

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ SDS

ΠΕΡΙΚΛΗΣ ΚΑΚΙΑΣ

ΠΡΟΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ

ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ ΒΑΣΙΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2018

© Περικλής Κάκιας

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν.5343/32 αρ. 202 παρ.2).

Εγκρίθηκε από τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής: Δρ. Βασίλης Μποντόζογλου
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Π.Θ.

Δεύτερος Εξεταστής: Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Π.Θ.

Τρίτος Εξεταστής: Δρ. Νικόλαος Πελεκάσης
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Π.Θ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Βασίλη Μποντόζογλου για την πολύτιμη συνδρομή και υποστήριξή του κατά τη διάρκεια της εργασίας μου. Ακόμα ευχαριστώ τα άλλα δύο μέλη της επιτροπής καθηγητές κ. Νικόλαο Πελεκάση και κ. Νικόλαο Ανδρίτσο που μελέτησαν την εργασία μου καθώς και για τις διορθώσεις που μου υπέδειξαν. Τέλος ευχαριστώ την οικογένεια μου και τους φίλους μου για τη συμπαράστασή τους.

Περικλής Κάκιας

ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	6
1.1 ΤΡΙΧΟΕΙΔΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	6
1.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	6
1.3 ΕΠΙΦΑΝΕΙΟΔΡΑΣΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ.....	10
1.4 ΜΙΚΥΛΛΙΑ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΦΥΣΑΛΙΔΑΣ.....	15
2.1 ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	15
2.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ.....	20
3.1 SODIUM DODECYL SULFATE (SDS).....	20
3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	21
3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	28
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	28
4.2 ΧΡΟΝΟΣ ΗΡΕΜΙΑΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ.....	30
4.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ CMC ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ NaCl.....	35
4.3 ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΦΥΣΑΛΙΔΑΣ...39	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	50
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	51
ΠΑΡΑΤΗΜΑ Β.....	59
ΠΑΡΑΤΗΜΑ Γ.....	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.....	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ SDS

MEASUREMENTS OF DYNAMIC SURFACE TENSION IN AQUEOUS SOLUTIONS OF SDS

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επιφανειακή τάση είναι μία σημαντική ιδιότητα των διεπιφανειών που καθορίζει συμπεριφορές όπως είναι το γεγονός ότι η επιφάνεια του υγρού συμπεριφέρεται σαν επιδερμίδα και επιτρέπει στα έντομα να περπατούν πάνω σε αυτήν και το πόσο εύκολα ή δύσκολα μπορεί να σχηματιστεί μια φυσαλίδα στο υγρό. Αυτή ακριβώς τη δεύτερη συμπεριφορά μελετάμε στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Πιο συγκεκριμένα μελετάμε την επίδραση που έχει μια συγκεκριμένη επιφανειοδραστική ουσία, δηλαδή ουσία που επηρεάζει την επιφανειακή τάση, στην επιφανειακή τάση φυσαλίδων αέρα όταν αυτή προστεθεί σε μίγμα απιονισμένου νερού και άλατος συναρτήσει κάποιων παραμέτρων. Από τη στιγμή που θα προσθέσουμε την ουσία στο διάλυμα η διάχυσή της από την κύρια μάζα του υγρού στη διεπιφάνεια γίνεται με πεπερασμένη ταχύτητα, με αποτέλεσμα η επιφανειακή τάση να μεταβάλλεται χρονικά. Λόγω αυτής ακριβώς της σχέσης της επιφανειακής τάσης με τον χρόνο και πιο συγκεκριμένα με τον χρόνο που απαιτείται για τον σχηματισμό της φυσαλίδας η επιφανειακή τάση που μελετάμε ονομάζεται δυναμική

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια σειρά μετρήσεων της δυναμικής επιφανειακής τάσης σε υδατικά διαλύματα SDS με τη χρήση της μεθόδου Μέγιστης Πίεσης Φυσαλίδας. Όλες οι μετρήσεις έγιναν με το τενσιόμετρο BPA-50 της Kruess και τα μίγματα που αποτέλεσαν αντικείμενο εξέτασης ήταν μίγματα απιονισμένου νερού και άλατος. Σε κάθε διάλυμα προσθέτονταν διαφορετικές δόσεις SDS ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκέντρωση, μέχρι να προσεγγιστεί η κρίσιμη συγκέντρωση μικυλλίων (critical micelle concentration ή CMC). Σκοπός των πειραμάτων αυτών είναι να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα σχετικά με το αν επηρεάζει τη δράση του SDS ο χρόνος ο οποίος αυτό βρίσκεται στο μίγμα, την προσέγγιση της τιμής της CMC των διαλυμάτων αυτών και πώς επηρεάζεται η τιμή αυτή από τη συγκέντρωση του NaCl και τη σχέση της τιμής της δυναμικής επιφανειακής τάσης με τον χρόνο γήρανσης της φυσαλίδας (surface age). Από τις μετρήσεις διαπιστώνεται ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης του SDS μειώνεται η επιφανειακή τάση και ότι οι τιμές που παίρνουμε για μικρούς χρόνους διαφέρουν κατά πολύ από αυτές που έχουμε για μεγάλους χρόνους, αφού απαιτείται χρόνος για τη διάχυση του SDS από τον κύριο όγκο στη

διεπιφάνεια της φυσαλίδας. Όπως αποδεικνύεται στη συνέχεια ο χρόνος δεν επιδρά στη δράση του SDS και η CMC για τα 10mM NaCl είναι 5mM SDS και για τα 100mM NaCl είναι 1mM SDS. Συμπεραίνουμε έτσι ότι η παρουσία NaCl συμβάλλει στην πτώση της CMC. Τέλος η σχέση μεταξύ του χρόνου γήρανσης και της δυναμικής επιφανειακής τάσης φαίνεται ότι είναι $\sigma(t) = \alpha \cdot t^{-\beta}$ με το β να αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του SDS.

ABSTRACT

Surface tension is an important characteristic of interfaces that defines behaviors such as the fact the surface of a liquid behaves like skin and allows an insect to stand on it and the difficulty with which a bubble can be formed. In fact it is that very second behavior that we examine in this essay. More specifically we examine the effect of a certain surfactant, a compound that affects surface tension, at the surface tension of air bubbles when added to an aqueous solution of salt in comparison to specific parameters. From the moment that we add the surfactant to the solution it takes a certain amount of time for it to disperse from the main bulk to the interface, that is why the surface tension changes with time. Because of that relation of surface tension and time and more specifically the time required for the formation of the bubble we call that surface tension dynamic.

In this essay takes place a series of measurements of the dynamic surface tension in aqueous solutions of SDS using the Maximum Bubble Pressure method. All of the measurements were conducted with the tensiometer BPA-50 manufactured by Krüss and the measured solutions were solutions of non ionic water and salt. In each solution were added different doses of SDS so that the desirable concentration would be achieved, until critical micelle concentration or CMC would be reached. The purpose of these experiments is the extraction of some conclusions concerning whether the action of SDS is affected by the time that the substance remains at the solution, the estimation of the value of CMC and how it is affected by the concentration of NaCl and the connection between the value of the dynamic surface tension and the surface age. From the first results it is made clear that increase at the concentration of SDS brings decrease at the value of surface tension and that the values matching small times differ quite much from those of bigger times since time is demanded for the dispersion of SDS from the main volume to the bubble interface. As it is being proven later on the essay time does not influence the action of SDS and the CMC for 10mM NaCl is 5mM SDS and for the 100mM is 1mM SDS. We conclude from that that the presence of NaCl contributes at the decrease of CMC. Finally the relationship between surface age and dynamic surface tension seems to be $\sigma(t) = \alpha \cdot t^{-\beta}$, which β increases while SDS concentration increases.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

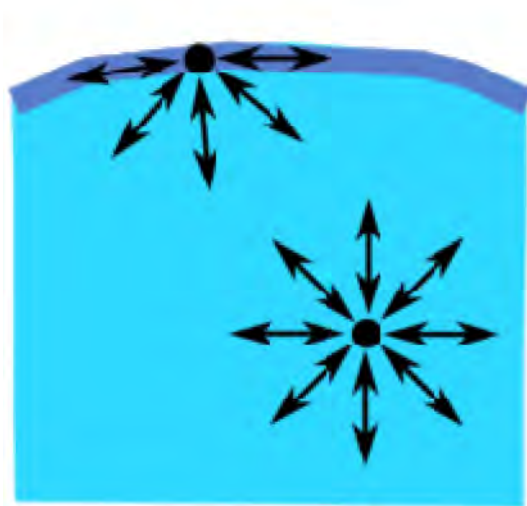
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1 ΤΡΙΧΟΕΙΔΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Με τον όρο τριχοειδή φαινόμενα αναφερόμαστε σε φαινόμενα που σχετίζονται με διεπιφάνειες που είναι αρκετά κινητικές έτσι ώστε να αποκτήσουν κάποια στιγμή μια μορφή ισορροπίας. Από τα πιο κοινά παραδείγματα αποτελούν οι επιφάνειες (meniscuses), τα λεπτά στρώματα (films) και οι σταγόνες που σχηματίζουν τα υγρά σε επαφή με τον αέρα ή με οποιοδήποτε άλλο ρευστό. Καθώς τα τριχοειδή φαινόμενα έχουν να κάνουν με παραμέτρους ισορροπίας, απασχολούν τη θερμοδυναμική περισσότερο σε γενικό πλαίσιο η μακροσκοπική και στατιστική συμπεριφορά των διεπιφανειών παρά οι λεπτομέρειες της μοριακής δομής τους (Physical Chemistry of Surfaces, Sixth Edition, A.W.Adamson and A.P.Gast). Στα πλαίσια τις συγκεκριμένης εργασίας έχει μελετηθεί πώς επιδρά στη συμπεριφορά των φαινομένων αυτών ο χρόνος και η συγκέντρωση της επιφανειοδραστικής ουσίας.

1.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Με τον όρο επιφανειακή τάση χαρακτηρίζεται μία από τις ιδιότητες της ύλης η οποία και είναι δύναμη που παρατηρείται ως φυσικό φαινόμενο στην επιφάνεια των υγρών. Τα μόρια στην επιφάνεια των υγρών φέρονται ως μη δεκτικά εξωτερικών δυνάμεων, από υπερκείμενα μόρια, με συνέπεια να έλκονται μεταξύ τους και προς το εσωτερικό της υγρής μάζας, από δυνάμεις συνοχής. Συνέπεια αυτού είναι να δημιουργείται μια συνισταμένη δύναμη, τάση, που ονομάζεται *επιφανειακή τάση*. Λαμβάνοντας υπόψη ότι για ν' αυξηθεί η επιφάνεια ενός υγρού απαιτείται ενέργεια, διαφαίνεται ότι το πηλίκο της ενέργειας αυτής ανά μονάδα επιφάνειας είναι τελικά αυτό που ονομάζεται επιφανειακή τάση. Έτσι εξ αυτής ερμηνεύεται και η αιτία (το φαινόμενο) που η επιφάνεια του νερού συμπεριφέρεται ως ελαστική επιδερμίδα, έτσι ώστε να επιτρέπει στα έντομα να περπατούν επ' αυτής, καθώς επίσης και εκείνη της σφαιρικότητας που λαμβάνουν οι σταγόνες των υγρών, ως ελάχιστη δυνατή επιφάνεια. Μια γενική απεικόνιση αυτών των δυνάμεων συνοχής σε κάποιο μόριο ενός τυχαίου υγρού, καθώς και του φαινομένου της επιφανειακής τάσης δίδεται στην εικόνα 1.



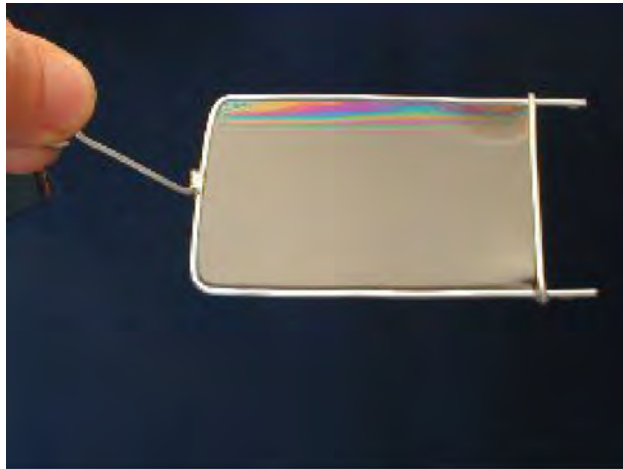
Εικόνα 1. 1 Απεικόνιση των δυνάμεων συνοχής και του φαινομένου της επιφανειακής τάσης

Αν και όπως προαναφέρθηκε η επιφανειακή τάση είναι ελεύθερη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας, μπορεί κάποιος εξίσου να τη θεωρήσει δύναμη ανά μονάδα μήκους. Ακολουθούν δύο παραδείγματα προς διασαφήνιση του συλλογισμού αυτού.

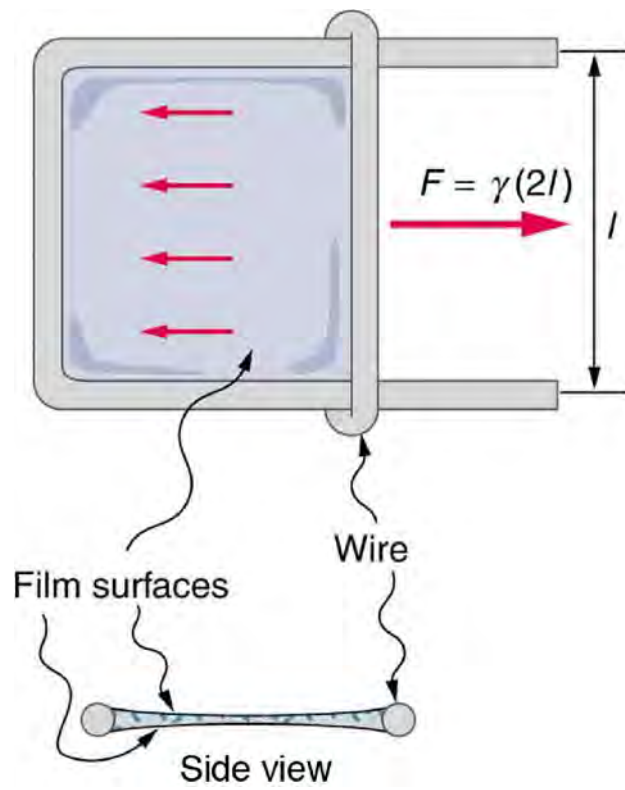
Αρχικά ας θεωρήσουμε ένα πολύ λεπτό στρώμα (film) σαπουνιού απλωμένο σε ένα πλαίσιο από σύρματα η μία πλευρά του οποίου είναι κινητή όπως αυτό της εικόνας 2. Οι δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό φαίνονται στην εικόνα 3. Πειραματικά παρατηρεί κάποιος ότι μία δύναμη δρα στο κινητό άκρο σε αντίθετη διεύθυνση από το βέλος της εικόνας 3. Έστω γ η δύναμη ανά μονάδα μήκους, τότε το παραγόμενο έργο για την επέκταση του κινητού άκρου κατά μία απόσταση dx είναι:

$$\text{Έργο} = \gamma * l * dx = \gamma * dA$$

Όπου $dA = l * dx$ είναι η μεταβολή της επιφάνειας. Στη δεύτερη μορφή της παραπάνω εξίσωσης το γ εμφανίζεται ως ενέργεια ανά επιφάνεια. Κατάλληλες μονάδες μέτρησης μπορούν να είναι τα ergs ανά κυβικό εκατοστό (ergs/cm^2) ή οι δύνες ανά εκατοστό (dyn/cm), αυτές οι μονάδες διαστασιακά είναι ίδιες. Στο S.I. οι αντίστοιχες μονάδες μέτρησης είναι τα Joules ανά κυβικό μέτρο (Joules/m^2) ή τα Newtons ανά μέτρο (N/m). Αξίζει να σημειωθεί ότι επιφανειακές τάσεις εκφρασμένες σε dyn/cm και mN/m έχουν την ίδια αριθμητική τιμή.



Εικόνα 1. 2



Εικόνα 1. 3

Το δεύτερο παράδειγμα που θα παραθέσω αφορά μία φυσαλίδα σαπουνιού. Σύμφωνα με την εργασία των Adamson και Gast, Physical Chemistry of Surfaces, επιλέγουμε να σκεφτόμαστε το γ ως ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας. Σε απουσία βαρυτικών ή άλλων πεδίων η φυσαλίδα είναι απόλυτα σφαιρική καθώς αυτή η μορφή έχει την ελάχιστη επιφάνεια για έναν κλειστό όγκο. Μία φυσαλίδα με ακτίνα r έχει συνολική ελεύθερη ενέργεια επιφάνειας $4\pi r^2\gamma$, αν η ακτίνα της μειωθεί κατά dr τότε η ελεύθερη ενέργεια επιφάνειας θα μειωθεί κατά $8\pi r\gamma dr$. Καθώς η συρρίκνωση αυτή μειώνει την ενέργεια επιφάνειας, η τάση για την μεταβολή αυτή πρέπει να εξισορροπηθεί από μία διαφορά πίεσης Δp πάνω στη λεπτή διεπιφάνεια της φυσαλίδας τέτοια ώστε το έργο ενάντια αυτής της διαφοράς πίεσης να είναι ακριβώς ίσο με την μείωση της ελεύθερης ενέργειας επιφάνειας. Έτσι έχουμε:

$$\text{Έργο} = \Delta p \cdot 4\pi(r^2) \cdot dr = 8\pi r\gamma \cdot dr$$

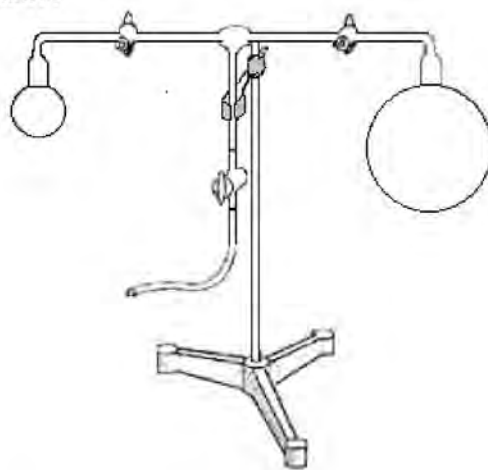
Απλοποιώντας την παραπάνω σχέση έχουμε:

$$\Delta p = 2\gamma/r$$

Καταλήγει έτσι κάποιος στο συμπέρασμα ότι όσο μικρότερη είναι η φυσαλίδα τόσο μεγαλύτερη είναι η πίεση του αέρα στο εσωτερικό της σε σχέση με το εξωτερικό της.

Το προηγούμενο παράδειγμα μπορεί εύκολα να αποδειχθεί πειραματικά τοποθετώντας δύο φούσκες σε μία κοινή σύνδεση αέρα όπως αυτή της εικόνας 4. Η διάταξη είναι ασταθής και η μικρότερη φούσκα θα μικραίνει ενώ η μεγαλύτερη θα μεγαλώνει. Η συρρίκνωση αυτή δε θα συνεχιστεί επ' αορίστου, σταματάει όταν η ακτίνα της μικρότερης φούσκας φτάσει την ακτίνα του σωλήνα. Η ακτίνα καμπυλότητάς της θα αυξάνεται καθώς συρρικνώνεται μέχρι το τελικό στάδιο όπου το μηχανικό ισοζύγιο ικανοποιείται και οι δύο ακτίνες καμπυλότητας είναι ίσες (Physical Chemistry of Surfaces, Sixth Edition, A.W. Adamson and A.P. Gast).

19.3.11

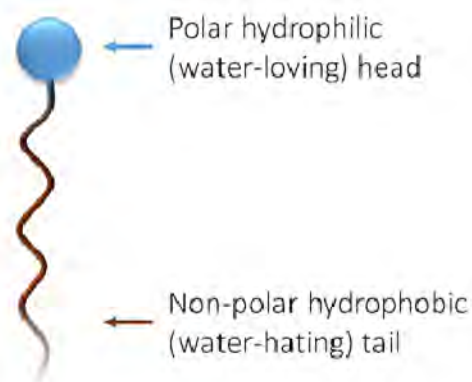


Εικόνα 1. 4

Τα παραδείγματα που παρατέθηκαν εξυπηρετούν στο να κατανοήσει κάποιος ότι τα ισοζύγια επιφανειών μπορεί να τα χειριστεί κάποιος είτε με βάση τη μηχανική έννοια της επιφανειακής τάσης είτε με την ισοδύναμή της μαθηματική έννοια της ελεύθερης ενέργειας επιφάνειας. Αυτή η μαθηματική ισοδυναμία ισχύει για όλα τα τριχοειδή φαινόμενα, έτσι η απόφαση για το ποια έννοια από τις δύο είναι πιο ουσιαστική είναι θέμα προσωπικής προτίμησης. Ο όρος επιφανειακή τάση είναι ο αρχαιότερος και έχει τις ρίζες του σε πρώιμες ιδέες σύμφωνα με τις οποίες η επιφάνεια ενός υγρού έχει ένα είδος συσταλτού δέρματος. Ο όρος ελεύθερη ενέργεια επιφάνειας υπονοεί ότι απαιτείται μόνο έργο για να οδηγηθεί ένα μόριο από το εσωτερικό της φάσης στην επιφάνεια. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα γίνεται χρήση του όρου της επιφανειακής τάσης.

1.3 ΕΠΙΦΑΝΕΙΟΔΡΑΣΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Επιφανειοδραστικές ουσίες ονομάζονται χημικές ενώσεις που μειώνουν την επιφανειακή τάση μεταξύ δύο υγρών, μεταξύ ενός υγρού και ενός αερίου ή μεταξύ ενός υγρού και ενός στερεού. Οι επιφανειοδραστικές ουσίες είναι συνήθως οργανικές χημικές ενώσεις, οι οποίες είναι αμφιφιλικές, δηλαδή έχουν και υδρόφοβα και υδρόφιλα μέρη. Πιο συγκεκριμένα οι "ουρές" των μορίων τους είναι υδρόφοβες και τα "κεφάλια" τους υδρόφοβα, εικόνα 5. Επομένως μία επιφανειοδραστική ουσία περιέχει ένα μέρος που μπορεί να διαλυθεί στο νερό και ένα μέρος που δεν μπορεί να διαλυθεί στο νερό. Οι ουσίες αυτές διαχέονται στο νερό και προσροφώνται στη διεπιφάνεια μεταξύ νερού και αέρα ή στη διεπιφάνεια μεταξύ νερού και ελαίου στην περίπτωση που έχουμε νερό αναμεμιγμένο με λάδι. Η υδρόφοβη ουρά εκτείνεται έξω από τον όγκο της φάσης του νερού στον αέρα ή στη φάση του ελαίου, ενώ η υδρόφιλη κεφαλή παραμένει στη φάση του νερού.



