

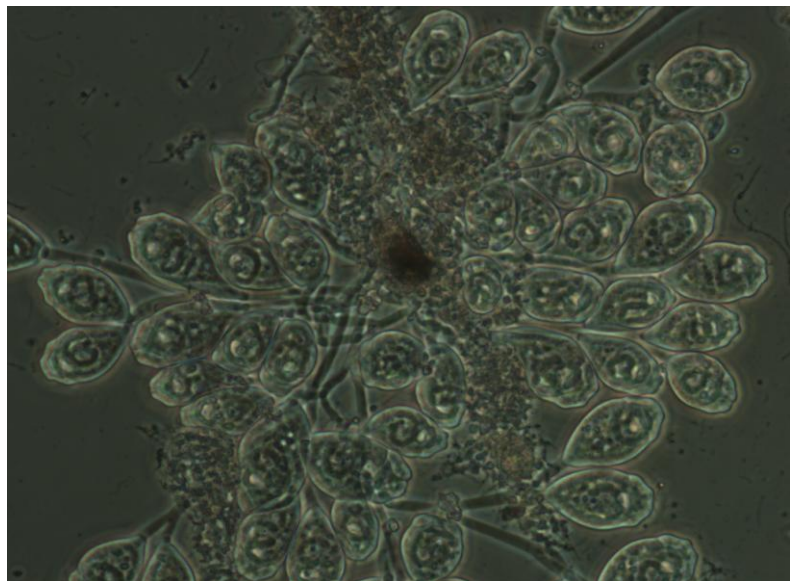


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ – ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ &
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ
ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΟΥΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ & ΑΦΡΙΣΜΟΥ



Μπουλούγαρη Ελίνα

Επιβλέπων Καθηγητής:
Επίκουρος κ. Κωνσταντίνος Νουτσόπουλος

Αθήνα, Ιούλιος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ – ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΘΕΜΑ: «ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ &
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ
ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΟΥΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ & ΑΦΡΙΣΜΟΥ»**

Μπουλούγαρη Ελίνα

Επιβλέπων Καθηγητής: Κ. Νουτσόπουλος

Αθήνα, Ιούλιος 2014

Το περιεχόμενο της ανά χειράς διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

Στους γονείς μου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου, Επίκουρο Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο για την επιστημονική του καθοδήγηση σε όλα τα στάδια της εργασίας μου, τις διδακτικές συμβουλές του, την άψογη επικοινωνία, καθώς και για την έμπρακτη βοήθειά του στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τον κ. Στέλιο Γιέτο, ηλεκτρονικό μηχανικό, εξωτερικό συνεργάτη, για την πολύτιμη συνεισφορά του στην καθοδήγησή μου για τον χειρισμό του οπτικού μικροσκοπίου αλλά και του λογισμικού Image Analysis και για την βοήθειά του σε όλα τα τεχνικά προβλήματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου, αλλά και στην επίλυση κάθε απορίας που είχα σε σχέση με το λογισμικό. Σημαντική ήταν και η βοήθεια που μου προσέφερε η Βασιλική Χιουρέα μεταλαμπαδεύοντάς μου όλη την εμπειρία και τη γνώση της πάνω στο συγκεκριμένο λογισμικό και την ευχαριστώ ιδιαίτερω.

Ευχαριστώ επίσης μέσα από την καρδιά μου και τον καθηγητή μου κ. Δάνο Μαμάη για την αμέριστη προθυμία του να μου λύσει οποιαδήποτε απορία σε εργαστηριακό επίπεδο ή σε επίπεδο γνώσεων, καθώς επίσης και όλες τις συναδέλφους και συμφοιτήτριες για την άψογη συνεργασία στο χώρο του εργαστηρίου. Ιδιαίτερη είναι και η ευγνωμοσύνη που θέλω να εκφράσω για τον κ.Νίκο Κουρή καθώς και για την Κορίνα Αντωνίου για την συμπαράσταση και την έμπρακτη βοήθειά τους σε όλα τα επίπεδα.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου Δημήτρη Μπουλούγαρη και Χριστίνα Γούσια, την αδερφή μου Μπουλούγαρη Χαρούλα αλλά και όλους τους φίλους μου για τη συνεχή βοήθεια, συμπαράσταση και αγάπη τους, όποτε τη χρειάστηκα. Ιδιαίτερα από τους φίλους, θέλω να ευχαριστήσω την Έλενα Νικολάου για τις ατελείωτες ώρες παρέας στο εργαστήριο και τις πολύτιμες συμβουλές της στο χειρισμό κάποιων εντολών στο Word και στο Excel.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής ήταν να προσδιοριστούν αρχικά τα χαρακτηριστικά της καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος δειγμάτων ανάμικτου υγρού και ανακυκλοφορίας ιλύος από δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων με διαφορετικές λειτουργικές συνθήκες. Σκοπός ήταν δηλαδή, να προσδιοριστούν παράμετροι όπως ο δείκτης καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI), η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης και οι παράμετροι V_0 και n της εξίσωσης Vesilind με πειραματικές διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας των 20°C. Επιλέχθηκε να εξεταστούν δείγματα από δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων για δύο περιπτώσεις: α) για την ΕΕΛ Κοζάνης, η οποία εμφανίζει προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού και β) για την ΕΕΛ Λαμίας, που δεν παρουσιάζει τέτοια προβλήματα.

Επιπλέον, αναπτύχθηκε μια μέθοδος ανάλυσης και επεξεργασίας της μικροσκοπικής εικόνας των δειγμάτων ενεργού ιλύος, με σκοπό τον υπολογισμό διαφόρων μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων και τον προσδιορισμό των πιθανών μεταξύ τους συσχετίσεων, αλλά και των συσχετίσεων αυτών των παραμέτρων με τις παραμέτρους καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος. Η μέθοδος αυτή συνδυάζει τη μικροσκοπική παρατήρηση με ένα λογισμικό επεξεργασίας εικόνας (Image Pro Plus) και έχει την δυνατότητα εντοπισμού και καταγραφής πολλών μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων με μεγάλη ακρίβεια, καταργώντας την υποκειμενικότητα του αναλυτή. Οι παράμετροι που επιλέχθηκε να εξεταστούν εκτενέστερα ήταν: ο λόγος του μέγιστου άξονα ως προς τον ελάχιστο άξονα μιας έλλειψης (aspect ratio), ο μέγιστος άξονας (axis major), η μέγιστη διάμετρος (diameter max), η μέση διάμετρος (diameter ave) και η περίμετρος (perimeter) των κροκίδων.

Επίσης, προσδιορίστηκε το σημείο λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης των δύο εγκαταστάσεων με σκοπό να διερευνηθεί περαιτέρω η δυνατότητα της ενεργού ιλύος να καθιζάνει ικανοποιητικά και να προταθούν λύσεις για την καλύτερη λειτουργία των εγκαταστάσεων. Διερευνήθηκε επίσης, η επίδραση της προσθήκης διαφορετικών κροκιδωτικών στις μορφολογικές παραμέτρους που εξετάστηκαν για τα δείγματα της ενεργού ιλύος. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μία συγκριτική μελέτη για τις δύο εγκαταστάσεις.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην περίπτωση φαινομένων νηματοειδούς διόγκωσης σε μία ΕΕΛ, οι κροκίδες της ενεργού ιλύος είναι πιο μικρές και με επίμηκες σχήμα που προσεγγίζει την έλλειψη. Ο δείκτης καθιζησιμότητας της ιλύος εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλές τιμές και η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης είναι ιδιαίτερος χαμηλή. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι και οι δύο εγκαταστάσεις είχαν ιδιαίτερα ικανοποιητικές τιμές για την παράμετρο V_0 , αλλά αντίθετα πολύ υψηλές και άρα όχι ικανοποιητικές τιμές για την παράμετρο n κάτι που σχετίζεται άμεσα με την χρήση κροκιδωτικών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Επιβεβαιώθηκε επιπλέον ότι υπάρχει άμεση συσχέτιση του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος με τις σταθερές V_0 και n . Τέλος, η μόνη σημαντική επίδραση που εντοπίστηκε με την προσθήκη κροκιδωτικών στα δείγματα ενεργού ιλύος σε εργαστηριακή κλίμακα, ήταν η περίπτωση της προσθήκης της μέγιστης επιλεγμένης δόσης κατιονικού πολυηλεκτρολύτη.

Λέξεις κλειδιά: ενεργός ιλύ, μέθοδος ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας, συσσωματώματα, κροκίδες, νηματοειδή βακτήρια, νηματοειδής διόγκωση, αφρισμός, δείκτης καθιζησιμότητας ιλύος, εξίσωση Vesilind, σημείο λειτουργικής κατάστασης, συντελεστής συσχέτισης Pearson, κροκιδωτικά.

Monitoring of Activated Sludge Bulking and Foaming through an Image Analysis Procedure and Microscopic Examination

Boulougari Elina

ABSTRACT

The aim of this thesis was to identify the characteristics of activated sludge settleability and compactability for sludge samples taken from two wastewater treatment plants with different operating conditions. In other words, the goal was to determine all the parameters related to sludge settleability and compactability, such as the Diluted Sludge Volume Index (DSVI), the zonal settling velocity and the Vesilind's parameters V_0 and n through experimental procedures that were performed at stable temperature, at 20°C. It was selected to examine samples taken from two wastewater treatment plants in order to investigate two different cases: a) Kozani's WWTP, a WWTP that experienced bulking and foaming problems and b) Lamia's WWTP, a WWTP that has not operating problems due to these phenomena.

In addition, this work deals with the development of an image analysis method to characterize microbial flocs in order to calculate later various morphological parameters of these flocs and identify potential correlations among them, or correlations among these morphological parameters and parameters that are related to sludge settleability and compactability. The developed procedure combines microscopic examination with an image processing software (Image Pro Plus) and permits to obtain and record, with great accuracy and objectivity, several morphological parameters like aspect ratio, axis major, diameter max, diameter average and perimeter.

State Point Analysis (SPA) was also a convenient visual way to determine the operating condition of the clarifiers for these two WWTP and it was obtained in order to investigate further the settleability of activated sludge and propose solutions in case of operating problems. At the end, it was investigated the effect on morphological parameters by adding several types of inorganic flocculants in samples of activated sludge. Finally, a comparative study was carried out for the two WWTPs.

The results obtained in this work can be summarized as follow: First of all, in the case of WWTP that experienced bulking problems, the activated sludge flocs are smaller and their shape seems to approximate the shape of an ellipse. Diluted Sludge Volume Index is high and zonal settling velocity is low. It was also obvious that parameter V_0 was satisfactory for samples taken from both Kozani's and Lamia's WWTP, but the values of parameter n was too high to be satisfactory. Further confirmed that there is a direct correlation between Diluted Sludge Volume Index and Vesilind's parameters. In addition, it was verified a significant influence of cationic polyelectrolyte for the maximum dose that was added against all other selected inorganic flocculants.

Key words: activated sludge, image analysis, aggregates, flocs, filamentous bacteria, bulking, foaming, Diluted Sludge Volume Index, Vesilind settling function, state point analysis, Pearson's correlation coefficient, inorganic flocculants

Thesis Submitted for the Postgraduate Course Water Resources Science & Technology, Stream B: Water Quality and Environmental Technology

National Technical University of Athens, Greece

Supervisor : Konstantinos Noutsopoulos

Seguimiento de bulking filamentoso y de formación de espumas de lodos activados a través de un procedimiento de análisis de imagen y examen microscópico

Boulougari Elina

ABSTRACTO

El objetivo de esta tesis fue identificar las características de sedimentación de lodos activados de muestras de fangos extraídos de dos PTAR con diferentes condiciones de operación. El objetivo fue determinar el Índice Volumétrico de fango diluido (IVF), la velocidad de sedimentación zonal y los parámetros Vesilind a través de procedimientos experimentales que se realizaron a una temperatura estable de 20° C. Se seleccionó para examinar las muestras tomadas a partir de dos PTAR con el fin de investigar dos casos diferentes: a) Kozani's PTAR, que tiene problemas de bulking filamentoso y de formación de espumas y b) Lamia's PTAR, una PTAR que no se identificaron problemas de operación debido a estos fenómenos.

En adición a lo antes señalado, este trabajo trata sobre el desarrollo de un método de análisis de imágenes para caracterizar flóculos microbianos y así estar en posibilidades de calcular diversos parámetros morfológicos de flóculos e identificar las posibles correlaciones entre ellos, o correlaciones entre estos parámetros morfológicos y otros parámetros que están relacionados con la decantación de lodo. El procedimiento desarrollado combina el examen microscópico con un software de análisis de imágenes (Imagen Pro Plus) y permite obtener y registrar, con gran precisión y objetividad, varios parámetros morfológicos, como la relación de aspecto, eje mayor, diámetro máximo, diámetro medio y el perímetro.

Análisis de Punto de Estado fue también una manera visual para determinar el estado de los clarificadores de estas dos PTAR en estudio y se obtuvo también para proponer soluciones en caso de problemas de operación. Al final, se investigó el efecto sobre los parámetros morfológicos mediante la adición de varios tipos de floculantes inorgánicos en muestras de lodos activados obtenidas. Por último, se llevó a cabo un estudio comparativo entre las dos plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los resultados obtenidos en este proyecto, se pueden resumir de la siguiente manera: En primer lugar, en el caso de la PTAR que experimentó problemas de bulking filamentoso, los flóculos son más pequeños y su forma parece aproximarse a la de una elipse. El índice Volumétrico es alto y la velocidad de sedimentación por zonas es baja. También fue evidente que el parámetro V_0 fue satisfactorio para las muestras tomadas en las dos PTAR, sin embargo el valor del parámetro n era demasiado alto para considerarse satisfactorio. Además, se pudo confirmar que existe una correlación directa entre el índice Volumétrico y los parámetros Vesilind. Adicionalmente, se pudo percibir una influencia significativa de poli-electrolito catiónico para la dosis máxima que se ha añadido, contra todos los otros floculantes inorgánicos seleccionados.

Palabras Clave: lodos activados, análisis de imágenes, flóculos, bacterias filamentosas, formación de espumas, índice Volumétrico de fango diluido, parámetros "Vesilind", punto de estado, coeficientes de correlación de Pearson, floculantes inorgánicos.

Tesis presentada para el curso de Posgrado en Recursos Hídricos, Ciencia y Tecnología, Arroyo B: Calidad del Agua y Tecnología Ambiental, Universidad Técnica Nacional de Atenas, Grecia.

Supervisor: Konstantinos Noutsopoulos

EXTENDED SUMMARY

Introduction

Nowadays, the aerobic activated sludge systems constitute one of the most used technologies for the secondary treatment of wastewaters. In general, these systems consist in a two stage wastewater processing: (1) a biochemical stage (aeration tank) and (2) a physical stage (secondary clarifier) useful for the biomass separation. Great attention has been given to the first stage and the results of different studies have been contributed to its optimization and control. However, the biomass separation from the effluent purified by gravity settling frequently becomes the critical stage of the process, due to the different problems that severely affect the settling and compaction of sludge.

In activated sludge system the bacteria responsible for the removal of organic matter are aggregated, through a process known as flocculation, forming microbial flocs. This active process takes place as a result of the network formation of extracellular polymeric substances (EPS) excreted by floc-forming bacteria in which the bacteria and other organic and inorganic particles are embedded, and of the filaments from filamentous bacteria that serve as a "backbone" of the microbial floc.

A good balance between filamentous and flocforming bacteria favors the formation of large, dense and strong flocs desirable for adequate settling and compaction of the activated sludge. Misbalance could induce filamentous bulking caused by an overgrowth of filamentous bacteria.

The filamentous bulking promotes the formation of highly irregular flocs causing a decrease of settling speed as well as low sludge compaction, while the disperse growth leads to the formation of small and lights flocs that not settle, resulting in a very turbid effluent with high concentration of suspended matter.

Several studies have shown that the settling and the compaction properties of the activated sludge are directly related to the flocs structure, which depends on a group of chemical, physical and biological factors that significantly influence the balance between filamentous and floc-forming bacteria, leading to changes in the structure and, thus, in the morphological properties of microbial aggregates. In this way, it is possible to establish relationships between sludge settling indexes and several parameters that characterize the morphology of microbial flocs, being these relationships useful for monitoring the settling stage in activated sludge systems.

Several techniques have been proposed in order to describe the complex structure of the flocs. The recent development of image analysis technique has enabled a more complete understanding of the aggregates physical structure and morphology.

The aim of this thesis was to identify the characteristics of activated sludge settleability and compactability for sludge samples taken from two wastewater treatment plants with different operating conditions. In other words, the goal was to determine all the parameters related to sludge settleability and compactability, such as the Diluted Sludge Volume Index (DSVI), the zonal settling velocity and the Vesilind's parameters V_0 and n through experimental procedures that were performed at stable temperature, at 20°C. It was selected to examine samples taken from two wastewater treatment plants in order to investigate two different cases: a) Kozani's WWTP, a WWTP that experienced bulking and foaming problems and b) Lamia's WWTP, a WWTP that has not operating problems due to these phenomena.

In addition, this work deals with the development of an image analysis method to characterize microbial flocs in order to estimate later various morphological

parameters of these flocs and identify potential correlations among them, or correlations among these morphological parameters and parameters that are related to sludge settleability and compactability. The developed procedure combines microscopic examination with an image processing software (Image Pro Plus) and permits to obtain and record, with great accuracy and objectivity, several morphological parameters like aspect ratio, axis major, diameter max, diameter average and perimeter.

State Point Analysis (SPA) was also a convenient visual way to determine the operating condition of the clarifiers for these two WWTP and it was obtained in order to investigate further the settleability of activated sludge and to propose solutions. At the end, it was investigated the effect on morphological parameters by adding several types of inorganic flocculants in samples of activated sludge. Finally, a comparative study was carried out for the two WWTPs.

Material and Methods

The biomass used along the experimental work was provided by the wastewater treatment plants of Kozani and Lamia (Greece). Activated sludge samples were collected from the aeration basins and from the recycle pumps of the two WWTPs. Samples were taken: 1) to realize microscopic observations in order to estimate the morphological parameters of these microbial flocs by using image analysis, 2) to realize experimental processes in order to estimate the parameters that are related to sludge settleability and compactability like the Diluted Sludge Volume Index (DSVI), the zonal settling velocity and the Vesilind's parameters V_0 and n , 3) to realize physic-chemical analyses in order to determine the Total Suspended Solids (TSS) and Volatile Suspended Solids (VSS) according to the Standard Methods (APHA, 1992), 4) to perform the Gram and Neisser staining procedures. Two samples from Kozani's and one sample from Lamia's WWTPs were taken also to realize experiments and microscopic examinations, in order to investigate the effect of five types of inorganic flocculants by adding three different doses of each one in samples of activated sludge. All experimental processes were performed at stable temperature of 20°C.

Kozani's Operating Data: $Q=545\text{m}^3/\text{h}$, $A_{\text{tot}}=1592\text{m}^2$, $r=1,15$, $\text{MLSS}=4,5\text{kgSS}/\text{m}^3$

Lamia's Operating Data: $Q=625\text{m}^3/\text{h}$, $A_{\text{tot}}=2322\text{m}^2$, $r=1,13$, $\text{MLSS}=7,5\text{kgSS}/\text{m}^3$



Figure 1: Left: Optical Microscope Nikon Eclipse 80 and Video camera Lumenera Infinity 1-3c (2048x1536 pixel, 24 bit) used for capturing of activated sludge images by using the software Image Pro Plus, Right: Experimental Procedure in order to estimate the parameters that are related to sludge settleability and compactability like the Diluted Sludge Volume Index (DSVI), the zonal settling velocity and the Vesilind's parameters V_0 and n .

Microbial Flocs Images Acquisition

Activated sludge samples from each WWTP were examined by an optical microscope (Nikon Eclipse 80), in phase contrast at 100x total magnification, coupled with a Lumenera Infinity 1-3c camera, being the images grabbing performed in 24 bit. Microbial structure images were acquired at 2048x1536 pixels matrix. For the flocs images acquisition a drop of sludge was deposited on a slide and carefully covered with a cover slip, in order to avoid the presence of air leaks. Around 500 images were acquired for each sample, covering an area of 1cm².

Image Analysis

The image processing was carried out by using the software Image-Pro Plus (the routines were developed in Visual basic). The analysis of the processed images was carried by quantification of several parameters of the microbial flocs. The schematic representation of image processing and analysis procedure is illustrated in Figure 2.

The floc counting was performed through the following steps: 1) Manual determination of the flocs colour, 2) Implementation of several filtering techniques for enhancing the objects definition, 3) Highlighting the measuring outline and assigning a reference number to flocs on the processed image and the original image as shown in flocs trace example below (Figure 2), 4) Manual removal of flocs touching the image border, of air leaks, oil drops and debris, 5) Manual separation of flocs having been counted as one floc, 6) Determination of the smaller floc (diameter <50µm) and automatic elimination of objects smaller than the determined minimum size.

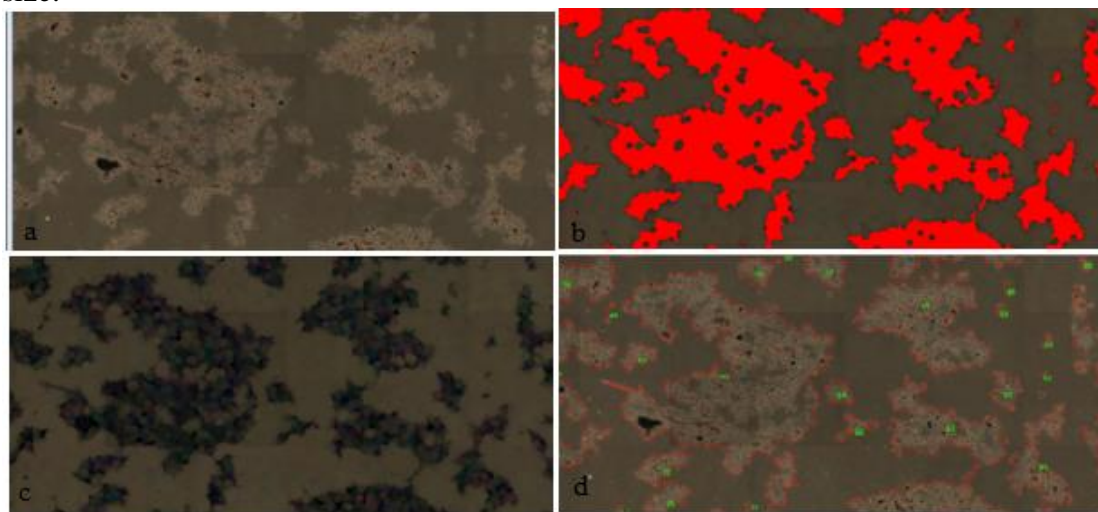


Figure 2: a) Microbial Flocs Image Acquisition (original image), b) Determination of the flocs colour, c) Implementation of several filtering and d) Flocs detection on the Image Acquisition

Morphological Parameters

Once the images were treated by the procedure described above, several morphological parameters were estimated by the own software. In the present thesis, the parameters that were measured and were taken into account for each activated sludge floc were: Aspect Ratio, Axis major, Diameter maximum, Diameter average and Perimeter.

Aspect Ratio: is defined as the ratio between major axis and minor axis of the ellipse equivalent to the object.

Axis major (μm): is defined as the length of major axis of the ellipse equivalent to the object.

Diameter maximum (μm): is defined as the length of the longest line joining two points of floc's outline and at the same time passing through the centroide.

Diameter average (μm): is defined as the average length of all diameters measured at two degrees intervals and passing through the centroide.

Perimeter (μm): is defined as the total length of the object's outline.

Results and Discussion

Samples were taken from Kozani's and Lamia's WWTP to realize experimental processes in order to estimate the parameters that are related to sludge settleability and compactability and to determine the Total Suspended Solids (TSS). Zone settling velocity tests were performed at stable temperature of 20°C . The results of these experimental procedures are shown in Tables 1 and 2.

Afterwards, the linear correlation between the sludge settling properties and DSVI has been evaluated, as it is shown in Figures 3 and 4. A significant relationship between V_0 and n constants and DSVI arises from the figures above, revealing that the DSVI increase is leading to a decrease to the V_0 settling constant and an increase to the n constant. Another conclusion that arises is that the DSVI increase is leading to a decrease of zone settling velocity.

Table 1: Experimental results for the estimation of Diluted Sludge Volume Index (DSVI), zonal settling velocity, Vesilind's parameters V_0 and n and Total Suspended Solids (TSS) - Kozani's WWTP

Kozani's WWTP	MLSS (mg/l)	DSVI (mL/gSS)	V_0 (m/h)	n (m^3/kg)	V_0/n ($\text{Kg}/\text{m}^2/\text{h}$)	V_{sz} (m/h)
30/1/2014	4580	190	33,232	1,409	23,586	2,32
5/2/2014	4766,67	210	16,321	1,038	15,724	1,89
12/2/2014	5980	305	36,15	1,867	19,363	1
21/2/2014	4986,67	260	13,402	1,122	11,945	1,52
28/2/2014	4300	295	37,694	1,764	21,3684	1
5/3/2014	3413,33	260	22,912	1,467	15,618	1
11/3/2014	3646,67	180	28,796	1,221	23,584	2,98
19/3/2014	3873,33	170	19,748	0,898	21,991	4,2
27/3/2014	4186,67	190				2,28
1/4/2014	3853,33	225				1,59
9/4/2014	4673,33	195				2,05
23/4/2014	5470	170				3,18
7/5/2014	4260	300				0,4
15/5/2014	4540	300	15,384	1,612	9,543	0,2
21/5/2014	5050	290	17,557	1,539	11,408	0,4
27/5/2014	4890	155	25,305	1,07	23,650	4,2

Table 2: Experimental results for the estimation of Diluted Sludge Volume Index (DSVI), zonal settling velocity, Vesilind's parameters V_0 and n and Total Suspended Solids (TSS) - Lamia's WWTP

Lamia's WWTP	MLSS (mg/l)	DSVI (mL/gSS)	V_0 (m/h)	n (m^3/kg)	V_0/n ($\text{Kg}/\text{m}^2/\text{h}$)	V_{sz} (m/h)
5/2/2014	7060	115	32,55	0,927	35,113	5,5
18/2/2014	5686,67	145	22,15	1,138	19,464	3,1
4/3/2014	5853,33	130				
18/3/2014	5980	155				
1/4/2014	6693,33	130	28,41	1,048	27,109	5,3
8/4/2014	7466,67	135	26,13	1,068	24,466	5,1
22/4/2014	6240	145				4,7

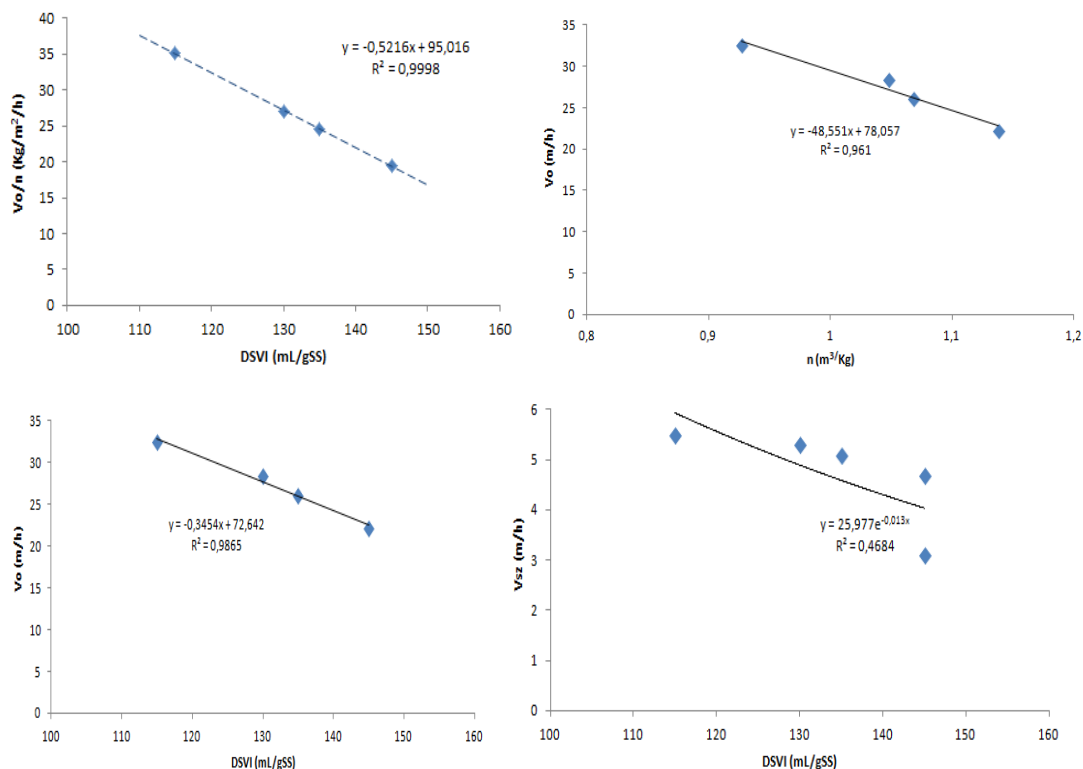


Figure 3: Linear Correlation of parameters related to sludge settleability and compactability estimated from samples taken from Lamia's WWTP

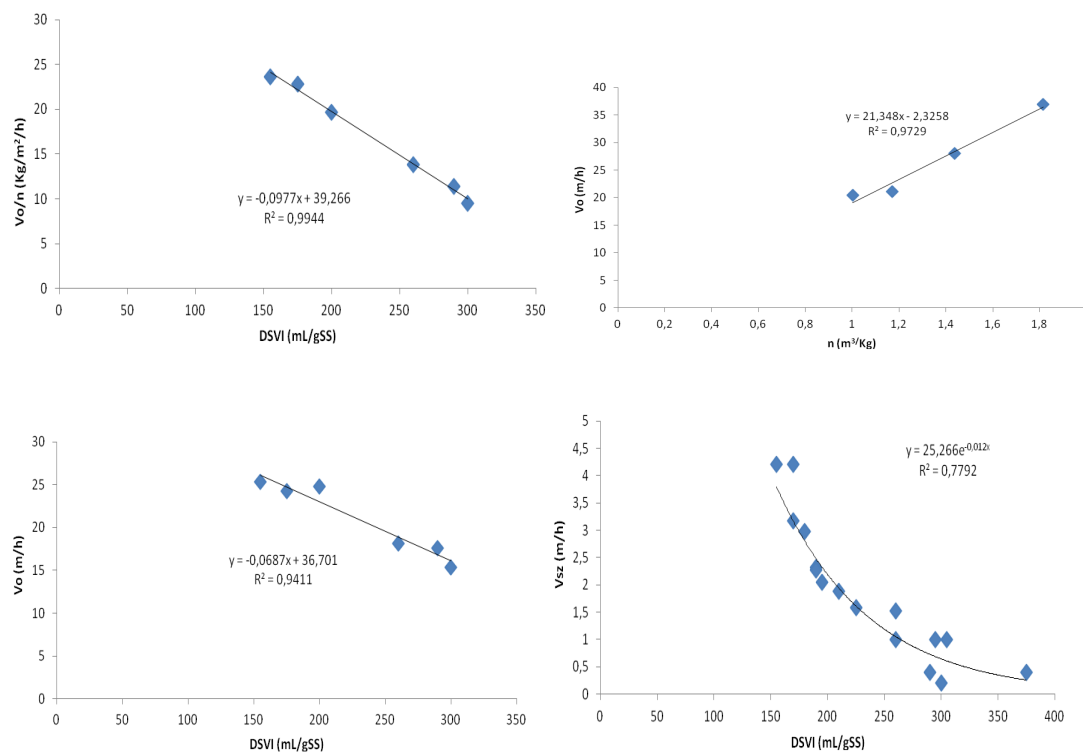


Figure 4: Linear Correlation of parameters related to sludge settleability and compactability estimated from samples taken from Kozani's WWTP

State Point Analysis

Based on the results of all the experimental procedures obtained the following values:
Kozani's WWTP: $V_o=24,22\pm 8,6$ and $n=1,364\pm 0,3$

Lamia's WWTP: $V_o=27,3\pm 4,3$ and $n=1\pm 0,09$

These values for both WWTPs are high enough relative to the Literature. In general, a biomass has a satisfactory settleability and compactability when presents high values for the V_o settling constant and low values for n settling constant. V_o is satisfactory because of adding anorganic flocculants during the wastewater treatment process.

