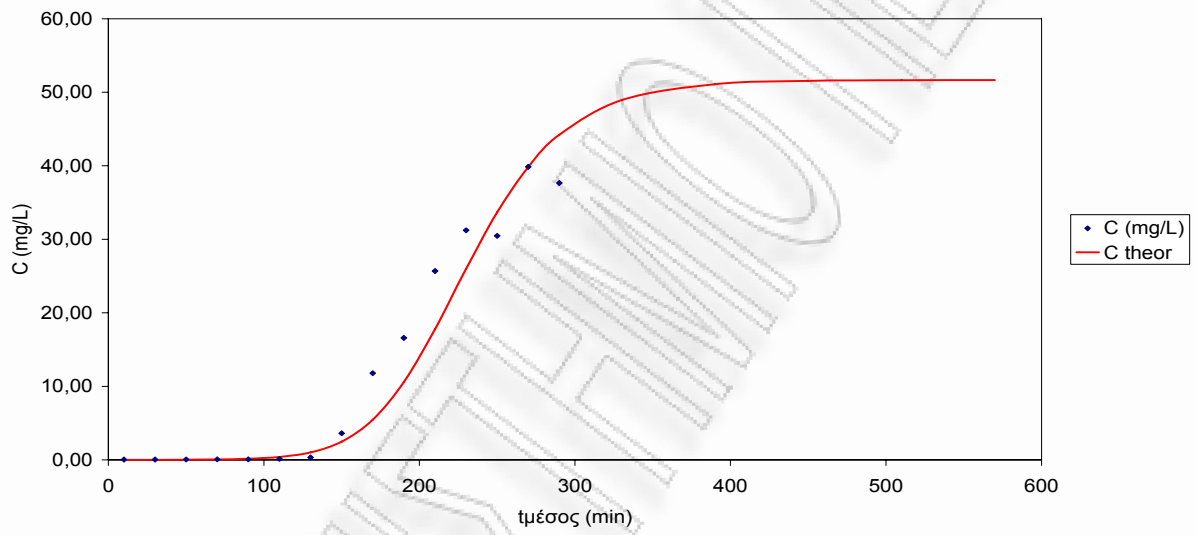
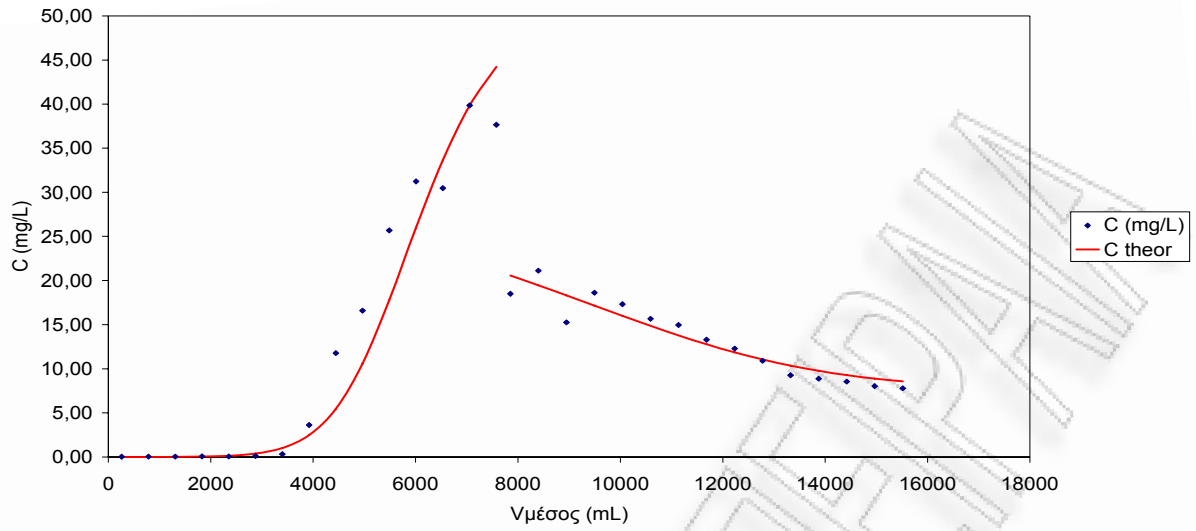
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,9N  $H_2SO_4$

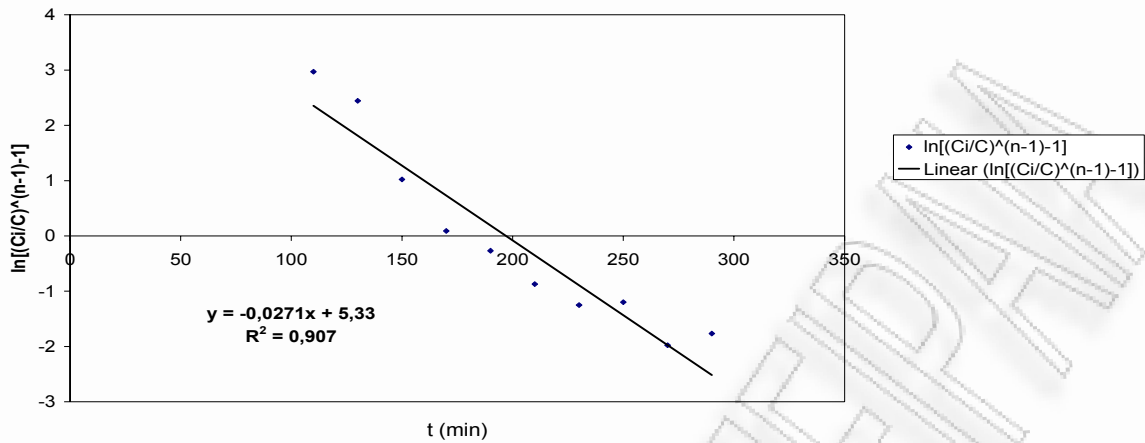






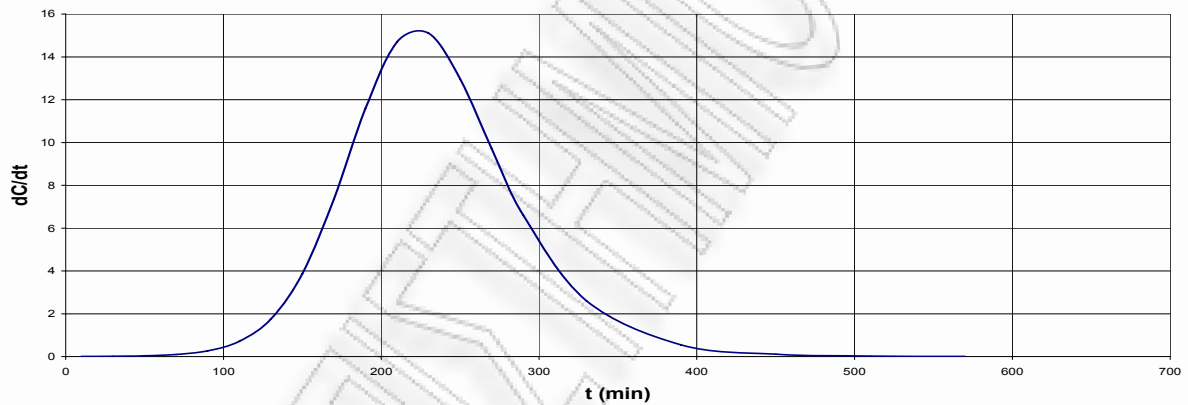
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 4h 0,9N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



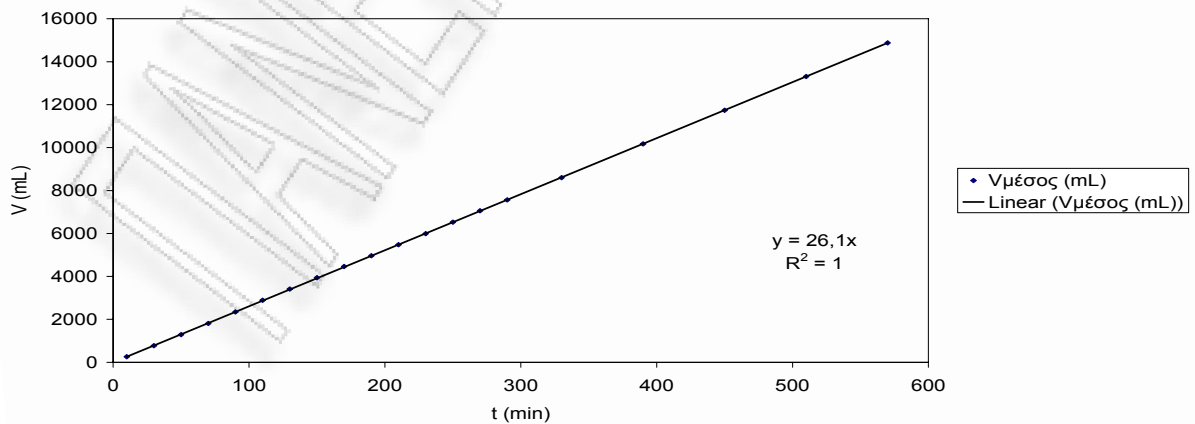
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



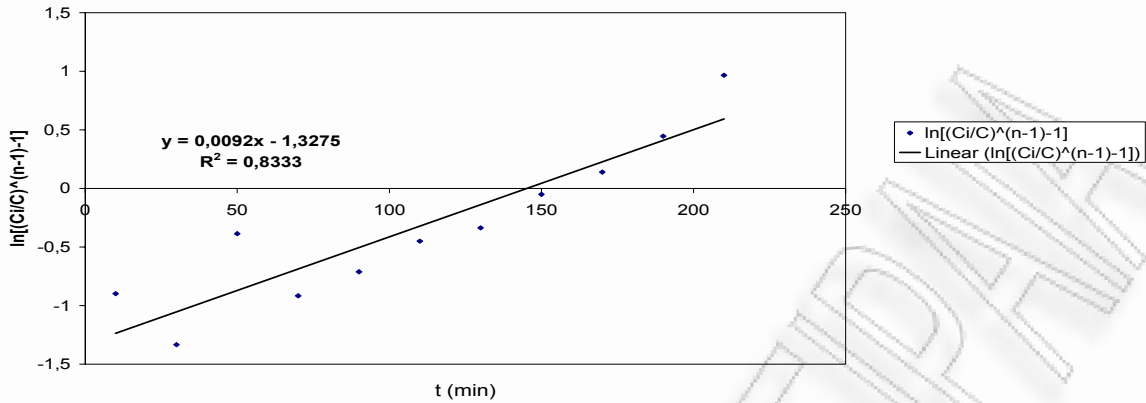
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,9N  $H_2SO_4$

Παροχή



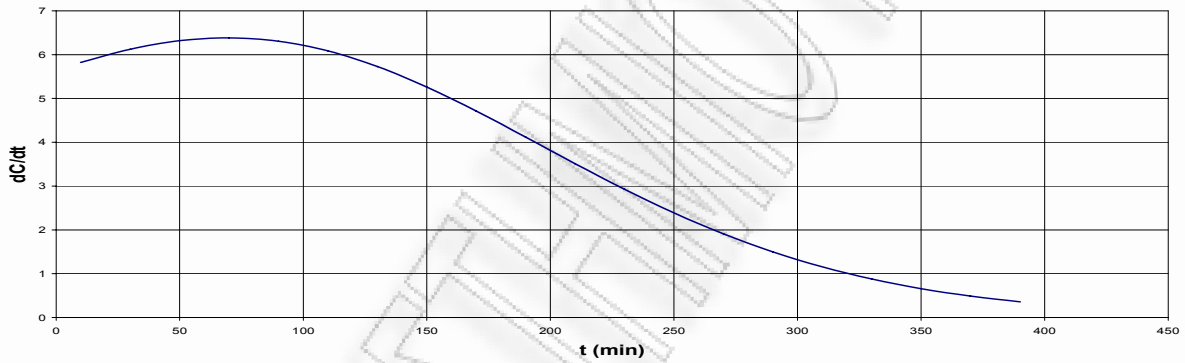
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,9N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



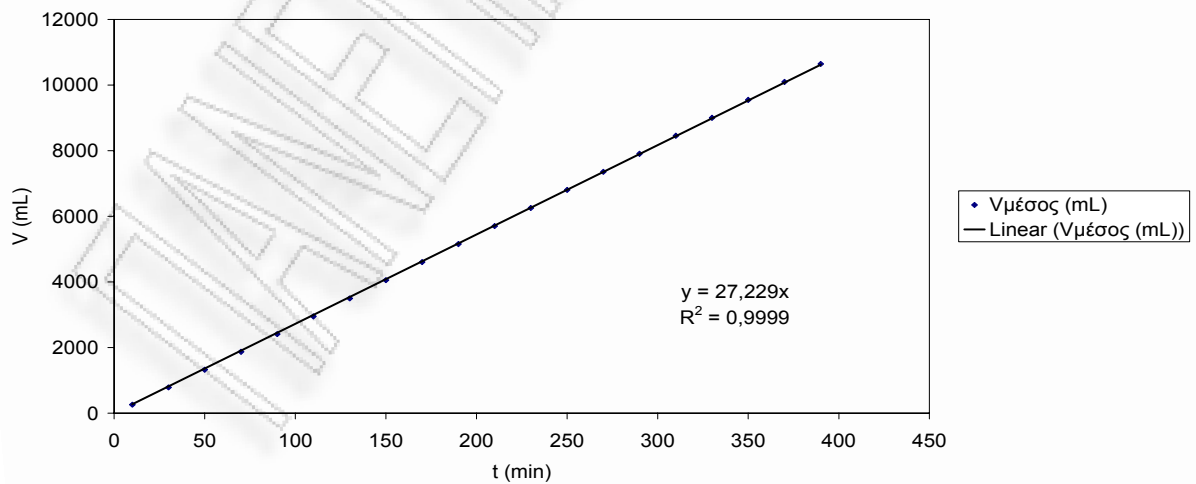
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,9N  $H_2SO_4$

Παροχή

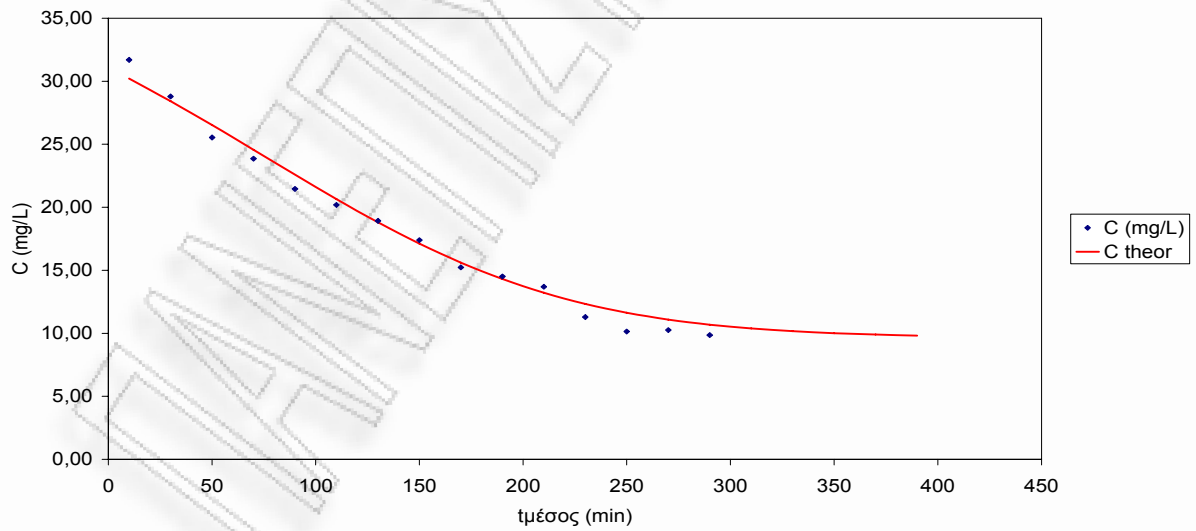
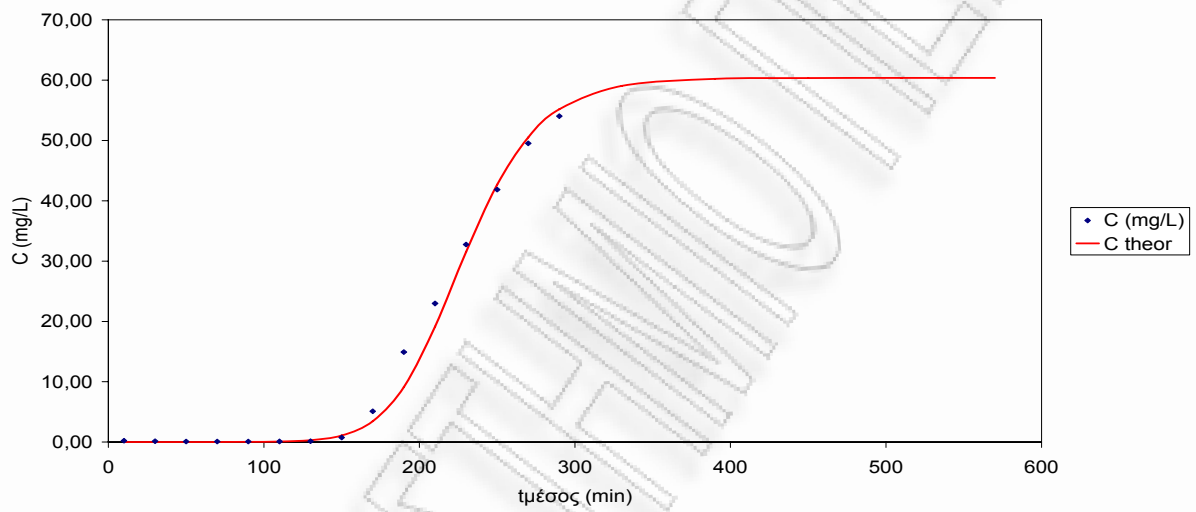
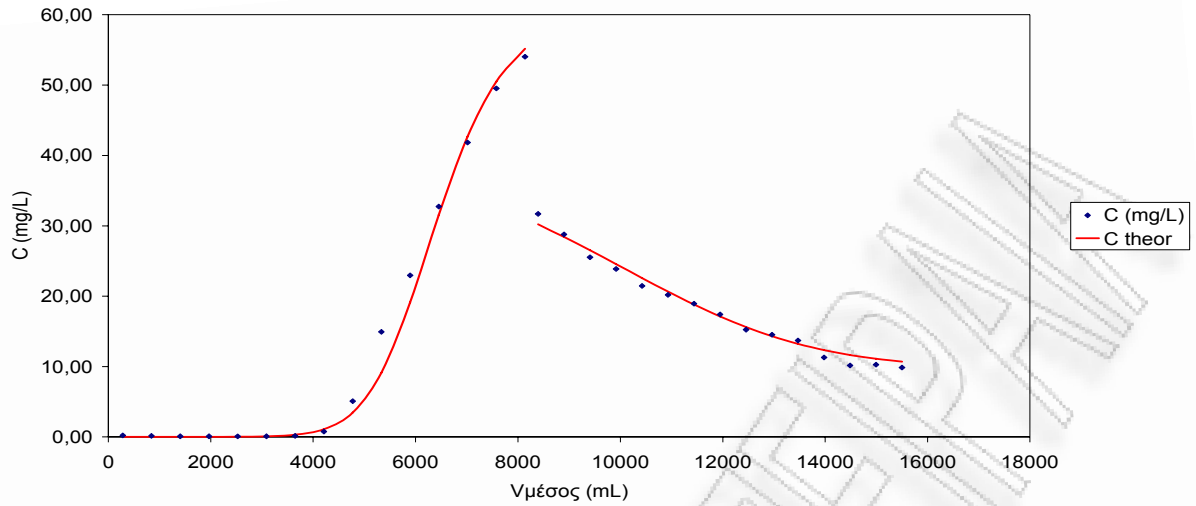


Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,9N  $H_2SO_4$



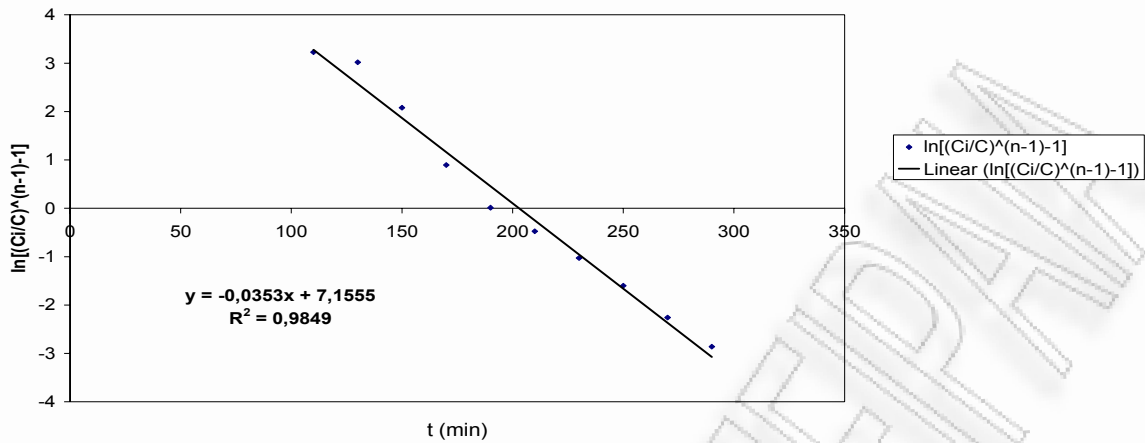






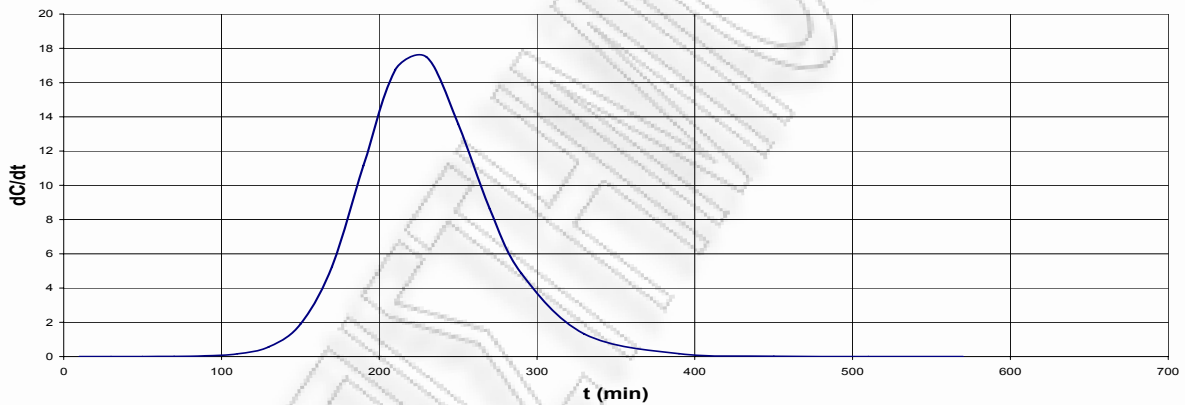
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 1h 1,8N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



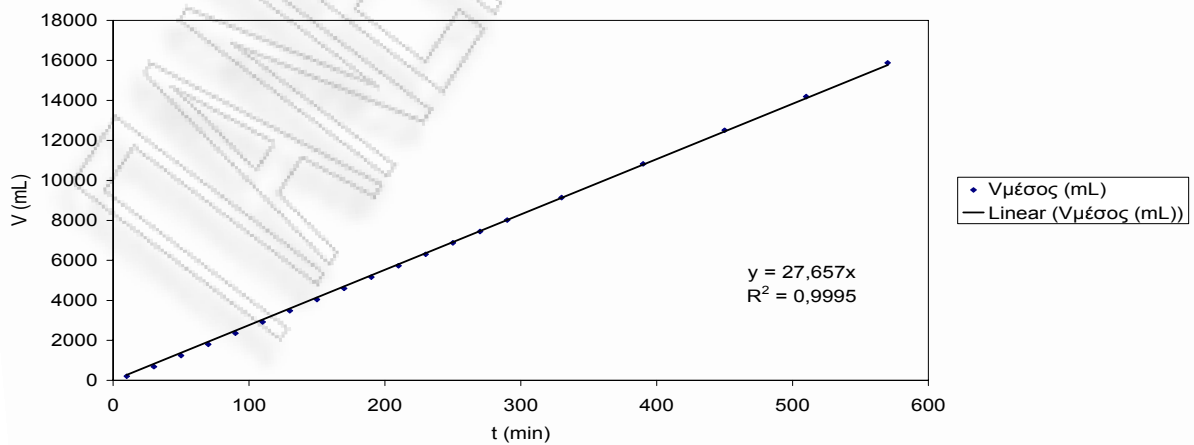
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



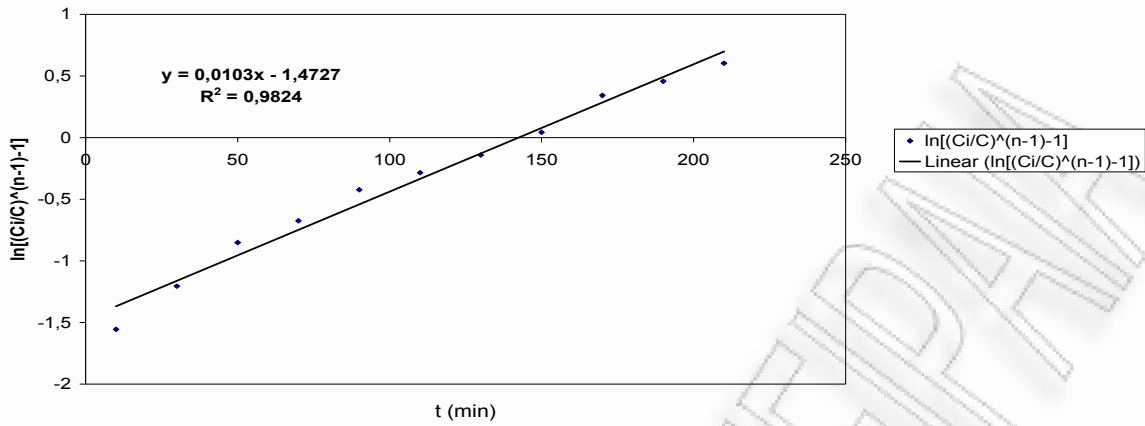
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$

Παροχή



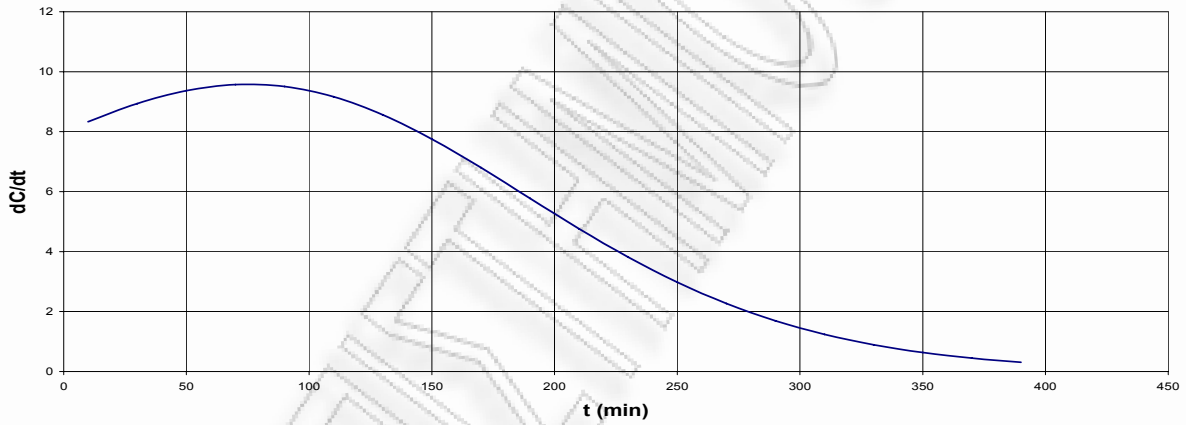
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



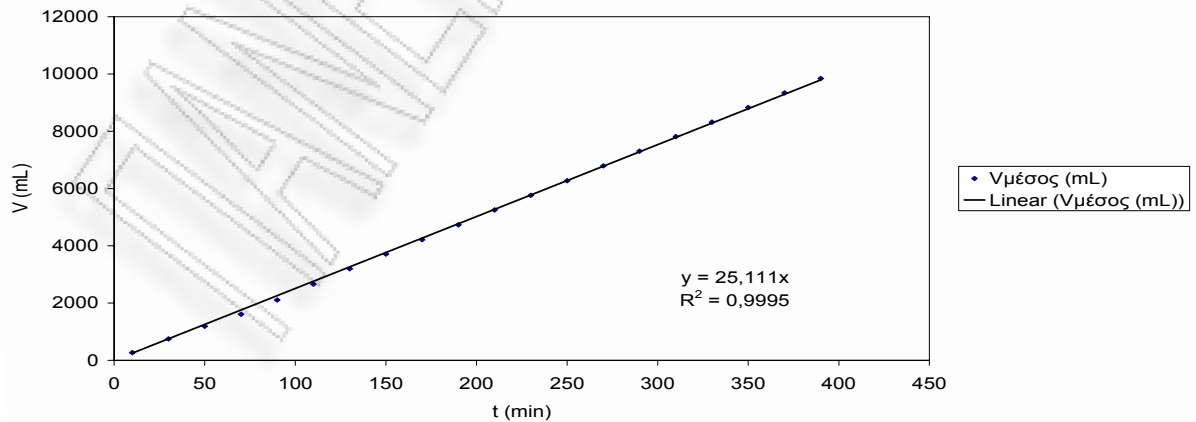
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$

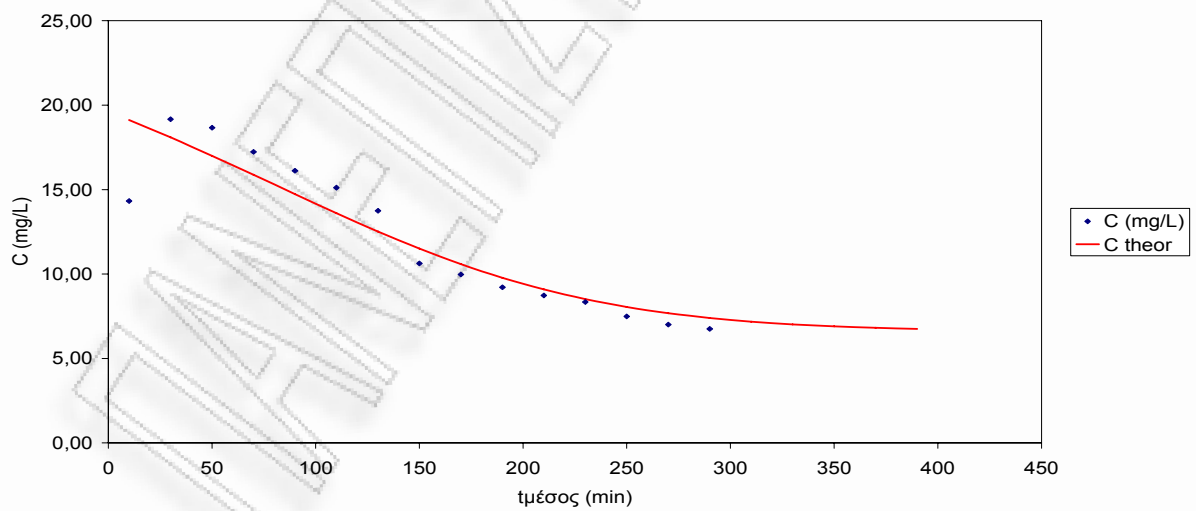
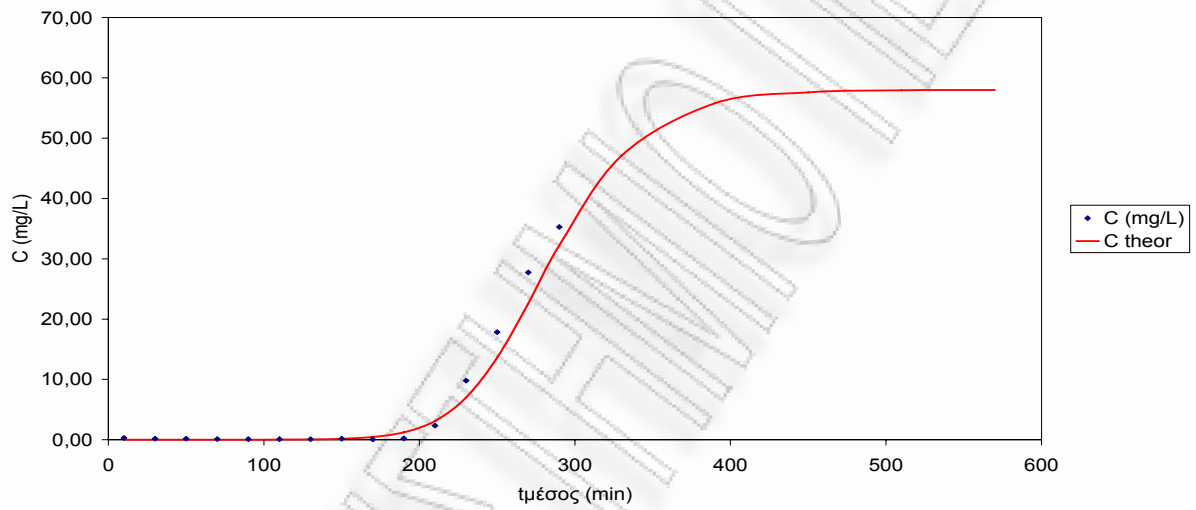
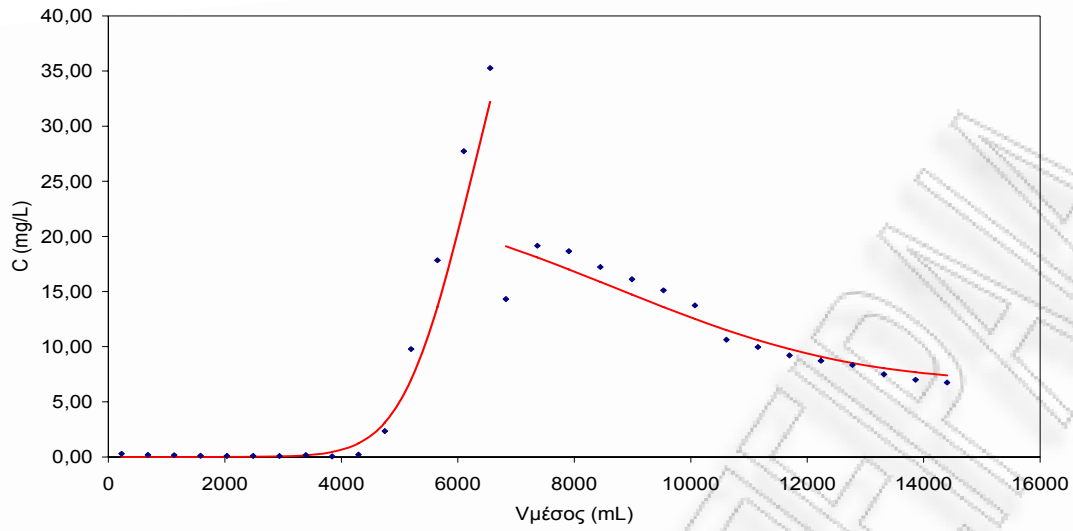
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$



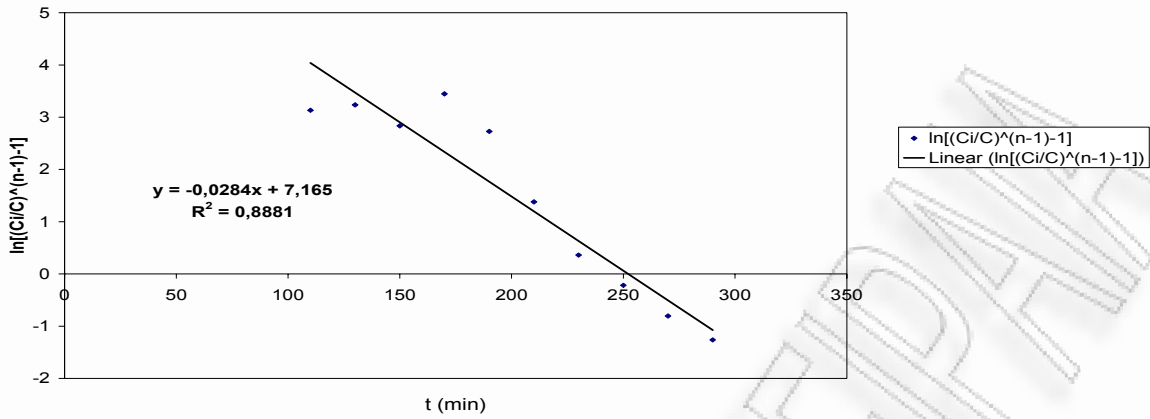




Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 1h 3,6N  $H_2SO_4$

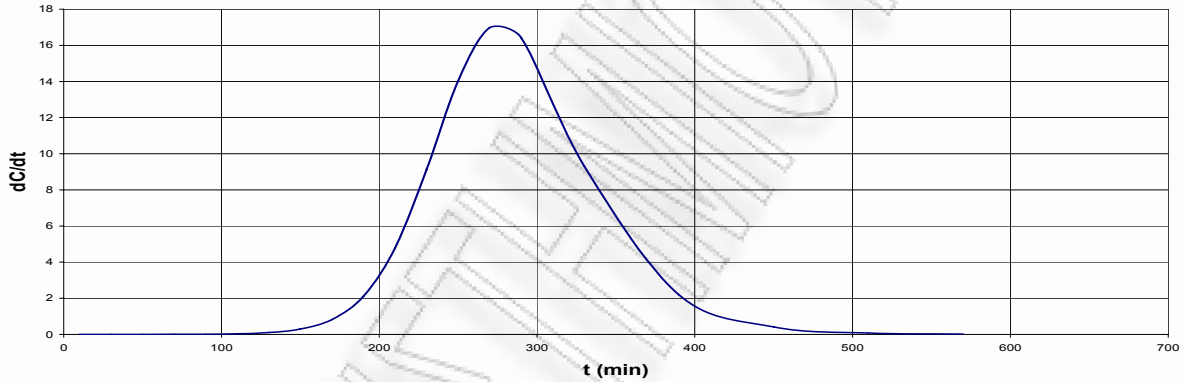


Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



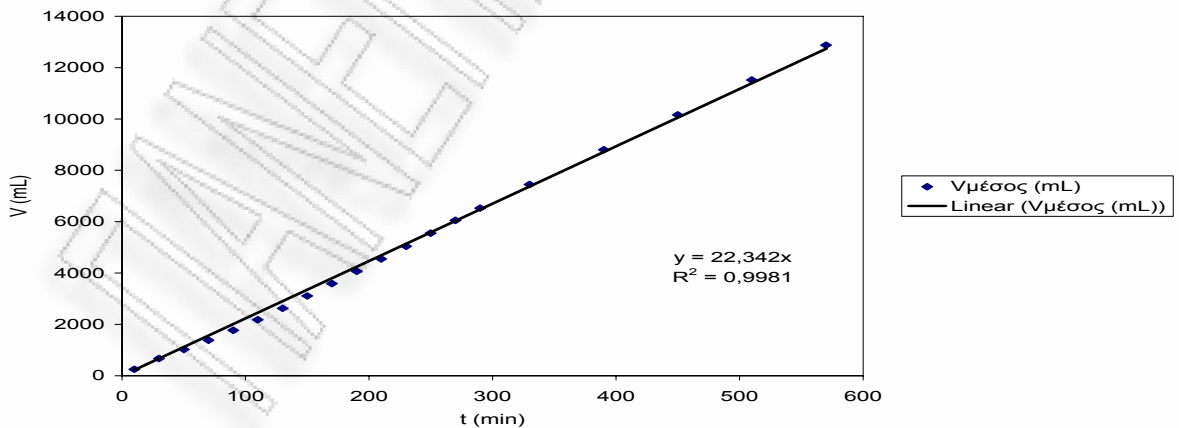
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



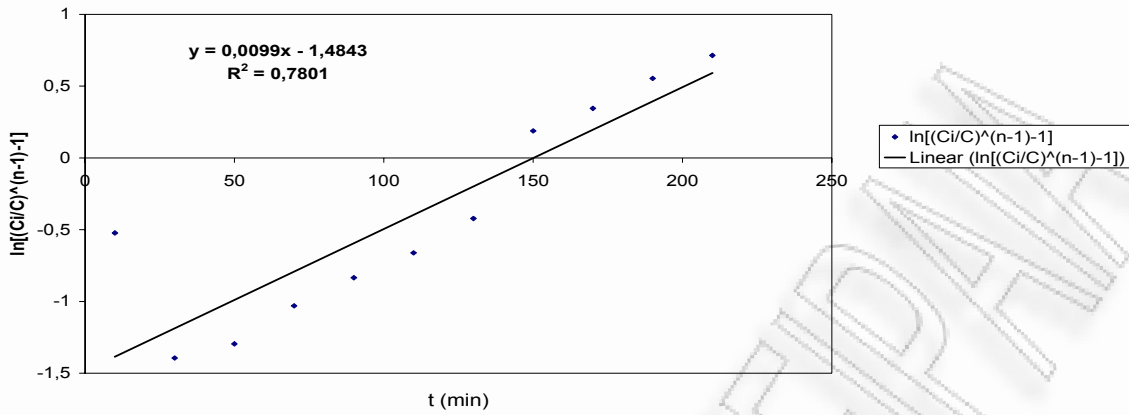
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

Παροχή



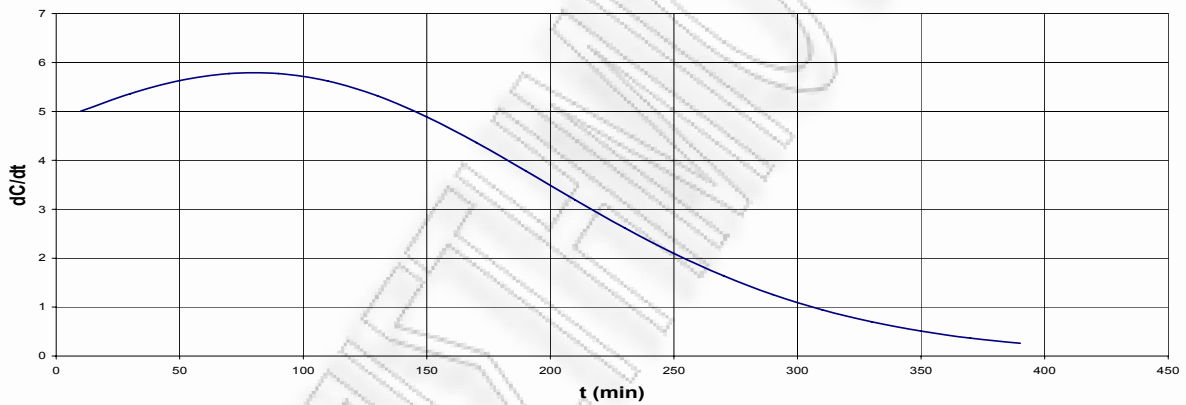
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



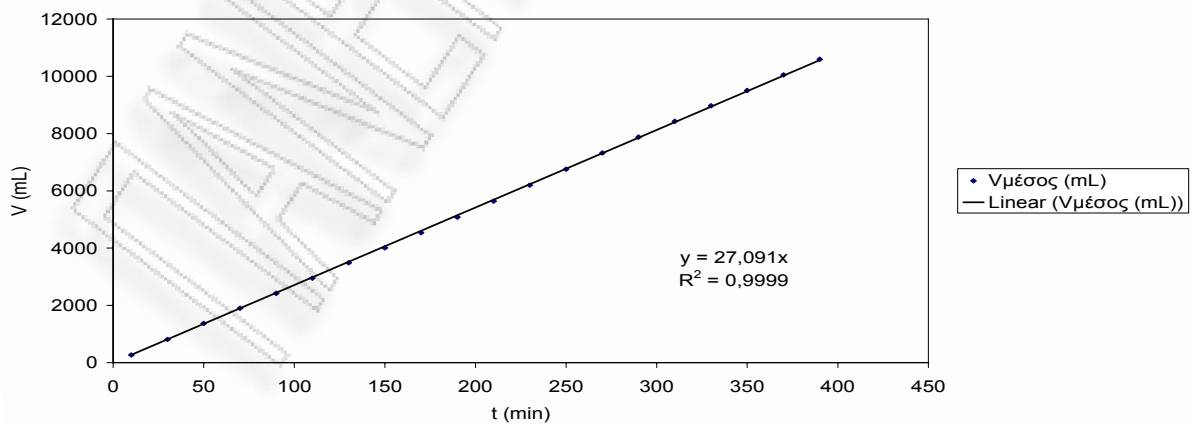
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

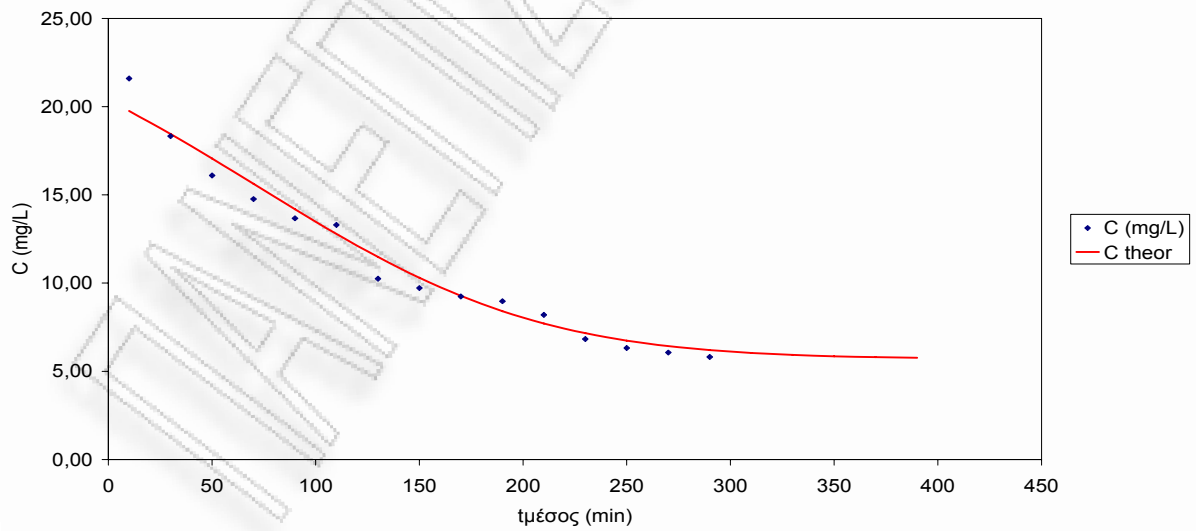
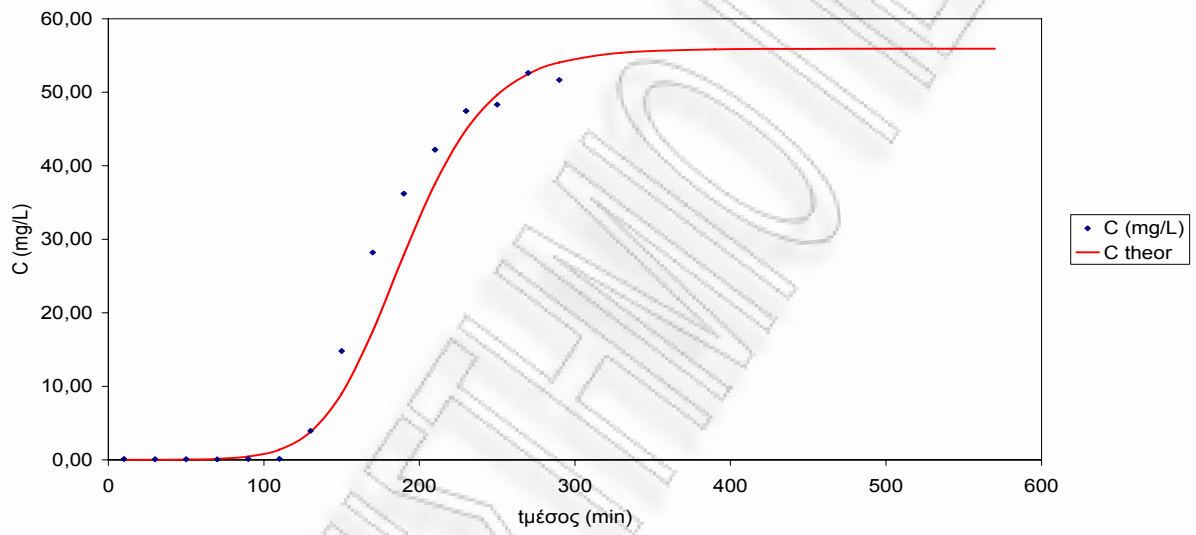
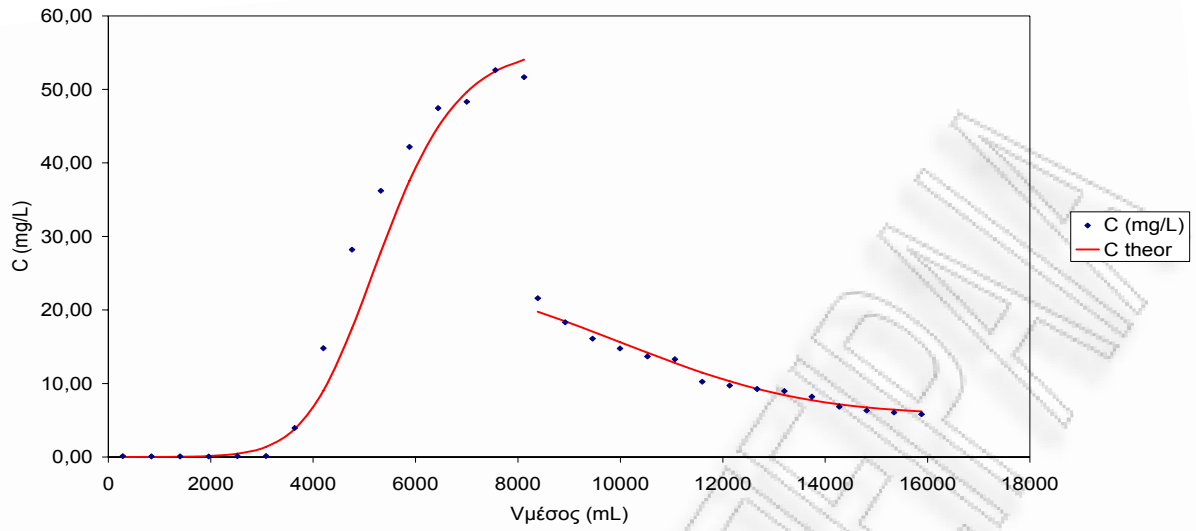
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