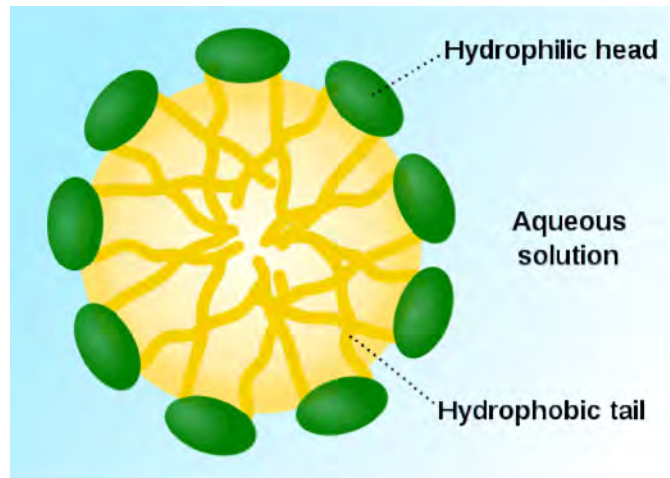
Εικόνα 1. 5

Στον όγκο της υδάτινης φάσης οι επιφανειοδραστικές ουσίες δημιουργούν συσσωματώματα, όπως είναι τα μικύλλια, όπου οι υδρόφοβες ουρές σχηματίζουν τον πυρήνα του συσσωματώματος και οι υδρόφιλες κεφαλές βρίσκονται σε επαφή με το νερό που νερό που τα περιβάλλει. Μπορούν να δημιουργηθούν και άλλοι τύποι συσσωματωμάτων όπως σφαιρικά ή κυλινδρικά μικύλλια ή διστρωματικά λιπίδια. Το σχήμα του συσσωματώματος εξαρτάται από τη χημική δομή της επιφανειοδραστικής ουσίας, πιο συγκεκριμένα από την ισορροπία μεγέθους μεταξύ της υδρόφιλης κεφαλής και της υδρόφοβης ουράς. Ένα μέτρο αυτής της ισορροπίας είναι το λεγόμενο HLB ή Hydrophilic-Lipophilic Balance. Η μείωση της επιφανειακής τάσης που επιφέρουν οι επιφανειοδραστικές ουσίες οφείλεται στο γεγονός ότι προσροφώνται στη διεπιφάνεια υγρού-αέρα.

Τέλος η δυναμική της προσρόφησης των επιφανειοδραστικών ουσιών έχει τεράστια σημασία για πρακτικές εφαρμογές όπως είναι η διαδικασία σαπουνοποίησης, η διαδικασία γαλακτωματοποίησης και διαδικασίες επικάλυψης, όπου σταγόνες ή φυσαλίδες παράγονται με πολύ γρήγορο ρυθμό και πρέπει να σταθεροποιηθούν. Η δυναμική της προσρόφησης εξαρτάται από τον συντελεστή διάχυσης της επιφανειοδραστικής ουσίας, καθώς δημιουργείται η διεπιφάνεια η προσρόφηση περιορίζεται από τη διάχυση της ουσίας σε αυτήν. Είναι πιθανό να υπάρχει κάποιες φορές ένα ενεργειακό φράγμα στην προσρόφηση ή την εκρόφηση της επιφανειοδραστικής ουσίας, σε αυτή την περίπτωση λέμε ότι η δυναμική της προσρόφησης/εκρόφησης είναι κινητικά περιορισμένη. Τέτοιου είδους ενεργειακά φράγματα μπορούν να υφίστανται εξαιτίας κάποιου είδους στερεοχημικής ή ηλεκτροστατικής απώθησης. Η ρεολογία της επιφάνειας που σχηματίζουν οι επιφανειοδραστικές ουσίες, συμπεριλαμβανομένων της ελαστικότητας και του ιξώδους του στρώματος, παίζουν σημαντικό ρόλο στη σταθερότητα των σαπουνιών και των γαλακτωμάτων.

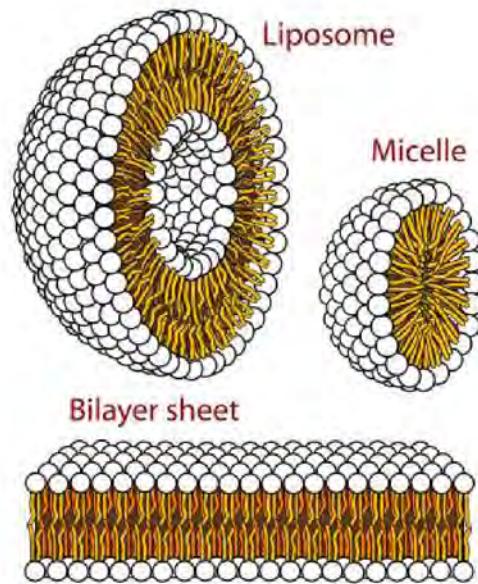
1.4 ΜΙΚΥΛΛΙΑ

Το μικύλλιο (micelle) στη χημεία, είναι σωματίδιο μεγέθους κολλοειδούς που σχηματίζεται συνήθως στο νερό από τη σύζευξη μορίων ή ιόντων, τα οποία έχουν ένα υδρόφιλο και ένα υδρόφοβο άκρο. Τα μικύλλια σε υδατικά διαλύματα έχουν περίπου σφαιρικό σχήμα με τα υδρόφοβα άκρα (ουρές) στο κέντρο του μικυλλίου και τα υδρόφιλα άκρα (κεφαλές) να περιβάλλουν το μικύλλιο (στη περιφέρεια της σχηματιζόμενης σφαίρας), αυτά ονομάζονται μικύλλια κανονικής φάσης. Υπάρχουν και τα αντίστροφα μικύλλια, τα οποία σχηματίζονται σε μη υδατικούς διαλύτες, με τα υδρόφιλα άκρα στο κέντρο. Μια απεικόνιση ενός σφαιρικού μικυλλίου από φωσφολιπίδια σε υδατικό διάλυμα δίνεται στην εικόνα 6.



Εικόνα 1. 6

Άλλες φάσεις περιλαμβάνουν σχήματα όπως ελλειψοειδή, κυλινδρικά ή διπλοστιβάδες, εικόνα 7.



Εικόνα 1.1 Τομή από δομές φωσφολιπιδίων. Παρουσιάζονται ένα λιπόσωμα, ένα μικύλλιο και ένα φύλλο διπλωστιβάδας (<https://en.wikipedia.org/wiki/Micelle>)

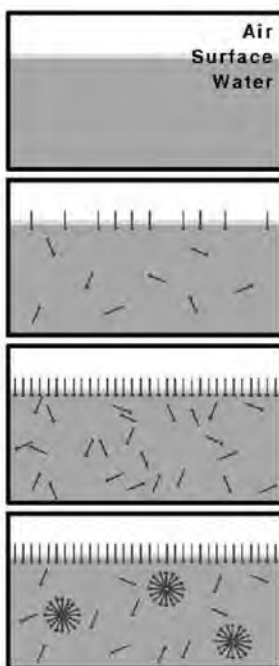
Το σχήμα και το μέγεθος του μικυλλίου είναι συνδυασμός της μοριακής γεωμετρίας των επιφανειοδραστικών μορίων του και των συνθηκών του διαλύτη, όπως η συγκέντρωση επιφανειοδραστικού, η θερμοκρασία, το pH και η ιοντική ισχύς. Η διαδικασία του

σχηματισμού μικυλλίων αποτελεί μέρος της συμπεριφοράς της φάσης πολλών λιπιδίων, σύμφωνα με τον πολυμορφισμό τους.

Ένα κολλοειδές στο οποίο η διεσπαρμένη φάση αποτελείται από μικύλλια, ονομάζεται κολλοειδής σύζευξη, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το σαπούνι στο νερό. Όπου αν έχουμε ρύπο σε κάποιο ύφασμα, ιόντα σαπουνιού εγκλωβίζουν μόρια ρύπου στα υδρόφοβα άκρα τους, σχηματίζοντας ένα κολλοειδές, το οποίο ξεπλένεται εύκολα χάρη στα υδρόφιλα άκρα του.

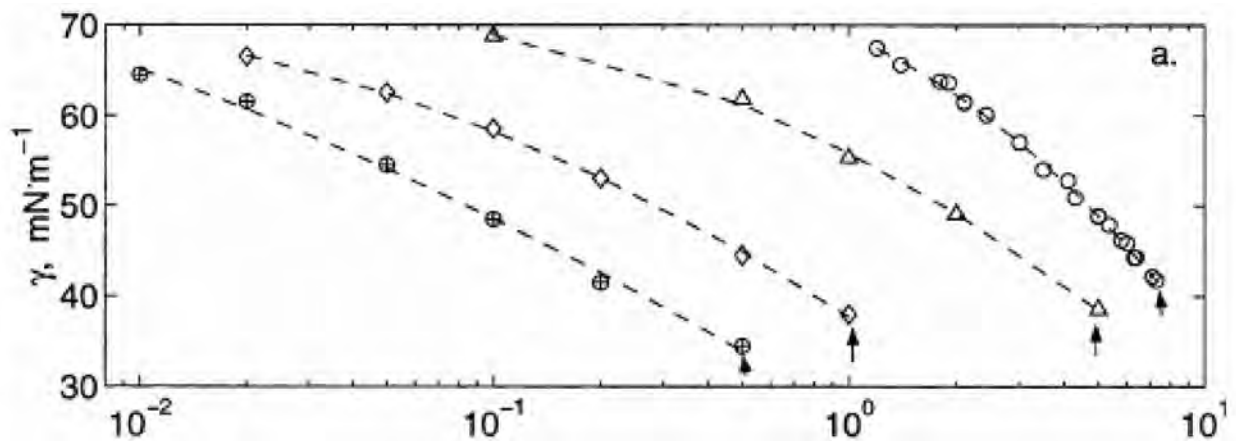
Μικύλλια σχηματίζονται μόνο όταν η συγκέντρωση της επιφανειοδραστικής ουσίας ξεπεράσει την κρίσιμη συγκέντρωση μικυλλίων (critical micelle concentration ή CMC) και η θερμοκρασία του συστήματος είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη θερμοκρασία μικυλλίων ή θερμοκρασία Kraft.

Η CMC είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό για μία επιφανειοδραστική ουσία. Πριν η επιφανειακή τάση φτάσει την τιμή της CMC, μεταβάλλεται ισχυρά με την κάθε μεταβολή της συγκέντρωσης της ουσίας, αφού όμως επιτευχθεί η CMC η επιφανειακή τάση παραμένει σχετικά σταθερή ή μεταβάλλεται με χαμηλότερη κλίση. Η τιμή της CMC για ένα συγκεκριμένο μέσο διασποράς εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την πίεση και κάποιες φορές κατά πολύ από την παρουσία ηλεκτρολυτών και άλλων ουσιών που ενεργούν στην επιφάνεια (https://en.wikipedia.org/wiki/Critical_micelle_concentration). Στην εικόνα 8 από την κορυφή στον πάτο έχουμε αυξανόμενη συγκέντρωση επιφανειοδραστικού σε νερό, σχηματίζοντας αργά ένα στρώμα στην επιφάνεια και τελικά σχηματίζονται μικκύλια όταν φτάσουμε ή ξεπεράσουμε την CMC. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ύπαρξη μικυλλίων δεν αποκλείει την ύπαρξη ανεξάρτητων μορίων επιφανειοδραστικού στο διάλυμα.



Εικόνα 1.2

Μάλιστα σε ότι αφορά την CMC ενδεικτικά παραθέτω ως παράδειγμα κάποια από τα αποτελέσματα της εργασίας *Adsorption and surface tension of ionic surfactants at the air-water interface: review and evaluation of equilibrium models* των A.J.Prosser και E.I.Franses, η οποία χρησιμοποιήθηκε ως βάση των πειραμάτων που ακολουθούν όπως περιγράφω σε επόμενα κεφάλαια. Σύμφωνα με την παραπάνω εργασία η CMC της επιφανειοδραστικής ουσίας SDS για διαλύματα απιονισμένου νερού με NaCl συγκέντρωσης NaCl 0mM, 10mM, 100mM και 500mM είναι αντίστοιχα 8mM SDS, 5mM SDS, 1mM SDS και 0.5mM SDS εικόνα 1.9. Παρατηρώντας την εικόνα 1.9 μπορούμε να εκφράσουμε την άποψη ότι για μικρές συγκεντρώσεις NaCl υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στην CMC και από ένα σημείο και μετά που η συγκέντρωση του NaCl γίνεται πολύ μεγάλη, 100mM – 500mM, οι διαφοροποιήσεις είναι κατά πολύ μικρότερες.



Εικόνα 1. 9 Διάγραμμα επιφανειακής τάσης (mN/m) - συγκέντρωσης SDS (mM). Οι καμπύλες από δεξιά προς τα αριστερά είναι για 0mM, 10mM, 100mM και 500mM NaCl.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΦΥΣΑΛΙΔΑΣ

(MAXIMUM BUBBLE PRESSURE METHOD)

2.1 ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

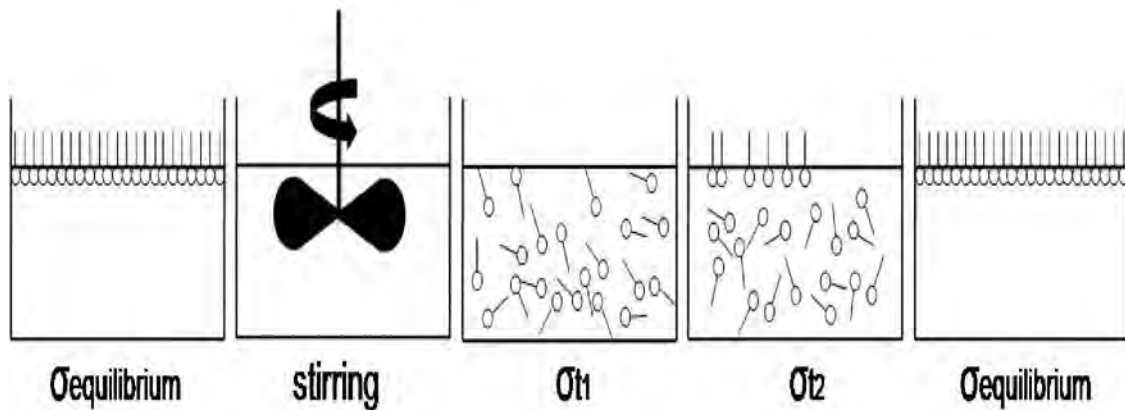
Όταν ένα υγρό δημιουργεί μία διεπιφάνεια με μία αέρια φάση τότε ένα οποιοδήποτε μόριο στο σύνορο αυτό έχει αρκετά διαφορετικές ιδιότητες από τα υπόλοιπα μόρια που βρίσκονται στον κύριο όγκο του υγρού λόγω της ανισορροπίας που επικρατεί στις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των γειτονικών μορίων. Όσο επικρατεί ισορροπία τα μόρια του κυρίως όγκου του υγρού βρίσκονται υπό την επήρεια ισορροπημένων ελκτικών δυνάμεων καθώς τα προσκείμενα σε αυτά μόρια είναι ομοιόμορφα καταταμημένα.

Ωστόσο σχετικά λιγότερα μόρια της αέριας φάσης πάνω από την διεπιφάνεια εν συγκρίσει με αυτά της υγρής φάσης απαρτίζουν το σύνολο των δυνάμεων που ασκούνται στα επιφανειακά μόρια που βρίσκονται απευθείας κάτω από την επιφάνεια του υγρού. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα επιφανειακά αυτά μόρια να έχουν την τάση να ελαχιστοποιούν την ίδια τους την επιφάνεια. Τέτοιου είδους ανισότητα μοριακών δυνάμεων επιφέρει κινητικότητα μορίων από το εσωτερικό του υγρού στην επιφάνεια, κάτι που σημαίνει ότι τα μόρια της επιφάνειας έχουν επιπλέον ενέργεια την οποία καλούμε ελεύθερη ενέργεια επιφάνειας ή δυνητική ενέργεια και έτσι μία ενέργεια που δρα σε μία μειωμένη μονάδα επιφάνειας χαρακτηρίζεται επιφανειακή τάση.

Έχοντας το σκεπτικό αυτό κατά νου μπορεί κανείς να ερμηνεύσει τα σχετικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα σε επιφάνειες ή διεπιφάνειες και έτσι έχουν δημιουργηθεί πολλές ανάλογες μέθοδοι για τον υπολογισμό της επιφανειακής τάσης. Ενδεικτικά και ονομαστικά κάποιες από αυτές τις μεθόδους είναι η μέθοδος του δαχτυλιδιού του Du Nouy και η μέθοδος ολίσθησης του Wilhelmy, οι οποίες βασίζονται στον διαχωρισμό ενός στερεού αντικειμένου από την επιφάνεια ενός υγρού, η μέθοδος Pendant drop και η μέθοδος Sessile drop οι οποίες στηρίζονται στην παραμόρφωση του σφαιρικού σχήματος μιας σταγόνας υγρού.

Αν και αυτές οι μέθοδοι είναι σχετικά απλές και συχνά χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της στατικής επιφανειακής τάσης, τα δεδομένα αλλάζουν όταν στο υγρό προστεθεί κάποιο είδος ακαθαρσίας, αφού πλέον πρέπει να χρησιμοποιηθεί το δυναμικό ισοζύγιο λόγω του ότι στην περίπτωση αυτή απαιτείται περισσότερος χρόνος για τη δημιουργία μιας πλήρους διαμορφωμένης επιφάνειας και έτσι είναι πολύ πιο δύσκολο να επιτευχθεί στατική ισορροπία. Η πιο συνηθισμένη ακαθαρσία που μπορεί να προκαλέσει

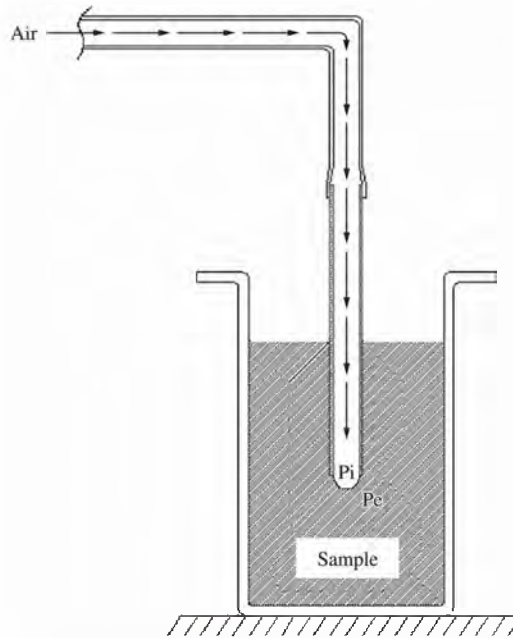
την ανάγκη για μέτρηση δυναμικής επιφανειακής τάσης είναι μια επιφανειοδραστική ουσία η οποία όπως έχει γίνει ήδη αναφορά αποτελείται από μόρια που έχουν μία υδρόφιλη κεφαλή και μία υδρόφοβη ουρά. Εξαιτίας αυτής της ιδιαίτερης μοριακής δομής τα επιφανειοδραστικά μόρια συσσωρεύονται στη επιφάνεια επαφής υγρού-αερίου μέχρι κάποια εξωτερική δύναμη να τα σκορπίσει ή η επιφάνεια να καλυφθεί πλήρως και να μην χωράει άλλα μόρια. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας η επιφανειακή τάση μειώνεται και εν τέλει πλησιάζει την επιφανειακή τάση ισορροπίας $\sigma_{\text{equilibrium}}$.



Εικόνα 2. 1 Μετακίνηση των επιφανειοδραστικών μορίων και αλλαγές στην επιφανειακή τάση (https://en.wikipedia.org/wiki/Maximum_bubble_pressure_method)

2.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της επιφανειακής τάσης είναι η μέθοδος μέγιστης πίεσης φυσαλίδας (maximum bubble pressure method). Η διαδικασία, όπως φαίνεται και στη διάταξη της εικόνας 2.1, περιλαμβάνει την αργή εμφύσηση φυσαλίδων ενός αδρανούς αερίου στο υγρό που μας ενδιαφέρει μέσω ενός λεπτού τριχοειδούς σωλήνα η μία άκρη του οποίου προεξέχει κάτω από την επιφάνεια του εν λόγω υγρού.



Εικόνα 2. 2 Γενική διάταξη για την μέθοδο μέγιστης πίεσης φυσαλίδας

Ακόμα πρέπει να γίνει αναφορά στο γεγονός ότι για τους τριχοειδείς αυτούς σωλήνες, η ακολουθία των σχημάτων που λαμβάνει η φυσαλίδα καθώς μεγαλώνει είναι τέτοια ώστε ενώ πάντα αποτελεί τμήμα σφαίρας, η ακτίνα περνά από την ελάχιστη τιμή της όταν είναι ημισφαιρική. Σε αυτό το σημείο η ακτίνα της φυσαλίδας έχει την ίδια ακτίνα με την ακτίνα του σωλήνα και αφού η ακτίνα βρίσκεται στο ελάχιστο, η διαφορά της πίεσης ΔP μεταξύ των δύο πλευρών της διεπιφάνειας γίνεται σε αυτό το σημείο είναι μέγιστη. Η τιμή της ΔP όπως έχει προαναφερθεί δίνεται από τη σχέση: $\Delta P = 2 \cdot \gamma / r$, όπου r είναι η ακτίνα του σωλήνα. Αν το υγρό βρέχει το υλικό του σωλήνα η φυσαλίδα θα σχηματιστεί από το εσωτερικό τοίχωμα του σωλήνα και η ακτίνα r θα είναι η εσωτερική ακτίνα του σωλήνα. Στην περίπτωση αυτή μπορεί κάποιος πειραματικά να μετρήσει τη μέγιστη πίεση του αερίου στον σωλήνα καθώς οι φυσαλίδες δεν θα μπορούν να μεγαλώσουν και να αποσπαστούν. Αν τώρα υποθέσουμε ότι ο σωλήνας είναι βυθισμένος στο υγρό κατά ένα τυχαίο βάθος t , τότε η μέγιστη μεταβολή πίεσης Δp_{max} δίνεται από $(P_{max} - P_t)$, όπου P_{max} είναι η μέγιστη μετρημένη πίεση και P_t είναι η πίεση που αντιστοιχεί στην υδροστατική κεφαλή t .