The determination of settling constants V_o and n is necessary and useful for the estimation of the optimum operational conditions and the elaboration of State Point Diagrams (Figure 5). The State Point Diagram is based on the gravity (settling) flux curve. This curve requires only the two Vesilind constants to be known. Superimpose on the gravity flux are the “overflow”, “underflow” and feed lines. The overflow and underflow lines both represent the solids fluxes applied to the clarifier generated by the overflow and underflow rates, in the same units as the gravity flux, but the definition of their vertical (y) axes is different. The slope of the overflow flux is the applied hydraulic loading, commonly referred to as the surface overflow rate (SOR). The feed concentration line is a vertical line indicating the feed concentration. This line meets the overflow at the State Point (operating point). The flux on the y axis at this point is the solids loading rate.

Since the total applied flux is removed from the clarifier at the underflow concentration (assuming zero solids in the effluent), the point where the shifted underflow line crosses the X axis (zero residual flux) represents the underflow concentration in an underloaded clarifier. When the overflow line, feed concentration line and underflow line all intersect at the state point, then the solids mass balance over the clarifier is satisfied and all the solids entering the clarifier exit the clarifier via the underflow recycle, provided the state point and underflow line are within the envelope of the gravity flux curve.

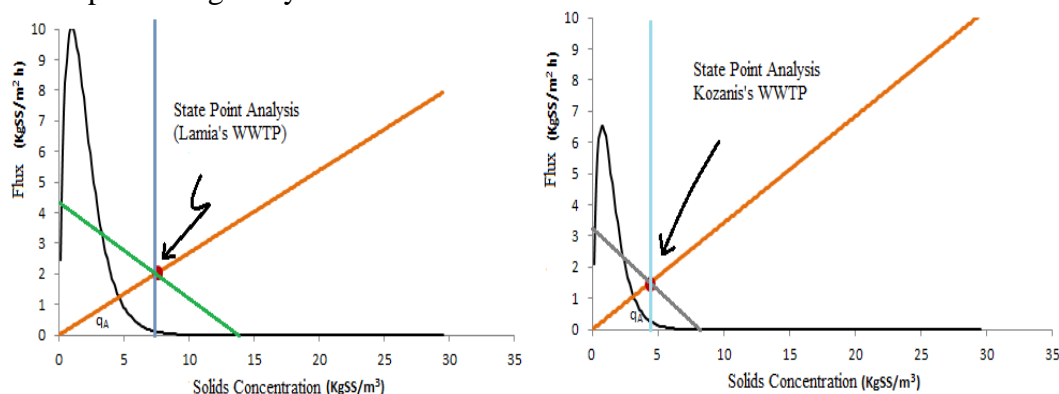


Figure 5: State Point Analysis (SPA) for Lamia's and Kozani's WWTP

The position of the state point and the underflow line, relative to the gravity flux curve, determines the operating status of the clarifier. If the State Point is above the gravity flux curve, as it is in these cases, the clarifier is overloaded. In this condition higher flux is applied than can be processed by the clarifier. This will lead to solids built-up in the clarifier which cannot be maintained on a steady-state basis and will lead to gross solids loss in the effluent.

In Lamia's WWTP case, the problem is that solids concentration (feed concentration line) is extremely high ($7\text{KgSS}/\text{m}^3$). A solution for better operational conditions is to reduce the solids concentration and to reduce also the rate of recycled sludge in the

WWTP. In Kozani’s WWTP case, the problem is that WWTP experiences a bulking problem and as a result of this problem activated sludge does not have a good compactability behaviour. A solution for better operational conditions is to reduce the rate of recycled sludge in the WWTP. It is also desirable to improve the characteristics of the settling, by changing the values V_0 and n of Vesilind’s equation by adding the appropriate anorganic flocculant at the right dose.

Correlation analysis of Results

The estimated morphological parameters were analyzed displaying all the results in cumulative distribution diagrams, in order to evaluate the parameter’s value which corresponded to the 50%, 80% and 90% of flocs. These values were statistically compared in order to identify the major relationships among them and then among them and all other estimated parameters (aspect ratio, axis major, diameter max, diameter ave, perimeter, MLSS, DSVI, V_0 , n , V_0/n , percentage of ratio of total objects area to total region area and the calculated objects number for 1mm^2). The Pearson’s product momentum correlation coefficient (r) was used to estimate linear correlations. The values of Pearson’s coefficient range between -1 and +1, where -1 corresponds to a perfect negative correlation and +1 corresponds to a perfect positive correlation. The value 0 means in this case absence of relationship. Correlation analysis by the use of Pearson’s coefficient is illustrated in Tables 3 and 4.

- If r values are equal to ± 1 : there is perfect correlation (colour: purple).
- If r values range $-0,3 \leq r < 0,3$: there is not correlation (colour: red).
- If r values range $-0,5 < r \leq -0,3$ or $0,3 < r < 0,5$: there is a weak linear correlation (colour: gray)
- If r values range $-0,7 < r \leq -0,5$ or $0,5 \leq r < 0,7$: there is a mean linear correlation (colour: green)
- If r values range $-0,8 < r \leq -0,7$ or $0,7 \leq r < 0,8$: there is a strong linear correlation (colour: yellow)
- If r values range $-1 < r \leq -0,8$ or $0,8 \leq r < 1$: there is a very strong linear correlation (colour: blue)

Table 3: Correlation analysis for estimated parameters – Lamia’s WWTP

	AR50	AR80	AR90	Am50	Am80	Am90	Dmax50	Dmax80	Dmax90	Dave50	Dave80	Dave90	P50	P80	P90	V_0	n	V_0/n	MLSS	DSVI	PERarea(%)	OBJnum	AR	Am	Dmax	Dave	P					
AR50	1,000																															
AR80	0,791	1,000																														
AR90	0,468	0,909	1,000																													
Am50	0,886	0,658	0,320	1,000																												
Am80	0,958	0,616	0,255	0,790	1,000																											
Am90	0,811	0,463	0,158	0,506	0,929	1,000																										
Dmax50	0,869	0,677	0,357	0,998	0,756	0,459	1,000																									
Dmax80	0,936	0,543	0,163	0,788	0,995	0,924	0,750	1,000																								
Dmax90	0,776	0,404	0,098	0,470	0,911	0,998	0,419	0,911	1,000																							
Dave50	0,911	0,682	0,342	0,998	0,822	0,551	0,994	0,817	0,515	1,000																						
Dave80	0,824	0,310	-0,099	0,724	0,936	0,881	0,677	0,965	0,883	0,746	1,000																					
Dave90	0,641	0,072	-0,308	0,488	0,828	0,872	0,429	0,870	0,893	0,515	0,954	1,000																				
P50	0,843	0,704	0,410	0,988	0,707	0,395	0,996	0,696	0,352	0,982	0,609	0,347	1,000																			
P80	0,800	0,362	0,013	0,555	0,937	0,983	0,503	0,949	0,987	0,593	0,946	0,944	0,433	1,000																		
P90	0,726	0,432	0,181	0,364	0,857	0,985	0,316	0,845	0,986	0,414	0,792	0,815	0,254	0,946	1,000																	
V_0	-0,759	-0,871	-0,779	-0,422	-0,703	-0,729	-0,416	-0,634	-0,689	-0,470	-0,425	-0,307	-0,412	-0,604	-0,757	1,000																
n	-0,103	-0,287	-0,412	0,361	-0,174	-0,460	0,379	-0,117	-0,458	0,308	0,012	-0,091	0,393	-0,311	-0,601	0,674	1,000															
V_0/n	-0,929	-0,888	-0,396	-0,931	-0,788	-0,543	-0,938	-0,751	-0,492	-0,942	-0,599	-0,341	-0,944	-0,523	-0,441	0,686	-0,075	1,000														
MLSS	0,416	0,774	0,874	0,067	0,318	0,402	-0,079	0,230	0,361	0,111	-0,010	-0,097	0,103	0,231	0,485	-0,898	-0,799	-0,420	1,000													
DSVI	0,183	-0,026	-0,154	0,617	0,062	-0,284	0,638	0,100	-0,300	0,570	0,164	-0,018	0,657	-0,157	-0,445	0,408	0,949	-0,383	-0,592	1,000												
PERarea(%)	-0,261	-0,498	-0,602	0,187	-0,277	-0,498	0,196	-0,207	-0,482	0,134	-0,031	-0,065	0,200	-0,337	-0,621	0,810	0,973	0,133	-0,913	0,854	1,000											
OBJ num (1mm)	-0,661	-0,546	-0,396	-0,239	-0,748	-0,905	-0,203	-0,710	-0,896	-0,295	-0,596	-0,609	-0,159	-0,815	-0,956	0,877	0,782	0,420	-0,712	0,609	0,820	1,000										
Aspect Ratio	0,905	-0,976	0,800	0,761	0,772	0,622	0,767	0,713	0,569	0,788	0,510	0,284	0,776	0,546	0,574	-0,886	-0,259	-0,941	0,698	0,060	-0,459	-0,632	1,000									
Axis major	0,997	0,742	0,400	0,883	0,976	0,837	0,861	0,960	0,807	0,908	0,866	0,698	0,829	0,837	0,751	-0,729	-0,089	-0,904	0,365	0,184	-0,234	-0,666	0,870	1,000								
Diameter max	0,993	0,722	0,375	0,866	0,984	0,859	0,842	0,970	0,832	0,894	0,882	0,725	0,807	0,860	0,776	-0,729	-0,109	-0,884	0,361	0,158	-0,247	-0,687	0,855	0,999	1,000							
Diameter ave	0,932	0,568	0,175	0,952	0,920	0,719	0,930	0,930	0,697	0,962	0,900	0,730	0,894	0,775	0,592	-0,473	0,215	-0,860	0,058	0,448	0,085	-0,431	0,720	0,948	0,945	1,000						
Perimeter	0,892	0,639	0,352	0,596	0,952	0,978	0,560	0,931	0,962	0,641	0,839	0,774	0,511	0,940	0,957	-0,838	-0,466	-0,682	0,531	-0,239	-0,549	-0,914	0,771	0,903	0,917	0,760	1,000					

Table 4: Correlation analysis for estimated parameters – Kozani’s WWTP

	AR50	AR80	AR90	Am50	Am80	Am90	Dmax50	Dmax80	Dmax90	Dave50	Dave80	Dave90	P50	P80	P90	Vo	n	Vo/n	MLSS	DSVI	PERarea	OBNum	AR	Am	Dmax	Dave	P			
AR50	1,000																													
AR80	0,981	1,000																												
AR90	0,946	0,986	1,000																											
Am50	-0,621	-0,637	-0,666	1,000																										
Am80	-0,541	-0,543	-0,581	0,970	1,000																									
Am90	-0,431	-0,408	-0,440	0,916	0,966	1,000																								
Dmax50	-0,587	-0,603	-0,631	0,995	0,967	0,915	1,000																							
Dmax80	-0,529	-0,531	-0,575	0,957	0,996	0,962	0,958	1,000																						
Dmax90	-0,450	-0,439	-0,477	0,918	0,971	0,994	0,919	0,972	1,000																					
Dave50	-0,721	-0,718	-0,723	0,981	0,947	0,893	0,970	0,931	0,893	1,000																				
Dave80	-0,711	-0,712	-0,735	0,965	0,959	0,907	0,955	0,949	0,916	0,980	1,000																			
Dave90	-0,703	-0,698	-0,725	0,940	0,949	0,920	0,924	0,940	0,930	0,956	0,990	1,000																		
P50	-0,487	-0,483	-0,504	0,898	0,909	0,867	0,930	0,923	0,876	0,881	0,896	0,857	1,000																	
P80	-0,470	-0,461	-0,508	0,796	0,878	0,844	0,819	0,914	0,872	0,774	0,835	0,832	0,915	1,000																
P90	-0,454	-0,435	-0,475	0,753	0,840	0,841	0,779	0,878	0,872	0,737	0,802	0,817	0,882	0,983	1,000															
Vo	0,126	0,196	0,199	0,069	0,181	0,282	0,070	0,163	0,255	0,120	0,202	0,231	0,159	0,116	0,128	1,000														
n	0,077	0,050	-0,016	0,321	0,430	0,468	0,364	0,447	0,512	0,270	0,407	0,437	0,497	0,526	0,568	0,531	1,000													
Vo/n	0,093	0,183	0,232	-0,119	-0,095	-0,018	-0,154	-0,138	-0,087	-0,038	-0,067	-0,067	-0,198	-0,307	-0,337	0,715	-0,196	1,000												
MLSS	0,256	0,232	0,136	-0,263	-0,107	-0,105	-0,291	-0,089	-0,074	-0,327	-0,178	-0,097	-0,284	0,021	0,024	0,080	0,328	-0,211	1,000											
DSVI	-0,034	-0,131	-0,225	0,339	0,398	0,363	0,386	0,444	0,442	0,250	0,363	0,379	0,499	0,605	0,640	-0,074	0,776	-0,720	0,315	1,000										
PERarea	-0,528	-0,500	-0,555	0,778	0,842	0,802	0,741	0,834	0,792	0,754	0,805	0,826	0,648	0,732	0,675	0,160	0,267	-0,007	0,274	0,198	1,000									
OBNum	0,660	0,717	0,732	-0,817	-0,744	-0,706	-0,804	-0,723	-0,732	-0,848	-0,853	-0,853	-0,689	-0,560	-0,565	-0,135	-0,386	0,122	0,307	-0,396	-0,466	1,000								
AR	0,988	0,996	0,983	-0,649	-0,566	-0,438	-0,616	-0,557	-0,465	-0,733	-0,733	-0,722	-0,510	-0,500	-0,473	0,148	0,037	0,143	0,222	-0,118	-0,540	0,702	1,000							
Am	-0,558	-0,558	-0,588	0,976	0,981	0,976	0,968	0,969	0,975	0,960	0,959	0,958	0,877	0,814	0,797	0,185	0,397	-0,058	-0,189	0,350	0,798	-0,810	-0,577	1,000						
Dmax	-0,558	-0,559	-0,594	0,975	0,986	0,976	0,973	0,981	0,981	0,955	0,962	0,961	0,906	0,858	0,843	0,167	0,431	-0,113	-0,174	0,409	0,795	-0,800	-0,580	0,996	1,000					
Dave	-0,712	-0,714	-0,732	0,966	0,947	0,916	0,950	0,931	0,921	0,983	0,988	0,987	0,849	0,778	0,759	0,183	0,353	-0,037	-0,222	0,310	0,780	-0,885	-0,730	0,973	0,967	1,000				
P	-0,472	-0,463	-0,508	0,816	0,882	0,870	0,840	0,915	0,896	0,792	0,850	0,853	0,928	0,990	0,990	0,119	0,549	-0,318	-0,028	0,623	0,709	-0,614	-0,499	0,842	0,885	0,805	1,000			

The aspect ratio’s values were high (>>1) for both WWTPs and that leads to the conclusion that the majority of flocs were elongated and had irregular boundaries. Kozani’s WWTP because of the bulking situation had flocs with higher values of aspect ratio and lower values of diameter, major axis and perimeter. That means, that systems with bulking problems have smaller flocs and their shapes seem to approximate the shape of an ellipse. On the other hand, Lamia’s WWTP had flocs with lower values of aspect ratio and that means that flocs’ shape was more circular. Diameter max and ave, axis major and perimeter had higher values and that means that flocs of activated sludge from Lamia’s WWTP were bigger.

The main conclusions from the correlation with the Pearson’s coefficient summarized as follow:

Increase in floc’s size results in a decrease of aspect ratio value, meaning that the ellipse equivalent to floc acquires more circular shape.

There is a strong positive correlation between the parameters axis major, diameter max, diameter average and the floc’s area.

There is a negative correlation among the parameters describing the flocs’ size and the object number, meaning that the more the floc’s shape minimizes the more the number of flocs per area increases.

Results of adding inorganic Flocculants

Finally, two samples from Kozani’s and one sample from Lamia’s WWTPs were taken also to realize experiments and microscopic examinations, in order to investigate the effect of five different types of inorganic flocculants by adding three different doses of each one every time in samples of activated sludge. All experimental processes were performed at stable temperature of 20°C. The inorganic flocculants that were selected in order to investigate their influence were: FeCl₂,

FeCl₃, Al₂O₃, Al₂(SO₄)₃·18H₂O and cationic polyelectrolyte. The selected doses for this experimental process were:

- FeCl₃: 20gFe³⁺/KgSS, 35gFe³⁺/KgSS and 70gFe³⁺/KgSS
- FeCl₂: 20 gFe²⁺/KgSS, 35 gFe²⁺/KgSS and 70 gFe²⁺/KgSS
- Al₂O₃: 20 gAl³⁺/KgSS, 50 gAl³⁺/KgSS and 90 gAl³⁺/KgSS
- Al₂(SO₄)₃·18H₂O: 20 gAl³⁺/KgSS, 50 gAl³⁺/KgSS and 100 gAl³⁺/KgSS
- Cationic polyelectrolyte: 4 g/KgSS, 10 g/KgSS and 20 g /KgSS

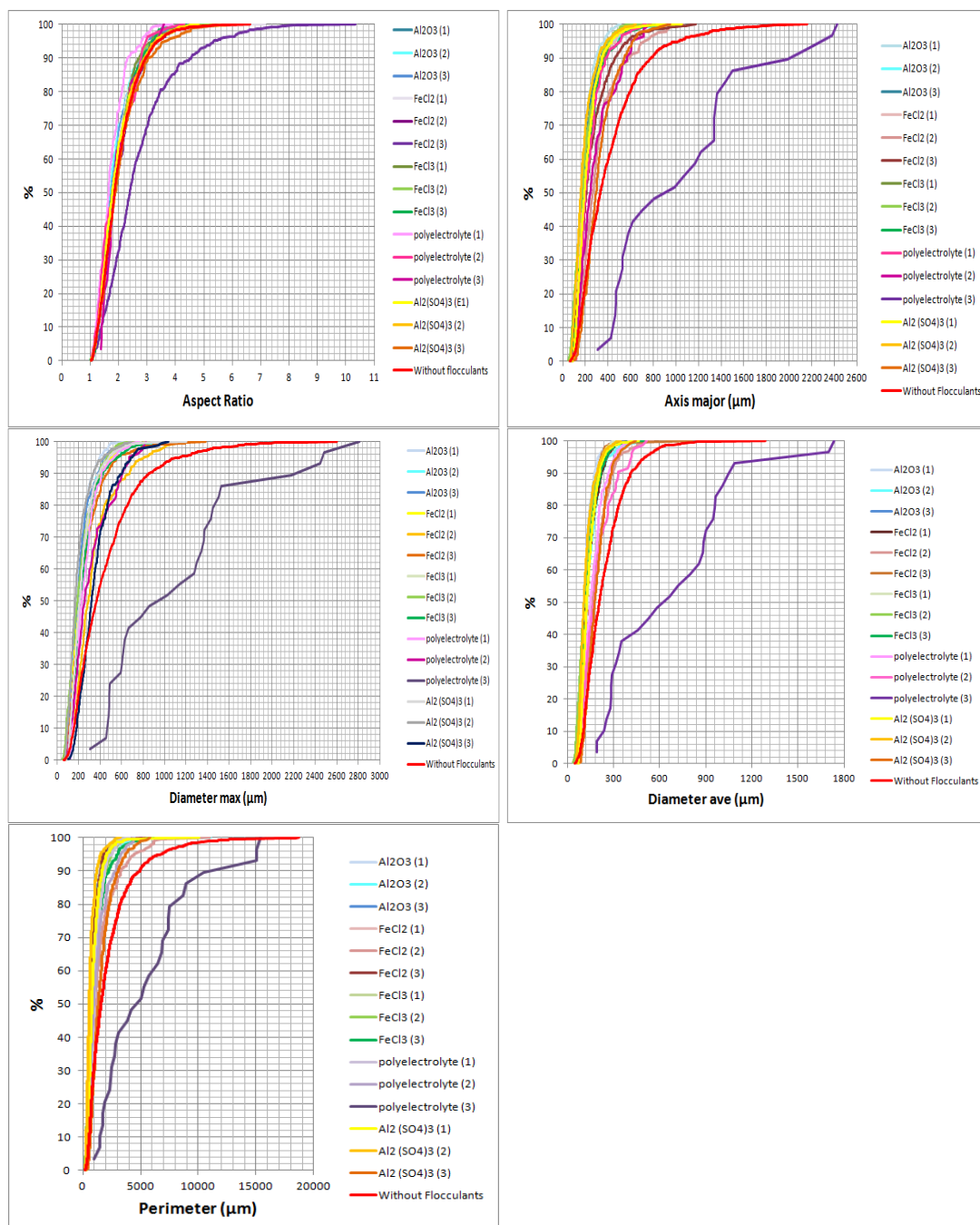


Figure 6 : Significant influence of cationic polyelectrolyte against all other inorganic flocculants on morphological parameters (aspect ratio, axis major, diameter max, diameter ave, perimeter) for the maximum dose that was added in Lamia’s WWTP samples of activated sludge.

Their effect on morphological parameters (aspect ratio, axis major, diameter max and average and perimeter was investigated. The estimated morphological parameters were analyzed displaying all the results in cumulative distribution diagrams, in order to evaluate the parameter's value which corresponded to the 50%, 80% and 90% of flocs.

A slight influence was observed in the samples taken from Kozani's WWTP at 12/02/2014, but nothing special that deserves to be mentioned. The results showed also no influence for samples taken from Kozani's WWTP at 11/03/2014, because at the same period, for operational reasons, it was necessary also to add FeClSO_4 in the WWTP with a dose of $90\text{grFe}^{+3}/\text{kgMLSS}$ (extremely high relative to $35\text{grFe}^{+3}/\text{kgMLSS}$ that is the recommended dose to add) and for this reason there was zero effect in experimental scale by adding inorganic flocculants in the samples of activated sludge.

On the other hand, a significant influence of cationic polyelectrolyte for the maximum dose that was added against all other selected inorganic flocculants was verified in the case of samples taken from Lamia's WWTP. The cumulative distribution diagrams for Lamia's WWTP experimental results are illustrated in Figure 6.

Conclusions

At this postgraduate thesis an image processing and analysis technique was developed in order to characterize the activated sludge flocs morphology. The obtained results support the use of image analysis technique for the assessment of activate sludge flocs morphology.

The results obtained in this work can be summarized as follow:

First of all, in the case of Kozani's WWTP that experienced bulking problems, the activated sludge flocs are smaller and their shape seems to approximate the shape of an ellipse. That means that the morphological parameters of diameter max, diameter average, axis major and perimeter have lower values and the parameter of aspect ratio has higher values. Diluted Sludge Volume Index is high and zonal settling velocity is low.

Another conclusion was that there is a strong positive correlation between the parameters axis major, diameter max, diameter average and the floc's area and that there is a negative correlation among the parameters describing the flocs' size and the object number, meaning that the more the floc's shape minimizes the more the number of flocs per area increases.

It was also obvious that parameter V_0 was satisfactory for samples taken from both Kozani's and Lamia's WWTP, but the values of parameter n were too high to be satisfactory. Further confirmed that there is a direct correlation between Diluted Sludge Volume Index and Vesilind's parameters.

The determination of settling constants V_0 and n is necessary and useful for the estimation of the optimum operational conditions and the determination of State Point Analysis. The method of State Point Analysis determines the operating status of the clarifier and solutions can be given easier in case of operational problems based on this method.

Finally, it was verified a significant influence of cationic polyelectrolyte for the maximum dose that was added against all other selected inorganic flocculants.

Key words: activated sludge, image analysis, aggregates, flocs, filamentous bacteria, bulking, foaming, Diluted Sludge Volume Index, Vesilind settling function, state point analysis, Pearson's correlation coefficient, inorganic flocculants.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες.....	I
Περίληψη.....	III
Περίληψη στα αγγλικά.....	IV
Περίληψη στα ισπανικά.....	V
Εκτεταμένη Περίληψη στα αγγλικά.....	VII
Πίνακας Περιεχομένων.....	XVII
Κατάλογος εικόνων.....	XIX
Κατάλογος πινάκων.....	XXIV
Κατάλογος σχημάτων.....	XXVI
1. Εισαγωγή.....	1
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	3
2.1 Εισαγωγή.....	3
2.1.1 Προβλήματα διαχωρισμού των στερεών από τα επεξεργασμένα λύματα.....	4
2.2 Προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού σε ΕΕΛ.....	6
2.2.1 Το φαινόμενο της νηματοειδούς διόγκωσης.....	6
2.2.2 Το φαινόμενο του αφρισμού.....	8
2.2.3 Έλεγχος των φαινομένων νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού σε συστήματα ενεργού ιλύος.....	11
2.2.3.1 Μη ειδικές μέθοδοι ελέγχου φαινομένων νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού σε συστήματα ενεργού ιλύος με απομάκρυνση θρεπτικών.....	11
2.2.3.2 Ειδικές μέθοδοι ελέγχου φαινομένων νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού σε συστήματα ενεργού ιλύος με απομάκρυνση θρεπτικών.....	14
2.3 Παρακολούθηση προβλημάτων νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού σε ΕΕΛ.....	22
2.3.1 Συμβατικές μέθοδοι προσδιορισμού των χαρακτηριστικών καθίζησης της βιομάζας σε συστήματα ενεργού ιλύος.....	23
2.3.2 Άλλες μέθοδοι δοκιμών (DSVI, SSVI).....	23
2.3.3 Ταχύτητα ζωνικής καθίζησης (ZSV).....	24
2.3.4 Η συνάρτηση καθίζησης Vesilind.....	27
2.3.5 Συσχέτιση του δείκτη SVI με την ταχύτητα καθίζησης.....	29
2.3.6 Το σημείο λειτουργικής κατάστασης της εγκατάστασης.....	33
2.3.7 Μικροσκοπικές παρατηρήσεις και μέθοδοι αναγνώρισης νηματοειδών μικροοργανισμών.....	39
2.3.7.1 Συμβατικές μέθοδοι αναγνώρισης νηματοειδών μικροοργανισμών.....	41
2.3.7.2 Η μοριακή μέθοδος PCR.....	43
2.3.7.3 Η μοριακή μέθοδος Φθορίζουσας επί τόπου Υβριδοποίησης (FISH).....	43
2.3.8 Η χρήση της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (image analysis) ως εργαλείο σε έρευνες και αξιολόγησή της.....	45
3. Πειραματικό Πρωτόκολλο.....	65
3.1 Περιγραφή Αναλυτικών Μεθόδων.....	65
3.1.1 Προσδιορισμός των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS).....	65
3.1.2 Προσδιορισμός των αιωρούμενων οργανικών στερεών (VSS).....	67
3.2 Περιγραφή Μικροσκοπικών Παρατηρήσεων.....	68

3.2.1 Εξοπλισμός για μικροσκοπικές παρατηρήσεις.....	68
3.2.2 Συμβατικές μικροσκοπικές παρατηρήσεις.....	69
3.2.3 Πρωτόκολλο μικροσκοπικών παρατηρήσεων μέσω της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (με τη βοήθεια του λογισμικού image analysis).....	73
3.3 Πειραματικός προσδιορισμός παραμέτρων καθίζησης της ενεργού ιλύος	98
3.3.1 Πειραματικός προσδιορισμός δείκτη καθιζησιμότητας ιλύος (DSVI).....	98
3.3.2 Πειραματικός προσδιορισμός της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης της ιλύος και των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind.....	100
3.4 Πειραματικό πρωτόκολλο δοκιμών με προσθήκη κροκιδωτικών.....	104
3.5 Πειραματική διαδικασία προσδιορισμού της τάσης αφρισμού της βιομάζας.....	108
4. Παρουσίαση και επεξεργασία αποτελεσμάτων.....	109
4.1 Συσχέτιση παραμέτρων καθιζησιμότητας και χαρακτηριστικών κροκίδων για ΕΕΛ με ή χωρίς προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού.....	109
4.1.1 Συσχέτιση παραμέτρων καθιζησιμότητας και χαρακτηριστικών κροκίδων για ΕΕΛ με προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού (Περίπτωση ΕΕΛ Κοζάνης).....	109
4.1.1.1 Προσδιορισμός παραμέτρων καθιζησιμότητας.....	109
4.1.1.1.1 Προσδιορισμός ζωνικής καθίζησης και παραμέτρων V_0 , n της εξίσωσης Vesilind για τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	109
4.1.1.1.2 Συσχέτιση παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind ως προς το δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI για τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	131
4.1.1.1.3 Αποτελέσματα μικροσκοπικών παρατηρήσεων για την ΕΕΛ Κοζάνης.....	137
4.1.1.1.4 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (image analysis) για τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	141
4.1.1.1.5 Αθροιστική Κατανομή των αποτελεσμάτων των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων για τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	144
4.1.1.1.6 Συσχέτιση των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων και των παραμέτρων καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος για τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	163
4.1.1.2 Αποτελέσματα και σχολιασμός πειραμάτων με προσθήκη κροκιδωτικών.....	168
4.1.2 Συσχέτιση παραμέτρων καθιζησιμότητας και χαρακτηριστικών κροκίδων για ΕΕΛ με προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού (Περίπτωση ΕΕΛ Λαμίας).....	176
4.1.2.1 Προσδιορισμός παραμέτρων καθιζησιμότητας.....	176
4.1.2.1.1 Προσδιορισμός ζωνικής καθίζησης και παραμέτρων V_0 , n της εξίσωσης Vesilind για τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας.....	176
4.1.2.1.2 Συσχέτιση παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind ως προς το δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI για τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας.....	183
4.1.2.1.3 Αποτελέσματα μικροσκοπικών παρατηρήσεων για την ΕΕΛ Λαμίας.....	187
4.1.2.1.4 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (image analysis) για τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας.....	190
4.1.2.1.5 Αθροιστική Κατανομή των αποτελεσμάτων των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων για τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας.....	192
4.1.2.1.6 Συσχέτιση των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων και των παραμέτρων καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος για τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας.....	204
4.1.2.2 Αποτελέσματα και σχολιασμός πειραμάτων με προσθήκη κροκιδωτικών.....	208
4.1.3 Σύγκριση ΕΕΛ Κοζάνης και ΕΕΛ Λαμίας.....	215
5. Συμπεράσματα.....	225
Βιβλιογραφία.....	231