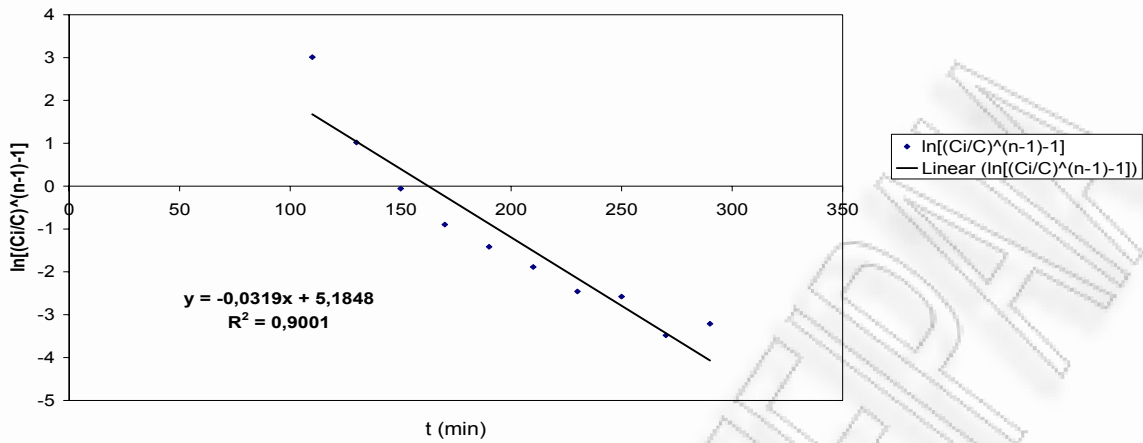






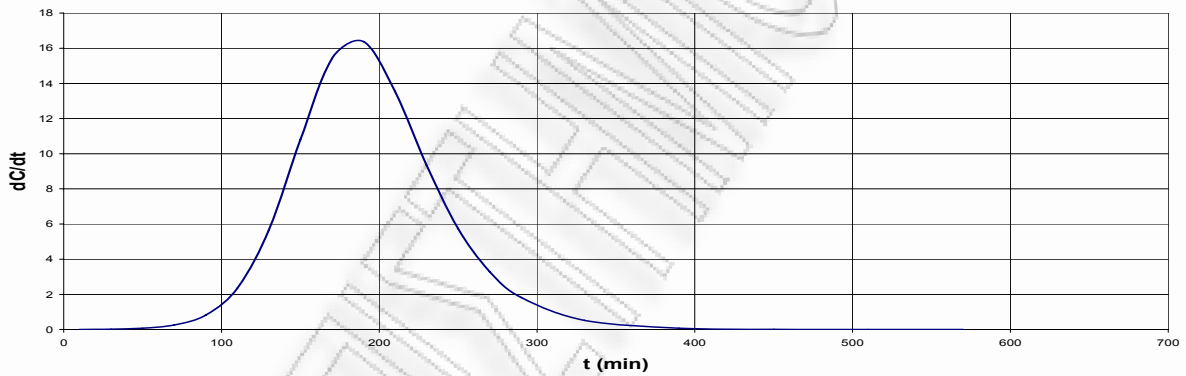
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 1h 3,6N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



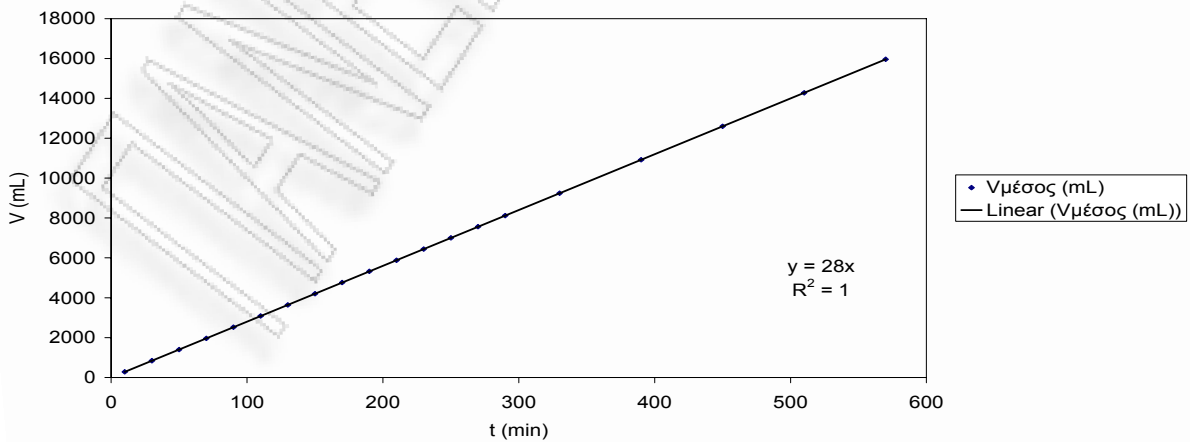
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )

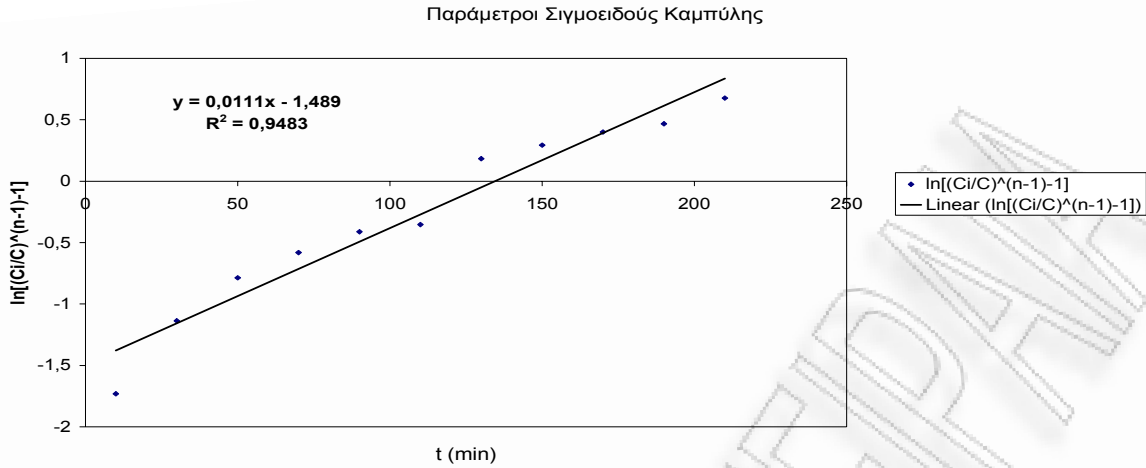


Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

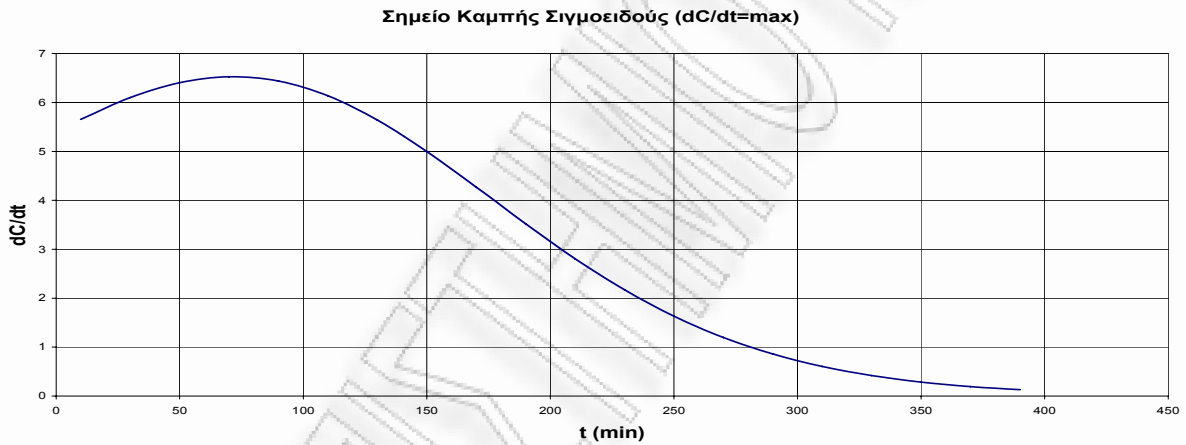
Παροχή



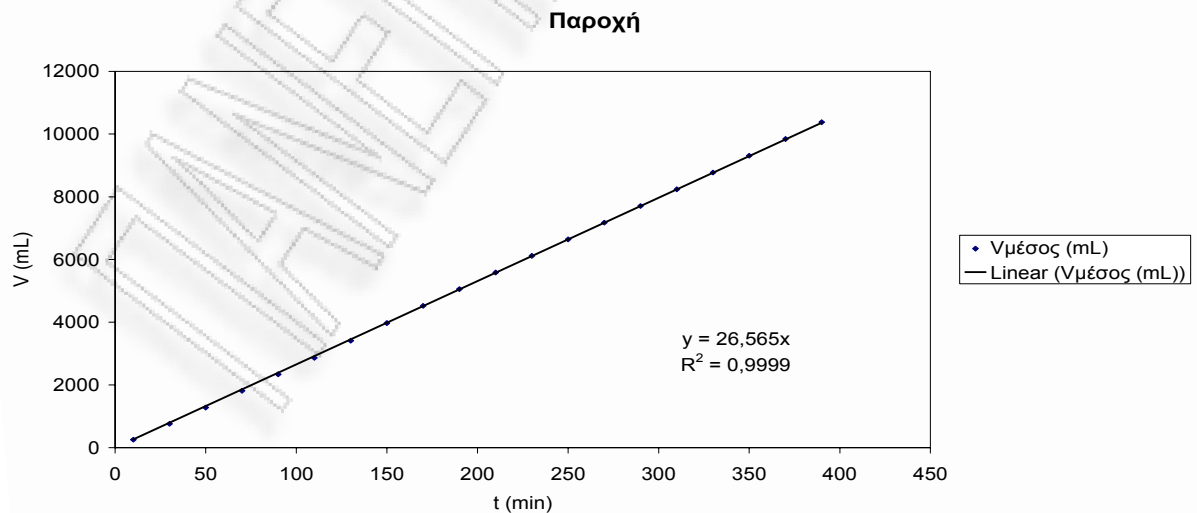
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$



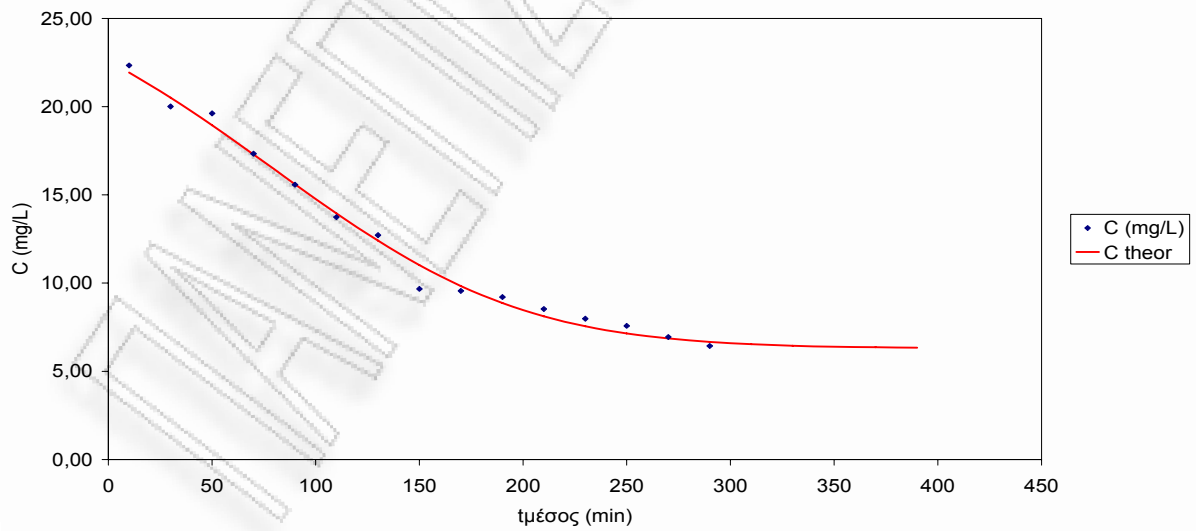
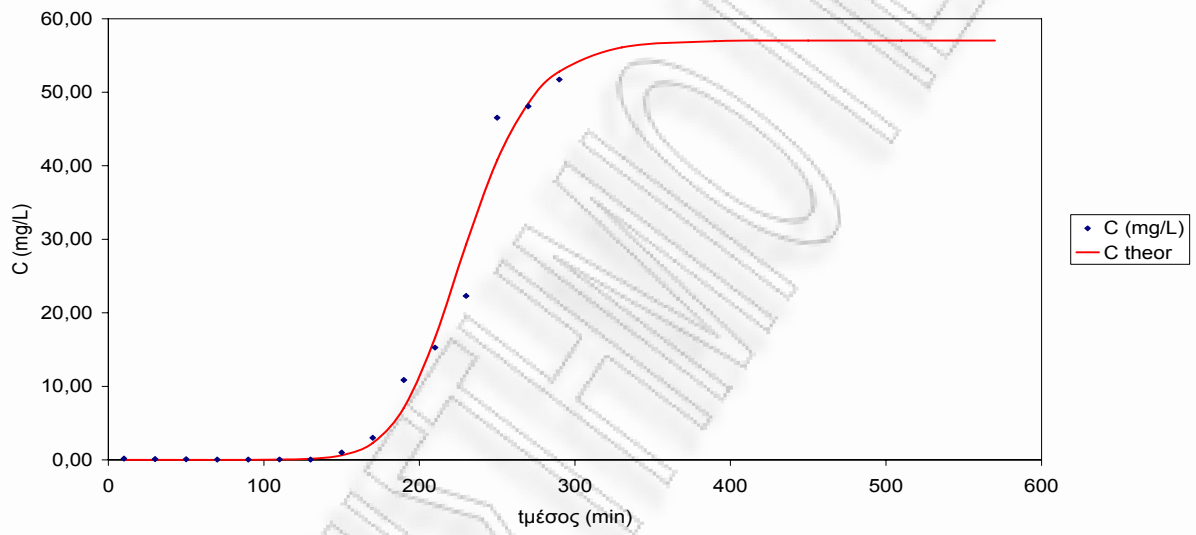
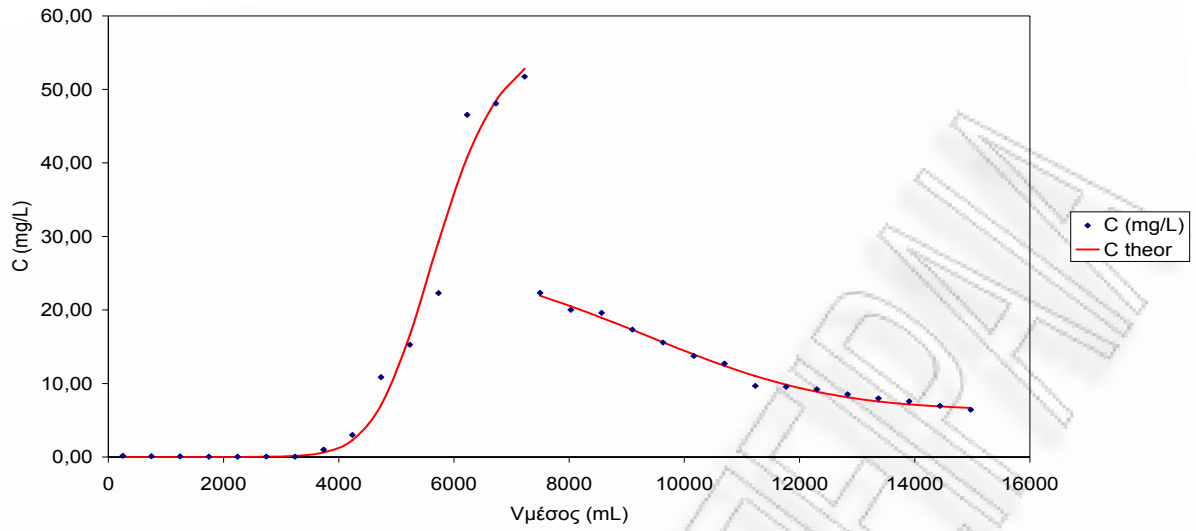
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$





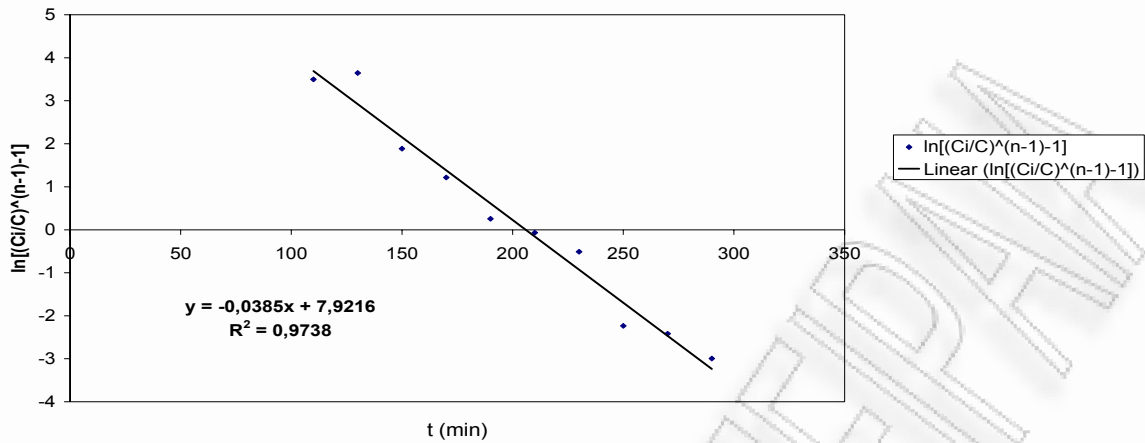






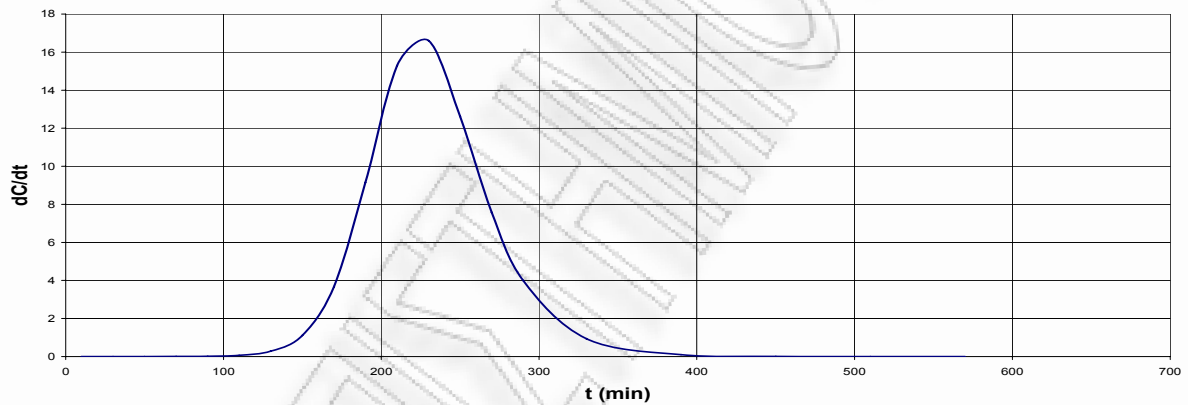
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 2h 3,6N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



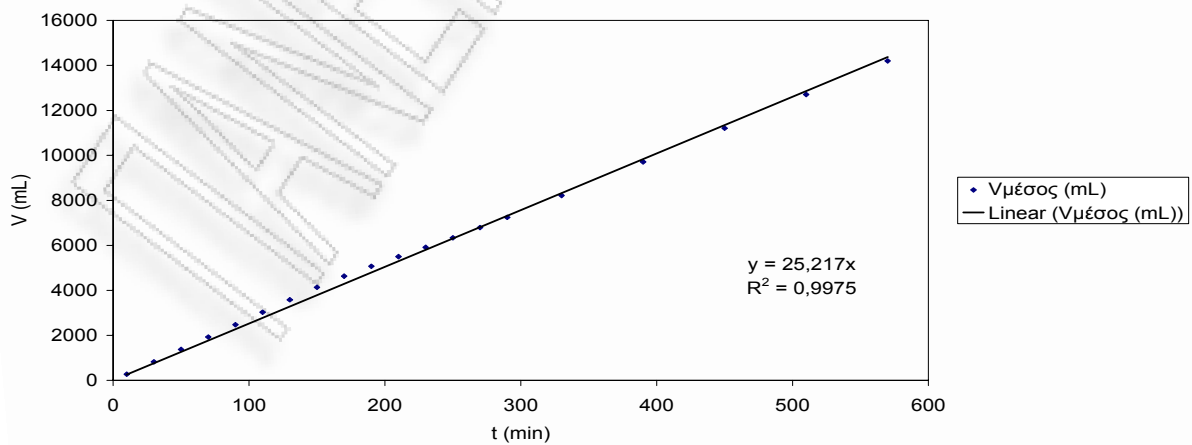
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 3,6N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



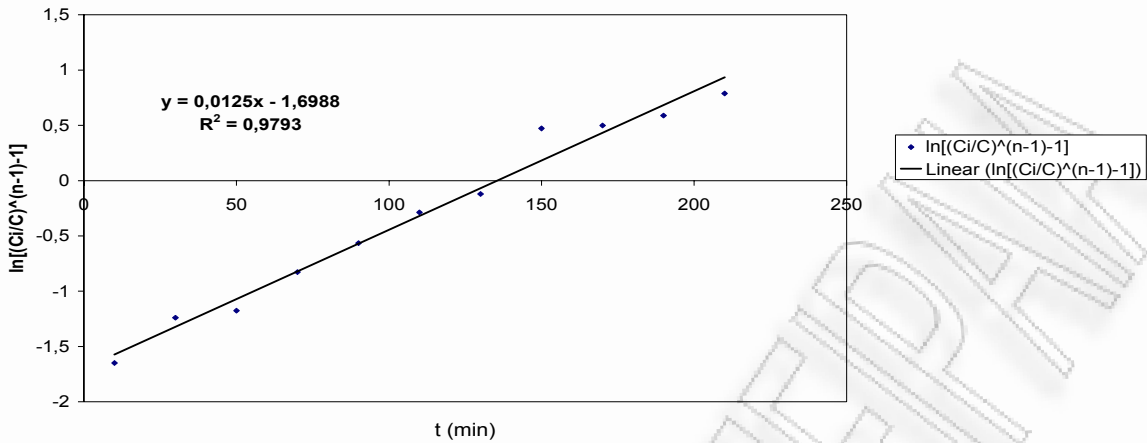
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 3,6N  $H_2SO_4$

Παροχή



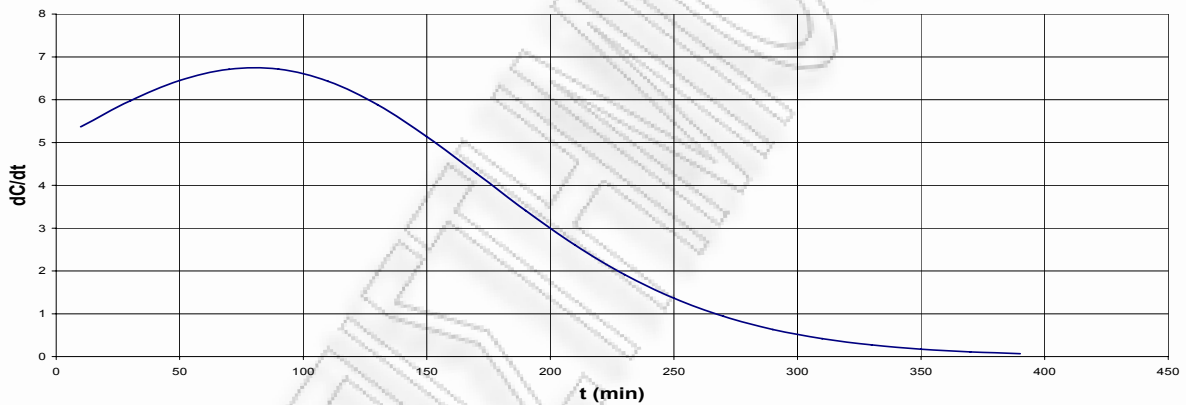
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 3,6N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



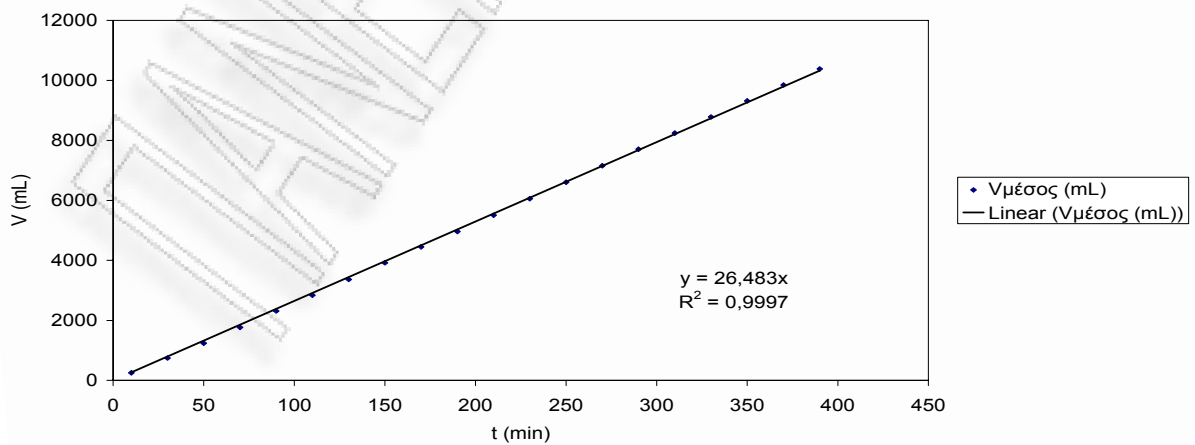
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 3,6N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 3,6N  $H_2SO_4$

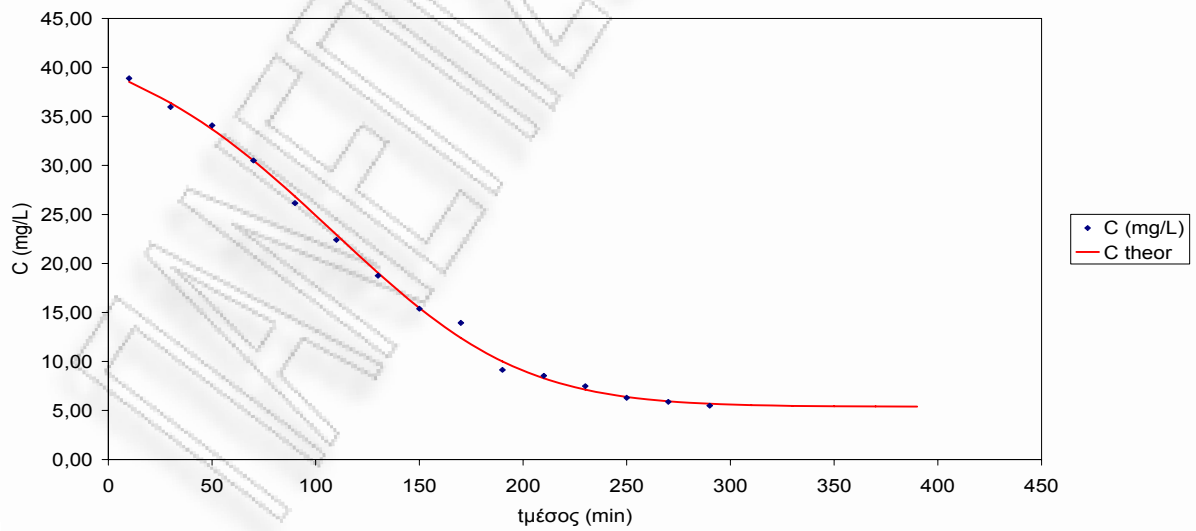
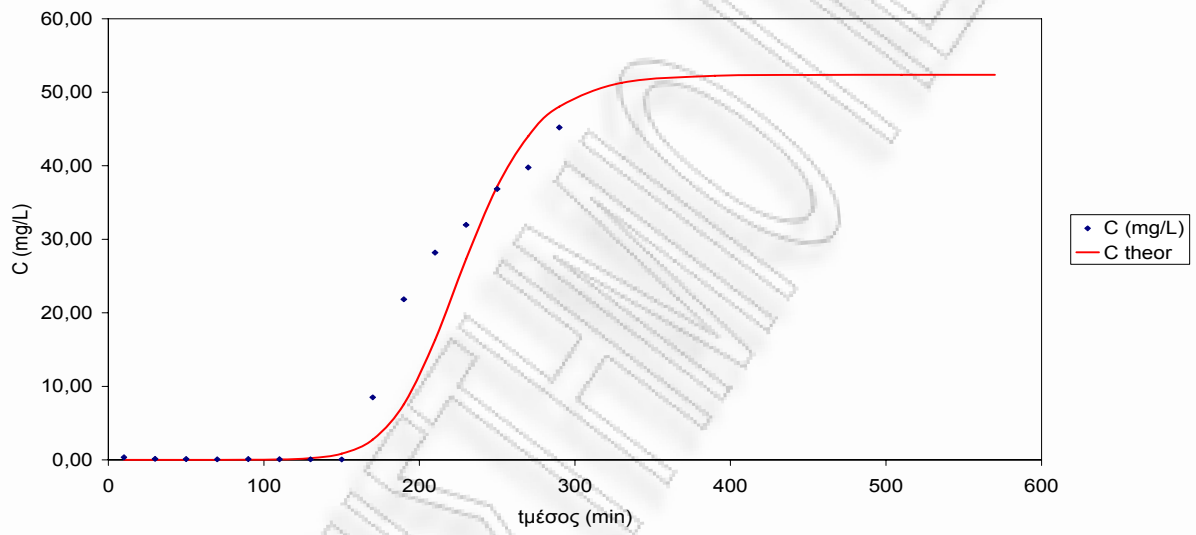
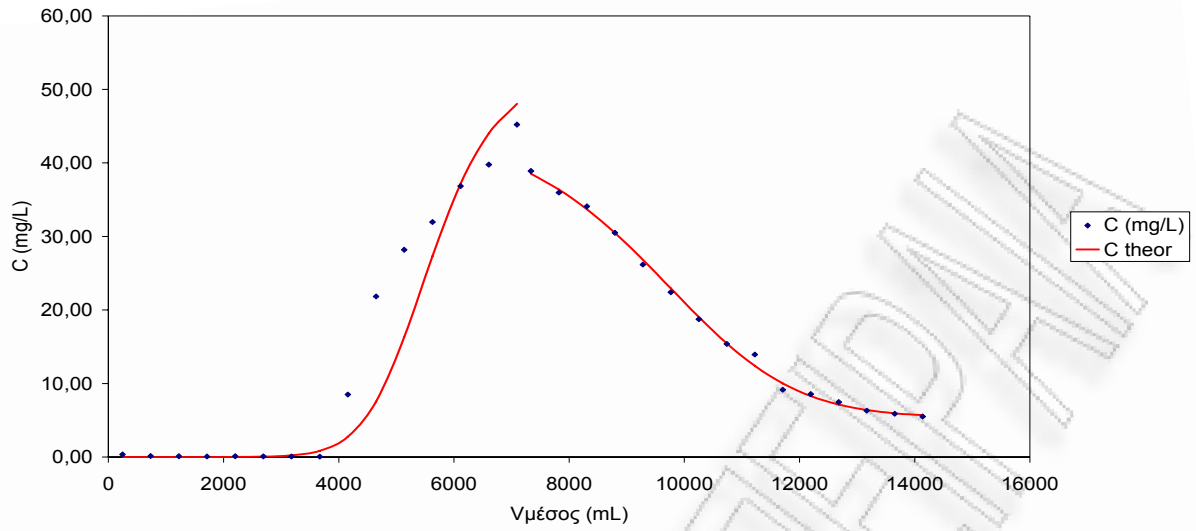
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 3,6N  $H_2SO_4$

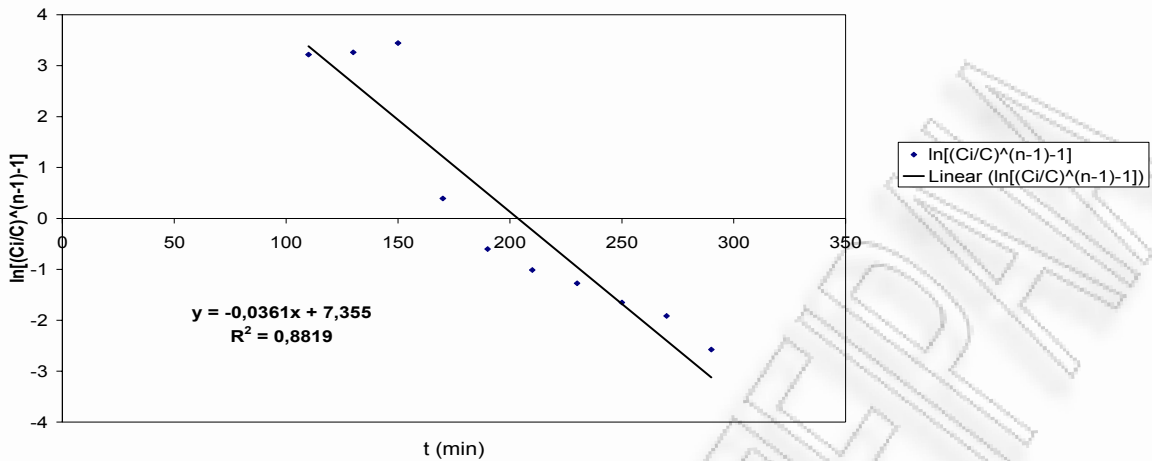






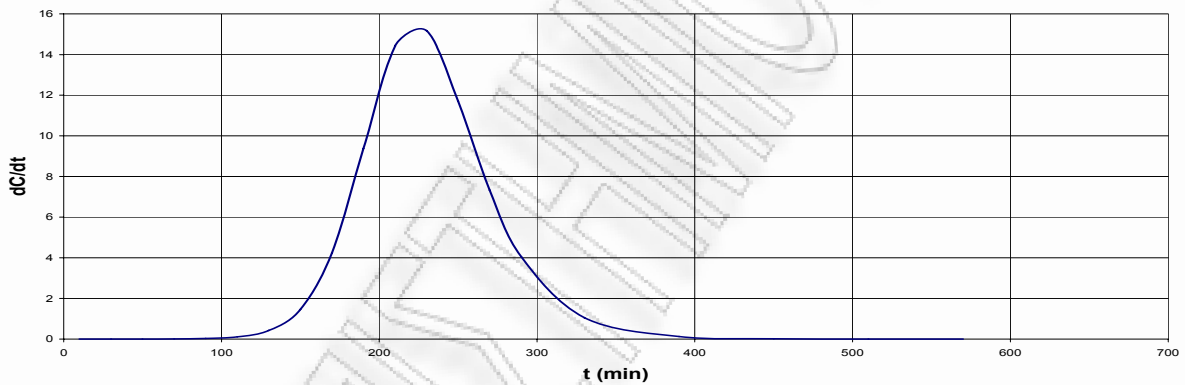
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 2h 3,6N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



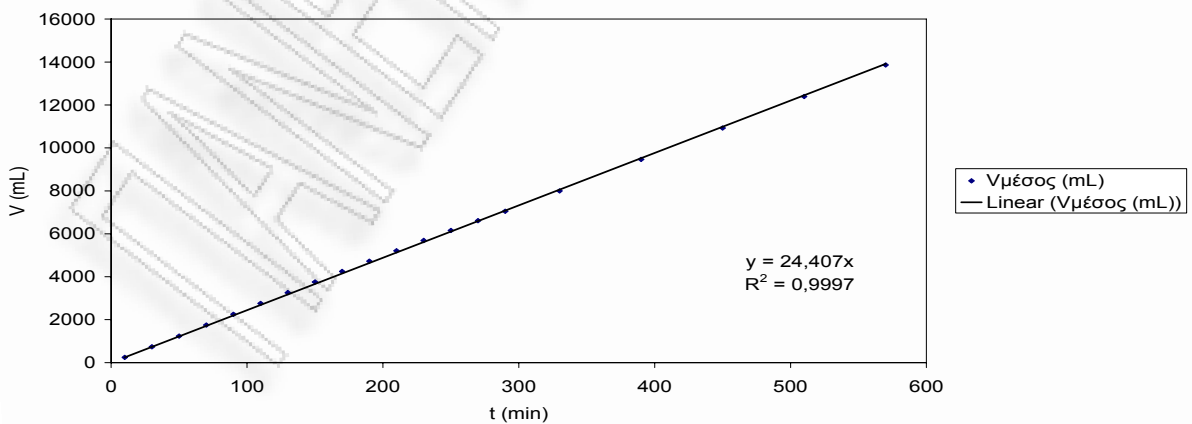
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 3,6N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 3,6N  $H_2SO_4$

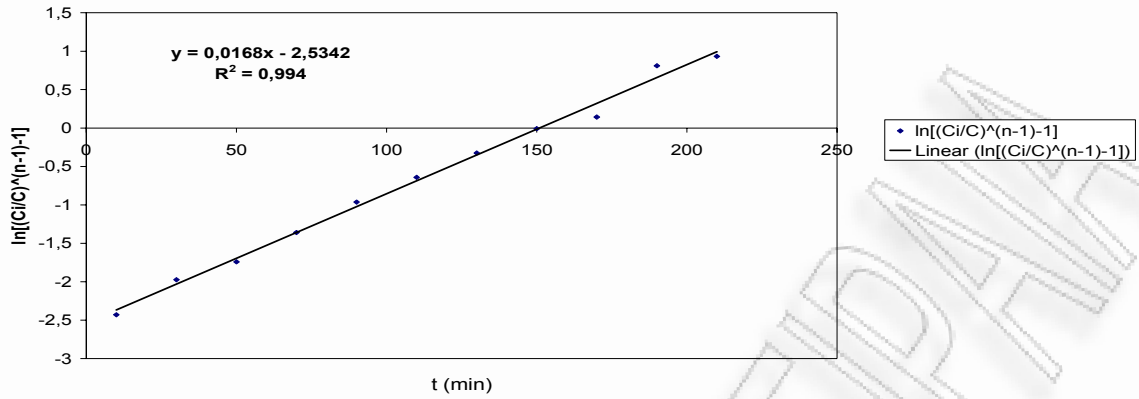
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 3,6N  $H_2SO_4$

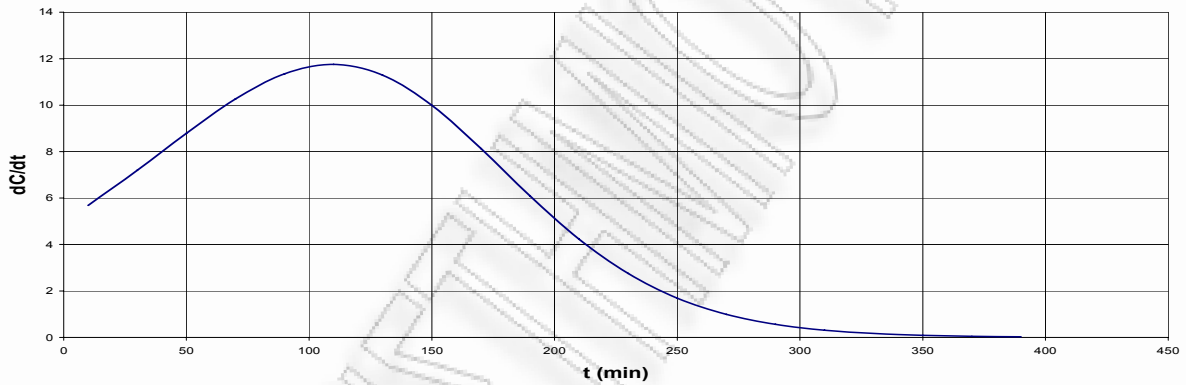


Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



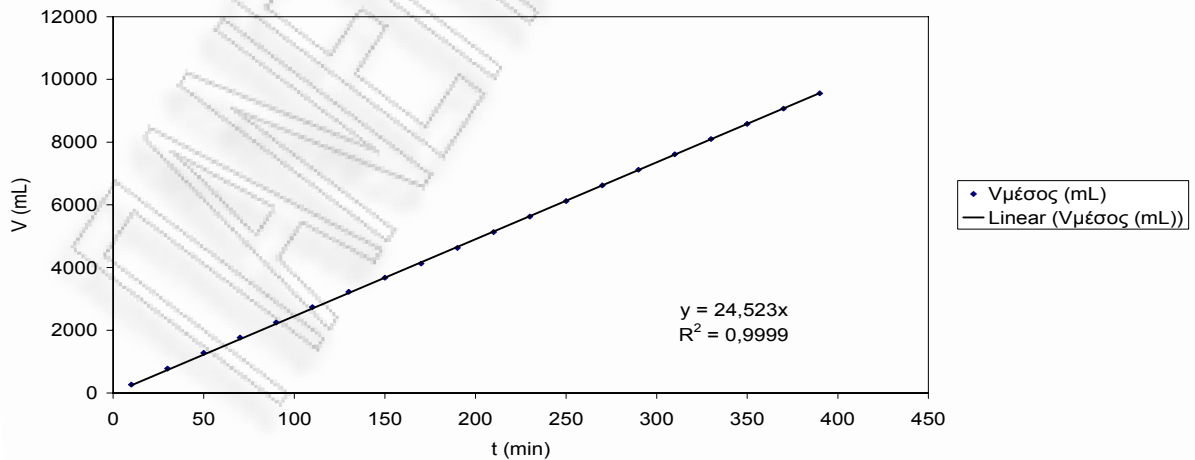
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεϊ του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησῃς για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 3,6N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπῃς Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσῃς συναρτήσεϊ του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησῃς για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 3,6N  $H_2SO_4$

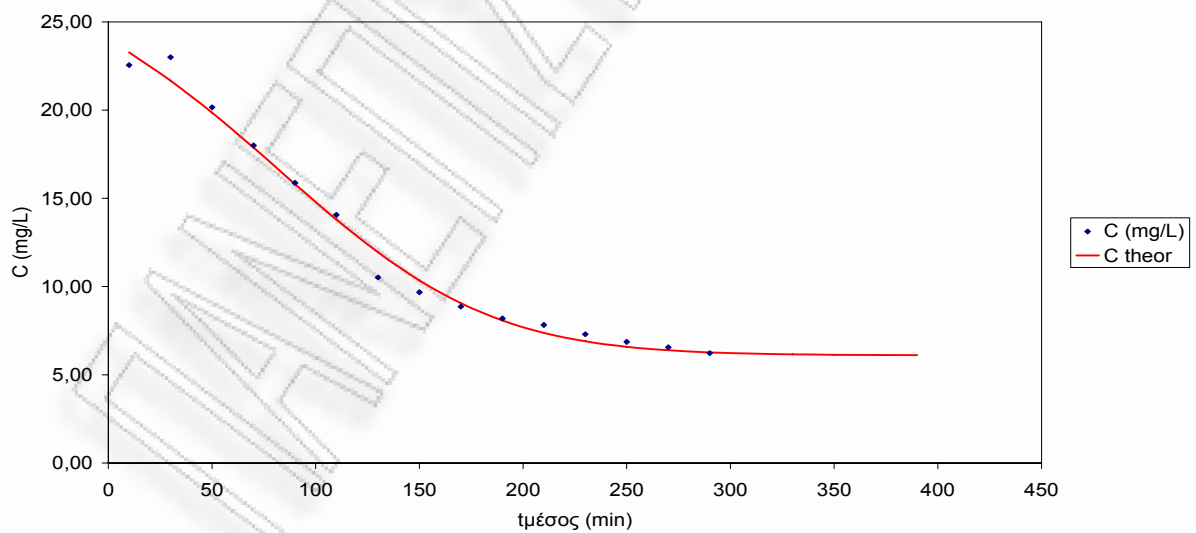
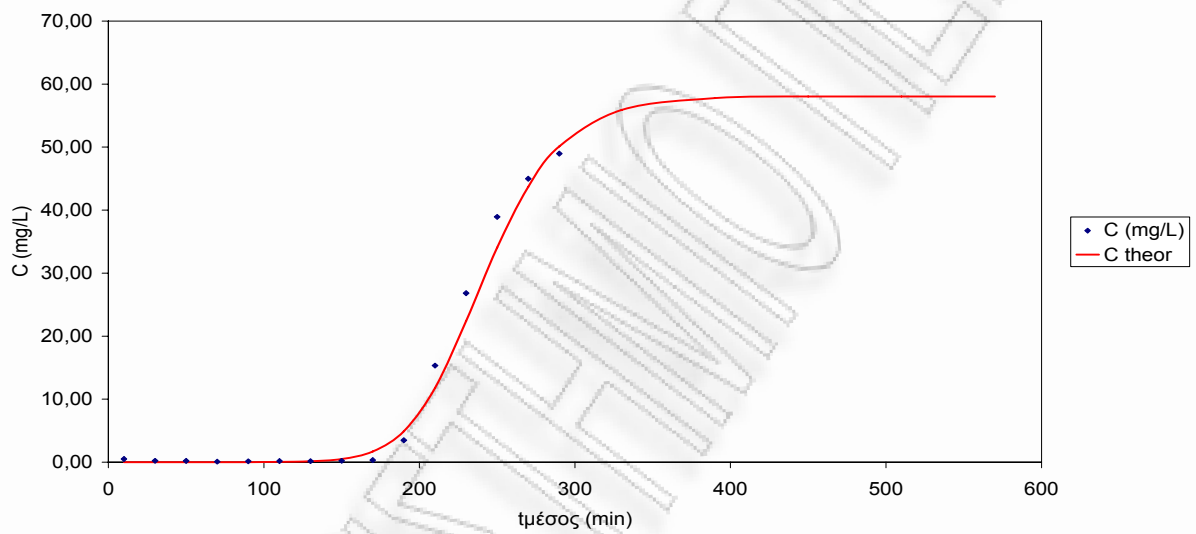
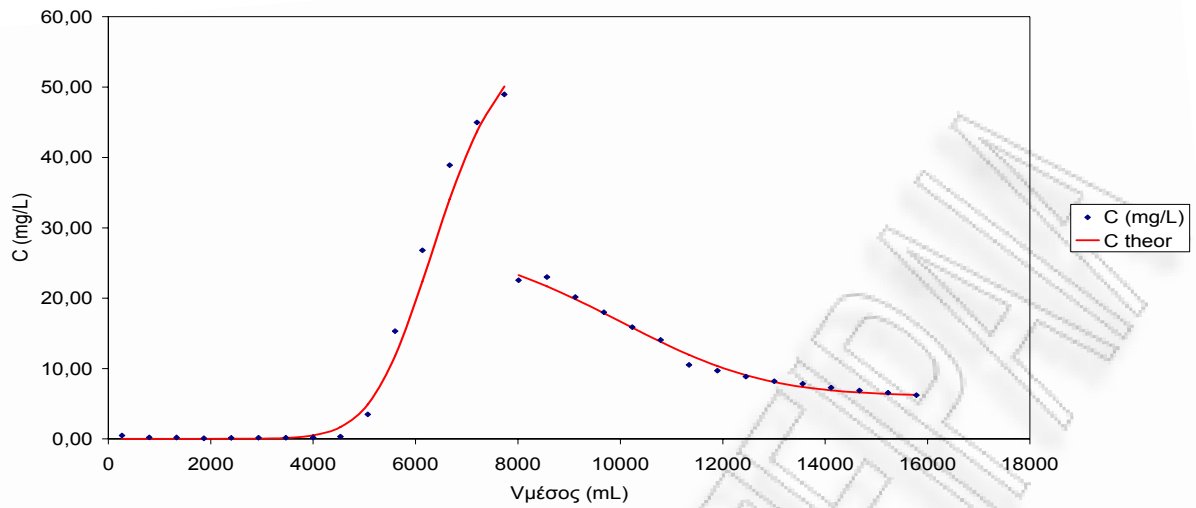
Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεϊ του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησῃς για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 3,6N  $H_2SO_4$