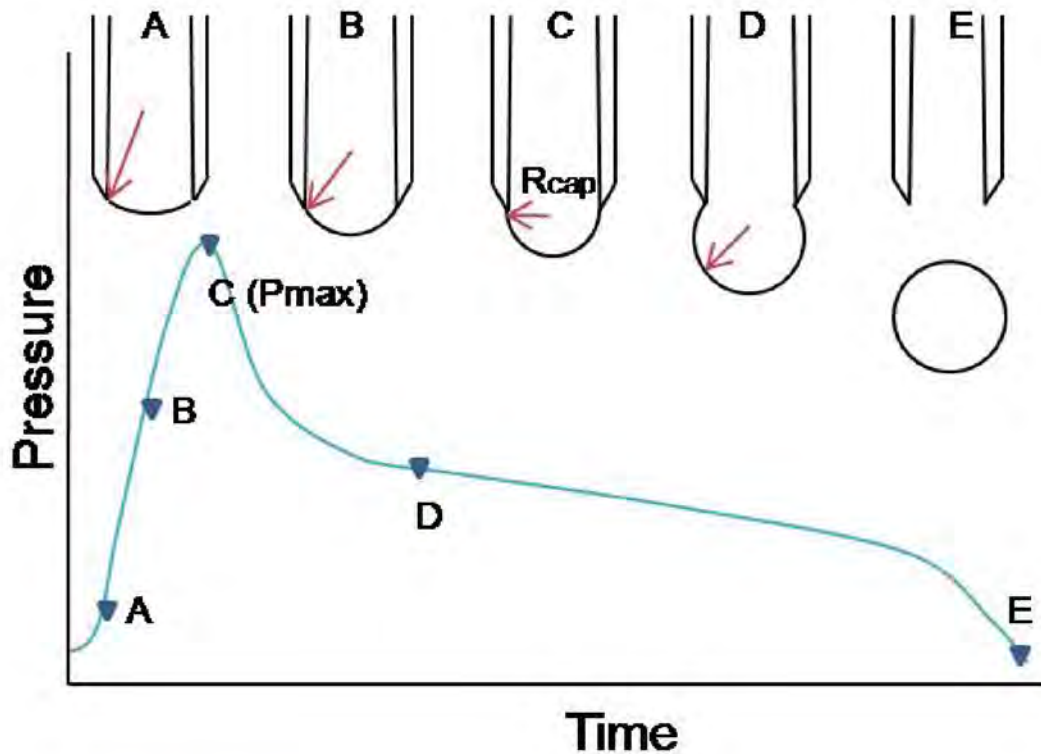
Όταν ο σωλήνας είναι βυθισμένος στο υγρό σε βάθος h τότε η υδροστατική πίεση δίνεται από τη σχέση:

$$P_{max} = 2 \cdot \gamma / r + \rho \cdot g \cdot h$$

Όπου ρ είναι η πυκνότητα και g η σταθερά της βαρύτητας. Ο χρόνος από τη στιγμή δημιουργίας της φυσαλίδας μέχρι τη στιγμή που αποκτά μέγιστη πίεση ονομάζεται χρόνος

ζωής (lifetime) και τον συμβολίζουμε με t_l . Το υπόλοιπο του χρόνου μέχρι να αποκολληθεί η φυσαλίδα από τον σωλήνα λέγεται νεκρός χρόνος (deadtime) και συμβολίζεται με t_d . Αν αθροίσουμε αυτούς τους δύο χρόνους έχουμε τον χρόνο t_b , ο οποίος είναι ο συνολικός χρόνος ανάπτυξης της φυσαλίδας.

Προς καλύτερη κατανόηση των παραπάνω δίδεται η ακόλουθη σχηματική απεικόνιση (https://en.wikipedia.org/wiki/Maximum_bubble_pressure_method):



Εικόνα 2. 3 Αλλαγή της πίεσης κατά την διάρκεια σχηματισμού της φυσαλίδας συναρτήσει του χρόνου

A,B: Μία φυσαλίδα εμφανίζεται στην άκρη του τριχοειδούς σωλήνα, καθώς το μέγεθος της αυξάνεται η ακτίνα καμπυλότητάς της μειώνεται.

C: Τη στιγμή που η φυσαλίδα αποκτά μέγιστη πίεση, η φυσαλίδα έχει ένα απόλυτα ημισφαιρικό σχήμα η ακτίνα του οποίου ισούται με την ακτίνα του τριχοειδούς σωλήνα, που συμβολίζεται R_{cap} . Η επιφανειακή τάση μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση Young-Laplace στην κατάλληλη μορφή της για πλήρως σφαιρικές φυσαλίδες σε υγρό:

$$\sigma = (\Delta P_{max} * R_{cap})/2$$

D,E: Μετά τη μέγιστη πίεση η ακτίνα της φυσαλίδας συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι να αποκολληθεί πλήρως από τον σωλήνα ξεκινώντας έτσι ένας νέος κύκλος. Αυτό το σημείο δεν μας αφορά για τον προσδιορισμό την επιφανειακής τάσης

Τα σύγχρονα τασίμετρα του εμπορίου ελέγχουν την πίεση για τον σχηματισμό της φυσαλίδας, την διαφορά πίεσης μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού της φυσαλίδας, την ακτίνα της φυσαλίδας και την επιφανειακή τάση του δείγματος, όλα αυτά υπολογίζονται και παρατίθενται ως δεδομένα μέσω υπολογιστή.

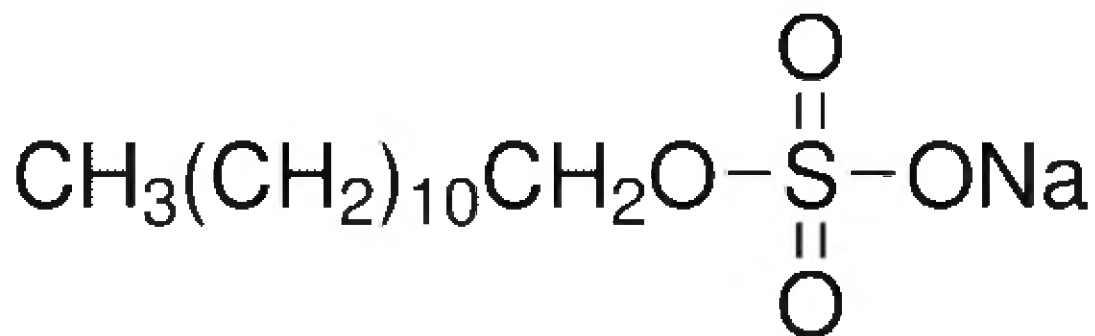
Η μέθοδος μέγιστης πίεσης φυσαλίδας χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό της δυναμικής επιφανειακής τάσης συστημάτων που περιέχουν επιφανειοδραστικές ουσίες ή άλλου είδους προσμίξεις γιατί δεν απαιτεί μέτρηση τη γωνίας επαφής και έχει μεγάλη ακρίβεια παρά το γεγονός ότι γίνεται πολύ γρήγορα. Επιπρόσθετα η μέθοδος μέγιστης πίεσης φυσαλίδας, εκτός από συστήματα με επιφανειοδραστικές ουσίες, είναι αρκετά καλή και για μετρήσεις συστημάτων με βιολογικά υγρά όπως ο ορός, αφού δεν απαιτεί μεγάλες ποσότητες υγρού δείγματος για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

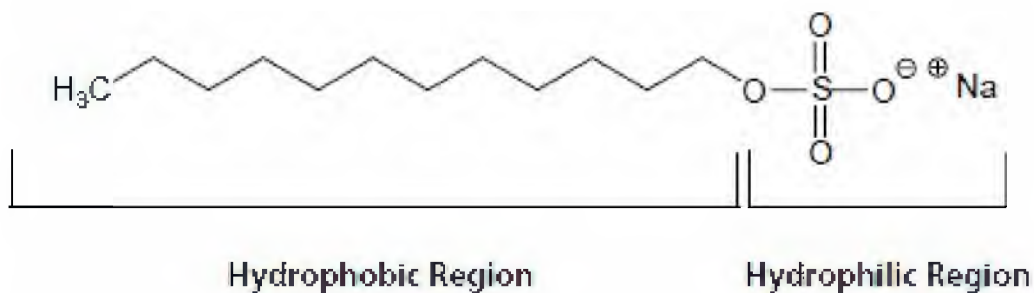
ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ

3.1 SODIUM DODECYL SULFATE (SDS)

Η επιφανειοδραστική ουσία που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα είναι το sodium dodecyl sulfate, για συντομία SDS, ή στα ελληνικά θειικό δωδεκύλιο νάτριο ή λαουροθειικό νάτριο. Από εδώ και στο εξής όταν θα γίνεται αναφορά στη συγκεκριμένη ουσία θα την ονομάζω SDS. Το SDS είναι το πιο κοινό και διαδεδομένο επιφανειοδραστικό (https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_dodecyl_sulfate). Είναι μια οργανοθειική ένωση με χημικό τύπο $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{SO}_4\text{Na}$. Έχει αμφίφιλες ιδιότητες καθώς τα 12 άτομα άνθρακα αποτελούν το υδρόφοβο τμήμα του μορίου και η θειική ομάδα το υδρόφιλο τμήμα. Αποτελεί μία από τις πιο γνωστές τασιενεργές, επιφανειοδραστικές ουσίες και χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλά οικιακά προϊόντα καθαρισμού.



Εικόνα 3. 1 Χημικός τύπος του SDS



Εικόνα 3. 2 Σχηματική αποτύπωση του υδρόφιλου και του υδρόφοβου μέρους

Το SDS έχει λευκό χρώμα, παίρνει τη μορφή σκόνης και είναι άοσμο. Έχει μοριακή μάζα 288.372 g/mol, η πυκνότητά του είναι 1.01 g/cm³ και το σημείο τήξεως του είναι 206 °C. Στους 25°C και σε καθαρό νερό η CMC του SDS είναι 8.2mM και ο αριθμός μορίων του ανά μικύλλιο όταν φταστεί η CMC θεωρείται ότι είναι συνήθως 62. Προσθήκη NaCl και άνοδος της θερμοκρασίας έχουν ως αποτέλεσμα πτώση της CMC.

Οι εφαρμογές του SDS είναι κυρίως σε είδη καθαρισμού καθώς είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στη απομάκρυνση υπολειμμάτων ελαίων. Για παράδειγμα βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις σε βιομηχανικά προϊόντα που έχουν να κάνουν με απολίπανση κινητήρων , καθαριστικά δαπέδου, σαπούνια καθαρισμού. Ακόμα και σε οικιακό πλαίσιο , το επιφανειοδραστικό SDS είναι τόσο κοινό που βρίσκεται σχεδόν σε όλα τα χημικά προϊόντα ενός σπιτιού , όπως στις οδοντόκρεμες , στα σαμπουάν και πιο γενικά σε είδη υγιεινής και καθαρισμού. Επιπλέον γίνεται χρήση του και σε διάφορους τομείς της ιατρικής, με πιο συνηθισμένες την λύση κυττάρων κατά την εξαγωγή του DNA , και την μετουσίωση των πρωτεϊνών για τη προετοιμασία πριν τη διαδικασία της ηλεκτροφόρησης. Επίσης το SDS χρησιμοποιείται σε μια βελτιωμένη τεχνική για την προετοιμασία δειγμάτων ιστών εγκεφάλου για μελέτη με τη διαδικασία της οπτικής μικροσκοπίας. (https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_dodecyl_sulfate)

3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ

Οι μετρήσεις έγιναν με τη χρήση του τενσιόμετρου BP50 της Kruss, εικόνα 3.3, το οποίο έχει τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά:

Measuring range

Surface Tension 15 to 100 mN/m

Temperature 5 to 95°C

Resolution

Surface Tension 0.1 mN/m

Temperature 0.1°C

Surface Age 15 to 16000 ms

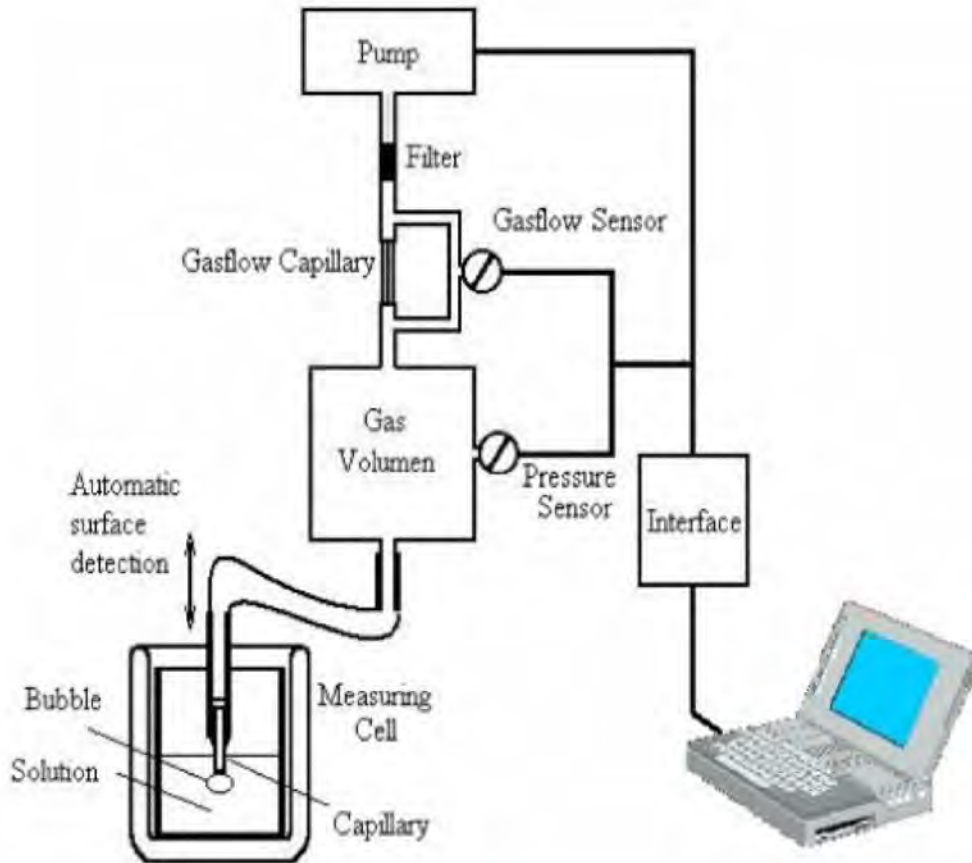
Ακόμα για τον καθορισμό της ποσότητας SDS κάθε δείγματος χρησιμοποιήθηκε ζυγαριά ακριβείας χιλιοστού και η ανάμειξη των μιγμάτων έγινε σε μαγνητικό αναδευτήρα. Το

τενσιόμετρο λειτουργούσε μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή του εργαστηρίου και τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε πραγματικό χρόνο μέσα στο λογισμικό της Kruess το LabDesk.



Εικόνα 3. 3

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από την αντλία συνεχούς ροής αερίου, η οποία ροή μετριέται από έναν αισθητήρα (flow sensor), τον σωλήνα ροής (gas flow capillary) που μαζί με το δοχείο (gas volume) προκαλούνε την ομαλή δημιουργία φυσαλίδων και τον αισθητήρα πίεσης που μετρά την πίεση στο δοχείο, η οποία πίεση είναι ανάλογη της μέγιστης πίεσης στον τριχοειδή σωλήνα. Η αντλία και οι δύο αισθητήρες ελέγχονται από μία ηλεκτρονική πλακέτα. Ο υπολογιστής στη συνέχεια συγκεντρώνει τα δεδομένα και υπολογίζει την επιφανειακή τάση και άλλα δεδομένα και τα εμφανίζει σε πραγματικό χρόνο. Στην εικόνα 3.4 δίνεται η παραπάνω περιγραφόμενη διάταξη.



Εικόνα 3. 4

Με το συγκεκριμένο τενσιόμετρο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τρεις μεθόδους για την καταγραφή της επιφανειακής τάσης την *Bubble Pressure*, την *Constant Surface Age* και την *Single Surface Age*. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας οι μετρήσεις έγιναν με τη χρήση της πρώτης μεθόδου κατά την οποία η επιφανειακή τάση μετριέται σαν συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της φυσαλίδας (surface age), εικόνα 3.5. Στην εξεταζόμενη ουσία υπολογίζεται το έργο για την αύξηση για συγκεκριμένο ποσό μιας επιφάνειας σε mN/m. Με την μέθοδο bubble pressure το έργο αυτό προσφέρεται μέσω της πίεσης που είναι απαραίτητη για να αυξηθεί το μέγεθος μιας φυσαλίδας.

Ως χρόνος γήρανσης της φυσαλίδας (surface age) χαρακτηρίζουμε τον χρόνο από την αποκόλληση της φυσαλίδας, ο οποίος συμπίπτει με τον χρόνο δημιουργίας της καινούριας φυσαλίδας, έως τον χρόνο που θα επιτευχθεί η μέγιστη πίεση στη φυσαλίδα. Ο αισθητήρας πίεσης καταγράφει την πίεση μέσα στη φυσαλίδα. Η μέγιστη πίεση συμβαίνει την στιγμή που η διάμετρος της φυσαλίδας είναι ακριβώς ίση με την διάμετρο του τριχοειδούς

σωλήνα. Πρόκειται δηλαδή για τον χρόνο που η φυσαλίδα είναι εκτιθέμενη στο νερό ως τη στιγμή που επιτυγχάνεται η μέγιστη πίεση.

Αφού επιλέξουμε την μέθοδο bubble pressure, δίνουμε την κατάλληλη ονομασία στη μέτρηση και επιλέγουμε στη καρτέλα το μέσο που είναι προς μέτρηση, εικόνα 3.6, στη περίπτωση μας είναι το νερό. Για τις μετρήσεις της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε Water, Strom. Εν συνεχεία γίνεται δήλωση των παραμέτρων της μέτρησης, εικόνα 3.7. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις που έγιναν είναι οι ακόλουθοι:

Start at Surface Age	15ms
Stop at Surface Age	16000ms
Stop Quickscan	1500ms
Values	10
Values for Mean	5
Purge Time	3-5s

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητη η διασαφήνιση των παραμέτρων αυτών:

Start/Stop at Surface Age: Δηλώνει τον αρχικό και τελικό χρόνο αντίστοιχα της μέτρησης της επιφανειακής τάσης.

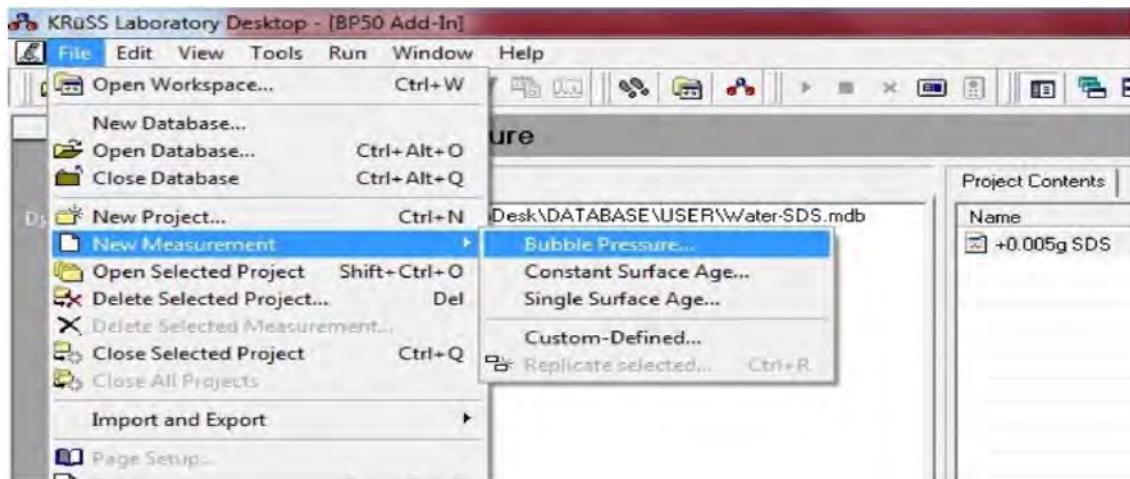
Stop Quickscan: Η τιμή της παραμέτρου αυτής ορίζει τον χρόνο γήρανσης της φυσαλίδας μέχρι τον οποίο το σύστημα πετυχαίνει με ακρίβεια την επιθυμητή τιμή (Quick-Scan mode). Μετά από αυτή την τιμή ο ρυθμός παραγωγής των φυσαλίδων σταδιακά μειώνεται συνεχώς (Float mode). Με αποτέλεσμα οι διάφορες επιθυμητές τιμές για τον χρόνο γήρανσης της φυσαλίδας να πραγματοποιούνται προσεγγιστικά, μειώνοντας όμως τον συνολικό χρόνο της μέτρησης.

Values for Mean: Καθορίζει τον αριθμό των μετρήσεων με τις οποίες θα υπολογιστεί ο αριθμητικός μέσος όρος για να υπολογιστεί η τιμή της επιφανειακής τάσης.

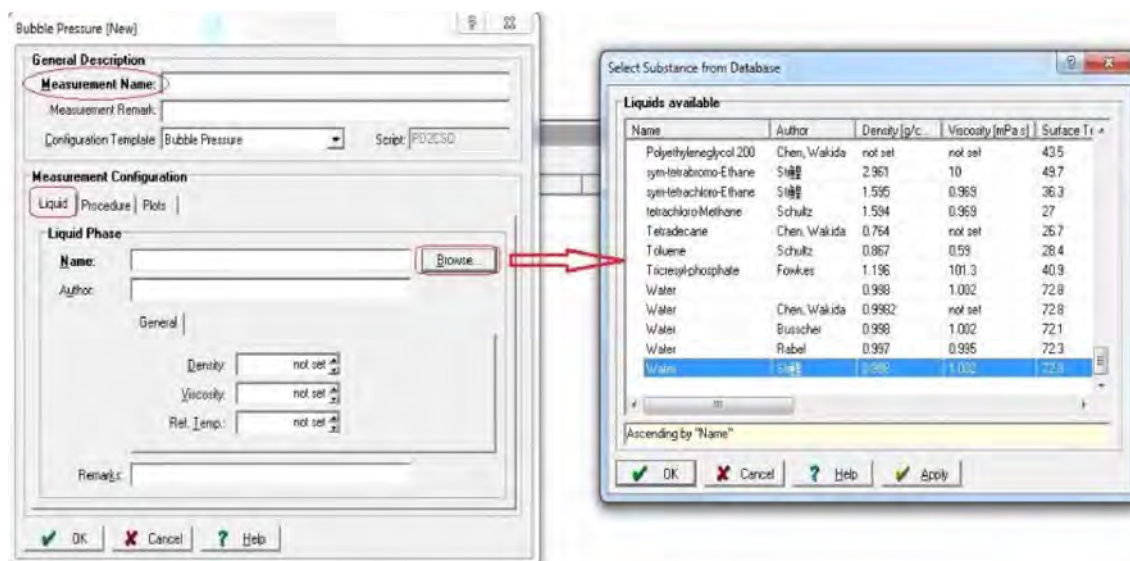
Purge Time: Πριν από κάθε καινούρια μέτρηση ο τριχοειδής σωλήνας πρέπει να καθαριστεί εσωτερικά από μια απότομη ροή αέρα ώστε να μην περιέχει τυχόν υπολειμματικές ποσότητες υγρού. Η παράμετρος αυτή ορίζει την διάρκεια αυτής της διαδικασίας.