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Κροκίδα με παρουσία νηματοειδών βακτηρίων.....	3
Εικόνα 2.2: Αφρισμός σε δεξαμενή τελικής καθίζησης.....	9
Εικόνα 2.3: Αφρισμός σε δεξαμενή αερισμού.....	10
Εικόνα 2.4: Αφρός που έχει διαφύγει από τις δεξαμενές.....	10
Εικόνα 2.5: Αφρός που έχει υπερχειλίσει και διαφύγει των μονάδων.....	10
Εικόνα 2.6: Πείραμα προσδιορισμού ταχύτητας ζωνικής καθίζησης- Εξέλιξη της ζωνικής καθίζησης σε διάφορες χρονικές στιγμές.....	24
Εικόνα 2.7: Διάγραμμα ροής της μεθόδου FISH: 1. Ιχνηλάτης αποτελούμενος από μονή αλυσίδα ολιγονουκλεοτιδίου σημασμένος με φθοροφόρο ουσία. 2. Ο προς ανίχνευση μικροοργανισμός, στον οποίο φαίνεται ο μεγάλος αριθμός ριβοσωμάτων. 3. Ο προς ανίχνευση μικροοργανισμός μετά την υβριδοποίηση. 4. Οι υβριδοποιημένοι μικροοργανισμοί ορατοί με μικροσκόπιο φθορισμού εξοπλισμένο με κατάλληλα φίλτρα.....	44
Εικόνα 2.8: Αριστερά εικονίζεται το σύστημα ενεργού ιλύος σε κλίμακα εργαστηριακή και δεξιά παρουσιάζεται το μικροσκόπιο με το οποίο έγινε η έρευνα	47
Εικόνα 2.9: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της ανάλυσης εικόνας.....	52
Εικόνα 2.10: Μικροσκοπικές εικόνες σε φωτεινό πεδίο (συνολική μεγέθυνση 120x) μικροβιακών κροκίδων από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, (a) κροκίδες από την ενεργό ιλύ της ΕΕΛ REPAR, (b) κροκίδες από την ενεργό ιλύ της ΕΕΛ Ilha do Governador, (c) κροκίδες από την ενεργό ιλύ της ΕΕΛ CIBA.....	55
Εικόνα 3.1: Συσκευές απαραίτητες στην πειραματική διαδικασία για τον προσδιορισμό των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) και εν συνεχεία των αιωρούμενων οργανικών στερεών (VSS): α) αναλυτικός ζυγός ακριβείας, β) φούρνος των 103°C, γ) ξηραντήρας, δ) φούρνος των 550°C, ε) συσκευή διήθησης, στ) αντλία κενού, ζ) πιπέτες και πουάρ.....	66
Εικόνα 3.2: Μικροσκόπιο με ηλεκτροκίνητη τράπεζα και χειριστήριο καθώς και έγχρωμη ψηφιακή κάμερα μικροσκοπίας στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ.....	69
Εικόνα 3.3: Γυάλινες αντικειμενοφόρες πλάκες με δείγματα από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας, στα οποία έγινε εφαρμογή τεχνικών χρώσεων κατά Gram και Neisser αφού πρώτα τα δείγματα είχαν στεγνώσει καλά.....	73
Εικόνα 3.4: Μενού λογισμικού Image Pro Plus – Επιλογή της εντολής STAGE-PRO και εν συνεχεία της υποεντολής (Stage) Acquire Regions.....	74
Εικόνα 3.5: Παράθυρο διαλόγου για τη σάρωση του πλακιδίου στο περιβάλλον εργασίας του λογισμικού Image Pro Plus	75
Εικόνα 3.6: Περιβάλλον εργασίας του λογισμικού στο οποίο εικονίζεται στα δεξιά το παράθυρο διαλόγου (Lumenera) μετά την επιλογή της εντολής Show/Hide Preview, που ξεκινά ή σταματά τη λειτουργία της κάμερας (Live Preview) στα αριστερά.....	76
Εικόνα 3.7: Παράθυρο διαλόγου (Lumenera) μετά την επιλογή της εντολής Show/Hide Preview, που ξεκινά ή σταματά τη λειτουργία της κάμερας.....	77
Εικόνα 3.8: Παράθυρο διαλόγου για τον καθορισμό των ορίων της αυτόματης κίνησης της ηλεκτροκίνητης τράπεζας του μικροσκοπίου στους άξονες x και y.	78
Εικόνα 3.9: Εντολές για τον προσδιορισμό δύο ακραίων σημείων με σκοπό να πραγματοποιηθεί σάρωση της επιθυμητής περιοχής.....	79
Εικόνα 3.10: Διαδικασία αυτόματης σάρωσης δείγματος	80
Εικόνα 3.11: Περιβάλλον εργασίας στο λογισμικό όπου εικονίζεται η ολοκλήρωση της διαδικασίας σάρωσης.....	80
Εικόνα 3.12: Εντολή Automation και υποεντολή Save All Images για την αποθήκευση των φωτογραφιών που έχουν ληφθεί.....	81

Εικόνα 3.13: Ενδεικτική λήψη φωτογραφίας από σάρωση πλακιδίου. Δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης (Δειγματοληψία 31/01/2014). Στη φωτογραφία διακρίνονται κροκίδες στο υγρό μέσο και η ανάπτυξη πρωτοζώων στο εσωτερικό των κροκίδων που οδηγούν στη δημιουργία κροκίδας με μεγαλύτερη διάμετρο.....	81
Εικόνα 3.14: Ενδεικτικό παράδειγμα χάρτη που προέκυψε μετά από συνένωση εικόνων στο πέρας της διαδικασίας σάρωσης πλακιδίου με δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 18/02/2014).....	82
Εικόνα 3.15: Ενδεικτικό παράδειγμα χάρτη στον οποίο κατά τη σάρωση το δείγμα στο πλακίδιο ξεράθηκε και η σάρωση συνίσταται να επαναληφεί. Η προβληματική κατάσταση παρουσιάζεται έντονα στο δεξί τμήμα της εικόνας. Η σάρωση αυτή έγινε για δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης (δειγματοληψία 09/04/2014) και φυσικά πραγματοποιήθηκε επαναληπτική σάρωση.....	82
Εικόνα 3.16: Ενδεικτικό παράδειγμα χάρτη στον οποίο εικονίζονται φυσαλίδες αέρα που εγλωβίστηκαν κατά την τοποθέτηση της καλυπτρίδας στο πλακίδιο με το δείγμα και η σάρωση πρέπει να επαναληφεί. Η σάρωση αυτή έγινε για δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 22/04/2014) και φυσικά πραγματοποιήθηκε επαναληπτική σάρωση.....	83
Εικόνα 3.17: Παράθυρο διαλόγου για την καταμέτρηση των κροκίδων με την επιλογή της υποεντολής (Stage) Process Regions.....	83
Εικόνα 3.18 Περιβάλλον εργασίας λογισμικού με χρήση της δεύτερης υποεντολής (Stage) Process Regions στην εντολή STAGE-PRO. Οι εντολές στο παράθυρο διαλόγου είναι σχεδόν όλες ανενεργές.....	84
Εικόνα 3.19: Παράδειγμα εντοπισμού και αριθμητικής μέτρησης κροκίδων στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος Stage Pro Plus. Με κόκκινη συνεχόμενη γραμμή αποτυπώνεται το περίγραμμα των κροκίδων και με πράσινο αριθμό χαρακτηρίζεται η «ταυτότητα» της κάθε κροκίδας. Η κροκίδα στο κέντρο της φωτογραφίας δεν έχει κόκκινο περίγραμμα και αριθμό, διότι έγινε χρήση της εντολής Set on/off.....	85
Εικόνα 3.20: Κοντινή άποψη της εικόνας 3.11. Παράδειγμα εντοπισμού και αριθμητικής μέτρησης κροκίδων. Με κόκκινη συνεχόμενη γραμμή αποτυπώνεται το περίγραμμα των κροκίδων και με πράσινο αριθμό χαρακτηρίζεται η «ταυτότητα» της κάθε κροκίδας.....	85
Εικόνα 3.21: α) Χάρτης σαρωμένου πλακιδίου, β) Καθορισμός του χρώματος των κροκίδων, γ) Εφαρμογή φίλτρου και εντοπισμός κροκίδων, δ) Εντοπισμός και αριθμητικός χαρακτηρισμός κροκίδων στο χάρτη του σαρωμένου πλακιδίου.....	86
Εικόνα 3.22 Χάρτης ενός σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης.....	86
Εικόνα 3.23 Φίλτρο του ίδιου χάρτη σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης. Πάνω στο φίλτρο αυτό θα γίνει η επιλογή των χρωμάτων των κροκίδων.....	87
Εικόνα 3.24 (συνέχεια) Σταδιακή επιλογή χρωμάτων για τον χρωματικό καθορισμό των κροκίδων στο χάρτη σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.	87-88
Εικόνα 3.25 Εντοπισμός και αριθμητικός χαρακτηρισμός κροκίδων στο χάρτη του σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης.....	89
Εικόνα 3.26 Απεικόνιση του χάρτη του σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης χωρίς μεγέθυνση.....	89
Εικόνα 3.27 Απεικόνιση του χάρτη του σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης με μεγέθυνση κάνοντας χρήση της εντολής Zoom.....	90

Εικόνα 3.28 Χρήση της εντολής Set Region. Η περιοχή που έχει οριστεί προς περαιτέρω επεξεργασία προσδιορίζεται από τα όρια της ροζ γραμμής που φαίνεται στην εικόνα. Μόνο οι κροκίδες που βρίσκονται εντός αυτών των ορίων εντοπίστηκαν από το λογισμικό και προσδιορίστηκαν αριθμητικά όπως φαίνεται παραπάνω.....	91
Εικόνα 3.29: Εφαρμογή της εντολής Set on/off είναι απαραίτητη στο παραπάνω παράδειγμα για την διαγραφή της φυσαλίδας αέρα που νοείται από το πρόγραμμα λανθασμένα ως κροκίδα, λόγω της χρωματικής ομοιότητας με τις υπόλοιπες κροκίδες και προσημάνθηκε με τον αριθμό 277.....	91
Εικόνα 3.30: Παράδειγμα αφαίρεσης αντικειμένου αρχικά με χρήση της εντολής Split και εν συνεχεία με χρήση της εντολής Set on/off.....	93
Εικόνα 3.31: Διαχωρισμός κροκίδων με τη βοήθεια της εντολής Split. Αριστερά η εικόνα των κροκίδων πριν το διαχωρισμό και δεξιά μετά από αυτόν.....	93
Εικόνα 3.32: Συγχώνευση-συνένωση αντικειμένων με τη βοήθεια της εντολής Draw/Merge.....	94
Εικόνα 3.33: Χρήση της εντολής Draw/Merge για να σχεδιαστεί το περίγραμμα κροκίδας που δεν έχει εντοπιστεί από το λογισμικό ή κροκίδας της οποίας κατά λάθος αφαιρέθηκε το περίγραμμα με χρήση της εντολής Set on/off.....	94
Εικόνα 3.34: Χρήση της εντολής Split για το διαχωρισμό κροκίδων. Στην πρώτη εικόνα φαίνεται ο σχεδιασμός της γραμμής στα όρια που είναι επιθυμητό να πραγματοποιηθεί διαχωρισμός και στη δεύτερη εικόνα φαίνονται οι κροκίδες μετά το διαχωρισμό σε ξεχωριστό πλέον περίγραμμα και με διαφορετικό αριθμητικό προσδιορισμό.....	95
Εικόνα 3.35: Ενδεικτικό παράδειγμα αρχείου excel από την επεξεργασία τριών χαρτών σαρωμένων πλακιδίων για δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 05/02/2014).....	97
Εικόνα 3.36: Αριστερά εικονίζεται ανοξειδωτο υδατόλουτρο ρυθμισμένο στους 20°C κατά την πειραματική διαδικασία προσδιορισμού του δείκτη DSVI. Δεξιά στο εσωτερικό του ανοξειδωτου υδατόλουτρου φαίνεται ογκομετρικός κύλινδρος του 1l, μέσα στον οποίο έχει αφεθεί, σε απόλυτη ηρεμία, να καθιζάνει αραιωμένο δείγμα ανάμικτου υγρού για μισή ώρα. Η θερμοκρασία του αραιωμένου λύματος προσδιορίστηκε και επιβεβαιώθηκε ότι ήταν στους 20°C και κατά την έναρξη, αλλά και κατά τη λήξη της πειραματικής διαδικασίας, με τη χρήση πεχάμετρου, ενός ειδικού οργάνου που έχει τη δυνατότητα μέτρησης του pH αλλά και της θερμοκρασίας. Η συσκευή αυτή φαίνεται επίσης στο κάτω μέρος της πρώτης εικόνας.....	99
Εικόνα 3.37: Ενδεικτική απεικόνιση πειράματος προσδιορισμού ταχύτητας ζωνικής καθίζησης.....	100
Εικόνα 3.38: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014.....	102
Εικόνα 3.39: Ζυγός στα αριστερά και μηχανικός αναδευτήρας στα δεξιά.....	106
Εικόνα 3.40: Συσκευή ανάδευσης που χρησιμοποιήθηκε για την καλή ανάμειξη του διαλύματος των κροκιδωτικών. Η συσκευή αυτή διαθέτει δυνατότητα ρύθμισης των στροφών ανάδευσης και χρονόμετρο.....	107
Εικόνα 3.41: Κροκιδωτικά: (α) κατιονικός πολυηλεκτρολύτης, (β) θειικό αργίλιο, (γ) χλωριούχο πολυαργιλικό υδροξείδιο χαμηλής βασικότητας, (δ) τρισθενής χλωριούχος σίδηρος, (ε) χλωριούχος υποσίδηρος.....	107
Εικόνα 3.42: Πειραματική διάταξη μέτρησης αφρισμού.....	108
Εικόνα 4.1: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 31/01/2014.....	111

Εικόνα 4.2: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 05/02/2014.....	113
Εικόνα 4.3: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 12/02/2014.....	114
Εικόνα 4.4: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 21/02/2014.....	116
Εικόνα 4.5: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 28/02/2014.....	117
Εικόνα 4.6: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 05/03/2014.....	119
Εικόνα 4.7: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014.....	120
Εικόνα 4.8: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 19/03/2014.....	122
Εικόνα 4.9: Υπολογισμός ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού στα 2000mg/l. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 27/03/2014.....	122
Εικόνα 4.10: Υπολογισμός ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού στα 2000mg/l. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 01/04/2014.....	123
Εικόνα 4.11: Υπολογισμός ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού στα 2000mg/l. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 09/04/2014.....	124
Εικόνα 4.12: Υπολογισμός ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού στα 2000mg/l. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 23/04/2014.....	125
Εικόνα 4.13: Υπολογισμός ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού στα 2000mg/l. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 07/05/2014.....	126
Εικόνα 4.14: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 15/05/2014.....	128
Εικόνα 4.15: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 21/05/2014.....	129
Εικόνα 4.16: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 27/05/2014.....	131

Εικόνα 4.17: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 05/02/2014.....	177
Εικόνα 4.18: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 18/02/2014.....	179
Εικόνα 4.19: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 01/04/2014.....	180
Εικόνα 4.20: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 08/04/2014.....	182
Εικόνα 4.21: Υπολογισμός ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού στα 2000mg/l. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 22/04/2014.....	182

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Προτεινόμενοι χρόνοι παραμονής για δεξανένες επιλογής	18
Πίνακας 2.2: Πειράματα προσδιορισμού των παραμέτρων καθιζησιμότητας που διεξήχθησαν από διαφορετικούς συγγραφείς (Von Sperling & Froes, 1999).....	31
Πίνακας 2.3: Οι τιμές των σταθερών V_0 και n , σε πέντε διαφορετικά είδη καθίζησης για δεδομένα από διάφορους συγγραφείς (Von Sperling & Froes, 1999).....	32
Πίνακας 2.4: Κατηγοριοποίηση της βιομάζας με βάση την καθιζησιμότητα (Valter T. et al., 2006).....	32
Πίνακας 2.5: Κατάταξη νηματοειδών μικροοργανισμών βάσει των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών	42
Πίνακας 2.6: Αποτελέσματα TSS και VSS για τα δείγματα από τις υπό εξέταση ΕΕΛ.....	51
Πίνακας 2.7: Αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ταυτοποίησης των μικροβιακών κροκίδων με την ανάλυση εικόνας.....	56
Πίνακας 2.8: Μέσες τιμές μεγέθους και αντίστοιχη τυπική απόκλιση για τα μικροβιακά συσσωματώματα που μελετήθηκαν για κάθε ΕΕΛ	60
Πίνακας 2.9: Τα αποτελέσματα της συσχέτισης για την καθίζηση και τις μορφολογικές παραμέτρους που μετρήθηκαν μετά από την εφαρμογή της διαδικασίας ανάλυσης εικόνας.....	60
Πίνακας 2.10: Σύνοψη των μέσων τιμών Deq των κροκίδων προκύπτουν από αραίωσεις για τις δύο υπό μελέτη ενεργές λάσπες	62
Πίνακας 2.11: Επίδραση του βήματος αραίωσης στο μέγεθος των κροκίδων για την ενεργό ιλύ της ΕΕΛ REPAR	62
Πίνακας 2.12: Επίδραση του βήματος αραίωσης στο μέγεθος των κροκίδων για την ενεργό ιλύ της ΕΕΛ Ilha do Governador	62
Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελέσματα για τη συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS), το δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI, τις υπολογισμένες σταθερές Vesilind V_0 και n , το λόγο V_0/n τους καθώς και την ταχύτητα καθίζησης V_{sz} για κάθε δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	131
Πίνακας 4.2: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για διάφορες μορφολογικές παραμέτρους των κροκίδων που προέκυψαν μετά από τη χρήση της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (image analysis) για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	142
Πίνακας 4.3: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης παρουσιάζονται οι τιμές του aspect ratio που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων.....	160
Πίνακας 4.4: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης παρουσιάζονται οι τιμές του axis major που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων.....	160
Πίνακας 4.5: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης παρουσιάζονται οι τιμές του diameter (max) που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων.....	161
Πίνακας 4.6: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης παρουσιάζονται οι τιμές του diameter (ave) που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων.....	161
Πίνακας 4.7: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης παρουσιάζονται οι τιμές του perimeter που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων.....	162
Πίνακας 4.8: Συσχέτιση των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων (aspect ratio, axis major, diameter max, diameter ave, perimeter, PERarea(%), OBJnum(1mm ²) και των παραμέτρων καθιζησιμότητας (DSVI, V_0 , n) της ενεργού ιλύος με το συντελεστή συσχέτισης του Pearson.....	165
Πίνακας 4.9: Χρωματική απεικόνιση της ύπαρξης ή μη γραμμικής συσχέτισης και της έντασής της μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων των δειγμάτων ΕΕΛ Κοζάνης.....	166
Πίνακας 4.10: Αποτελέσματα 2 ^{ης} σειράς πειραμάτων με προσθήκη τριών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις για την ΕΕΛ Κοζάνης (δειγματοληψία 11/03/2014) για διάφορες παραμέτρους.....	170

Πίνακας 4.11: Συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελέσματα για τη συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS), το δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI, τις υπολογισμένες σταθερές Vesilind V_0 και n , το λόγο V_0/n τους καθώς και την ταχύτητα καθίζησης V_{sz} για κάθε δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας.....	183
Πίνακας 4.12: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για διάφορες μορφολογικές παραμέτρους των κροκίδων που προέκυψαν μετά από τη χρήση της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (image analysis) για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας.....	190
Πίνακας 4.13: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας παρουσιάζονται οι τιμές του aspect ratio που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων.....	202
Πίνακας 4.14: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας παρουσιάζονται οι τιμές του axis major που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων.....	202
Πίνακας 4.15: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας παρουσιάζονται οι τιμές του diameter (max) που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων.....	202
Πίνακας 4.16: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας παρουσιάζονται οι τιμές του diameter (ave) που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων.....	203
Πίνακας 4.17: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας παρουσιάζονται οι τιμές του perimeter που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων.....	203
Πίνακας 4.18: Σύνολο δεδομένων από την ΕΕΛ Λαμίας για την κατάστρωση πίνακα με συσχέτιση των παραμέτρων με χρήση του συντελεστή συσχέτισης του Pearson.....	204
Πίνακας 4.19: Συσχέτιση των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων (aspect ratio, axis major, diameter max, diameter ave, perimeter, PERarea(%), OBJnum(1mm ²) και των παραμέτρων καθιζησιμότητας (DSVI, V_0 , n) της ενεργού ιλύος με το συντελεστή συσχέτισης του Pearson.....	205
Πίνακας 4.20: Χρωματική απεικόνιση της ύπαρξης ή μη γραμμικής συσχέτισης και της έντασής της μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων των δειγμάτων ΕΕΛ Λαμίας.....	206
Πίνακας 4.21: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τα πειράματα με προσθήκη πέντε ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις για την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014) για διάφορες παραμέτρους	209

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Ταχύτητα ανάπτυξης συσσωματούμενων και νηματοειδών μικροοργανισμών ως συνάρτηση της συγκέντρωσης της διαθέσιμης διαλυτής οργανικής ύλης.....	16
Σχήμα 2.2: Αποτελέσματα προσδιορισμού ταχύτητας ζωνικής καθίζησης – Στάθμη διεπιφάνειας διαυγασμένων στερεών σαν συνάρτηση με το χρόνο σε μια δοκιμή ZSV.....	25
Σχήμα 2.3: Αποτελέσματα δοκιμών ταχύτητας ζωνικής καθίζησης SZSV σε διαφορετικές συγκεντρώσεις στερεών MLSS.....	27
Σχήμα 2.4: Επίδραση της συγκέντρωσης των MLSS στην ταχύτητα καθίζησης - Η σχέση Vesilind ανάμεσα στην ταχύτητα καθίζησης και τη δοκιμή συγκέντρωση στερεών.....	28
Σχήμα 2.5: Η συνάρτηση Vesilind σε κλίμακα ημιλογαριθμική.....	28
Σχήμα 2.6: Παράδειγμα διαστασιολόγησης με ανάλυση σημείου λειτουργικής κατάστασης της εγκατάστασης (State point diagram).....	33
Σχήμα 2.7: Καμπύλη ροής μάζας λόγω βαρύτητας (καθίζηση).....	34
Σχήμα 2.8: Η καμπύλη ροής όγκου συναρτήσει της συγκέντρωσης λάσπης για σταθερό U_0 , δηλαδή προς τα κάτω μεταφορά ύλους λόγω της ροής απόσυρση ύλους.....	35
Σχήμα 2.9: Σημαντικές πληροφορίες για το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης.....	37
Σχήμα 2.10: Το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης για διαφορετικές συνθήκες φόρτισης (οι γραμμές υπερχειλήσης και τροφοδοσίας δεν εικονίζονται).....	38
Σχήμα 2.11: Διάγραμμα 1: (a): Εξέλιξη της τιμής του SVI (εικονίζεται με συνεχή γραμμή) και ο αριθμός των νηματοειδών βακτηρίων ανά εικόνα (εικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή), (b): Εξέλιξη της τιμής του SVI (εικονίζεται με συνεχή γραμμή) και το συνολικό μήκος των νηματοειδών βακτηρίων ανά εικόνα (εικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή).....	49
Σχήμα 2.12: Διάγραμμα 2: (a): Εξέλιξη της τιμής του SVI (εικονίζεται με συνεχή γραμμή) και η μέση κυκλικότητα R των κροκίδων (εικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή), (b) ο μέσος παράγοντας σχηματισμού των κροκίδων FF (εικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή), (c) η μέση μειωμένη ακτίνα περιστροφής της κροκίδας RG (εικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή) (d) η μέση ισοδύναμη διάμετρος της κροκίδας Deq (εικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή).....	50
Σχήμα 2.13: Ο αριθμός των πόρων/κροκίδες σε συνάρτηση του Deq για τα τρία δείγματα λάσπης που αξιολογήθηκαν (a) δείγματα από ΕΕΛ REPAR, (b) δείγματα από ΕΕΛ Ilha do Governador, (c) δείγματα από την ΕΕΛ CIBA.....	56
Σχήμα 2.14: Τυπικό σφάλμα της κυρτότητας, της ικανότητας συμπύκνωσης και της καμπυλότητας σε συνάρτηση του αριθμού των κροκίδων.....	58
Σχήμα 2.15: Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητας για την Ισοδύναμη Διάμετρο Deq των δειγμάτων: (a) από ΕΕΛ REPAR, (b) από ΕΕΛ Ilha do Governador, (c) από την ΕΕΛ CIBA.....	59
Σχήμα 3.1: Τυπική καμπύλη ζωνικής καθίζησης (Valter T. et al. 2006). Η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης προκύπτει από την κλίση της καμπύλης στη φάση (II).....	101
Σχήμα 3.2: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014. Στην δεύτερη εικόνα με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	102
Σχήμα 3.3: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ύλους ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές N_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί και έχουν τιμές 28,796 και 1,221 αντίστοιχα, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	103

Σχήμα 4.1: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 31/01/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	110
Σχήμα 4.2: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 31/01/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	111
Σχήμα 4.3: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 05/02/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	112
Σχήμα 4.4: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 05/02/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	112
Σχήμα 4.5: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 12/02/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	113
Σχήμα 4.6: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 12/02/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	114
Σχήμα 4.7: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 21/02/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	115
Σχήμα 4.8: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 21/02/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	115
Σχήμα 4.9: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 28/02/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	116
Σχήμα 4.10: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 28/02/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	117
Σχήμα 4.11: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 05/03/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	118
Σχήμα 4.12: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 05/03/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	118
Σχήμα 4.13: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	119

Σχήμα 4.14: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	120
Σχήμα 4.15: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 19/03/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	121
Σχήμα 4.16: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 19/03/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	121
Σχήμα 4.17: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού 2000mg/lt. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 27/03/2014. Με τη βοήθεια του excel έχει προσδιοριστεί η κλίση της καμπύλης στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	122
Σχήμα 4.18: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού 2000mg/lt. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 01/04/2014. Με τη βοήθεια του excel έχει προσδιοριστεί η κλίση της καμπύλης στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	123
Σχήμα 4.19: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού 2000mg/lt. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 09/04/2014. Με τη βοήθεια του excel έχει προσδιοριστεί η κλίση της καμπύλης στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	124
Σχήμα 4.20: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού 2000mg/lt. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 23/04/2014. Με τη βοήθεια του excel έχει προσδιοριστεί η κλίση της καμπύλης στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	125
Σχήμα 4.21: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού 2000mg/lt. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 07/05/2014. Με τη βοήθεια του excel έχει προσδιοριστεί η κλίση της καμπύλης στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	126
Σχήμα 4.22: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 15/05/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	127
Σχήμα 4.23: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 15/05/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	127
Σχήμα 4.24: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 21/05/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	128
Σχήμα 4.25: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 21/05/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	129
Σχήμα 4.26: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 27/05/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	130

Σχήμα 4.27: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 27/05/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	130
Σχήμα 4.28: Γραφική απεικόνιση των δεδομένων του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI σε σχέση με το λόγο V_0/n που προέκυψαν για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης...	132
Σχήμα 4.29: Γραφική απεικόνιση των υπολογισμένων τιμών της παραμέτρου n σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της παραμέτρου V_0 της εξίσωσης Vesilind που προέκυψαν για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης.....	133
Σχήμα 4.30: Γραφική απεικόνιση των υπολογισμένων τιμών της παραμέτρου V_0 της εξίσωσης Vesilind σε σχέση με τις τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI που προέκυψαν για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης.....	133
Σχήμα 4.31: Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταχύτητας καθίζησης V_{sz} σε σχέση με τις τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI που προέκυψαν για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης.....	134
Σχήμα 4.32: Γραφική απεικόνιση του σημείου λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης της ΕΕΛ Κοζάνης.....	135
Σχήμα 4.33: Τιμές του δείκτη νηματοειδών (Filament Index – FI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Κοζάνης σε μία κλίμακα από το 0-5.....	139
Σχήμα 4.34: Τιμές του ειδικού δείκτη νηματοειδών (Specific Filament Index – SFI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Κοζάνης σε μία κλίμακα από το 0-5.....	139
Σχήμα 4.35: Τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Κοζάνης.....	140
Σχήμα 4.36 : Ποσοστιαία κατανομή κροκίδων για την παράμετρο diameter maximum (μέγιστη διάμετρος) για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	143
Σχήμα 4.37 : Ποσοστιαία κατανομή κροκίδων για την παράμετρο diameter average (μέση διάμετρος) για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	143
Σχήμα 4.38: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του aspect ratio των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	144-146
Σχήμα 4.39: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του axis major των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	146-148
Σχήμα 4.40: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του diameter (max) των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	148-150
Σχήμα 4.41: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του diameter (ave) των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	150-152
Σχήμα 4.42: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του perimeter των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης.....	152-154
Σχήμα 4.43: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου aspect ratio των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα...	155
Σχήμα 4.44: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου axis major των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.....	156
Σχήμα 4.45: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου diameter (max) των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.....	157
Σχήμα 4.46: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου diameter (ave) των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα...	158
Σχήμα 4.47: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου perimeter των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.....	159
Σχήμα 4.48: Εξέλιξη ταχύτητας καθίζησης σε συνάρτηση με την προσθήκη διαφορετικών δόσεων δύο ειδών κροκιδωτικών (δειγματοληψία 12/02/2014).....	169

Σχήμα 4.49: Εξέλιξη του δείκτη καθίζσιμότητας (DSVI) σε συνάρτηση με την προσθήκη διαφορετικών δόσεων δύο ειδών κροκιδωτικών(δευματοληψία 12/02/2014).....	169
Σχήμα 4.50: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου aspect ratio για προσθήκη τριών ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης (δευματοληψία 11/03/2014).....	171
Σχήμα 4.51: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου axis major για προσθήκη τριών ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης (δευματοληψία 11/03/2014)).....	172
Σχήμα 4.52: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου diameter max για προσθήκη τριών ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης (δευματοληψία 11/03/2014)	173
Σχήμα 4.53: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου diameter ave για προσθήκη τριών ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης (δευματοληψία 11/03/2014).....	174
Σχήμα 4.54: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου perimeter για προσθήκη τριών ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης (δευματοληψία 11/03/2014)).....	175
Σχήμα 4.55: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δευματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 05/02/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας).....	176
Σχήμα 4.56: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας 05/02/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές Vo και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	177
Σχήμα 4.57: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δευματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 18/02/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας).....	178
Σχήμα 4.58: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας 18/02/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές Vo και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	178
Σχήμα 4.59: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δευματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 01/04/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας).....	179
Σχήμα 4.60: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας 01/04/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές Vo και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	180
Σχήμα 4.61: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δευματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 08/04/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας).....	181
Σχήμα 4.62: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας 08/04/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές Vo και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.....	181

Σχήμα 4.63: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού 2000mg/lit. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 22/04/2014. Με τη βοήθεια του excel έχει προσδιοριστεί η κλίση της καμπύλης στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.....	182
Σχήμα 4.64: Συσχέτιση των σταθερών της εξίσωσης Vesilind με τα χαρακτηριστικά της καθίζησης της ύλης (συσχέτιση του δείκτη καθιζησιμότητας της ύλης DSVI σε σχέση με το λόγο V_0/n που προέκυψε για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας)	184
Σχήμα 4.65: Γραφική απεικόνιση των υπολογισμένων τιμών της παραμέτρου n σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της παραμέτρου V_0 της εξίσωσης Vesilind που προέκυψαν για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας.....	184
Σχήμα 4.66: Γραφική απεικόνιση των υπολογισμένων τιμών της παραμέτρου V_0 της εξίσωσης Vesilind σε σχέση με τις τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ύλης DSVI που προέκυψαν για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας.....	185
Σχήμα 4.67: Εξάρτηση της ταχύτητας καθίζησης (V_{sz}) από το δείκτη καθιζησιμότητας της ύλης (DSVI)	185
Σχήμα 4.68: Γραφική απεικόνιση του σημείου λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης της ΕΕΛ Λαμίας.....	186
Σχήμα 4.69: Τιμές του δείκτη νηματοειδών (Filament Index – FI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Λαμίας σε μία κλίμακα από το 0-5.....	188
Σχήμα 4.70: Τιμές του ειδικού δείκτη νηματοειδών (Specific Filament Index – SFI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Λαμίας σε μία κλίμακα από το 0-5.....	189
Σχήμα 4.71: Τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ύλης (DSVI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Λαμίας.....	189
Σχήμα 4.72: Ποσοστιαία κατανομή κροκίδων για την παράμετρο diameter maximum (μέγιστη διάμετρος) για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας.....	191
Σχήμα 4.73: Ποσοστιαία κατανομή κροκίδων για την παράμετρο diameter average (μέση διάμετρος) για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας.....	191
Σχήμα 4.74: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του aspect ratio των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας.....	192
Σχήμα 4.75: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του axis major των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας.....	193
Σχήμα 4.76: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του diameter (max) των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας.....	194
Σχήμα 4.77: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του diameter (ave) των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας.....	195
Σχήμα 4.78: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του perimeter των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας.....	196
Σχήμα 4.79: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου aspect ratio των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα...	197
Σχήμα 4.80: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου axis major των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.....	198
Σχήμα 4.81: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου diameter (max) των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.....	199
Σχήμα 4.82: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου diameter (ave) των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα...	200
Σχήμα 4.83: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου perimeter των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.....	201
Σχήμα 4.84: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου aspect ratio για προσθήκη πέντε ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014)	210

Σχήμα 4.85: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου axis major για προσθήκη πέντε ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014)	211
Σχήμα 4.86: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου diameter max για προσθήκη πέντε ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014)	212
Σχήμα 4.87: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου diameter ave για προσθήκη πέντε ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014)	213
Σχήμα 4.88: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου perimeter ave για προσθήκη πέντε ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014)	214
Σχήμα 4.89: Συγκριτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου aspect ratio για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας	219
Σχήμα 4.90: Συγκριτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου axis major για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας	220
Σχήμα 4.91: Συγκριτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου diameter max για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας	221
Σχήμα 4.92: Συγκριτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου diameter ave για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας	222
Σχήμα 4.93: Συγκριτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου perimeter για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας	223

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύστημα της ενεργού ιλύος είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο, διαδεδομένο και αρκετά αποτελεσματικό και οικονομικό σύστημα βιολογικής επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Στην απλούστερη μορφή του, αποτελείται από δύο στάδια, αυτό του αερισμού και ένα δεύτερο, αυτό της καθίζησης. Στο αρχικό στάδιο του αερισμού, τα λύματα εισέρχονται σε μία ή περισσότερες δεξαμενές αεριζόμενες, πλήρους μίξης όπου έρχονται σε επαφή με ένα σύνολο μικροοργανισμών (αερόβια ετεροτροφικά και αυτοτροφικά βακτήρια και άλλους ανώτερους μικροοργανισμούς) που αποτελούν τη βιομάζα του συστήματος και εκεί επιτελείται η απομάκρυνση των ρύπων που βρίσκονται στα λύματα καθώς και η συσσωμάτωση των μικροοργανισμών για το σχηματισμό βιοκροκίδων με κατάλληλα χαρακτηριστικά καθίζησης, ώστε στο δεύτερο στάδιο, αυτό της καθίζησης, να μπορεί να λάβει χώρα επιτυχής διαχωρισμός στερεών και υπερκείμενου υγρού.