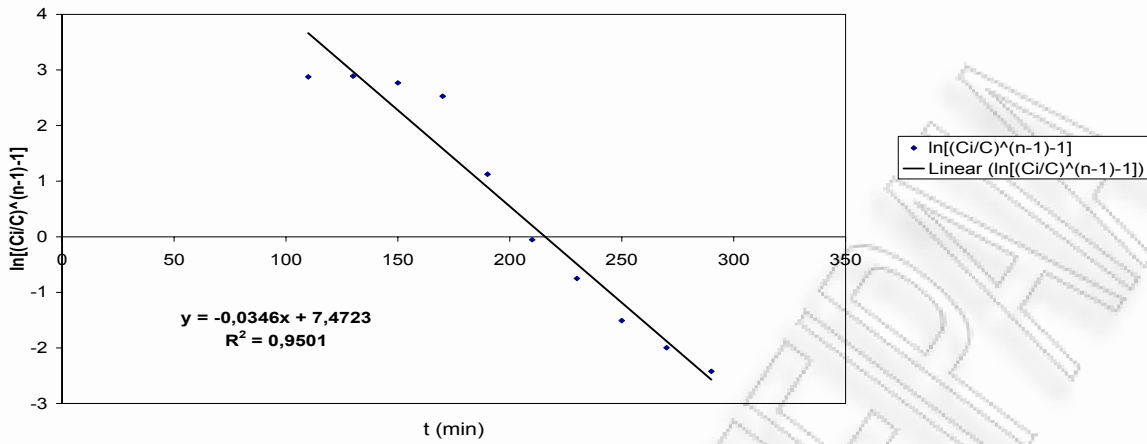






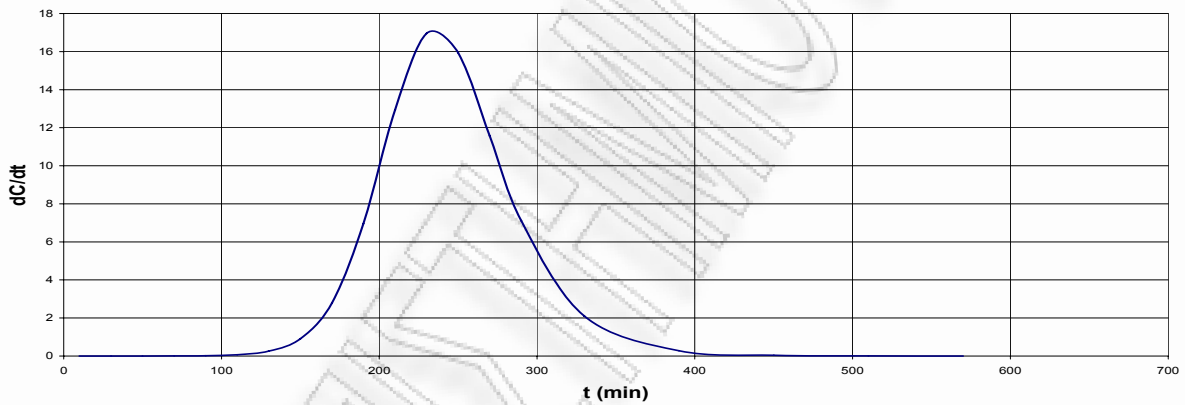
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για προκατεργασμένο πριονίδι πεύκου 3h 3,6N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



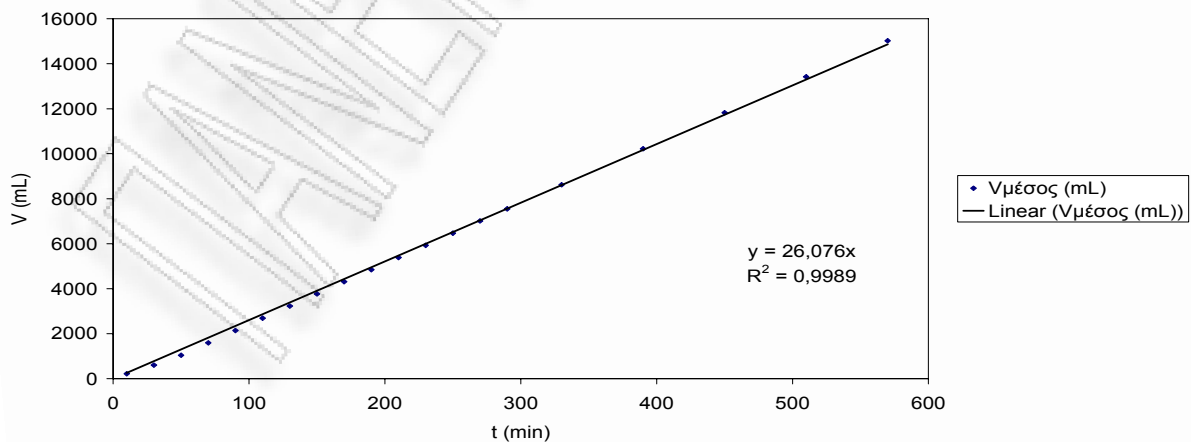
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 3,6N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



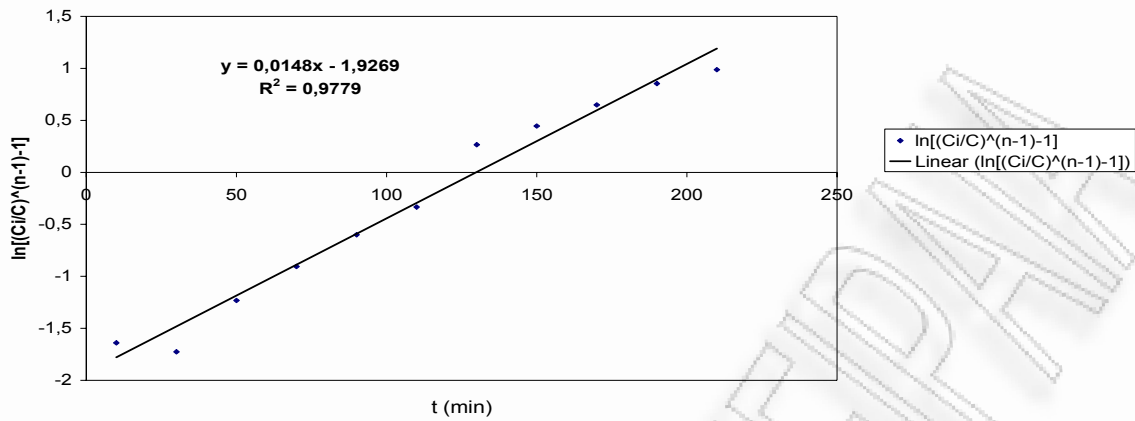
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 3,6N  $H_2SO_4$

Παροχή



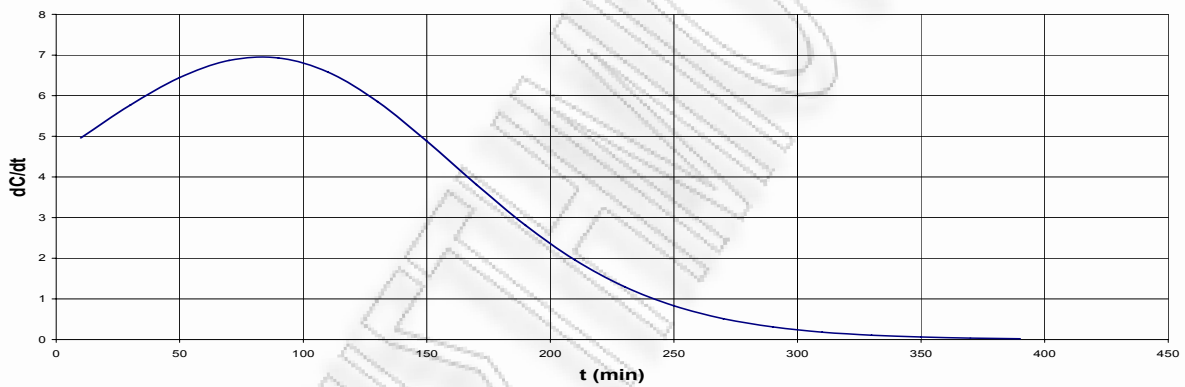
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 3,6N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



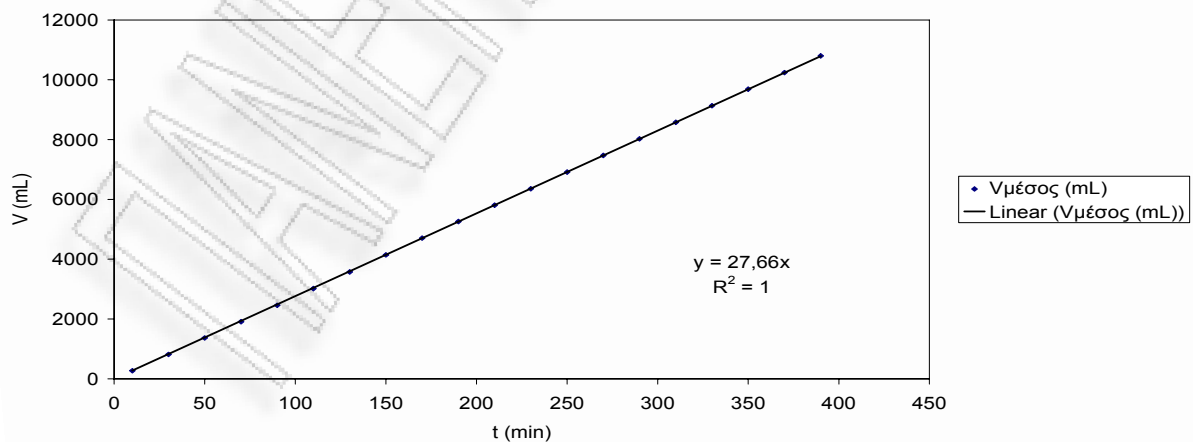
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 3,6N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 3,6N  $H_2SO_4$

Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 3,6N  $H_2SO_4$

Πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

ΠΕΙΡΑΜΑ 3α

ΣΤΗΛΗ 3

Έναρξη πειράματος

11/10/2006

Υλικό Απροκατέργαστο πεύκο

βάρος (g) 10

ΧΡΩΜΑ Methylene Blue

Προσρόφηση

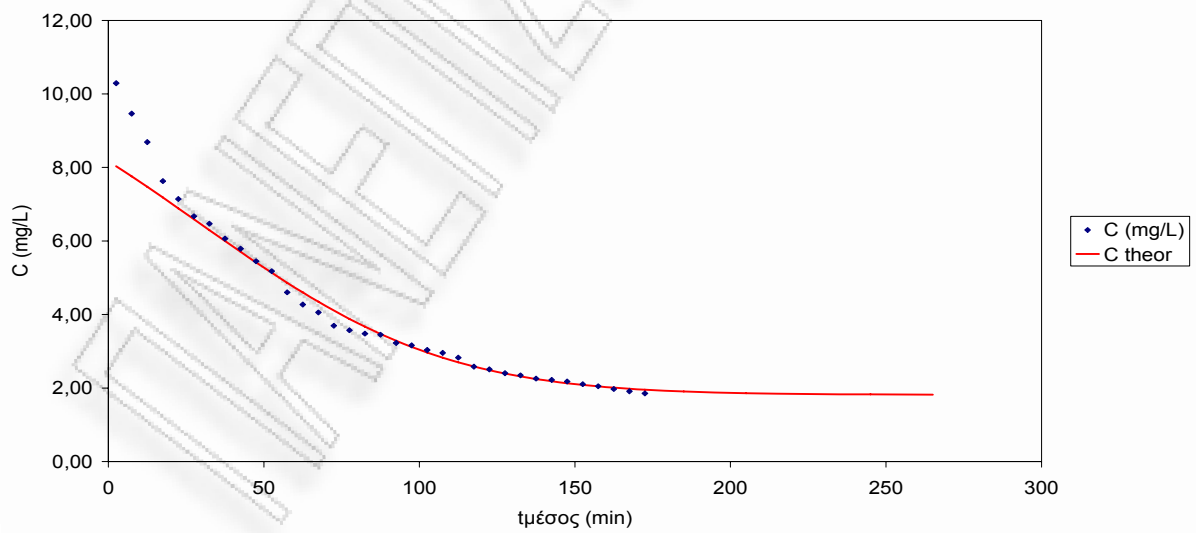
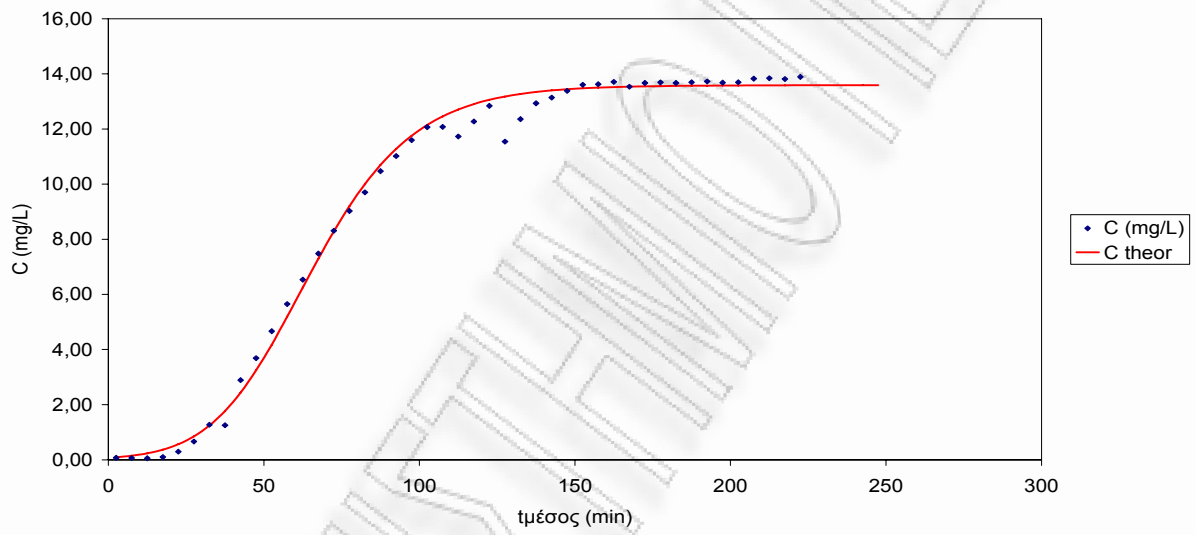
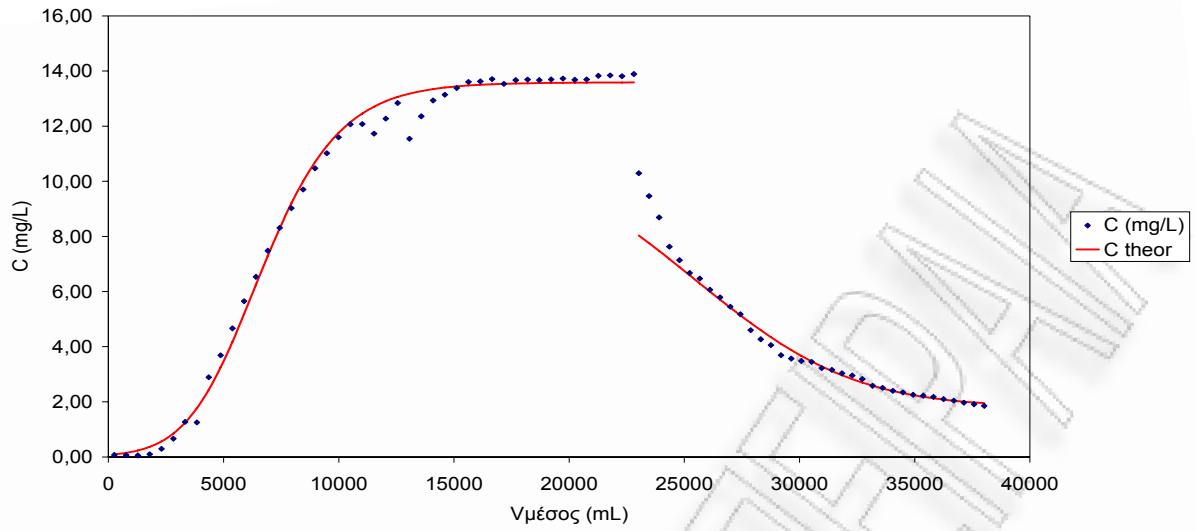
Δειγμ α	t (min)	τιμέσος (min)	Δt (min)	ΔV (mL)	V (mL)	Υμέσος (mL)	Υμέσος, θεωρ (mL)	Q=ΔV /Δt (mL/min)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS average	C (mg/L)	C theor
1	5	2,5	5	510	510	255	258	102,00	0,03	0,024	0,02	0,025	0,07	0,09
2	10	7,5	5	520	1030	770	769	104,00	0,018	0,019	0,027	0,021	0,06	0,15
3	15	12,5	5	520	1550	1290	1281	104,00	0,019	0,019	0,018	0,019	0,06	0,23
4	20	17,5	5	560	2110	1830	1794	112,00	0,035	0,029	0,035	0,033	0,10	0,37
5	25	22,5	5	560	2670	2390	2306	112,00	0,092	0,094	0,097	0,094	0,30	0,57
6	30	27,5	5	570	3240	2955	2819	114,00	0,207	0,208	0,192	0,202	0,66	0,85
7	35	32,5	5	570	3810	3525	3331	114,00	0,373	0,37	0,357	0,367	1,27	1,24
8	40	37,5	5	560	4370	4090	3844	112,00	0,367	0,368	0,353	0,363	1,25	1,77
9	45	42,5	5	570	4940	4655	4356	114,00	0,778	0,775	0,768	0,774	2,89	2,44
10	50	47,5	5	540	5480	5210	4869	108,00	0,989	0,975	0,947	0,970	3,69	3,25
11	55	52,5	5	550	6030	5755	5381	110,00	1,216	1,219	1,199	1,211	4,66	4,18
12	60	57,5	5	570	6600	6315	5894	114,00	1,476	1,453	1,43	1,453	5,65	5,19
13	65	62,5	5	570	7170	6885	6406	114,00	1,674	1,667	1,646	1,662	6,53	6,25
14	70	67,5	5	570	7740	7455	6919	114,00	1,879	1,866	1,866	1,870	7,48	7,30
15	75	72,5	5	530	8270	8005	7431	106,00	2,043	2,03	2,035	2,036	8,31	8,29
16	80	77,5	5	490	8760	8515	7944	98,00	2,169	2,155	2,168	2,164	9,02	9,20
17	85	82,5	5	520	9280	9020	8456	104,00	2,287	2,275	2,263	2,275	9,71	10,00
18	90	87,5	5	520	9800	9540	8969	104,00	2,387	2,392	2,386	2,388	10,47	10,70
19	95	92,5	5	530	10330	10065	9481	106,00	2,458	2,457	2,471	2,462	11,02	11,28
20	100	97,5	5	470	10800	10565	9994	94,00	2,519	2,54	2,545	2,535	11,60	11,76
21	105	102,5	5	500	11300	11050	10506	100,00	2,589	2,592	2,59	2,590	12,07	12,15
22	110	107,5	5	570	11870	11585	11019	114,00	2,584	2,596	2,595	2,592	12,08	12,46
23	115	112,5	5	490	12360	12115	11531	98,00	2,529	2,561	2,562	2,551	11,73	12,71
24	120	117,5	5	520	12880	12620	12044	104,00	2,615	2,608	2,617	2,613	12,27	12,90
25	125	122,5	5	530	13410	13145	12556	106,00	2,68	2,672	2,673	2,675	12,84	13,06
26	130	127,5	5	440	13850	13630	13069	88,00	2,544	2,534	2,507	2,528	11,54	13,18
27	135	132,5	5	490	14340	14095	13581	98,00	2,61	2,623	2,637	2,623	12,36	13,27
28	140	137,5	5	520	14860	14600	14094	104,00	2,697	2,679	2,678	2,685	12,93	13,34
29	145	142,5	5	500	15360	15110	14606	100,00	2,698	2,708	2,713	2,706	13,14	13,40
30	150	147,5	5	520	15880	15620	15119	104,00	2,71	2,724	2,758	2,731	13,38	13,44
31	155	152,5	5	500	16380	16130	15631	100,00	2,745	2,754	2,758	2,752	13,61	13,48
32	160	157,5	5	500	16880	16630	16144	100,00	2,757	2,755	2,751	2,754	13,63	13,50
33	165	162,5	5	520	17400	17140	16656	104,00	2,762	2,77	2,755	2,762	13,71	13,52
34	170	167,5	5	520	17920	17660	17169	104,00	2,755	2,747	2,735	2,746	13,54	13,54
35	175	172,5	5	510	18430	18175	17681	102,00	2,766	2,757	2,752	2,758	13,67	13,55
36	180	177,5	5	490	18920	18675	18194	98,00	2,764	2,763	2,755	2,761	13,69	13,56
37	185	182,5	5	490	19410	19165	18706	98,00	2,76	2,757	2,758	2,758	13,67	13,57
38	190	187,5	5	490	19900	19655	19219	98,00	2,758	2,764	2,761	2,761	13,70	13,57





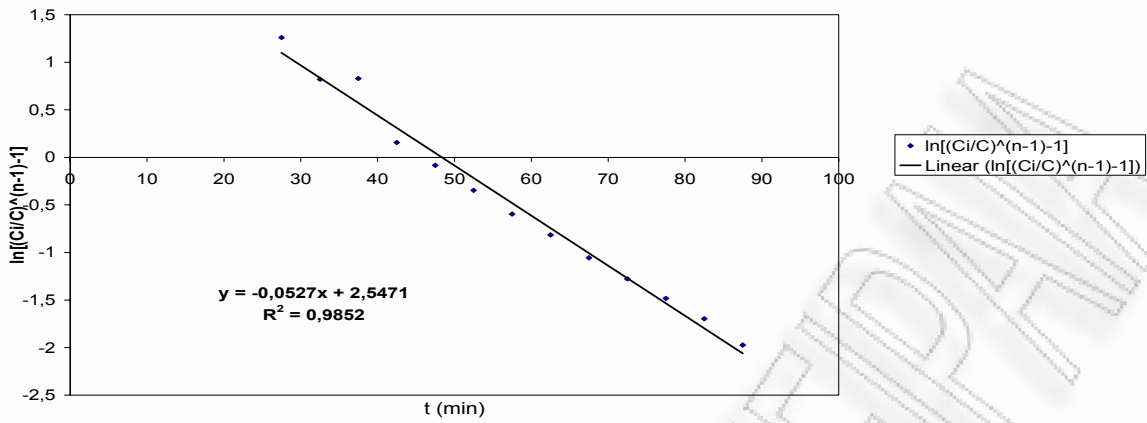






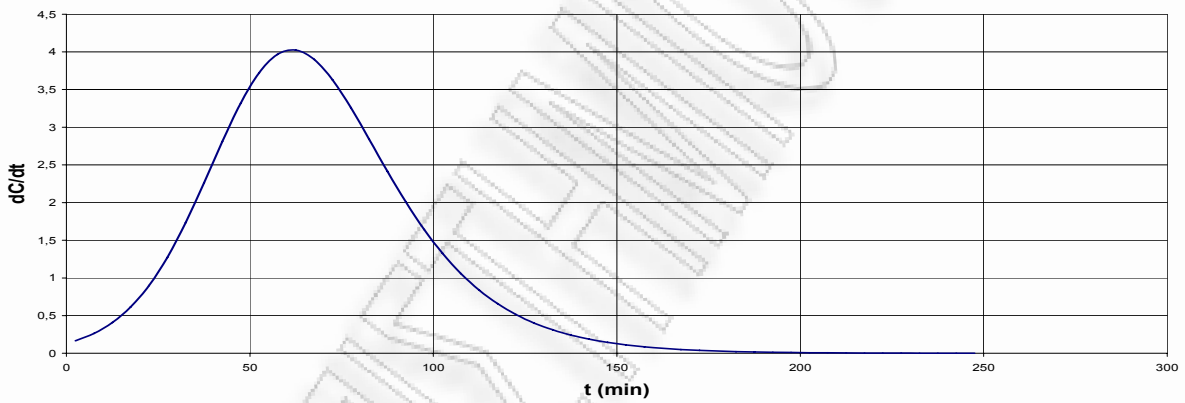
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για πριονίδι πεύκου αποκατεργαστο.

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



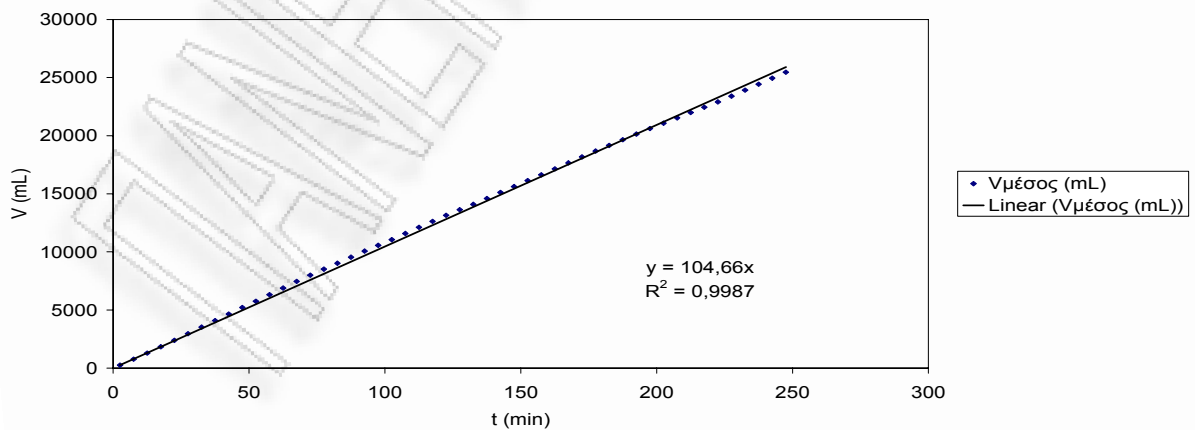
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



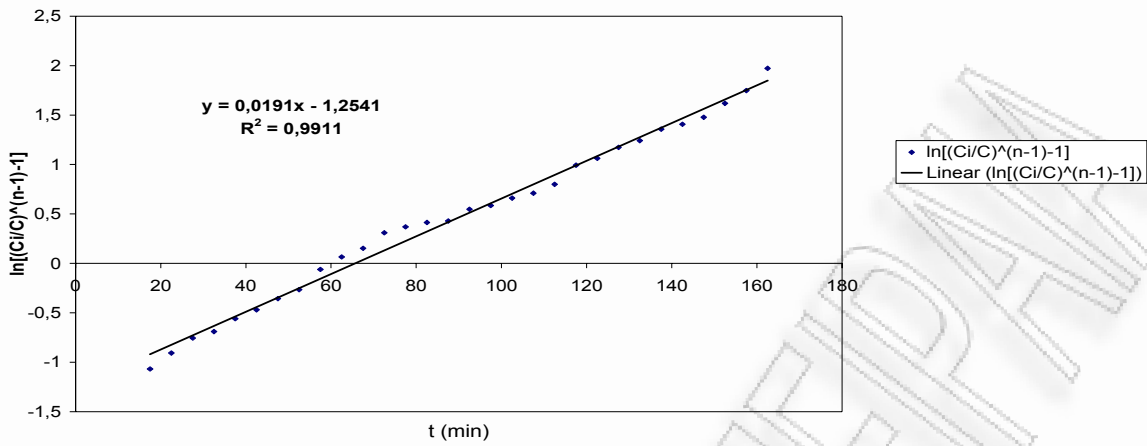
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

Παροχή



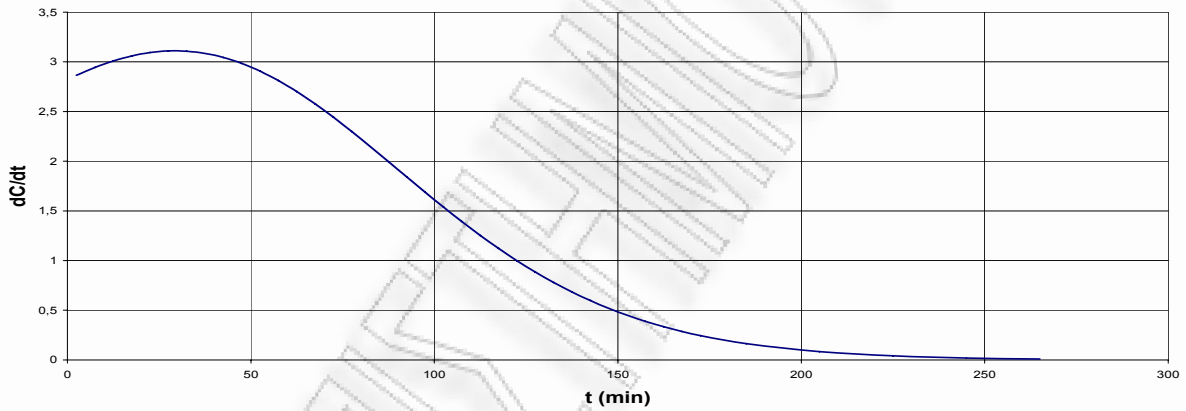
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



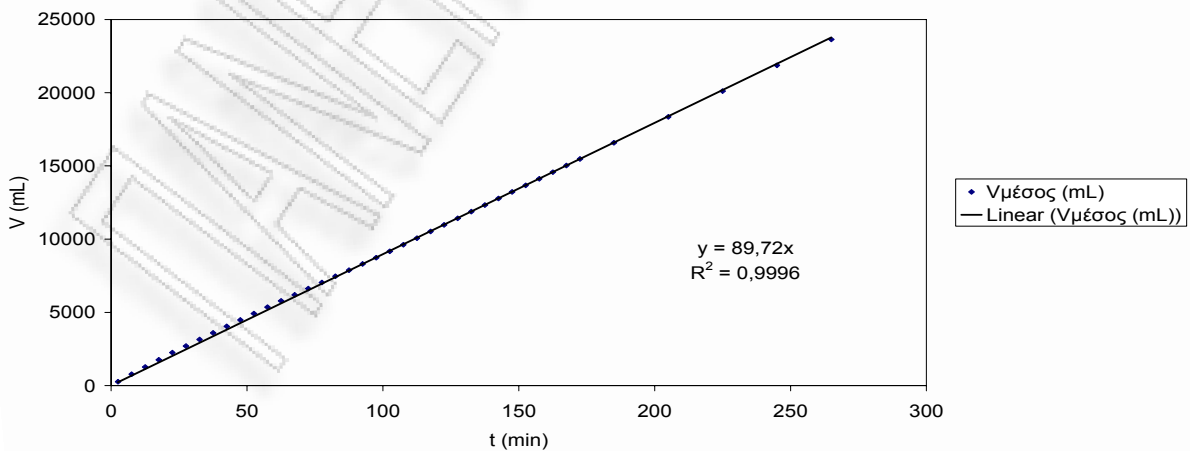
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου απροκατέργαστο

Πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,1125N  $H_2SO_4$

ΠΕΙΡΑΜΑ

17α

ΣΤΗΛΗ

3

Έναρξη πειράματος

6/12/2006

Υλικό Πριονίδι πεύκου 30min  
0,1125N  $H_2SO_4$

βάρος (g) 8,5

ΧΡΩΜΑ Methylene Blue

Προσρόφηση

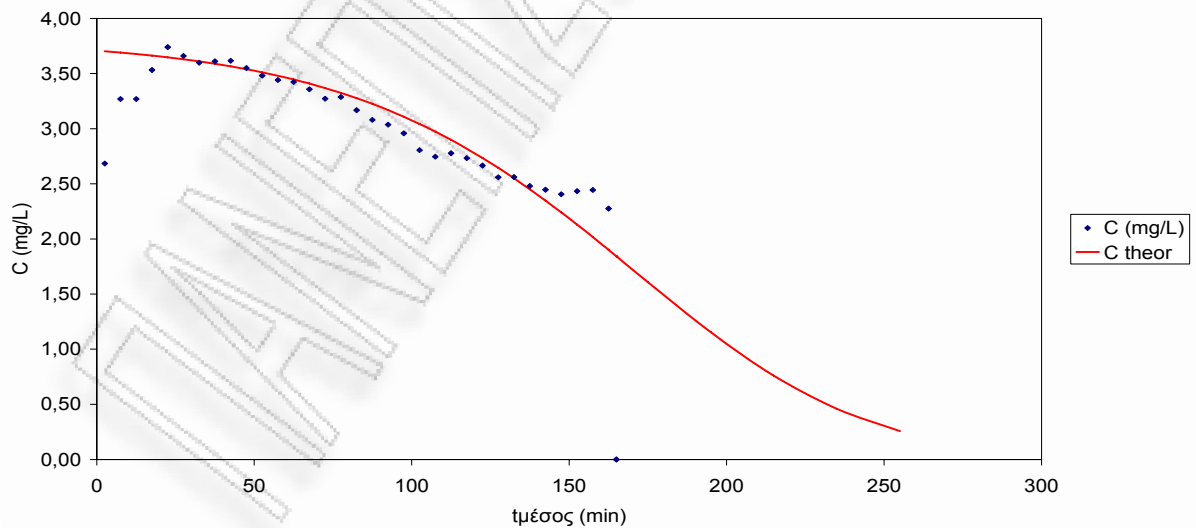
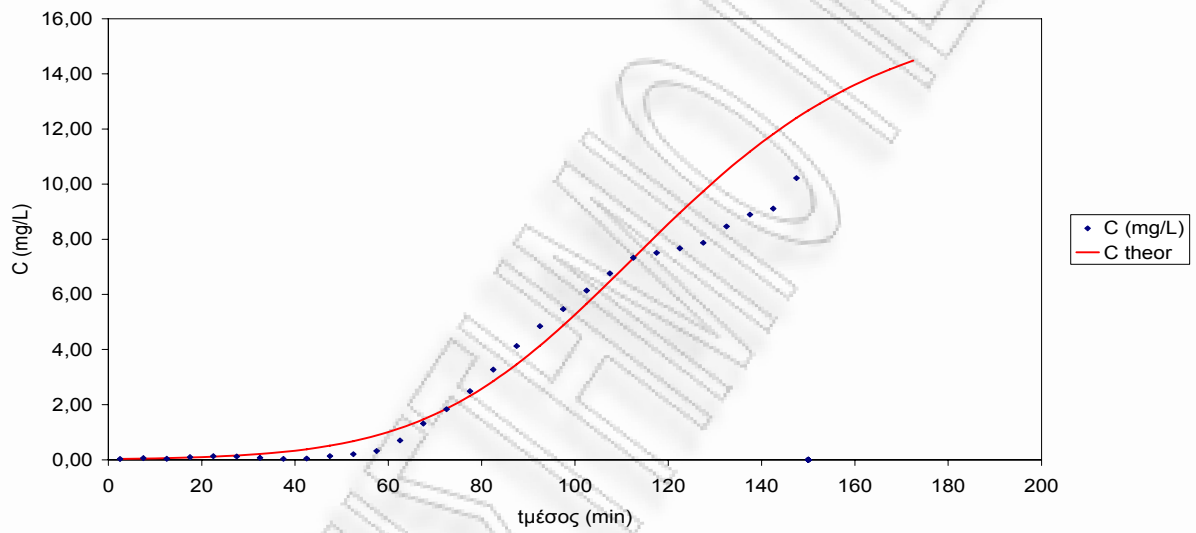
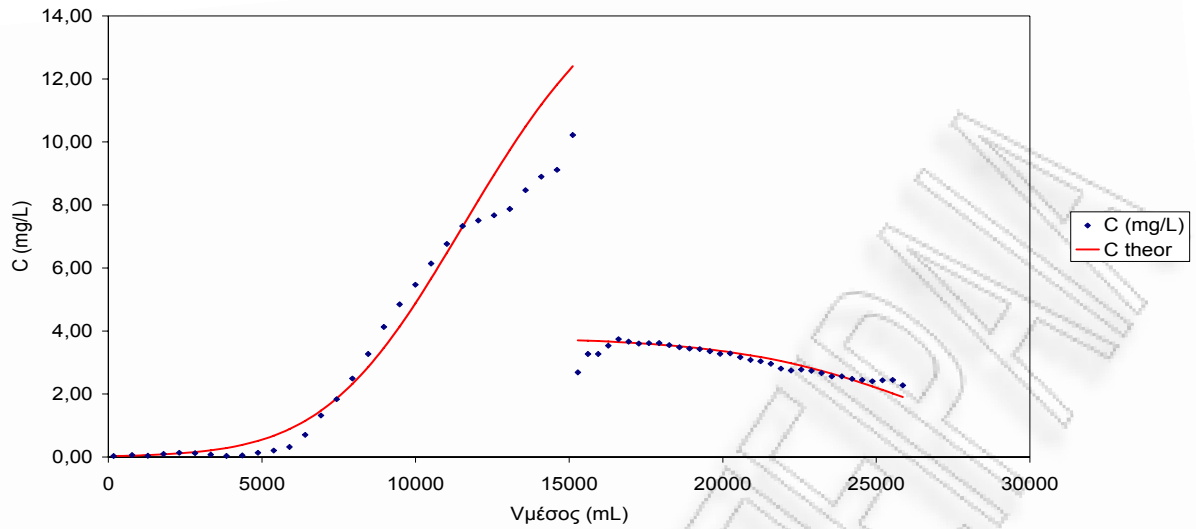
Δειγμ α	t (mi n)	τιμέ ος (mi n)	Δt (mi n)	ΔV (mL)	V (mL)	Vμέσος (mL)	Vμέσος , θεωρ (mL)	Q=ΔV /Δt (mL/ min)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS avera ge	C (mg/L)	C theor
1	5	3	5	340	340	170	172	68,00	0,013	0,005	0,014	0,011	0,03	0,03
2	10	8	5	340	680	510	769	68,00	0,018	0,019	0,023	0,020	0,06	0,04
3	15	13	5	350	1030	855	1281	70,00	0,02	0,014	0,005	0,013	0,04	0,06
4	20	18	5	340	1370	1200	1794	68,00	0,025	0,044	0,025	0,031	0,10	0,08
5	25	23	5	340	1710	1540	2306	68,00	0,028	0,042	0,059	0,043	0,13	0,11
6	30	28	5	340	2050	1880	2819	68,00	0,032	0,039	0,048	0,040	0,12	0,15
7	35	33	5	340	2390	2220	3331	68,00	0,028	0,028	0,019	0,025	0,08	0,21
8	40	38	5	330	2720	2555	3844	66,00	0,013	0,011	0,01	0,011	0,03	0,29
9	45	43	5	330	3050	2885	4356	66,00	0,015	0,024	0,01	0,016	0,05	0,38
10	50	48	5	330	3380	3215	4869	66,00	0,046	0,029	0,056	0,044	0,13	0,51
11	55	53	5	340	3720	3550	5381	68,00	0,065	0,063	0,071	0,066	0,21	0,68
12	60	58	5	350	4070	3895	5894	70,00	0,112	0,098	0,095	0,102	0,32	0,89
13	65	63	5	350	4420	4245	6406	70,00	0,258	0,196	0,187	0,214	0,70	1,15
14	70	68	5	350	4770	4595	6919	70,00	0,352	0,342	0,442	0,379	1,32	1,47
15	75	73	5	350	5120	4945	7431	70,00	0,528	0,493	0,514	0,512	1,84	1,86
16	80	78	5	350	5470	5295	7944	70,00	0,676	0,678	0,673	0,676	2,49	2,32
17	85	83	5	350	5820	5645	8456	70,00	0,858	0,874	0,871	0,868	3,27	2,85
18	90	88	5	340	6160	5990	8969	68,00	1,082	1,085	1,069	1,079	4,13	3,46
19	95	93	5	340	6500	6330	9481	68,00	1,242	1,261	1,266	1,256	4,85	4,14
20	100	98	5	340	6840	6670	9994	68,00	1,411	1,411	1,406	1,409	5,47	4,88
21	105	103	5	340	7180	7010	10506	68,00	1,566	1,568	1,577	1,570	6,14	5,66
22	110	108	5	350	7530	7355	11019	70,00	1,715	1,714	1,714	1,714	6,76	6,48
23	115	113	5	350	7880	7705	11531	70,00	1,832	1,848	1,835	1,838	7,33	7,31
24	120	118	5	350	8230	8055	12044	70,00	1,88	1,873	1,876	1,876	7,51	8,14
25	125	123	5	350	8580	8405	12556	70,00	1,91	1,908	1,912	1,910	7,67	8,96
26	130	128	5	340	8920	8750	13069	68,00	1,95	1,948	1,953	1,950	7,87	9,74
27	135	133	5	340	9260	9090	13581	68,00	2,07	2,065	2,06	2,065	8,47	10,49
28	140	138	5	340	9600	9430	14094	68,00	2,138	2,145	2,142	2,142	8,90	11,18
29	145	143	5	340	9940	9770	14606	68,00	2,208	2,212	2,117	2,179	9,11	11,82
30	150	148	5	340	10280	10110	15119	68,00	2,346	2,352	2,358	2,352	10,22	12,40
	155	152,5	5	343	10623	10452	15631	68,67						12,92
	160	157,5	5	343	10967	10795	16144	68,67						13,39
	165	162,5	5	343	11310	11138	16656	68,67						13,80
	170	167,5	5	343	11653	11482	17169	68,67						14,17



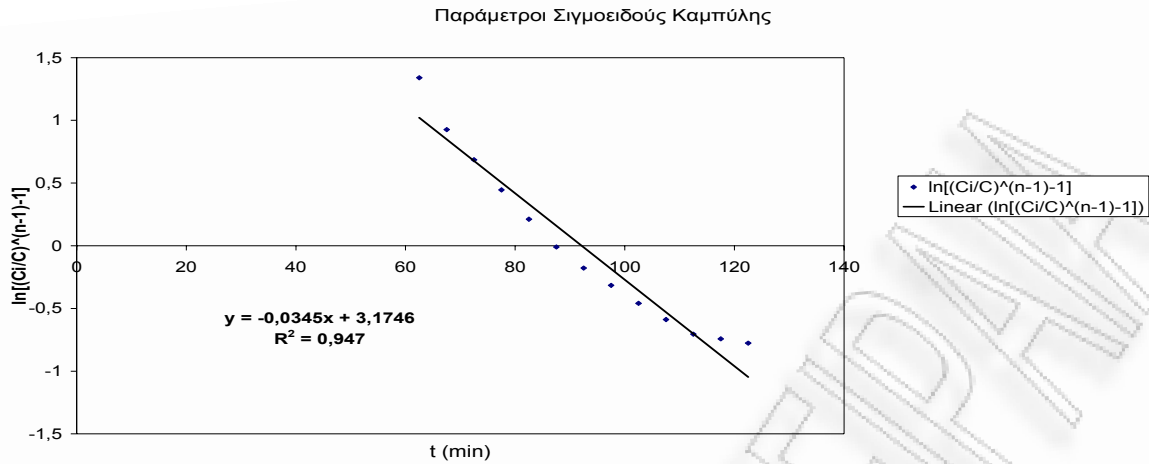




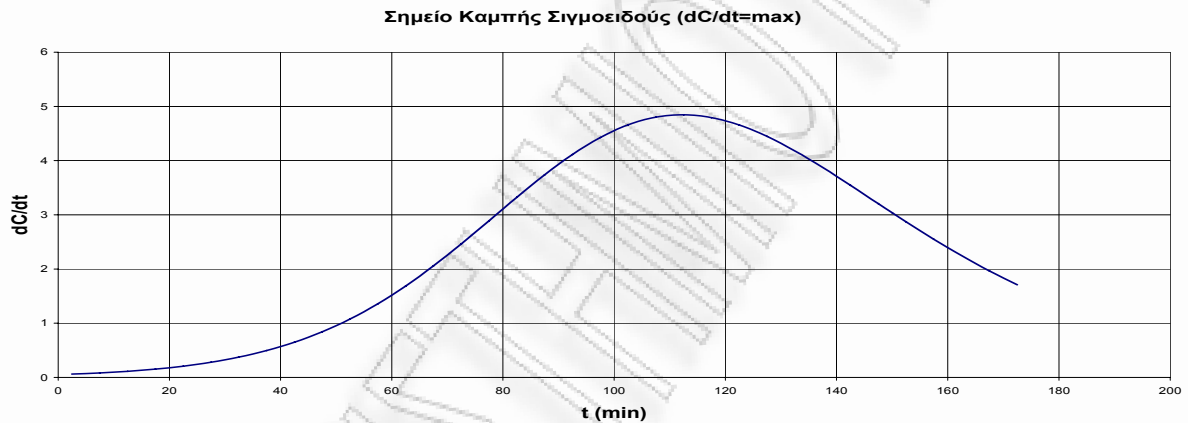




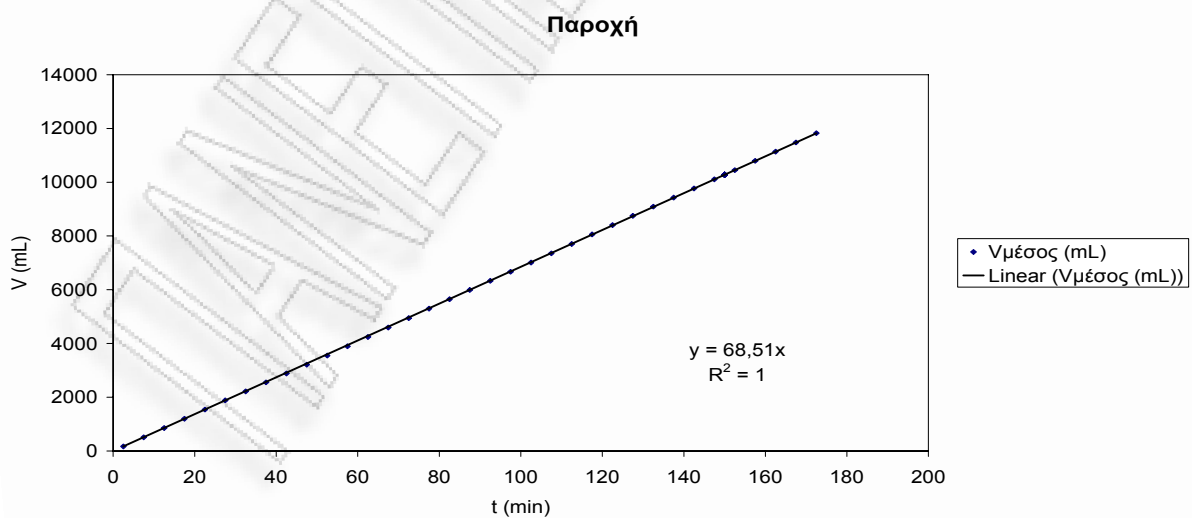
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,1125N  $H_2SO_4$