Ακόμα γίνεται η προσθήκη περαιτέρω διαγραμμάτων, εκτός του default *Surface Tension vs Surface Age*, *Surface Tension vs Time* και *Surface Age vs Time*, εικόνα 3.8.

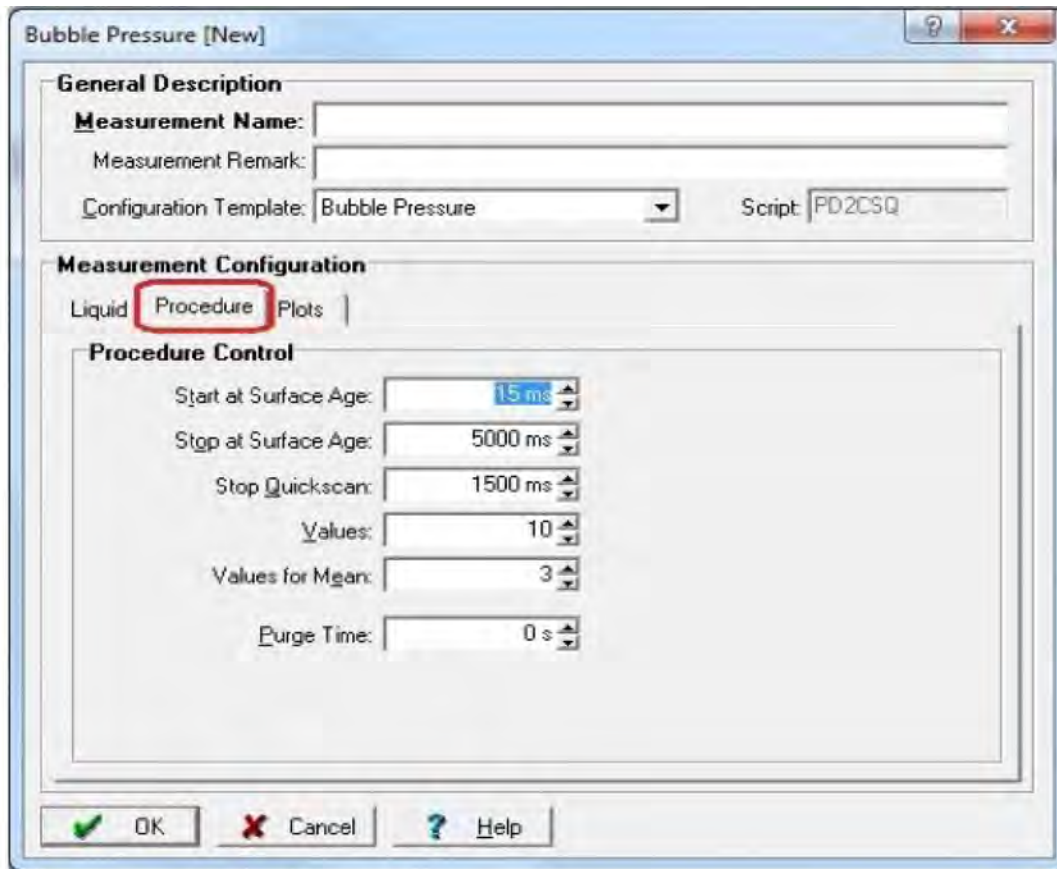
Προς καλύτερη κατανόηση των παραπάνω δίνονται οι ακόλουθες εικόνες:



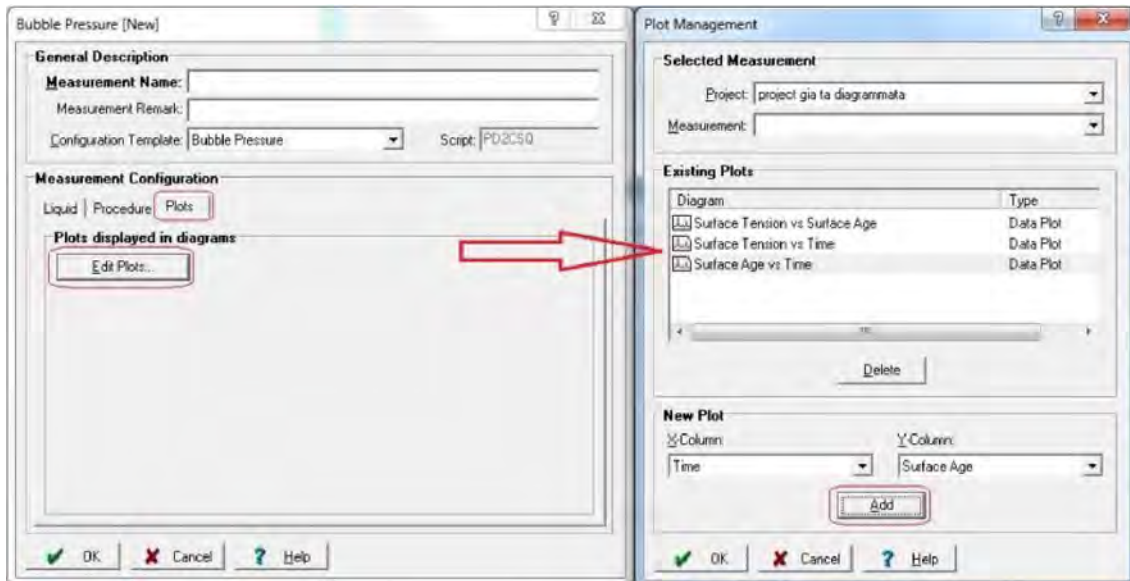
Εικόνα 3. 5 Επιλογή νέας μέτρησης και μεθόδου



Εικόνα 3. 6 Επιλογή του επιθυμητού υγρού



Εικόνα 3. 7 Δήλωση των παραμέτρων της μέτρησης



Εικόνα 3. 8 Προσθήκη διαγραμμάτων

3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Στο πείραμά μου χρησιμοποίησα μίγματα με 10mM NaCl και 100mM NaCl, όπου mM (millimolar) = 1 mol/m^3 , στα οποία προσέθετα διάφορες ποσότητες SDS. Σκοπός του πειράματός μου αυτού ήταν η εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων σχετικά με τις επιπτώσεις του SDS στα μίγματα και κάτω από ποιες συνθήκες δημιουργούνται. Στο μίγμα με 10mM οι συγκεντρώσεις SDS που χρησιμοποίησα ήταν 0.005g/100ml, 0.01g/100ml, 0.02g/100ml, 0.03g/100ml, 0.04g/100ml, 0.055g/100ml, 0.085g/100ml, 0.12g/100ml και 0.155g/100ml. Στο μίγμα με 100mM οι συγκεντρώσεις ήταν 0.005g/100ml, 0.007g/100ml, 0.01g/100ml, 0.013g/100ml, 0.015g/100ml, 0.02g/100ml και 0.028g/100ml. Μετά από κάθε μέτρηση πριν χρησιμοποιήσω καινούριο δείγμα στα δοχεία τα καθάριζα με απιονισμένο νερό και ακετόνη, χρησιμοποιούσα καινούριο τριχοειδή σωλήνα και έκανα καλιμπράρισμα του τενσιομέτρου όπως προβλέπει το εγχειρίδιό του.

Αρχικά προσπάθησα να συμπεράνω αν ο χρόνος που θα περάσει από τη στιγμή που θα προσθέσω το SDS στο μίγμα παίζει ρόλο στη διάχυση του SDS σε αυτό και επομένως αν επιδρά στην επιφανειακή τάση. Για το σκοπό αυτό έκανα μετρήσεις σε μίγματα με διάφορες συγκεντρώσεις SDS ανά χρονικά διαστήματα. Μάλιστα σε κάποιες περιπτώσεις κάποια μίγματα τα άφηνα να αναδεύονται, ώστε να έχω εικόνα για το αν ο χρόνος ανάδευσης επιδρά. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που θα παρατεθούν παρακάτω η διάχυση δεν επηρεάζεται ούτε από τον χρόνο ηρεμίας ούτε από τον χρόνο ανάδευσης.

Στη συνέχεια βασιζόμενος στα αποτελέσματα της εργασίας των Alissa J. Prosser και Elias I. Franses προσπάθησα να εξάγω κάποια συμπεράσματα για το πού προσεγγίζεται η CMC και το πώς επηρεάζεται η τιμή της με την παρουσία του NaCl. Επιγραμματικά αναφέρω σε αυτό το σημείο ότι η τιμή της CMC που προσδιορίζω είναι μικρότερη από την αναμενόμενη και ότι η τιμή της μειώνεται δραματικά με την αύξηση της συγκέντρωσης του NaCl.

Τέλος παραθέτω κάποιες παρατηρήσεις για τη σχέση του χρόνου γήρανσης της φυσαλίδας με την επιφανειακή τάση, η οποία βάσει αποτελεσμάτων αποδεικνύεται ότι είναι συνάρτηση της μορφής $\sigma(t) = \alpha * t^{\beta}$.

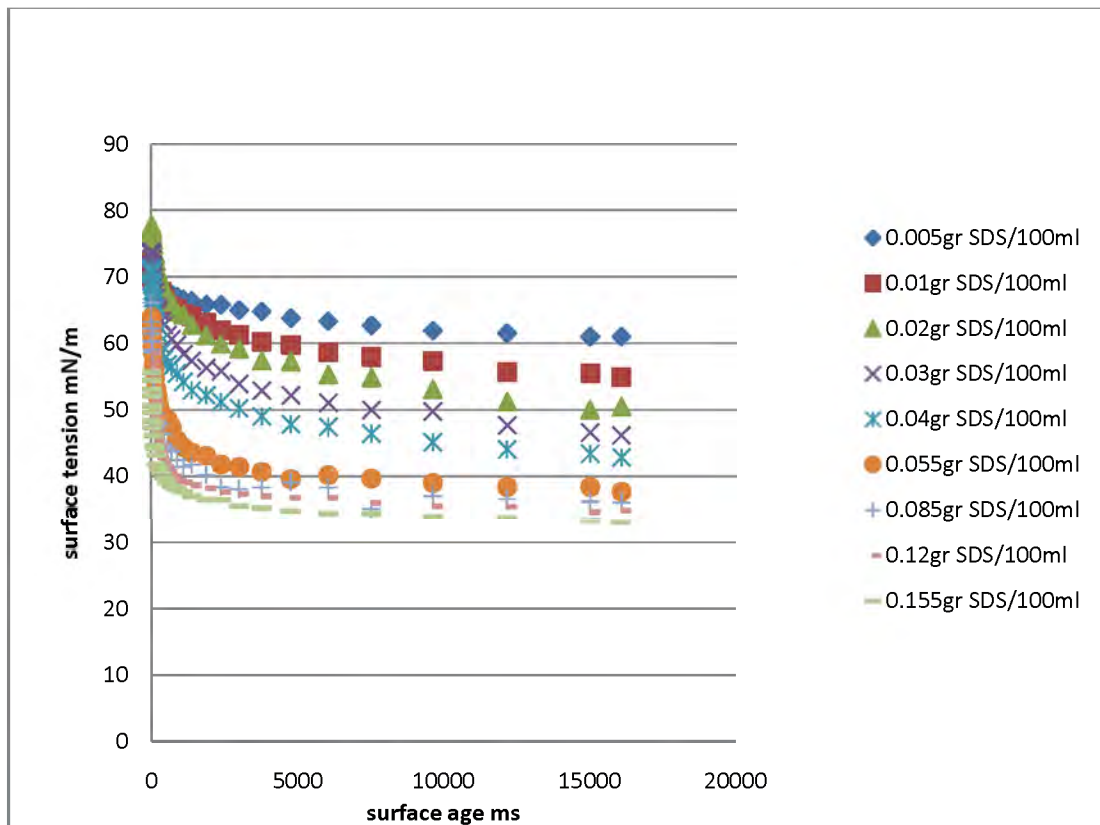
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

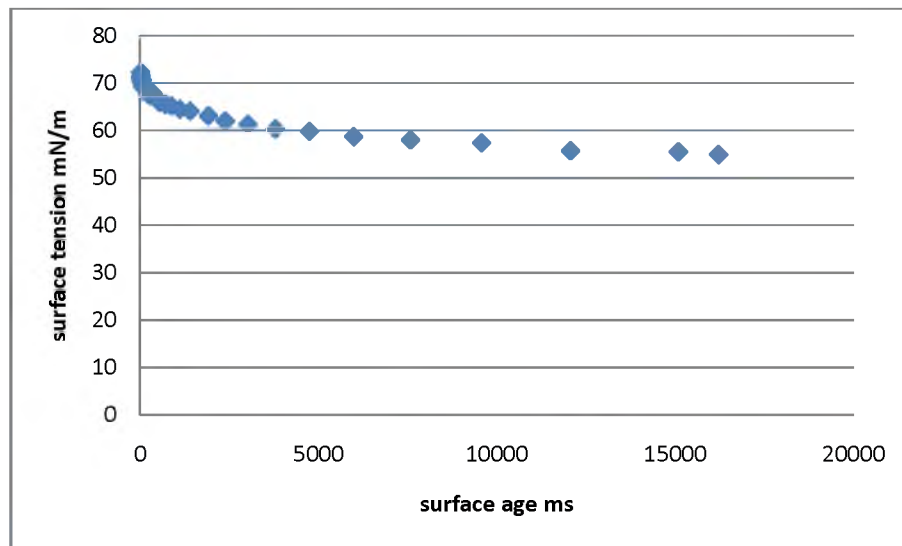
Πριν γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που αποτελούν το κύριο αντικείμενο αυτής της εργασίας θα ήθελα να παραθέσω κάποια γενικά αποτελέσματα που εύκολα γίνονται αντιληπτά με μια πρώτη ματιά, αυτά είναι τα εξής:

- Είναι πασιφανές ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του SDS στο μίγμα τόσο μειώνεται η επιφανειακή τάση. Όταν η συγκέντρωση αυτή γίνει αρκετά μεγάλη και προσεγγιστεί η CMC τότε η μείωση αυτή σταματά. Προς απόδειξη της παραπάνω πρότασης δίνεται το διάγραμμα επιφανειακής τάσης – χρόνου γήρανσης φυσαλίδας για διάλυμα απιονισμένου νερού και NaCl με 10mM NaCl για συγκεντρώσεις SDS 0.005g/100ml, 0.01g/100ml, 0.02g/100ml, 0.03g/100ml, 0.04g/100ml, 0.055g/100ml, 0.085g/100ml, 0.12g/100ml και 0.155g/100ml:

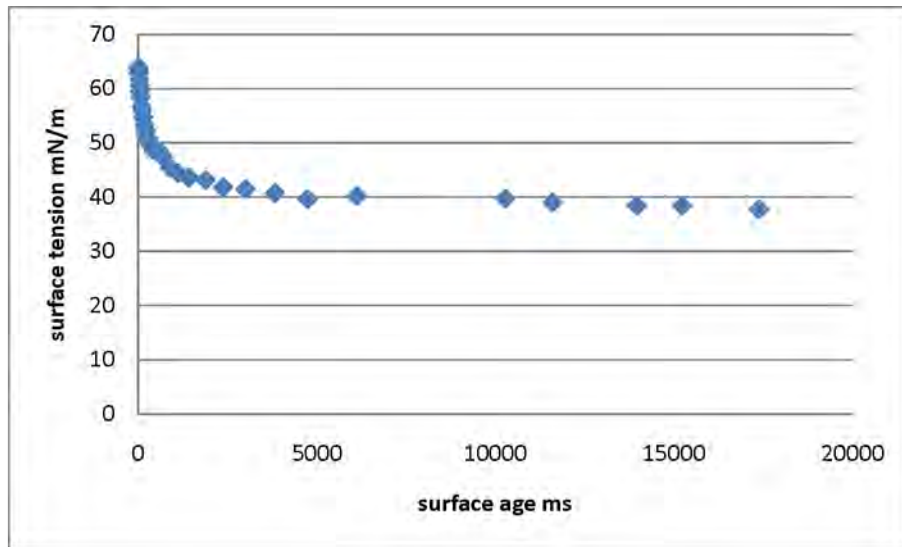


Διάγραμμα 1 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας σε μίγμα με 10 mM NaCl για διάφορες συγκεντρώσεις SDS.

- II. Με μια πρόχειρη ματιά στα διαγράμματα 2 και 3, που είναι διαγράμματα επιφανειακής τάσης – χρόνου γήρανσης φυσαλίδας για διάλυμα 10mM NaCl με 0.01g SDS/100ml και 0.055g SDS/100ml αντίστοιχα, εύκολα συνειδητοποιεί κάποιος την εξάρτηση της επιφανειακής τάσης με τον χρόνο γήρανσης της φυσαλίδας. Για μικρούς χρόνους οι τιμές της επιφανειακής τάσης διαφέρουν πάρα πολύ από αυτές που έχουμε για πολύ μεγάλους χρόνους στο τέλος της μέτρησης. Αυτό υποδηλώνει τη δυναμική σχέση του επιφανειοδραστικού στο δείγμα καθώς απαιτείται χρόνος για να γίνει η διάχυση του SDS από τον κύριο όγκο του νερού στη διεπιφάνεια της φυσαλίδας. Όσο μεγαλύτερος ο χρόνος έκθεσης της φυσαλίδας στο δείγμα τόσο πιο έγκυρη η τιμή της επιφανειακής τάσης.



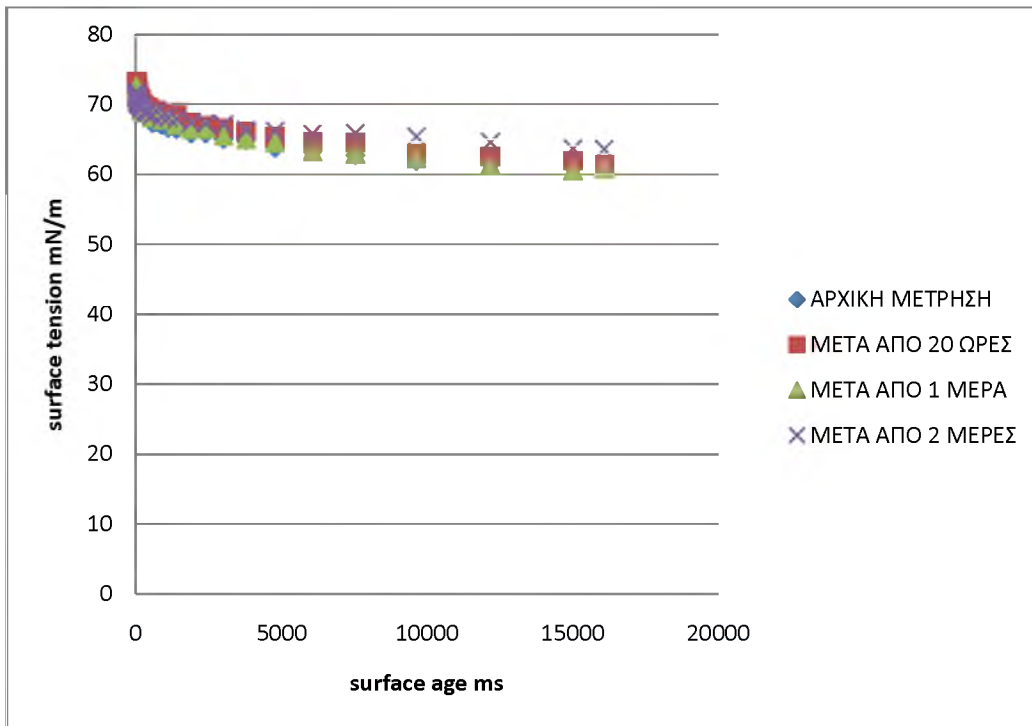
Διάγραμμα 2 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.01g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl.



Διάγραμμα 3 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.055g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl.