Επομένως, η σύνθεση της βιομάζας σε ένα τέτοιο σύστημα είναι καθοριστικός παράγοντας στην αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας των αστικών λυμάτων. Για το λόγο αυτό και τα σημαντικότερα λειτουργικά προβλήματα που παρουσιάζονται σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων εκκινούν από τη μη ισόρροπη ανάπτυξη των διαφορετικών ειδών των μικροοργανισμών. Δύο από τα πιο συνηθισμένα προβλήματα που παρουσιάζονται εξαιτίας αυτού είναι τα φαινόμενα της νηματοειδούς διόγκωσης της ιλύος και του αφρισμού. Η εμφάνιση αυτών των φαινομένων συνδέεται άμεσα με την υπερβολική ανάπτυξη μιας ομάδας βακτηρίων, τα νηματοειδή βακτήρια και δημιουργούν πολλά προβλήματα τα οποία δεν επιτρέπουν την καλή λειτουργία της εγκατάστασης, με αποτέλεσμα αρκετά συχνά να μην επιτυγχάνονται και οι στόχοι μιας καλής εκροής.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η εφαρμογή τεχνικών ανάλυσης εικόνας και μικροσκοπικών παρατηρήσεων για την παρακολούθηση φαινομένων νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων με απομάκρυνση θρεπτικών. Μέσω των τεχνικών αυτών πραγματοποιείται καταμέτρηση κροκίδων, προσδιορισμός των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών και συσχετίσεις αυτών καθώς και εντοπισμός νηματοειδών μικροοργανισμών. Παράλληλα, πειραματικά προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά της καθιζησιμότητας της ιλύος μέσα από την παρακολούθηση του δείκτη καθιζησιμότητας (DSVI), της ταχύτητας καθίζησης και των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind, ώστε να γίνει μία συσχέτιση αυτών με τις μικροσκοπικές παρατηρήσεις. Διερεύνηση όλων αυτών πραγματοποιείται και για την περίπτωση προσθήκης κροκιδωτικών στα δείγματα ενεργού ιλύος καθώς εξετάζεται τι επίδραση έχουν τα κροκιδωτικά στην καθιζησιμότητα της ιλύος.

Η εργασία δομείται σε πέντε κεφάλαια. Στο Κεφάλαιο 1, γίνεται μια εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας και περιγραφή της διάρθρωσής της. Στο Κεφάλαιο 2, γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των προβλημάτων διαχωρισμού των στερεών από τα επεξεργασμένα λύματα με ιδιαίτερη έμφαση στα φαινόμενα της νηματοειδούς διόγκωσης της ιλύος και του αφρισμού. Εν συνεχεία, παρουσιάζονται μέθοδοι αντιμετώπισης για τον προσωρινό ή τον πιο μόνιμο έλεγχο αυτών των φαινομένων σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Αναλύονται επίσης συμβατικές μέθοδοι παρακολούθησης των φαινομένων αυτών με ιδιαίτερη έμφαση στους δείκτες καθιζησιμότητας της ιλύος (SVI, DSVI, SSVI), στον υπολογισμό της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης και τον προσδιορισμό των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind, και γίνεται συσχέτιση όλων αυτών μεταξύ τους. Σαν συνέχεια όλων αυτών, αναπτύσσεται η έννοια του σημείου λειτουργικότητας της εγκατάστασης για την

ορθή λειτουργία της δεξαμενής καθίζησης. Επίσης, γίνεται αναφορά στις μικροσκοπικές μεθόδους προσδιορισμού και αναγνώρισης των νηματοειδών μικροοργανισμών, συμβατικές και μοριακές. Τέλος, παρουσιάζεται η μέθοδος ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (image analysis), ως ένα νέο σύγχρονο εργαλείο για τον προσδιορισμό της μορφολογίας των κροκίδων και του πληθυσμού των νηματοειδών μικροοργανισμών σε ένα δείγμα ενεργού ιλύος, στη διερεύνηση διάφορων ειδών μικροοργανισμών και πρωτοζώων και στην αξιολόγηση πολύπλοκων μικροβιακών συσσωματωμάτων. Η χρησιμότητα αυτού του εργαλείου παρουσιάζεται μέσα από αναφορές σε επιστημονικές εργασίες που έχουν δημοσιευτεί και έκαναν χρήση αυτής της μεθόδου.

Στο Κεφάλαιο 3, περιγράφονται όλες οι πειραματικές διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν, ο εξοπλισμός και οι συσκευές που ήταν απαραίτητες για τη διεξαγωγή των πειραμάτων, οι συνθήκες που επικρατούσαν και τα πειραματικά πρωτόκολλα που ακολουθήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται οι πειραματικές διαδικασίες για τον προσδιορισμό των ολικών αιωρούμενων στερεών και αιωρούμενων οργανικών στερεών (TSS, VSS), οι μέθοδοι που ακολουθούνται για τη μικροσκοπική παρατήρηση δειγμάτων ανάμικτου υγρού, οι χρωστικές τεχνικές Gram και Neisser και εν συνεχεία γίνεται εκτεταμένη περιγραφή χειρισμού και δυνατοτήτων του λογισμικού Image Pro Plus που χρησιμοποιήθηκε για την καταμέτρηση των κροκίδων και τον προσδιορισμό των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι πειραματικές διαδικασίες για τον υπολογισμό του δείκτη καθιζησιμότητας (DSVI), της ταχύτητας καθίζησης και των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind. Τέλος, αναλύονται τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με προσθήκη κροκιδωτικών στα δείγματα ενεργού ιλύος, οι δόσεις των κροκιδωτικών, οι επιμέρους διαδικασίες για τη διεξαγωγή των πειραμάτων, καθώς και κάποια πειράματα που πραγματοποιήθηκαν για τον έλεγχο της τάσης αφρισμού της βιομάζας, τα οποία όμως δεν έδειξαν καμία σημαντική παρουσία αφρισμού και τελικά εγκαταλήφθηκαν.

Στο Κεφάλαιο 4, γίνεται παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του δείκτη καθιζησιμότητας (DSVI), της ταχύτητας καθίζησης και των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind, καθώς και της στατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνων (Image analysis) σε δείγματα που προέρχονταν από δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα, αυτές της Κοζάνης και της Λαμίας. Τέλος, γίνεται μια προσπάθεια συνολικής συσχέτισης των αποτελεσμάτων μεταξύ τους και μια σύγκριση μεταξύ των δύο ΕΕΑ. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται και στην πραγματοποίηση κάποιων πειραμάτων σε σχέση με προσθήκη κροκιδωτικών καθώς και τα συμπεράσματα που προκύπτουν.

Στο Κεφάλαιο 5, γίνεται σύνοψη των πειραματικών αποτελεσμάτων και παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που εξάγονται σχετικά με τη μέθοδο που αναπτύχθηκε και τις πειραματικές διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

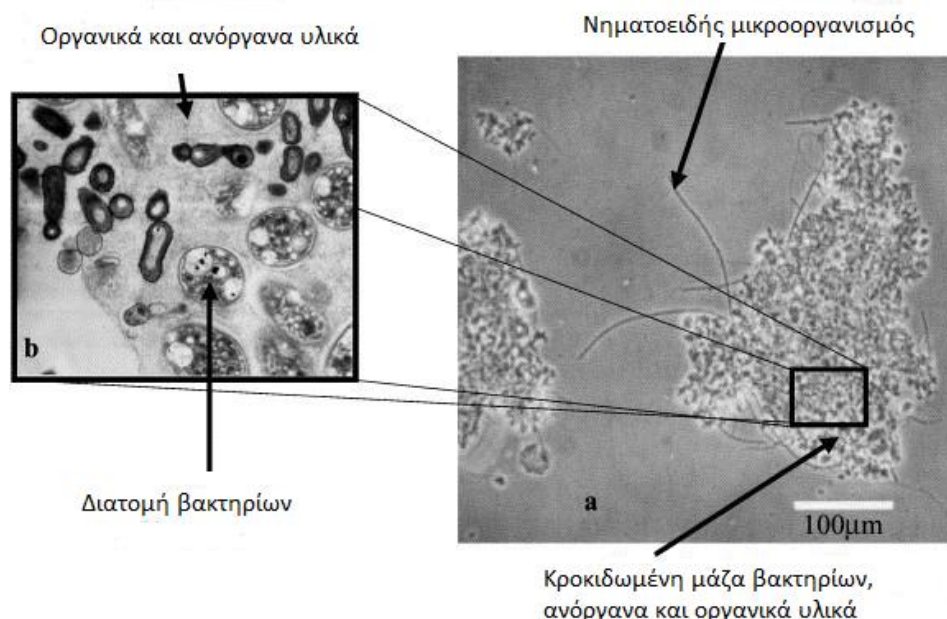
2.1 Εισαγωγή

Το σύστημα ενεργού ιλύος είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνολογία για τη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων. Η απόδοση μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) ενεργού ιλύος εξαρτάται άμεσα από την ικανότητα του συστήματος να μπορεί να επιτύχει γρήγορη καθίζηση της εισερχόμενης βιομάζας και επιτυχή διαχωρισμό της από τα επεξεργασμένα λύματα (διαύγαση), καθώς και επαρκή συμπύκνωση της βιομάζας.

Ένα σύστημα ενεργού ιλύος στην πιο απλή του μορφή αποτελείται από δύο στάδια, ένα βιοχημικό στάδιο (τη δεξαμενή αερισμού) και ένα φυσικό στάδιο (τη δευτεροβάθμια καθίζηση). Στη δεξαμενή αερισμού, δηλαδή στο στάδιο της βιολογικής απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου, ο οργανικός άνθρακας, το αμμωνιακό άζωτο και τα φωσφορικά, απομακρύνονται από τα λύματα. Στην δεξαμενή καθίζησης ακολουθεί το δεύτερο στάδιο που είναι αυτό του διαχωρισμού των στερεών και του υπερκείμενου υγρού. Δεδομένου ότι τα βακτήρια μπορούν να σχηματίσουν κροκίδες, που μπορούν να διαχωριστούν από τα επεξεργασμένα λύματα λόγω των δυνάμεων της βαρύτητας, αυτή η εναλλακτική λύση είναι η τυπική τεχνολογία που εφαρμόζεται για το διαχωρισμό στερεών-υγρών.

Έτσι, παρά το γεγονός ότι οι βιολογικές διεργασίες μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η μείωση του ρυπαντικού φορτίου επιτελούνται στο βιολογικό αντιδραστήρα του συστήματος, η δεξαμενή τελικής καθίζησης αποτελεί τη μονάδα που ανάλογα με την απόδοσή της καθορίζει την ποιότητα της τελικής εκροής (Ανδρεαδάκης, 1996).

Ένας καλός διαχωρισμός (καθίζηση) και μια καλή συμπύκνωση (πάχυνση) της ενεργού ιλύος στη δευτεροβάθμια καθίζηση είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να είναι εγγυημένη μια καλή ποιότητα εκροής. Ο διαχωρισμός αυτός, βασίζεται στο σχηματισμό συμπαγών συσσωματωμάτων, των κροκίδων ή αλλιώς βιοκροκίδων (γιατί η συσσωμάτωση αποτελεί βιολογική διεργασία και επιτυγχάνεται χωρίς την προσθήκη χημικών κροκιδωτικών).



Εικόνα 2.1: Κροκίδα με παρουσία νηματοειδών βακτηρίων

Η δημιουργία βιοκροκίδων σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος, στηρίζεται στην ικανότητα του συστήματος κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες, να επιτρέπει στους μικροοργανισμούς και στα άλλα αιωρούμενα στερεά να συσσωματωθούν και να σχηματίσουν κροκίδες, οι οποίες είναι συνήθως περίπου τρεις φορές μεγαλύτερες σε μέγεθος από κάθε μεμονωμένο μικροοργανισμό, και επιπλέον έχουν πυκνότητα ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτή του νερού, με αποτέλεσμα να μπορούν να καθιζάνουν, με τη βοήθεια της βαρύτητας, στη δεξαμενή καθίζησης (Henze et al., 2008). Η σχετικά χαμηλή δύναμη της βαρύτητας όμως, κάνει την καθίζηση να καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος της συνολικής μονάδας επεξεργασίας, που αποτελεί συνήθως το 30-50% της συνολικής περιοχής επεξεργασίας.

Η μορφολογία και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των βιοκροκίδων επιδρούν με τρόπο χαρακτηριστικό, τόσο στη διαύγαση, όσο και στην συμπίκνωση της ιλύος. Τα χαρακτηριστικά όμως αυτά, που παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις κατά περίπτωση, καθορίζονται με τη σειρά τους από τις συνθήκες που επικρατούν στο βιολογικό αντιδραστήρα, οι οποίες επηρεάζουν τη διαφορική ανάπτυξη των διαφόρων κατηγοριών μικροοργανισμών, καθώς και τον τρόπο συσσωμάτωσής τους με τη μορφή των βιοκροκίδων. Αξίζει να σημειωθεί, ότι το φαινόμενο της συσσωμάτωσης των μικροοργανισμών είναι θεμελιώδες στο σύστημα της ενεργού ιλύος, δεδομένου ότι τα διάσπαρτα βακτήρια, λόγω του μικρού τους μεγέθους, δεν καθιζάνουν ακόμα και σε συνθήκες πλήρους ηρεμίας και η ενδεχόμενη ανάπτυξή τους σε μια τέτοια διάσπαρτη μορφή οδηγεί σε πλήρη αστοχία το σύστημα (Ανδρεαδάκης 1986).

2.1.1 Προβλήματα διαχωρισμού των στερεών από τα επεξεργασμένα λύματα

Η ταχύτητα καθίζησης αλλά και ο βαθμός συμπίκνωσης της ιλύος, εξαρτώνται από τη δομή και τη φύση των βιοκροκίδων. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία τα σημαντικότερα προβλήματα διαχωρισμού των στερεών από τα υπερκείμενα επεξεργασμένα λύματα στη δεξαμενή τελικής καθίζησης είναι:

- η διασπαρμένη ανάπτυξη
- η ανάπτυξη μικροκροκίδων
- η ιξώδης διόγκωση της ιλύος
- η ανύψωση της ιλύος
- η νηματοειδής διόγκωση και
- ο αφρισμός ενεργού ιλύος λόγω νηματοειδών βακτηρίων

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το πρόβλημα της ανύψωσης της ενεργού ιλύος στη δεξαμενή καθίζησης δεν οφείλεται σε κανέναν από τους προαναφερθέντες παράγοντες, συμπεριλαμβάνεται όμως σε αυτή την κατηγορία προβλημάτων διαχωρισμού των στερεών, διότι προκαλεί επιβάρυνση της τελικής εκροής με στερεά (Νουτσόπουλος, 2002).

Τα φαινόμενα της νηματοειδούς διόγκωσης και του αφρισμού θα αναπτυχθούν αναλυτικά σε βάθος σε επόμενη παράγραφο της διπλωματικής αυτής, διότι αποτελούν βασικό αντικείμενο ενδιαφέροντος. Παρακάτω, θα γίνει μια συνοπτική παρουσίαση των υπόλοιπων προβλημάτων διαχωρισμού των στερεών που προαναφέρθηκαν.

Διασπαρμένη ανάπτυξη

Με τον όρο διασπαρμένη ανάπτυξη, περιγράφεται το φαινόμενο κατά το οποίο οι μικροοργανισμοί δε συσσωματώνονται και κατά συνέπεια δεν μπορούν να σχηματίσουν βιοκροκίδες. Η εικόνα που παρουσιάζεται σε μία τέτοια κατάσταση, είναι μια μεγάλη κινητικότητα των στερεών, τα οποία βρίσκονται διασπαρμένα μέσα

στο ανάμικτο υγρό, με τη μορφή μεμονομένων κυττάρων ή και μικρών συσσωματωμάτων, τα οποία δεν ξεπερνούν σε διάμετρο τα 10-20 μm (Ανδρεαδάκης, 1993).

Λόγω αυτής της αδυναμίας των βακτηρίων να αναπτύξουν τη μικροδομή της κροκίδας, είναι σχεδόν αδύνατο να πραγματοποιηθεί ζωνική καθίζηση και δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί διαχωρισμός των στερεών στη δεξαμενή καθίζησης. Αυτό έχει σαν άμεση συνέπεια την επιβάρυνση της τελικής εκροής, στην οποία εμφανίζεται και έντονη θολότητα, με αποτέλεσμα να απαιτούνται μόνο χαμηλοί χρόνοι παραμονής.

Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην παρουσία μεγάλων συγκεντρώσεων εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής, λόγω της οποίας τα κύτταρα δεν έχουν ανάγκη να συνθέσουν εξωκυτταρικά πολυμερή και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αδυνατούν να συσσωματωθούν. Αυτό το πρόβλημα συναντάται συχνότερα σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας που λειτουργούν με χαμηλούς χρόνους παραμονής, στην έναρξη λειτουργίας μιας εγκατάστασης ή και σε περιπτώσεις παρουσίας τοξικών ουσιών στα λύματα.

Ανάπτυξη μικροκροκίδων

Το φαινόμενο αυτό μοιάζει οπτικά πολύ με την εικόνα της διασπαρμένης ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στη διάσπαση του πλέγματος των παραγόμενων εξωκυτταρικών πολυμερών από τους μικροοργανισμούς, που είναι απαραίτητο για τη συνεκτικότητα των κροκίδων. Το φαινόμενο αυτό εντείνεται σε περιπτώσεις παντελούς απουσίας νηματοειδών βακτηρίων καθώς και σε εγκαταστάσεις όπου ο αερισμός στην δεξαμενή αερισμού πραγματοποιείται με επιφανειακούς αεριστές. Η ανάπτυξη μικροκροκίδων συνήθως παρουσιάζεται σε συστήματα παρατεταμένου αερισμού, με μεγάλους χρόνους παραμονής.

Οι κροκίδες είναι ομοιόμορφες, σφαιρικές, ελάχιστα συνεκτικές, ασταθείς και σημαντικά μεγαλύτερες από αυτές της διεσπαρμένης ανάπτυξης (περίπου 50-100 μm) ενώ διασπώνται πολύ εύκολα. Η ταχύτητα καθίζησης αυτών των κροκίδων είναι μικρή και έτσι διαφεύγουν εύκολα στην τελική εκροή, παρόλο που το φαινόμενο δεν συνοδεύεται πάντα από υψηλές τιμές του δείκτη SVI.

Ιξώδης διόγκωση της ιλύος

Στην περίπτωση της ιξώδους διόγκωσης της ιλύος παράγονται υπερβολικές ποσότητες εξωκυτταρικού πολυμερούς υλικού, με αποτέλεσμα η προκύπτουσα ιλύς να έχει μία γλοιώδη, ζελατινοειδή μορφή. Η διόγκωση αυτή ονομάζεται και διόγκωση λόγω Zooglea καθώς τα βακτήρια Zooglea είναι αυτά που παράγουν υπερβολικές ποσότητες πολυμερών. Εξαιτίας της υδροφιλικής τάσης των πολυμερών αυτών, η βιομάζα συγκρατεί το νερό και έτσι μειώνεται σημαντικά και η ταχύτητα καθίζησης αλλά και η ικανότητα συμπύκνωσης της ιλύος.

Αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι επίσης, η διαφυγή τμήματος της ιξώδους ιλύος στην τελική εκροή καθώς και αραίωση της επανακυκλοφορίας και της περίσσειας ιλύος, κάτι που αυξάνει το κόστος άντλησης της ιλύος. Η ιξώδης διόγκωση της ιλύος συχνά επίσης συνοδεύεται και με φαινόμενα αφρισμού όταν η βιομάζα βρεθεί σε συνθήκες έντονου αερισμού (επιφανειακοί αφριστήρες).

Είναι πιο εύκολο να εμφανιστεί το φαινόμενο αυτό, σε περιπτώσεις συστημάτων στα οποία επικρατούν μεγάλες κλίσεις του εύκολα βιοδιασπάσιμου κλάσματος της οργανικής ύλης, με σκοπό να αποφεύγεται το φαινόμενο της νηματοειδούς διόγκωσης, ή σε συνθήκες έλλειψης θρεπτικών (κυρίως N, P) στα προς επεξεργασία λύματα.

Ανύψωση ιλύος

Το φαινόμενο της ανύψωσης ιλύος οφείλεται στην διεργασία της ενδογενούς απονιτροποίησης, η οποία είναι δυνατόν υπό κάποιες προϋποθέσεις να πραγματοποιείται στη δεξαμενή τελικής καθίζησης. Το μεταφερόμενο διαλυμένο οξυγόνο από τη δεξαμενή αερισμού στην δεξαμενή τελικής καθίζησης, λόγω των μεγάλων συγκεντρώσεων της βιομάζας καταναλώνεται άμεσα με αποτέλεσμα, οι συνθήκες στη δεξαμενή τελικής καθίζησης να τείνουν να γίνουν ανοξικές, λόγω της συγκέντρωσης των εισερχόμενων νιτρικών. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η ενδογενής απονιτροποίηση έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αερίου αζώτου, οι φυσαλίδες του οποίου, συμπαρασύρουν προς την επιφάνεια τα στερεά καθώς το αέριο άζωτο απελευθερώνεται και παραμένει στην επιφάνεια με τη μορφή αφρού. Όταν οι φυσαλίδες του αζώτου απελευθερωθούν από το επιπλέον υγρό, ένα μέρος αυτού καθιζάνει και το υπόλοιπο διαφεύγει στην τελική εκροή αυξάνοντας και τη θολότητα.

Πρακτικά δηλαδή, το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από τη συγκέντρωση νιτρικών στη δεξαμενή καθίζησης και από το χρόνο παραμονής της συμπυκνωμένης ιλύος στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης. Μεγαλύτερο πρόβλημα παρουσιάζεται κυρίως στις εγκαταστάσεις που πραγματοποιείται βιολογική απομάκρυνση άνθρακα και όχι αζώτου.

Τα προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού αναλύονται σε επόμενη παράγραφο σε βάθος.

2.2 Προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ)

2.2.1 Το φαινόμενο της νηματοειδούς διόγκωσης

Είναι γνωστό ότι για να είναι ικανοποιητική η συμπύκνωση και η καθίζηση της ιλύος, είναι απαραίτητο εκτός από την παρουσία των συσσωματωμένων βακτηρίων, να υπάρχει και μια ισορροπημένη παρουσία νηματοειδών μικροοργανισμών στο σύστημα της ενεργού ιλύος. Η έλλειψη επαρκούς αριθμού νηματοειδών μικροοργανισμών έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ασθενών και μικρών κροκίδων, οι οποίες σε συνθήκες έντονης μίξης πολύ εύκολα διασπώνται. Στην πραγματικότητα, ένας λογικός αριθμός νηματοειδών μικροοργανισμών, είναι απαραίτητος, ώστε οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί να λειτουργούν ως ο σκελετός των κροκίδων πάνω στον οποίο προσκολλώνται και άλλες κροκίδες. Ο σχηματισμός μεγαλύτερων κροκίδων (μακροκροκίδες) κατ' αυτόν τον τρόπο, βοηθά στη γρήγορη καθίζηση και στην ικανοποιητική συμπύκνωση της ιλύος. Δηλαδή, η ισορροπημένη παρουσία νηματοειδών βακτηρίων όχι μόνο δεν προκαλεί προβλήματα καθιζησιμότητας, αλλά συντελεί και στη δημιουργία μεγαλύτερων και πιο συμπαγών κροκίδων. Αυτό είναι επιθυμητό, διότι οι ανοιχτές και πορώδεις κροκίδες λάσπης καθιζάνουν πολύ πιο αργά, οπότε απαιτούν μεγαλύτερες δεξαμενές καθίζησης, προκειμένου να διατηρηθούν στη διαδικασία και/ή να αποφευχθεί η εμφάνιση των στερεών στην εκροή.

Αντίθετα, από την άλλη πλευρά, σημαντικά λειτουργικά προβλήματα σε συστήματα ενεργού ιλύος μπορεί να δημιουργηθούν εξαιτίας της υπερβολικής ανάπτυξης νηματοειδών βακτηρίων. Παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό ανάπτυξης τέτοιων μικροοργανισμών είναι: το καθεστώς μίξης και ροής, ο χρόνος παραμονής των στερεών, ο αποδέκτης ηλεκτρονίων, η σύσταση των λυμάτων, η παρουσία θρεπτικών, το pH του ανάμικτου υγρού, η οργανική φόρτιση, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, η σηπτικότητα των λυμάτων, η

συγκέντρωση επιφανειακών τασιενεργών και πολλοί άλλοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τον κάθε ένα νηματοειδή μικροοργανισμό διαφορετικά.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που σχετίζεται άμεσα με την υπερβολική ανάπτυξη των νηματοειδών μικροοργανισμών, είναι το φαινόμενο της νηματοειδούς διόγκωσης της ιλύος, της παραγωγής δηλαδή ιλύος, που καθιζάνει με αργούς ρυθμούς και παρουσιάζει μικρή συμπίκνωση.

Το φαινόμενο της νηματοειδούς διόγκωσης, είναι πρακτικά η αύξηση του όγκου της λάσπης και ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει την υπερβολική ανάπτυξη των νηματοειδών βακτηρίων, που αποτελεί ένα κοινό και μακροχρόνιο πρόβλημα σε μια μονάδα επεξεργασίας ενεργού ιλύος (Donaldson, 1932). Όταν οι κροκίδες της λάσπης είναι ανοικτές και πορώδεις, η καθίζηση παρεμποδίζεται και η καθιζάνουσα ιλύς θα περιέχει χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά.

Η νηματοειδής διόγκωση στην πράξη συνδέεται και με υψηλό δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (SVI). Κατά γενική ομολογία, όταν ο δείκτης καθιζησιμότητας της ιλύος είναι μεγαλύτερος από 150ml/gSS θεωρείται ότι υπάρχει πρόβλημα νηματοειδούς διόγκωσης, αν και το κριτήριο αυτό είναι εμπειρικό (στην Ολλανδία, για παράδειγμα, ένα SVI πάνω από 120ml/gSS θεωρείται ήδη διογκωμένη λάσπη στις μέρες μας, αφού η τιμή του δείκτη χρησιμοποιείται σήμερα στις οδηγίες σχεδιασμού για τις δεξαμενές καθίζησης). Στην πραγματικότητα, ως διόγκωση ιλύος ορίζεται σε γενικές γραμμές, η κατάσταση κατά την οποία τα αιωρούμενα στερεά, δεν μπορούν να διατηρηθούν στη δεξαμενή καθίζησης και η εκροή είναι υψηλής ποιότητας σε οργανικό φορτίο.

Οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί επιδρούν στο μηχανισμό της καθίζησης αλλά και σε αυτόν της συμπίκνωσης με δύο τρόπους:

α) άμεσα: επειδή οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί προεξέχουν συνήθως εκτός των κροκίδων μέσα στο υγρό διάλυμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να σχηματίζονται γέφυρες μεταξύ των κροκίδων, οι οποίες όμως δεν συγκρατούνται με ισχυρούς δεσμούς, με αποτέλεσμα να μη διευκολύνουν την συσσωμάτωση, αφού δεν επιτρέπουν στις κροκίδες να έρθουν κοντά και να συνενωθούν. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται μια διογκωμένη ιλύς, η οποία καθιζάνει αργά και δεν συμπυκνώνεται καλά.