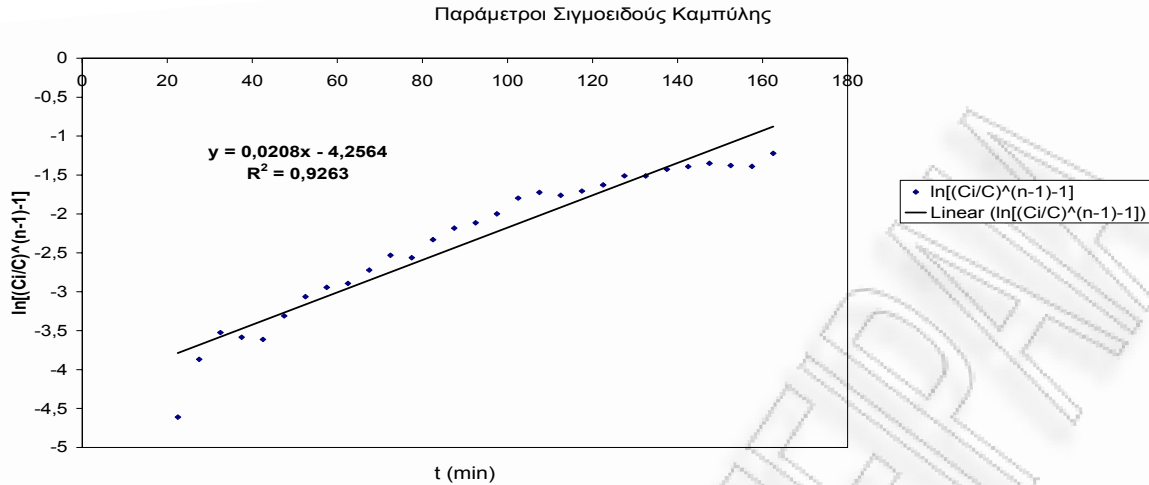
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,1125N  $H_2SO_4$



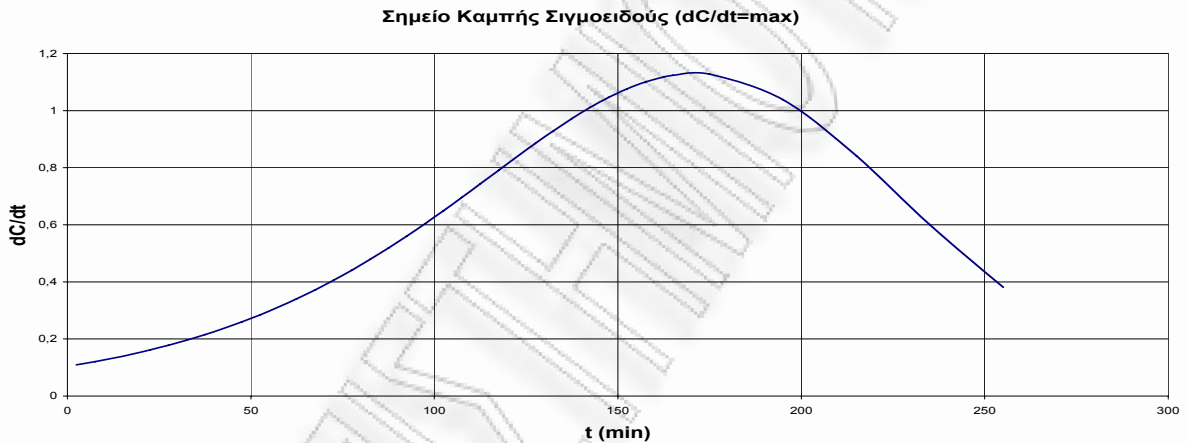
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,1125N  $H_2SO_4$



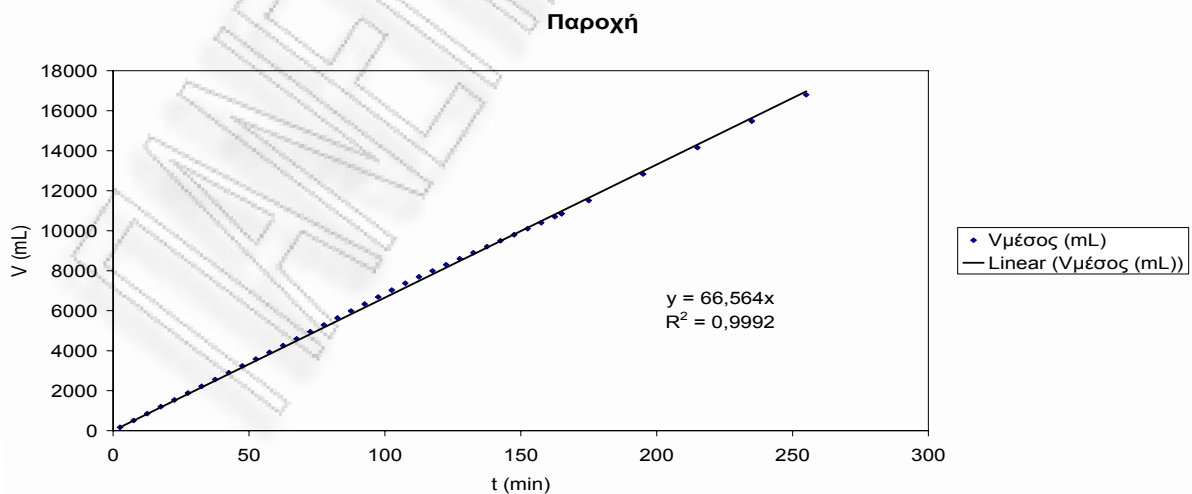
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,1125N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,1125N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,1125N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,1125N  $H_2SO_4$

Πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ΠΕΙΡΑΜΑ

14α

ΣΤΗΛΗ

3

Έναρξη πειράματος

27/11/2006

Υλικό Πριονίδι πεύκου 3h 0,1125N  
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

βάρος (g) 8,5

ΧΡΩΜΑ Methylene Blue

Προσρόφηση

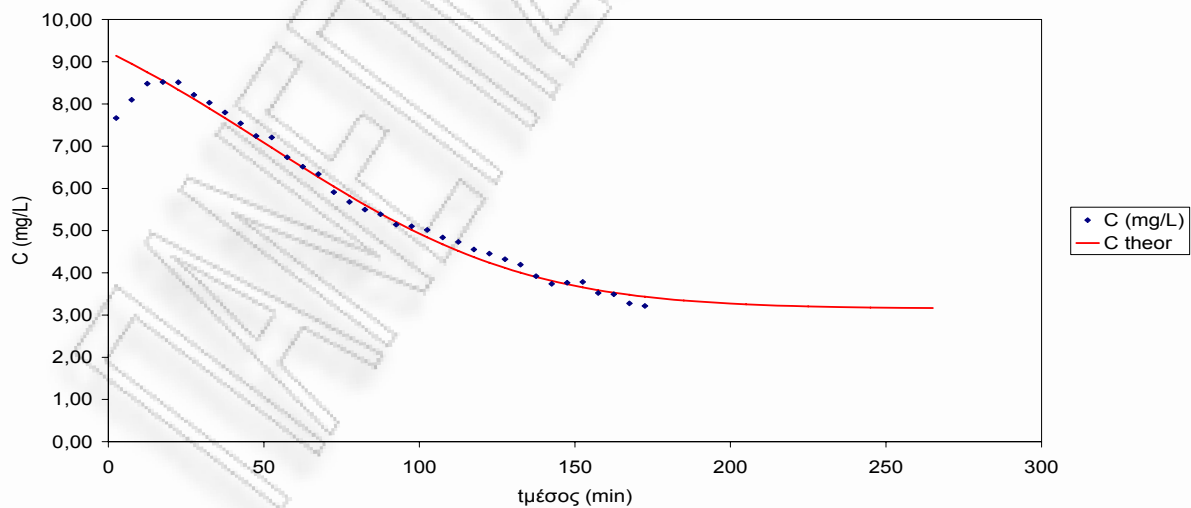
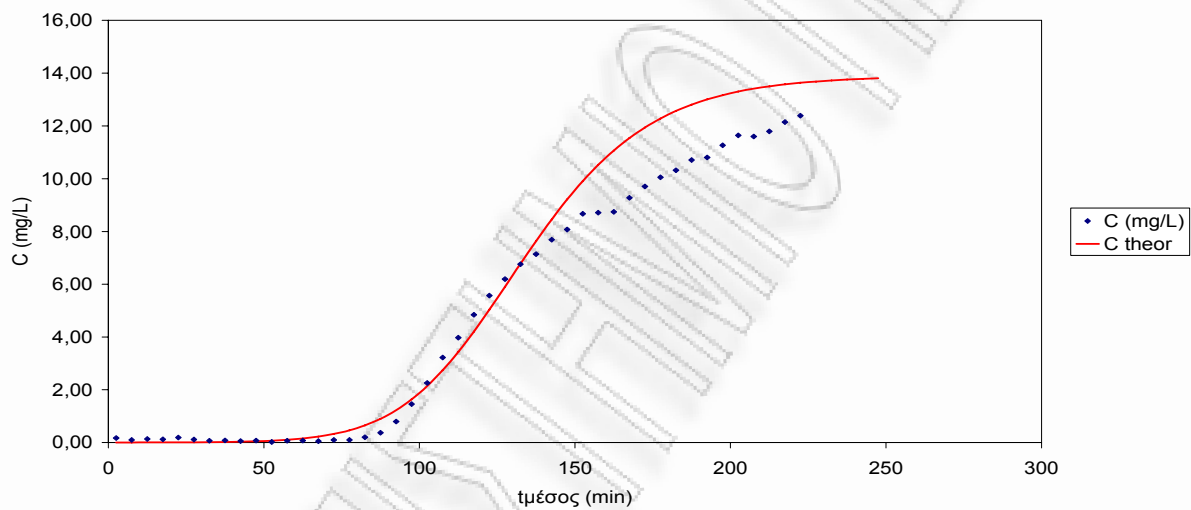
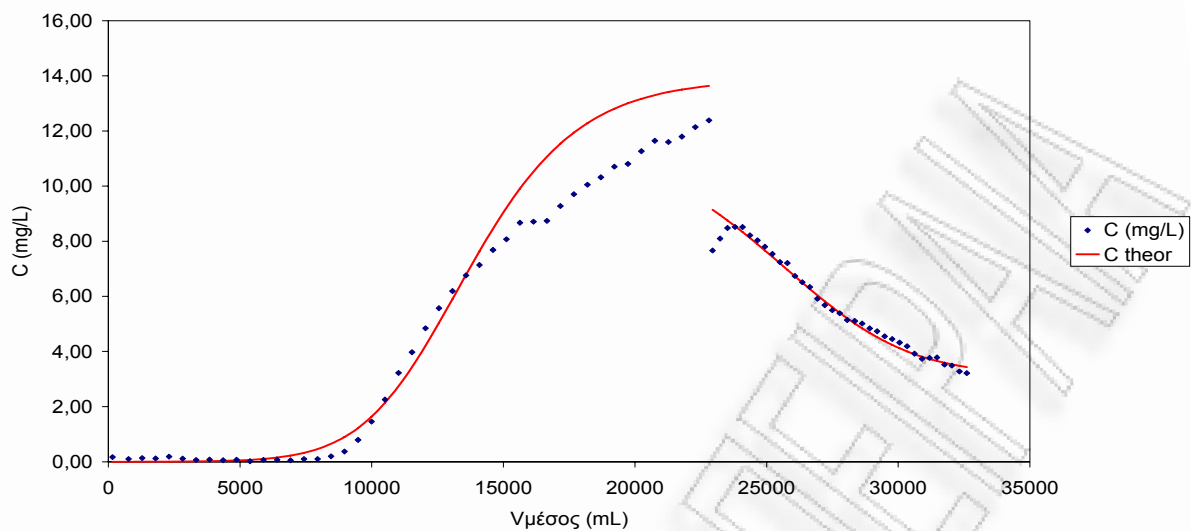
Δειγμ α	t (mi n)	τιμέσ ος (mi n)	Δt (mi n)	ΔV (mL)	V (mL)	Υμέσος (mL)	Υμέσ ος, θεωρ (mL)	Q=ΔV/ Δt (mL/m in)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS avera ge	C (mg/L)	C theor
1	5	3	5	330	330	165	161	66,00	0,056	0,057	0,051	0,055	0,17	0,00
2	10	8	5	300	630	480	769	60,00	0,03	0,029	0,039	0,033	0,10	0,00
3	15	13	5	300	930	780	1281	60,00	0,012	0,037	0,085	0,045	0,14	0,00
4	20	18	5	300	1230	1080	1794	60,00	0,057	0,043	0,021	0,040	0,12	0,00
5	25	23	5	310	1540	1385	2306	62,00	0,097	0,051	0,034	0,061	0,19	0,01
6	30	28	5	320	1860	1700	2819	64,00	0,022	0,051	0,039	0,037	0,11	0,01
7	35	33	5	320	2180	2020	3331	64,00	0,025	0,021	0,018	0,021	0,06	0,01
8	40	38	5	320	2500	2340	3844	64,00	0,04	0,018	0,021	0,026	0,08	0,02
9	45	43	5	320	2820	2660	4356	64,00	0,03	0,015	0,012	0,019	0,06	0,03
10	50	48	5	300	3120	2970	4869	60,00	0,021	0,015	0,037	0,024	0,07	0,05
11	55	53	5	330	3450	3285	5381	66,00	0,001	0,015	0,006	0,007	0,02	0,07
12	60	58	5	310	3760	3605	5894	62,00	0,024	0,018	0,025	0,022	0,07	0,10
13	65	63	5	330	4090	3925	6406	66,00	0,034	0,02	0,021	0,025	0,08	0,15
14	70	68	5	320	4410	4250	6919	64,00	0,013	0,01	0,028	0,017	0,05	0,22
15	75	73	5	300	4710	4560	7431	60,00	0,04	0,033	0,026	0,033	0,10	0,32
16	80	78	5	320	5030	4870	7944	64,00	0,044	0,018	0,035	0,032	0,10	0,46
17	85	83	5	310	5340	5185	8456	62,00	0,09	0,055	0,05	0,065	0,20	0,65
18	90	88	5	300	5640	5490	8969	60,00	0,114	0,122	0,117	0,118	0,37	0,90
19	95	93	5	310	5950	5795	9481	62,00	0,227	0,249	0,24	0,239	0,79	1,22
20	100	98	5	310	6260	6105	9994	62,00	0,429	0,415	0,401	0,415	1,46	1,63
21	105	103	5	320	6580	6420	10506	64,00	0,624	0,615	0,611	0,617	2,25	2,14
22	110	108	5	330	6910	6745	11019	66,00	0,857	0,859	0,853	0,856	3,23	2,74
23	115	113	5	320	7230	7070	11531	64,00	1,048	1,05	1,024	1,041	3,97	3,43
24	120	118	5	330	7560	7395	12044	66,00	1,27	1,266	1,23	1,255	4,84	4,21
25	125	123	5	320	7880	7720	12556	64,00	1,422	1,442	1,439	1,434	5,57	5,04
26	130	128	5	320	8200	8040	13069	64,00	1,582	1,591	1,575	1,583	6,19	5,90
27	135	133	5	330	8530	8365	13581	66,00	1,721	1,709	1,711	1,714	6,76	6,78
28	140	138	5	330	8860	8695	14094	66,00	1,803	1,786	1,803	1,797	7,14	7,63
29	145	143	5	330	9190	9025	14606	66,00	1,914	1,909	1,915	1,913	7,68	8,45
30	150	148	5	330	9520	9355	15119	66,00	1,997	1,983	1,99	1,990	8,07	9,21
31	155	153	5	330	9850	9685	15631	66,00	2,099	2,106	2,102	2,102	8,67	9,91
32	160	158	5	330	10180	10015	16144	66,00	2,107	2,096	2,123	2,109	8,71	10,52
33	165	163	5	330	10510	10345	16656	66,00	2,141	2,099	2,103	2,114	8,74	11,07
34	170	168	5	330	10840	10675	17169	66,00	2,185	2,242	2,192	2,206	9,28	11,54
35	175	173	5	330	11170	11005	17681	66,00	2,269	2,279	2,277	2,275	9,71	11,94
36	180	178	5	330	11500	11335	18194	66,00	2,323	2,326	2,334	2,328	10,05	12,28
37	185	183	5	330	11830	11665	18706	66,00	2,365	2,377	2,357	2,366	10,32	12,57



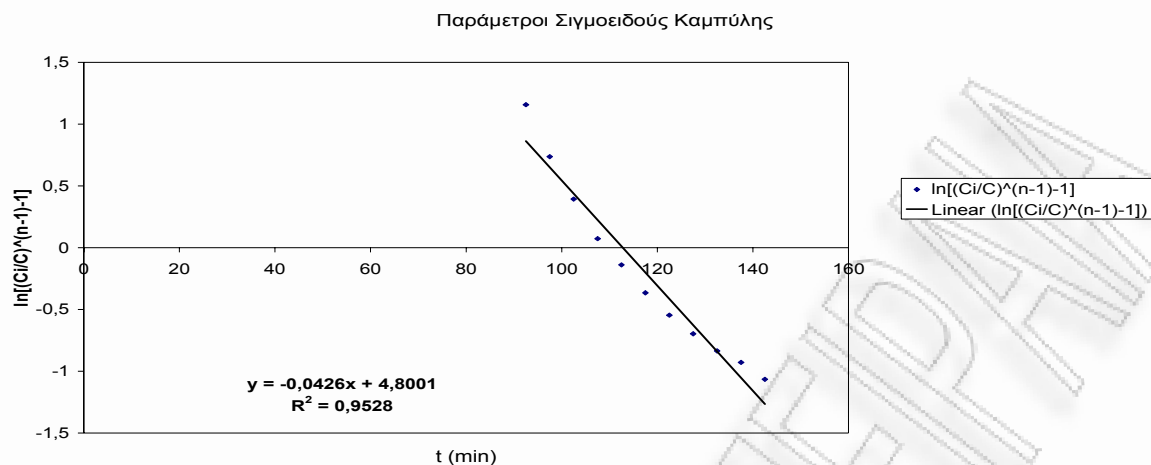




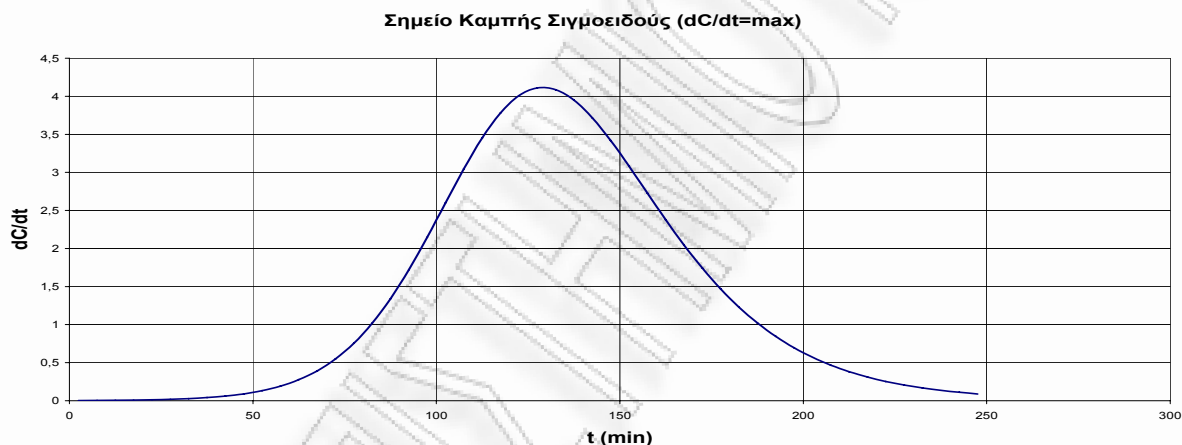




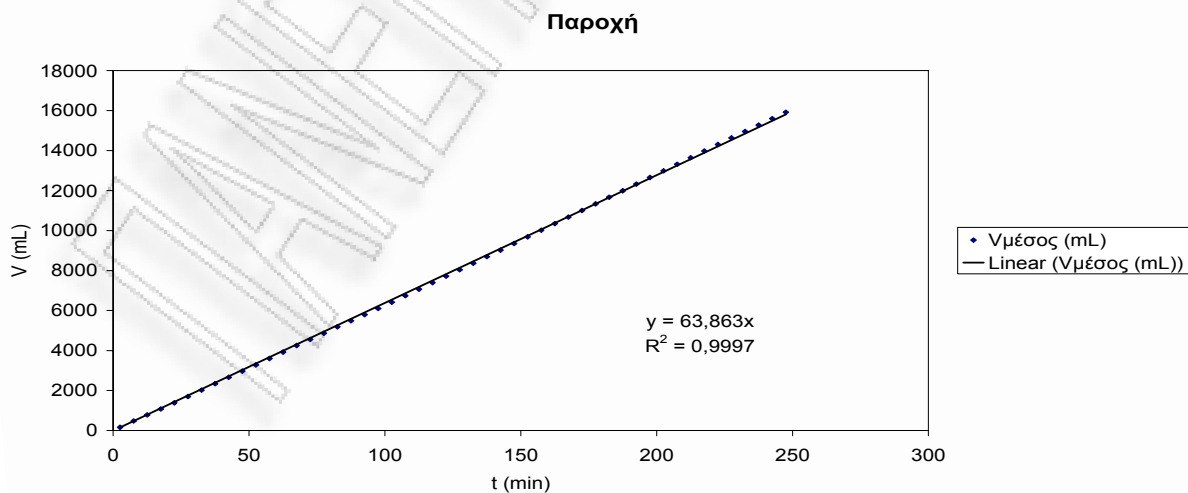
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

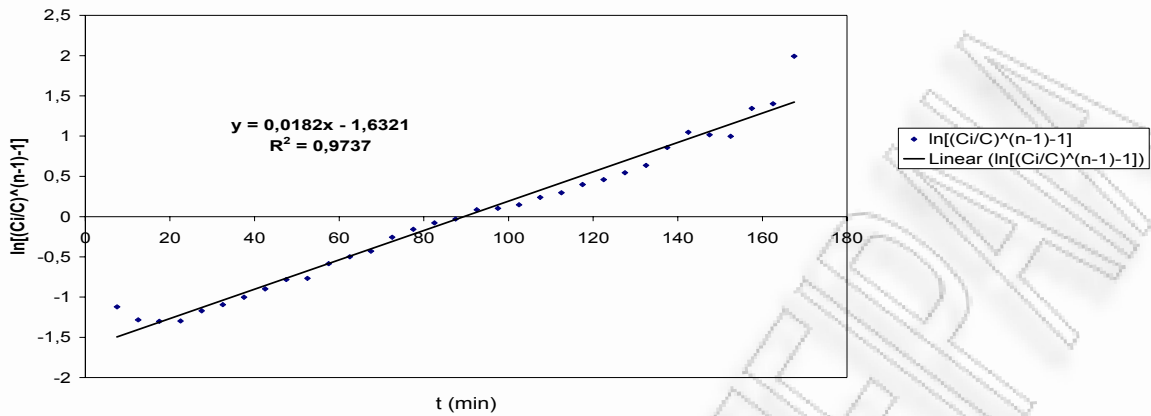


Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$



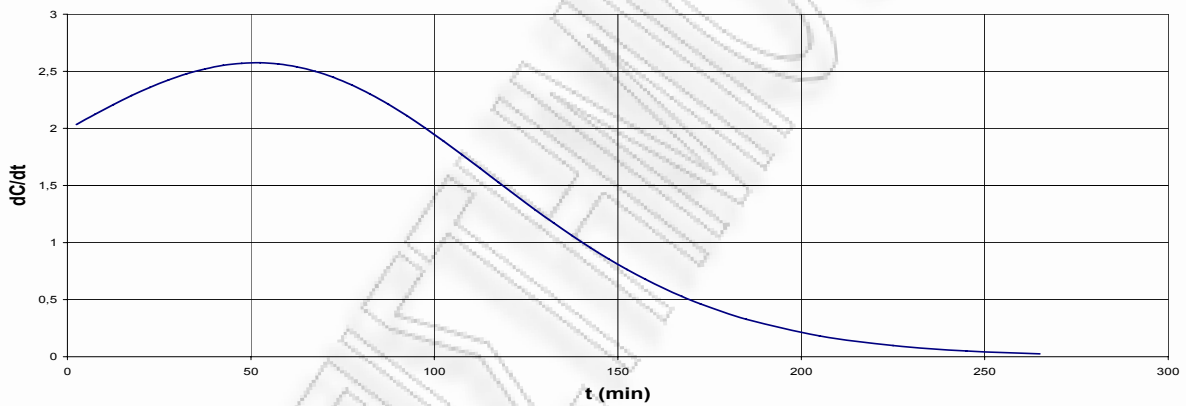
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



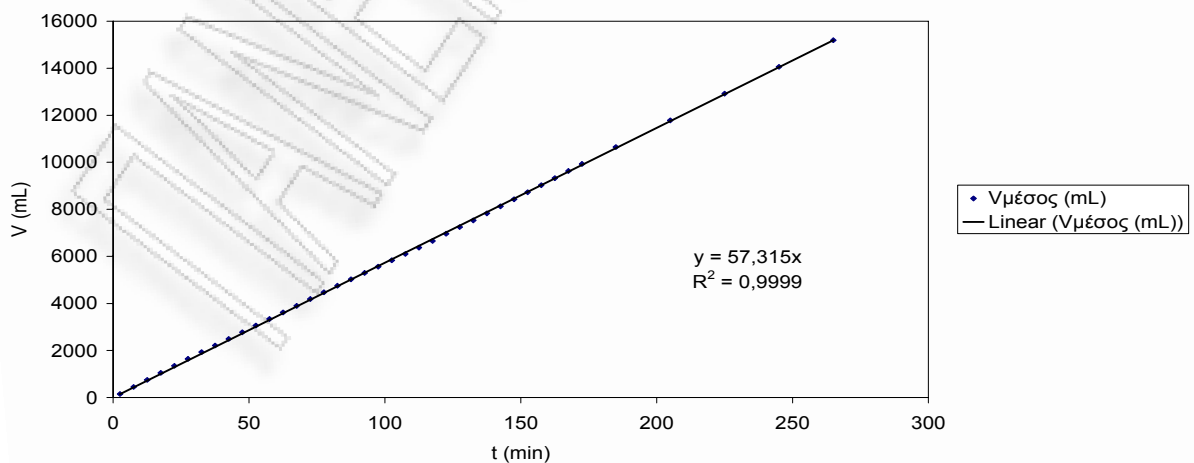
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 3h 0,1125N  $H_2SO_4$

Πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,225N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ΠΕΙΡΑΜΑ

1α

ΣΤΗΛΗ

3

Έναρξη πειράματος

4/10/2006

Υλικό Πριονίδι πεύκου 1h 0,225N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

βάρος (g)

7

ΧΡΩΜΑ Methylene Blue

Προσρόφηση

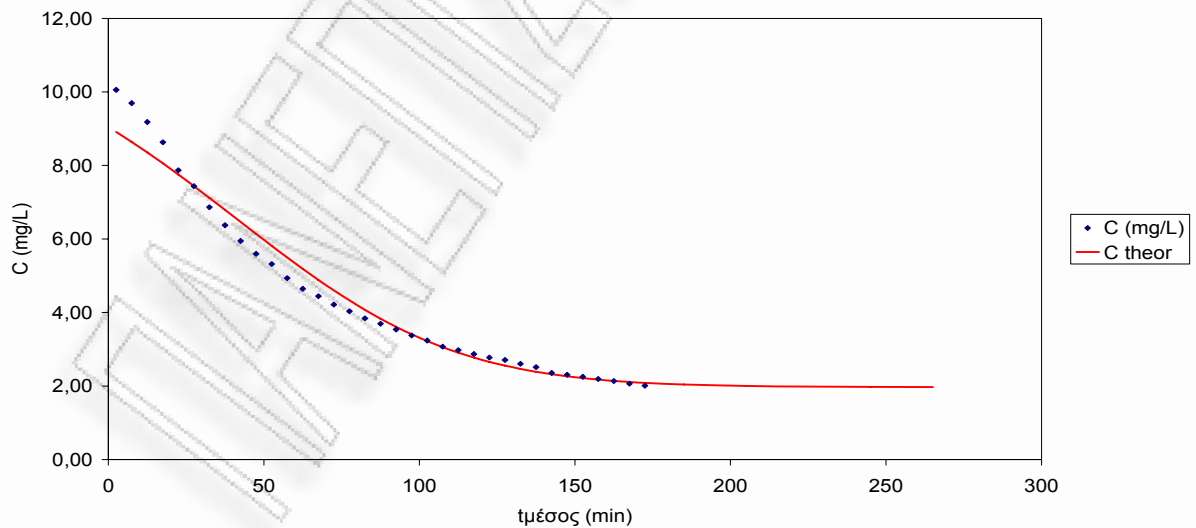
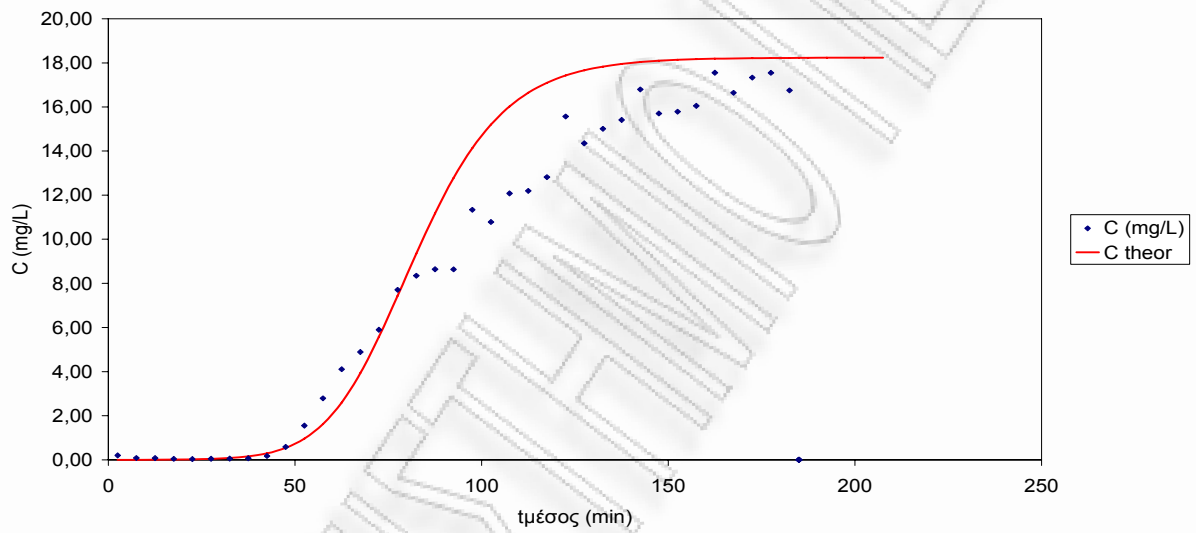
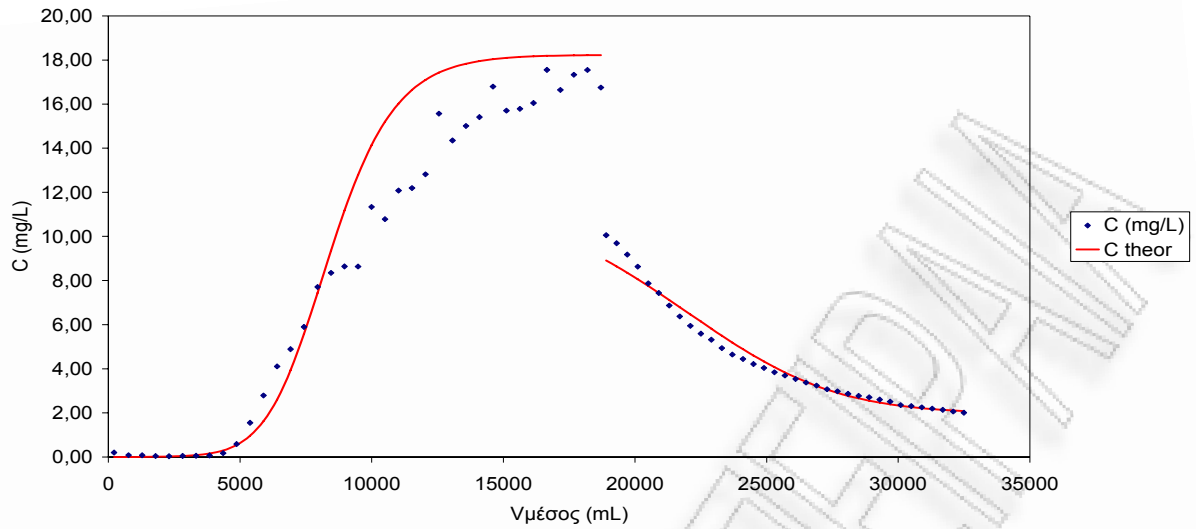
Δειγμ α	t (mi n)	τμέσ ος (mi n)	Δt (mi n)	ΔV (mL)	V (mL)	Vμέσος (mL)	Vμέσο ς, θεωρ (mL)	Q=ΔV/Δ t (mL/min )	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS averag e	C (mg/L)	C theor
1	5	3	5	490	490	245	216	98,00	0,047	0,047	0,103	0,066	0,20	0,00
2	10	8	5	510	1000	745	769	102,00	0,022	0,02	0,038	0,027	0,08	0,00
3	15	13	5	470	1470	1235	1281	94,00	0,014	0,02	0,039	0,024	0,07	0,01
4	20	18	5	390	1860	1665	1794	78,00	0,01	0,013	0,019	0,014	0,04	0,01
5	25	23	5	370	2230	2045	2306	74,00	0,008	0,008	0,014	0,010	0,03	0,02
6	30	28	5	390	2620	2425	2819	78,00	0,018	0,014	0,017	0,016	0,05	0,04
7	35	33	5	440	3060	2840	3331	88,00	0,017	0,013	0,025	0,018	0,06	0,08
8	40	38	5	445	3505	3283	3844	89,00	0,021	0,022	0,028	0,024	0,07	0,16
9	45	43	5	460	3965	3735	4356	92,00	0,052	0,056	0,061	0,056	0,17	0,30
10	50	48	5	520	4485	4225	4869	104,00	0,192	0,164	0,182	0,179	0,58	0,54
11	55	53	5	410	4895	4690	5381	82,00	0,451	0,443	0,425	0,440	1,55	0,96
12	60	58	5	410	5305	5100	5894	82,00	0,754	0,755	0,738	0,749	2,79	1,62
13	65	63	5	410	5715	5510	6406	82,00	1,081	1,077	1,061	1,073	4,10	2,60
14	70	68	5	280	5995	5855	6919	56,00	1,272	1,274	1,254	1,267	4,89	3,93
15	75	73	5	420	6415	6205	7431	84,00	1,516	1,515	1,508	1,513	5,90	5,58
16	80	78	5	400	6815	6615	7944	80,00	0,41	0,436	0,465	0,437	7,71	7,43
17	85	83	5	450	7265	7040	8456	90,00	0,457	0,466	0,486	0,470	8,35	9,35
18	90	88	5	430	7695	7480	8969	86,00	0,475	0,488	0,491	0,485	8,64	11,17
19	95	93	5	460	8155	7925	9481	92,00	0,472	0,479	0,502	0,484	8,64	12,78
20	100	98	5	410	8565	8360	9994	82,00	0,599	0,622	0,639	0,620	11,34	14,13
21	105	103	5	440	9005	8785	10506	88,00	0,598	0,576	0,603	0,592	10,78	15,20
22	110	108	5	410	9415	9210	11019	82,00	0,658	0,643	0,669	0,657	12,08	16,03
23	115	113	5	470	9885	9650	11531	94,00	0,659	0,659	0,669	0,662	12,19	16,64
24	120	118	5	400	10285	10085	12044	80,00	0,698	0,695	0,687	0,693	12,82	17,10
25	125	123	5	440	10725	10505	12556	88,00	0,85	0,82	0,817	0,829	15,57	17,43
26	130	128	5	490	11215	10970	13069	98,00	0,778	0,78	0,749	0,769	14,35	17,66
27	135	133	5	430	11645	11430	13581	86,00	0,819	0,797	0,788	0,801	15,01	17,83
28	140	138	5	440	12085	11865	14094	88,00	0,83	0,824	0,809	0,821	15,41	17,95
29	145	143	5	435	12520	12303	14606	87,00	0,867	0,9	0,901	0,889	16,80	18,04
30	150	148	5	490	13010	12765	15119	98,00	0,834	0,826	0,847	0,836	15,71	18,10
31	155	153	5	470	13480	13245	15631	94,00	0,834	0,827	0,858	0,840	15,79	18,14
32	160	158	5	440	13920	13700	16144	88,00	0,862	0,839	0,857	0,853	16,05	18,17
33	165	163	5	370	14290	14105	16656	74,00	0,911	0,931	0,938	0,927	17,55	18,19
34	170	168	5	510	14800	14545	17169	102,00	0,879	0,878	0,888	0,882	16,64	18,20
35	175	173	5	420	15220	15010	17681	84,00	0,896	0,921	0,93	0,916	17,33	18,21
36	180	178	5	470	15690	15455	18194	94,00	0,958	0,91	0,911	0,926	17,55	18,22





lnA	-1,58794		n	1,5	n-1	0,5				Στήλη cm
r	-0,02155				Cin	10,26	E	3,14	x (cm)	10,0
A	0,204346	N	1923,9		5%	0,513			u (cm/min)	25,446
R	0,98857	K	-0,0021		95%	9,747			m (g)	7
R2	0,97726									

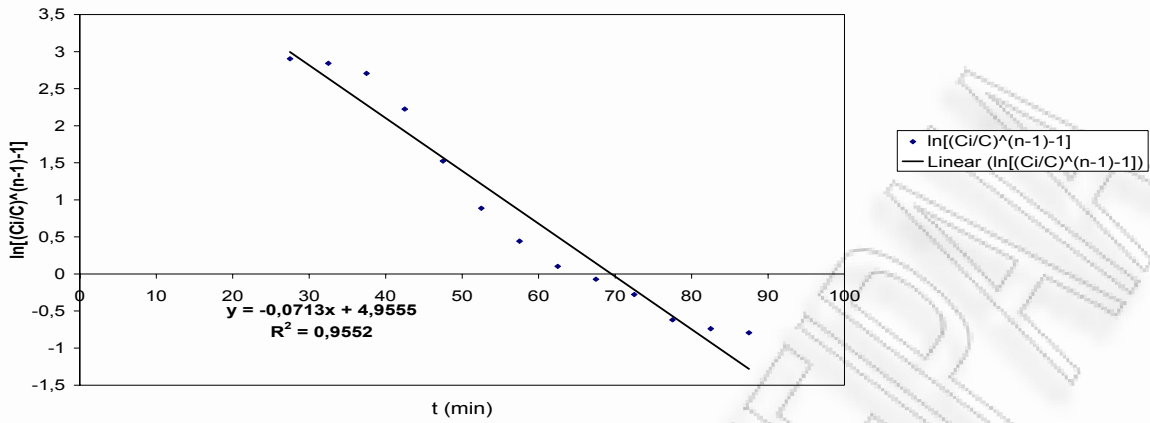
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΠΑ



Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,225N  $H_2SO_4$

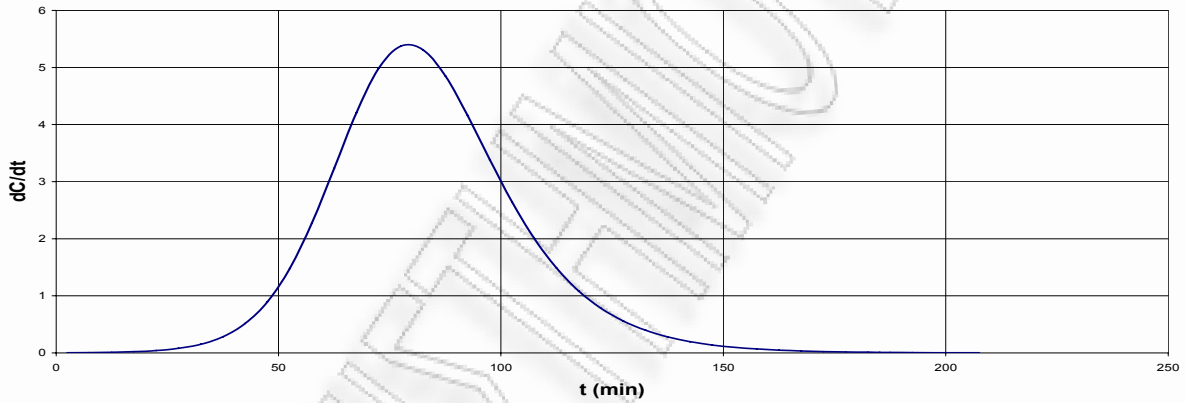


Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



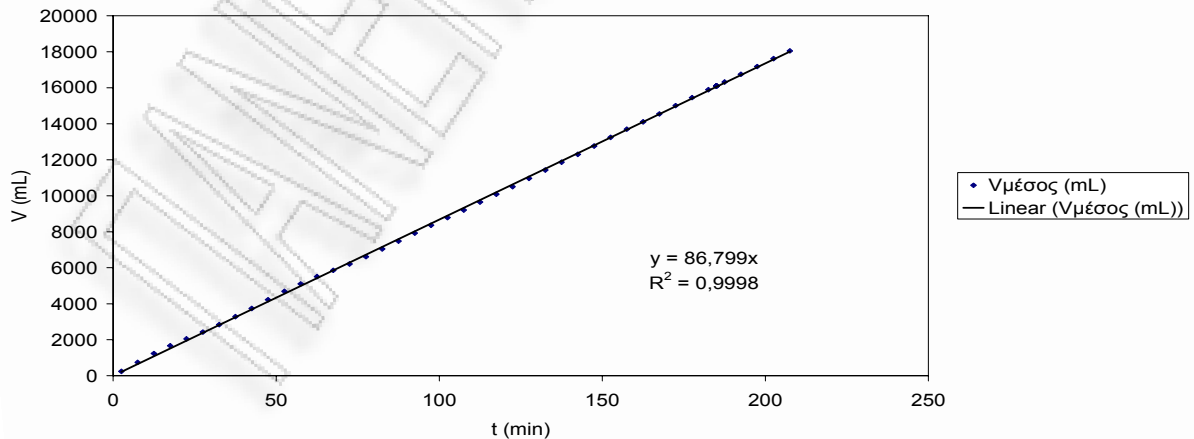
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,225N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



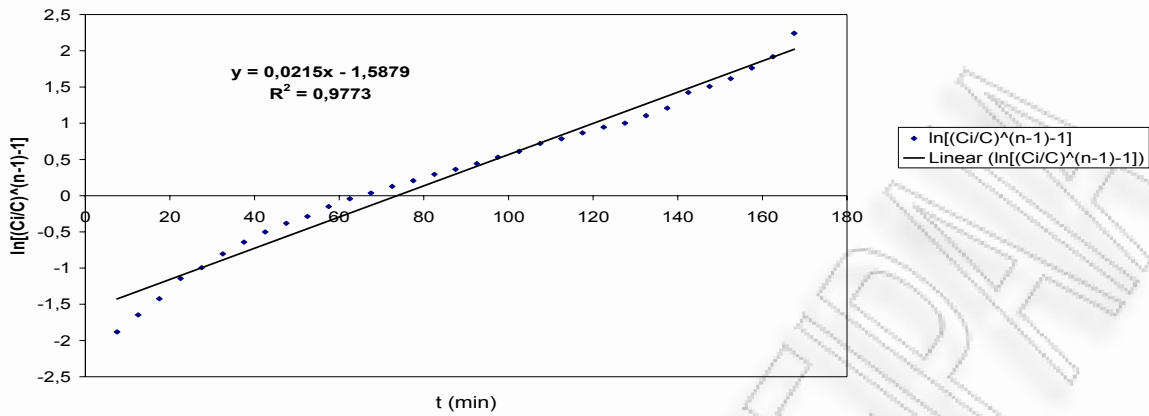
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,225N  $H_2SO_4$

Παροχή



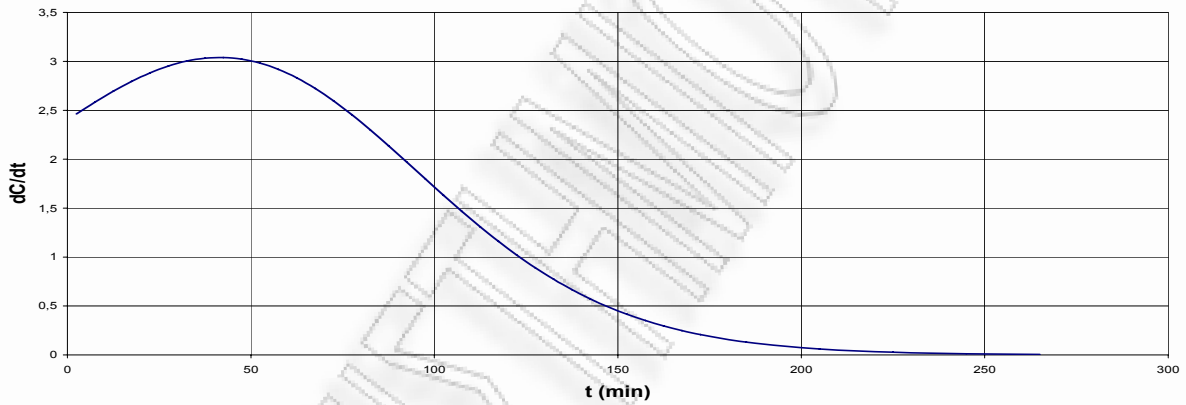
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,225N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



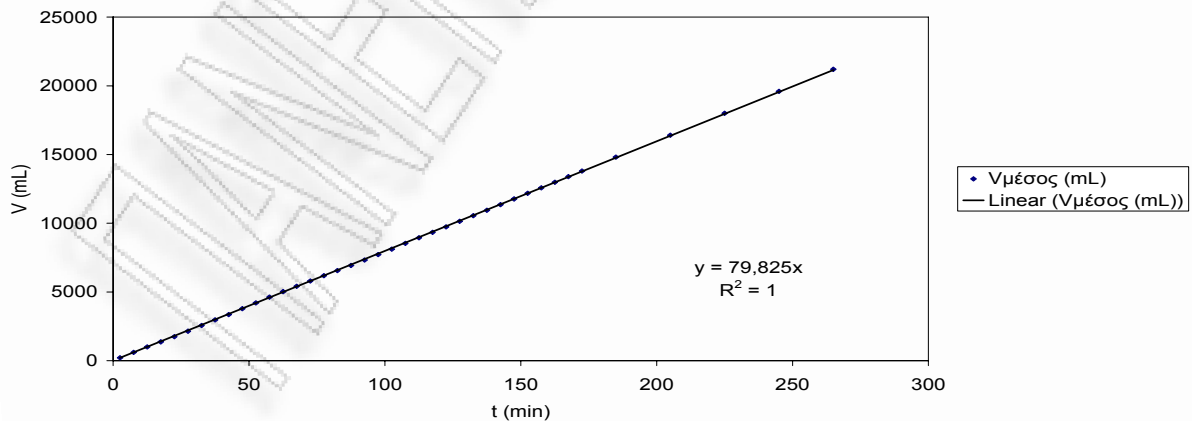
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,225N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,225N  $H_2SO_4$

Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,225N  $H_2SO_4$

Πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ΠΕΙΡΑΜΑ

11α

ΣΤΗΛΗ

3

Έναρξη πειράματος

15/11/2006

Υλικό Πριονίδι πεύκου 4h  
0,225N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

βαρος (g) 8,5

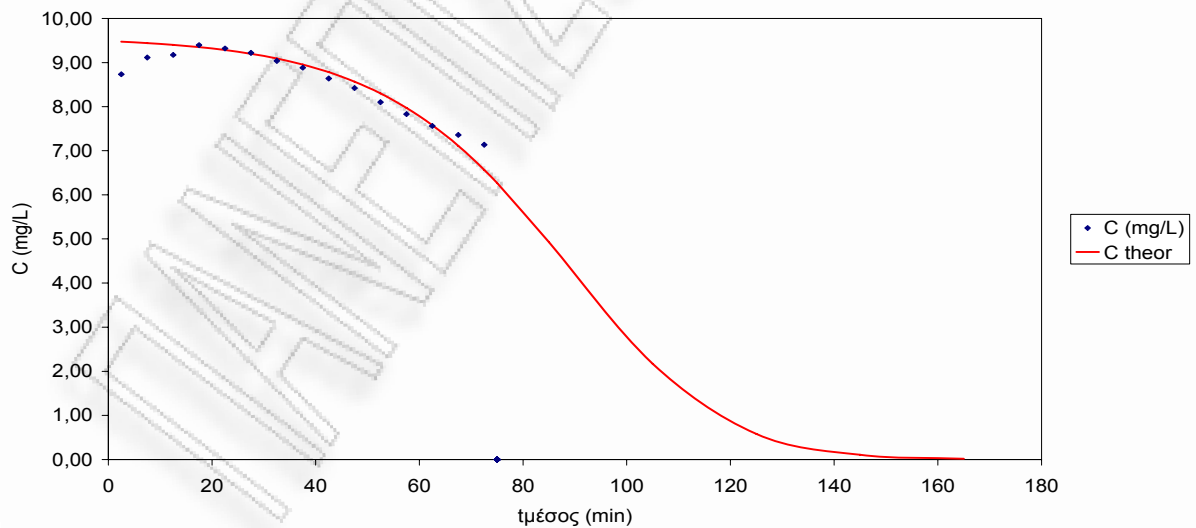
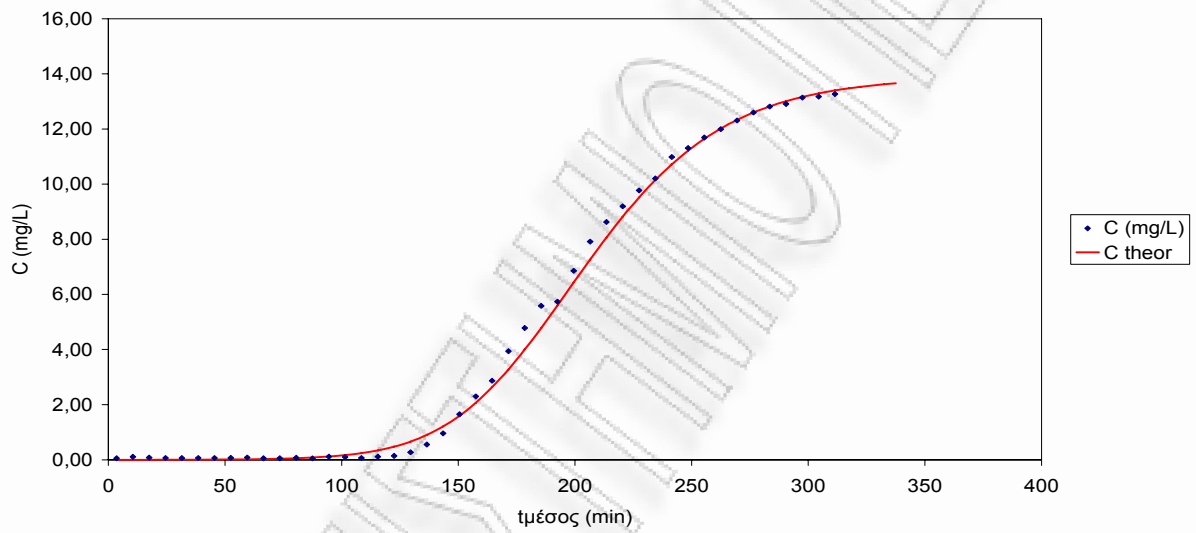
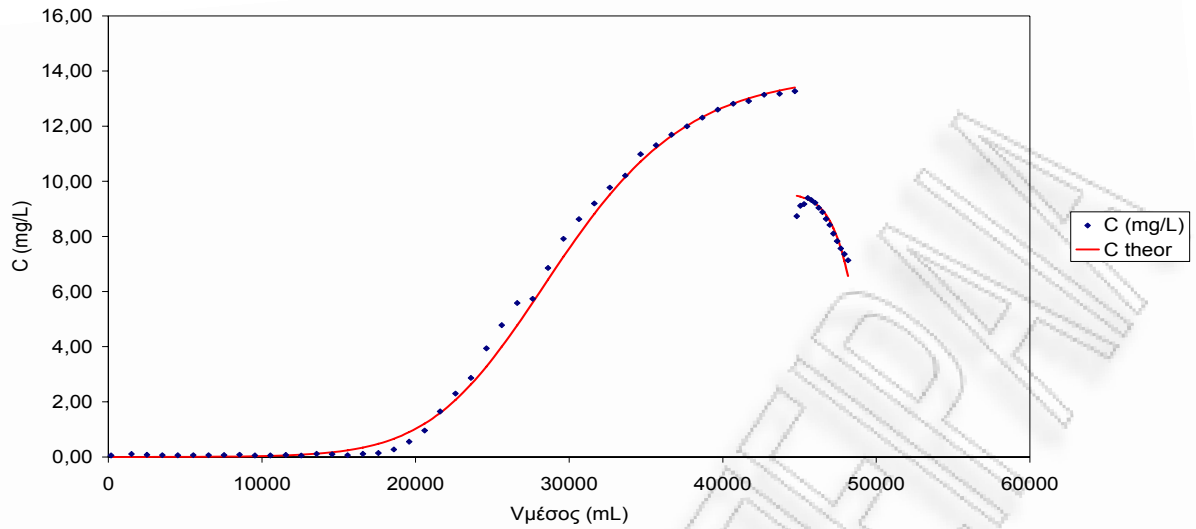
ΧΡΩΜΑ Methylene Blue

Προσρόφηση

Δειγμ α	t (mi n)	τιμέσ ος (mi n)	Δt (mi n)	ΔV (mL)	V (mL)	Υμέσος (mL)	Υμέσος, θεωρ (mL)	Q=ΔV/ Δt (mL/m in)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS avera ge	C (mg/L)	C theor
1	7	4	7	160	160	80	178	22,86	0,021	0,018	0,017	0,019	0,06	0,00
2	14	11	7	210	370	265	1507	30,00	0,031	0,049	0,028	0,036	0,11	0,00
3	21	18	7	220	590	480	2511	31,43	0,017	0,02	0,042	0,026	0,08	0,00
4	28	25	7	240	830	710	3516	34,29	0,013	0,02	0,031	0,021	0,06	0,00
5	35	32	7	270	1100	965	4520	38,57	0,005	0,025	0,031	0,020	0,06	0,00
6	42	39	7	280	1380	1240	5525	40,00	0,015	0,02	0,029	0,021	0,06	0,01
7	49	46	7	320	1700	1540	6529	45,71	0,011	0,014	0,039	0,021	0,06	0,01
8	56	53	7	310	2010	1855	7534	44,29	0,014	0,027	0,027	0,023	0,07	0,01
9	63	60	7	340	2350	2180	8538	48,57	0,018	0,021	0,043	0,027	0,08	0,02
10	70	67	7	330	2680	2515	9543	47,14	0,011	0,011	0,033	0,018	0,06	0,03
11	77	74	7	370	3050	2865	10547	52,86	0,008	0,022	0,028	0,019	0,06	0,04
12	84	81	7	330	3380	3215	11552	47,14	0,015	0,016	0,041	0,024	0,07	0,06
13	91	88	7	360	3740	3560	12556	51,43	0,012	0,015	0,026	0,018	0,05	0,08
14	98	95	7	360	4100	3920	13561	51,43	0,032	0,026	0,053	0,037	0,11	0,12
15	105	102	7	360	4460	4280	14565	51,43	0,022	0,032	0,045	0,033	0,10	0,17
16	112	109	7	370	4830	4645	15570	52,86	0,014	0,019	0,033	0,022	0,07	0,24
17	119	116	7	360	5190	5010	16574	51,43	0,04	0,031	0,041	0,037	0,11	0,34
18	126	123	7	340	5530	5360	17579	48,57	0,041	0,045	0,053	0,046	0,14	0,48
19	133	130	7	340	5870	5700	18583	48,57	0,092	0,088	0,083	0,088	0,27	0,66
20	140	137	7	360	6230	6050	19588	51,43	0,179	0,17	0,166	0,172	0,56	0,90
21	147	144	7	340	6570	6400	20592	48,57	0,287	0,285	0,28	0,284	0,96	1,21
22	154	151	7	320	6890	6730	21597	45,71	0,466	0,465	0,467	0,466	1,65	1,60
23	161	158	7	350	7240	7065	22601	50,00	0,641	0,625	0,617	0,628	2,30	2,07
24	168	165	7	290	7530	7385	23606	41,43	0,782	0,771	0,753	0,769	2,87	2,63
25	175	172	7	360	7890	7710	24610	51,43	1,033	1,026	1,038	1,032	3,94	3,28
26	182	179	7	360	8250	8070	25615	51,43	1,266	1,239	1,218	1,241	4,78	4,00
27	189	186	7	350	8600	8425	26619	50,00	1,455	1,449	1,409	1,438	5,59	4,78
28	196	193	7	350	8950	8775	27624	50,00	1,5	1,489	1,433	1,474	5,74	5,60
29	203	200	7	380	9330	9140	28628	54,29	1,75	1,753	1,703	1,735	6,86	6,43
30	210	207	7	380	9710	9520	29633	54,29	1,966	1,964	1,947	1,959	7,91	7,26
31	217	214	7	380	10090	9900	30637	54,29	2,042	2,154	2,087	2,094	8,63	8,06
32	224	221	7	380	10470	10280	31642	54,29	2,179	2,193	2,206	2,193	9,19	8,82
33	231	228	7	400	10870	10670	32646	57,14	2,285	2,306	2,265	2,285	9,77	9,52
34	238	235	7	400	11270	11070	33651	57,14	2,35	2,347	2,355	2,351	10,21	10,15
35	245	242	7	410	11680	11475	34655	58,57	2,483	2,44	2,45	2,458	10,98	10,72
36	252	249	7	410	12090	11885	35660	58,57	2,485	2,506	2,507	2,499	11,31	11,21
37	259	256	7	410	12500	12295	36664	58,57	2,548	2,543	2,548	2,546	11,69	11,64

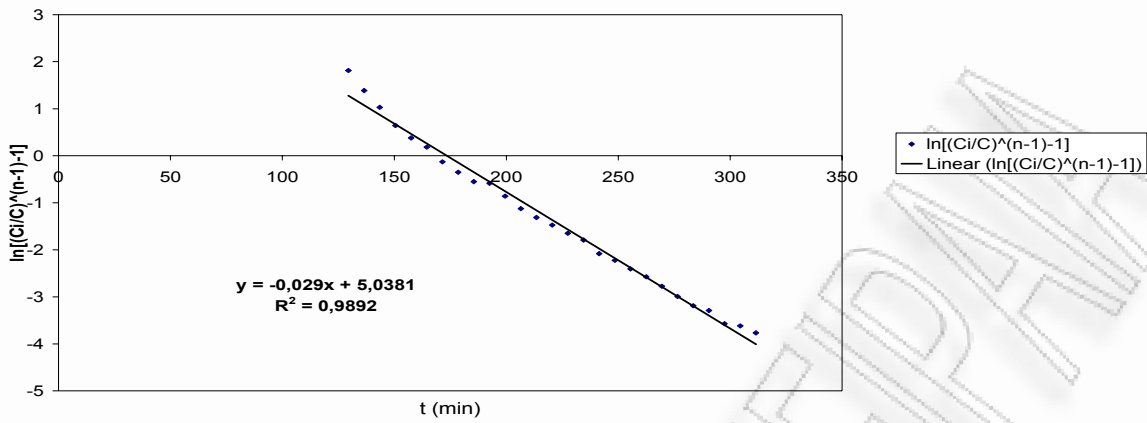






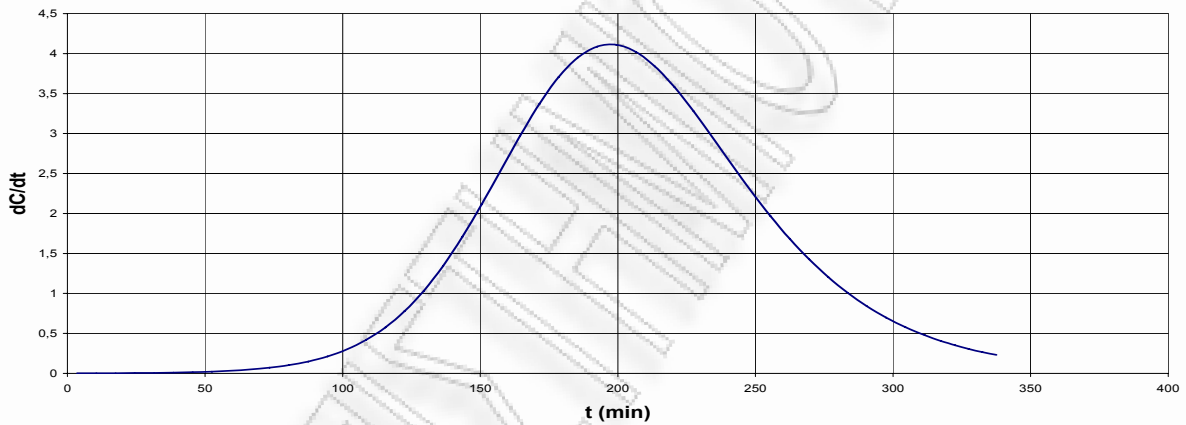
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



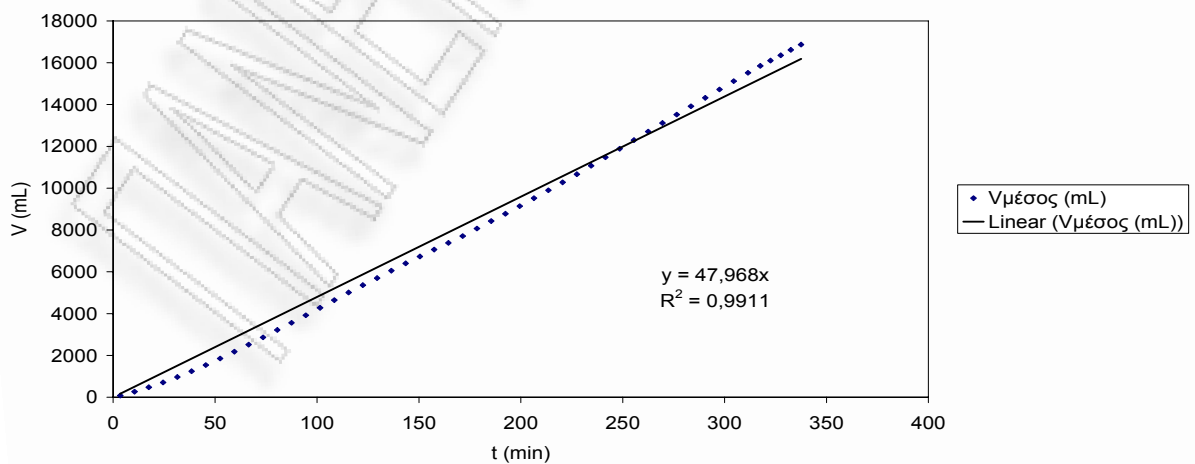
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)

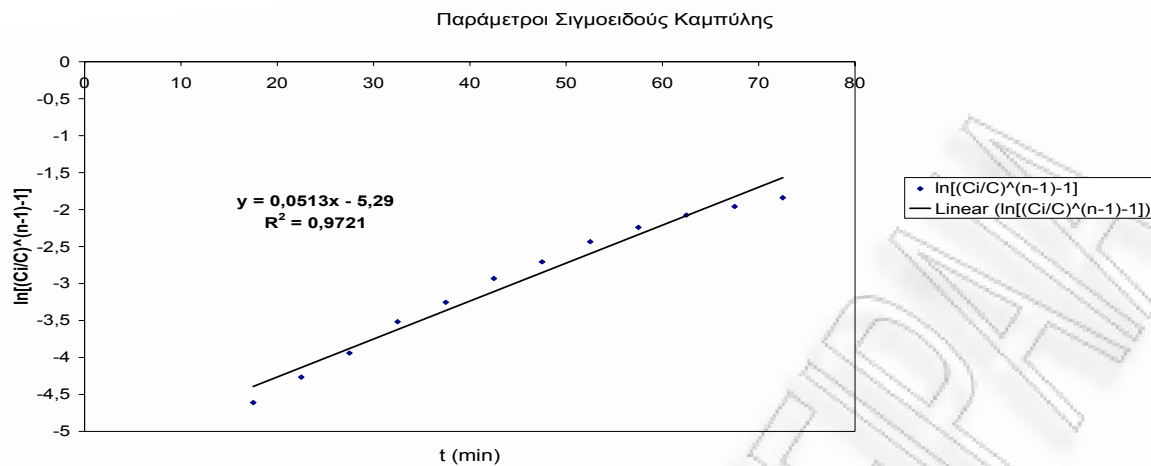


Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$

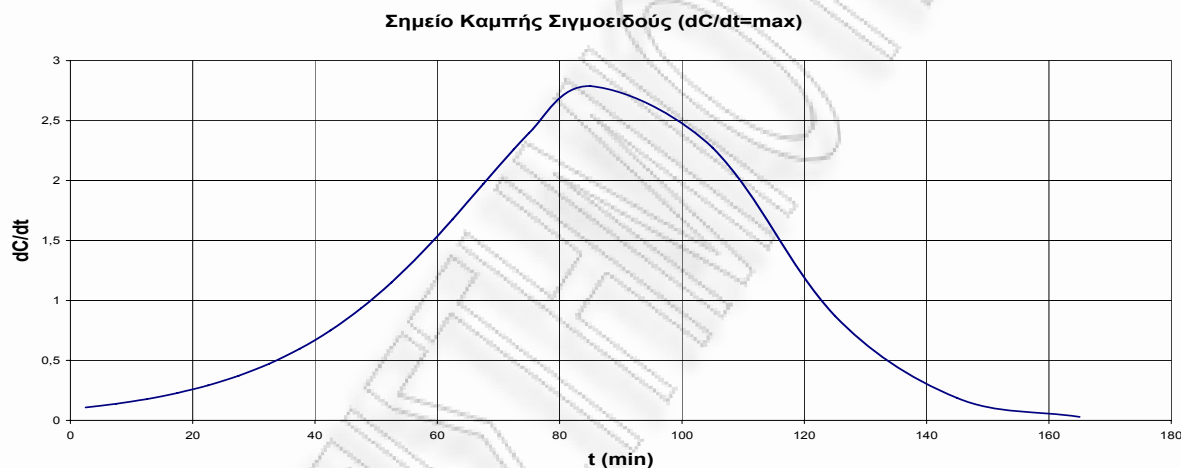
Παροχή



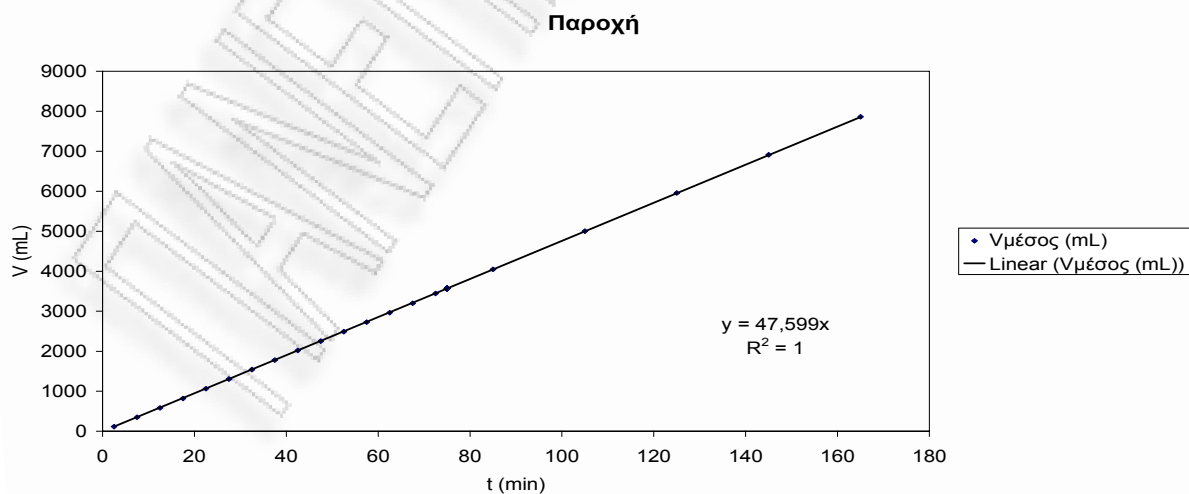
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 4h 0,225N  $H_2SO_4$



Πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ΠΕΙΡΑΜΑ

9α

ΣΤΗΛΗ

3

Έναρξη πειράματος

8/11/2006

Υλικό Πριονίδι πεύκου 30min 0,45N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

βάρος (g)

9

ΧΡΩΜΑ Methylene Blue

Προσρόφηση

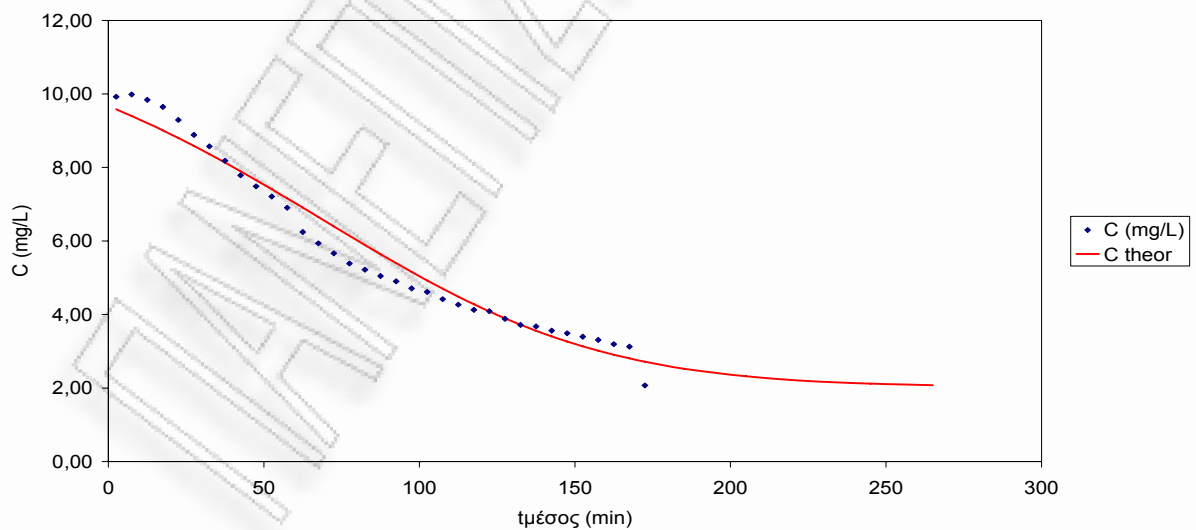
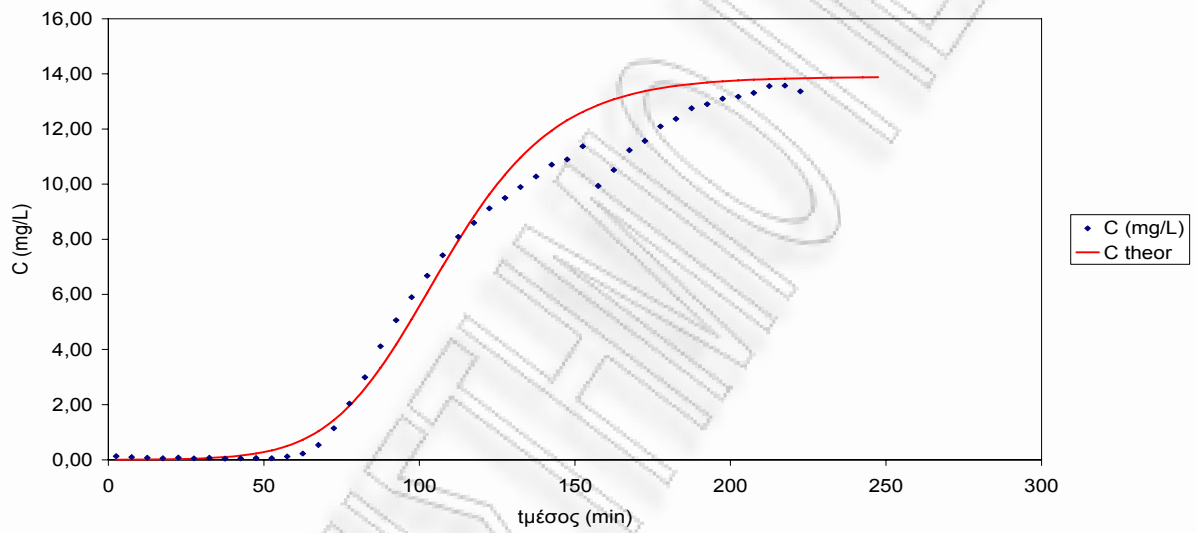
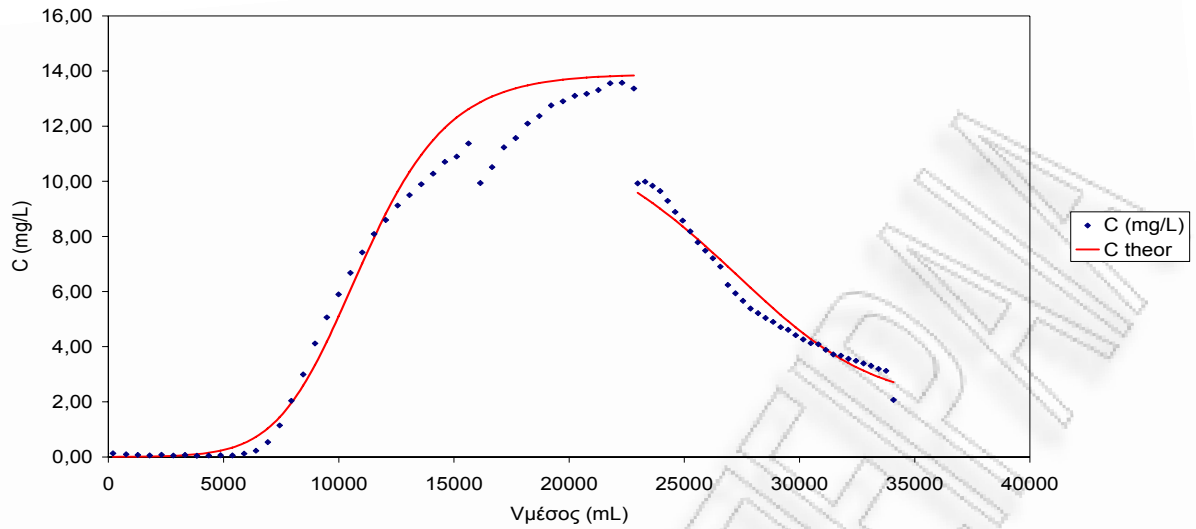
Δειγμ α	t (mi n)	τιμέσ ος (mi n)	Δt (mi n)	ΔV (mL)	V (mL)	Υμέσος (mL)	Υμέσος, θεωρ (mL)	Q=ΔV/ Δt (mL/m in)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS avera ge	C (mg/L)	C theor
1	5	3	5	340	340	170	197	68,00	0,031	0,054	0,042	0,042	0,13	0,00
2	10	8	5	320	660	500	769	64,00	0,03	0,03	0,034	0,031	0,10	0,01
3	15	13	5	350	1010	835	1281	70,00	0,02	0,019	0,033	0,024	0,07	0,01
4	20	18	5	370	1380	1195	1794	74,00	0,02	0,021	0,017	0,019	0,06	0,02
5	25	23	5	380	1760	1570	2306	76,00	0,044	0,018	0,015	0,026	0,08	0,03
6	30	28	5	370	2130	1945	2819	74,00	0,021	0,011	0,021	0,018	0,05	0,04
7	35	33	5	380	2510	2320	3331	76,00	0,017	0,017	0,041	0,025	0,08	0,06
8	40	38	5	380	2890	2700	3844	76,00	0,01	0,013	0,021	0,015	0,04	0,10
9	45	43	5	390	3280	3085	4356	78,00	0,023	0,01	0,017	0,017	0,05	0,15
10	50	48	5	400	3680	3480	4869	80,00	0,023	0,017	0,02	0,020	0,06	0,23
11	55	53	5	390	4070	3875	5381	78,00	0,018	0,021	0,019	0,019	0,06	0,34
12	60	58	5	390	4460	4265	5894	78,00	0,04	0,033	0,047	0,040	0,12	0,50
13	65	63	5	400	4860	4660	6406	80,00	0,073	0,072	0,075	0,073	0,23	0,73
14	70	68	5	400	5260	5060	6919	80,00	0,168	0,157	0,173	0,166	0,54	1,04
15	75	73	5	400	5660	5460	7431	80,00	0,338	0,334	0,328	0,333	1,14	1,44
16	80	78	5	400	6060	5860	7944	80,00	0,587	0,564	0,538	0,563	2,04	1,96
17	85	83	5	400	6460	6260	8456	80,00	0,809	0,799	0,791	0,800	3,00	2,59
18	90	88	5	400	6860	6660	8969	80,00	1,077	1,073	1,079	1,076	4,12	3,34
19	95	93	5	400	7260	7060	9481	80,00	1,319	1,305	1,305	1,310	5,06	4,18
20	100	98	5	400	7660	7460	9994	80,00	1,517	1,517	1,503	1,512	5,90	5,10
21	105	103	5	400	8060	7860	10506	80,00	1,695	1,7	1,691	1,695	6,68	6,06
22	110	108	5	400	8460	8260	11019	80,00	1,859	1,847	1,868	1,858	7,42	7,02
23	115	113	5	400	8860	8660	11531	80,00	1,992	1,989	2	1,994	8,09	7,95
24	120	118	5	400	9260	9060	12044	80,00	2,085	2,077	2,103	2,088	8,59	8,83
25	125	123	5	390	9650	9455	12556	78,00	2,162	2,175	2,204	2,180	9,12	9,63
26	130	128	5	390	10040	9845	13069	78,00	2,221	2,251	2,256	2,243	9,50	10,34
27	135	133	5	390	10430	10235	13581	78,00	2,302	2,305	2,306	2,304	9,90	10,96
28	140	138	5	400	10830	10630	14094	80,00	2,362	2,371	2,349	2,361	10,28	11,49
29	145	143	5	390	11220	11025	14606	78,00	2,416	2,424	2,422	2,421	10,71	11,94
30	150	148	5	390	11610	11415	15119	78,00	2,458	2,427	2,454	2,446	10,90	12,31
31	155	153	5	400	12010	11810	15631	80,00	2,507	2,512	2,504	2,508	11,38	12,62
32	160	158	5	400	12410	12210	16144	80,00	2,299	2,315	2,317	2,310	9,94	12,87
33	165	163	5	400	12810	12610	16656	80,00	2,39	2,383	2,409	2,394	10,51	13,08
34	170	168	5	400	13210	13010	17169	80,00	2,479	2,46	2,53	2,490	11,23	13,24
35	175	173	5	400	13610	13410	17681	80,00	2,511	2,54	2,544	2,532	11,57	13,37
36	180	178	5	400	14010	13810	18194	80,00	2,578	2,595	2,608	2,594	12,10	13,48
37	185	183	5	400	14410	14210	18706	80,00	2,622	2,619	2,631	2,624	12,37	13,56





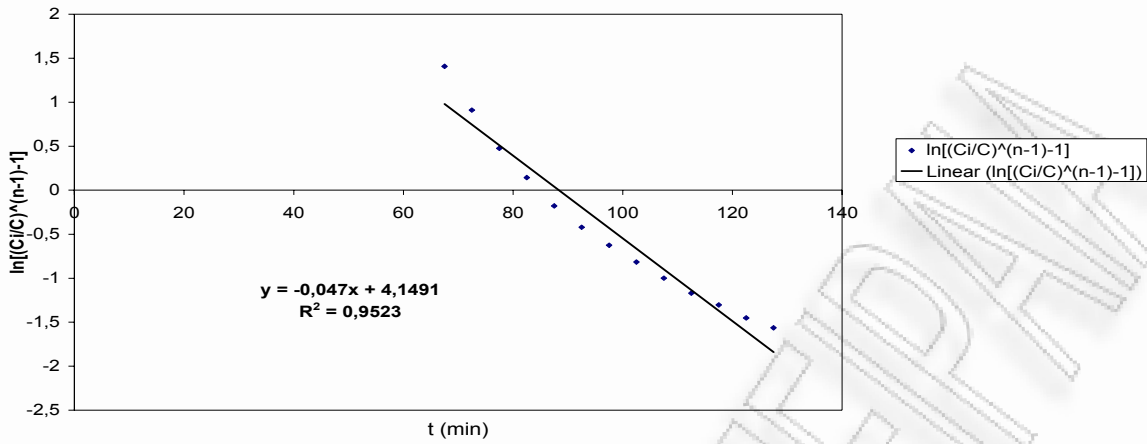
lnA	-1,86533		n	1,5	n-1	0,5				Στήλη cm
r	-0,0169				Cin	10,19	E	3,14	x (cm)	10,0
A	0,15485	N	2340		5%	0,509			u (cm/min)	20,817
R	0,97827	K	-0,0017		95%	9,677			m (g)	9
R2	0,95702									

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΠΑΣ



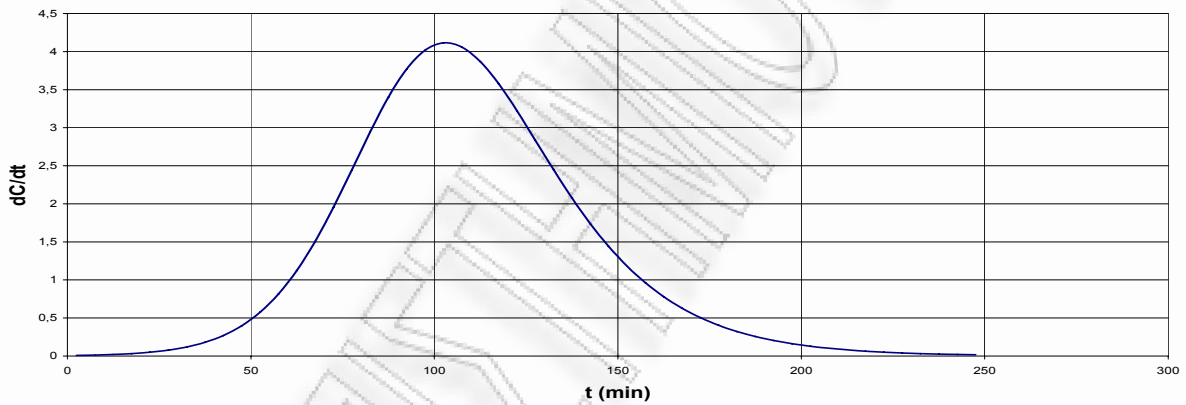
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min. 0,45N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



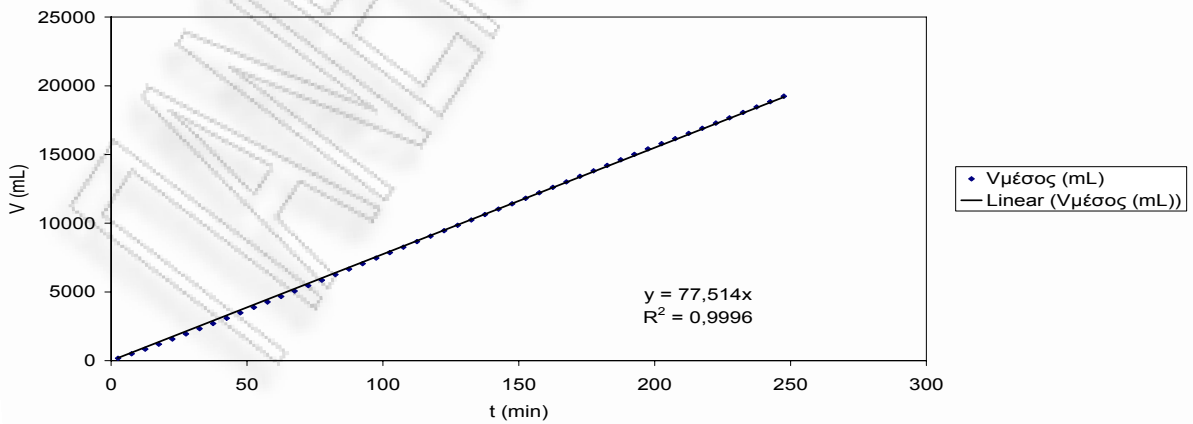
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



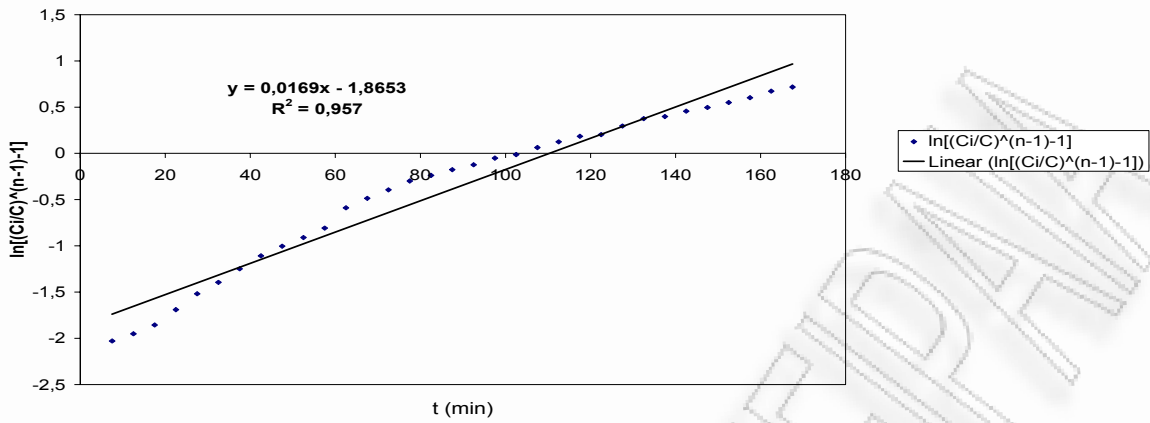
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N  $H_2SO_4$

Παροχή



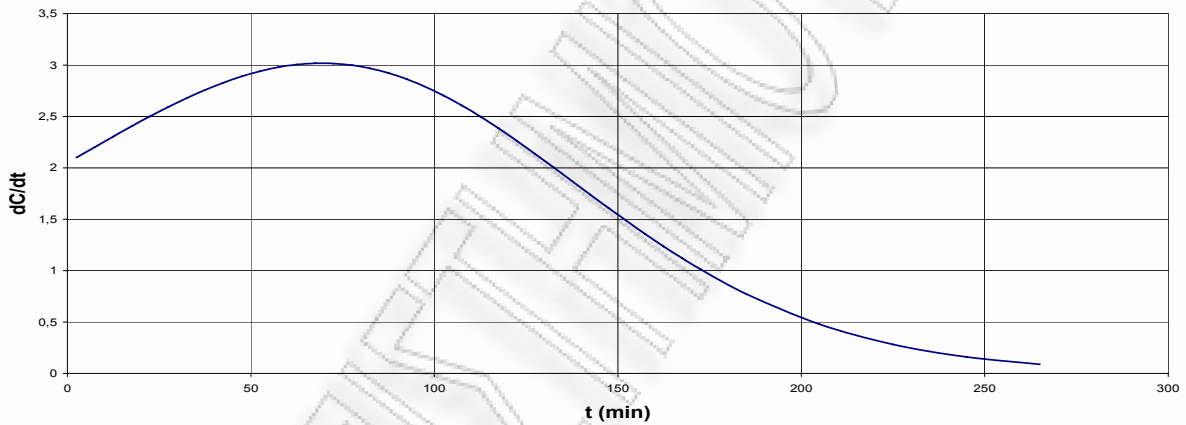
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



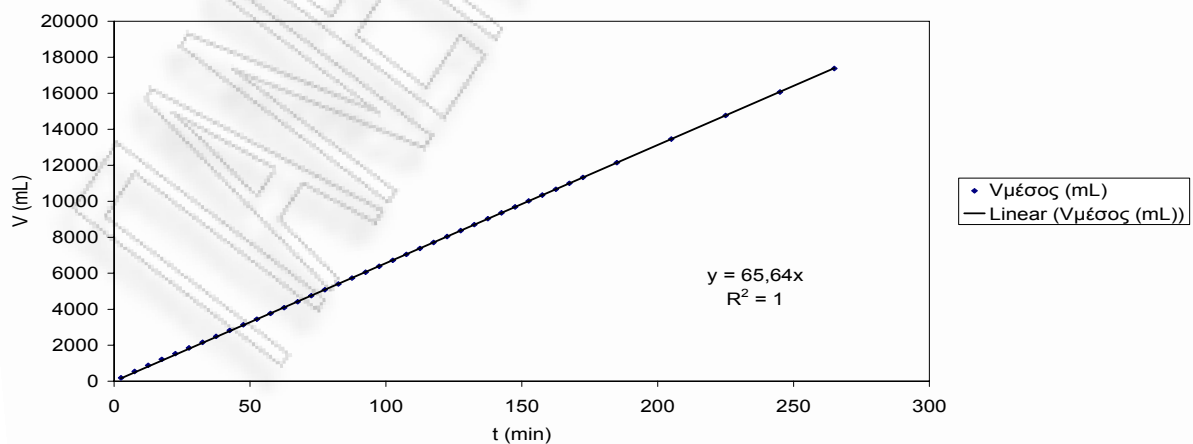
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N  $H_2SO_4$

Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 30min 0,45N  $H_2SO_4$

Πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ΠΕΙΡΑΜΑ

4α

ΣΤΗΛΗ

3

Έναρξη πειράματος

16/10/2006

Υλικό Πριονίδι πεύκου 2h 0,45N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

βάρος (g)