4.2 ΧΡΟΝΟΣ ΗΡΕΜΙΑΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ

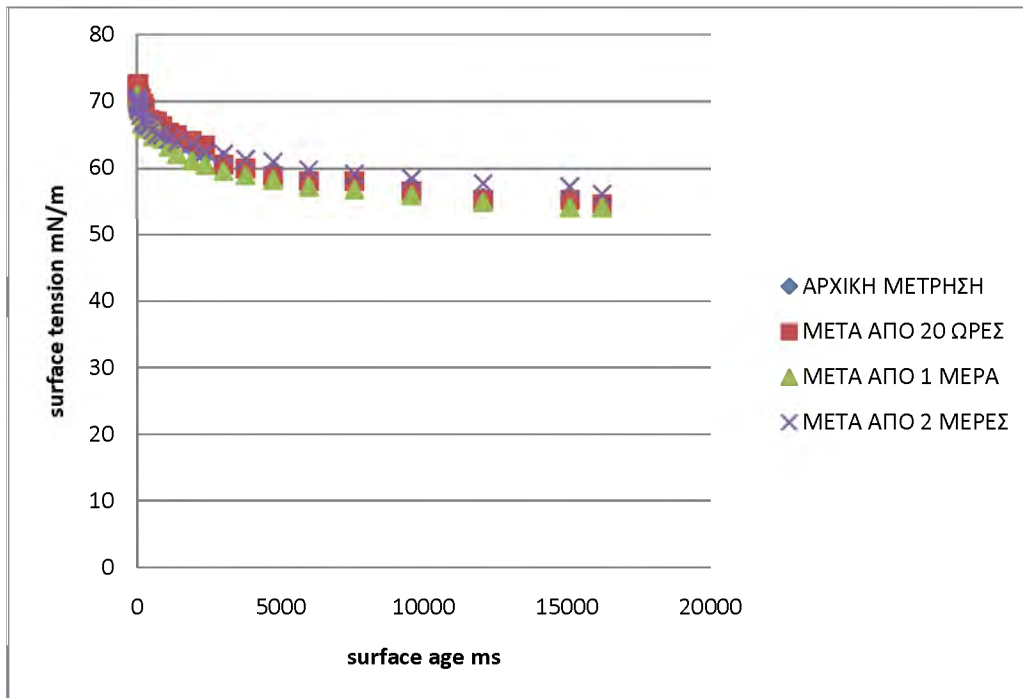
Μία υπόθεση που θα μπορούσε να κάνει κάποιος είναι ότι αφήνοντας το δείγμα με το SDS να ηρεμήσει για κάποιο χρονικό διάστημα θα είχε ως αποτέλεσμα να ενισχυθεί ο μηχανισμός διάχυσης του επιφανειοδραστικού, γεγονός που θα υποδηλωνόταν με μεγαλύτερη πτώση της επιφανειακής τάσης. Επίσης, στη βιβλιογραφία έχει διατυπωθεί η υπόθεση ότι το SDS που παραμένει αρκετές ώρες σε διάλυμα μετατρέπεται σε μικρό βαθμό σε δωδεκανόλη. Επειδή η βαριά αυτή αλκοόλη έχει ισχυρότερες επιφανειοδραστικές ιδιότητες, προβλέπεται ότι θα παρατηρηθεί μία σταδιακή μείωση της επιφανειακής τάσης σε μεγάλους χρόνους. Προκειμένου να ελέγξω αυτό το σκεπτικό αρχικά δημιουργώ ένα μίγμα με 10mM NaCl και 0,005g/100ml SDS και κάνω μία αρχική μέτρηση, μία άλλη μετά από 20, την επόμενη μετά από μία ημέρα και άλλη μία μετά από 2 ημέρες, τα χρονικά διαστήματα που αναφέρω μετρώνται από το πέρας της προηγούμενης μέτρησης μέχρι την αρχή της επόμενης. Παραθέτω τα αριθμητικά αποτελέσματα στο Παράρτημα Α και παρακάτω το διάγραμμα επιφανειακής τάσης – χρόνου γήρανσης φυσαλίδας.



Διάγραμμα 4 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.005g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl μετά από διάφορα χρονικά διαστήματα.

Όπως παρατηρούμε ελάχιστη έως μηδαμινή διαφορά έχουν οι μετρήσεις για το χρονικό διάστημα τεσσάρων ημερών. Οι όποιες αυξομειώσεις στις τιμές οφείλονται στον παράγοντα σφάλματος του οργάνου και το μέγεθός τους είναι αμελητέο για να ληφθεί υπόψη. Άρα μάλλον ο χρόνος που θα αφεθεί το μίγμα δεν παίζει και ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη διάχυση του επιφανειοδραστικού.

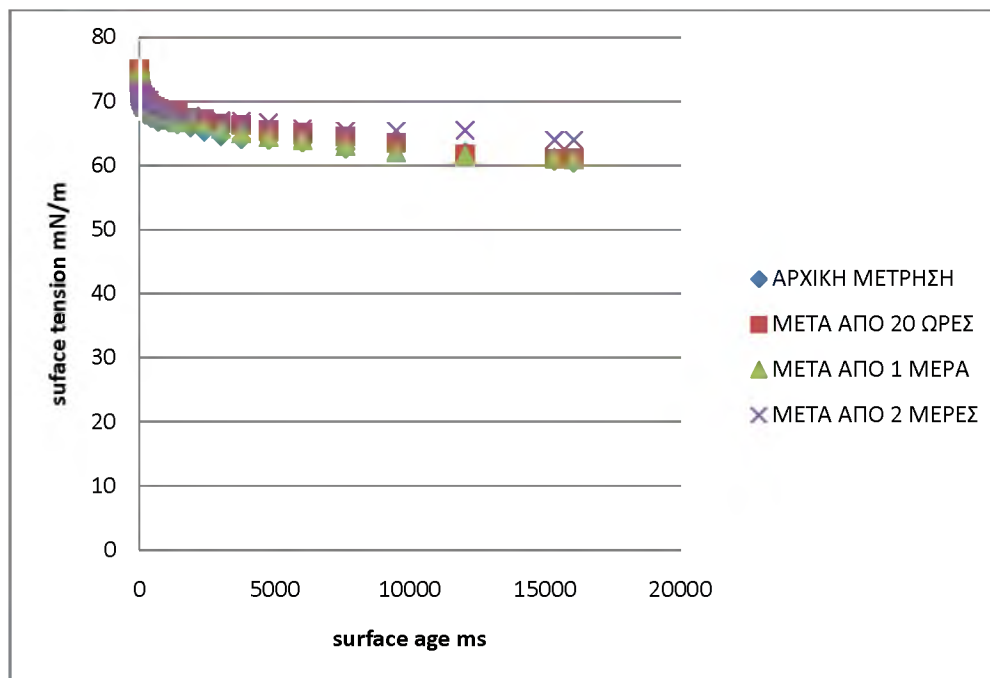
Προς επιβεβαίωση κάνω νέα σειρά μετρήσεων με μίγμα με 10mM NaCl και 0.01g/100ml SDS. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δίνονται στο παράρτημα Α και παρακάτω το διάγραμμα επιφανειακής τάσης – χρόνου γήρανσης φυσαλίδας.



Διάγραμμα 5 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.01g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl μετά από διάφορα χρονικά διαστήματα.

Παρατηρώντας και αυτές τις μετρήσεις μπορούμε να πούμε πλέον με σιγουριά ότι ο χρόνος που θα αφεθεί το δείγμα δεν επιδρά στη διάχυση του επιφανειοδραστικού.

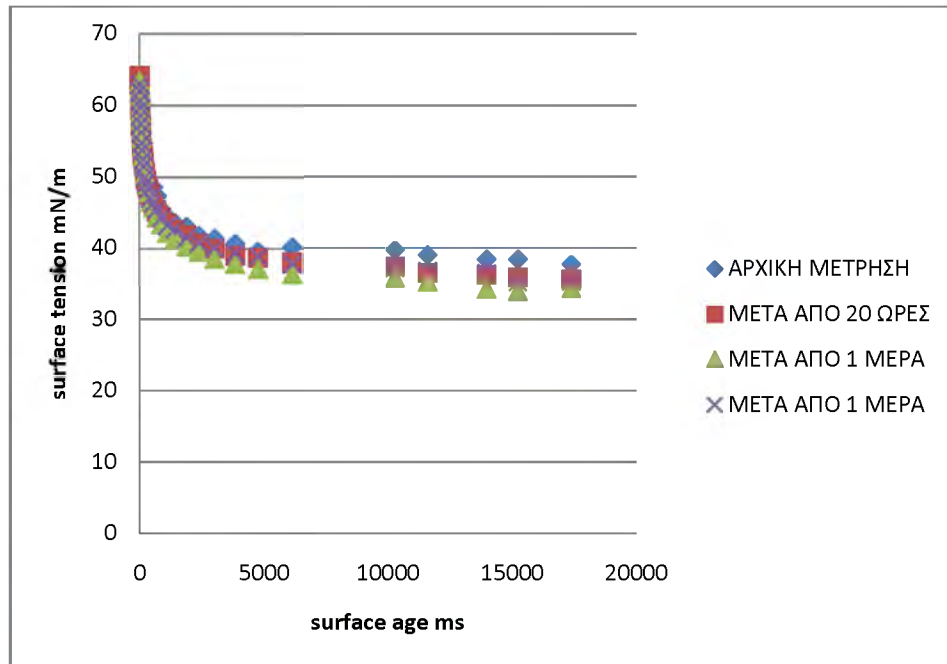
Στη συνέχεια επανέλαβα την πρώτη σειρά μετρήσεων με 0.005g/100ml SDS μόνο που αυτή τη φορά το μίγμα το αφήνω να αναδεύεται στον αναδευτήρα. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δίνονται στο παράρτημα Β και παρακάτω το διάγραμμα επιφανειακής τάσης – χρόνου γήρανσης φυσαλίδας.



Διάγραμμα 6 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.005g SDS/100ml σε μίγμα με 10 mM NaCl μετά από διαστήματα ανάδευσης.

Βλέπουμε ότι ούτε η ανάδευση παίζει κάποιον σημαντικό ρόλο αφού οι μετρήσεις πάνω κάτω είναι ίδιες και όποια τυχούσα μεταβολή μπορεί να αποδοθεί στο ποσοστό σφάλματος του οργάνου. Ακόμα τόσο σε αυτή όσο και στις δύο προηγούμενες σειρές μετρήσεων στα διαστήματα που μεσολαβούσαν των μετρήσεων ένα πάρα πολύ μικρό ποσό του μίγματος εξατμίστηκε. Αφού ούτε το SDS ούτε το NaCl είναι δυνατόν να εξατμιστούν, θεωρώ ότι εξατμίστηκε μόνο νερό γεγονός που μαζί με το ποσοστό σφάλματος του οργάνου εξηγεί τις διάφορες μικρές μεταβολές της επιφανειακής τάσης στις μετρήσεις. Πάντως όπως προανέφερα η εξάτμιση αυτή είναι αμελητέα, περίπου 3 με 5 ml.

Για να μπορώ να ισχυρισθώ με σιγουριά ότι ούτε η ανάμειξη επηρεάζει θα κάνω και μία σειρά μετρήσεων με μίγμα 10mM NaCl και 0.05g/100ml SDS. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δίνονται στο παράρτημα Β και παρακάτω το διάγραμμα επιφανειακής τάσης – χρόνου γήρανσης φυσαλίδας.



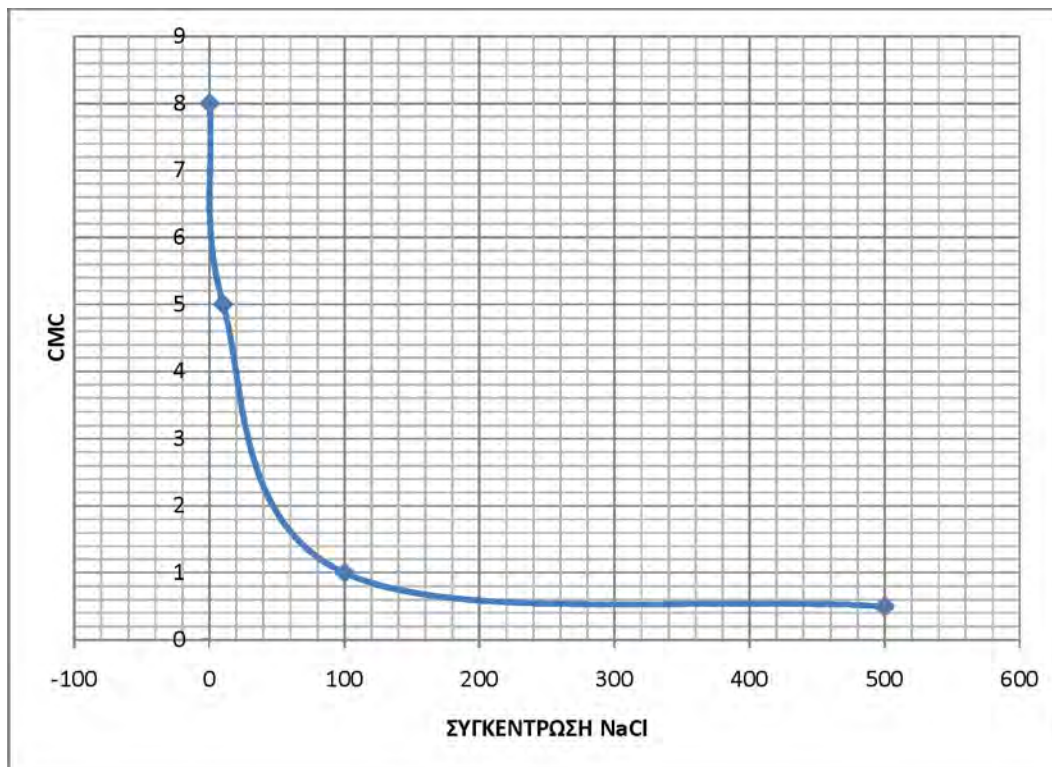
Διάγραμμα 7 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.055g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl μετά από διαστήματα ανάδευσης.

Πλέον μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι ούτε χρόνος ανάδευσης επηρεάζει αφού και για το μίγμα 0.055g/100ml δεν βλέπουμε αξιοσημείωτες διαφορές. Το γεγονός αυτό μου επιτρέπει να συνεχίσω στο επόμενο μέρος του πειράματος παίρνοντας μετρήσεις για άλλες συγκεντρώσεις χωρίς να με απασχολεί ο χρόνος που έχει μεσολαβήσει από τη στιγμή δημιουργίας του μίγματος.

4.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ CMC ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΗΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ NaCl

Στο σημείο αυτό γίνεται προσδιορισμός της CMC για δύο μίγματα το ένα με 10mM NaCl και το άλλο με 100mM NaCl, παράλληλα εξάγονται κάποια συμπεράσματα σχετικά με την επιρροή που έχει η παρουσία του ηλεκτρολύτη, στην περίπτωση μας το NaCl, στην επίδραση του SDS. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας των Alissa J. Prosser και Elias I. Franses για 10mM NaCl η CMC είναι 5mM SDS και για 100mM NaCl είναι 1 CMC. Μάλιστα σύμφωνα με αποτελέσματα που βρίσκονται στην παραπάνω εργασία μπορεί κάποιος να ισχυριστεί ότι η CMC του SDS συναρτήσει της συγκέντρωσης του NaCl στο απιονισμένο νερό μεταβάλλεται με την παρακάτω συμπεριφορά:

Concentration NaClmM	CMC
0	8
10	5
100	1
500	0.5

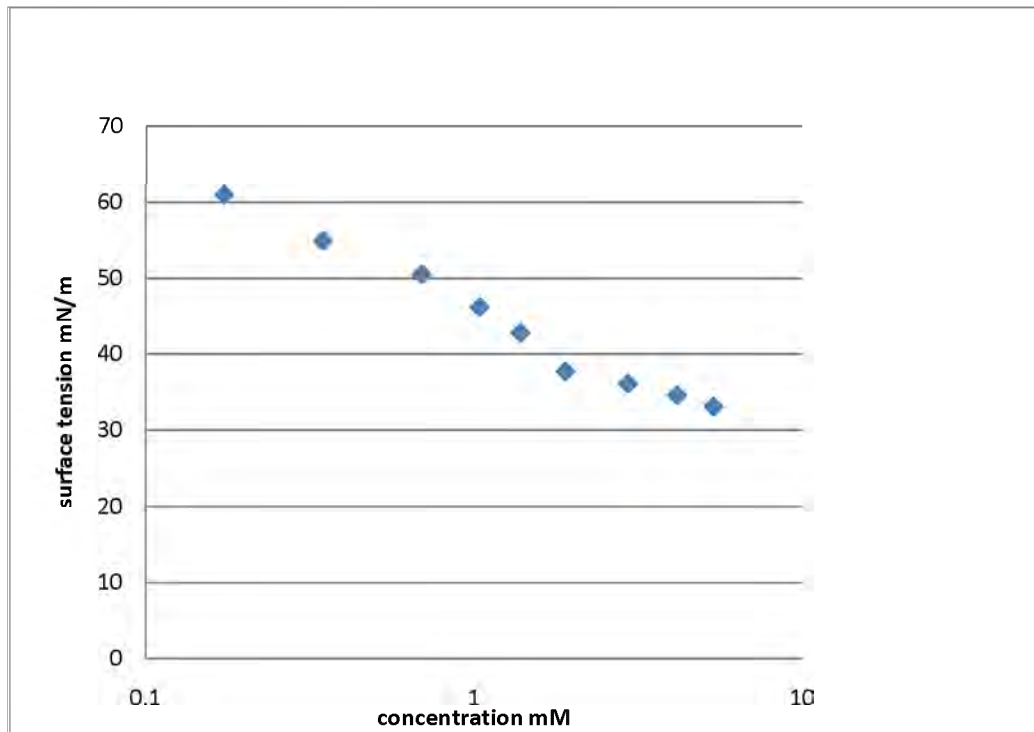


Διάγραμμα 8 Σχέση CMC με τη συγκέντρωση NaCl

Οι συγκεντρώσεις του SDS θα εκφράζονται σε g/100ml και mM, αυτή η απόφαση πάρθηκε ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση με τα αποτελέσματα της εργασίας που προαναφέρθηκε στην οποία οι συγκεντρώσεις εκφράζονται σε mM. Ο λόγος που εξ' αρχής δεν εξέφρασα τις συγκεντρώσεις του SDS σε mM είναι ότι λόγω του εξοπλισμού που διέθετα μου ήταν πολύ πιο εύκολο και γρήγορο να υπολογίζω τις ποσότητες του SDS σε γραμμάρια.

Αρχικά έκανα μια σειρά μετρήσεων με μίγμα απιονισμένου νερού με συγκέντρωση 10mM NaCl, οι συγκεντρώσεις SDS που χρησιμοποίησα είναι 0.005g/100ml ή 0.17mM, 0.01g/100ml ή 0.35mM, 0.02g/100ml ή 0.69mM, 0.03g/100ml ή 1.04mM, 0.04g/100ml ή 1.38mM, 0.055g/100ml ή 1.91mM, 0.085g/100ml ή 2.95mM, 0.12g/100ml ή 4.16mM και 0.155g/100ml ή 5.37mM. Για τις συγκεντρώσεις 0.005g/100ml, 0.01g/100ml και 0.055g/100ml πήρα ως δεδομένα αυτά που έχω ήδη εκθέσει, για τα 0.005g/100ml πήρα την αρχική μέτρηση για χωρίς ανάδευση και για τα άλλα δύο τις αρχικές μετρήσεις, Παράρτημα Α για 0.005g/100ml και 0.01g/100ml και Παράρτημα Β για 0.055g/100ml. Οι αριθμητικές μετρήσεις για τις άλλες συγκεντρώσεις δίνονται στο Παράρτημα Γ, ακολουθεί το διάγραμμα των τελικών τιμών επιφανειακής τάσης για τις διάφορες συγκεντρώσεις SDS συναρτήσει της συγκέντρωσης SDS. Ο λόγος που αντιπαραθέτουμε τη συγκέντρωση του SDS με την τελική τιμή επιφανειακής τάσης είναι ότι η τιμή αυτή θεωρείται η πιο αξιόπιστη, γιατί όπως έχω ήδη εξηγήσει έχει τον μεγαλύτερο χρόνο γήρανσης της φυσαλίδας. Παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα:

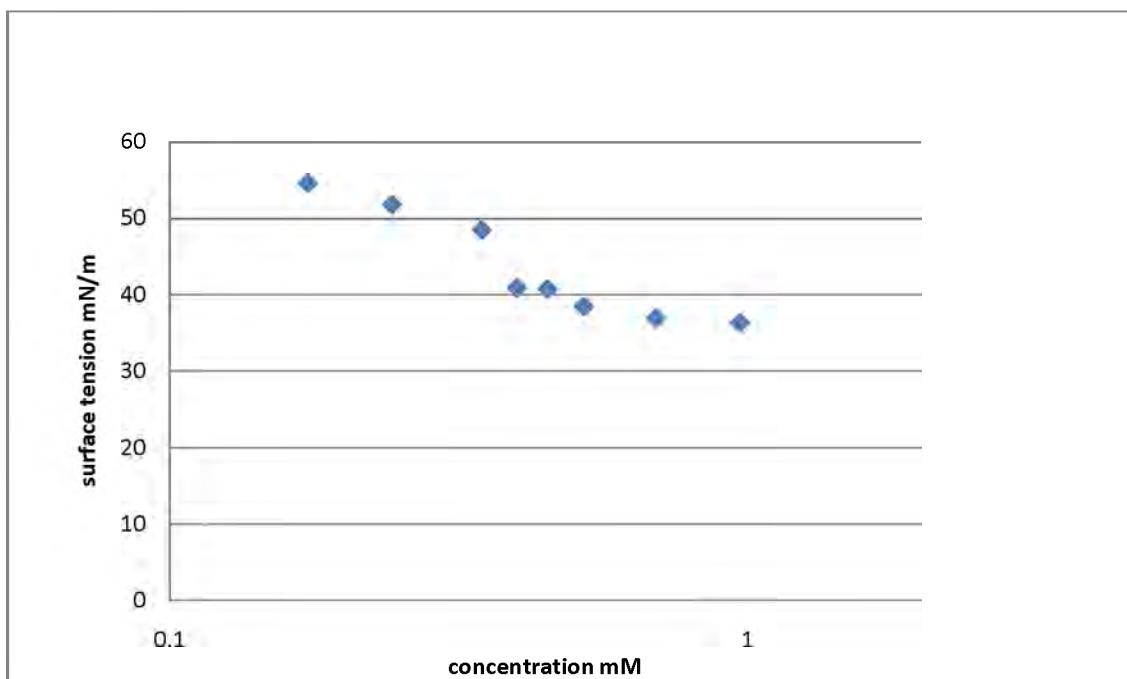
Concentration (mM)	SurfaceTension (mN/m)
0.173387153	61
0.346774305	54.9
0.693548611	50.5
1.040322916	46.2
1.387097222	42.8
1.90725868	37.7
2.947581596	36.1
4.161291665	34.6
5.375001734	33.1



Διάγραμμα 9 Επιφανειακή τάση - Συγκέντρωση SDS

Από το διάγραμμα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η CMC προσεγγίζεται σε συγκέντρωση περίπου 2mM, δηλαδή κάπως νωρίτερα από το αναμενόμενο με βάση την προαναφερθείσα εργασία που είναι 5 CMC. Βέβαια υπάρχει μία μικρή πιθανότητα λάθους λόγω του ότι το όργανο φτάνει σε χρόνο γήρανσης της φυσαλίδας μέχρι 16000ms. Όμως γενικά μπορώ να πω ότι τα αποτελέσματα αυτά είναι αρκετά αξιόπιστα.

Στη συνέχεια έκανα μία σειρά μετρήσεων με μίγμα απιονισμένου νερού με 100mM NaCl και τις ακόλουθες συγκεντρώσεις SDS: 0.005g/100ml ή 0.1734mM, 0.007g/100ml ή 0.24mM, 0.01g/100ml ή 0.35mM, 0.0115g/100ml ή 0.4mM, 0.013g/100ml ή 0.45mM, 0.015g/100ml ή 0.52mM, 0.02g/100ml ή 0.69mM και 0.028g/100ml ή 0.97mM. Τα αριθμητικά αποτελέσματα των μετρήσεων εκτίθενται στο Παράρτημα Δ, ακολουθεί το διάγραμμα της τελικής επιφανειακής τάσης συναρτήσει της συγκέντρωσης SDS.