β) έμμεσα: γιατί κάποιιοι από τους νηματοειδείς μικροοργανισμούς έχουν την ιδιότητα να αναπτύσσονται καλύτερα στο εσωτερικό των κροκίδων. Αυτοί ευνοούν τη δημιουργία κροκίδων με μια χαρακτηριστική δομή διάσπαρτη και ανοιχτή. Στις κροκίδες αυτές υπάρχει αρκετός χώρος, ο οποίος καταλαμβάνεται από το υγρό διάλυμα. Αυτή η συσσώρευση νερού στην καθιζάνουσα ιλύς καθιστά αδύνατη τη σωστή συμπίκνωσή της (Νουτσόπουλος, 2002).

Παρά την τεράστια έρευνα σχετικά με τη διόγκωση της ιλύος, εξακολουθεί να αποτελεί πρόβλημα στη λειτουργία εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων ακόμα και σήμερα. Αυτό είναι πιθανό να προκαλείται από διάφορες καταστάσεις που προκαλούν τον πολλαπλασιασμό των νηματοειδών οργανισμών. Πολλά νηματοειδή βακτήρια δεν είναι διαθέσιμα σε καθαρές καλλιέργειες, αποτρέποντας έτσι μια λεπτομερή μικροβιολογική μελέτη αυτών των οργανισμών και μια μικροσκοπική ανάλυση δειγμάτων της ιλύος. Η κατάσταση της λειτουργίας της εγκατάστασης σε σχέση με την διόγκωση της ιλύος, σαν αποτέλεσμα αυτής της δυσκολίας στην έρευνα, είναι συνήθως μόνο οριακά τεκμηριωμένη.

2.2.2 Το φαινόμενο του αφρισμού

Συχνά, παράλληλα με το φαινόμενο της νηματοειδούς διόγκωσης, που αναπτύχθηκε παραπάνω, παρουσιάζεται και το εξίσου σοβαρό πρόβλημα της δημιουργίας ενός μεγάλου στρώματος σταθερού βιολογικού αφρού στην επιφάνεια των δεξαμενών αερισμού και εν συνεχεία στις δεξαμενές καθίζησης, ενώ κάποιες φορές μεταφέρεται και στους αναερόβιους χωνευτές, προκαλώντας σοβαρά λειτουργικά προβλήματα. Τα δύο αυτά φαινόμενα αποτελούν και τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει το μεγαλύτερο ποσοστό των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων παγκοσμίως (40-50%) (Andreadakis, 1996). Κατά τη διάρκεια αυτών των επεισοδίων αφρισμού, ο έλεγχος της δευτεροβάθμιας διεργασίας είναι εξαιρετικά δύσκολος, εφόσον ένα σημαντικό ποσοστό των στερεών και άρα της βιομάζας μεταφέρεται στο στρώμα του αφρού. Ταυτόχρονα, ο αφρισμός συνεπάγεται προβλήματα στη συντήρηση καθώς και βλάβες του μηχανολογικού εξοπλισμού και των οργάνων μέτρησης, ενώ μπορεί να οδηγήσει και σε προβλήματα στην ποιότητα της τελικής εκροής της εγκατάστασης. Ο αφρισμός στην αναερόβια χώνευση μπορεί να προκαλέσει εμφράξεις στα συστήματα ανάδευσης με βιοαέριο, καθώς και στις αντλίες ανακυκλοφορίας ιλύος, οδηγώντας σε αδυναμία θέρμανσης των χωνευτών, αναστροφή του προφίλ στερεών, εμφράξεις στο σύστημα συλλογής του βιοαερίου, καθώς και στην επιδείνωση της ποιότητας του βιοαερίου και άρα προβλήματα στις μηχανές συμπαραγωγής.

Η παρουσία αφρού γενικά σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να σχετίζεται είτε με την ύπαρξη μεγάλων συγκεντρώσεων νηματοειδών βακτηρίων, όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, είτε με τις μεγάλες ποσότητες τασιενεργών ουσιών όπως απορρυπαντικά, λίπη και έλαια, είτε με το φαινόμενο της ανύψωσης της ιλύος λόγω ανεξέλεγκτης απονιτροποίησης στη δεξαμενή τελικής καθίζησης. Επιπλέον, συχνά ένας τύπος αφρού εμφανίζεται κατά την εκκίνηση των μονάδων ενεργού ιλύος και συνήθως εξαφανίζεται μόλις καθιερωθεί η διαδικασία. Στην παρούσα διπλωματική, μας απασχολεί κυρίως ο βιολογικός αφρός, δηλαδή αυτός ο αφρός που δημιουργείται στην επιφάνεια ενός συστήματος ενεργού ιλύος και οφείλεται καθαρά στην ανάπτυξη συγκεκριμένων νηματοειδών οργανισμών.

Ο αφρός που σχηματίζεται και σχετίζεται με την υπερβολική ανάπτυξη των νηματοειδών βακτηρίων έχει παχύρρευστη υφή, καφέ σκούρου χρώματος και περιέχει μεγάλες και συνεκτικές φυσαλίδες. Η μορφή του βιολογικού αφρού διαφέρει σημαντικά από τον αφρό που δημιουργείται λόγω άλλων παραγόντων που προαναφέρθηκαν ήδη. Ο αφρός που δημιουργείται εξαιτίας της ύπαρξης μεγάλων ποσοτήτων τασιενεργών ουσιών έχει, σε αντίθεση με το βιολογικό αφρό, άσπρο χρώμα και συνήθως απομακρύνεται σύντομα. Επίσης, ο αφρός που οφείλεται στην ανύψωση της ιλύος λόγω ανεξέλεγκτης απονιτροποίησης στη δεξαμενή τελικής καθίζησης, αποτελείται από μικρές φυσαλίδες αερίου αζώτου που συμπαρασύρουν τα στερεά στην επιφάνεια της δεξαμενής.

Στην περίπτωση του βιολογικού αφρού, μια συγκεκριμένη κατηγορία νηματοειδών μικροοργανισμών (foam forming filamentous microorganisms) λόγω των λιπαρών οξέων στο κυτταρικό τους τοίχωμα, όταν αναπτυχθούν σε υψηλά επίπεδα, καθιστούν τις βιοκροκίδες υδροφοβικές, διότι διαθέτουν ιδιαιτέρως υδροφοβικές αλυσίδες κυττάρων, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται με τη μορφή πυκνού αφρού στην επιφάνεια των βιολογικών αντιδραστήρων και των δεξαμενών τελικής καθίζησης και τελικά να εκκενώνονται μαζί με το υπερκείμενο υγρό. Ο αφρός αυτός λόγω των βραδέων ρεολογικών του ιδιοτήτων, συσσωρεύεται στην

επιφάνεια, έχει πολύ μεγάλο χρόνο παραμονής, και «στραγγίζει» με την πάροδο του χρόνου, φτάνοντας σε συγκεντρώσεις στερεών 2-4%. Η δημιουργία αυτού του ιδιαίτερα σταθερού και πυκνού στρώματος αφρού, στις βιολογικές μονάδες, μπορεί να οδηγήσει σε πολλά λειτουργικά προβλήματα, όπως υπόθηκε ήδη, όπως δυσκολία ελέγχου του χρόνου παραμονής λόγω παγίδευσης μέρους των στερεών στο στρώμα του αφρού, προβλήματα αισθητικής και οσμών λόγω πιθανής διαφυγής του αφρού εκτός των μονάδων λόγω της υδραυλικής υπερφόρτωσης των δεξαμενών και φυσικά ακόμα και αστοχία της εγκατάστασης λόγω διαφυγής στερεών από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης στην τελική εκροή.

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε αρκετές χώρες έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός νηματοειδών βακτηρίων, τα οποία ανάλογα με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, τις κλιματολογικές συνθήκες και άλλους παράγοντες έχουν μεγάλη πιθανότητα να ανιχνευθούν σε λάσπες που εμφανίζουν προβλήματα κακής καθιζήσιμότητας και/ή αφρισμού. Σύμφωνα με τον Blackbeard et al.(1988) οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί που συνήθως συναντώνται σε εγκαταστάσεις που παρουσιάζουν προβλήματα αφρισμού είναι οι *Type 0041*, *Type 0092*, *Type 0675*, *Type 0914*, *Nocardia sp.* και *Microthrix parvicella*. Οι κυριότεροι νηματοειδείς μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την παρουσία αυτού του φαινομένου είναι οι *Nocardia ssp.* και *Microthrix parvicella* (Soddell, 1990), ενώ υπό κάποιες προϋποθέσεις, όπως είναι η υψηλή οργανική φόρτιση και η υψηλή συγκέντρωση τασιενεργών, μπορεί να συμβάλλει στην παρουσία του φαινομένου και ο *Type 1863* (Jenkins, 1993).

Επίσης η σύσταση του πληθυσμού νηματοειδών βακτηρίων σε μια ΕΕΛ εξαρτάται από το είδος και την προέλευση των λυμάτων (αστικά, βιομηχανικά, ανεπεξέργαστα ή κατόπιν πρωτοβάθμιας επεξεργασίας). Λύματα με υψηλή περιεκτικότητα διαλυμένων οργανικών ενώσεων συνήθως ευνοούν την εμφάνιση νηματοειδών βακτηρίων όπως *Type 021N*, *S.natans*, *Thiothrix spp.*, *H. Hydrossis*, κ.α. Υψηλές συγκεντρώσεις θειούχων ενώσεων ευνοούν την ανάπτυξη νηματοειδών βακτηρίων όπως *Thiothrix spp.*, *Type 021N*, *Beggiatoa spp.* και *Type 0914*. Νηματοειδή βακτήρια όπως *M.parvicella* και *Type 0092* ευνοούνται από την παρουσία δύσκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων, όπως λιπαρών οξέων (3,6).



Εικόνα 2.2: Αφρισμός σε δεξαμενή τελικής καθίζησης



Εικόνα 2.3: Αφρισμός σε δεξαμενή αερισμού



Εικόνα 2.4: Αφρός που έχει διαφύγει από τις δεξαμενές



Εικόνα 2.5: Αφρός που έχει υπερχειλίσει και έχει διαφύγει των μονάδων

2.2.3 Έλεγχος των φαινομένων της νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού σε συστήματα ενεργού ιλύος

Για τον έλεγχο των φαινομένων της νηματοειδούς διόγκωσης και του αφρισμού είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί η εξής μεθοδολογία: α) να αναγνωριστούν οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί που ευθύνονται για τα προβλήματα της νηματοειδούς διόγκωσης αλλά και/ή του αφρισμού, β) να εντοπιστεί η αιτία ανάπτυξης του μικροοργανισμού αυτού στο σύστημα της ενεργού ιλύος και γ) να ληφθούν άμεσα διορθωτικά μέτρα για τον έλεγχο των φαινομένων.

Οι μέθοδοι ελέγχου των φαινομένων της νηματοειδούς διόγκωσης και του αφρισμού χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: α) στις μη ειδικές και β) στις ειδικές.

Οι μη ειδικές μέθοδοι ελέγχου καταπολεμούν το αποτέλεσμα, δηλαδή τα συμπτώματα της νηματοειδούς διόγκωσης και του αφρισμού και το πρόβλημα δεν επιλύεται ριζικά, αντίθετα, αντιμετωπίζεται εκείνη τη δεδομένη χρονική στιγμή, με συνέπεια τα προβλήματα να μην εξαλείφονται οριστικά και να επανέρχονται.

Σε αντίθεση με τις μη ειδικές μεθόδους, οι ειδικές μέθοδοι, στοχεύουν στον εντοπισμό και την αντιμετώπιση των αιτιών που οδήγησαν στα φαινόμενα αυτά. Έτσι, στόχος των ειδικών μεθόδων είναι η επιβολή απαραίτητων συνθηκών για την αναχαίτιση της ανάπτυξης των υπεύθυνων για την διόγκωση και/ή τον αφρισμό νηματοειδών μικροοργανισμών. Με άλλα λόγια, επιδιώκεται η επιλογή των συσσωματούμενων μικροοργανισμών σε βάρος των νηματοειδών, με σκοπό τη μόνιμη εξάλειψη των προβλημάτων.

2.2.3.1 Μη ειδικές μέθοδοι ελέγχου φαινομένων νηματοειδούς διόγκωσης αφρισμού σε συστήματα ενεργού ιλύος με απομάκρυνση θρεπτικών

Τα μέτρα άμεσης αντιμετώπισης τα οποία συνηθίζεται να λαμβάνονται σε περιπτώσεις ξαφνικής εμφάνισης φαινομένων νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού είναι συνήθως λύσεις προσωρινές, όπως υπόθηκε και παραπάνω, και όχι απαραίτητα αποτελεσματικές για μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι, αν δεν υπάρχει καμία πληροφορία αναγνώρισης του μικροοργανισμού που έχει προκαλέσει το πρόβλημα αρχικά συνίσταται η αρχική αντιμετώπιση του προβλήματος με μη ειδικές μεθόδους ελέγχου που περιλαμβάνουν την προσθήκη α) κροκιδωτικών στη δεξαμενή τελικής καθίζησης, β) κάποιου ισχυρού οξειδωτικού, γ) συνθετικών πολυμερών και δ) βακτηριακών παρασκευασμάτων και κάποιες διορθωτικές κινήσεις για τον περιορισμό των λειτουργικών προβλημάτων στην εγκατάσταση.

Προσθήκη ανόργανων κροκιδωτικών: Η προσθήκη κροκιδωτικών σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος αποσκοπεί κυρίως στην αύξηση της ταχύτητας καθίζησης λόγω της αύξησης του ειδικού βάρους της ιλύος και δεν σχετίζεται άμεσα με την απομάκρυνση των νηματοειδών μικροοργανισμών από το σύστημα. Τα συνηθέστερα ανόργανα κροκιδωτικά που χρησιμοποιούνται είναι ο χλωριούχος και ο θειϊκός σίδηρος, το θειϊκό αργίλιο και το υδροξείδιο του ασβεστίου. Η χρήση τέτοιων ανόργανων αλάτων του σιδήρου, του αργιλίου και του ασβεστίου χρησιμοποιούνται συνήθως για την υποβοήθηση της απομάκρυνσης του φωσφόρου. Παρόλα αυτά, η χρησιμοποίησή τους συνδέεται σε μερικές περιπτώσεις και με ταυτόχρονη απομάκρυνση ορισμένων νηματοειδών μικροοργανισμών (Yamatomo et al, 1998). Οι συνηθέστερα εφαρμοζόμενες δόσεις αλάτων αργιλίου και σιδήρου κυμαίνονται μεταξύ 50 και 60mg/l alum και 10-14mg/l Fe, αντίστοιχα. Η μέθοδος αυτή είναι συνήθως περισσότερο επιτυχής στην καταπολέμηση της νηματοειδούς διόγκωσης

παρά στην περίπτωση του αφρισμού. Σημαντικό μειωνέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η σημαντική αύξηση της παραγωγής ιλύος σε ποσοστό 15-25% (Νουτσόπουλος, 2002).

Προσθήκη ισχυρού οξειδωτικού: Η χρήση κάποιου ισχυρού οξειδωτικού αποσκοπεί στη βελτίωση της καθιζησιμότητας της ιλύος ενός συστήματος, με ταυτόχρονη απομάκρυνση των νηματοειδών μικροοργανισμών. Η αρχή της λειτουργίας της μεθόδου αυτής στηρίζεται στο γεγονός ότι οι περισσότεροι νηματοειδείς μικροοργανισμοί προεξέχουν των βιοκροκίδων, διότι μεγάλο τμήμα των νημάτων τους βρίσκεται στην υγρή φάση. Νηματοειδείς μικροοργανισμοί που προεξέχουν εκτός των κροκίδων ή αναπτύσσονται ανεξάρτητα από τις κροκίδες μέσα στην υγρή φάση είναι οι *Type 021N*, *S.natans*, *Thiothrix*, *Type 1701*, *Type 0961* κ.α. Με προσθήκη μιας επαρκούς ποσότητας ενός ισχυρού οξειδωτικού, τα νήματα των μικροοργανισμών αρχικά παραμορφώνονται και αποκολλούνται από το περίβλημα που τα περιβάλλει (για όσους νηματοειδείς μικροοργανισμούς διαθέτουν περίβλημα) με αποτέλεσμα να υποβάλλονται στη δράση των οξειδωτικών και να αποσυντίθενται. Αντίθετα, οι συσσωματούμενοι μικροοργανισμοί μέσα στις κροκίδες προστατεύονται από την κατασκευή τους, αφενός λόγω αντιστάσεων στη διάχυση του οξειδωτικού και αφετέρου λόγω κατανάλωσης του οξειδωτικού στη διαδρομή του από την υγρή φάση έως τις κροκίδες. Η επιλεκτική αυτή απομάκρυνση των νηματοειδών βακτηρίων, θα είναι πιο αποτελεσματική αν υπάρχουν στο σύστημα νηματοειδείς μικροοργανισμοί που δεν προστατεύονται από τις βιοκροκίδες. Ωστόσο, η χρήση αυτής της μεθόδου απαιτεί μεγάλη προσοχή για να μην καταστραφεί και η βιομάζα. Το αποτέλεσμα της χρήσης τέτοιων ουσιών είναι η εξόντωση όλων των νηματοειδών βακτηρίων, ανεξαρτήτως εάν όλα είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία των φαινομένων της διόγκωσης και/ή του αφρισμού.

Τα πιο γνωστά ισχυρά οξειδωτικά που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης της ιλύος είναι το χλώριο, το υπεροξείδιο του υδρογόνου και το όζον. Επειδή το χλώριο είναι πολύ ισχυρό οξειδωτικό, η προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων μπορεί να προκαλέσει την αποκόλληση των κροκίδων, καταστροφή πολλών συσσωματούμενων μικροοργανισμών, με αποτέλεσμα την καταστροφή των βιοκροκίδων, αύξηση της θολότητας εκροής και επομένως αστοχία της βιολογικής λειτουργίας του συστήματος. Επιπρόσθετα, η χρήση του χλωρίου σε πολλές περιπτώσεις οδηγεί στη δημιουργία τριαλογόνων, παράγωγα του μεθανίου, που παράγονται από την αντίδραση του χλωρίου με τις οργανικές ενώσεις των λυμάτων και είναι ανεπιθύμητες και για το περιβάλλον αλλά και για τον άνθρωπο. Η προσθήκη του χλωρίου συνίσταται να γίνεται σε θέσεις έντονης ανάμιξης, για την ικανοποιητική διασπορά των χημικών και γι' αυτό το λόγο, καταλληλότερα σημεία προσθήκης του χλωρίου είναι ο αγωγός επανακυκλοφορίας της ιλύος και η δεξαμενή αερισμού.

Ένα πολύ σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής, είναι επίσης, η πιθανή αναχαίτηση της νιτροποίησης και της βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου. Η αναχαίτηση όμως αυτή περιορίζεται χρονικά στην περίοδο κατά την οποία προστίθενται τα χημικά. Επίσης, αυτή η μέθοδος δεν είναι αποτελεσματική στην αντιμετώπιση του φαινομένου της νηματοειδούς διόγκωσης, όταν οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί που το προκαλούν αναπτύσσονται μέσα στις κροκίδες όπως οι *M. parvicella*, *Nocardia*, *Type 0092*, διότι είναι πιο ανθεκτικοί στην χρήση τέτοιων οξειδωτικών. Ο *M. parvicella* ενδεικτικά απαιτεί 10-100 φορές μεγαλύτερες δόσεις χλωρίου από τους άλλους νηματοειδείς μικροοργανισμούς. (Soddell et al., 1992)

Προσθήκη πολυμερών: Σε περιπτώσεις που είναι αναγκαία η άμεση βελτίωση της καθιζησιμότητας ενός συστήματος, πραγματοποιείται προσθήκη συνθετικών πολυμερών. Ο τύπος πολυμερούς και η δόση του θα πρέπει να υπολογίζονται για

κάθε περίπτωση χωριστά. Κυρίως χρησιμοποιούνται κατιονικοί πουηλεκτρολύτες ή συνδυασμός ανιονικών και κατιονικών πολυηλεκτρολυτών. Η μέθοδος αυτή, αν και έχει ιδιαίτερα υψηλό κόστος θεωρείται αρκετά επιτυχής τόσο στην καταπολέμηση της νηματοειδούς διόγκωσης όσο και του αφισμού. Οι τυπικά εφαρμοζόμενες δόσεις κυμαίνονται μεταξύ 2-6 mg/l. Η προσθήκη γίνεται συνήθως στην έξοδο της δεξαμενής αερισμού σε θέσεις καλής ανάμιξης. Τέλος, ένα επιπλέον πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η περιορισμένη αύξηση της περισσειας ιλύος.

Προσθήκη βακτηριακών παρασκευασμάτων: Τα βακτηριακά παρασκευάσματα ή αλλιώς βιοκτόνα είναι οργανικά ή συνθετικά οργανικά μόρια που χρησιμοποιούνται για να απολυμάνουν και να αποστειρώσουν αντικείμενα και επιφάνειες και να διατηρήσουν υλικά ή διεργασίες από τη μικροβιακή υποβάθμιση (Bodik et al., 2008). Κάποιοι ερευνητές (Caravelli et al., 2007) αναφέρουν ότι μοντέρνα συνθετικά απολυμαντικά (όπως το Triton X-100 - Octyphenol ethoxylate, $C_{14}H_{22}O(C_2H_4O)_n$), (Sigma Chemical Co.) γενικά θεωρούνται βιοδιασπάσιμα και ως εκ τούτου, όπου χρησιμοποιούνται κατάλληλα, μπορεί να είναι χρήσιμα για την επίλυση των προβλημάτων διόγκωσης. Οι Jenkins et al., (2004) αναφέρουν την ύπαρξη νηματοειδοκτόνων (filamenticides) για τα οποία όμως δεν επεκτείνονται, καθώς αναφέρουν ότι δημιουργούν τοξικά παραπροϊόντα.

Προσθήκη ενεργού άνθρακα: Η προσθήκη ενεργού άνθρακα στο σύστημα αποσκοπεί κυρίως στην αύξηση της ταχύτητας καθίζησης, λόγω της αύξησης του ειδικού βάρους της ιλύος και δεν σχετίζεται άμεσα με την απομάκρυνση των νηματοειδών μικροοργανισμών από το σύστημα, αλλά μόνο στον περιορισμό των λειτουργικών προβλημάτων. Ο ενεργός άνθρακας έχει μεγάλο κόστος γι' αυτό δεν είναι από τις πιο φτηνές λύσεις για την αντιμετώπιση τέτοιων φαινομένων.

Ψεκασμός με νερό: Η μέθοδος αυτή, δηλαδή ο ψεκασμός του αφρού με νερό, είναι η πιο κοινή φυσική μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρύτατα για την απομάκρυνση του βιολογικού αφρού από την επιφάνεια των βιοαντιδραστήρων και/ή των δεξαμενών τελικής καθίζησης. Δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδος για πολύ σταθερούς αφρούς και επιπλέον δεν επιτυγχάνει την απομάκρυνση των υπεύθυνων για τη δημιουργία αφρού νηματοειδών μικροοργανισμών, αφού αυτοί αποκολλώνται λόγω του ψεκασμού από τον αφρό και επιστρέφουν στο ανάμικτο υγρό. Για το λόγο αυτό, η μέθοδος αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σε εξαιρετικά επείγουσες περιπτώσεις. (Wanner, 1994)

Μείωση της ηλικίας της ιλύος: Πρόκειται για μία συνήθη μέθοδο αντιμετώπισης και του προβλήματος της διόγκωσης της ιλύος αλλά και του αφισμού σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος. Για παράδειγμα, για την αποφυγή της ανάπτυξης του *Microthrix* απαιτείται η λειτουργία της εγκατάστασης με χρόνο παραμονής μικρότερο των 5-6 ημερών (Νουτσόπουλος, 2002). Η μείωση όμως του χρόνου παραμονής των στερεών συχνά δεν είναι δυνατή, καθώς έχει άμεση επίπτωση στο σύνολο των διεργασιών που πραγματοποιούνται στη βιολογική βαθμίδα (βαθμός νιτροποίησης, απομάκρυνσης οργανικού άνθρακα, σταθεροποίηση της ιλύος κλπ.). Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πρακτικά αδύνατο να ελαττωθεί ο χρόνος παραμονής των στερεών σε επίπεδα που επιτύχουν την παρεμπόδιση της ανάπτυξης των νηματοειδών βακτηρίων. Για παράδειγμα, για την αποφυγή της ανάπτυξης *Nocardia* απαιτείται η λειτουργία της εγκατάστασης με χρόνο παραμονής μικρότερο των 2 ημερών.

Παράκαμψη της πρωτοβάθμιας καθίζησης ή μέρους της ιλύος στην δεξαμενή τελικής καθίζησης: Η μέθοδος αυτή, είναι στην πράξη, αρκετά δύσκολη στην εφαρμογή της και αποσκοπεί στον περιορισμό των λειτουργικών προβλημάτων και όχι στην απομάκρυνση των νηματοειδών μικροοργανισμών. Ένα ακόμα μειονέκτημα

της είναι ότι αυξάνει την οργανική φόρτιση της βιολογικής επεξεργασίας. Η λύση αυτή στοχεύει κυρίως στο να γίνουν οι βιοκροκίδες λίγο βαρύτερες, ώστε να συμπυκνώνεται η λάσπη καλύτερα και να αυξηθεί η ταχύτητα καθίζησης του στρώματος της βιολογικής ιλύος για να καθιζάνει η λάσπη ευκολότερα.

Αύξηση της επανακυκλοφορίας του συστήματος: Στην περίπτωση που έχουμε νηματοειδή διόγκωση της ιλύος, το γινόμενο $rQSSu$ μειώνεται, λόγω της κακής συμπύκνωσης της ιλύος. Μια απλή διορθωτική κίνηση για σχετικά χαμηλά SVI (δηλαδή κοντά στην οριακή τιμή των 150mg/l), είναι να αυξήσουμε αναλογικά με την μείωση της συγκέντρωσης των στερεών της περίσσειας της ιλύος (SSu), το γινόμενο rQ , δηλαδή να αυξήσουμε την επανακυκλοφορία του συστήματος, έτσι ώστε το γινόμενο $rQSSu$ να παραμένει σταθερό. Αυτό δεν έχει κανένα αποτέλεσμα στην ανάπτυξη ή στον περιορισμό των νηματοειδών, απλώς μπορεί να διευκολύνει την λειτουργία του συστήματος. Η χαμηλή συγκέντρωση στερεών στην περίσσεια ιλύος συνεπάγεται προβλήματα στην αφυδάτωση (αυξημένη άντληση, χαμηλή απόδοση, υψηλή κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη). Αντίστοιχα, στην επανακυκλοφορία ιλύος το κύριο πρόβλημα είναι η διατήρηση του επιθυμητού χρόνου παραμονής στο σύστημα ενεργού ιλύος και αντίστοιχα η υψηλή άντληση της επανακυκλοφορίας.

Πρόληψη της παγίδευσης του αφρού στο σύστημα ενεργού ιλύος: Τα προβλήματα αφρισμού που σχετίζονται με τους νηματοειδείς ενισχύονται όταν ο αφρός παγιδεύεται στην επιφάνεια διαφόρων δεξαμενών και κυρίως όταν ο αφρός αυτός απομακρύνεται και ανακυκλώνεται στο σύστημα. Παγίδευση αφρού πραγματοποιείται κάθε φορά που η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού διακόπτεται από μια κατασκευή, όπως ένα διαχωριστικό τοίχιο, η οποία αναγκάζει το υγρό να απομακρύνεται από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία μέσω διαδρομής κάτω από την επιφάνεια του υγρού αντί μέσω υπερχειλίσης. Ταυτόχρονα, οι νηματοειδείς έχουν την τάση να αναπτύσσονται με μορφή διασκορπισμένων νηματοειδών τεμαχίων ώστε λόγω της υδροφοβικής φύσης να μπορούν να επιπλέουν. Εφόσον οι νηματοειδείς που επιπλέουν ελεύθερα εκθέτουν μεγαλύτερο ποσοστό της υδρόφοβης επιφάνειας τους στην υγρή φάση από αυτά που είναι μέσα στα συσσωματώματα, ενισχύουν περισσότερο τον αφρισμό. Κατά αυτόν τον τρόπο, η παγίδευση του αφρού όχι μόνο αυξάνει τα επίπεδα των νηματοειδών στην ενεργό ιλύ αλλά επίσης ενισχύει τα ελεύθερα νημάτια στο υγρό και άρα την τάση για αφρισμό (Jenkins et al., 1993).

2.2.3.2 Ειδικές μέθοδοι ελέγχου φαινομένων νηματοειδούς διόγκωσης αφρισμού σε συστήματα ενεργού ιλύος με απομάκρυνση θρεπτικών

Στόχος των ειδικών μεθόδων ελέγχου είναι η καταπολέμηση των αιτιών των φαινομένων της νηματοειδούς διόγκωσης και του αφρισμού και προσεγγίζουν το πρόβλημα αυτό με σκοπό να είναι μόνιμα τα αποτελέσματα της αντιμετώπισης. Η λογική τους συνίσταται στην ανάπτυξη των συσσωματούμενων βακτηρίων και στον περιορισμό των νηματοειδών βακτηρίων.

Κάνοντας μια σύντομη ιστορική αναδρομή, η επεξεργασία της ενεργού ιλύος αναπτύχθηκε στις αρχές του 1900 στην Αγγλία (Ardern και Lockett, 1914). Αρχικά, τα συστήματα διακοπόμενης ροής τέθηκαν σε λειτουργία, αλλά γρήγορα μετατράπηκαν σε συστήματα συνεχούς ροής. Παρά την πιο συχνή εμφάνιση προβλημάτων καθίζησης, τα συστήματα συνεχούς ροής έγιναν δημοφιλή και εξαπλώθηκαν σε όλο τον κόσμο. Ο Donaldson (1932) είχε την υποψία ότι η διασπορά σε δεξαμενές εμβολοειδούς ροής, που αλλάζει την υδραυλική συμπεριφορά και την διαίτα του υποστρώματος σε συνθήκες πλήρους μίξης, ήταν ένας σημαντικός παράγοντας στην προώθηση της ανάπτυξης της διόγκωσης της ιλύος. Ως διορθωτικό

μέτρο ο Donaldson πρότεινε ότι η δεξαμενή αερισμού πρέπει να διαμερισματοποιηθεί για να προωθήσει την ανάπτυξη της καλής καθίζησης της ιλύος. Παρ' όλα αυτά, τα συνεχώς τροφοδοτούμενα και πλήρους μίξης συστήματα ενεργού ιλύος παρέμειναν τα προτιμώμενα στο σχεδιασμό. Σαφώς, τα πλεονεκτήματα στη φάση της κατασκευής, υπερίσχυσαν των πλεονεκτημάτων στη φάση της λειτουργίας. Η συζήτηση σχετικά με την επίδραση του προτύπου τροφοδοσίας στην καθιζησιμότητα της λάσπης άνοιξε εκ νέου στη δεκαετία του '70. Μελέτες έδειξαν το πλεονέκτημα της χρήσης διαμερισματοποιημένων δεξαμενών με ένα μοτίβο εμβολοειδούς ροής έναντι των συστημάτων συνεχώς ροής πλήρους μίξης (Chudoba et al, 1973b, Rensink, 1974 και πολλοί άλλοι), επιβεβαιώνοντας τις πρώτες συστάσεις του Donaldson (1932).