8,5

ΧΡΩΜΑ Methylene Blue

Προσρόφηση

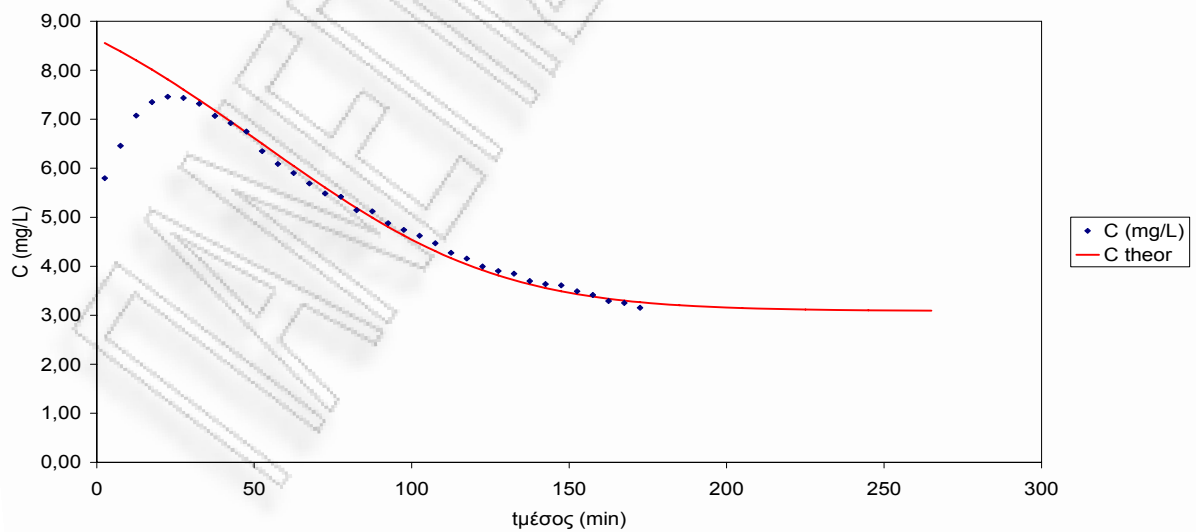
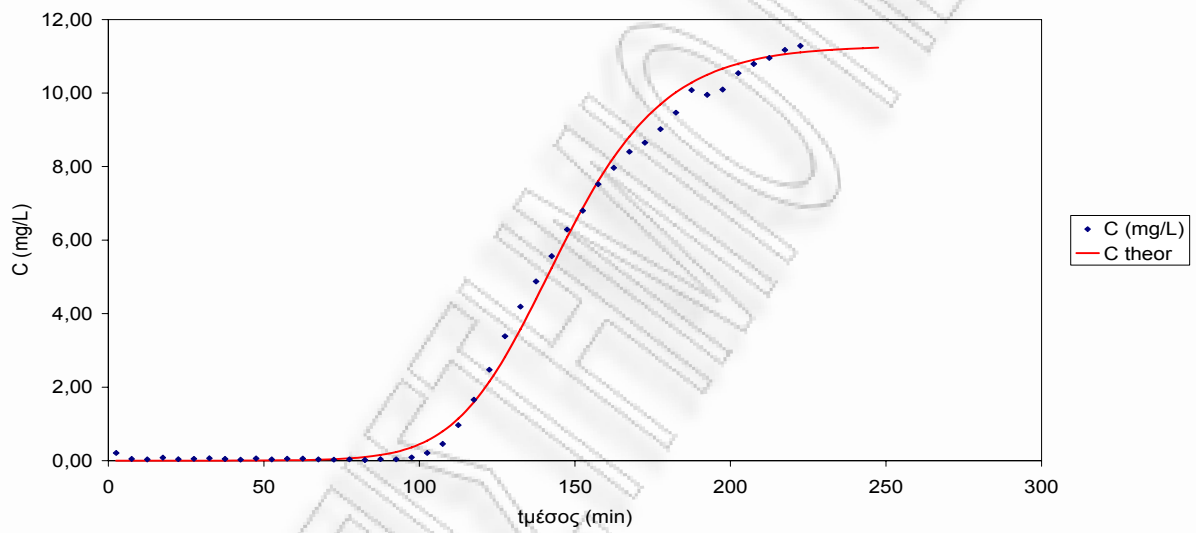
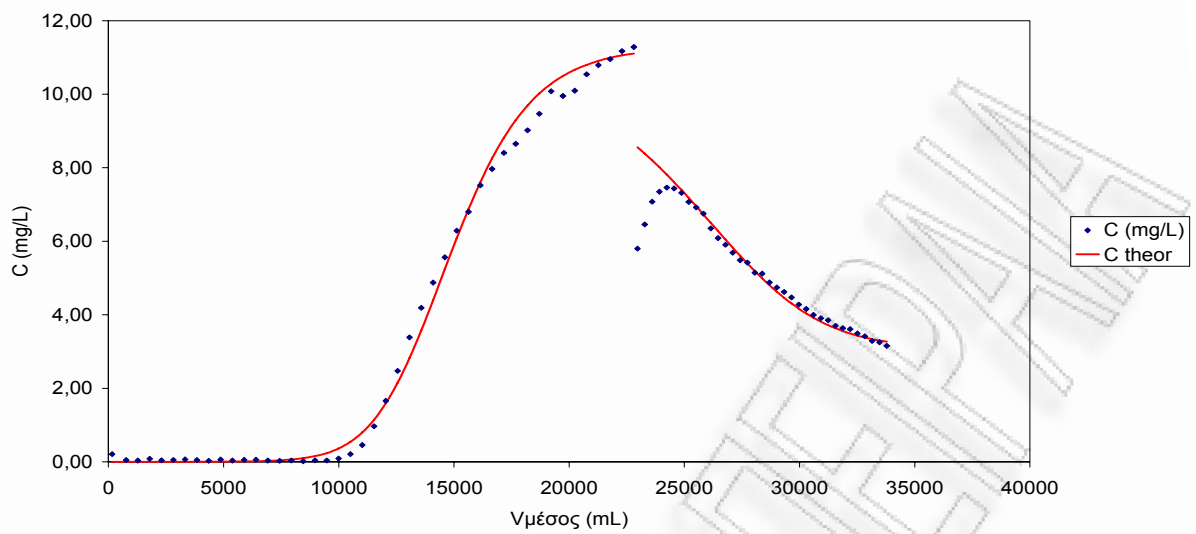
Δειγμ α	t (mi n)	τιμέσ ος (mi n)	Δt (mi n)	ΔV (mL)	V (mL)	Υμέσος (mL)	Υμέσ ος, θεωρ (mL)	Q=ΔV /Δt (mL/m in)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS avera ge	C (mg/L)	C theor
1	5	3	5	400	400	200	165	80,00	0,083	0,065	0,053	0,067	0,21	0,00
2	10	8	5	300	700	550	769	60,00	0,011	0,012	0,023	0,015	0,05	0,00
3	15	13	5	290	990	845	1281	58,00	0,015	0,006	0,011	0,011	0,03	0,00
4	20	18	5	290	1280	1135	1794	58,00	0,029	0,037	0,016	0,027	0,08	0,00
5	25	23	5	290	1570	1425	2306	58,00	0,013	0,015	0,011	0,013	0,04	0,00
6	30	28	5	290	1860	1715	2819	58,00	0,009	0,018	0,021	0,016	0,05	0,00
7	35	33	5	300	2160	2010	3331	60,00	0,026	0,012	0,028	0,022	0,07	0,00
8	40	38	5	310	2470	2315	3844	62,00	0,005	0,023	0,016	0,015	0,04	0,00
9	45	43	5	310	2780	2625	4356	62,00	0,005	0,013	0,009	0,009	0,03	0,00
10	50	48	5	320	3100	2940	4869	64,00	0,006	0,045	0,008	0,020	0,06	0,00
11	55	53	5	300	3400	3250	5381	60,00	0,011	0,01	0,011	0,011	0,03	0,01
12	60	58	5	310	3710	3555	5894	62,00	0,01	0,029	0,013	0,017	0,05	0,01
13	65	63	5	310	4020	3865	6406	62,00	0,012	0,019	0,023	0,018	0,05	0,01
14	70	68	5	320	4340	4180	6919	64,00	0,018	0,005	0,01	0,011	0,03	0,02
15	75	73	5	320	4660	4500	7431	64,00	0,006	0,01	0,011	0,009	0,03	0,04
16	80	78	5	320	4980	4820	7944	64,00	0,015	0,004	0,018	0,012	0,04	0,06
17	85	83	5	330	5310	5145	8456	66,00	0,004	0,006	0,007	0,006	0,02	0,10
18	90	88	5	320	5630	5470	8969	64,00	0,008	0,018	0,014	0,013	0,04	0,15
19	95	93	5	320	5950	5790	9481	64,00	0,008	0,008	0,02	0,012	0,04	0,24
20	100	98	5	335	6285	6118	9994	67,00	0,023	0,021	0,043	0,029	0,09	0,36
21	105	103	5	330	6615	6450	10506	66,00	0,067	0,068	0,067	0,067	0,21	0,54
22	110	108	5	330	6945	6780	11019	66,00	0,136	0,148	0,143	0,142	0,46	0,80
23	115	113	5	340	7285	7115	11531	68,00	0,299	0,284	0,275	0,286	0,97	1,14
24	120	118	5	340	7625	7455	12044	68,00	0,474	0,47	0,455	0,466	1,66	1,59
25	125	123	5	340	7965	7795	12556	68,00	0,684	0,674	0,654	0,671	2,47	2,15
26	130	128	5	340	8305	8135	13069	68,00	0,9	0,891	0,896	0,896	3,38	2,82
27	135	133	5	360	8665	8485	13581	72,00	1,111	1,094	1,077	1,094	4,19	3,58
28	140	138	5	350	9015	8840	14094	70,00	1,304	1,247	1,241	1,264	4,88	4,40
29	145	143	5	340	9355	9185	14606	68,00	1,433	1,444	1,418	1,432	5,56	5,24
30	150	148	5	350	9705	9530	15119	70,00	1,621	1,601	1,594	1,605	6,29	6,08
31	155	153	5	335	10040	9873	15631	67,00	1,717	1,727	1,724	1,723	6,80	6,88
32	160	158	5	340	10380	10210	16144	68,00	1,877	1,865	1,895	1,879	7,52	7,61
33	165	163	5	340	10720	10550	16656	68,00	1,96	1,982	1,966	1,969	7,97	8,26
34	170	168	5	340	11060	10890	17169	68,00	2,039	2,057	2,064	2,053	8,40	8,82
35	175	173	5	350	11410	11235	17681	70,00	2,098	2,1	2,098	2,099	8,65	9,30
36	180	178	5	340	11750	11580	18194	68,00	2,154	2,165	2,17	2,163	9,02	9,69
37	185	183	5	350	12100	11925	18706	70,00	2,23	2,24	2,242	2,237	9,47	10,02



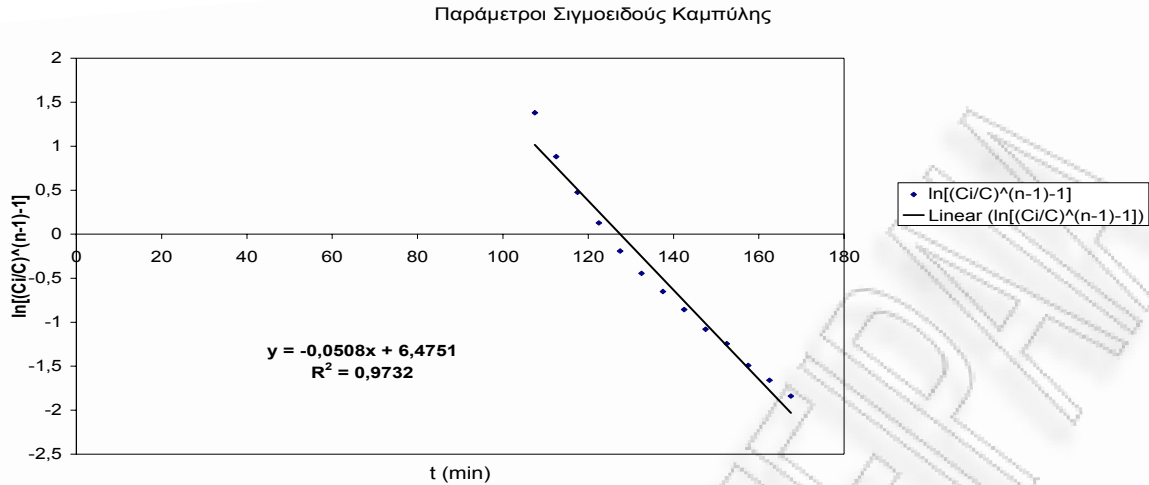




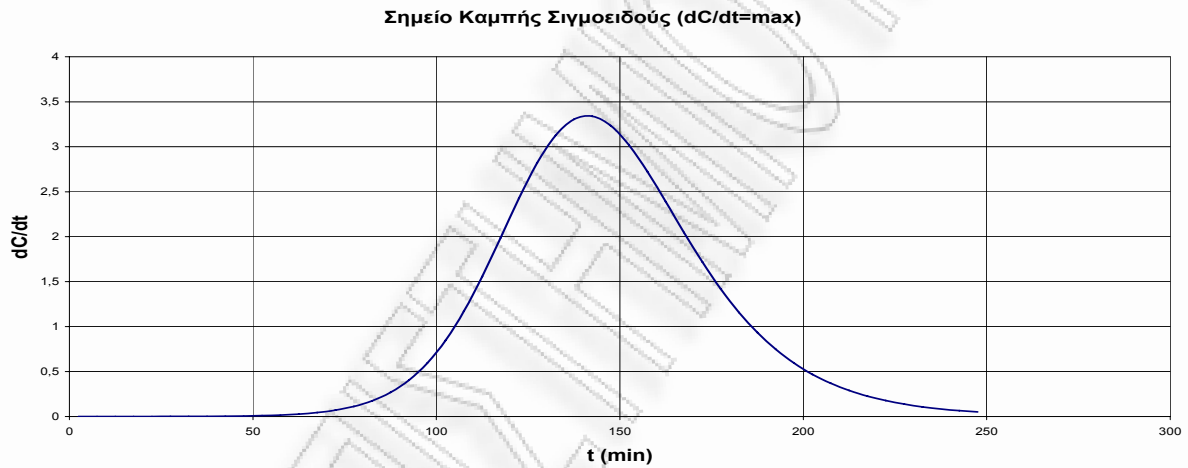




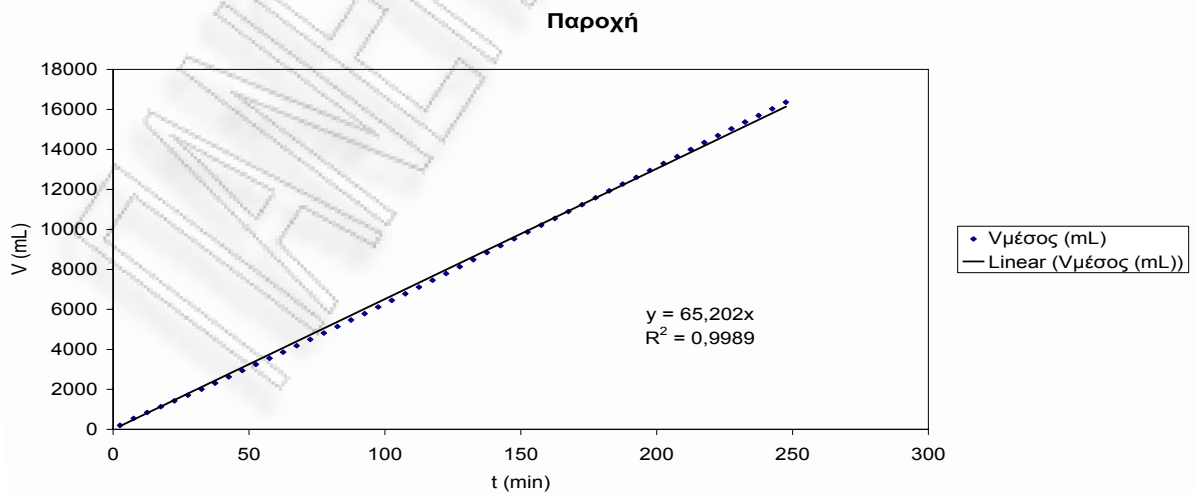
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

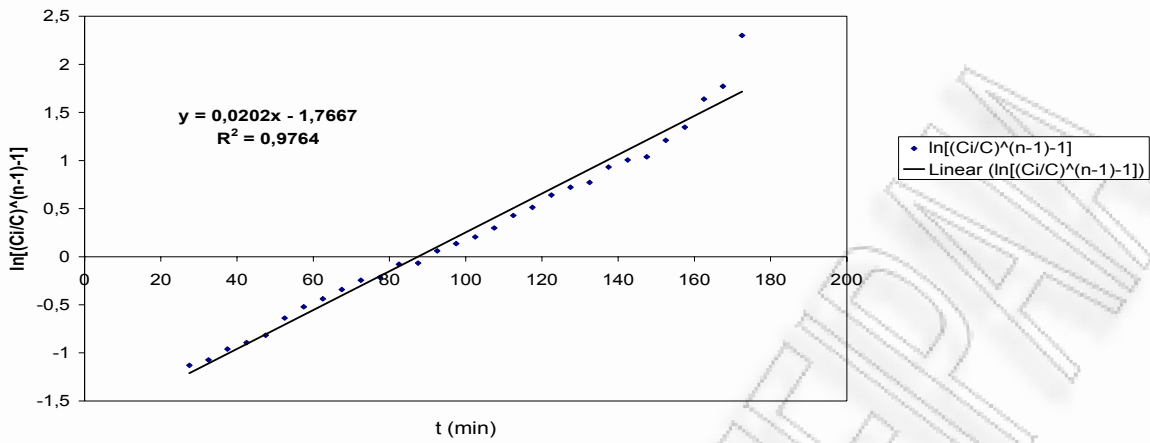


Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$



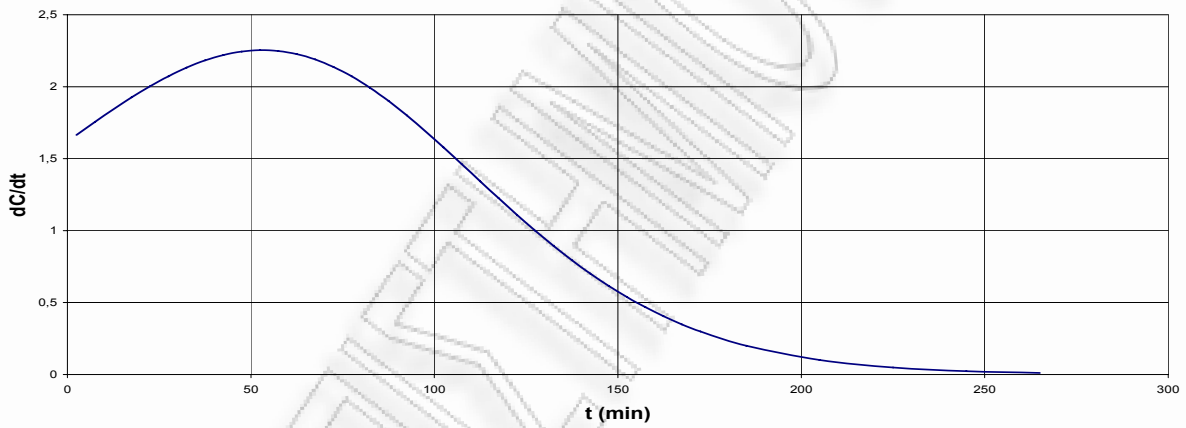
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



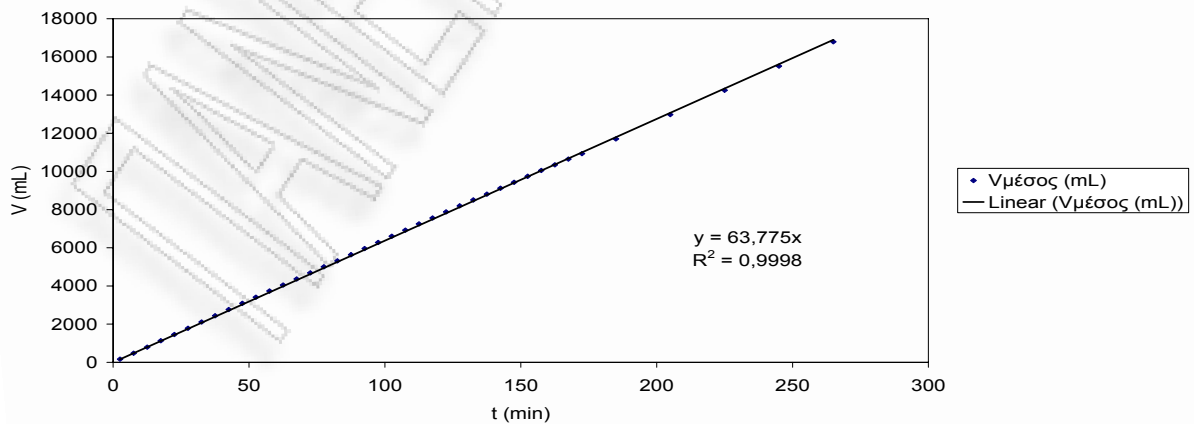
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,45N  $H_2SO_4$

Πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ΠΕΙΡΑΜΑ

15α

ΣΤΗΛΗ

3

Έναρξη πειράματος

29/11/2006

Υλικό Πριονίδι πεύκου 1h 0,9N

βάρος (g) 8

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ΧΡΩΜΑ Methylene Blue

Προσρόφηση

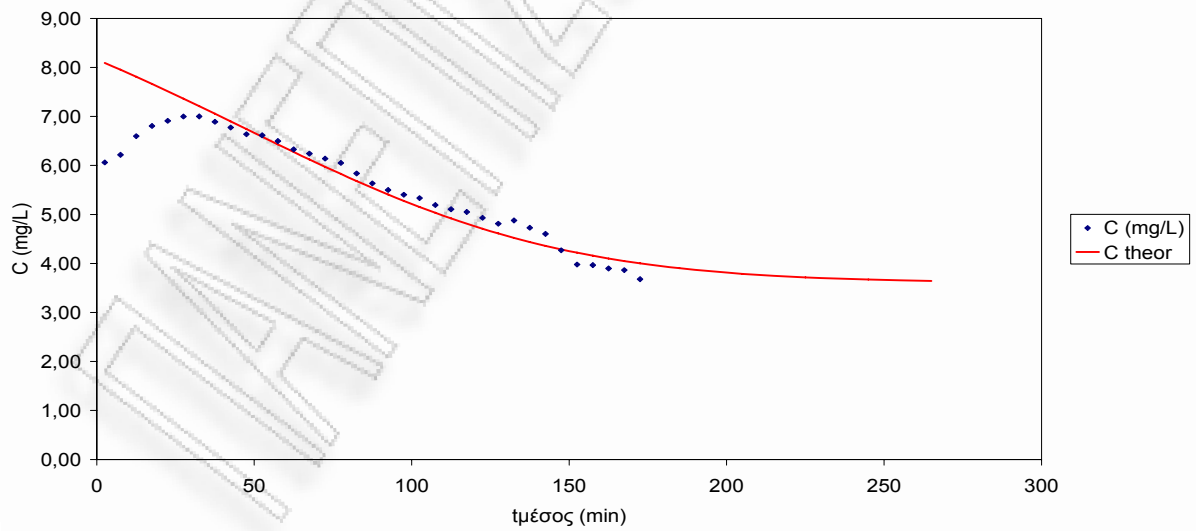
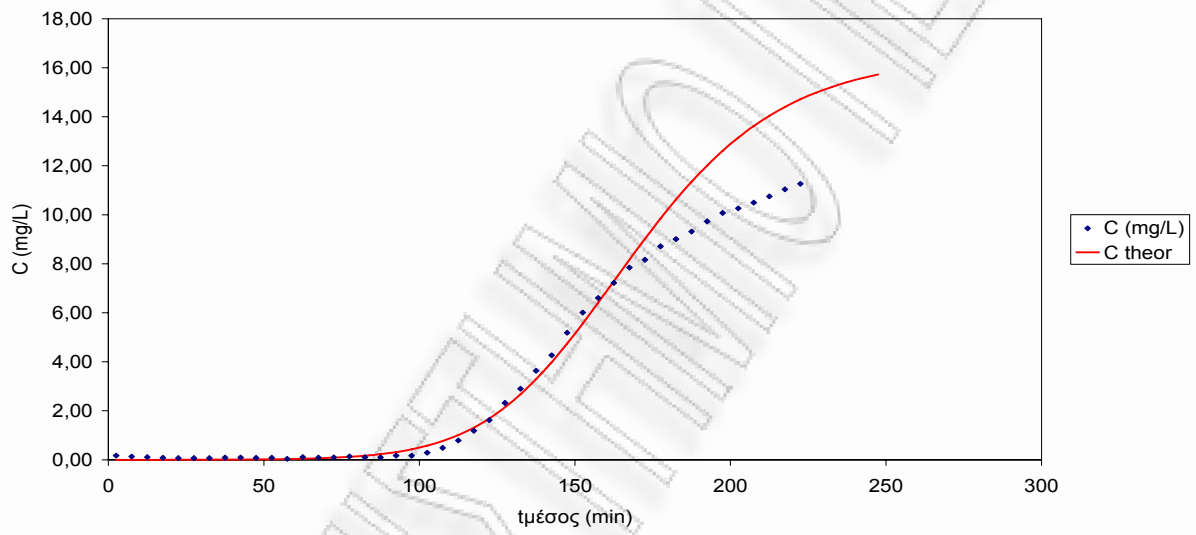
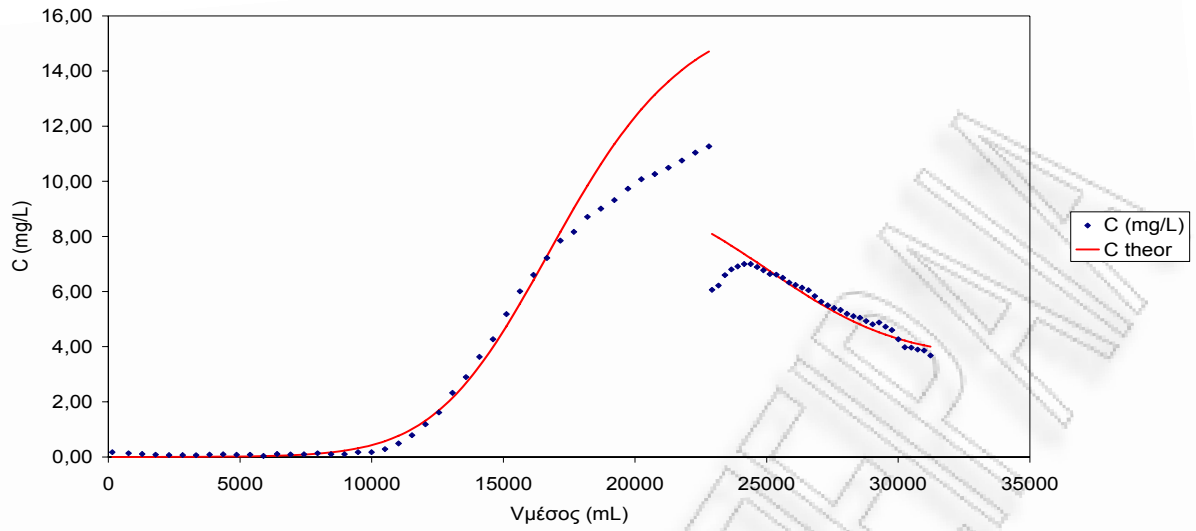
Δειγμ α	t (mi n)	τιμέσ ος (mi n)	Δt (mi n)	ΔV (mL)	V (mL)	Υμέσος (mL)	Υμέσος, θεωρ (mL)	Q=Δ V/Δt (mL/ min)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS avera ge	C (mg/L)	C theor
1	5	3	5	300	300	150	147	60,00	0,043	0,04	0,086	0,056	0,17	0,00
2	10	8	5	260	560	430	769	52,00	0,03	0,036	0,065	0,044	0,13	0,00
3	15	13	5	260	820	690	1281	52,00	0,033	0,019	0,053	0,035	0,11	0,00
4	20	18	5	270	1090	955	1794	54,00	0,017	0,019	0,047	0,028	0,08	0,00
5	25	23	5	270	1360	1225	2306	54,00	0,017	0,013	0,039	0,023	0,07	0,00
6	30	28	5	270	1630	1495	2819	54,00	0,008	0,02	0,041	0,023	0,07	0,00
7	35	33	5	270	1900	1765	3331	54,00	0,022	0,009	0,035	0,022	0,07	0,01
8	40	38	5	270	2170	2035	3844	54,00	0,013	0,017	0,056	0,029	0,09	0,01
9	45	43	5	270	2440	2305	4356	54,00	0,02	0,032	0,042	0,031	0,10	0,01
10	50	48	5	270	2710	2575	4869	54,00	0,017	0,016	0,045	0,026	0,08	0,02
11	55	53	5	270	2980	2845	5381	54,00	0,009	0,011	0,06	0,027	0,08	0,02
12	60	58	5	280	3260	3120	5894	56,00	0,008	0,01	0,023	0,014	0,04	0,03
13	65	63	5	290	3550	3405	6406	58,00	0,035	0,03	0,043	0,036	0,11	0,04
14	70	68	5	300	3850	3700	6919	60,00	0,018	0,021	0,05	0,030	0,09	0,06
15	75	73	5	300	4150	4000	7431	60,00	0,018	0,033	0,044	0,032	0,10	0,09
16	80	78	5	300	4450	4300	7944	60,00	0,026	0,051	0,055	0,044	0,13	0,12
17	85	83	5	300	4750	4600	8456	60,00	0,019	0,027	0,053	0,033	0,10	0,17
18	90	88	5	300	5050	4900	8969	60,00	0,023	0,038	0,036	0,032	0,10	0,23
19	95	93	5	300	5350	5200	9481	60,00	0,03	0,088	0,05	0,056	0,17	0,31
20	100	98	5	300	5650	5500	9994	60,00	0,058	0,048	0,063	0,056	0,17	0,43
21	105	103	5	300	5950	5800	10506	60,00	0,082	0,097	0,096	0,092	0,29	0,57
22	110	108	5	300	6250	6100	11019	60,00	0,149	0,157	0,151	0,152	0,49	0,77
23	115	113	5	300	6550	6400	11531	60,00	0,233	0,237	0,242	0,237	0,79	1,01
24	120	118	5	300	6850	6700	12044	60,00	0,344	0,343	0,345	0,344	1,18	1,32
25	125	123	5	300	7150	7000	12556	60,00	0,467	0,463	0,438	0,456	1,62	1,69
26	130	128	5	300	7450	7300	13069	60,00	0,641	0,635	0,626	0,634	2,32	2,14
27	135	133	5	300	7750	7600	13581	60,00	0,786	0,79	0,752	0,776	2,90	2,68
28	140	138	5	300	8050	7900	14094	60,00	0,967	0,981	0,921	0,956	3,63	3,29
29	145	143	5	300	8350	8200	14606	60,00	1,146	1,11	1,085	1,114	4,27	3,98
30	150	148	5	300	8650	8500	15119	60,00	1,317	1,344	1,357	1,339	5,18	4,74
31	155	153	5	300	8950	8800	15631	60,00	1,499	1,544	1,575	1,539	6,01	5,56
32	160	158	5	300	9250	9100	16144	60,00	1,696	1,682	1,659	1,679	6,61	6,41
33	165	163	5	300	9550	9400	16656	60,00	1,787	1,821	1,837	1,815	7,22	7,29
34	170	168	5	300	9850	9700	17169	60,00	1,95	1,948	1,939	1,946	7,85	8,16
35	175	173	5	300	10150	10000	17681	60,00	2,015	2,013	1,996	2,008	8,16	9,02
36	180	178	5	300	10450	10300	18194	60,00	2,122	2,113	2,092	2,109	8,71	9,84
37	185	183	5	300	10750	10600	18706	60,00	2,173	2,175	2,135	2,161	9,01	10,62



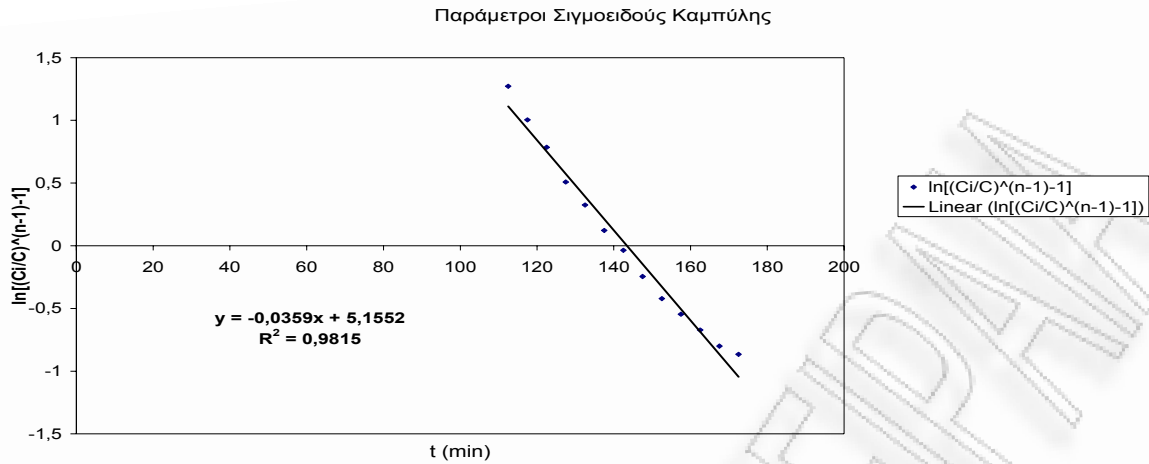




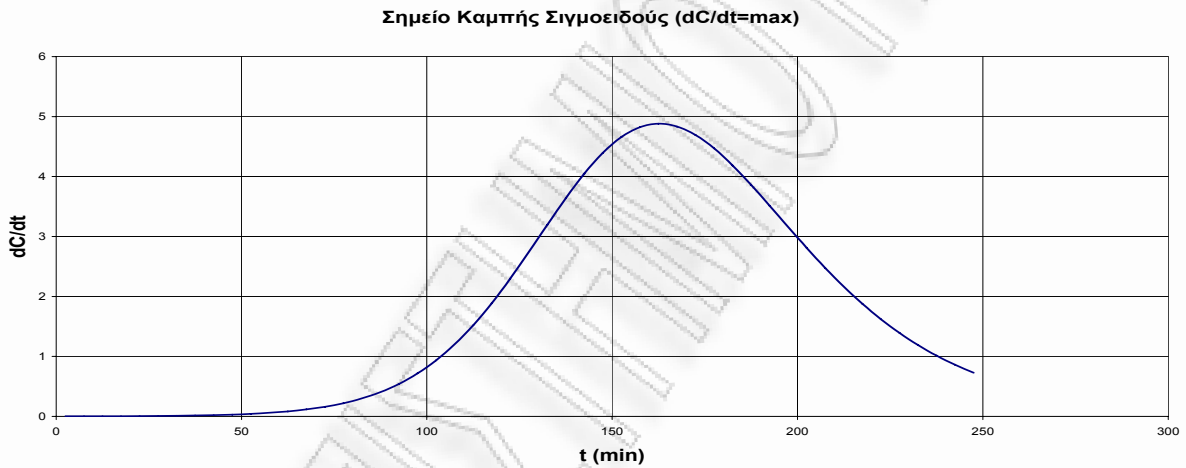




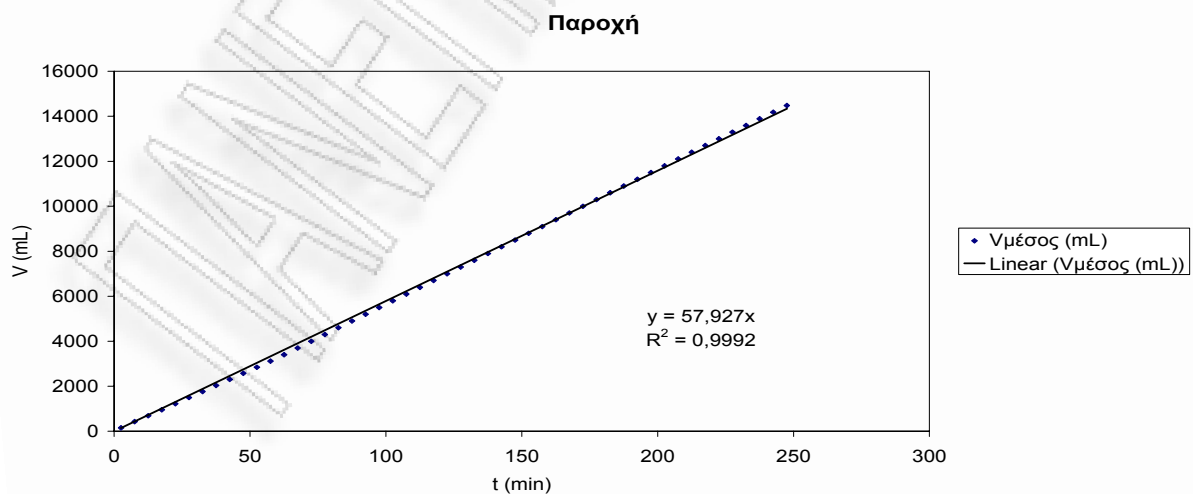
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

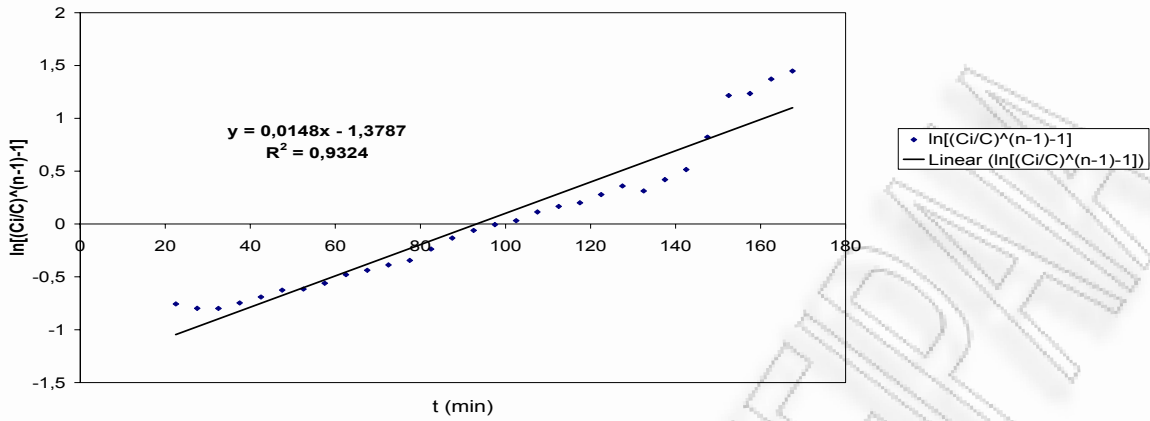


Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$



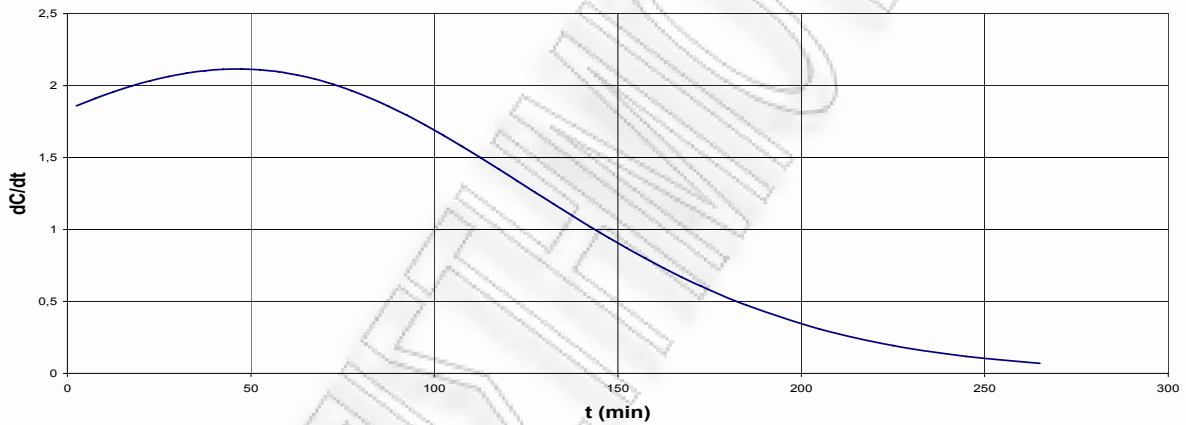
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



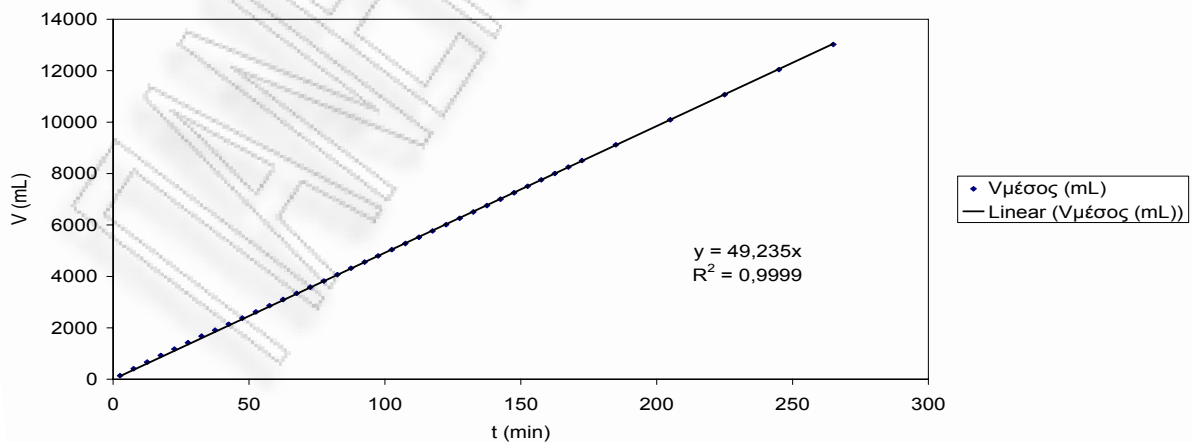
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 0,9N  $H_2SO_4$

Πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ΠΕΙΡΑΜΑ

5α

ΣΤΗΛΗ

3

Έναρξη πειράματος

18/10/2006

Υλικό Πριονίδι πεύκου 2h 0,90N  
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

βάρος (g) 9,5

ΧΡΩΜΑ Methylene Blue

Προσρόφηση

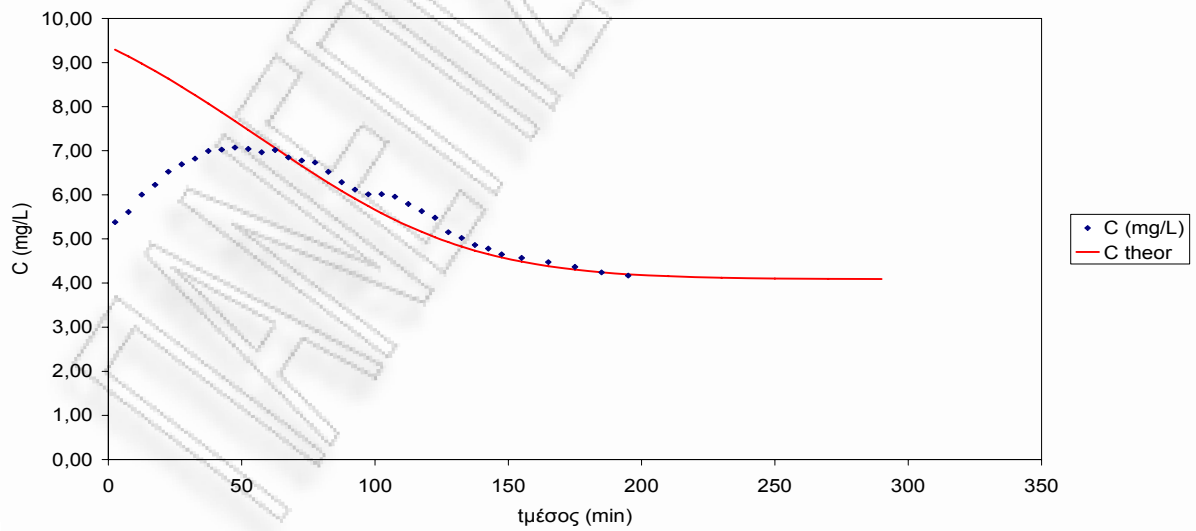
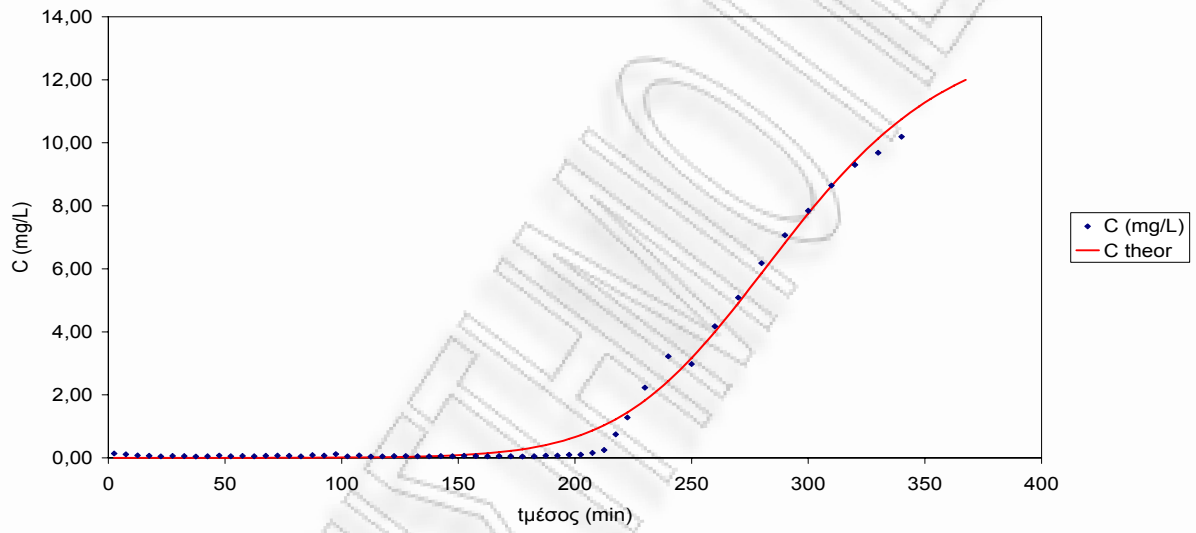
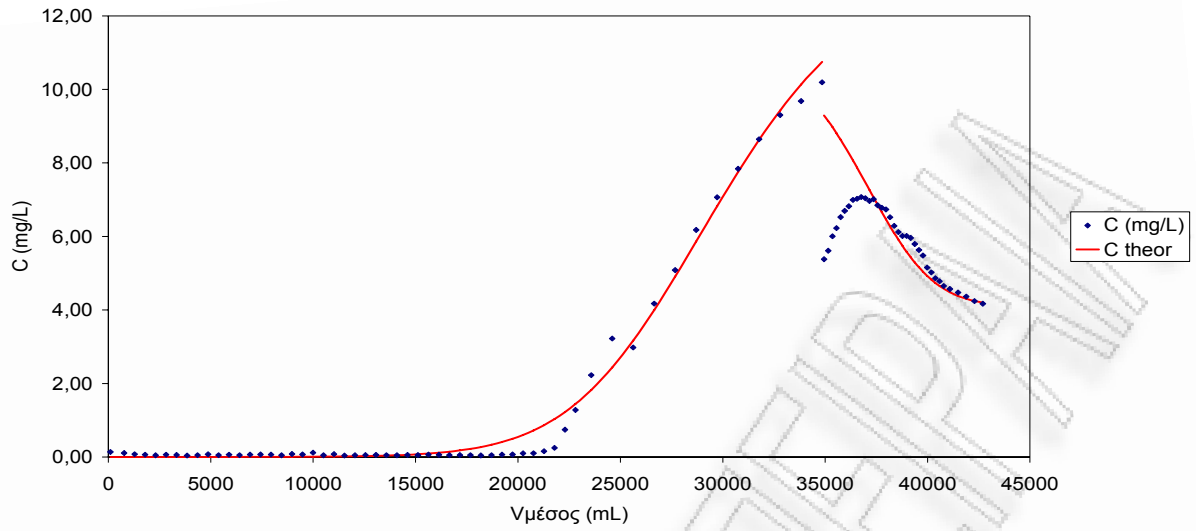
Δειγμ α	t (mi n)	τμέσ ος (mi n)	Δt (mi n)	ΔV (mL)	V (mL)	Vμέσος (mL)	Vμέσος, θεωρ (mL)	Q=ΔV/ Δt (mL/m in)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS avera ge	C (mg/L)	C theor
1	5	3	5	210	210	105	100	42,00	0,043	0,049	0,043	0,045	0,14	0,00
2	10	8	5	200	410	310	769	40,00	0,023	0,042	0,042	0,036	0,11	0,00
3	15	13	5	200	610	510	1281	40,00	0,028	0,017	0,03	0,025	0,08	0,00
4	20	18	5	200	810	710	1794	40,00	0,022	0,013	0,028	0,021	0,06	0,00
5	25	23	5	200	1010	910	2306	40,00	0,01	0,009	0,025	0,015	0,04	0,00
6	30	28	5	230	1240	1125	2819	46,00	0,008	0,012	0,04	0,020	0,06	0,00
7	35	33	5	200	1440	1340	3331	40,00	0,018	0,011	0,025	0,018	0,05	0,00
8	40	38	5	200	1640	1540	3844	40,00	0,01	0,011	0,019	0,013	0,04	0,00
9	45	43	5	200	1840	1740	4356	40,00	0,007	0,019	0,023	0,016	0,05	0,00
10	50	48	5	200	2040	1940	4869	40,00	0,008	0,006	0,056	0,023	0,07	0,00
11	55	53	5	200	2240	2140	5381	40,00	0,019	0,013	0,016	0,016	0,05	0,00
12	60	58	5	200	2440	2340	5894	40,00	0,022	0,022	0,017	0,020	0,06	0,00
13	65	63	5	200	2640	2540	6406	40,00	0,019	0,015	0,016	0,017	0,05	0,00
14	70	68	5	200	2840	2740	6919	40,00	0,031	0,016	0,017	0,021	0,06	0,00
15	75	73	5	200	3040	2940	7431	40,00	0,021	0,033	0,015	0,023	0,07	0,00
16	80	78	5	210	3250	3145	7944	42,00	0,028	0,015	0,022	0,022	0,07	0,00
17	85	83	5	210	3460	3355	8456	42,00	0,02	0,01	0,017	0,016	0,05	0,00
18	90	88	5	210	3670	3565	8969	42,00	0,034	0,025	0,022	0,027	0,08	0,00
19	95	93	5	220	3890	3780	9481	44,00	0,028	0,018	0,023	0,023	0,07	0,01
20	100	98	5	220	4110	4000	9994	44,00	0,058	0,04	0,018	0,039	0,12	0,01
21	105	103	5	180	4290	4200	10506	36,00	0,02	0,015	0,011	0,015	0,05	0,01
22	110	108	5	180	4470	4380	11019	36,00	0,031	0,014	0,031	0,025	0,08	0,01
23	115	113	5	170	4640	4555	11531	34,00	0,012	0,015	0,012	0,013	0,04	0,02
24	120	118	5	170	4810	4725	12044	34,00	0,013	0,017	0,017	0,016	0,05	0,02
25	125	123	5	170	4980	4895	12556	34,00	0,015	0,021	0,016	0,017	0,05	0,02
26	130	128	5	200	5180	5080	13069	40,00	0,016	0,012	0,027	0,018	0,06	0,03
27	135	133	5	170	5350	5265	13581	34,00	0,016	0,011	0,023	0,017	0,05	0,04
28	140	138	5	170	5520	5435	14094	34,00	0,015	0,012	0,02	0,016	0,05	0,05
29	145	143	5	180	5700	5610	14606	36,00	0,013	0,016	0,025	0,018	0,05	0,06
30	150	148	5	170	5870	5785	15119	34,00	0,01	0,025	0,016	0,017	0,05	0,07
31	155	153	5	180	6050	5960	15631	36,00	0,024	0,013	0,028	0,022	0,07	0,09
32	160	158	5	180	6230	6140	16144	36,00	0,025	0,016	0,017	0,019	0,06	0,12
33	165	163	5	180	6410	6320	16656	36,00	0,013	0,013	0,024	0,017	0,05	0,14
34	170	168	5	180	6590	6500	17169	36,00	0,017	0,022	0,013	0,017	0,05	0,18
35	175	173	5	180	6770	6680	17681	36,00	0,014	0,016	0,019	0,016	0,05	0,22
36	180	178	5	180	6950	6860	18194	36,00	0,015	0,012	0,015	0,014	0,04	0,27
37	185	183	5	190	7140	7045	18706	38,00	0,012	0,017	0,021	0,017	0,05	0,33