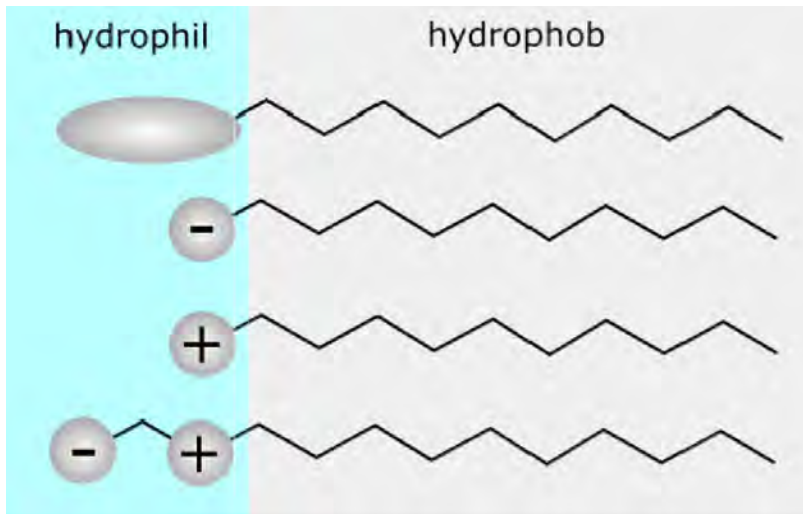


Διάγραμμα 10 επιφανειακή τάση - συγκέντρωση SDS για 100mM NaCl

Από το διάγραμμα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η CMC προσεγγίζεται στα 0.4mM SDS, δηλαδή και σε αυτή την περίπτωση είναι κατώτερη η τιμή της CMC από την αναμενόμενη που είναι 1mM SDS.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τα δύο μίγματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις NaCl μας είναι εμφανέστατο το γεγονός ότι η παρουσία των ιόντων του NaCl στο μίγμα ευνοεί την δράση του επιφανειοδραστικού. Μάλιστα για δεκαπλάσια συγκέντρωση NaCl η CMC γίνεται πέντε φορές μικρότερη. Ακόμα μας είναι ξεκάθαρο παρατηρώντας τις μετρήσεις ότι όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του NaCl τόσο πιο πολύ επηρεάζουν την επιφανειακή τάση μικρές μεταβολές στη συγκέντρωση του SDS.

Αυτό συμβαίνει γιατί όπως γνωρίζουμε το SDS είναι μία ανιονική επιφανειοδραστική ουσία, δηλαδή περιέχει μία ενεργεί ανιονική ομάδα στην κεφαλή του, στην προκειμένη περίπτωση ένα θειικό ανιόν, τέτοιες ενώσεις τις ονομάζουμε θειικά αλκύλια. Με την προσθήκη του αλατιού μειώνεται η ηλεκτροστατική απώθηση μεταξύ των ιονισμένων κεφαλών των μορίων του επιφανειοδραστικού και έτσι μπορούν να συσσωρευτούν περισσότερα μαζί στην διεπιφάνεια. Επομένως προσροφάται μεγαλύτερη ποσότητα επιφανειοδραστικής ουσίας και άρα η πτώση της επιφανειακής τάσης είναι μεγαλύτερη.



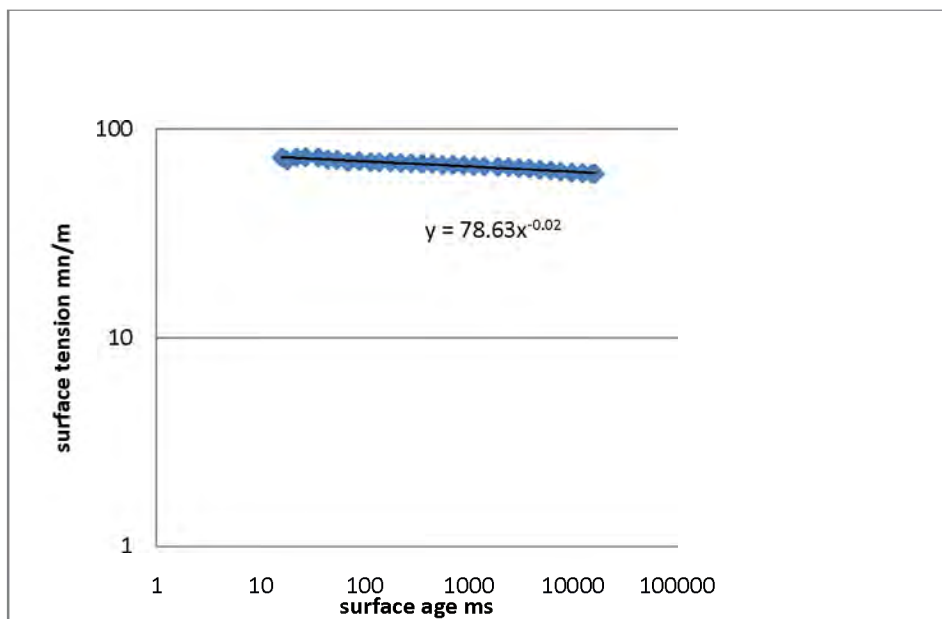
Εικόνα 4. 1 Κατηγοριοποίηση των επιφανειοδραστικών σύμφωνα με τη σύσταση της κεφαλής τους: μη ιονικά, ανιονικά, κατιονικά και αμφοτερικά

4.4 ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΦΥΣΑΛΙΔΑΣ

Στην παράγραφο αυτή παραθέτω τα συμπεράσματά μου σχετικά με τη σχέση ανάμεσα στην επιφανειακή τάση και την surfaceage, δηλαδή τον χρόνο που μένει η φυσαλίδα εκτεθειμένη στο νερό. Για το σκοπό αυτό πλοτάρω στο εxcelτην επιφανειακή τάση σε συνάρτηση με την surfaceage.

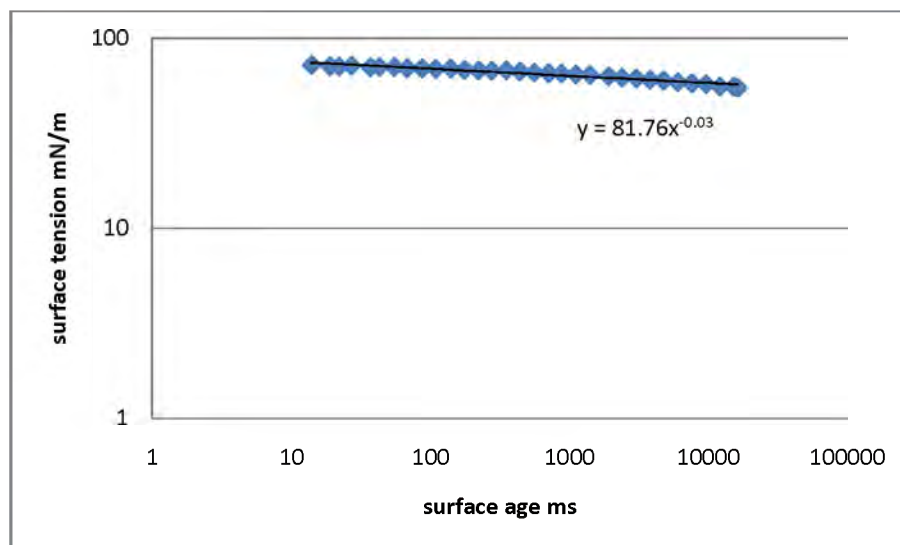
Αρχικά τα διαγράμματα για το μίγμα με 10mM, οι άξονες είναι λογαριθμισμένοι:

- 0.005g/100ml ή 0.17mM:



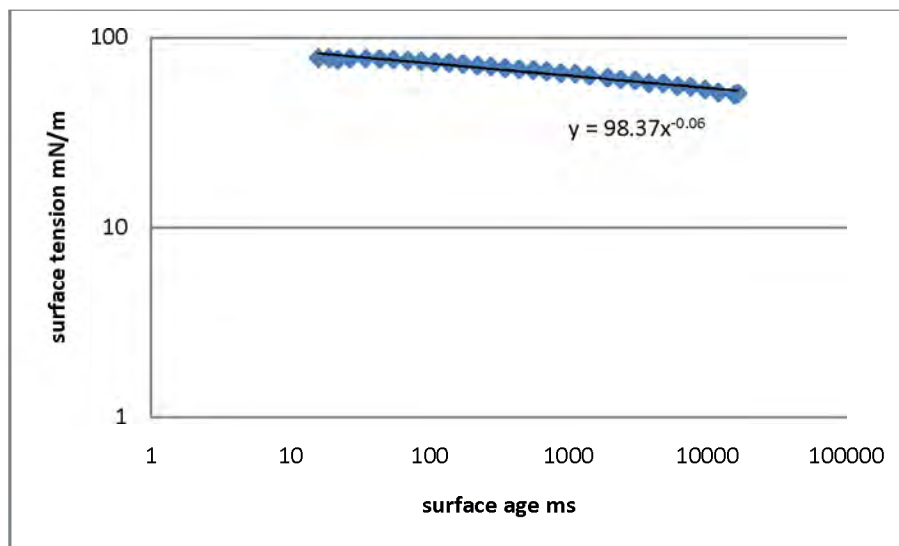
Διάγραμμα 11 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.005g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl.

- 0.01g/100ml ή 0.35mM:



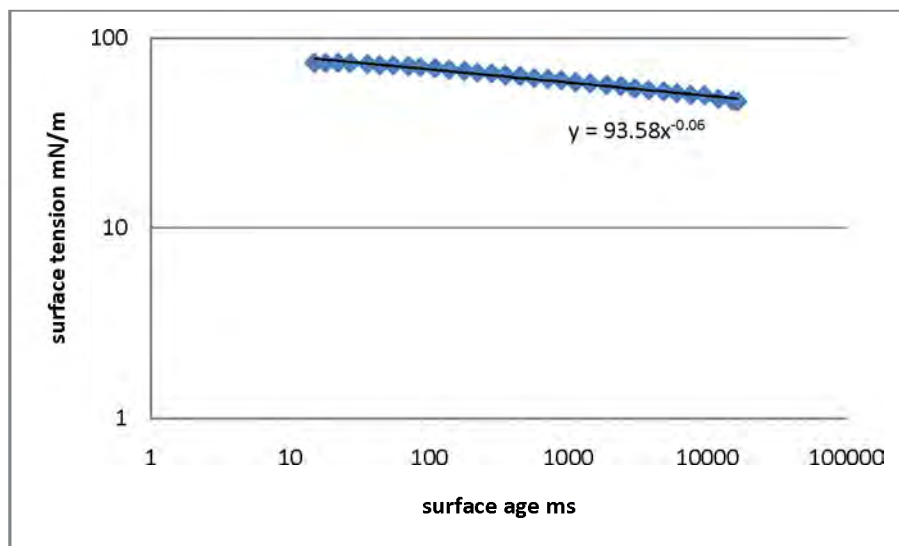
Διάγραμμα 12 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.01g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl.

- 0.02g/100ml ή 0.69mM:



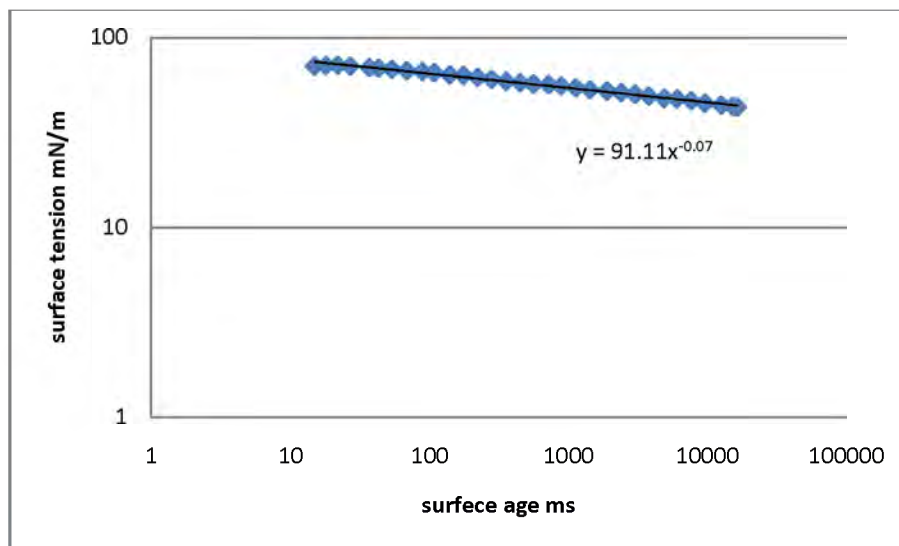
Διάγραμμα 13 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.02g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl.

- 0.03g/100ml ή 1.04mM:



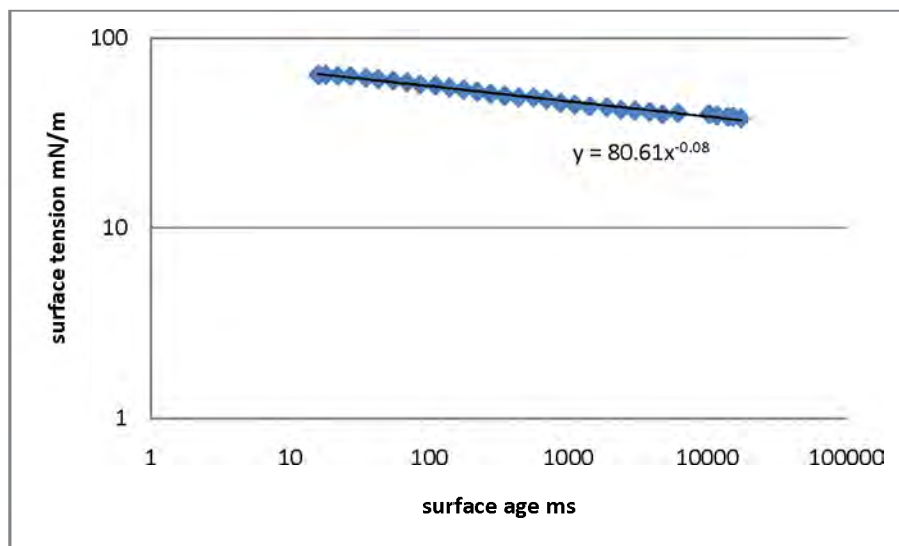
Διάγραμμα 14 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.03g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl.

- 0.04g/100ml ή 1.39mM:



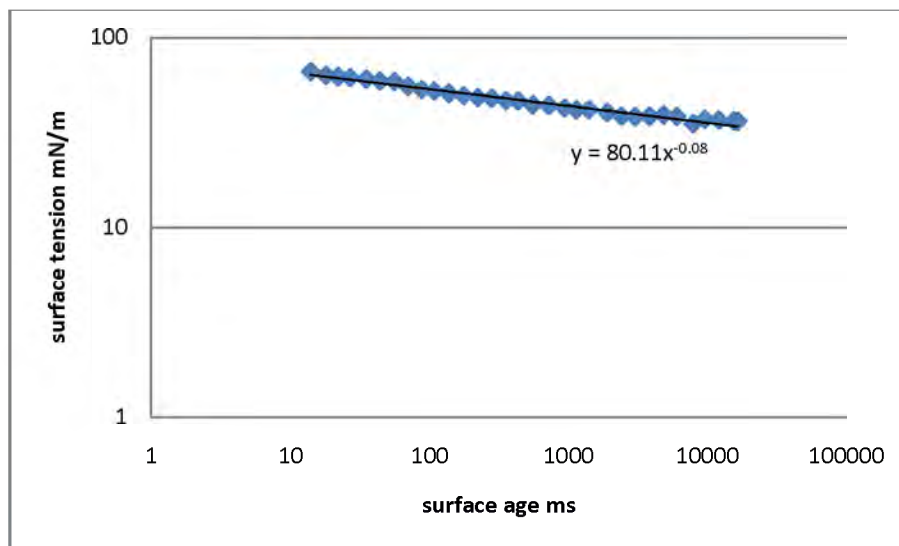
Διάγραμμα 15 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.04g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl.

- 0.055g/100ml ή 1.9mM:



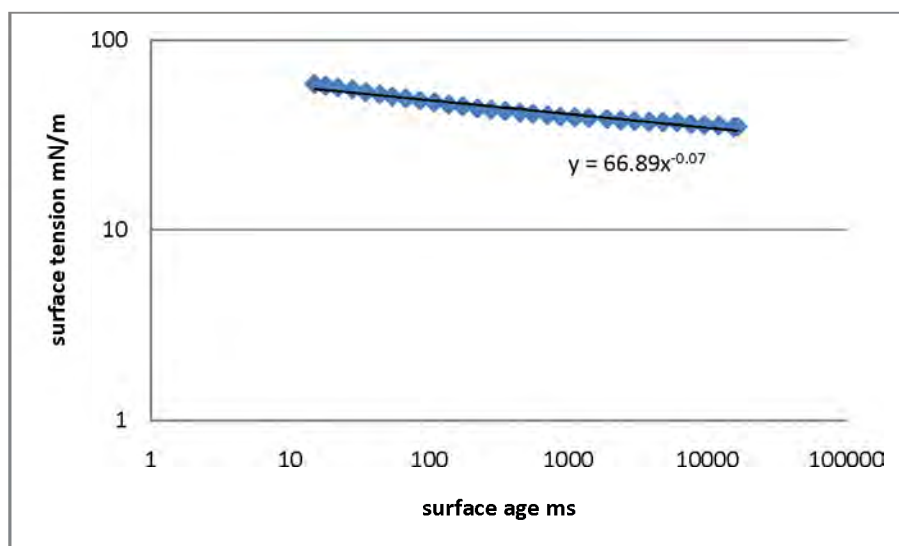
Διάγραμμα 16 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.055g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl.

- 0.085g/100ml ή 2.95mM:



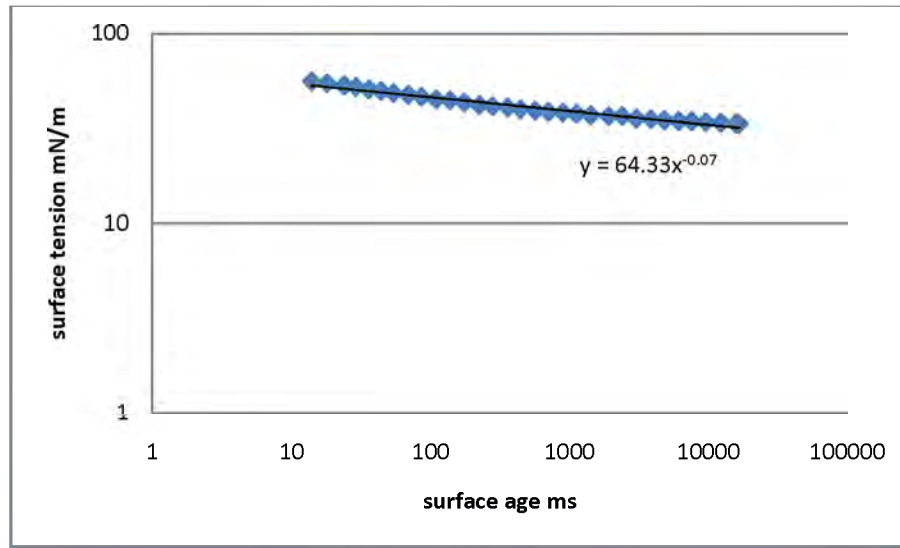
Διάγραμμα 17 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.085g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl.

- 0.12g/100ml ή 4.16mM:



Διάγραμμα 18 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.12g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl.

- 0.155g/100ml ή 5.37mM:



Διάγραμμα 19 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.155g SDS/100mL σε μίγμα με 10 mM NaCl.

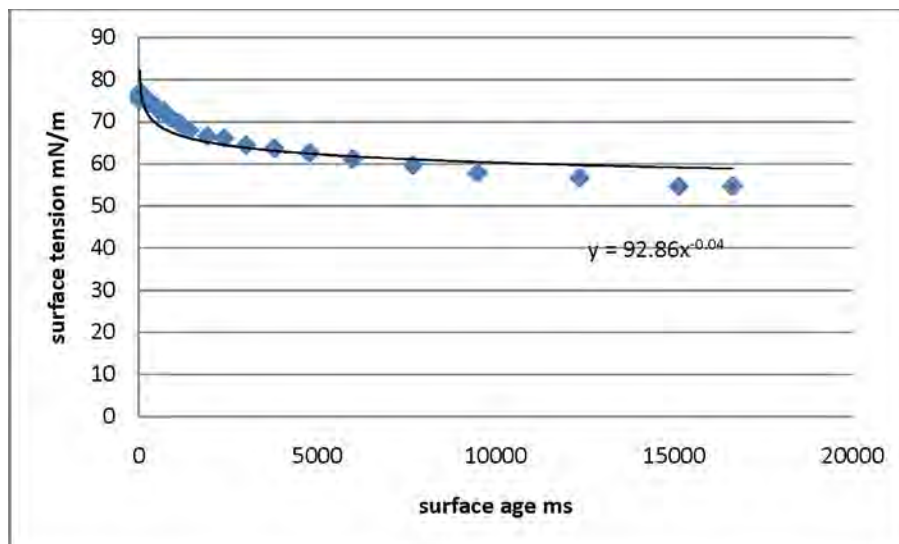
Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι τιμές παρατίθενται σε λογαριθμισμένους άξονες και η γραφική παράσταση προσεγγίζει πάρα πολύ την ευθεία γραμμή, ιδιαίτερα όσο μεγαλώνει ο χρόνος γήρανσης της φυσαλίδας, μπορούμε να πούμε ότι η σχέση εξάρτησης της επιφανειακής τάσης με τον χρόνο γήρανσης της φυσαλίδας μπορεί να περιγραφεί πάρα πολύ καλά από την συνάρτηση:

$$\sigma(t) = a * t^{(-\beta)}$$

όπου a ένας θετικός πραγματικός αριθμός εκτός του μηδέν, β ένας πραγματικός μη αρνητικός ο οποίος γενικά βλέπουμε ότι είναι μεγαλύτερος για μεγαλύτερες συγκεντρώσεις SDS και αφού t είναι πάντα θετικό η συνάρτηση θα βρίσκεται πάντα στο πρώτο τεταρτημόριο.