Ο Pasveer (1959) πήγε πίσω στην τεχνολογία διακοπτόμενης ροής των Arden και Lockett, από την οποία ανέπτυξε το σύστημα Pasveer ή αλλιώς το σύστημα οξειδωτικής τάφρου. Αυτό άνοιξε εκ νέου τη συζήτηση, σχετικά με τα πλεονεκτήματα της αξιοποίησης των συστημάτων αυτών στην επεξεργασία αστικών λυμάτων. Η οξειδωτική τάφρος έγινε αρκετά δημοφιλής στην Ευρώπη για λίγα χρόνια, αλλά για μια ακόμη φορά, σχεδόν όλα τα συστήματα σύντομα μετατρέπονται σε οξειδωτικές τάφρους συνεχούς ροής με την προσθήκη μιας δευτεροβάθμιας καθίζησης και επανακυκλοφορίας στερεών. Ο Pasveer κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '60 έδειξε ότι οι διακοπτόμενης ροής τάφροι οξείδωσης πλήρους κλίμακας παράγουν ιλύ με καλύτερη καθιζησιμότητα από τα συνεχούς τροφοδοσίας πλήρους ανάμιξης συστήματα (Pasveer 1969).

Στη δεκαετία του '70 ο Chudoba και οι συνεργάτες του (1973b) και ο Rensink (1974) ανέπτυξαν το φρεάτιο επιλογής, το οποίο έγινε το πιο διαδεδομένο εργαλείο μηχανικής για τον έλεγχο της διόγκωσης της ιλύος. Αν και η χρήση των φρεατίων επιλογής υπήρξε επιτυχής και έχει μειώσει τα προβλήματα διόγκωσης σε πολλά συστήματα ενεργού ιλύος, εξακολουθούν να υπάρχουν τακτικά αναφορές της αστοχίας τους.

Πιο αναλυτικά, το 1973, ο Chudoba εισήγαγε ένα κριτήριο επιλογής μικροοργανισμών για να ερμηνεύσει την ανάπτυξη ή μη των νηματοειδών μικροοργανισμών. Το κριτήριο αυτό βασίζεται στον ανταγωνισμό των νηματοειδών μικροοργανισμών με τους υπεύθυνους για τη συσσωμάτωση μικροοργανισμούς για τη διαθέσιμη διαλυτή οργανική ύλη.

Η εξάρτηση της ταχύτητας ανάπτυξης των μικροοργανισμών και επομένως και της κατανάλωσης της οργανικής ίλης από τη συγκέντρωσή της δίνεται από την παρακάτω εξίσωση τύπου Monod:

$$\mu = \frac{\mu_{\max} \times S}{K_s + S} \text{ και } \mu_{\max} = r_{x\max} \cdot Y_{\text{obs}}$$

Όπου μ : ταχύτητα ανάπτυξης μικροοργανισμών

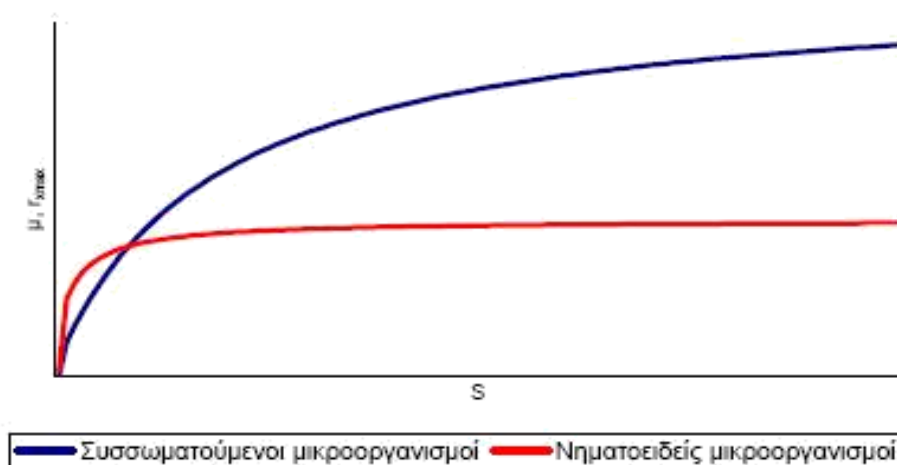
μ_{\max} : μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης μικροοργανισμών (σε θεωρητικά άπειρη συγκέντρωση οργανικής ύλης)

$r_{x\max}$: μέγιστη ταχύτητα κατανάλωσης οργανικής ύλης

K_s : συντελεστής ημι-κορεσμού για την οργανική ύλη

Y_{obs} : παρατηρούμενος βαθμός ανάπτυξης μικροοργανισμών

S: συγκέντρωση διαλυτής οργανικής ύλης



Σχήμα 2.1: Ταχύτητα ανάπτυξης συσσωματούμενων και νηματοειδών μικροοργανισμών ως συνάρτηση της συγκέντρωσης της διαθέσιμης διαλυτής οργανικής ύλης.

Σε συνθήκες ισορροπημένης ανάπτυξης (όπου η πρόσληψη της οργανικής ύλης από τους μικροοργανισμούς πραγματοποιείται ταυτόχρονα με τη δημιουργία νέας βιομάζας), ο ανταγωνισμός των βακτηρίων μέσα στη βιοκοινότητα της ενεργού ιλύος βασίζεται κυρίως στο ρυθμό πρόσληψης (και επομένως κατανάλωσης) της διαλυτής οργανικής ύλης. Θεωρώντας ότι οι νηματοειδείς είναι αργά αναπτυσσόμενοι μικροοργανισμοί με χαμηλές τιμές των μ_{\max} και K_s και οι υπεύθυνοι για τη συσσωμάτωση είναι γρήγορα αναπτυσσόμενοι μικροοργανισμοί με υψηλές τιμές των μ_{\max} και K_s , ο Chudoba (1985) εξηγεί την επιλογή ενός εκ των δύο κατηγοριών μικροοργανισμών μέσω της παραπάνω εξίσωσης. Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα 2.1, σε χαμηλές συγκεντρώσεις της διαλυτής οργανικής ύλης, οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί απομακρύνουν την τροφή με υψηλότερους ρυθμούς από τους συσσωματούμενους μικροοργανισμούς. Αυτός είναι και ο λόγος δημιουργίας φαινομένων διόγκωσης της ιλύος σε συστήματα στα οποία επικρατούν χαμηλές συγκεντρώσεις της διαθέσιμης οργανικής ύλης, όπως στα συστήματα πλήρους μίξης. Αντίθετα σε υψηλές συγκεντρώσεις της διαθέσιμης οργανικής ύλης οι συσσωματούμενοι μικροοργανισμοί αποκτούν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των νηματοειδών μικροοργανισμών, αφού παρουσιάζουν υψηλότερους ρυθμούς κατανάλωσης της οργανικής ύλης και επομένως υψηλότερους ρυθμούς παραγωγής νέας βιομάζας.

Φαινόμενα διόγκωσης της ιλύος λόγω ανάπτυξης νηματοειδών μικροοργανισμών τα οποία ευνοούνται από συνθήκες έλλειψης κάποιου θρεπτικού, μπορούν να αντιμετωπισθούν, αν εντοπισθεί το θρεπτικό το οποίο βρίσκεται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις από τις απαιτούμενες συγκεντρώσεις για τις μεταβολικές ανάγκες των κυττάρων. Στη συνέχεια, με προσθήκη της αναγκαίας ποσότητας του θρεπτικού αυτού είναι δυνατόν να αναχαιτιστεί η υπερανάπτυξη τέτοιων νηματοειδών μικροοργανισμών, γιατί πλέον παύουν να έχουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των υπολοίπων μικροοργανισμών (νηματοειδών και συσσωματούμενων μικροοργανισμών). Ας μην ξεχνάμε άλλωστε, ότι ο λόγος που είχαν συγκριτικό πλεονέκτημα σε συνθήκες έλλειψης θρεπτικών οφειλόταν στην μεγαλύτερη προσροφητική ικανότητά, δεδομένου ότι εξέχουν των κροκίδων και επομένως έχουν αμεσότερη γειννίαση με τα ευρισκόμενα θρεπτικά που βρίσκονται σε έλλειψη στο υγρό μέσο και επιπλέον ότι διαθέτουν μεγάλο λόγο επιφανείας προς όγκο. Παρόλα αυτά, σε περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι αναγκαία η προσθήκη αζώτου η

φωσφόρου πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή έτσι ώστε η συγκέντρωσή τους στην τελική εκροή να μην υπερβαίνει το ανώτατο καθορισμένο όριο.

Επομένως, για την επιλογή των συσσωματούμενων μικροοργανισμών σε βάρος των νηματοειδών, θα αρκούσε και η διατήρηση υψηλών συγκεντρώσεων διαλυτών οργανικών ενώσεων σε όλο τον όγκο του βιοαντιδραστήρα ενός συστήματος πλήρους μίξης, όμως αυτό δεν είναι εύκολα εφαρμόσιμο, διότι κάτι τέτοιο το πιθανότερο είναι ότι θα είχε δυσμενή αποτελέσματα ως προς τις συγκεντρώσεις των οργανικών ενώσεων της τελικής εκροής, οι οποίες σε μία τέτοια περίπτωση θα ήταν εξαιρετικά επιβαρυνμένες, με αποτέλεσμα την αδυναμία συμμόρφωσης με τα κριτήρια εξόδου που έχουν θεσπιστεί ως προς τις μέγιστες συγκεντρώσεις COD στην έξοδο.

Αντί αυτού, ο Chudoba πρότεινε τη διατήρηση υψηλών συγκεντρώσεων διαλυτής οργανικής ύλης σε μία μικρή δεξαμενή ανάντη των βιοαντιδραστήρων όπου τα εισερχόμενα λύματα θα έρχονται σε επαφή με την επανακυκλοφορηθείσα βιομάζα. Ο Chudoba χαρακτήρισε τη δεξαμενή αυτή ως δεξαμενή επιλογής ή δεξαμενή επαφής, επειδή μέσα σε αυτή πραγματοποιείται η επιλογή των συσσωματούμενων μικροοργανισμών σε βάρος των νηματοειδών. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατός ο περιορισμός της ανάπτυξης των νηματοειδών βακτηρίων ασχέτως με τη σύσταση των λυμάτων. Η θεωρία αυτή ονομάστηκε κινητική επιλογή, επειδή επιλέγει τους συσσωματούμενους σε βάρος των νηματοειδών μικροοργανισμών βάσει των κινητικών τους ιδιοτήτων.

Υψηλές οργανικές φορτίσεις επιτυγχάνονται σε συστήματα εμβολοειδούς ροής, διακοπτόμενης τροφοδότησης ή σε συστήματα με δεξαμενές επιλογής. Σε τέτοια συστήματα οι μικροοργανισμοί υπόκεινται καταρχήν σε υψηλή οργανική φόρτιση και στη συνέχεια σε συνθήκες έλλειψης ή περιορισμού αυτής. Με άλλα λόγια, οι μικροοργανισμοί έρχονται σε επαφή με τα λύματα κάτω από συνθήκες ταχείας μεταβολής της οργανικής φόρτισης (μη-ισορροπημένη ανάπτυξη). Σε τέτοιες συνθήκες, οι ταχύτητες κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου είναι μικρότερες από αυτές που θα έπρεπε στοιχειομετρικά να αντιστοιχούν στις παρατηρούμενες ταχύτητες πρόσληψης των οργανικών ενώσεων. Έτσι, οι φάσεις της πρόσληψης της διαθέσιμης τροφής και της ανάπτυξης των μικροοργανισμών είναι μερικώς ή ολικώς διαχωρισμένες. Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται σε τέτοιες συνθήκες από τη στιγμή της επαφής των λυμάτων με τη βιομάζα έως τη στιγμή της σύνθεσης νέου κυτταρικού υλικού είναι: συσσώρευση των διαλυτών οργανικών ενώσεων στα κύτταρα των μικροοργανισμών, και σύνθεση οργανικών πολυμερών τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στις συνθήκες έλλειψης τροφής που ακολουθούν. Επομένως, σε τέτοιες συνθήκες οι μικροοργανισμοί οι οποίοι έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν γρηγορότερα την οργανική ύλη (σε υψηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης) και να δημιουργούν εσωκυτταρικά προϊόντα αποθήκευσης μέσα στο επιλογέα θα είναι αυτοί που θα επικρατήσουν (επιλεγούν) με δεδομένο όμως ότι στις συνθήκες έλλειψης τροφής που ακολουθούν θα καταναλώσουν σε μεγάλο βαθμό τα αποθηκευμένα προϊόντα έτσι ώστε να διαθέτουν αρκετές θέσεις για αποθήκευση μέσα στα κύτταρά τους. Εάν οι μικροοργανισμοί αυτοί επανακυκλοφορούνται στη δεξαμενή επιλογής χωρίς να έχουν καταναλώσει τις αποθηκευμένες οργανικές ενώσεις, θα υπάρξει κάποια στιγμή κορεσμός στην αποθηκευτική τους ικανότητα, με αποτέλεσμα να μειώνονται σημαντικά οι ρυθμοί απομάκρυνσης της οργανικής ύλης και επομένως η επιλογή να κατευθύνεται προς τους υπόλοιπους μικροοργανισμούς. Αυτή η θεωρία της συσσώρευσης-αποθήκευσης-αποκατάστασης των θέσεων αποθήκευσης που προτάθηκε από τους Grau, Chudoba και Dohanyos το 1982 εφαρμόστηκε και για την ερμηνεία του συναγωνισμού των συσσωματούμενων με τους νηματοειδείς μικροοργανισμούς. Η βασική αρχή της θεωρίας αυτής η οποία συμπληρώνει την

κινητική επιλογή είναι ότι κάτω από συνθήκες μεταβαλλόμενης οργανικής φόρτισης οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί συσσωρεύουν την οργανική ύλη και δημιουργούν προϊόντα αποθήκευσης (εάν διαθέτουν τα απαραίτητα ένζυμα) με ρυθμούς σημαντικά χαμηλότερους από αυτούς των συσσωματούμενων μικροοργανισμών (στις αρχικές συνθήκες υψηλής οργανικής φόρτισης). Έτσι, με δεδομένο ότι στις συνθήκες χαμηλής οργανικής φόρτισης που ακολουθούν οι συσσωματούμενοι μικροοργανισμοί θα καταναλώσουν τις αποθηκευμένες οργανικές ενώσεις και επομένως θα αποκαταστήσουν την συσσωρευτική και αποθηκευτική τους ικανότητα, η επιλογή τους σε τέτοια συστήματα είναι δεδομένη. Σε περίπτωση αδυναμίας ανάκτησης της συσσωρευτικής και αποθηκευτικής ικανότητας των συσσωματούμενων μικροοργανισμών είναι θεμιτό να συμπεριλαμβάνεται στο σύστημα μία πρόσθετη δεξαμενή ανάκτησης στη γραμμή επανακυκλοφορίας της ύλης. Στη δεξαμενή αυτή θα επικρατούν συνθήκες παντελούς έλλειψης (εάν το σύστημα λειτουργεί σωστά) διαλυτών οργανικών ενώσεων και οι μικροοργανισμοί θα βρίσκονται στην ενδογενή φάση της ανάπτυξής τους και επομένως θα αναγκάζονται να καταναλώσουν ότι έχουν νωρίτερα αποθηκεύσει.

Οι Jenkins et al. (1993) σημειώνουν ότι η κινητική επιλογή ευνοεί τους συσσωματούμενους μικροοργανισμούς, οι οποίοι παρουσιάζουν υψηλούς ρυθμούς πρόσληψης των εύκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων και μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης οργανικών ενώσεων. Επομένως, η ενσωμάτωση μίας δεξαμενής επιλογής οδηγεί όχι μόνο στην απόρριψη των νηματοειδών μικροοργανισμών αλλά και σε αλλαγές στη βιοκοινότητα των συσσωματούμενων μικροοργανισμών. Με άλλα λόγια, δεν ικανοποιούν όλοι οι συσσωματούμενοι μικροοργανισμοί τα δύο παραπάνω κριτήρια. Ο συσσωματούμενος μικροοργανισμός ο οποίος συνηθέστερα συναντάται σε συστήματα, ως αποτέλεσμα κινητικής επιλογής, είναι ο *Zoogloea ramigera*.

Από όσα έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα προκύπτει ότι η διάταξη και το μέγεθος των δεξαμενών επιλογής θα πρέπει να είναι τέτοια έτσι ώστε να παρέχουν επαρκή χρόνο επαφής των λυμάτων με τους μικροοργανισμούς για βιοπροσρόφηση, μεγάλη οργανική φόρτιση και συνθήκες κλίσης τροφής. Καθώς τα αστικά λύματα περιέχουν συνήθως μικρές συγκεντρώσεις εύκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων και η διεργασία της βιοπροσρόφησης του σωματιδιακού κλάσματος της οργανικής ύλης είναι σχεδόν ακαριαία (Eikelboom 2000), οι δεξαμενές επιλογής σχεδιάζονται για μικρούς χρόνους παραμονής. Στον παρακάτω πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι προτεινόμενοι χρόνοι παραμονής σύμφωνα με τους οποίους θα πρέπει να διαστασιολογούνται οι δεξαμενές επιλογής, όπως αυτοί αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία.

Πίνακας 2.1: Προτεινόμενοι χρόνοι παραμονής για δεξαμενές επιλογής

Χρόνος παραμονής στις δεξαμενές επιλογής (min)	Αναφορές
12-18	Van Niekerk <i>et al.</i> , 1984 (Wanner)
15	Daigger <i>et al.</i> , 1985
>10	Rensink <i>et al.</i> , 1991
5-30	Ramadori <i>et al.</i> , 1993
30	Rensink <i>et al.</i> , 1993
15-30	Foot <i>et al.</i> , 1993
10-20	Eikelboom 1994
15	Pujol <i>et al.</i> , 2000
10-30	Eikelboom 2000

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.1, οι χρόνοι παραμονής που χρησιμοποιούνται για τη διαστασιολόγηση μίας δεξαμενής επιλογής κυμαίνονται μεταξύ 5-30 min. Ο Eikelboom αναφέρει ότι ένας χρόνος παραμονής της τάξης των 10-20 min είναι αρκετός για να απομακρυνθεί στον επιλογέα το 70-80% της διαθέσιμης οργανικής ύλης. Οι Rensink και Donker (1991) τονίζουν ότι χρόνοι παραμονής μικρότεροι από 10 min οδηγούν με μαθηματική ακρίβεια σε επιλογή των νηματοειδών μικροοργανισμών. Οι ίδιοι ερευνητές σε άλλη αναφορά τους (Rensink et al., 1992) προτείνουν την διαστασιολόγηση των δεξαμενών επιλογής για χρόνους παραμονής 30 min, έτσι ώστε να καλύπτονται πιθανά προβλήματα που μπορούν να δημιουργηθούν σε περιόδους αιχμών.

Σημαντική παράμετρος που καθορίζει την απόδοση ενός επιλογέα είναι η συγκέντρωση του διαλυτού COD που εξέρχεται από αυτόν. Οι Shao και Jenkins (Jenkins *et al.*, 1993) συσχέτισαν το δείκτη καθιζήσιμότητας με τη συγκέντρωση του διαλυτού COD στην έξοδο της δεξαμενής επιλογής. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, συγκεντρώσεις του διαλυτού οργανικού άνθρακα (ως COD) στην έξοδο του επιλογέα μικρότερες των 60 mg/l αντιστοιχούν σε τιμές του δείκτη καθιζήσιμότητας (SVI) μικρότερες από 100 ml/gSS. Στην ίδια έρευνα, οι Shao και Jenkins συσχέτισαν το δείκτη καθιζήσιμότητας με τη συγκέντρωση των εύκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων (οξικό οξύ και γλυκόζη) και συμπεραίνουν ότι αυτές οι ενώσεις θα πρέπει να εξέρχονται από τον επιλογέα σε συγκεντρώσεις χαμηλότερες από 1 mg/l έτσι ώστε να επιτυγχάνονται τιμές του SVI μικρότερες από 100 ml/gSS. Οι Rensink et al. (1992) αναφέρουν ότι η απομάκρυνση του 70-80% του οργανικού φορτίου μέσα στον επιλογέα είναι επαρκής για την επιλογή των συσσωματούμενων μικροοργανισμών.

Μία εξίσου σημαντική παράμετρος για την σωστή λειτουργία ενός επιλογέα είναι η τιμή της οργανικής φόρτισης. Ο Tomlison το 1976 συσχέτισε την οργανική φόρτιση ενός επιλογέα με τα χαρακτηριστικά καθίζησης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του, τιμές της οργανικής φόρτισης μεγαλύτερες από 3 kgBOD/kgVSSd οδηγούν σε τιμές του SVI μεταξύ 100-150 ml/gSS. Οι Jenkins *et al.* (1993) σημειώνουν ότι για λόγους ασφαλείας η οργανική φόρτιση θα πρέπει να είναι περίπου 6 kgBOD/kgVSSd.

Τέλος για την αποφυγή της κατά μήκους ανάμιξης και επειδή η παροχή και οι συγκεντρώσεις των εισερχομένων σε μία ΕΕΛ μεταβάλλονται συνεχώς οι Jenkins *et al.* (1993) προτείνουν την διαμερισματοποίηση των δεξαμενών επιλογής. Ειδικότερα τονίζουν την ανάγκη κατ' ελάχιστο 3 διαμερισμάτων με κλιμακούμενη οργανική φόρτιση (12,6,3 kgCOD/kgVSS d), όπου τα πρώτα δύο διαμερίσματα θα είναι ίσου όγκου, ενώ το τρίτο διπλάσιου όγκου.

Όσα έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα αφορούν κυρίως στις αερόβιες δεξαμενές επιλογής.

Η χρήση ανοξικών και αναερόβιων δεξαμενών επιλογής δρα συμπληρωματικά της κινητικής επιλογής. Η υποβολή μικροοργανισμών οι οποίοι αδυνατούν να απονιτροποιήσουν ή να προσλάβουν οργανικές ενώσεις παρουσία νιτρικών, ως αποδέκτη ηλεκτρονίων σε ανοξικές συνθήκες, έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνσή τους από το σύστημα. Κατά την ίδια λογική, μικροοργανισμοί οι οποίοι δεν διαθέτουν τα απαραίτητα ένζυμα για την πρόσληψη διαλυτών οργανικών ενώσεων με παράλληλη υδρόλυση των πολυφωσφορικών για ενέργεια σε αναερόβιες συνθήκες, απομακρύνονται από ένα τέτοιο σύστημα. Τα περισσότερα νηματοειδή βακτήρια αδυνατούν να απονιτροποιήσουν ή να αποθηκεύσουν οργανικές ενώσεις με ταυτόχρονη απελευθέρωση φωσφόρου σε αναερόβιες συνθήκες. Επομένως, η παρουσία και μόνο επαρκών ανοξικών και/ή αναερόβιων όγκων οδηγεί στην επιλογή

των ικανών για τις προαναφερθείσες διεργασίες συσσωματούμενων βακτηρίων σε βάρος των νηματοειδών. Η επιλογή αυτή ονομάζεται μεταβολική καθώς σχετίζεται με τις μεταβολικές ιδιότητες των μικροοργανισμών. Έτσι, νηματοειδείς μικροοργανισμοί οι οποίοι συναντώνται πολύ συχνά σε συμβατικά συστήματα ενεργού ιλύος (πλήρως αερόβια) είναι πρακτικά απόντες από ΕΕΛ που επιτελούν βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών. Τέτοιοι νηματοειδείς μικροοργανισμοί όπως οι *Type 021N*, *Type 0961*, *S.natans* και *Thiothrix* αναπτύσσονται με κατανάλωση των εύκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων των λυμάτων μόνο παρουσία διαλυμένου οξυγόνου ως διαθέσιμο αποδέκτη ηλεκτρονίων.

Η διαστασιολόγηση των ανοξικών και αναερόβιων δεξαμενών επιλογής δεν διαφέρει σημαντικά από αυτή των αερόβιων. Στους ανοξικούς επιλογείς δεν είναι αναγκαίες οι οργανικές φορτίσεις που εφαρμόζονται στους αερόβιους επιλογείς. Όπως εξηγούν οι Jenkins et al. (1993) αυτό οφείλεται κυρίως στη συνεργία της κινητικής και της μεταβολικής επιλογής. Μία απλή ανοξική δεξαμενή επιλογής με χρόνο παραμονής 10-15 min μπορεί να δώσει πολύ καλά αποτελέσματα ως προς την καθιζησιμότητα ενός συστήματος ενεργού ιλύος. Παράλληλα εάν το σύστημα επιτελεί και βιολογική απομάκρυνση αζώτου τότε η βέλτιστη λειτουργία του επιτυγχάνεται με 3 ανοξικά διαμερίσματα επιλογής με μειούμενες οργανικές φορτίσεις (6,3,1.5 kgCOD/kgVSS d).

Η διαστασιολόγηση των αναερόβιων φρεατίων επιλογής καθορίζεται από την ανάγκη καθορισμού ενός χρόνου παραμονής ικανού για πραγματοποίηση μέσα στον επιλογέα της πρόσληψης της εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης, της απελευθέρωσης ορθοφωσφορικών ενώσεων μέσω υδρόλυσης των πολυφωσφορικών και της ζύμωσης (παραγωγής πτητικών λιπαρών οξέων). Ο ελάχιστος χρόνος παραμονής μίας τέτοιας δεξαμενής ο οποίος εξασφαλίζει τις προαναφερθείσες διεργασίες είναι 0.5-1.0h. Ο Wanner (1994) αναφέρει ότι αναερόβιος χρόνος σε αυτό το εύρος τιμών μπορεί να μην επαρκεί για πλήρη βιολογική απομάκρυνση αζώτου αλλά σε κάθε περίπτωση είναι αρκετός για έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης της ιλύος. Οι Jenkins et al. (1993) καθορίζουν το χρόνο παραμονής στον αερόβιο επιλογέα μεταξύ 0.75 και 2.0h. διαμερισματοποίηση που προτείνουν είναι ίδια με την προτεινόμενη για τους ανοξικούς επιλογείς.

Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι για να γίνει δυνατή η επιλογή των συσσωματούμενων σε βάρος των νηματοειδών μικροοργανισμών, ο σχεδιασμός ενός επιλογέα θα πρέπει να στηρίζεται στις εξής παραμέτρους :

- Δημιουργία μιας ζώνης υψηλής οργανικής φόρτισης με αρχικό οργανικό φορτίο F/M περίπου ίσο με 10-12 mgCOD/mgVSS d ή 5-6 5 mgBOD₅/mgVSS d. Στη περίπτωση ανοξικών ή αναερόβιων φρεατίων επιλογής η συνιστώμενη αρχική οργανική φόρτιση είναι 6 mgCOD/mgVSS d. Ανεξάρτητα του τύπου του φρεατίου επιλογής (αερόβιο-ανοξικό-αναερόβιο) συνιστάται ο σχεδιασμός τους να γίνεται ώστε να επιτυγχάνεται εμβολοειδής ροή ή να χωρίζονται σε τουλάχιστον τρία διαμερίσματα.
- Το συνολικό μέγεθος του φρεατίου επιλογής πρέπει να είναι αρκετό ώστε να επιτυγχάνονται συγκεντρώσεις διαλυμένου COD στην εκροή του φρεατίου επιλογής μικρότερες των 60 mg/l. Κατά τους Chudoba και Wanner (1987) συνιστάται το μέγεθος του φρεατίου να είναι ικανό ώστε το 80% της συνολικής απομάκρυνσης του διαλυτού COD να επιτυγχάνεται στο φρεάτιο επιλογής.

- Στη περίπτωση αερόβιων φρεατίων το παρεχόμενο οξυγόνο πρέπει να είναι αρκετό ώστε να επιτυγχάνεται συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου 1-2 mg/l. Στη περίπτωση ανοξικών φρεατίων επιλογής ο σχεδιασμός πρέπει να γίνεται κατά τρόπο ώστε να παρέχεται αρκετή ποσότητα νιτρικών με την επανακυκλοφορία της ύλης για την μείωση του COD της εκροής στην επιθυμητή τιμή. Στη περίπτωση των αναερόβιων φρεατίων επιλογής η παρουσία οξυγόνου και νιτρικών σκόπιμο είναι να αποφεύγεται.
- Η κύρια δεξαμενή αερισμού πρέπει να είναι σχεδιασμένη ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης κατανάλωση των οργανικών ουσιών που αποθηκεύουν τα βακτήρια κατά την παραμονή τους στο φρεάτιο επιλογής. Διαφορετικά θα μειωθεί σταδιακά η αποθηκευτική ικανότητα των συσσωματούμενων βακτηρίων με αποτέλεσμα τη μείωση του βαθμού απομάκρυνσης οργανικού φορτίου στο φρεάτιο επιλογής.

Η αποτελεσματικότητα της κινητικής και μεταβολικής επιλογής στον έλεγχο της νηματοειδούς διόγκωσης της ύλης και του αφρισμού περιορίζεται στους νηματοειδείς μικροοργανισμούς οι οποίοι :

- αναπτύσσονται μόνο παρουσία εύκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων
- εμφανίζουν χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης και πρόσληψης της διαθέσιμης οργανικής ύλης
- έχουν μικρούς ρυθμούς αποθήκευσης οργανικών ενώσεων (ή ακόμα και έλλειψη των απαραίτητων ενζύμων για την αποθήκευση)
- είναι ευαίσθητοι σε περιόδους έλλειψης τροφής (οι ενεργειακές απαιτήσεις για τη συντήρησή τους είναι υψηλές)
- δεν απονιτροποιούν πλήρως ή καθόλου ή απονιτροποιούν με ρυθμούς πολύ μικρότερους από αυτούς των συσσωματούμενων βακτηρίων
- αδυνατούν να αποθηκεύσουν εσωκυτταρικά οργανικές λαμβάνοντας την απαιτούμενη ενέργεια από την υδρόλυση πολυφωσφορικών ενώσεων.

Τέτοιοι μικροοργανισμοί είναι οι *S. natans*, *Type 021N*, *Type 1701*, *Thiothrix spp.*, *H. hydrossis*, *N. limicola* κ.α.

Αντιθέτως τα αποτελέσματα όσον αφορά στους νηματοειδείς μικροοργανισμούς χαμηλής οργανικής φόρτισης είναι συγκεχυμένα. Υπάρχουν αναφορές σύμφωνα με τις οποίες πραγματοποιήθηκε πλήρης έλεγχος των μικροοργανισμών αυτών, αναφορές που μιλούν για περιορισμένη επιτυχία και αναφορές από τις οποίες φαίνεται ότι ο έλεγχος των νηματοειδών αυτών μικροοργανισμών μέσω δεξαμενών επιλογής είναι αδύνατος.

Ο έλεγχος της ανάπτυξης των νηματοειδών μικροοργανισμών χαμηλής οργανικής φόρτισης (*M. parvicella*, *Type 0092*, *Type 0041* και *Type 0675*) με τη χρησιμοποίηση της κινητικής και μεταβολικής επιλογής κρίνεται από περιορισμένος έως αδύνατος. Οι αιτίες της αποτυχίας αυτής μπορεί να είναι πολλές (κατανάλωση προϊόντων υδρόλυσης του αργά βιοδιασπάσιμου κλάσματος της οργανικής ύλης, ικανότητα απονιτροποίησης, μεγάλοι ρυθμοί πρόσληψης διαθέσιμης οργανικής ύλης, μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης οργανικών ενώσεων, μικρές ενεργειακές απαιτήσεις

συντήρησης, ικανότητα αποθήκευσης πολυφωσφορικών και υδρόλυσής τους σε αναερόβιες συνθήκες κ.α.).