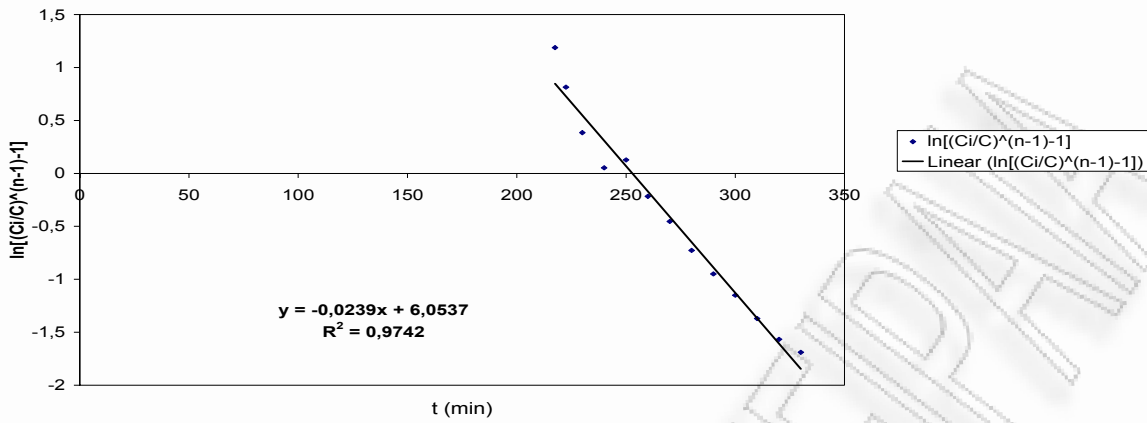






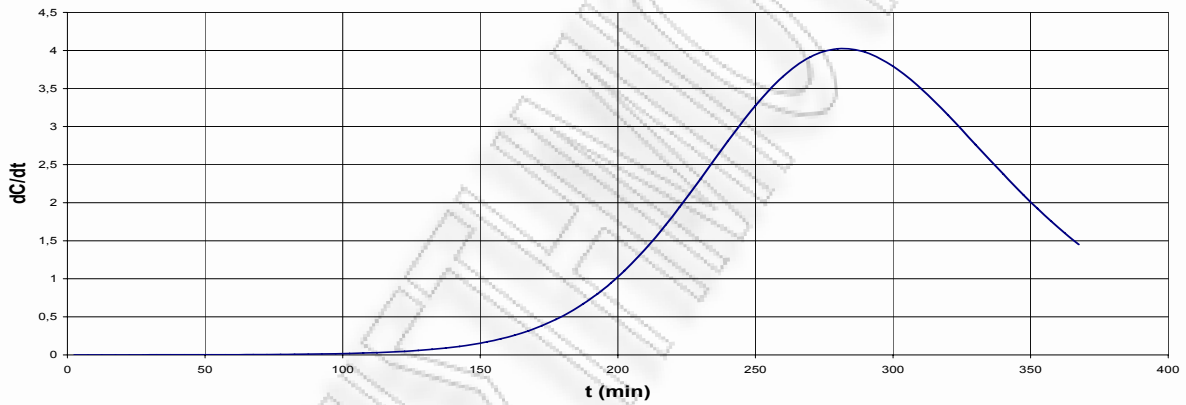
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



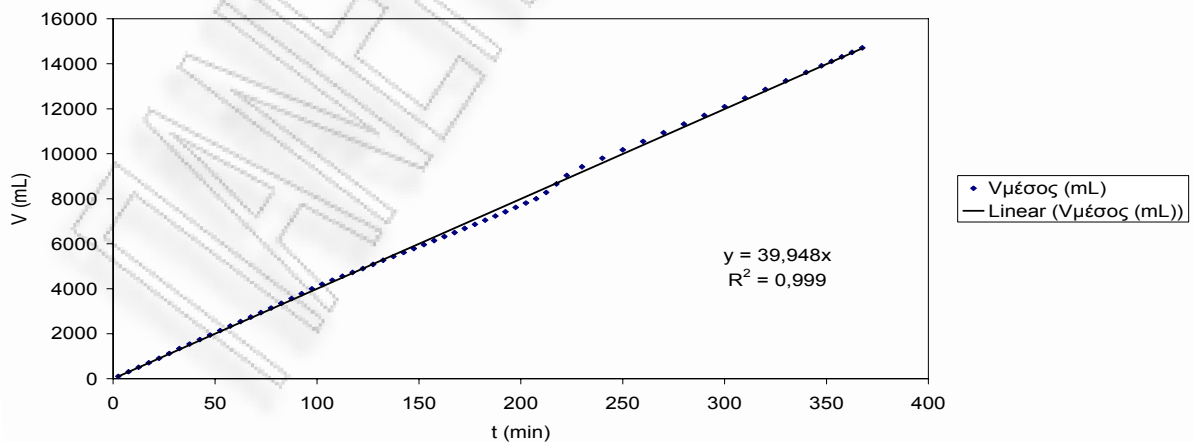
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς (dC/dt=max)



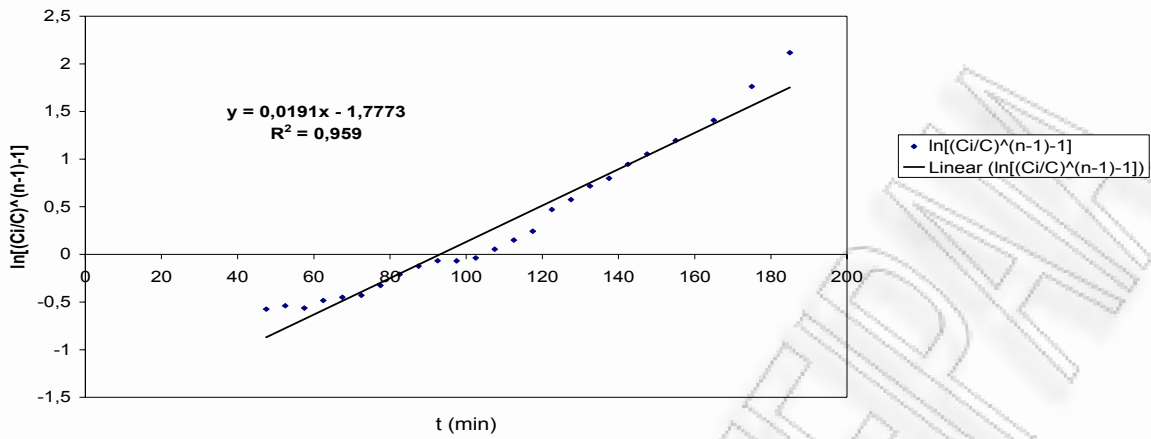
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Παροχή



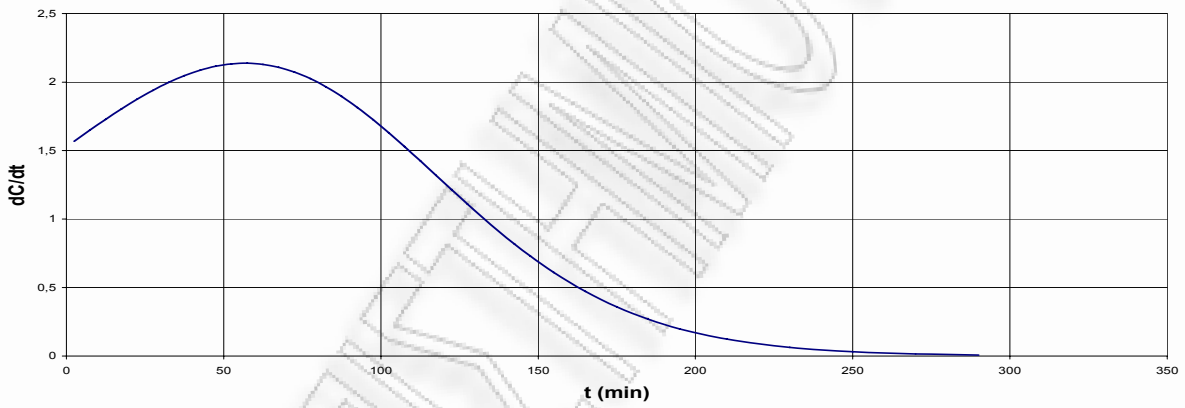
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσεως του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



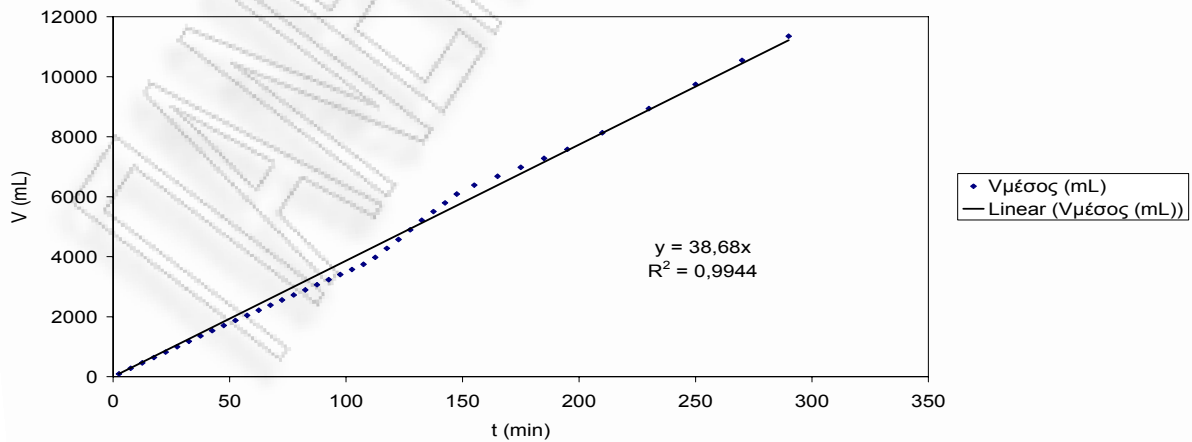
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 2h 0,9N  $H_2SO_4$

Πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ΠΕΙΡΑΜΑ

7α

ΣΤΗΛΗ

3

Έναρξη πειράματος

1/11/2006

Υλικό Πριονίδι πεύκου 1h 1,8N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

βάρος (g) 9

ΧΡΩΜΑ Methylene Blue

Προσρόφηση

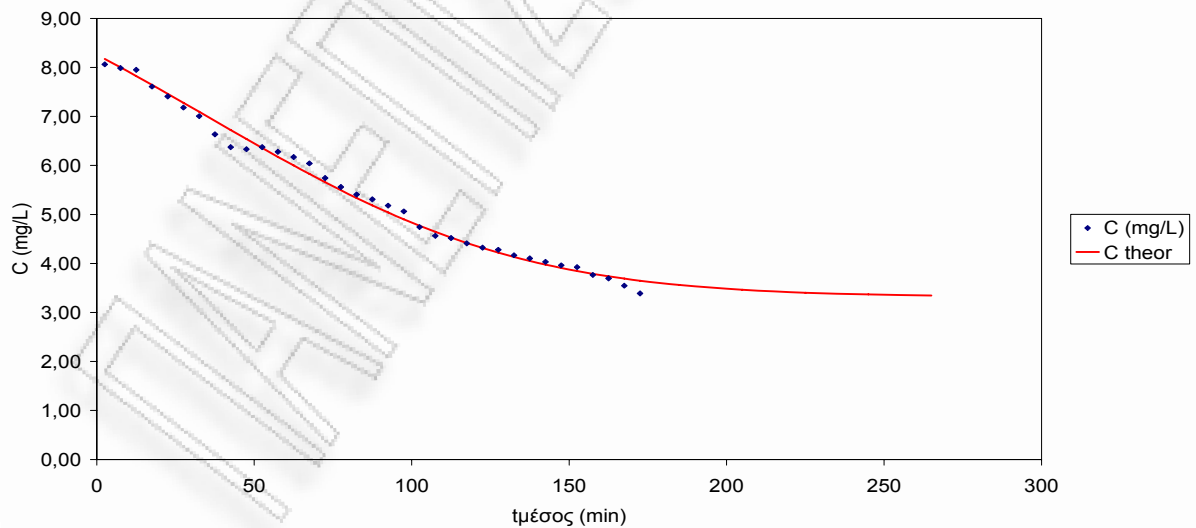
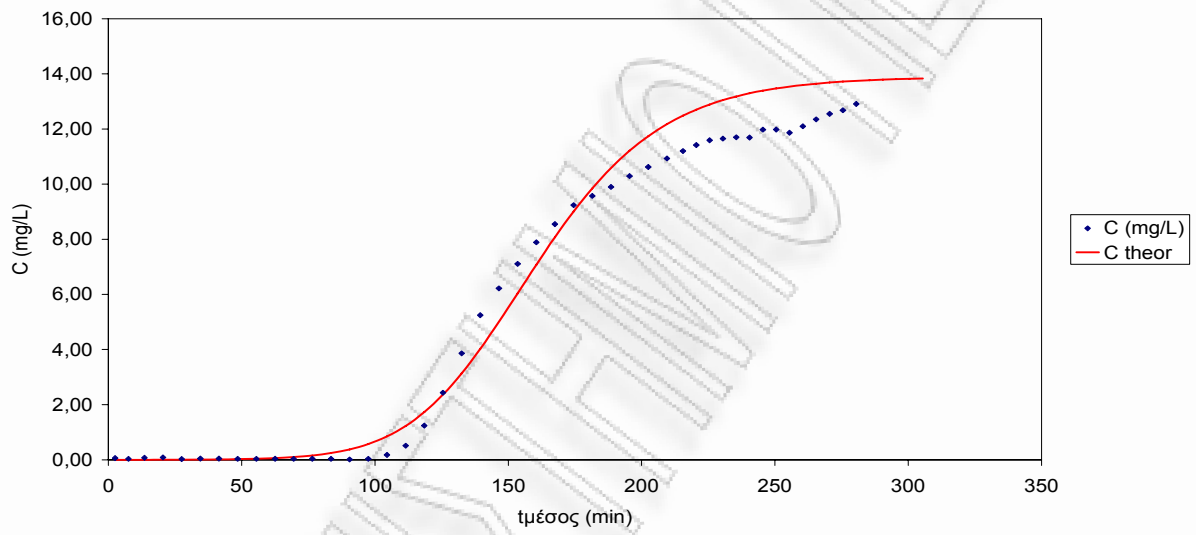
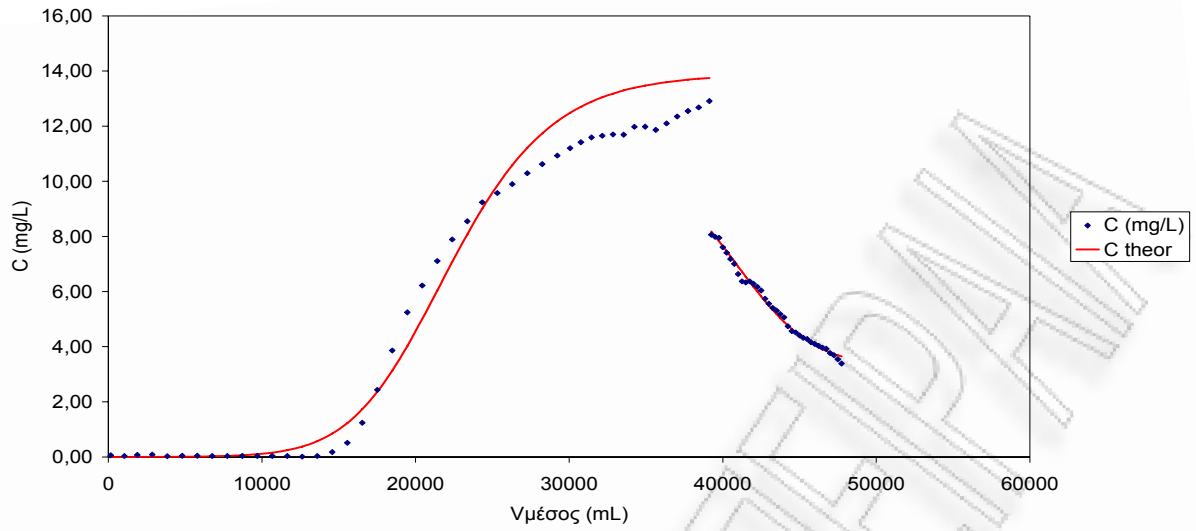
Δειγμ α	t (mi n)	τιμέσ ος (mi n)	Δt (mi n)	ΔV (mL)	V (mL)	Υμέσος (mL)	Υμέσος, θεωρ (mL)	Q=ΔV/ Δt (mL/m in)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS avera ge	C (mg/L)	C theor
1	5	3	5	350	350	175	157	70,00	0,014	0,019	0,026	0,020	0,06	0,00
2	10	8	5	270	620	485	1046	54,00	0,003	0,005	0,028	0,012	0,04	0,00
3	17	14	7	390	1010	815	1883	55,71	0,016	0,024	0,032	0,024	0,07	0,00
4	24	21	7	400	1410	1210	2860	57,14	0,009	0,029	0,049	0,029	0,09	0,00
5	31	28	7	400	1810	1610	3836	57,14	0,002	0,015	0,008	0,008	0,02	0,01
6	38	35	7	410	2220	2015	4813	58,57	0,01	0,017	0,018	0,015	0,05	0,01
7	45	42	7	390	2610	2415	5789	55,71	0,008	0,02	0,014	0,014	0,04	0,01
8	52	49	7	370	2980	2795	6766	52,86	0,011	0,007	0,016	0,011	0,03	0,02
9	59	56	7	360	3340	3160	7742	51,43	0,012	0,01	0,014	0,012	0,04	0,04
10	66	63	7	340	3680	3510	8719	48,57	0,006	0,017	0,015	0,013	0,04	0,06
11	73	70	7	420	4100	3890	9695	60,00	0,007	0,014	0,014	0,012	0,04	0,10
12	80	77	7	420	4520	4310	10672	60,00	0,014	0,013	0,01	0,012	0,04	0,16
13	87	84	7	420	4940	4730	11648	60,00	0,012	0,009	0,013	0,011	0,03	0,25
14	94	91	7	490	5430	5185	12625	70,00	0,008	0,005	0,001	0,005	0,01	0,38
15	101	98	7	440	5870	5650	13601	62,86	0,008	0,007	0,018	0,011	0,03	0,57
16	108	105	7	430	6300	6085	14578	61,43	0,058	0,062	0,055	0,058	0,18	0,85
17	115	112	7	430	6730	6515	15554	61,43	0,159	0,165	0,154	0,159	0,51	1,23
18	122	119	7	430	7160	6945	16531	61,43	0,358	0,36	0,36	0,359	1,24	1,73
19	129	126	7	440	7600	7380	17507	62,86	0,668	0,663	0,654	0,662	2,44	2,36
20	136	133	7	450	8050	7825	18484	64,29	1,028	1,012	1	1,013	3,86	3,13
21	143	140	7	500	8550	8300	19460	71,43	1,358	1,372	1,334	1,355	5,25	4,02
22	150	147	7	400	8950	8750	20437	57,14	1,604	1,584	1,579	1,589	6,22	5,01
23	157	154	7	430	9380	9165	21413	61,43	1,787	1,792	1,793	1,791	7,11	6,04
24	164	161	7	430	9810	9595	22390	61,43	1,948	1,956	1,959	1,954	7,89	7,08
25	171	168	7	440	10250	10030	23366	62,86	2,079	2,079	2,082	2,080	8,55	8,08
26	178	175	7	490	10740	10495	24343	70,00	2,195	2,196	2,209	2,200	9,24	9,01
27	185	182	7	410	11150	10945	25319	58,57	2,26	2,255	2,247	2,254	9,57	9,85
28	192	189	7	430	11580	11365	26296	61,43	2,3	2,31	2,305	2,305	9,90	10,58
29	199	196	7	440	12020	11800	27272	62,86	2,346	2,369	2,373	2,363	10,29	11,21
30	206	203	7	440	12460	12240	28249	62,86	2,393	2,422	2,412	2,409	10,62	11,74
31	213	210	7	460	12920	12690	29225	65,71	2,444	2,456	2,452	2,451	10,93	12,18
32	218	216	5	440	13360	13140	30062	88,00	2,491	2,489	2,476	2,485	11,20	12,48
33	223	221	5	350	13710	13535	30760	70,00	2,498	2,506	2,535	2,513	11,42	12,70
34	228	226	5	360	14070	13890	31457	72,00	2,526	2,545	2,532	2,534	11,59	12,89
35	233	231	5	300	14370	14220	32155	60,00	2,537	2,527	2,561	2,542	11,65	13,05
36	238	236	5	390	14760	14565	32852	78,00	2,535	2,552	2,554	2,547	11,70	13,18
37	243	241	5	350	15110	14935	33550	70,00	2,543	2,549	2,547	2,546	11,69	13,30



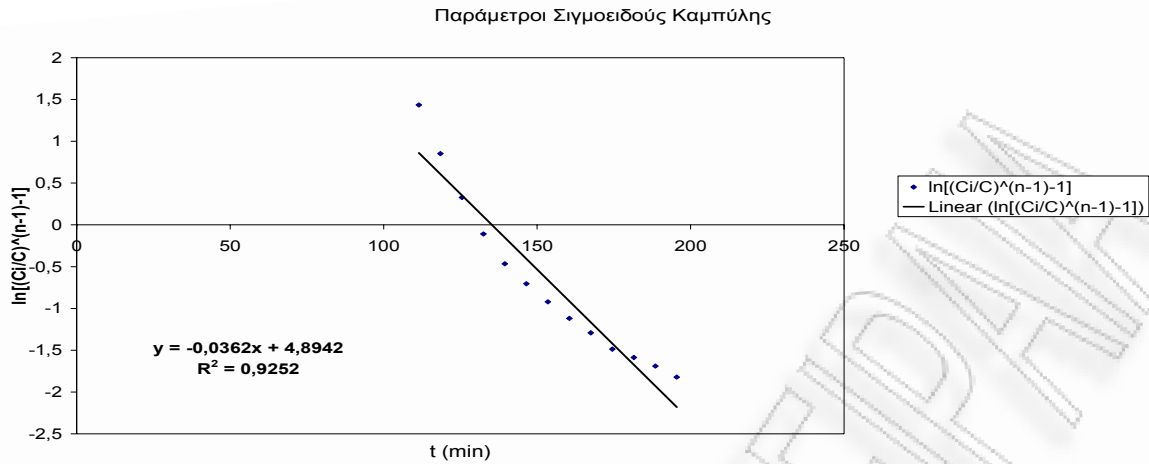




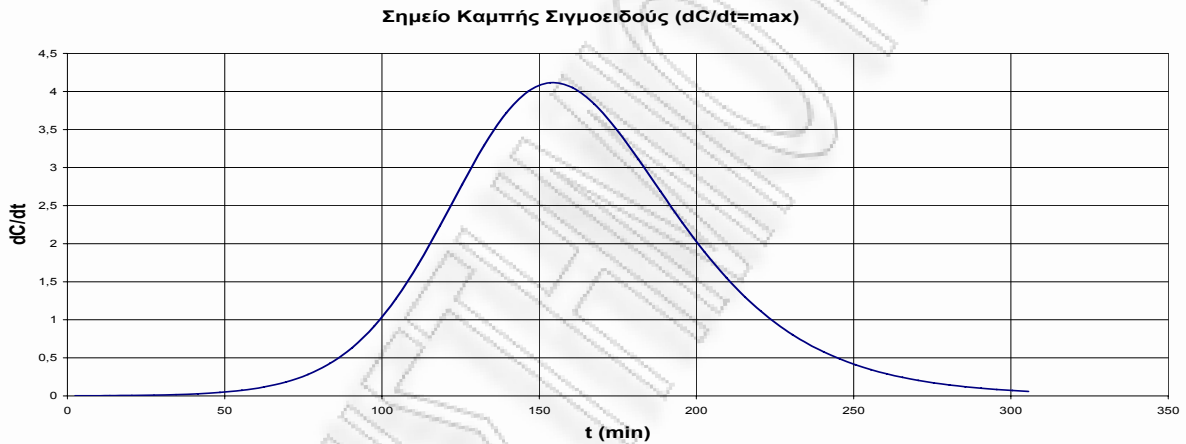




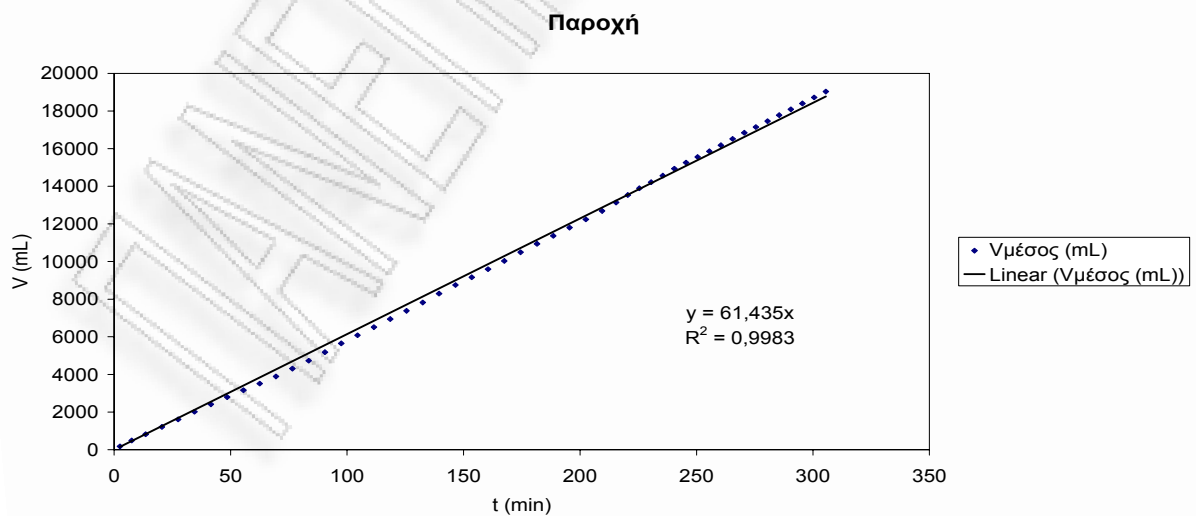
Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$



Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$

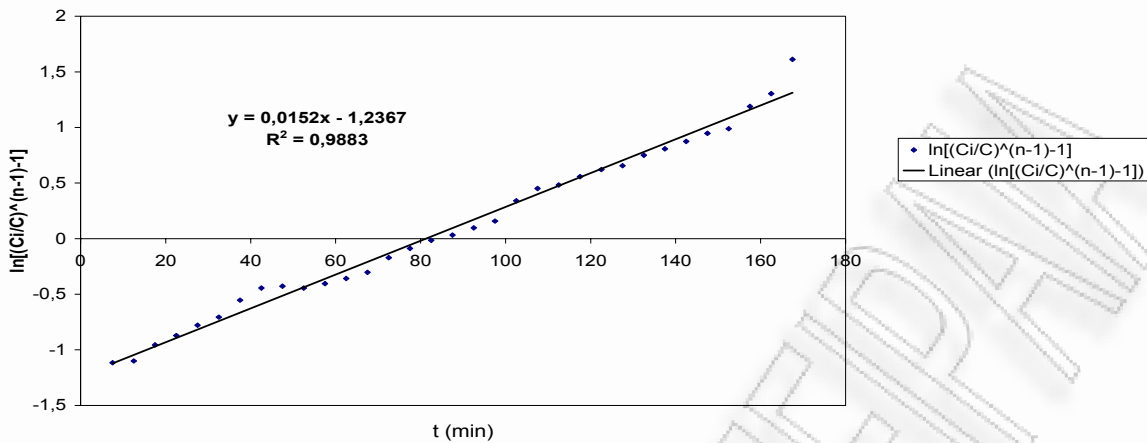


Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$



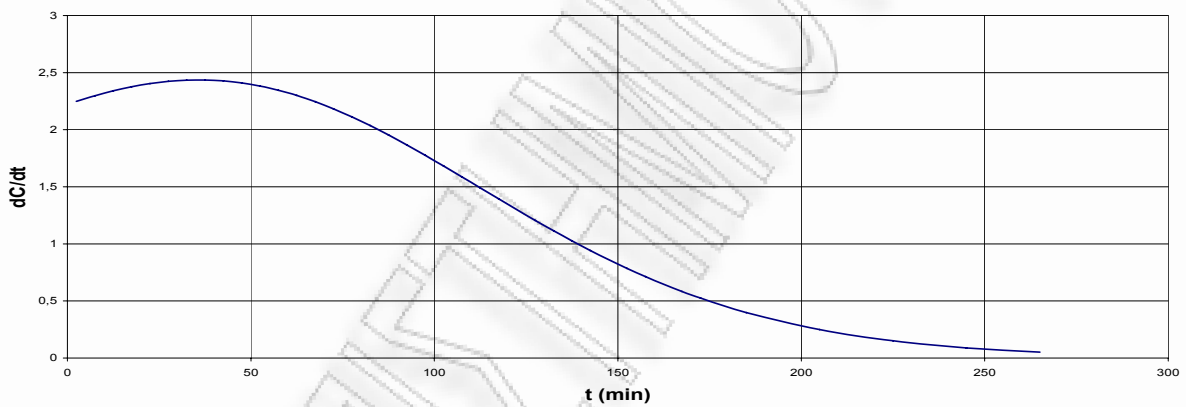
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



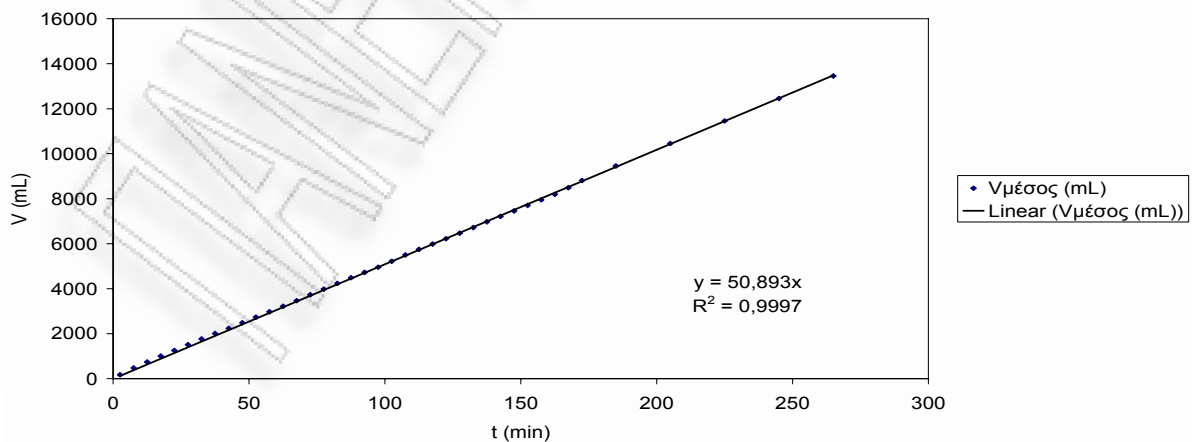
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$

Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 1,8N  $H_2SO_4$

Πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ΠΕΙΡΑΜΑ

16α

ΣΤΗΛΗ

3

Έναρξη πειράματος

4/12/2006

Υλικό Πριονίδι πεύκου 1h 3,6N

βάρος (g) 9

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ΧΡΩΜΑ Methylene Blue

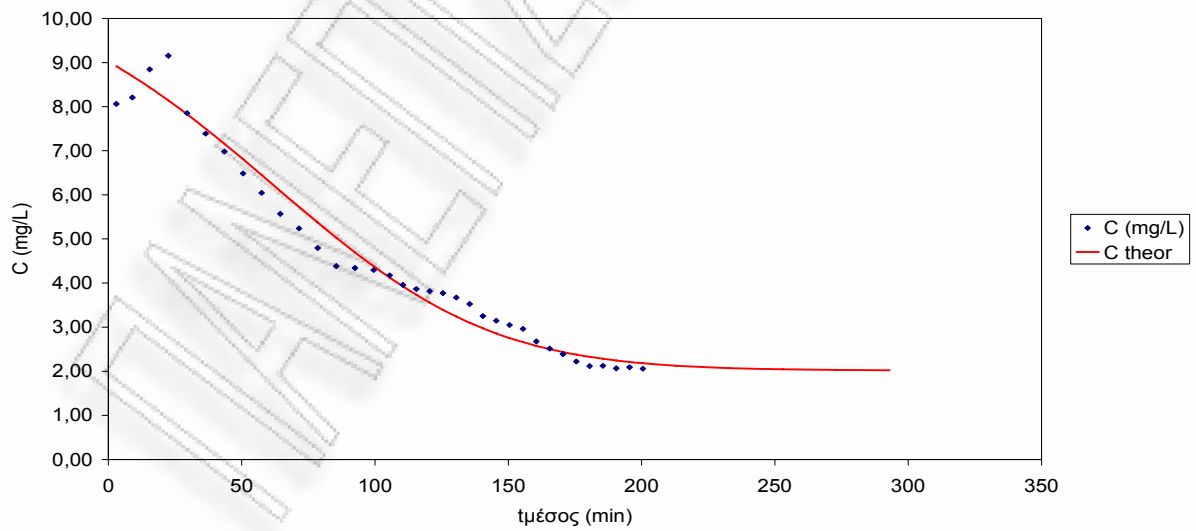
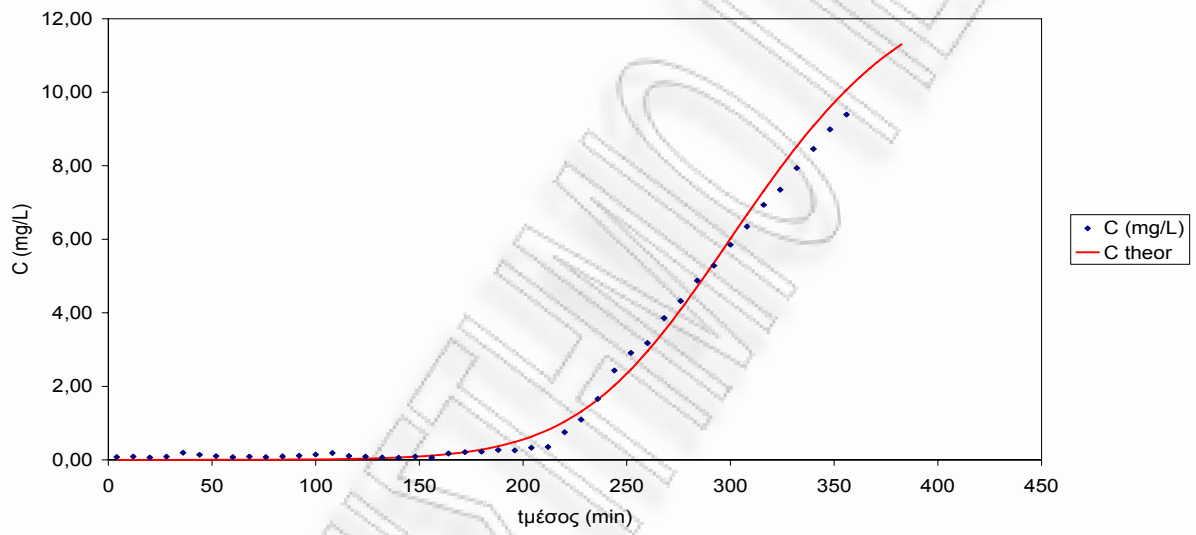
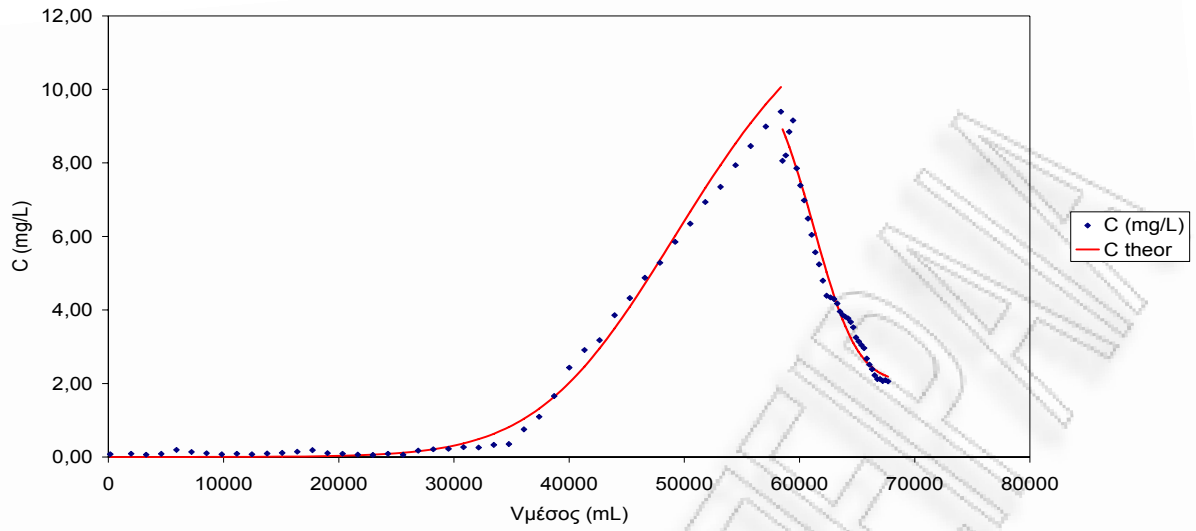
Προσρόφηση

Δειγμ α	t (mi n)	τιμέ ος (mi n)	Δt (mi n)	ΔV (mL)	V (mL)	Υμέσος (mL)	Υμέσος, θεωρ (mL)	Q=Δ V/Δt (mL/ min)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	ABS average	C (mg/L)	C theor
1	8	4	8	340	340	170	165	42,50	0,022	0,023	0,028	0,024	0,07	0,00
2	16	12	8	330	670	505	1968	41,25	0,032	0,029	0,025	0,029	0,09	0,00
3	24	20	8	330	1000	835	3280	41,25	0,018	0,021	0,023	0,021	0,06	0,00
4	32	28	8	330	1330	1165	4592	41,25	0,028	0,025	0,032	0,028	0,09	0,00
5	40	36	8	330	1660	1495	5904	41,25	0,065	0,062	0,06	0,062	0,19	0,00
6	48	44	8	330	1990	1825	7216	41,25	0,048	0,045	0,042	0,045	0,14	0,00
7	56	52	8	330	2320	2155	8528	41,25	0,039	0,028	0,033	0,033	0,10	0,00
8	64	60	8	330	2650	2485	9840	41,25	0,029	0,02	0,022	0,024	0,07	0,00
9	72	68	8	330	2980	2815	11152	41,25	0,026	0,035	0,027	0,029	0,09	0,00
10	80	76	8	330	3310	3145	12464	41,25	0,019	0,022	0,031	0,024	0,07	0,00
11	88	84	8	330	3640	3475	13776	41,25	0,032	0,032	0,029	0,031	0,09	0,01
12	96	92	8	330	3970	3805	15088	41,25	0,041	0,035	0,032	0,036	0,11	0,01
13	104	100	8	330	4300	4135	16400	41,25	0,042	0,048	0,051	0,047	0,14	0,01
14	112	108	8	330	4630	4465	17712	41,25	0,058	0,062	0,061	0,060	0,19	0,02
15	120	116	8	330	4960	4795	19024	41,25	0,039	0,031	0,032	0,034	0,10	0,02
16	128	124	8	330	5290	5125	20336	41,25	0,033	0,027	0,026	0,029	0,09	0,03
17	136	132	8	330	5620	5455	21648	41,25	0,018	0,021	0,026	0,022	0,07	0,05
18	144	140	8	330	5950	5785	22960	41,25	0,023	0,017	0,015	0,018	0,06	0,06
19	152	148	8	330	6280	6115	24272	41,25	0,022	0,031	0,035	0,029	0,09	0,09
20	160	156	8	330	6610	6445	25584	41,25	0,019	0,023	0,016	0,019	0,06	0,12
21	168	164	8	330	6940	6775	26896	41,25	0,06	0,052	0,055	0,056	0,17	0,16
22	176	172	8	330	7270	7105	28208	41,25	0,064	0,068	0,071	0,068	0,21	0,21
23	184	180	8	330	7600	7435	29520	41,25	0,071	0,073	0,071	0,072	0,22	0,28
24	192	188	8	330	7930	7765	30832	41,25	0,088	0,089	0,079	0,085	0,27	0,37
25	200	196	8	330	8260	8095	32144	41,25	0,089	0,091	0,069	0,083	0,26	0,48
26	208	204	8	330	8590	8425	33456	41,25	0,098	0,103	0,111	0,104	0,33	0,63
27	216	212	8	330	8920	8755	34768	41,25	0,112	0,113	0,108	0,111	0,35	0,81
28	224	220	8	330	9250	9085	36080	41,25	0,231	0,228	0,222	0,227	0,75	1,04
29	232	228	8	330	9580	9415	37392	41,25	0,314	0,322	0,325	0,320	1,09	1,31
30	240	236	8	330	9910	9745	38704	41,25	0,463	0,466	0,471	0,467	1,66	1,64
31	248	244	8	330	10240	10075	40016	41,25	0,658	0,661	0,663	0,661	2,43	2,02
32	256	252	8	330	10570	10405	41328	41,25	0,781	0,785	0,769	0,778	2,91	2,46
33	264	260	8	330	10900	10735	42640	41,25	0,831	0,852	0,849	0,844	3,18	2,96
34	272	268	8	330	11230	11065	43952	41,25	1,013	1,008	1,015	1,012	3,86	3,50
35	280	276	8	330	11560	11395	45264	41,25	1,123	1,128	1,131	1,127	4,32	4,09
36	288	284	8	330	11890	11725	46576	41,25	1,251	1,278	1,261	1,263	4,87	4,71
37	296	292	8	330	12220	12055	47888	41,25	1,362	1,359	1,369	1,363	5,28	5,36





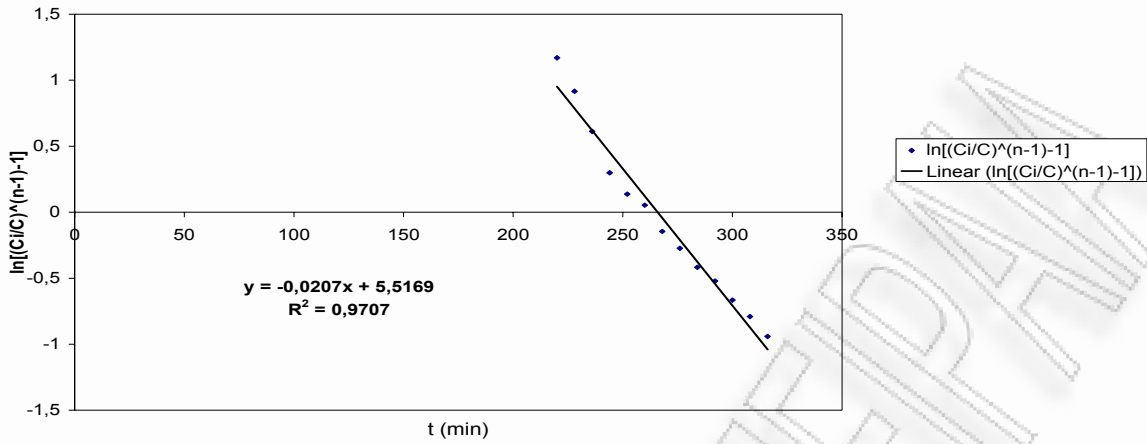




Καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης σε σταθεροποιημένη κλίνη για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

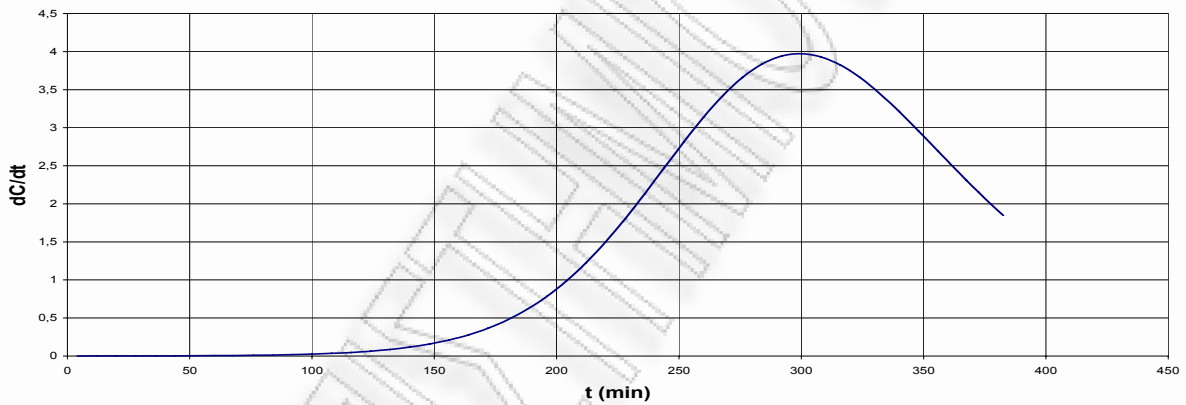


Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



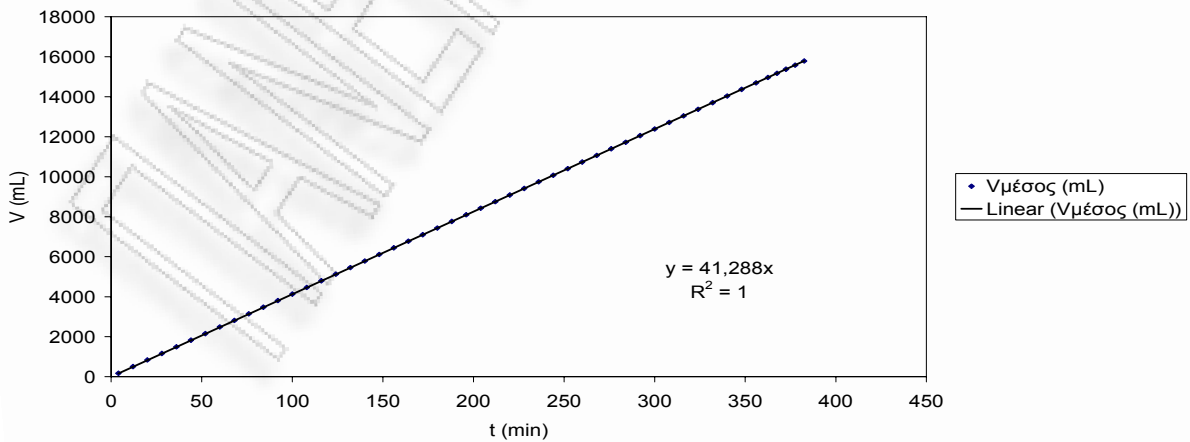
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt=\max$ )



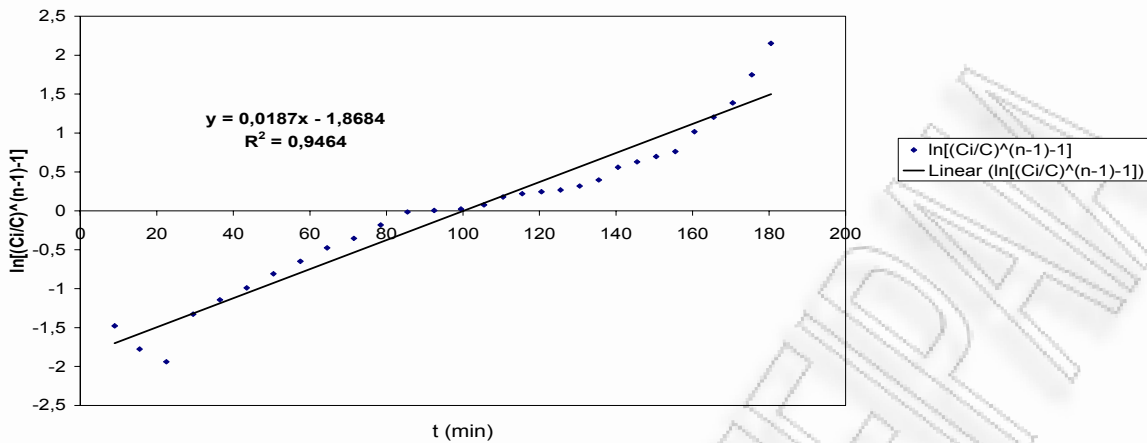
Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