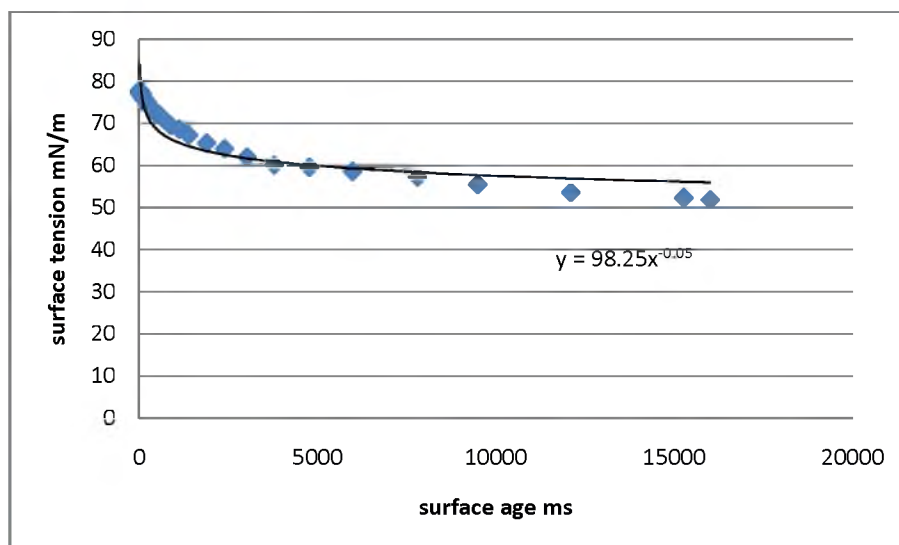
Προς επιβεβαίωση των παραπάνω δίνω παρακάτω και τις γραφικές παραστάσεις για το μίγμα με 100mM στις οποίες όμως οι άξονες δεν είναι λογαριθμισμένοι.

- 0.005g/100ml ή 0.17mM:



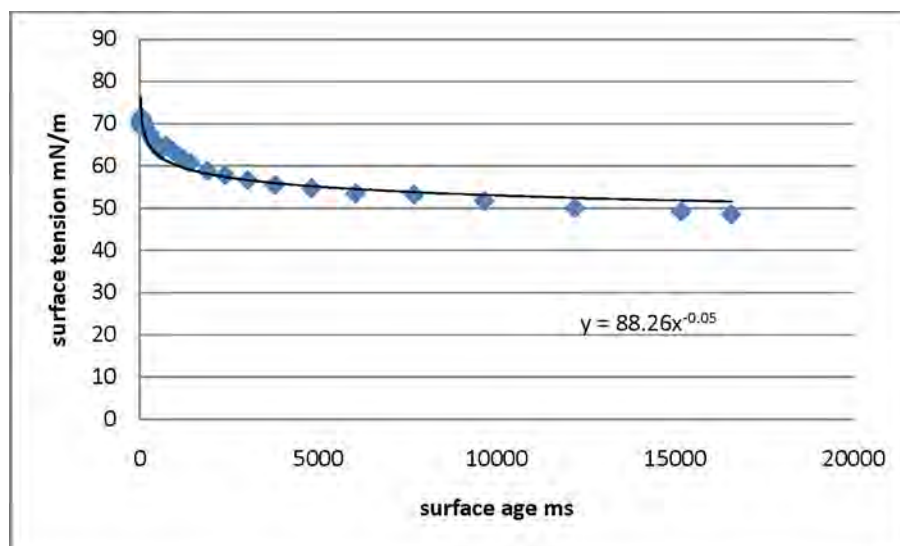
Διάγραμμα 20 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.005g SDS/100mL σε μίγμα με 100 mM NaCl.

- 0.007g/100ml ή 0.24mM:



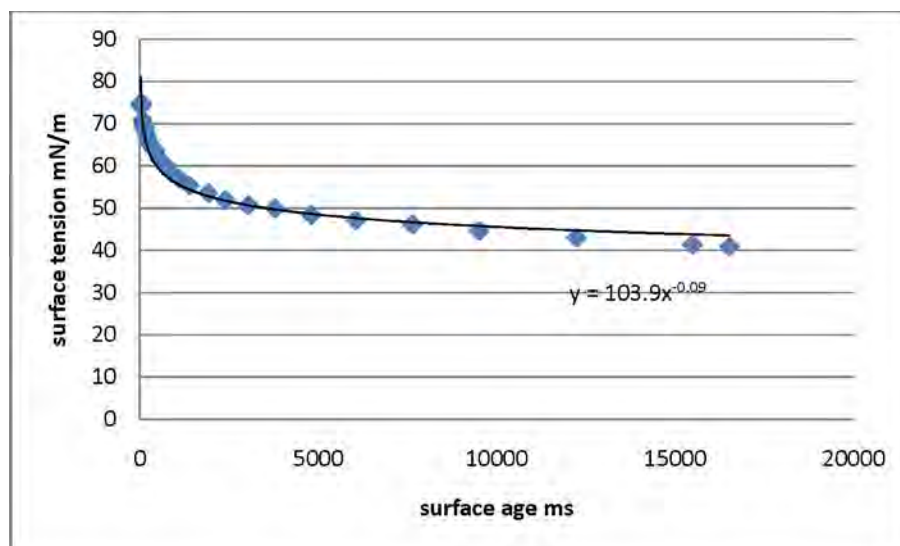
Διάγραμμα 21 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.007g SDS/100mL σε μίγμα με 100 mM NaCl.

- 0.01g/100ml ή 0.35mM:



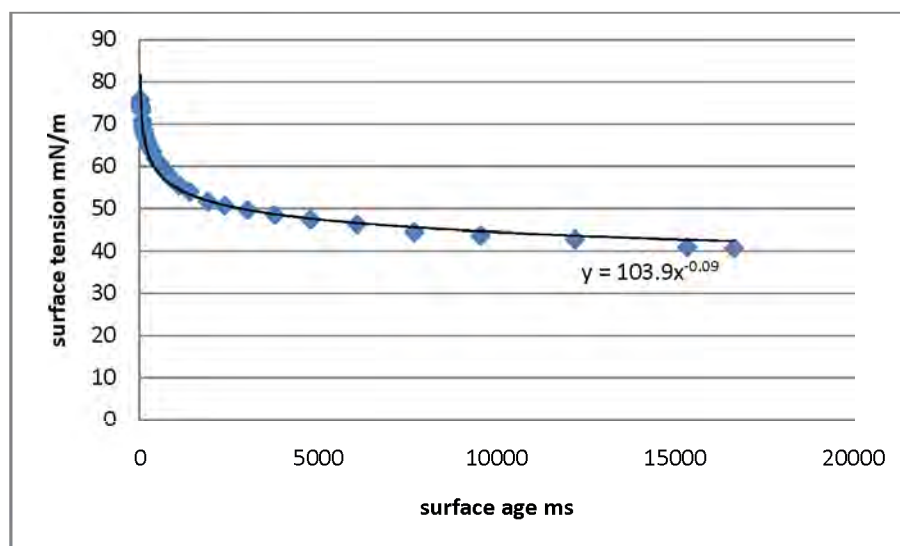
Διάγραμμα 22 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.01g SDS/100mL σε μίγμα με 100 mM NaCl.

- 0.0115g/100ml ή 0.4mM:



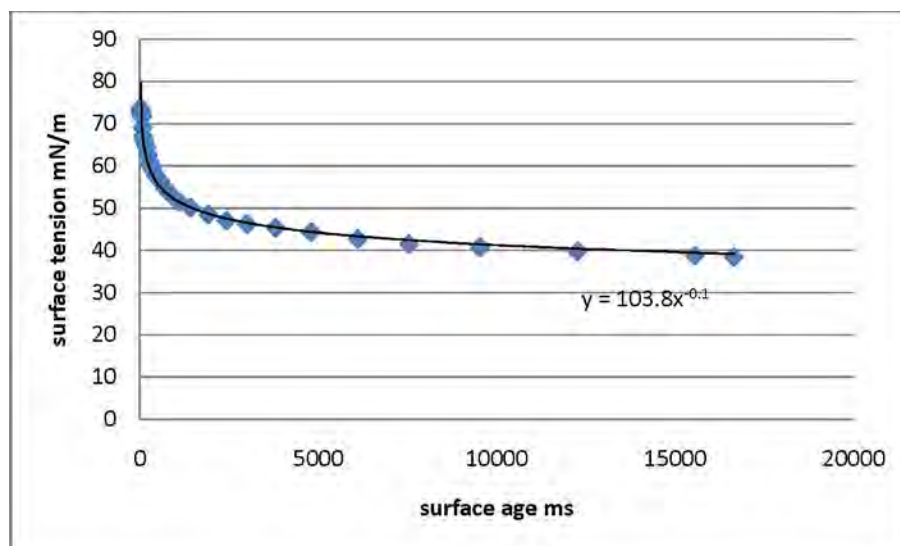
Διάγραμμα 23 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.0115g SDS/100mL σε μίγμα με 100 mM NaCl.

- 0.013g/100ml ή 0.45mM:



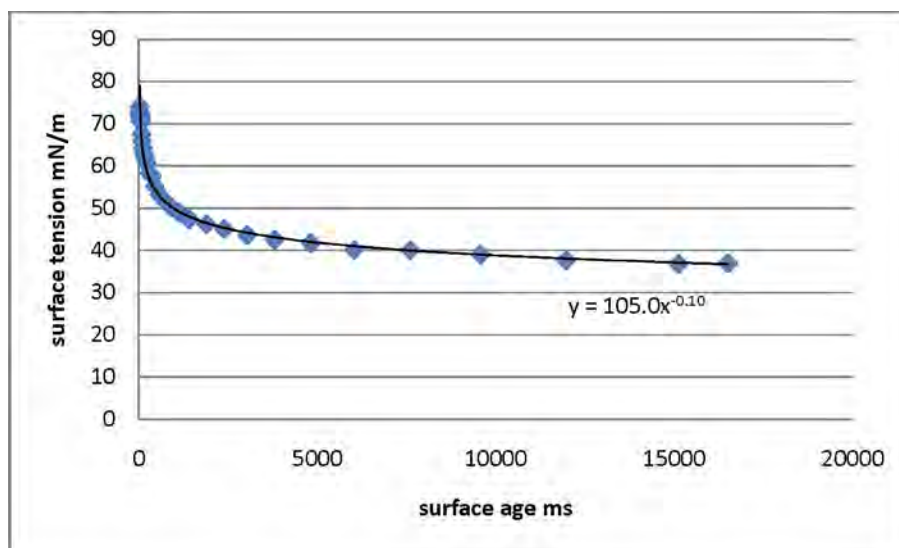
Διάγραμμα 24 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.013g SDS/100mL σε μίγμα με 100 mM NaCl.

- 0.015g/100ml ή 0.52mM:



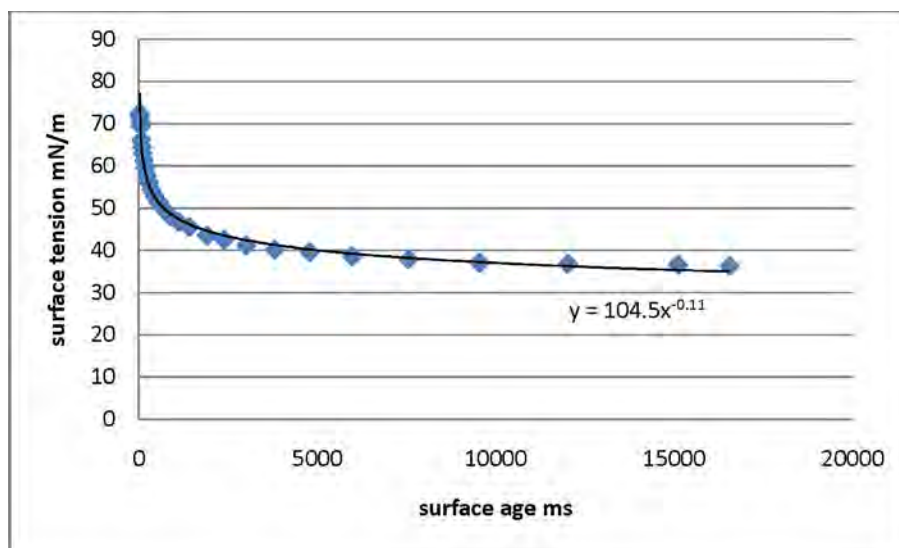
Διάγραμμα 25 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.015g SDS/100mL σε μίγμα με 100 mM NaCl.

- 0.02g/100ml ή 0.69mM:



Διάγραμμα 26 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.02g SDS/100ml σε μίγμα με 100 mM NaCl.

- 0.028g/100ml ή 0.97mM:



Διάγραμμα 27 Η τιμή της επιφανειακής τάσης νεοσχηματισμένης φυσαλίδας ως συνάρτηση του χρόνου γήρανσης της διεπιφάνειας 0.028g SDS/100ml σε μίγμα με 100 mM NaCl.

Παρατηρώντας και αυτά τα διαγράμματα μπορώ να πω ότι το προηγούμενο συμπέρασμά μου ήταν σωστό, μάλιστα βλέπουμε ότι με μεγαλύτερη συγκέντρωση NaCl φτάνουμε σε μεγαλύτερο β και α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας ολοκληρώσει μια σειρά πειραμάτων μπορώ πλέον να πω με σιγουριά ότι έχω εξάγει κάποια πολύ σημαντικά και αξιόπιστα συμπεράσματα σε σχέση με τη δυναμική επιφανειακή τάση σε υδατικά διαλύματα SDS.

- Αρχικά είδαμε στην πράξη την μείωση που επιφέρει η παρουσία του επιφανειοδραστικού στην δυναμική επιφανειακή τάση, η οποία μείωση, ως ήταν αναμενόμενο, γίνεται όλο και πιο έντονη με την αύξηση της συγκέντρωσης του SDS μέχρι να φταστεί η CMC.
- Στη συνέχεια παρατηρώντας τη σχηματική απεικόνιση των τιμών της δυναμικής επιφανειακής τάσης συναρτήσει του χρόνου γήρανσης της φυσαλίδας μας έγινε φανερό το γεγονός ότι για μεγαλύτερους χρόνους γήρανσης οι τιμές επιφανειακής τάσης που παίρνουμε είναι πιο αξιόπιστες, γιατί απαιτείται χρόνος για να γίνει η διάχυση του επιφανειοδραστικού από τον κύριο όγκο του υγρού στη διεπιφάνεια της φυσαλίδας.
- Ακόμα με μια σειρά μετρήσεων που έγιναν σε τέσσερα διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων και που ανάμεσα στις διαδοχικές μετρήσεις κάθε διαλύματος μεσολαβούσε κάποιο χρονικό διάστημα συμπεράναμε ότι ο χρόνος που η ουσία παραμένει στο διάλυμα είτε αναδεύεται είτε όχι δεν έχει καμία επίδραση στην επιφανειοδραστική ουσία.
- Επιπρόσθετα με μετρήσεις διαλυμάτων διαφορετικής συγκέντρωσης SDS με συγκέντρωση NaCl 10mM και 100mM εντοπίστηκε η CMC που είναι 2mM και 0.4mM SDS αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι μικρότερες από εκείνες που περιμέναμε βασιζόμενοι στην εργασία των Franses και Prosser, σύμφωνα με την οποία θα έπρεπε να είναι 5mM SDS και 1mM SDS αντίστοιχα.
- Από τις μετρήσεις αυτές είδαμε ακόμα ότι η παρουσία του NaCl επηρεάζει τη δράση του SDS, όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μικρότερες τιμές επιφανειακής τάσης πετυχαίνονται. Αυτό γίνεται χάρη στην ανιονική φύση του SDS. Με την προσθήκη του NaCl αδυνατίζουν οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις μεταξύ των ιονισμένων κεφαλών των μορίων του SDS με αποτέλεσμα να υπάρχει χώρος στη διεπιφάνεια για περισσότερα μόρια, έτσι προσροφάται μεγαλύτερη ποσότητα SDS που συνεπάγεται μεγαλύτερη μείωση της επιφανειακής τάσης.
- Τέλος πλοτάροντας την δυναμική επιφανειακή τάση συναρτήσει του χρόνου γήρανσης της φυσαλίδας είδαμε ότι η σχέση τους προσεγγίζεται από την εξίσωση $\sigma(t) = \alpha \cdot t^\beta$ με α θετικό αριθμό, t ο χρόνος γήρανσης της φυσαλίδας σε ms, σ η δυναμική επιφανειακή τάση σε mN/m και β πραγματικός μη αρνητικός αριθμός ο οποίος αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του SDS και του NaCl.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Διάλυμα απιονισμένου νερού με 10mM NaCl χωρίς ανάδευση:

1. Διάλυμα με 0.005g SDS/100ml:

- Αρχική μέτρηση:

No.	Time[ms]	SurfaceAge[ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4400	16	73.1
2	21900	18	70.8
3	38000	22	73.1
4	45300	27	73.3
5	51700	36	73.1
6	57600	44	71.5
7	63300	54	71.2
8	68600	69	69.6
9	74400	88	70.3
10	81100	114	69.4
11	87400	138	69.3
12	94800	176	69.2
13	102400	221	68.8
14	111800	278	68.6
15	122000	353	68.1
16	134100	444	68.2
17	147600	555	67.3
18	162800	700	67.4
19	182200	887	67
20	206400	1107	66.6
21	232300	1393	66.4
22	296400	1892	65.8
23	350600	2394	65.8
24	415500	3012	65
25	492900	3786	64.8
26	576900	4780	63.8
27	660700	6063	63.3
28	745000	7539	62.7
29	860800	9636	61.9
30	973800	12176	61.5
31	1073300	15016	61
32	1106100	16086	61

- Μετά από 20 ώρες:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4300	15	72.9
2	32500	19	73.2
3	41900	23	72.5
4	48900	27	72.3
5	55500	36	73.2
6	60700	43	72.1
7	65900	55	71.7
8	71700	69	72.4
9	77200	86	71.8
10	82900	109	71
11	89100	139	70.9
12	95700	176	70.7
13	103300	223	70
14	112200	280	69.8
15	122100	349	69.6
16	132800	444	69.5
17	146900	561	69
18	163300	705	69.1
19	182400	883	68.5
20	203800	1108	68.1
21	229700	1405	68.2
22	288600	1899	67.4
23	337200	2393	66.9
24	390200	2999	66.6
25	456400	3808	66.1
26	526500	4746	65.4
27	602900	5983	64.6
28	686300	7668	64.5
29	766200	9649	62.9
30	854600	12022	62.5
31	969600	15525	61.9
32	986300	16050	61.4

- Μετά από 1 μέρα:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4300	16	72.5
2	13800	18	72.5
3	39400	22	72.3
4	46700	28	71.3
5	53800	35	72.1
6	59300	45	71.4
7	64700	56	70.3
8	70100	71	71
9	75700	87	70.8
10	81400	111	70.4
11	88400	140	70.3
12	95500	177	69.2
13	103100	220	69.2
14	111500	279	69.6
15	121300	354	69.1
16	132700	437	68.8
17	147500	563	68.1
18	163600	697	68.2
19	182700	880	67.8
20	204200	1109	67.8
21	234700	1405	67.1
22	300300	1900	66.5
23	351200	2377	66.5
24	420300	3002	65.4
25	500000	3773	65
26	595400	4783	64.5
27	699900	6044	63.2
28	804700	7626	62.9
29	935300	9588	62.3
30	1087900	11976	61.3
31	1265500	15153	60.5
32	1313400	16099	60.8

- Μετά από 2 μέρες:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	16000	14	71.2
2	29100	19	71.8
3	37500	22	71.7
4	43200	27	70.9
5	48800	35	70.9
6	53500	43	71.4
7	58800	55	70.5
8	63500	69	70.3
9	68600	87	70
10	73700	110	70.1
11	79300	139	69.9
12	85400	177	69.6
13	92500	224	69.4
14	99900	280	68.9
15	108200	355	68.8
16	117700	442	68.9
17	128200	557	68.5
18	143000	710	69
19	159300	898	68.2
20	177600	1121	68.1
21	200200	1427	67.9
22	241400	1909	67.4
23	276900	2386	67.3
24	321200	3041	67.1
25	367000	3815	66.3
26	424200	4819	66.2
27	479500	6082	65.8
28	535200	7612	65.9
29	597500	9773	65.4
30	664600	12162	64.6
31	734400	15131	63.7
32	750600	16132	63.6

2. Διάλυμα με 0.01g SDS/100ml:

- Αρχική μέτρηση:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4300	14	72.3
2	19000	19	71.2
3	27900	22	71
4	35000	27	71.6
5	41500	37	70.2
6	45900	43	70.5
7	51300	55	70.6
8	57100	68	69.4
9	62700	87	69.4
10	68500	109	68.9
11	74800	140	69.1
12	82000	176	68.1
13	90400	222	67.7
14	98700	276	67.4
15	108800	351	67.8
16	119500	440	66.7
17	133900	556	65.9
18	151500	708	65.5
19	172200	875	65.2
20	197000	1110	64.5
21	225400	1399	64.1
22	300800	1910	63.1
23	363000	2386	62
24	444000	3019	61.3
25	541700	3787	60.3
26	645300	4746	59.8
27	763600	5987	58.7
28	891500	7578	58
29	1070800	9571	57.4
30	1272100	12065	55.7
31	1434900	15086	55.5
32	1486600	16210	54.9

- Μέτρηση μετά από 20 ώρες:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	11500	15	70.4
2	27900	20	72.4
3	31900	22	72.6
4	37600	29	71.7
5	42800	35	72
6	48500	44	72.5
7	54100	55	70.3
8	59600	69	69.6
9	64800	87	71
10	70200	110	69.1
11	75800	137	70.4
12	82600	177	69.3
13	89400	222	69.6
14	97700	279	69
15	107400	360	66.6
16	117400	442	67.2
17	128700	568	67
18	142200	718	66.9
19	157600	903	66.3
20	175800	1142	65.3
21	199700	1443	64.9
22	241100	1902	64.1
23	281100	2405	63.5
24	322100	3030	60.6
25	370600	3879	60
26	426900	4813	58.9
27	479800	6043	58.1
28	523700	7657	58.1
29	588600	10008	56.6
30	649400	12480	55.3
31	710800	15747	55.3
32	728900	16904	54.7