2.3 Παρακολούθηση προβλημάτων νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού σε ΕΕΛ

Η βιομάζα, ανάλογα με την προέλευση της, το ιστορικό, τη σύνθεση, την πυκνότητα και την ικανότητα της να συσσωματώνεται, να καθιζάνει και να συμπυκνώνεται διαφορετικά, και αυτό το χαρακτηριστικό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία των δεξαμενών καθίζησης. Κατά συνέπεια, αυτό το χαρακτηριστικό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και στις διάφορες μεθόδους μέτρησης που χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση της ικανότητας καθίζησης της ιλύος. Οι μέθοδοι μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: α) την παροχή πληροφοριών σχετικά με την ταχύτητα καθίζησης και β) την παροχή πληροφοριών σχετικά με συμπύκνωση της.

2.3.1 Συμβατικές μέθοδοι προσδιορισμού των χαρακτηριστικών καθίζησης της βιομάζας σε συστήματα ενεργού ιλύος

Η πιο κοινή μέτρηση για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων, λόγω της απλότητάς της, είναι ο δείκτης καθιζησιμότητας, SVI (ονομάζεται και Δείκτης Mohlmann σε διάφορες χώρες). Σε αυτή τη δοκιμή (APHA et al.1992), ένα δείγμα ιλύος λαμβάνεται σε ένα βαθμονομημένο κύλινδρο του 1L, και μετά την αρχική ανάμιξη, αφήνεται να καθιζάνει για 30 λεπτά. Η συγκέντρωση της ιλύος μετράται από τη δοκιμή MLSS. Το SVI υπολογίζεται λαμβάνοντας τον όγκο (σε ml/l στο 1l του κυλίνδρου) που το στρώμα της λάσπης καταλαμβάνει μετά από 30 λεπτά και διαιρώντας με τη συγκέντρωση MLSS της ιλύος που είναι στον κύλινδρο δοκιμών σε γραμμάρια ανά λίτρο, έτσι ώστε ουσιαστικά το SVI (μονάδα ml/g) περιγράφει τον όγκο που 1 γραμμάριο λάσπης καταλαμβάνει μετά από 30 λεπτά καθίζησης υπό τις συνθήκες της δοκιμής.

Η δοκιμή SVI στην αρχική μορφή της είναι η απλούστερη δοκιμή καθίζησης που μπορεί να εκτελεστεί, αλλά έχει αρκετά μειονεκτήματα. Τα 30 λεπτά είναι ένα αυθαίρετο σημείο στην καμπύλη καθιζήσεως, ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα είναι μεταβλητά. Λάσπες που καθιζάνουν και συμπυκνώνονται γρήγορα ή δοκιμές που πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας χαμηλότερες συγκεντρώσεις λειτουργίας MLSS, ως επί το πλείστον ολοκληρώνουν την καθίζησή τους σε 30 λεπτά και το SVI σε αυτές τις περιπτώσεις είναι ένας δείκτης της ικανότητας συμπύκνωσης της λάσπης. Σε υψηλότερες συγκεντρώσεις MLSS ή στην περίπτωση ιλύων με βραδύτερη καθιζησιμότητα, η διαδικασία καθίζησης δεν έχει ολοκληρωθεί σε 30 λεπτά και σε αυτές τις περιπτώσεις το SVI είναι ένας δείκτης της ταχύτητας καθίζησης του δείγματος ιλύος. Σε υψηλές συγκεντρώσεις MLSS η δοκιμή αποτυγχάνει - για παράδειγμα ένα SVI υψηλότερο από 150ml/g δεν μπορεί να μετρηθεί, εάν η συγκέντρωση σε έναν κύλινδρο του 1L (1000 ml) είναι υψηλότερη πολύ 1000/150 ή 6,7 g/l. Οι επιδράσεις των τοιχωμάτων μπορεί επίσης να αλλάξουν το μετρούμενο SVI, δεδομένου ότι οι μικροί ογκομετρικοί κύλινδροι που χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή έχουν πολύ υψηλή αναλογία περιοχής τοιχώματος προς όγκο σε σύγκριση με τις πραγματικής κλίμακας δεξαμενές καθίζησης.

Συνοψίζοντας τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της δοκιμής SVI είναι:

- α) η εξάρτηση του δείκτη καθιζησιμότητας από τα MLSS,
- β) το ότι δεν αποτελεί ασφαλή ένδειξη της ταχύτητας καθίζησης της ιλύος,

γ) αντίσταση κατά την καθίζηση (αφού τα τοιχώματα του γυάλινου κυλίνδρου είναι στενά - μεγάλος λόγος επιφάνειας τοιχωμάτων προς όγκο κυλίνδρου)

Επίσης, σύμφωνα με τους Dick και Vesilind (1969) το SVI αποτελεί ένα χρήσιμο παράγοντα για τον έλεγχο του συστήματος, αλλά δε θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τη σύγκριση των χαρακτηριστικών καθίζησης ιλύων από διαφορετικά συστήματα.

Με σκοπό να αντιμετωπιστούν πλασματικά αποτελέσματα του πειράματος SVI έχουν αναπτυχθεί διάφορες άλλες μέθοδοι οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

2.3.2 Άλλες μέθοδοι δοκιμών (DSVI, SSVI)

Αρκετές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τη βελτίωση και την τυποποίηση των αποτελεσμάτων της δοκιμής SVI. Η δοκιμή του αραιωμένου SVI (DSVI) απαιτεί αραιώση του δείγματος λάσπης με εκροή λυμάτων, έτσι ώστε ο καθιζάνων όγκος μετά από 30 λεπτά να πέφτει μέσα στο εύρος των 150-250 ml. Η δοκιμή αυτή αποφεύγει το πρόβλημα των υψηλών συγκεντρώσεων MLSS, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας καλύτερος δείκτης δυνητικής νηματοειδούς διόγκωσης (εάν $DSVI > 150 \text{ ml / g}$).

Η αναδεδυόμενη δοκιμή SVI που εκτελείται σε συγκέντρωση MLSS 3.5g / l (SSVI_{3,5}) είναι μια περαιτέρω βελτίωση. Η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται ως πρότυπο σε πολλές χώρες (π.χ. στο Ηνωμένο Βασίλειο), αν και απαιτεί μια πιο σύνθετη πειραματική διάταξη. Τα MLSS πάντα αραιώνονται ή συμπυκνώνονται όμοια, στα 3,5 g/l, και η δεξαμενή καθίζησης (που συνήθως έχει ένα όγκο 5L και μια διάμετρο 120 χιλιοστών) βραδέως αναδεδύεται στα 1-2 rpm. Τα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής είναι περισσότερο αναπαραγώγιμα από εκείνα των δοκιμών SVI ή DSVI.

Έχουν υπάρξει πολλές κρούσεις από τη βιομηχανία, για την τυποποίηση των πρωτοκόλλων όσο αφορά στις δοκιμές καθίζησης στη βιβλιογραφία τα τελευταία 20 χρόνια, καθώς αυτό θα βελτιώσει την ποιότητα των δεδομένων που συλλέγονται και τη λειτουργία των δεξαμενών καθίζησης στη δευτεροβάθμια επεξεργασία. Παρόλες αυτές τις προσπάθειες και όλες τις ελλείψεις της δοκιμής SVI, η δοκιμή αυτή είναι ακόμα σε ευρεία χρήση στην αρχική και απλούστερη μορφή της.

Οι δείκτες DSVI και SSVI σε γενικές γραμμές είναι μικρότεροι του SVI και πιο αντιπροσωπευτικοί της καθίζησης της ιλύος στις πολύ μεγαλύτερες από αυτές του κυλίνδρου διαμέτρους των δεξαμενών τελικής καθίζησης. Μεταξύ τους οι δείκτες DSVI και SSVI δεν εμφανίζουν σταθερή αναλογία αν και συνήθως το DSVI έχει συνήθως υψηλότερη τιμή. Αν και εφαρμόζονται και οι δύο, η ευκολία του DSVI τείνει να κάνει την εφαρμογή του συνηθέστερη. (Ανδρεαδάκης, 2008)

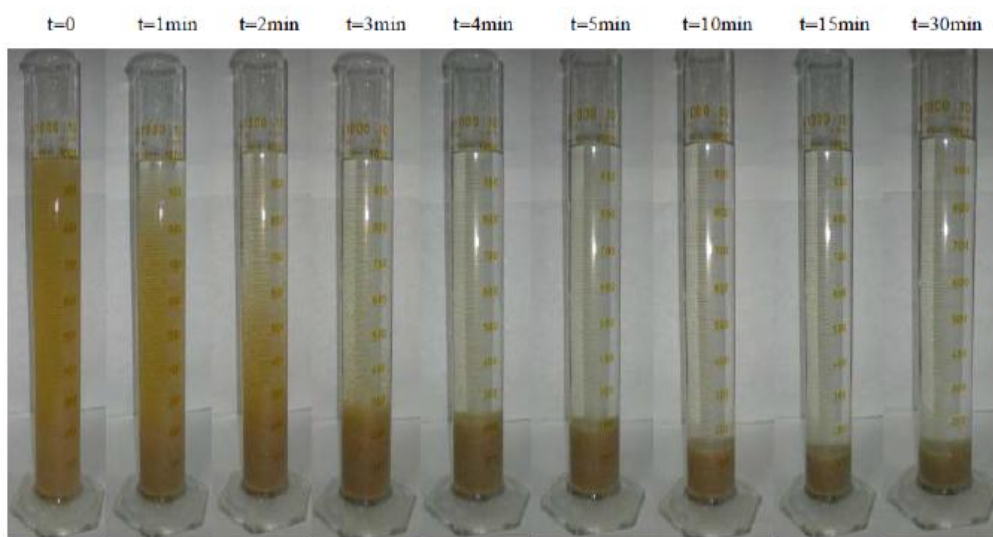
Η μέτρηση της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης (ή ταχύτητας αναδεδυόμενης ζωνικής καθίζησης) είναι μια δοκιμή σχεδιασμένη για να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα καθίζησης ενός δείγματος ιλύος με την καταγραφή του πραγματικού ρυθμού καθίζησης της διεπιφάνειας της ιλύος για μια ορισμένη συγκέντρωση MLSS.

Τέλος, η ροή στερεών είναι μια ειδική μορφή του ρυθμού ροής μάζας - μάζας στερεών που μεταφέρεται δια μέσου της μονάδας επιφανείας ανά μονάδα χρόνου (που εκφράζεται για παράδειγμα σε $\text{kg/m}^2/\text{h}$). Η θεωρία ροής περιγράφει τις διάφορες ροές στερεών που επηρεάζουν τη μεταφορά στερεών σε μία δεξαμενή καθίζησης, και χρησιμοποιείται, μεταξύ άλλων μεθόδων, για την εκτίμηση της απαιτούμενης επιφάνειας της δεξαμενής καθίζησης καθώς και των λειτουργικών παραμέτρων, όπως η ανακύκλωση (επιστροφή ή υποχείλιση).

2.3.3 Ταχύτητα ζωνικής καθίζησης ZSV (Zone Settling Velocity)

Τα συσσωματώματα του ανάμικτου υγρού όταν βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις της τάξης άνω των 1000mg/lt δεν καθιζάνουν ανεξάρτητα, αλλά αντίθετα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πρακτικά να καθιζάνουν σαν ένα στρώμα με ομοιόμορφη ταχύτητα. Αυτός ο τύπος καθίζησης ονομάζεται Ζωνική Καθίζηση και είναι χαρακτηριστικός του τρόπου καθίζησης των δεξαμενών τελικής καθίζησης.

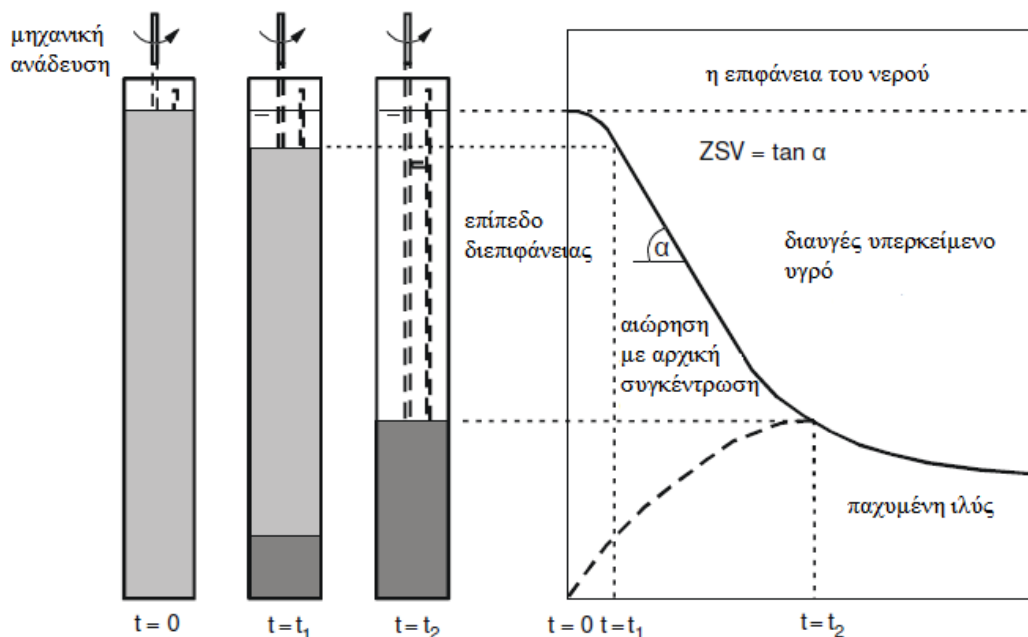
Για δεδομένη αρχική συγκέντρωση MLSS, η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης μπορεί να προσδιοριστεί από ένα αντίστοιχο πείραμα με αυτό του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (SVI). Ουσιαστικά, προκύπτει από την ταχύτητα υποβιβασμού της στάθμης της ιλύος, η οποία παραμένει σταθερή μέχρι την έναρξη των φαινομένων συμπύκνωσης της ιλύος στον πυθμένα του κυλίνδρου (Ανδρεαδάκης, 2008).



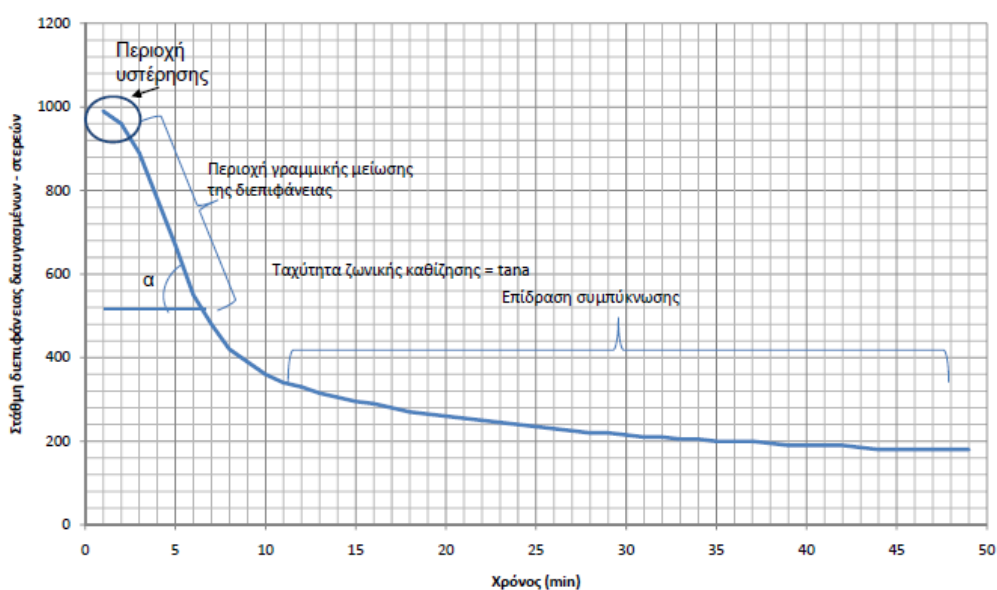
Εικόνα 2.6: Πείραμα προσδιορισμού ταχύτητας ζωνικής καθίζησης – Εξέλιξη της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης σε διάφορες χρονικές στιγμές

Η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης (ZSV-Zone Settling Velocity) είναι ο ρυθμός καθίζησης της διεπιφάνειας των στερεών (στρώμα λάσπης), καθώς μετράται σε m / h ή παρόμοιες μονάδες σε ένα δοχείο δοκιμής σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους (μέθοδος 2710D).

Η δοκιμή ονομάζεται η δοκιμή της αναδευόμενης ταχύτητας ζωνικής καθίζησης (SZSV) εάν το δοχείο είναι εξοπλισμένο με έναν αργό μηχανισμό ανάδευσης στα 1-2 rpm. Η δοκιμή SZVS παρέχει μια πιο ακριβή μέτρηση της ικανότητας καθίζησης της λάσπης σε αυτή την περίπτωση, η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης, από ό, τι άλλα μέτρα καθιζησιμότητας, όπως το SVI, DSVI και τις δοκιμές SSVI. Το ύψος διεπιφάνειας καταγράφεται και σημειώνεται σα συνάρτηση του χρόνου, και προκύπτει μια συνάρτηση.



Αποτελέσματα προσδιορισμού ταχύτητας καθίζησης



Σχήμα 2.2: Αποτελέσματα προσδιορισμού ταχύτητας ζωνικής καθίζησης – Στάθμη διεπιφάνειας διαυγασμένων στερεών σαν συνάρτηση με το χρόνο σε μια δοκιμή ZSV

Η καμπύλη αυτή μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις διακριτές ενότητες:

- 1) *Φάση υστέρησης*: διαρκεί ένα λεπτό ή δύο κατά την έναρξη της δοκιμής. Αυτό οφείλεται στην επιτάχυνση των σωματιδίων της λάσπης που αποτελούν τη διεπιφάνεια και τη διάχυση της ενέργειας ανάμειξης από την πλήρωση του κυλίνδρου.

- 2) *Γραμμικό τμήμα:* Η περιοχή γραμμικής μείωσης της διεπιφάνειας, συνήθως διαρκεί 3-30 λεπτά, ανάλογα με τη συγκέντρωση των MLSS και το ύψος της στήλης καθίζησης. Η κλίση αυτού του γραμμικού τμήματος δίνει την ταχύτητα ζωνικής καθίζησης (ZSV) της ιλύος στη συγκέντρωση με την οποία η στήλη πληρώθηκε. Όταν η στήλη αναδεύεται όπως απαιτείται για την τυποποιημένη δοκιμή ταχύτητας καθίζησης, η κλίση του γραμμικού τμήματος είναι η αναδευόμενη ταχύτητα ζωνικής καθίζησης (SZSV) στη συγκέντρωση με την οποία η στήλη πληρώθηκε.
- 3) Η έναρξη της συμπύκνωσης από τον πυθμένα του κυλίνδρου οδηγεί σε μία βαθμιαία μείωση στην ταχύτητα καθίζησης μετά την γραμμική φάση.

Μία σειρά δοκιμών SZSV σε διαφορετικές συγκεντρώσεις MLSS συνήθως εκτελούνται για να μετρηθεί η ταχύτητα καθίζησης της ιλύος που χρησιμοποιείται στη θεωρία ροής. Η χαμηλότερη συγκέντρωση MLSS όπου η δοκιμή μπορεί να πραγματοποιηθεί με επιτυχία είναι μεταξύ 1 και 1,5 g / l. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η θέση του στρώματος της λάσπης (που ονομάζεται επίσης ζώνη καθίζησης).

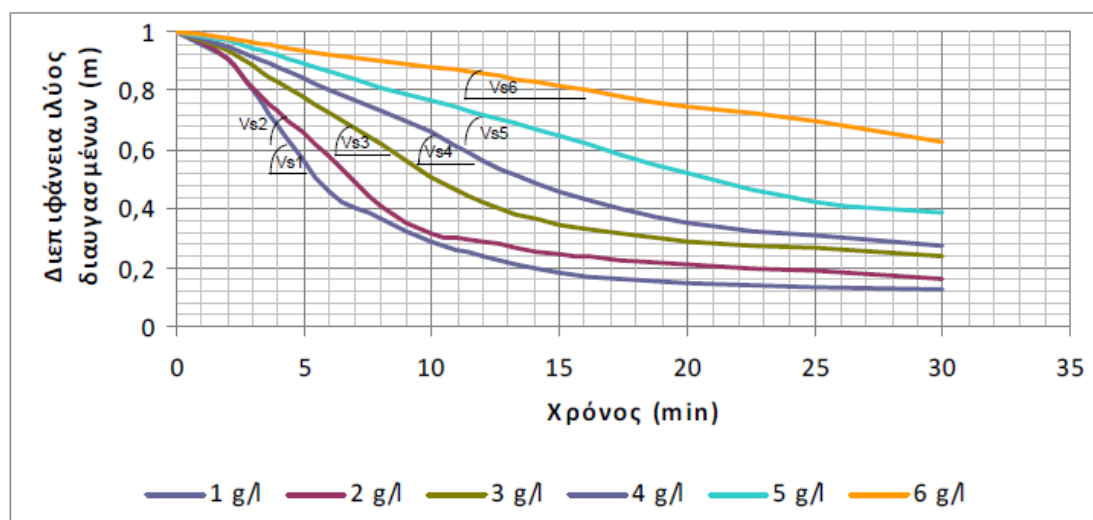
Επίσης, σε αραιές συγκεντρώσεις, ο ρυθμός καθίζησης είναι υψηλός, και η έναρξη της συμπύκνωσης από τον πυθμένα μπορεί να ξεκινήσει μέσα σε λίγα λεπτά. Αντιθέτως, σε υψηλές συγκεντρώσεις MLSS, η διεπιφάνεια είναι καλά καθορισμένη, αλλά ανάλογα με τη συγκέντρωση και την ικανότητα συμπύκνωσης του δείγματος, η γραμμική φάση ζωνικής καθίζησης μπορεί να κατακλύζεται από συμπύκνωση πολύ ωρίς στη δοκιμή.

Ένα αιώρημα που περιέχει ανεξάρτητα διακριτά σωματίδια μη κροκιδωμένα (του ίδιου τύπου, π.χ. άμμος) καθιζάνει με την ίδια ταχύτητα, ανεξάρτητα από τη συγκέντρωσή του, σύμφωνα με το νόμο του Stokes. Η ταχύτητα καθίζησης των μεμονωμένων σωματιδίων θα εξαρτάται μόνο από το σχήμα, το μέγεθος (τη διάμετρο) και την πυκνότητα. Ένα μίγμα MLSS από έναν αντιδραστήρα ενεργού ιλύος συμπεριφέρεται πολύ διαφορετικά σε σχέση με ένα τέτοιο αιώρημα άμμου, κυρίως λόγω κροκιδωτής φύσης του. Κατά την έναρξη ενός SVI ή μιας δοκιμής ταχύτητας ζωνικής καθίζησης, η ιλύς που περιέχει μεγάλες και μικρές οργανικές και ανόργανες κροκίδες σωματιδίων θα αρχίσει να καθιζάνει και η ταχύτητα καθίζησης θα επηρεαστεί έντονα από τη συγκέντρωση των MLSS.

Αυτό ονομάζεται φάση ζωνικής καθίζησης και διατηρείται έως ότου δεν υπάρχει άλλο πια στρώμα στην αρχική συγκέντρωση MLSS - υποχωρεί μέσω μιας μεταβατικής περιοχής εντός της ζώνης συμπύκνωσης. Η συμπυκνωμένη καθίζηση είναι σαφώς διαφορετική από τη ζωνική καθίζηση - τα σωματίδια στηρίζουν το ένα το άλλο και η συμπύκνωση επιτυγχάνεται με συμπίεση του νερού από τη λάσπη. Η ταχύτητα καθίζησης δεν είναι πλέον μια συνάρτηση της συγκέντρωσης ιλύος, αλλά εξαρτάται από τη διάμεση πίεση, τη συμπιεστότητα και τη διαπερατότητα της ιλύος.

2.3.4 Η συνάρτηση καθίζησης του Vesilind

Η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης μπορεί να εκφραστεί και από τη σχέση που έχει προταθεί από τον Vesilind (1968). Εάν το επίπεδο της διεπιφάνειας χαράσσεται σε μια δοκιμή SZSV, το στάδιο της ζωνικής καθίζησης μπορεί να διακριθεί από τη γραμμική φάση όπου το στρώμα της λάσπης καθιζάνει με μια σταθερή ταχύτητα. Η δοκιμή επαναλαμβάνεται σε διάφορες συγκεντρώσεις, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3: Αποτελέσματα δοκιμών ταχύτητας ζωνικής καθίζησης SZSV σε διαφορετικές συγκεντρώσεις στερεών MLSS

Η αρχική φάση υστέρησης και το ευθύγραμμο τμήμα είναι σαφώς ορατά στη συνάρτηση. Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν με χαμηλή συγκέντρωση στερεών MLSS δείχνουν υψηλή ταχύτητα καθίζησης, ενώ εκείνες με δείγματα υψηλότερων συγκεντρώσεων καθιζάνουν με πιο αργό ρυθμό. Οι εξαγόμενες ταχύτητες ζωνικής καθίζησης (σε m/h) μπορεί να χαράσσονται ως συνάρτηση της συγκέντρωσης στερεών MLSS (mg/l), με αποτέλεσμα μια καμπύλη που μπορεί να προσεγγιστεί πολύ καλά από μια εκθετική συνάρτηση, όπως αυτή που παρουσιάζεται παρακάτω. Αυτή η συνάρτηση, ονομάζεται συνάρτηση Vesilind, και είναι της μορφής:

$$v_s = v_o \cdot e^{-n \cdot X} \quad (2.1)$$

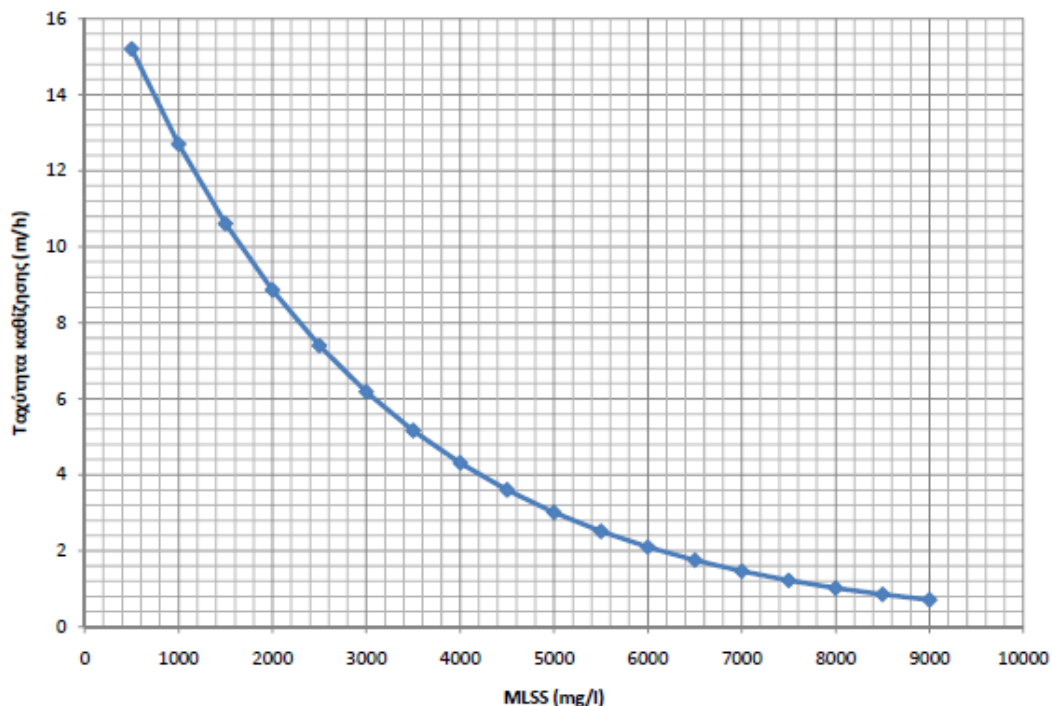
Όπου:

V_s : ταχύτητα καθίζησης (m/h)

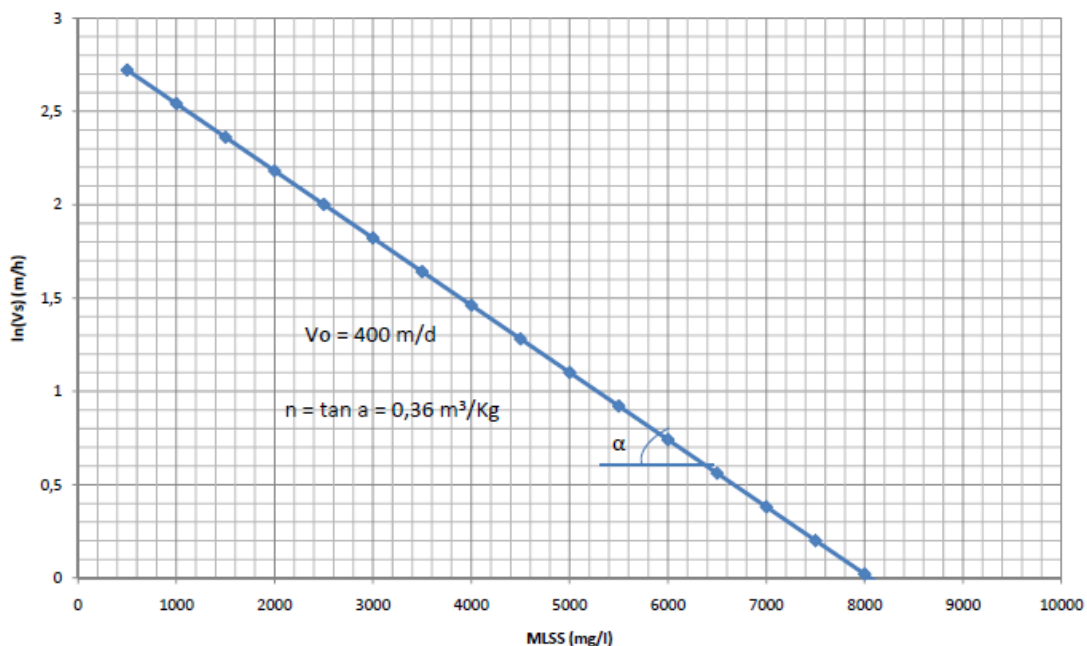
V_o : αρχική ταχύτητα καθίζησης (m/h), μια επέκταση της καμπύλης στο σημείο τομής μηδενικής συγκέντρωσης

n : παράμετρος παρεμπόδισης της καθίζησης (l/g ή m³/kg)

X : συγκέντρωση MLSS (g/l ή kg/m³) στις διάφορες δοκιμές ZSV



Σχήμα 2.4: Επίδραση της συγκέντρωσης των MLSS στην ταχύτητα καθίζησης - Η σχέση Vesilind ανάμεσα στην ταχύτητα καθίζησης και τη δοκιμή συγκέντρωσης στερεών.



Σχήμα 2.5: Η συνάρτηση Vesilind σε κλίμακα ημιλογαριθμική

Αν τα ίδια σημεία δεδομένων από το Σχήμα 2.4 απεικονίζονται σε μία αναπαράσταση ημι-λογαριθμική, η εκθετική συνάρτηση μετασχηματίζεται σε γραμμική γραφική παράσταση και η κλίση δίνει το n , ενώ το σημείο τομής είναι $\ln(V_0)$, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5.