Παροχή



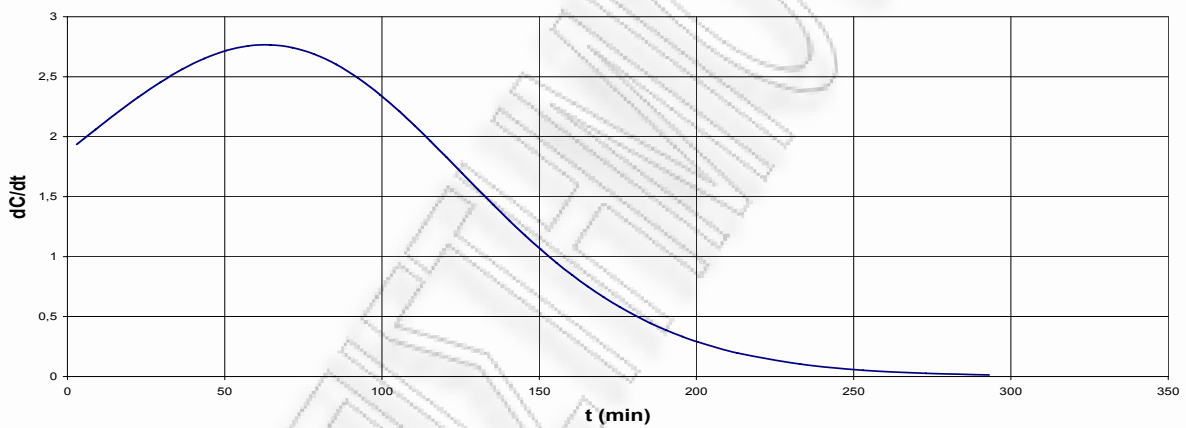
Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της προσρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

Παράμετροι Σιγμοειδούς Καμπύλης



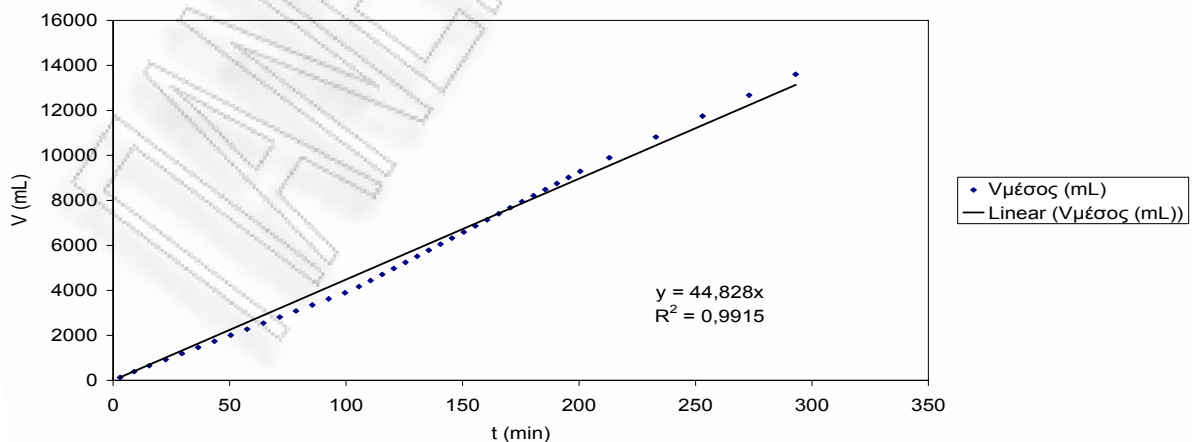
Γραφική παράσταση του  $\ln\left[\left(\frac{C_i}{C}\right)^{n-1} - 1\right]$  συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

Σημείο Καμπής Σιγμοειδούς ( $dC/dt = \max$ )



Γραφική παράσταση της παραγώγου της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

Παροχή



Γραφική παράσταση του διερχόμενου όγκου συναρτήσει του χρόνου κατά τη φάση της εκρόφησης για πριονίδι πεύκου προκατεργασμένο 1h 3,6N  $H_2SO_4$

## 4.2.2 Συγκεντρωτικοί πίνακες και διάγραμμα στήλων

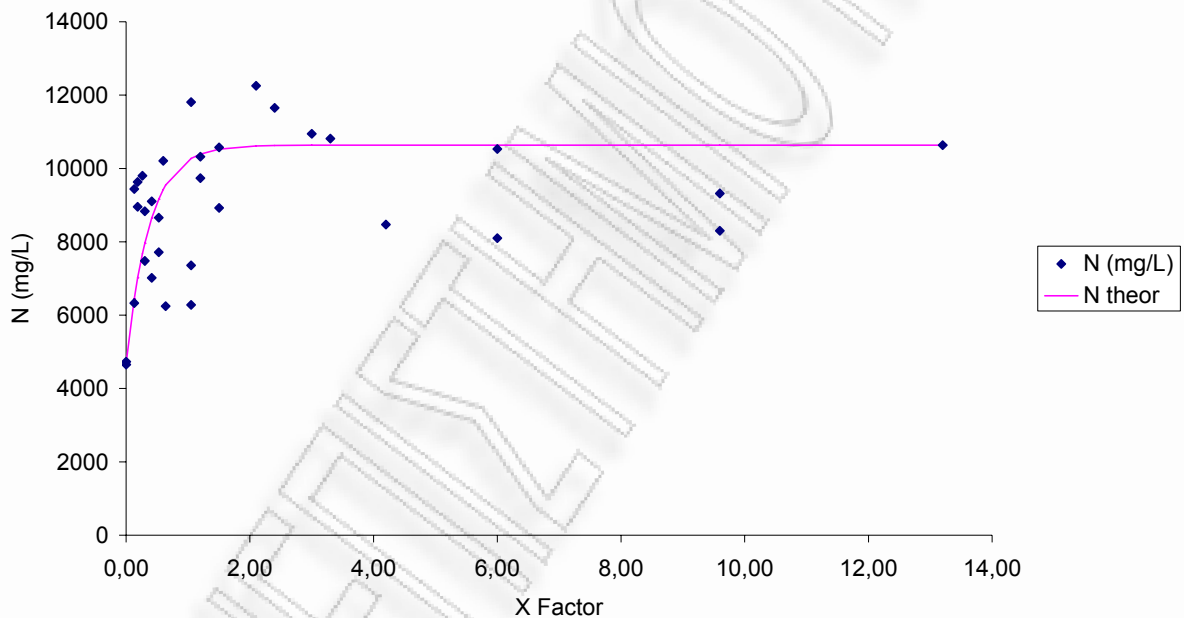
Στους πίνακες αυτούς συνοψίζονται όλες οι τιμές των παραμέτρων που μελετήθηκαν στον πειραματικό κύκλο συμπεριλαμβανομένων και του παράγοντα X, ο οποίος εκφράζεται από το γινόμενο του συνολικού χρόνου προκατεργασίας επί τις συνθήκες συγκέντρωσης  $H_2SO_4$ , του  $N_{theor}$  δηλαδή της θεωρητικής τιμής της χωρητικότητας N της προσρόφησης, του τετραγώνου της διαφοράς τους DN και της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος  $C_i$ .

Στα συγκεντρωτικά διαγράμματα απεικονίζεται η χωρητικότητα N και το  $N_{theor}$  σε συνάρτηση με τον παράγοντα X. Αρχικά παρουσιάζονται ο συγκεντρωτικός πίνακας και το διάγραμμα για τα πειράματα που εκτέλεστηκαν στις στήλες 1 και 2 και ακολουθούν τα αντίστοιχα για τα πειράματα της στήλης 3.

<b>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΣΤΗΛΩΝ 1&amp;2</b>								No	4693			
								Ne	10637		127%	
<b>Πριονίδι πεύκου 0,11-3,6 N H2SO4 100 οC</b>								b	2,6587			
C H2SO4	t(h)	X factor = tC	lnA	r	A	N (mg/L)	N theor	DN	R2	K	m(g)	Ci (mg/L)
	0,00	0,00	10,117	0,028	24749	4734	4693	1693	0,9707	0,00050	17	52,8
	0,00	0,00	2,0078	0,019	7,447	4652	4693	1693	0,9645	0,00030	11	61,5
0,1125	1,17	0,13	4,2767	0,027	72	6332	6444	12474	0,9801	0,00050	12	56,7
0,1125	1,17	0,13	4,4427	0,025	85,01	9439	6444	8971909	0,9819	0,00040	14	60,1
0,1125	1,67	0,19	5,535	0,032	253,4	8960	7026	3738207	0,9075	0,00050	13	61,7
0,1125	1,67	0,19	5,383	0,03	217,7	9636	7026	6812331	0,9507	0,00050	13	62,9
0,225	1,17	0,26	4,7348	0,023	113,8	9801	7679	4503665	0,9486	0,00040	14,5	55,8
0,1125	2,67	0,30	4,2161	0,027	67,77	7482	7960	228399	0,9496	0,00050	12	56,3
0,1125	2,67	0,30	5,2881	0,029	198	8835	7960	765605	0,9650	0,00050	11	55,8
0,1125	3,67	0,41	3,7196	0,026	41,25	7020	8652	2663278	0,9866	0,00050	12	56,1
0,1125	3,67	0,41	6,3968	0,031	599,9	9104	8652	204706	0,9852	0,00060	14	49,3
0,45	1,17	0,53	5,1661	0,026	175,2	8658	9165	257339	0,9534	0,00053	14,5	49,6
0,1125	4,67	0,53	4,3792	0,029	79,78	7719	9165	2092275	0,8994	0,00050	13	57,7
0,225	2,67	0,60	6,3153	0,032	553	10208	9431	603605	0,9562	0,00060	14,5	58,1
0,1125	5,67	0,64	3,3081	0,024	27,33	6244	9546	10901955	0,9898	0,00050	13	51,1
0,9	1,17	1,05	3,3996	0,023	29,95	6280	10272	15937881	0,9858	0,00047	11	49,1
0,225	4,67	1,05	6,6455	0,027	769,3	11814	10272	2376306	0,9095	0,00050	14,5	55,3
0,225	4,67	1,05	5,8272	0,042	339,4	7358	10272	8495902	0,8608	0,00070	12	60,2
0,45	2,67	1,20	6,3242	0,017	557,9	10322	10392	4905	0,9584	0,00030	12,5	57,3
0,45	2,67	1,20	5,7342	0,026	309,3	9740	10392	425463	0,9410	0,00043	13	62,1
0,9	1,67	1,50	6,5998	0,035	735	8925	10527	2565501	0,9710	0,00062	12	57,5
0,9	1,67	1,50	7,4235	0,034	1675	10575	10527	2298	0,9768	0,00059	14	57,3
1,8	1,17	2,10	6,9059	0,026	998,1	12257	10615	2698805	0,9706	0,00049	16	52,4
0,9	2,67	2,40	7,3623	0,026	1575	11657	10627	1060681	0,9272	0,00044	13	58,1

1,8	1,67	3,00	7,1555	0,035	1281	10946	10635	96943	0,9849	0,00058	15	60,4
0,9	3,67	3,30	6,8608	0,032	954,1	10818	10636	33030	0,9684	0,00053	14	60,8
0,9	4,67	4,20	5,33	0,027	206,4	8470	10637	4695718	0,9070	0,00052	15	51,7
3,6	1,67	6,00	7,165	0,028	1293	10534	10637	10705	0,8881	0,00049	14	58,0
3,6	1,67	6,00	5,1848	0,032	178,5	8103	10637	6420753	0,9001	0,00057	12	55,9
3,6	2,67	9,60	7,9216	0,038	2756	9321	10637	1730958	0,9738	0,00067	12,5	57,0
3,6	2,67	9,60	7,355	0,036	1564	8305	10637	5440256	0,8819	0,00069	16	52,4
3,6	3,67	13,20	7,4723	0,035	1759	10637	10637	0	0,9501	0,00060	13,5	58,0
						<b>8903</b>		93755239		<b>0,00052</b>	<b>13,4</b>	<b>56,5</b>
							<b>n</b>	<b>34</b>		<b>0,00009</b>	<b>1,5</b>	<b>3,8</b>
							<b>p</b>	<b>3</b>				
							<b>n-p</b>	<b>31</b>				
							<b>s</b>	<b>1739</b>				
								19,5%				

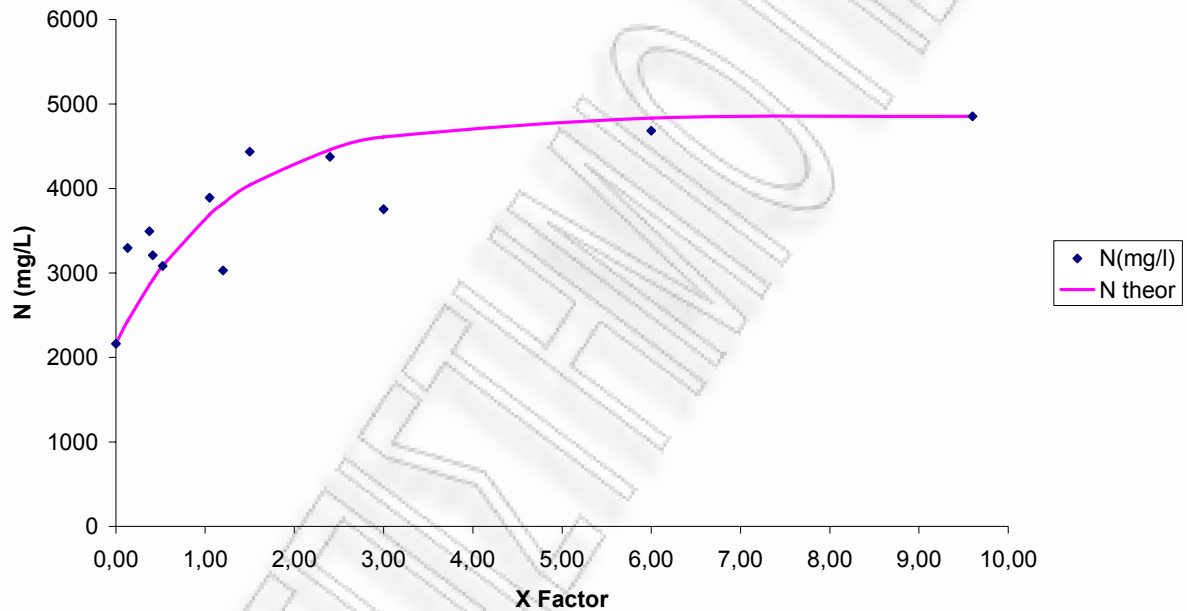
### Πριονίδι πεύκου 0,1125-3,6 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 100 οC



<u>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΣΤΗΛΗΣ 3</u>								No	2162		6270	189,9%	
								Ne	4855	124,5%			
Πριονίδι πεύκου 0,1125-3,6 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 100 οC								b	0,798				
C H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	t(h)	X factor = tC	lnA	r	A	N(mg/l)	N theor	DN	R2	K	m(gr)	Ci	
	0,00	0,00	2,5471	0,053	12,77	2162	2162	0	0,9852	0,00388	10	13,6	
	0,1125	1,17	0,13	3,1746	0,034	23,92	3296	2430	749139	0,9470	0,00210	8,5	16,4
	0,225	1,67	0,38	4,9555	0,071	141,96	3494	2859	403815	0,955214	0,00391	7	18,2
	0,1125	3,67	0,41	4,8001	0,043	121,52	3209	2918	84907	0,9528	0,00310	8,5	13,9
	0,45	1,17	0,53	4,1491	0,047	63,38	3082	3084	4	0,952266	0,00338	9	13,9
	0,225	4,67	1,05	6,0880	0,035	440,55	3892	3690	40740	0,977722	0,00254	8,5	13,9

0,45	2,67	1,20	6,4751	0,051	648,77	3031	3822	624679	0,973218	0,00450	8,5	11,3
0,9	1,67	1,50	5,1552	0,036	173,33	4435	4042	155168	0,981519	0,00218	8	16,5
0,9	2,67	2,40	6,0537	0,024	425,68	4374	4458	7051	0,974212	0,00176	9,5	13,6
1,8	1,67	3,00	4,8942	0,036	133,52	3756	4609	728631	0,925218	0,00260	9	13,9
3,6	1,67	6,00	5,5169	0,021	248,86	4684	4833	22233	0,970736	0,00155	9	13,4
3,6	2,67	9,60	8,2635	0,023	3879,78	4855	4854	2	0,816154	0,00167	9	13,9
						<b>3689</b>		<b>2816368</b>			<b>8,7</b>	<b>14,4</b>
							<b>n</b>	<b>14</b>			<b>3,2</b>	<b>6,7</b>
							<b>p</b>	<b>1</b>				
							<b>n-p</b>	<b>13</b>				<b>56,5</b>
							<b>s</b>	<b>465</b>				292,9%
								12,6%				

Πριονίδι πεύκου 0,11-3,6 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 100 °C



## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πειράματα που διεξήχθησαν, μελετήθηκε η συμπεριφορά του πριονιδιού πεύκου ως προσροφητικού μέσου σε διάλυμα Μπλε του Μεθυλενίου (Methylene Blue) και πιο συγκεκριμένα η επίδραση των συνθηκών προκατεργασίας του πριονιδιού με θειικό οξύ, προκειμένου να βελτιωθεί η προσροφητική ικανότητά του. Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των τιμών της χωρητικότητας (capacity)  $N$  του μοντέλου Bohart-Adams όπως αυτή προσδιορίστηκε για απροκατέργαστο πριονίδι με αυτές που προέκυψαν για το προκατεργασμένο υλικό. Κατά την προκατεργασία του πριονιδιού πεύκου στους  $100^{\circ}\text{C}$  με συγκέντρωση  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,11-3,6N και για διάφορους χρόνους (0,5, 1, 2, 3, 4, 5 h), παρατηρήθηκε αύξηση της τιμής του  $N$  για το προκατεργασμένο υλικό σε σχέση με την τιμή του  $N$  για το απροκατέργαστο. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα του  $N$  συναρτήσει του παράγοντα  $X$  (severity factor), στα οποία παρατηρείται αρχικά μια απότομη αύξηση της χωρητικότητας της προσρόφησης  $N$  που στη συνέχεια σταθεροποιείται. Βρέθηκε ότι η βέλτιστη καμπύλη που περιγράφει τη σχέση μεταξύ του παράγοντα  $X$  και της χωρητικότητας  $N$  είναι η  $N = N_e - (N_e - N_0)e^{-b_N X}$ . Εφόσον ο παράγοντας  $X$  συμπεριλαμβάνει την επίδραση του χρόνου προκατεργασίας και της συγκέντρωσης του  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , συνεπάγεται ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του θειικού οξέος ευνοεί την αύξηση της χωρητικότητας  $N$  που ουσιαστικά αποτελεί το συντελεστή απόδοσης όλης της προσροφητικής διεργασίας. Οι εκτιμήσεις αυτές, αποτελούν ουσιαστική συμβολή στην κλιμάκωση (scale up) της διεργασίας από μικρή / εργαστηριακή κλίμακα σε μεγάλη / ημιβιομηχανική (πilotική) ή βιομηχανική κλίμακα.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abo-Elela SI, el-Dib MA. Color removal via adsorption on wood shaving. *Sci.Tot.Envir.*1987; 66: 269.
2. Allen SJ, Gan Q, Matthews R, Johnson PA. Comparison of optimized isotherm models for basic dye adsorption by kudzu. *Biores. Techn.* 2003; 88: 143.
3. Annadurai G, Juang R-S, Lee D-J. Use of cellulose based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.* 2002; B92: 263.
4. Batzias F.A., D.K. Sdiras, Dye adsorption by calcium chloride treated beech sawdust in batch and fixed-bed systems, *J Hazard. Mater.* 114(1-3) (2004) 167.
5. Batzias F.A., D.K. Sdiras, Optimal design of adsorption tower equipped with a novel packed biomass bed for colouring-processes-wastewater treatment, CHISA 2004, Proc. 16<sup>th</sup> Intern. Congress of Chem. & Process Eng., 22-26 August 2004, Prague, Czech Republic.
6. Batzias FA, Sdiras DK. Wastewater Treatment with Gold Recovery through Adsorption by Activated Carbon. *Water Pollution IV: Modelling, Measuring and Prediction*, Ed. Brebbia C.A., Series: Progress in Water Resources, WIT Press, Southampton, 2001; 3: 533.
7. Bohart GS, Adams EQ. Adsorption in columns. *J.Chem.Soc.* 1920; 42.
8. Carrillo F, Lis MJ, Valdeperas J. Sorption isotherms and behaviour of direct dyes on lyocel fibres. *Dyes & Pigments.* 2002; 53: 129.
9. Chubar A, Carvalho JR, Correia MJN. Heavy metals biosorption on cork biomass: effect of the pre-treatment. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects.* 2004; 238: 51.
10. Chun L, Hongzhang C, Zuohu L. Adsorption of Cr(VI) by Fe-modified steam exploded wheat straw. *Proc.Biochem.* 2003, in press.
11. Clark RM. Modeling TOC removal by GAC: The general logistic function. *J. Am.Wat.Works Assoc.* 1987; 79 (1): 33.
12. Crank G. *The mathematics of diffusion.* London, New York: Clarendon Press, 1993.

13. El-Shobaky GA, Youssef AM. Chemical activation of charcoals. *Surface Techn.* 1978; 7(3): 209.
14. Garg VK, Gupta R, Yadav A-B, Kumar R. Dye removal from aqueous solutions by adsorption on treated sawdust. *Biores.Techn.* 2003; 89: 121.
15. Hutchins RA. New method simplifies design of activated-carbon systems. *Chem. Eng.* 1973; 80 (19): 133.
16. Ibrahim NA, Hashem A, Abou-Shosha MH. Amination of wood sawdust for removing anionic dyes from aqueous solutions. *Polym.-Plast.Techol.&Eng.* 1997; 36(6): 963.
17. Jawaid MNA, Weber TW. Effect of mineral salts on adsorption and regeneration of activated carbon. *Carbon.* 1979; 17(2): 97.
18. Kannan N, Sundaram MM. Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbons – a comparative study. *Dyes & Pigments.* 2001; 51: 25.
19. Low KS, Lee CK, Ng AY. Column study on the sorption of Cr(IV) using quaternized rice hull. *Biores.Techn.* 1999; 68: 205.
20. McKay G, Duri BA. Simplified model for the equilibrium adsorption of dyes from mixtures using activated carbon. *Chem. Eng. &Proc.* 1987; 22(3): 145.
21. Meshko V, Markovska L, Mincheva M, Rondrigues AE. Adsorption of basic dyes on granular activated carbon and natural zeolite. *Wat. Res.* 2001; 35 (14): 3357.
22. Mohan SV, Rao NC, Karthikeyan J. Adsorption removal of direct azo dye from aqueous phase onto coal based sorbents: a kinetic and mechanistic study. *J. Hazard. Mater.* 2002; B90: 189.
23. Namasivayam C, Kumar MD, Begum RA. 'Waste' coir pith – a potential biomass for the treatment of dyeing wastewaters. *Biom.Bioenerg.* 2001; 21: 477.
24. Namasivayam C, Radhika R, Suba S. Uptake of dyes by a promising locally available agricultural solid waste: coir pith. *Waste Management.* 2001; 21: 381.
25. Nassar MM, Magdy YH. Removal of different basic dyes from aqueous solutions by adsorption on palm-fruit bunch particles. *Chem. Eng. J.* 1997; 66: 223.
26. Nassar MM. Intra-particle diffusion of basic red and basic yellow dyes on palm fruit bunch. *Wat.Sci. & Techn.* 1999; 40(7): 133.
27. Nigam P, Armour G, Banat IM, Singh D, Marchant R. Physical removal of textile dyes from effluents and solid-state fermentation of dye-adsorbed agricultural residues. *Biores.Techn.* 2000; 72: 219.
28. Oulman CS. Logistic curve as a model for carbon bed design. *J.Am.Wat. Works Assoc.* 1980; 72(1): 50.



29. Poots VJP, McKay G, Healy JJ. Removal of basic dye from effluent using wood as an adsorbent. *J. Wat. Poll. Contr. Fed.* 1978; 50 (5): 926.
30. Rajeshwarisivaraj, Sivakumar S, Senthilkumar P, Subburam V. Carbon from cassava peel, an agricultural waste, as an adsorbent in the removal of dyes and metal ions from aqueous solution. *Biores.Techn.* 2001; 80: 233.
31. Robinson, T, Chandran, B, Naidu G-S, Nigam, P. Studies on the removal of dyes from a synthetic textile effluent using barley husk in static-bath and in a continuous flow, packed-bed, reactor. *Biores.Techn.* 2002; 85: 43.
32. Robinson, T, Chandran, B, Nigam, P. Removal of dyes from a synthetic textile effluent by biosorption on apple pomace and wheat straw. *Water Res.* 2002; 36: 2824.
33. Robinson, T, Chandran, B, Nigam, P. The effect of pretreatments of three waste residues, wheat straw, corncobs and barley husks on dye adsorption. *Biores.Techn.*, 2002; 85: 119.
34. Saeman JF, Bubl JF, Harris EE., Quantitative saccharification of wood and cellulose. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 1945; 17: 35.
35. Segal L, Greely JJ, Martin AE, Conrad CM. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the x-ray diffractometer. *Textile Res. J.* 1959 ; 29: 786.
36. Shukla A, Zhang Y-H, Dubey P, Margrave JL. The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water. *J. Hazard. Mater.* 2002; B95: 137.
37. Somogyi M. Notes on Sugar Determination. *J. Biol. Chem.* 1952; 195: 19.
38. Tappi Standards. Atlanta, Tappi Tests Methods, 1997.
39. Trivedi HC, Patel VM, Patel RD. Adsorption of cellulose triacetate on calcium silicate. *Eur. Polym. J.* 1973 ; 9 : 525.
40. Tsai WT, Chang CY, Lin MC, Chien SF, Sun HF, Hsieh MF. Adsorption of acid dye onto activated carbons prepared from agricultural waste bagasse by ZnCl<sub>2</sub> activation. *Chemosphere.* 2001; 45: 51.
41. Van Vliet BM, Weber WJ. Comparative performance of synthetic adsorbents and activated carbon for specific compound removal from wastewaters. *J. Water Poll. Contr. Fed.* 1981; 53 (11): 1585.
42. Walker GM, Weatherley LR. Adsorption of dyes from aqueous solution – the effect of adsorbent pore size distribution and dye aggregation. *Chem. Eng. J.* 2001; 83: 201.
43. Walker GM, Weatherley LR. COD removal from textile industry effluent: pilot plant studies. *Chem.Eng.J.* 2001; 84: 125.

44. F. A. Batzias, D. K. Sidiras, Dye adsorption by prehydrolyzed beech sawdust in batch and fixed-bed systems, *Bioresource Technology*, 2007, 98, 1208-1217.
45. F. A. Batzias, D. K. Sidiras, Simulation of methylene blue adsorption by salts-treated beech sawdust in batch and fixed-bed systems, *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 149, 8-17.
46. F.A. Batzias, D.K. Sidiras, Simulation of dye adsorption by beech sawdust as affected by pH, *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 141, 668–679.
47. D. Sidiras, E. Koukios, Simulation of acid-catalysed organosolv fractionation of wheat straw, *Bioresource Technology*, 2004, 94, 91–98.
48. Robert H. Perry, Don W. Green, *Perry's Chemical Engineers' Handbook* 1997, 16, 1-52.
49. Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott, Βασικές Φυσικές Διεργασίες Μηχανικής, 6<sup>η</sup> έκδοση, 2003, 25, 931-982.
50. Θ. Ν. Σκουλικίδη, Φυσικοχημεία Ι<sub>2</sub>, ΣΤ' έκδοση, Αθήνα 1984, ΙΙΙ, 321- 387.
51. Γεωργίου Δ. Σαραβάκου, Τεχνική Φυσικών Διαχωρισμών, Β' έκδοση, Αθήνα 1985, 10, 356-367.
52. Ιωάννης Δ. Χανδρινός, Στοιχεία – Αρχές Χημικής Κινητικής και Κατάλυσης, Τρίτη έκδοση, Ε. Μ. Π., Αθήνα 1997, 3, 144-154.
53. Φ. Ρουμπάνη-Καλαντζοπούλου, Χημική Κινητική και Κατάλυση, Αθήνα 1998, ΙΙΙ, Γ, 6, 171-178.
54. Φυσικές Μέθοδοι Ανάλυσης – Εργαστηριακές Ασκήσεις, Συλλογική έκδοση Εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1999, ΙΙΙ, 8-9, 73-86, Ι, 4, 37-42.
55. <http://en.wikipedia.org>
56. Christopher A. Toles, Wayne E. Marshall, Mitchell M. Johns, Lynda H. Wartelle, Andrew McAloon. Acid-activated carbons from almond shells: physical, chemical and adsorptive properties and estimated cost of production. *Bioresource Technology*, Volume 71, Issue 1, January 2000, Pages 87-92
57. Christopher A. Toles, Wayne E. Marshall, Lynda H. Wartelle, Andrew McAloon. Steam- or carbon dioxide-activated carbons from almond shells: physical, chemical and adsorptive properties and estimated cost of production. *Bioresource Technology*, Volume 75, Issue 3, December 2000, Pages 197-203

58. Jian Sun, E. J. Hippo, H. Marsh, W. S. O'Brien, J. C. Crelling. Activated carbon produced from an Illinois Basin coal. *Carbon*, Volume 35, Issue 3, 1997, Pages 341-352
59. Peter Bayer, Edda Heuer, Ute Karl, Michael Finkel. Economical and ecological comparison of granular activated carbon (GAC) adsorber refill strategies. *Water Research*, Volume 39, Issue 9, May 2005, Pages 1719-1728
60. S. Rio, L. Le Coq, C. Faur, D. Lecomte, P. Le Cloirec. Preparation of Adsorbents from Sewage Sludge by Steam Activation for Industrial Emission Treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 84, Issue 4, July 2006, Pages 258-264
61. Md. Zahangir ALAM, Suleyman A. MUYIBI, Mariatul F. MANSOR, Radziah WAHID. Activated carbons derived from oil palm empty-fruit bunches: Application to environmental problems. *Journal of Environmental Sciences*, Volume 19, Issue 1, January 2007, Pages 103-108
62. Isabel M. Lima, Andrew McAloon, Akwasi A. Boateng. Activated carbon from broiler litter: Process description and cost of production. *Biomass and Bioenergy*, Volume 32, Issue 6, June 2008, Pages 568-572
63. Angel Linares-Solano, Diego Cazorla-Amorós. Adsorption on Activated Carbon Fibers. *Adsorption by Carbons*, 2008, Pages 431-454
64. W.J. Frederick Jr., S.J. Lien, C.E. Courchene, N.A. DeMartini, A.J. Ragauskas, K. Iisa. Production of ethanol from carbohydrates from loblolly pine: A technical and economic assessment. *Bioresource Technology*, Volume 99, Issue 11, July 2008, Pages 5051-5057
65. Carlo N Hamelinck, Geertje van Hooijdonk, André PC Faaij. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. *Biomass and Bioenergy*, Volume 28, Issue 4, April 2005, Pages 384-410
66. CP Mitchell, AV Bridgwater, DJ Stevens, AJ Toft, MP Watters. Technoeconomic assessment of biomass to energy. *Biomass and Bioenergy*, Volume 9, Issues 1-5, 1995, Pages 205-226
67. Margareta von Sivers, Guido Zacchi. A techno-economical comparison of three processes for the production of ethanol from pine. *Bioresource Technology*, Volume 51, Issue 1, 1995, Pages 43-52
68. Carroll R. Keim. Technology and economics of fermentation alcohol — An update. *Enzyme and Microbial Technology*, Volume 5, Issue 2, March 1983, Pages 103-114

69. Richard A. Baltz, Andy F. Burcham, Oliver C. Sitton, Neil L. Book. The recycle of sulfuric acid and xylose in the prehydrolysis of corn stover. *Energy*, Volume 7, Issue 3, March 1982, Pages 259-265
70. G. Skodras, Ir. Diamantopoulou, A. Zabaniotou, G. Stavropoulos, G.P. Sakellaropoulos. Enhanced mercury adsorption in activated carbons from biomass materials and waste tires. *Fuel Processing Technology*, Volume 88, Issue 8, August 2007, Pages 749-758
71. G.G. Stavropoulos, A.A. Zabaniotou. Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue. *Microporous and Mesoporous Materials*, Volume 82, Issues 1-2, 5 July 2005, Pages 79-85
72. Walid K. Lafi. Production of activated carbon from acorns and olive seeds. *Biomass and Bioenergy*, Volume 20, Issue 1, January 2001, Pages 57-62
73. F. Vegliò, F. Beolchini, M. Prisciandaro. Sorption of copper by olive mill residues. *Water Research*, Volume 37, Issue 20, December 2003, Pages 4895-4903
74. S. H. Gharaibeh, Wail Y. Abu-el-sha'r, M. M. Al-Kofahi. Removal of selected heavy metals from aqueous solutions using processed solid residue of olive mill products. *Water Research*, Volume 32, Issue 2, February 1998, Pages 498-502
75. Francesca Pagnanelli, Luigi Toro, Francesco Vegliò. Olive mill solid residues as heavy metal sorbent material: a preliminary study. *Waste Management*, Volume 22, Issue 8, December 2002, Pages 901-907
76. Andrew Bousher, Xiaodong Shen, Robert G.J. Edyvean. Removal of coloured organic matter by adsorption onto low-cost waste materials. *Water Research*, Volume 31, Issue 8, August 1997, Pages 2084-2092
77. F. Ferrero. Dye removal by low cost adsorbents: Hazelnut shells in comparison with wood sawdust. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 142, Issues 1-2, 2 April 2007, Pages 144-152
78. Saima Q. Memon, Najma Memon, Amber R. Solangi, Jamil-ur-Rehman Memon. Sawdust: A green and economical sorbent for thallium removal. *Chemical Engineering Journal*, Volume 140, Issues 1-3, 1 July 2008, Pages 235-240
79. P. Misaelides, D. Zamboulis, Pr. Sarridis, J. Warchoń, A. Godelitsas. Chromium (VI) uptake by polyhexamethylene-guanidine-modified natural zeolitic materials. *Microporous and Mesoporous Materials*, Volume 108, Issues 1-3, 1 February 2008, Pages 162-167

80. G. E. Christidis, P. W. Scott, A. C. Dunham. Acid activation and bleaching capacity of bentonites from the islands of Milos and Chios, Aegean, Greece. *Applied Clay Science*, Volume 12, Issue 4, October 1997, Pages 329-347
81. Rashmi Sanghi and Bani Bhattacharya. Review on decolorisation of aqueous dye solutions by low cost adsorbents. *Color. Technol.*, 118 (2002) 256-269.
82. F. A. Batzias and D. K. Sdiras, Simulation of dye adsorption by beech sawdust as affected by pH, *Journal of Hazardous Materials*. 141(3), 668-679 (2007).
83. F.A. Batzias, D.K. Sdiras, E. Schroeder and C. Weber, Simulation of dye adsorption on hydrolyzed wheat straw in batch and fixed-bed systems, *Chemical Engineering Journal*, in press, available online on ScienceDirect.
84. F. A. Batzias, D. K. Sdiras. Calcium Chloride Treated Lignocellulosic Biomass As An Activated Carbon Substitute. Proc. 14th European Biomass Conference. Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Palais des Congrès. Paris, France 17-21 October 2005. pp. 1779-1782
85. F. A. Batzias and D. K. Sdiras, Zinc chloride treated beech sawdust as an activated carbon low-cost substitute, 15th European Biomass Conference, 07 - 11 May 2007, ICC Berlin, Germany, pp. 2121-2130.
86. D.K. Sdiras, Lignocellulosic materials as low cost adsorbents for wastewater dye removal, 16th European Biomass Conference, 02-06 June 2008, Valencia, Spain, pp. 1697-1705.
87. A.F. Batzias, D.K. Sdiras, Thermochemical conversion of waste biomass to obtain activated carbon substitutes for dye adsorption – A decision making approach on kinetics, 16th European Biomass Conference, 02-06 June 2008, Valencia, Spain, pp. 1727-1732.

## 7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### 7.1 Προσδιορισμός συγκέντρωσης διαλύματος με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου



Φασματοφωτόμετρο UV-VIS τύπου HACH 1 στο Εργαστήριο Προσομοίωσης Βιομηχανικών Διεργασιών του τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιά.

Αν  $I_0$  και  $I_1$  οι εντάσεις της προσπίπτουσας σε διάλυμα και εξερχόμενης από αυτό ακτινοβολίας, αντίστοιχα, τότε ο λόγος  $I_1/I_0$  δίνεται από τη σχέση :

$$-\log \frac{I_1}{I_0} = \varepsilon * c * l$$

(Νόμος Beer-Lambert)

(1)

όπου ο αριστερός όρος της ισότητας λέγεται απορρόφηση  $A$  (παλαιότερα οπτική πυκνότητα),  $\varepsilon$  = συντελεστής απορρόφησης (παλαιότερα συντελεστής απόσβεσης), ο οποίος εξαρτάται από τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ( $1/M*cm$ ),  $c$  = συγκέντρωση του

διαλύματος (M) και  $l =$  μήκος διαδρομής που ακολουθεί η ακτινοβολία μέσα στο διάλυμα (cm).

Το φασματοφωτόμετρο είναι ένα όργανο που μετρά τη διαπερατότητα  $T (= I_1/I_0)$  και τη δίνει ως κλάσμα ή ποσοστό στην περιοχή 0-1 ή 0-100%, αντίστοιχα. Σε ιδιαίτερη κλίμακα ανάγνωσης δίνει κατευθείαν την απορρόφηση :

$$A = -\log \frac{I_1}{I_0} \quad (2)$$

Αν μετρηθεί η απορρόφηση  $n$  διαλυμάτων διαφορετικής (γνωστής) συγκέντρωσης  $C_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) σε διαλυμένη ουσία, είναι δυνατό να απεικονιστούν τα ζεύγη  $(C_i, A_i)$  ως σημεία σε σύστημα αξόνων και να χαραχθεί η πλησιέστερη προς αυτά ευθεία, που διέρχεται από την αρχή των αξόνων, αφού η έκφραση :

$$A = b * C, \quad \text{όπου } b = \varepsilon * l \quad (3)$$

είναι απλή αναλογική σχέση χωρίς σταθερό όρο. Για να χρησιμοποιηθεί αυτή η σχέση, πρέπει να χρησιμοποιούνται κυψελίδες ίσου πάχους ώστε το μήκος διαδρομής της ακτινοβολίας να μένει σταθερό. Για μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό της ευθείας, υπολογίζεται η κλίση  $b$  με τη βοήθεια της ακόλουθης σχέσης (4), η οποία εξάγεται με γραμμική παλινδρόμηση με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων :

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n C_i^2} \quad (4)$$

Στη συνέχεια δίνεται διάλυμα άγνωστης συγκέντρωσης  $C_x$ , στην ίδια διαλυμένη ουσία, και μετρίεται η απορρόφηση του  $A_x$ . Με τη βοήθεια της σχέσης (3) υπολογίζεται η τιμή της άγνωστης συγκέντρωσης  $C_x$ , αφού η τιμή της παραμέτρου  $b$  έχει εκτιμηθεί προηγουμένα από τη σχέση (4).

Όταν είναι γνωστή η περιοχή στην οποία λαμβάνει τιμές η άγνωστη συγκέντρωση  $C_x$ , μετρίεται η απορρόφηση  $A_i$  διαλυμάτων συγκέντρωσης  $C_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  που καλύπτουν την περιοχή αυτή και απεικονίζονται τα ζεύγη  $(C_i, A_i)$  με τη βοήθεια  $H/Y$  ως διαγράμματα διασποράς των μετρήσεων (scatter diagram). Αν οι μετρήσεις φαίνεται ότι ακολουθούν μη γραμμική πορεία, η άγνωστη συγκέντρωση  $C_x$  προσδιορίζεται με μέτρηση της απορρόφησης  $A_x$  και παρεμβολή Lagrange, η οποία επιτυγχάνεται με το αντίστοιχο πρόγραμμα  $H/Y$ . Αν οι μετρήσεις φαίνεται ότι ακολουθούν γραμμική πορεία, τότε χρησιμοποιείται το γραμμικό υπόδειγμα με σταθερό όρο:

$$A = \alpha + bC \quad (5)$$

του οποίου οι τιμές των παραμέτρων  $\alpha$ ,  $b$  εκτιμώνται με γραμμική παλινδρόμηση με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων:

$$a = \frac{(\sum A_i)(\sum C_i^2) - (\sum C_i)(\sum C_i A_i)}{n \sum C_i^2 - (\sum C_i)^2} \quad (6)$$

$$b = \frac{n \sum C_i A_i - (\sum C_i)(\sum A_i)}{n \sum C_i^2 - (\sum C_i)^2} \quad (7)$$

Αφού προσδιοριστούν οι τιμές των παραμέτρων  $\alpha$  και  $b$ , με τη βοήθεια της σχέσης (5) μπορεί να υπολογιστεί η άγνωστη συγκέντρωση  $C_x$  διαλύματος του οποίου μετρίεται η απορρόφηση  $A_x$ . Η εκτίμηση του σφάλματος  $S_{C_x}$  που διαπράττεται με τον υπολογισμό αυτό είναι εξαιρετικά πολύπλοκη, καθώς εδώ μετρίεται η εξαρτημένη μεταβλητή και υπολογίζεται η ανεξάρτητη, ακολουθείται δηλαδή πορεία αντίστροφη αυτής που υποδεικνύει η τυποποιημένη στατιστική ανάλυση. Στην περίπτωση αυτή, οι περισσότεροι αναλυτές χρησιμοποιούν τη σχέση:

$$S_{C_x} = \frac{S_{A/C}}{b} \left[ \frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(A_x - \bar{A})^2}{b^2 \sum (C_i - \bar{C})^2} \right]^{1/2} \quad (8)$$

όπου:

$n$  ο αριθμός των μετρήσεων απορρόφησης ή διαλυμάτων διαφορετικής γνωστής συγκέντρωσης (μια μέτρηση για κάθε διάλυμα)

$\bar{A}$  η μέση τιμή των  $n$  μετρήσεων απορρόφησης

$m$  ο αριθμός των μετρήσεων  $n$  δειγμάτων του ίδιου άγνωστου διαλύματος (μια μέτρηση για κάθε δείγμα)

$A_x$  η μέση τιμή των  $m$  μετρήσεων απορρόφησης

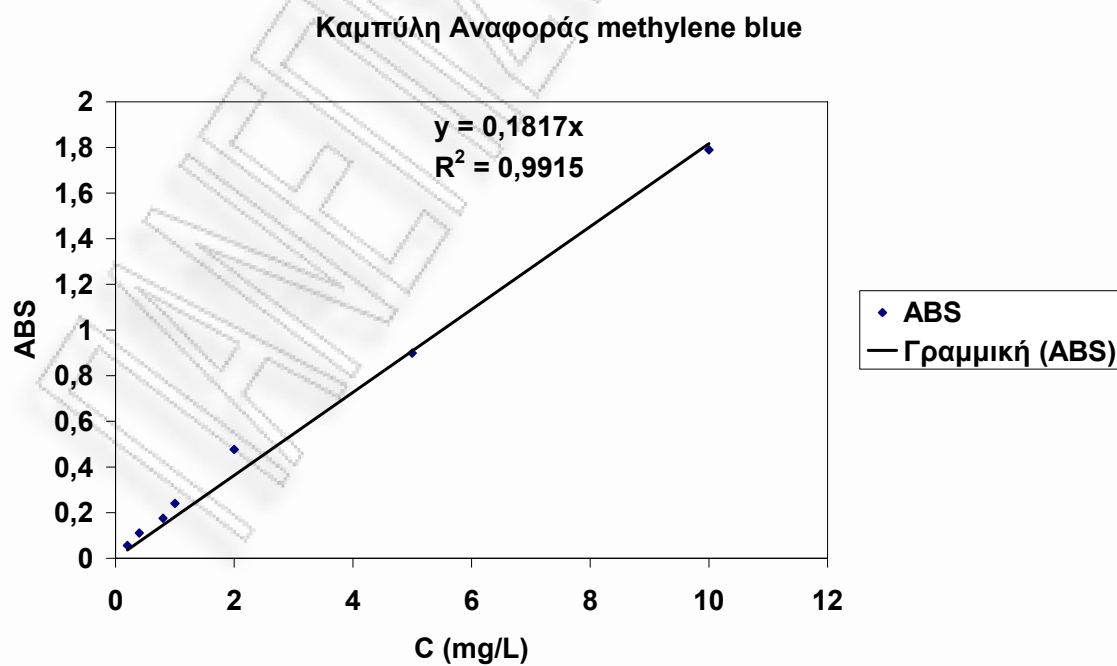
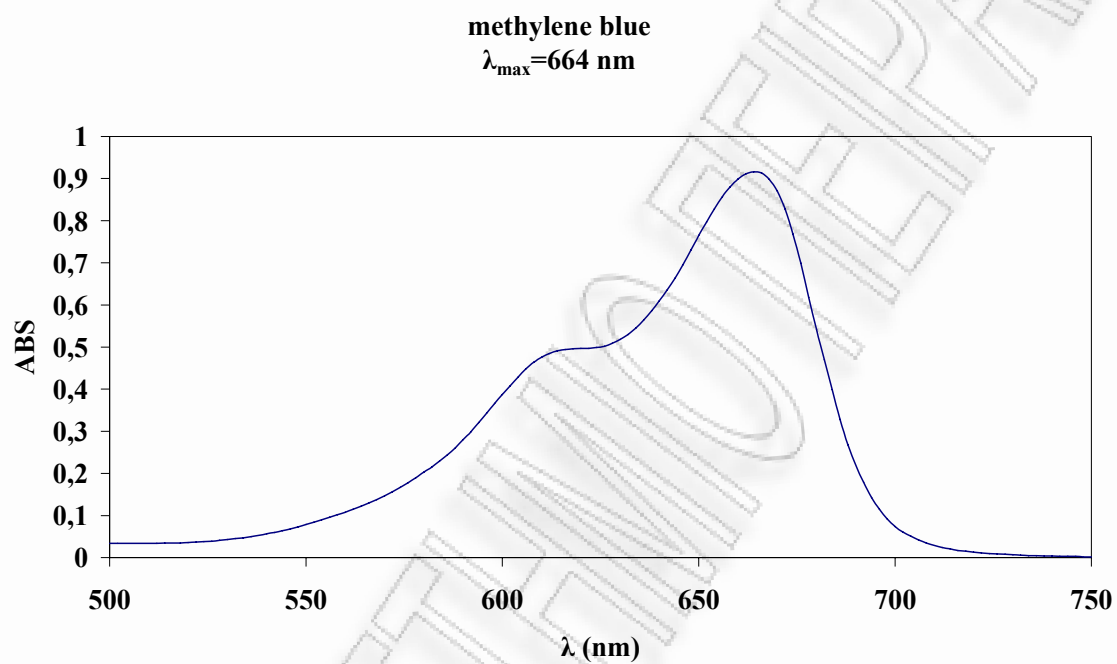
$S_{A/C}$  το σφάλμα της εκτίμησης της εξαρτημένης μεταβλητής πάνω στην ανεξάρτητη, το οποίο δίνεται από την έκφραση:

$$S_{A/C} = \left[ \frac{\sum (A_i - \hat{A}_i)^2}{n - 2} \right]^{1/2} \quad (9)$$

όπου:  $\hat{A}_i = \alpha + bC_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .



## 7.2. Καμπύλη αναφοράς χρωστικής ουσίας Μπλε του Μεθυλενίου



Καμπύλη αναφοράς χρωστικής ουσίας Μπλε του Μεθυλενίου.