- Μέτρηση μετά από 1 μέρα:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	14400	14	70.5
2	27300	18	70.9
3	34900	22	70
4	42600	27	70.2
5	50000	36	70.1
6	56200	43	69.1
7	61400	55	69
8	67200	70	69.4
9	72400	88	68.6
10	78300	109	68.6
11	85200	140	67.9
12	92200	177	66.7
13	99500	218	66.8
14	105900	279	66
15	113100	365	66.2
16	122800	445	66
17	133900	557	64.8
18	147700	695	65.6
19	164900	896	64.4
20	184400	1157	63.3
21	208100	1403	62.2
22	252100	1912	61.2
23	295200	2386	60.5
24	339500	3053	59.6
25	388300	3807	59
26	448700	4834	58.3
27	507900	6132	57.3
28	560000	7740	56.8
29	626200	9727	56
30	697300	12168	55
31	772100	15468	54.2
32	789500	16193	54.2

- Μέτρηση μετά από 2 ημέρες:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4300	14	70.1
2	18100	18	70.1
3	26900	23	69.6
4	31900	27	70.5
5	37200	35	70.6
6	41900	45	69.5
7	46900	55	69.2
8	51900	69	69
9	57200	88	68.7
10	62300	110	69
11	68400	138	68
12	75200	179	68.1
13	81900	221	67.1
14	89900	280	66.8
15	99300	352	66.4
16	109800	445	66.4
17	121200	560	65.8
18	135900	697	65.1
19	152200	891	65
20	173600	1122	64.4
21	197600	1389	64
22	250500	1893	63.7
23	294800	2394	62.5
24	347300	3021	62.2
25	410100	3804	61.4
26	479700	4798	61
27	556600	6055	59.8
28	632700	7558	59.2
29	737600	9664	58.5
30	847600	12088	57.8
31	956900	15056	57.3
32	1004500	16294	56.2

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Διάλυμα απιονισμένου νερού με 10mM NaCl με ανάδευση:

1. Διάλυμα με 0.005g SDS/100ml:

- Αρχική μέτρηση:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	5300	14	72.2
2	22300	18	70.7
3	30600	22	71.8
4	36600	27	72.1
5	42700	35	72.3
6	48000	43	70.2
7	53300	54	70.8
8	58300	68	69.1
9	64100	88	69.7
10	69300	109	69
11	75300	139	68.9
12	82000	175	68.2
13	89700	219	67.9
14	98600	281	68.3
15	107200	351	67.9
16	119300	442	67.4
17	132200	559	67.4
18	148500	700	66.8
19	167000	883	67.1
20	187800	1106	66.7
21	217500	1410	66.4
22	278900	1893	65.9
23	330600	2392	65.3
24	390000	3016	64.6
25	464200	3771	64.1
26	556700	4778	64
27	651100	6029	63.6
28	756100	7620	62.6
29	879600	9484	62.6
30	1035200	12046	62.1
31	1176100	15345	60.7
32	1208900	16057	60.4

- Μέτρηση μετά από 20 ώρες:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	9300	15	75.2
2	23100	18	72.9
3	30900	23	72.5
4	37000	28	73.2
5	43400	35	72.2
6	47900	43	72
7	52600	54	72
8	57900	70	71.7
9	63400	88	71
10	68700	111	71
11	74400	139	70.7
12	81100	175	70.4
13	88700	225	70.7
14	96600	279	70.1
15	105300	351	69.6
16	116300	446	69.3
17	128900	562	69.2
18	143700	697	68.9
19	160400	890	68.4
20	181100	1126	68.3
21	204000	1404	68.3
22	257600	1913	67.5
23	300000	2377	67.2
24	353000	3016	66.6
25	409200	3800	66.3
26	474900	4751	65.5
27	552000	6097	65.2
28	621800	7605	64.5
29	691800	9707	63.6
30	770400	12306	61.7
31	840900	15206	61.1
32	857100	16015	61.2

- Μέτρηση μετά από μία μέρα:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	5100	15	74.9
2	23600	20	72.3
3	30700	22	71.5
4	37400	27	72.1
5	43300	35	71.3
6	48500	43	71.2
7	53300	54	71.7
8	58400	70	70.3
9	63700	90	70.2
10	69000	110	70.4
11	75100	141	69.5
12	80800	173	69.3
13	87900	224	69
14	95900	280	69
15	104700	352	69
16	115600	448	68.6
17	127700	569	68.4
18	142400	711	68
19	158700	882	67.5
20	179200	1114	68
21	205700	1400	66.8
22	255600	1918	67.4
23	304400	2395	66.5
24	351100	3005	65.7
25	416500	3769	65
26	490800	4774	64.4
27	567800	6029	63.9
28	643500	7592	63
29	738800	9532	62
30	859700	12135	61.5
31	970900	15231	61.2
32	1003000	16245	60.9

- Μέτρηση μετά από 2 ημέρες:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4200	14	72
2	16400	18	70.8
3	25400	22	71.6
4	31300	27	71.4
5	37500	36	71.5
6	42600	43	71
7	47600	56	70.5
8	52400	69	70.1
9	57900	90	70.1
10	62800	110	69.7
11	68800	139	70.2
12	75100	177	69.8
13	82600	221	69.1
14	90000	277	69.4
15	98300	347	70.2
16	109100	441	68.8
17	121600	560	68.9
18	136200	699	68.8
19	153400	888	68
20	174700	1119	68.2
21	201400	1409	67.8
22	256300	1897	67.7
23	302900	2392	67.3
24	355200	2998	67
25	418000	3811	66.9
26	487500	4757	66.7
27	559000	6014	65.8
28	627100	7543	65.4
29	722700	9667	65.4
30	821600	12064	65.5
31	932400	15143	64
32	964500	16254	64

2. Διάλυμα με 0.055g SDS/100ml:

- Αρχική μέτρηση:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4000	16	63.7
2	13800	18	63.9
3	30800	22	63
4	38000	27	62.8
5	43500	35	61.6
6	47800	43	60.6
7	52800	55	59.4
8	57600	69	58.4
9	62600	86	56.7
10	68200	111	56.1
11	73600	140	54.7
12	80500	176	53.2
13	87000	221	52.1
14	95100	276	50.7
15	105100	348	49.5
16	115800	438	48.5
17	131200	561	48.6
18	146000	695	47.4
19	164400	877	45.5
20	186400	1110	44.4
21	209600	1422	43.6
22	251500	1890	43.1
23	312000	2377	41.8
24	375700	3006	41.4
25	444400	3831	40.7
26	512700	4746	39.6
27	598200	6113	40.2
28	684600	10281	39.7
29	719900	11599	39
30	801500	13964	38.4
31	857600	15225	38.4
32	928700	17381	37.7

- Μέτρηση μετά από 20 ώρες:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	16400	14	64.1
2	39500	18	63.1
3	48600	22	62.8
4	54300	27	61.4
5	60500	35	60.2
6	65700	43	59.3
7	70500	54	58
8	75300	70	56.9
9	80500	91	55.8
10	86200	109	54.2
11	91900	142	53
12	98500	176	51.9
13	105800	224	50.6
14	113700	282	49.6
15	123000	351	48.4
16	134000	446	47.5
17	146600	564	46.1
18	161100	706	45.2
19	180000	902	44.4
20	201200	1139	43.5
21	223300	1436	42.7
22	263100	1912	41.9
23	297100	2388	40.7
24	339500	3009	40
25	385300	3825	39
26	428600	4795	38.7
27	471200	6054	38.1
28	516900	7527	37.4
29	573900	9611	36.5
30	635500	12599	36.2
31	683300	15508	35.9
32	702000	17125	35.6

- Μέτρηση μετά από 1 μέρα:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	12300	14	63.3
2	31600	18	62.3
3	40400	23	62.1
4	45600	27	61.2
5	51000	35	59.7
6	55200	43	59
7	59800	54	58
8	65000	69	56.6
9	70300	89	55.4
10	75200	109	54.1
11	81000	140	52.8
12	87700	175	51.6
13	94900	220	50.4
14	102200	279	48.9
15	112000	354	47.9
16	122100	437	46.5
17	134400	560	45.7
18	149200	709	44.4
19	166400	878	43.4
20	188000	1131	42.2
21	209800	1426	41.4
22	251500	1904	40.3
23	291900	2406	39.5
24	339500	3026	38.5
25	389000	3844	37.8
26	437800	4848	37.1
27	488300	5997	36.4
28	558000	7587	35.8
29	628800	9583	35.2
30	707800	12259	34.2
31	764700	15050	33.9
32	797900	16801	34.3

- Μέτρηση μετά από 1 μέρα:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	13400	14	62.9
2	37900	18	62
3	48900	22	61.9
4	55500	27	60.6
5	61900	35	59.7
6	66900	44	58.5
7	72400	55	57.4
8	77300	71	56.2
9	83200	87	54.7
10	88400	109	53.7
11	94400	138	52.4
12	100500	177	51.5
13	108500	227	50
14	117100	283	49.2
15	126800	354	48.3
16	138100	448	47.1
17	151400	567	46.4
18	166300	712	45.5
19	184100	897	44.3
20	204800	1134	43.2
21	227700	1451	42.7
22	262800	1888	41.5
23	297600	2387	40.8
24	335200	3017	40.1
25	378400	3841	39.3
26	418000	4837	38.9
27	455100	5988	37.8
28	494400	7629	37.2
29	544400	9862	36.7
30	582600	12364	36.4
31	631200	16128	35.2
32	651400	18250	35.3

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Διάλυμα με 10mM NaCl:

- 0.02g/100ml ή 0.69mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4300	16	77.8
2	13300	19	77.7
3	34200	22	76.3
4	47700	27	77.2
5	55500	35	77.4
6	61600	44	76.7
7	67700	55	76.1
8	73600	70	75.6
9	78900	87	74.8
10	84600	109	73.8
11	91200	139	73.4
12	98400	175	72.4
13	106900	222	71.1
14	115100	277	70.2
15	125600	350	69
16	137100	442	67.9
17	151500	560	67.1
18	168100	697	66.3
19	186200	880	64.8
20	207600	1117	64.3
21	235800	1412	62.7
22	287900	1908	61.2
23	332800	2383	59.9
24	385600	3014	59.2
25	444500	3778	57.4
26	503700	4787	57.3
27	572300	6078	55.3
28	635500	7529	54.9
29	724500	9567	53.1
30	813500	11935	51.2
31	911200	15624	50
32	930200	16375	50.5

- 0.03g/100 ml ή 1.04mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4600	15	73.7
2	9100	18	73.5
3	31300	22	73.8
4	47100	27	73.4
5	54900	36	72.7
6	61100	44	71.8
7	67200	55	71.5
8	73900	71	70.7
9	79800	86	69.9
10	86300	110	69
11	93300	139	67.8
12	101300	179	66.8
13	109900	222	65.4
14	119800	280	64.9
15	132000	352	63.4
16	144300	449	62.8
17	159800	565	61.3
18	178800	710	60.6
19	199500	886	59.8
20	226200	1128	58.4
21	256600	1434	57.4
22	311700	1888	56.3
23	366900	2392	55.8
24	432300	2996	53.9
25	501500	3773	52.9
26	588300	4838	52.2
27	672900	5995	51.1
28	793800	7551	50
29	925400	9488	49.8
30	1077800	11942	47.7
31	1237400	15161	46.6
32	1293800	16381	46.2

- 0.04g/100ml ή 1.39mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4300	15	70.7
2	24100	18	71.1
3	47200	22	71.3
4	54800	27	70.6
5	61900	37	69.3
6	67400	43	68.8
7	72900	54	67.9
8	78300	69	66.8
9	84100	89	66.1
10	90000	108	65.2
11	96300	140	63.5
12	103400	176	63
13	111300	222	61.6
14	120200	280	60.1
15	131900	357	58.7
16	144100	450	57.7
17	158600	559	56.8
18	175700	720	56.4
19	195200	886	55.5
20	218200	1131	54.2
21	245100	1426	52.9
22	292400	1894	52.2
23	336700	2396	51.2
24	389300	3019	50.2
25	442800	3782	49
26	505300	4867	47.8
27	564800	6022	47.4
28	639200	7603	46.4
29	711600	9547	45.1
30	790900	12522	44
31	841100	15153	43.4
32	860400	16321	42.8

- 0.085g/100ml ή 2.95mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	15100	14	66.1
2	26000	18	63.2
3	32500	22	62.2
4	38700	27	61.4
5	44700	35	60.3
6	49200	44	59
7	54300	56	58.6
8	58800	70	55.3
9	63700	88	53.1
10	69000	108	52.2
11	74900	138	50.8
12	81900	176	49.4
13	89400	222	48.2
14	97700	280	47.8
15	107500	355	46.4
16	117700	433	46.3
17	130400	552	44.2
18	143400	722	43.8
19	159500	936	42.4
20	181700	1135	41.5
21	204100	1393	41.7
22	249800	1896	40.2
23	294100	2398	38.4
24	337800	3008	38.1
25	390200	3819	38.3
26	437600	4825	39.1
27	493300	5977	38.3
28	552200	7865	35.1
29	601300	9486	37
30	662500	12018	36.6
31	725100	15424	36.2
32	743400	16434	36.1

- 0.12g/100ml ή 4.16mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4200	15	58.5
2	22500	18	57.2
3	45100	22	56.1
4	51700	28	54.8
5	58000	35	53
6	63200	44	51.6
7	68300	54	50.3
8	72900	68	49.1
9	78200	86	47.9
10	83300	109	46.8
11	89300	138	45.6
12	95900	174	44.6
13	103900	222	43.5
14	113500	278	42.8
15	123900	351	42.2
16	136000	448	41.4
17	151700	556	40.7
18	168900	711	40
19	188200	878	39.4
20	212400	1115	39.1
21	239300	1404	38.7
22	305500	1899	38.2
23	375500	2393	37.6
24	447400	2994	37.4
25	538100	3810	37
26	647800	4792	36.8
27	786100	6064	36.8
28	927800	7620	36
29	1075700	9517	35.5
30	1237800	12064	35.4
31	1412200	15345	34.6
32	1449400	16414	34.9

- 0.155g/100ml ή 5.38mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4600	14	55.7
2	19400	18	54.4
3	37700	24	53.1
4	43700	29	52.1
5	49600	36	50.6
6	54000	44	49.6
7	59300	54	48.3
8	64200	69	47.3
9	69200	86	46.1
10	74700	110	44.7
11	80500	138	44.2
12	86800	174	43.2
13	93600	224	41.8
14	102100	279	41.2
15	111800	359	40.6
16	121500	444	39.7
17	133600	564	39.1
18	147600	704	38.5
19	164700	892	38.1
20	184000	1122	37.6
21	205400	1417	37
22	248500	1905	36.5
23	288500	2380	36.5
24	335400	3015	35.5
25	387700	3841	35.2
26	440800	4806	34.8
27	512600	6086	34.4
28	588400	7535	34.4
29	674600	9518	33.9
30	773800	12203	33.7
31	859400	15693	33.3
32	876000	16541	33.1

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Διάλυμα με 100mM NaCl:

- 0.005g/100ml ή 0.17mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4200	14	75.1
2	24900	20	75.5
3	34700	22	75.7
4	42300	27	76.4
5	48100	35	76.8
6	53600	44	77
7	58500	54	76.7
8	63300	68	76.6
9	68900	88	76.5
10	74500	109	75.9
11	80300	137	75.8
12	86600	174	75.2
13	94000	221	74.7
14	102100	279	74.5
15	111600	355	74.4
16	122100	447	73.7
17	134900	561	72.6
18	149500	703	72.4
19	165000	880	70.9
20	184300	1120	69.6
21	208200	1402	67.9
22	263200	1902	66.5
23	309700	2385	66
24	362700	3002	64.4
25	418300	3795	63.6
26	484400	4779	62.5
27	555900	5982	61.1
28	639100	7671	59.6
29	709700	9481	57.7
30	790200	12348	56.6
31	863100	15116	54.6
32	897300	16626	54.6

- 0.007g/100ml ή 0.24mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4100	15	77.9
2	25100	20	77
3	41900	22	77.6
4	48900	27	77.7
5	56400	35	77.7
6	61900	43	77.5
7	67500	55	77.2
8	73000	69	77.1
9	78600	88	76.6
10	84400	109	76
11	91000	139	75.9
12	97700	175	75.4
13	104800	220	75
14	113700	275	74
15	122900	352	73.6
16	133900	443	72.5
17	146300	559	72
18	162300	698	70.9
19	180300	884	69.5
20	202800	1119	68.6
21	229400	1390	67.2
22	293000	1889	65.3
23	348200	2394	64
24	415200	3017	62
25	485400	3779	60.1
26	569200	4768	59.6
27	657500	5979	58.6
28	773200	7798	57.2
29	855800	9484	55.5
30	994700	12093	53.6
31	1143400	15258	52.3
32	1177700	16001	51.8

- 0.01g/100ml ή 0.35mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	17200	14	69.4
2	26900	18	70
3	33400	22	70.9
4	37300	27	71.4
5	41900	35	71.6
6	45600	43	71.2
7	49900	56	71.1
8	53600	70	70.8
9	57800	88	70.3
10	62400	109	70
11	68200	141	69
12	74700	173	68.7
13	81300	221	68
14	89200	281	67.5
15	98500	351	66.2
16	108000	441	65
17	120400	566	63.6
18	134400	727	64.8
19	150700	886	63.8
20	172100	1128	62.1
21	196000	1402	60.7
22	249400	1889	58.8
23	296000	2381	57.8
24	346500	3018	56.7
25	403300	3774	55.5
26	471000	4799	54.7
27	539700	6034	53.5
28	612200	7681	53.2
29	686500	9647	51.7
30	780700	12188	50
31	871400	15157	49.2
32	907100	16561	48.5

- 0.0115g/100ml ή 0.4mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4000	16	74.5
2	12600	18	74.8
3	37800	22	74.2
4	48800	27	74.7
5	57600	35	74.9
6	62900	44	74.2
7	68700	56	74.6
8	74300	69	71
9	79900	87	70.1
10	85300	109	69.3
11	91500	138	68.7
12	98200	176	67.7
13	105600	222	66.7
14	114300	279	65.3
15	124000	355	64.2
16	134500	445	63.5
17	148000	558	61.5
18	162100	693	60.4
19	181200	886	58.3
20	202800	1109	56.9
21	226800	1385	55.3
22	285300	1916	53.6
23	334500	2384	51.9
24	391000	3032	50.7
25	455600	3780	49.9
26	532100	4792	48.3
27	612200	6048	47.1
28	699800	7630	46.1
29	800000	9502	44.6
30	926400	12226	42.9
31	1045300	15482	41.3
32	1080100	16517	40.9

- 0.013g/100ml ή 0.45mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	3900	14	75.8
2	23100	18	74.6
3	43400	22	74
4	52300	27	74.5
5	59200	35	74.2
6	64700	43	73.8
7	70000	55	73.1
8	75300	69	70.8
9	81100	88	70
10	86700	107	68.6
11	92500	137	67.6
12	98900	173	66.8
13	106000	220	65.7
14	114600	279	64.5
15	124700	353	63.4
16	135100	443	61.8
17	148700	555	60.6
18	163500	707	58.8
19	182600	892	57
20	204200	1114	55.4
21	231300	1403	53.9
22	285100	1908	51.6
23	327900	2380	50.6
24	382200	3011	49.6
25	439800	3775	48.4
26	512100	4778	47.3
27	586800	6076	46.2
28	660500	7674	44.4
29	742700	9537	43.6
30	846000	12176	42.7
31	949200	15316	40.9
32	983900	16618	40.7

- 0.015g/100ml ή 0.52mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	11500	14	73.7
2	39300	18	73.1
3	49900	22	72.5
4	57100	27	72.8
5	63500	35	72.8
6	68900	43	72.4
7	74100	55	71.7
8	79000	69	69.1
9	84000	88	67.1
10	89000	108	66.3
11	95000	139	65.3
12	101500	176	64.4
13	109100	221	62.6
14	116700	279	60.8
15	125800	352	59.3
16	136100	446	57.7
17	148400	564	56.4
18	163100	711	54.6
19	180600	897	52.9
20	200000	1118	51.4
21	224400	1410	50.1
22	269600	1910	48.5
23	310400	2414	47
24	353100	2993	46.2
25	407200	3803	45.3
26	466000	4791	44.3
27	529600	6102	42.7
28	580900	7539	41.5
29	653700	9525	40.7
30	735300	12252	39.7
31	810700	15548	38.7
32	828400	16637	38.4

- 0.02g/100mlή 0.69mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	6800	14	74
2	16400	18	72.9
3	36900	23	72.7
4	44900	27	72.4
5	52100	36	71.8
6	57600	44	71.1
7	63400	55	70.4
8	68500	70	67.6
9	73900	87	65.8
10	79400	110	64.2
11	85500	138	62.8
12	92300	177	61.9
13	100100	220	60.6
14	108700	283	58.2
15	118500	359	57.6
16	130000	441	55.2
17	143300	563	53.2
18	158700	716	51.8
19	176100	882	50.3
20	197000	1118	49
21	222900	1406	47.3
22	270900	1888	46.2
23	317000	2389	45.1
24	372400	3024	43.6
25	434400	3800	42.5
26	498900	4813	41.7
27	562400	6028	40.1
28	642800	7603	40
29	734800	9572	39
30	827800	11967	37.6
31	915900	15114	36.8
32	950700	16500	36.9

- 0.028g/100ml ή 0.97mM:

No.	Time [ms]	SurfaceAge [ms]	SurfaceTension [mN/m]
1	4000	15	72.3
2	15800	19	72.5
3	31300	22	71.7
4	43200	28	71.6
5	50800	36	71.7
6	56700	45	70.2
7	62500	54	69.4
8	67800	68	66.1
9	73300	87	64.4
10	79200	109	62.9
11	85600	137	61.3
12	93000	175	59.6
13	100600	221	57.9
14	109100	279	56.1
15	118100	349	54.4
16	129100	443	52.7
17	142000	557	51.3
18	157800	703	49.7
19	176800	888	48
20	199400	1118	46.7
21	226000	1406	45.5
22	278600	1903	43.5
23	323400	2388	42.5
24	379400	3002	41.2
25	442200	3795	40.2
26	507700	4784	39.6
27	572000	5972	38.6
28	652900	7556	37.9
29	745000	9539	37.1
30	837800	12008	36.8
31	924800	15092	36.6
32	959000	16541	36.3

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alissa j. Prosser and Elias I. Franses, Adsorption and surface tension of ionic surfactants at the air-water interface: review and evaluation of equilibrium models, 22 June 2000.
- Arthur W. Adamson and Alice P. Gast, Physical Chemistry of Surfaces, Sixth Edition
- www.wikipedia.org
- KRUSS, Laboratory Desktop Software LabDesk 3.2.2 for Bubble Pressure Tensiometer. KRUSS GmbH, Hamburg 2005-2013, 2013.
- KRUSS, DYNAMIC SURFACE TENSION, ONLINE, Available: <http://www.kruss.de/services/education-theory/glossary/dynamic-surface-tension/>.