Η κατανομή σφάλματος των μετρήσεων είναι διαφορετική στην αρχική γραμμική και την ημι-λογαριθμική παράσταση της συνάρτησης Vesilind. Από

πρακτικής άποψης όμως, δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ εξαγόμενων του V_0 και n παραμέτρων απευθείας από την εκθετική καμπύλη ή από τη γραμμικοποιημένη μορφή της. Στην πρώτη η παλινδρόμηση γίνεται στις τιμές V_s άμεσα, και στην τελευταία σχετικά με τις $\ln(V_s)$ τιμές. Υποτίθεται ότι οι περισσότερες αξιολογήσεις στις μέρες μας θα πρέπει να εκτελούνται χρησιμοποιώντας τις λειτουργίες λογιστικών φύλλων (π.χ. Επίλυση Excel) σε αντίθεση με τις άμεσα χρησιμοποιούμενες γραφικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται ευρέως ιστορικά. Ελαφρώς διαφορετικές τιμές μπορεί να ληφθούν σε δύο διαφορετικές αναπαραστάσεις - ωστόσο, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων θα εξαρτάται κυρίως από την ορθή ανάγνωση του ύψους της διεπιφάνειας κατά τη διάρκεια των πραγματικών δοκιμών SZSV και την επιλογή της γραμμικής περιοχής από το ύψος διεπιφάνειας - καμπύλης χρόνου.

2.3.5 Συσχέτιση του δείκτη SVI με την ταχύτητα καθίζησης

Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες συσχέτισης του SVI με τη ταχύτητα ζωνικής καθίζησης με ποικίλα αποτελέσματα. Οι Bye & Dold (1998) αμφισβήτησαν το συσχετισμό του SVI με τα χαρακτηριστικά καθιζησιμότητας ενεργού ιλύος καθώς παρατήρησαν ότι η γεωμετρία της συσκευής καθίζησης (διάμετρος, ύψος, κ.α) επηρεάζει τις τιμές του SVI. Το ίδιο έκριναν και οι Dick & Vesilind (1969) οι οποίοι δήλωσαν ότι δεν μπορεί να υπάρξει κάποια συγκεκριμένη σχέση συσχέτισης μεταξύ των δύο παραμέτρων. Ειδικά όταν πρόκειται για τη σύγκριση ιλύων από διαφορετικές εγκαταστάσεις, τότε γίνεται πιο περίπλοκη η συσχέτιση τους έως και δύσκολη καθώς υπεισέρχονται κι άλλοι παράγοντες όπως η παρουσία νηματοειδών, το μέγεθος και η σύσταση των κροκίδων.

Βέβαια λόγω της δυσκολίας υπολογισμού της εξίσωσης που εκφράζει την εξάρτηση της ZSV από τη συγκέντρωση, αρκετοί ερευνητές επιχείρησαν να αναπτύξουν σχέσεις που συσχετίζουν τους απλά υπολογιζόμενους δείκτες καθιζησιμότητας (SVI, DSVI, SSVI_{3.5}) με τις σταθερές της εξίσωσης Vesilind V_0 και n . Οι Tuntoolavest & Grady (1982), Daigger & Roper (1985), Pitman (1984), Daigger (1995), Wahlberg & Keinath (1995) συσχέτισαν τις σταθερές V_0 και n με το SVI. Οι Koopman & Cadee (1983) και Daigger (1995) συσχέτισαν τις σταθερές V_0 και n με το DSVI, ενώ οι Johnstone et al.(1979), Pitman (1984), Ekama & Marais (1986), Wahlberg & Keinath (1988), Catunda et al. (1989), Daigger (1995), Wahlberg & Keinath (1995) συσχέτισαν τις σταθερές V_0 και n με το SSVI_{3.5}.

Ο Daigger (1995), χρησιμοποιώντας μία μεγάλη βάση δεδομένων από τη βιβλιογραφία (Daigger & Roper 1985); Tuntoolavest & et al., 1980; Wahlberg & Keinath, 1988; Ekama & Marais, 1986) κατέληξε σε μία εξίσωση που μπορεί να προβλέψει με αρκετή ακρίβεια την ταχύτητα ζωνικής καθίζησης για ένα μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων. Δέχτηκε πως η ταχύτητα καθίζησης V_s και η συγκέντρωση X έχουν μεταξύ τους εκθετική σχέση (εξίσωση 2.1) και θεώρησε ότι η σταθερά V_0 ως προς τον δείκτη καθιζησιμότητας ΔK (SVI, DSVI, SSVI_{3.5}) και η σταθερά n ως προς τον ΔK έχουν εκθετική και γραμμική συσχέτιση αντίστοιχα:

$$V_0 = \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot \Delta K) \quad (2.2)$$

$$n = \gamma + \delta \cdot \Delta K. \quad (2.3)$$

Με αντικατάσταση στην εξίσωση 2.1 προκύπτει:

$$V_s = \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot \Delta K - \gamma \cdot X - \delta \cdot \Delta K \cdot X) \quad (2.4)$$

Όπου α , β , γ , δ σταθερές υπολογισμένες για κάθε δείκτη καθιζησιμότητας

Από αυτή την εξίσωση μπορούμε να αναμένουμε αρκετά ακριβή αποτελέσματα μιας και προέκυψε από την επεξεργασία μίας μεγάλης βάσης δεδομένων που προέρχονται από πειράματα με διαφορετικές λειτουργικές συνθήκες. Βέβαια δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι και άλλοι παράμετροι εκτός της συγκεντρώσεως και του δείκτη καθιζησιμότητας επηρεάζουν την ταχύτητα ζωνικής καθίζησης. Γι' αυτό εξισώσεις όπως η εξίσωση 2.4 και αυτές που αναφέρονται στον πίνακα 2.2 θα πρέπει να εφαρμόζονται κυρίως σε συστήματα παρόμοια με αυτά από όπου προέρχονται τα δεδομένα της εκάστοτε εξίσωσης.

Οι Von Sperling & Froes (1999) έκαναν μία προσπάθεια συσχετισμού των δεδομένων και εξισώσεων που προέρχονταν από δεκαεφτά έρευνες, προκειμένου να εξαγάγουν τυπικές τιμές για τις σταθερές V_0 και n της εξίσωσης Vesilind για ένα πεδίο τιμών του SVI. Στη συνέχεια οι τιμές που υπολόγισαν χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια μίας μεθοδολογίας για το σχεδιασμό της επιφάνειας της δεξαμενής τελικής καθίζησης. Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζονται οι τιμές των σταθερών V_0 και n όπως προτάθηκαν από διάφορους συγγραφείς, ενώ έχουν γίνει πρόσθετοι υπολογισμοί σε κάποια δεδομένα από τους Von Sperling & Froes (1999).

Πίνακας 2.2: Πειράματα προσδιορισμού των παραμέτρων καθιζησιμότητας που διεξήχθησαν από διαφορετικούς συγγραφείς (Von Sperling & Froes, 1999)

Συγγραφέας	Πείραμα	Αριθμός Δεδομένων	Τιμές του Δείκτη (ml/g)	Συνιστώσες της εξίσωσης Vesilind		
				Vo (m/h)	n (m/kg) ³	
Johnstone et al. (1979)	SSVI _{3,5}	733	60 - 79	6.5	0.36	
			80 - 99	5.83	0.37	
			100 - 119	5.30	0.41	
			120 - 139	4.23	0.42	
Tuntoolavest & Grady (1982)	SVI	60	68 - 99	$4.871 * e^{0.01455 * SVI}$	$0.157 * e^{0.01306 * SVI}$	
			100 - 150	$-16.603 + 0.301 * SVI$	$-4.779 + 1.128 * \ln SVI$	
Koopman & Cadée (1983)	DSVI		65 - 300	$129.41 * DSVI^{-0.574}$	$0.249 + 0.0022 * DSVI$	
Pitman (1984)	SVI	697	45 - 360	$10.5595 * e^{(-0.00229 * SVI)}$	$0.2751 * e^{(0.00657 * SVI)}$	
Pitman (1984)	SSVI _{3,5}		35 - 150	$161.2045 * SSVI_{3,5}^{(-0.7249)}$	$0.22015 * e^{(0.00657 * SSVI_{3,5})}$	
Daigger & Roper (1985)	SVI	236	36 - 402	7.8	$0.148 + 0.0021 * SVI$	
Ekama & Marais (1986)	SSVI _{3,5}		35 - 125	$11.9 - 0.06 * SSVI_{3,5}$	$0.16 + 0.0027 * SSVI_{3,5}$	
Wahlberg & Keinath (1988)	SSVI _{3,5}	185	35 - 220	$15.3 - 0.0615 * SSVI_{3,5}$	$0.426 - 0.00384 * SSVI_{3,5} + 5.43 * 10^{-5} * SSVI_{3,5}^2$	
Catunda et al (1989)	SSVI _{3,5}		30 - 100	$16 - 0.1 * SSVI_{3,5}$	$0.16 + 0.003 * SSVI_{3,5}$	
von Sperling (1990)	SSVI _{3,5}	57	41 - 80	4.37	0.38	
			81 - 120	5.59	0.54	
Daigger (1995)	SVI		36 - 402	6.5	$0.165 + 0.001586 * SVI$	
Daigger (1995)	SSVI _{3,5}		35 - 150	7.97	$0.0589 + 0.00405 * SSVI_{3,5}$	
Daigger (1995)	DSVI		44 - 347	7.6	$0.1030 + 0.00255 * DSVI$	
Wahlberg & Keinath (1995)	SVI	185	48 - 235	$18.2 * e^{(-0.00602 * SVI)}$	$0.351 + 0.00058 * SVI$	
Wahlberg & Keinath (1995)	SSVI _{3,5}	185	35 - 220	$24.3 * e^{(-0.01073 * SSVI)}$	$0.245 + 0.00296 * SSVI$	
Frøes (1996)	SVI	11	37 - 49	8.1	0.24	
			31	50 - 99	6.2	0.27
			86	100 - 199	9.6	0.74
			87	200 - 299	9.2	1.40
			26	300 - 406	2.1	1.28

Στον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι τιμές των σταθερών Vo και n που υπολογίστηκαν από τους Von Sperling & Froes (1999) από τα δεδομένα εκάστοτε συγγραφέα για πέντε διαφορετικές συνθήκες καθιζησιμότητας ενεργού ιλύος. Μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε πως για την πλειοψηφία των αποτελεσμάτων όσο δυσχεραίνεται η καθιζησιμότητα της ιλύος, μειώνεται η σταθερά Vo και αυξάνεται η σταθερά n.

Πίνακας 2.3: Οι τιμές των σταθερών V_0 και n , σε πέντε διαφορετικά είδη καθίζησης για δεδομένα από διάφορους συγγραφείς (Von Sperling & Froes, 1999)

Συγγραφέας	Πείραμα	Πολύ καλή Καθίζηση		Καλή Καθίζηση		Μέτρια Καθίζηση		Κακή Καθίζηση		Ανεπαρκής Καθίζηση	
		V_0 (m/h)	N (m^3/kg)	V_0 (m/h)	N (m^3/kg)	V_0 (m/h)	N (m^3/kg)	V_0 (m/h)	N (m^3/kg)	V_0 (m/h)	N (m^3/kg)
Johnstone et al. (1979)	SSVI _{3,5}	-	-	6.5	0.36	5.8	0.37	5.3	0.41	4.2	0.42
Tuntoolavest & Grady (1982)	SVI	-	-	14.5	0.42	28.6	0.87	-	-	-	-
Koopman & Cadee (1983)	DSVI	-	-	11.3	0.40	7.9	0.54	6.4	0.67	5.3	0.82
Pitman (1984)	SVI	9.5	0.30	8.9	0.31	7.5	0.35	6.0	0.42	4.7	0.50
Pitman (1984)	SSVI _{3,5}	12.3	0.28	8.3	0.33	6.2	0.40	5.3	0.45	4.5	0.55
Daigger & Roper (1985)	SVI	7.8	0.24	7.8	0.31	7.8	0.46	7.8	0.67	7.8	0.88
Ekama & Marais (1986)	SSVI _{3,5}	9.8	0.25	8.3	0.32	6.5	0.40	5.3	0.46	-	-
Wahlberg & Keinath (1988)	SSVI	12.5	0.36	11.3	0.41	8.54	0.66	4.9	1.34	-	-
Catunda et al (1989)	SSVI _{3,5}	12.5	0.27	10.0	0.34	7.0	0.43	-	-	-	-
von Sperling (1990)	SSVI _{3,5}	-	-	4.4	0.38	5.6	0.54	-	-	-	-
Daigger (1995)	SVI	6.5	0.24	6.5	0.28	6.5	0.40	6.5	0.56	6.5	0.71
Daigger (1995)	SSVI _{3,5}	8.0	0.20	8.0	0.30	8.0	0.42	8.0	0.50	8.0	0.63
Daigger (1995)	DSVI	7.6	0.21	7.6	0.28	7.6	0.44	7.6	0.59	7.6	0.77
Wahlberg & Keinath (1995)	SVI	-	-	11.6	0.39	7.4	0.44	4.4	0.49	-	-
Wahlberg & Keinath (1995)	SSVI	15.0	0.38	12.1	0.44	7.5	0.57	3.9	0.75	-	-
Fróes (1996)	SVI	8.1	0.24	6.2	0.27	9.6	0.74	9.2	1.40	2.1	1.28
Μέσος όρος		10.0	0.27	9.0	0.35	8.6	0.50	6.2	0.67	5.6	0.73
Τυπική Απόκλιση		2.6	0.05	2.6	0.05	5.3	0.14	1.5	0.32	1.9	0.24
Συντελεστής Μεταβλητότητας		0.30	0.19	0.30	0.14	0.60	0.28	0.20	0.48	0.30	0.30

Σύμφωνα με τον Ανδρεαδάκη (2008) μικρές ταχύτητες ζωνικής καθίζησης και μεγάλες τιμές SVI χαρακτηρίζουν ανάμικτα υγρά με δυσμενή χαρακτηριστικά καθίζησης. Επομένως η βιομάζα (Tandoi et al., 2006) μπορεί να διαχωριστεί σε κατηγορίες με βάση τον δείκτη καθιζησιμότητας SVI και την ταχύτητα ζωνικής καθίζησης (ZSV) όπως παρουσιάζεται και στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 2.4: Κατηγοριοποίηση της βιομάζας με βάση την καθιζησιμότητα (Tandoi et al., 2006)

Είδος βιομάζας	SVI (ml/g)	ZSV (m/h)
Καλή καθιζησιμότητα ενεργού ιλύος	< 100	> 3
Αποδεκτή καθίζηση	100 – 200	2 – 3
Ανεπαρκής καθίζηση	> 200	< 1,2

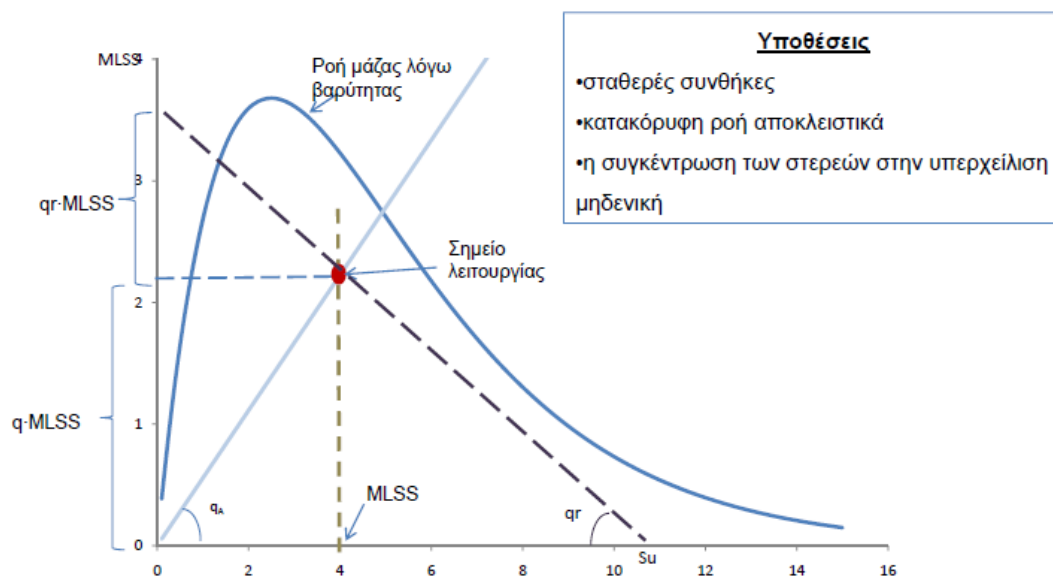
2.3.6 Σημείο λειτουργικής κατάστασης της εγκατάστασης

Το σημείο λειτουργικής κατάστασης της εγκατάστασης (State Point Analysis-SPA) είναι ένας βολικός οπτικός τρόπος για να καθοριστεί η κατάσταση λειτουργίας της δεξαμενής καθίζησης. Το σημείο λειτουργικής κατάστασης της εγκατάστασης βασίζεται σε ισοζύγια μάζας στερεών σε σχέση με τη δεξαμενή καθίζησης και εκφράζεται γραφικά. Η μέθοδος περιλαμβάνει εγγενώς απλουστεύσεις, όπως:

- (i) ότι βασίζεται σε συνθήκες σταθερής κατάστασης,
- (ii) ότι μία μόνο (κάθετη) διάσταση λαμβάνεται υπόψη,
- (iii) ότι οι επανακυκλοφορίες ή οι λεπτομέρειες του μηχανισμού απόσυρσης της λάσπης δε λαμβάνονται υπόψη
- (iv) ότι επιδράσεις όπως η συμπίκνωση δε λαμβάνονται υπόψη και
- (v) ότι τα στερεά απόβλητα παραλείπονται.

Παρά αυτές τις απλουστευτικές υποθέσεις, το σημείο λειτουργικής κατάστασης της εγκατάστασης χρησιμοποιείται συχνά στον προσχεδιασμό της περιοχής της δεξαμενής καθίζησης και της χωρητικότητας της αντλίας επανακυκλοφορίας, και κατόπιν στη λειτουργία, για την εκτίμηση της μέγιστης τιμής MLSS και των απαιτούμενων ρυθμίσεων ροής επανακυκλοφορίας πριν την εξομάλυνση των βραχυχρόνιων διακυμάνσεων της λειτουργίας της εγκατάστασης με βάση τις πραγματικές αποδόσεις.

Το διάγραμμα σημείου λειτουργικής κατάστασης της εγκατάστασης κατασκευάζεται εκπροσωπώντας διάφορες ροές σε μια δεξαμενή καθίζησης ως συνάρτηση της συγκέντρωσης των στερεών όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6: Παράδειγμα διαστασιολόγησης με ανάλυση σημείου λειτουργικής κατάστασης της εγκατάστασης (State point diagram)

Το διάγραμμα σημείου λειτουργίας της εγκατάστασης βασίζεται στην καμπύλη ροής μάζας λόγω βαρύτητας (καθίζηση) που εικονίζεται στο σχήμα 2.7. Αυτή η καμπύλη απαιτεί να είναι γνωστές μόνο οι δύο σταθερές Vesilind (V_0 και n).

Η ροή μάζας λόγω βαρύτητας (καθίζηση) (G_s) είναι η μάζα των στερεών που μεταφέρονται υπό την επίδραση της βαρύτητας που προκαλεί την καθίζηση, και μπορεί να υπολογιστεί ως το γινόμενο της ταχύτητας καθίζησης (V_s) και της συγκέντρωσης των στερεών (X):

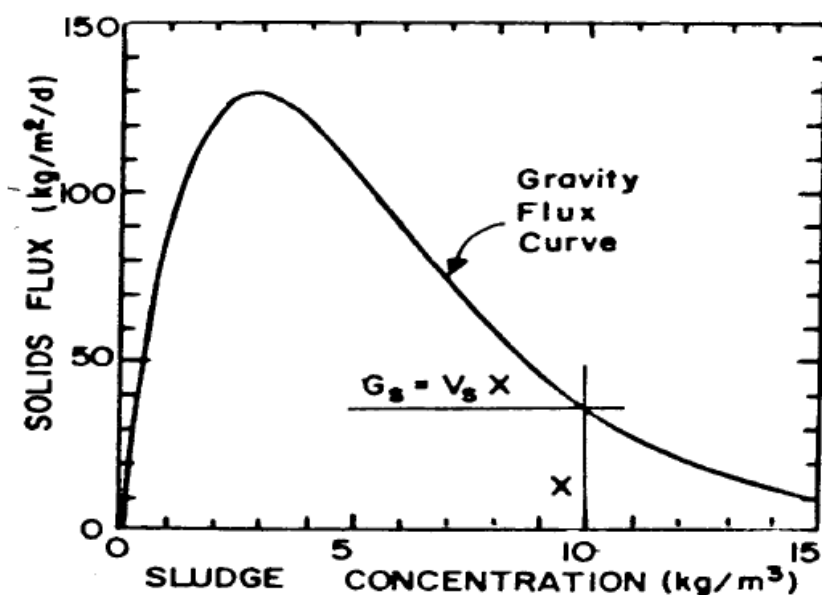
$$G_s = v_s \cdot X \quad (2.5)$$

Όπου:

G_s : ροή μάζας λόγω βαρύτητας ($\text{kg} / (\text{m}^2/\text{h})$)

V_s : ταχύτητα καθίζησης (m/h) σε X συγκέντρωση στερεών (από την εξίσωση 2.1)

X : συγκέντρωση στερεών (kg/m^3)



Σχήμα 2.7: Καμπύλη ροής μάζας λόγω βαρύτητας (καθίζηση)
(Πηγή: Secondary Settling Tanks by G.A Ekama, A.R. Pitman, M.Smollen, G.v.R Marais)

Στο σχήμα 2.7 παρουσιάζεται μια τυπική καμπύλη ροής μάζας λόγω βαρύτητας όπου το G_s σχεδιάζεται σε συνάρτηση με την συγκέντρωση της λάσπης X . Για χαμηλές τιμές του X , αν και η ταχύτητα καθίζησης είναι υψηλή, η παραγωγή G_s είναι χαμηλή. Για υψηλές τιμές του X , η ταχύτητα καθίζησης είναι χαμηλή, αλλά και η παραγωγή G_s είναι χαμηλή. Η μέγιστη τιμή του G_s παρουσιάζεται για κάποιες ενδιάμεσες τιμές του X . Με άλλα λόγια, η καμπύλη ροής μάζας λόγω βαρύτητας έχει ένα μέγιστο συνήθως στα 2 έως 3 kg/m^3 συγκέντρωση. Κάτω από αυτή τη συγκέντρωση η ροή μειώνεται, λόγω χαμηλής συγκέντρωσης στερεών, ενώ ανωτέρω αυτής, μειώνεται λόγω της μειωμένης ταχύτητας καθίζησης σε υψηλότερες συγκεντρώσεις.

Σε μία συνεχούς λειτουργίας δεξαμενή καθίζησης, η ιλύς που βρίσκεται στη δεξαμενή μεταφέρεται στον πάτο της δεξαμενής υπό την επίδραση δύο διαφορετικών ροών. Η πρώτη ροή οφείλεται στη βαρύτητα (G_s) και η δεύτερη ροή οφείλεται στο καθοδικό ρεύμα που δημιουργείται από τη ροή άντλησης του πυθμένα της δεξαμενής (G_b). Ουσιαστικά, αυτή η δεύτερη ροή (bulk flux) αφορά τα στερεά στη δεξαμενή καθίζησης που κινούνται επίσης προς την κατεύθυνση του πυθμένα, πράγμα που οφείλεται όμως στην προς τα κάτω κίνηση της ροής, που παράγεται από την

ανακύκλωση (η ροή μάζας είναι μηδέν στον κύλινδρο δοκιμής ZSV, αλλά σαφώς όχι σε μια πραγματική δεξαμενή καθίζησης) και ισούται με:

$$G_b = \frac{Q \cdot r}{A} \cdot X \quad \text{και} \quad U_u = \frac{Q \cdot r}{A} \quad (2.6)$$

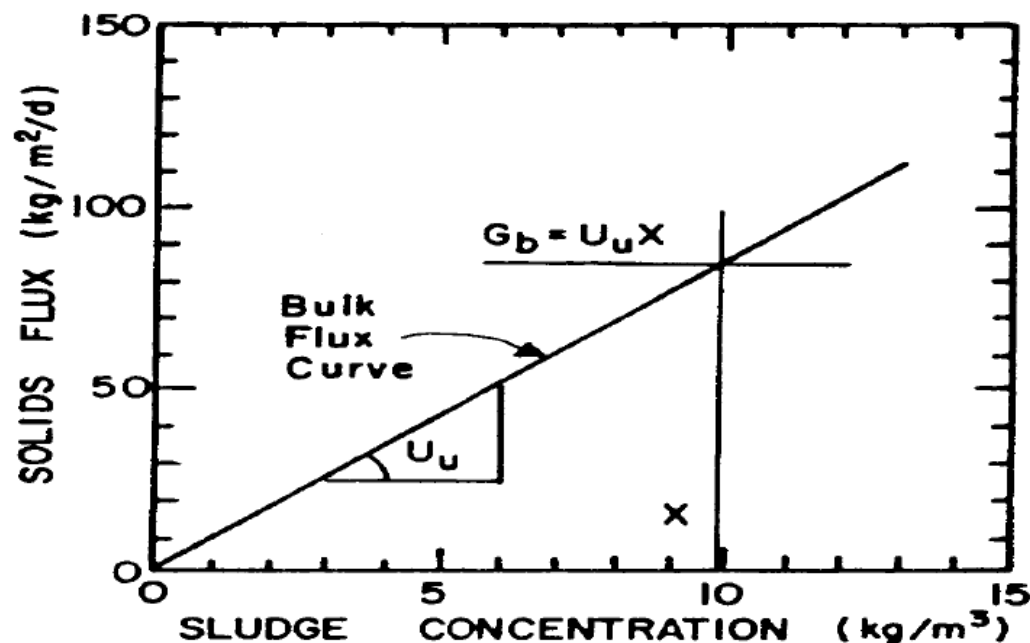
Όπου:

G_b : ροή όγκου ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{h}$)

U_u : ταχύτητα ροής επανακυκλοφορίας (m/d)

Q_r : ροή επανακυκλοφορίας (m^3/d)

A : επιφάνεια της δεξαμενής καθίζησης (m^2)



Σχήμα 2.8: Η καμπύλη ροής όγκου συναρτίζει της συγκέντρωσης λάσπης για σταθερό U_u , δηλαδή προς τα κάτω μεταφορά ιλύος λόγω της ροής απόσυρση ιλύος. (Πηγή: Secondary Settling Tanks by G.A Ekama, A.R. Pitman, M.Smollen, G.v.R Marais)

Σε μια σταθερή ροή ανακυκλώσεως, το μεγαλύτερο μέρος είναι γραμμικά ανάλογο με τη συγκέντρωση στερεών, X (δηλαδή όσο υψηλότερο είναι το X , τόσο υψηλότερη είναι και η ροή των στερεών προς τον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης που παράγεται από το ρυθμό άντλησης του πυθμένα (Σχήμα 2.8).

Η συνολική ροή μεταφοράς στερεών στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης είναι το άθροισμα των ροών της βαρύτητας και της διόγκωσης.

$$G_t = G_s + G_b = X \cdot (v_s + U_u) \quad (2.7)$$

Επάνω στη γραμμή ροής μάζας λόγω βαρύτητας, στο σχήμα 2.6 είναι οι γραμμές της υπερχείλισης (overflow line-πρόκειται για την πλάγια συνεχή γραμμή που περνά από την αρχή των αξόνων), της υποροής (underflow line- πρόκειται για τη λοξή διακεκομμένη γραμμή που καταλήγει στην κρίσιμη φόρτιση SS_u) και της τροφοδοσίας (feed line-πρόκειται για την κατακόρυφη γραμμή στον άξονα της συγκέντρωσης των στερεών $MLSS$).

Η γραμμή υπερχειλίσης αντιπροσωπεύει τη ροή που η υπερχειλίση εφαρμόζει στη δεξαμενή καθίζησης (προς την αντίθετη κατεύθυνση σε σχέση με την ροή βαρύτητας). Η κλίση της γραμμής υπερχειλίσης είναι η εφαρμοζόμενη υδραυλική φόρτιση, δηλαδή $q_1 = Q_1 / A$ (m/h), που συνήθως αναφέρεται ως ο ρυθμός επιφανειακής υπερχειλίσης (SOR).

$$J_I = \frac{Q_I}{A} \cdot X_F \quad (2.8)$$

Η γραμμή συγκέντρωσης τροφοδοσίας είναι μια κάθετη γραμμή που δείχνει τη συγκέντρωση τροφοδοσίας. Αυτή η γραμμή συναντά τη γραμμή υπερχειλίσης στο σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης. Η ροή στον άξονα y στο σημείο αυτό είναι ο ρυθμός φόρτισης των στερεών. Η γραμμή υπορροής ορίζεται παρόμοια με τη γραμμή υπερχειλίσης:

$$J_R = \frac{Q_R}{A} \cdot X_F \quad (2.9)$$

Ωστόσο, δύο μετασχηματισμοί εκτελούνται για να αυξηθεί η χρησιμότητα της μεθόδου.

- 1) Η γραμμή χαράσσεται με αρνητική κλίση (δεδομένου ότι κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση ως την υπερχειλίση).
- 2) Η γραμμή υπορροής (η οποία, αρχικά, σύμφωνα με την Εξίσωση 2.9, ξεκινά από μηδέν ροή με μηδενική συγκέντρωση) μετατοπίζεται προς τα άνω έτσι ώστε να ξεκινά από τη συνολική ροή που εφαρμόζεται στον κατακόρυφο άξονα ($X = 0$). Η συνολική ροή που εφαρμόζεται (που ονομάζεται επίσης και ρυθμός φόρτισης στερεών) λαμβάνεται με προσθήκη της ροής υπερχειλίσης και τη ροή υπορροής στις συγκεντρώσεις τροφοδοσίας .

$$J_{AP} = \frac{Q_I + Q_R}{A} \cdot X_F = \frac{Q_I}{A} (1 + R) X_F \quad (2.10)$$

Όπου:

R: Ρυθμός επανακυκλοφορίας (Q_R/Q_I)

Δεδομένου ότι η συνολική εφαρμοσμένη ροή απομακρύνεται από τη δεξαμενή καθίζησης στην συγκέντρωση υπορροής (υποθέτοντας μηδενικά στερεά στο υγρό απόβλητο), στο σημείο όπου η μετατοπισμένη γραμμή υπορροής τέμνει τον άξονα X (μηδέν «υπολειμματική» ροή) αντιπροσωπεύει την συγκέντρωση υπορροής σε μια δεξαμενή καθίζησης υπο-φορτισμένη. Όταν η γραμμή υπερχειλίσης, η γραμμή συγκέντρωσης τροφοδοσίας και η γραμμή υποχειλίσης όλες τέμνονται στο σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης, τότε το ισοζυγίου μάζας στερεών στη δεξαμενή καθίζησης είναι ικανοποιητικό και όλα τα στερεά που εισέρχονται στη δεξαμενή καθίζησης εξέρχονται από τη δεξαμενή καθίζησης μέσω ανακύκλωσης της υπορροής, υπό την προϋπόθεση ότι το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης και η γραμμή υποχειλίσης είναι εντός του περιβλήματος της καμπύλης ροής βαρύτητας. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά και οι συγκεντρώσεις που υπάρχουν σε ένα διάγραμμα σημείου λειτουργίας της εγκατάστασης σημειώνονται στο Σχήμα 2.9.

Όπου:

X_F : συγκέντρωση τροφοδοσίας (kg/m^3)

X_R : συγκέντρωση επανακυκλοφορίας (kg/m^3)

X_L : συγκέντρωση οριακή (kg/m^3)

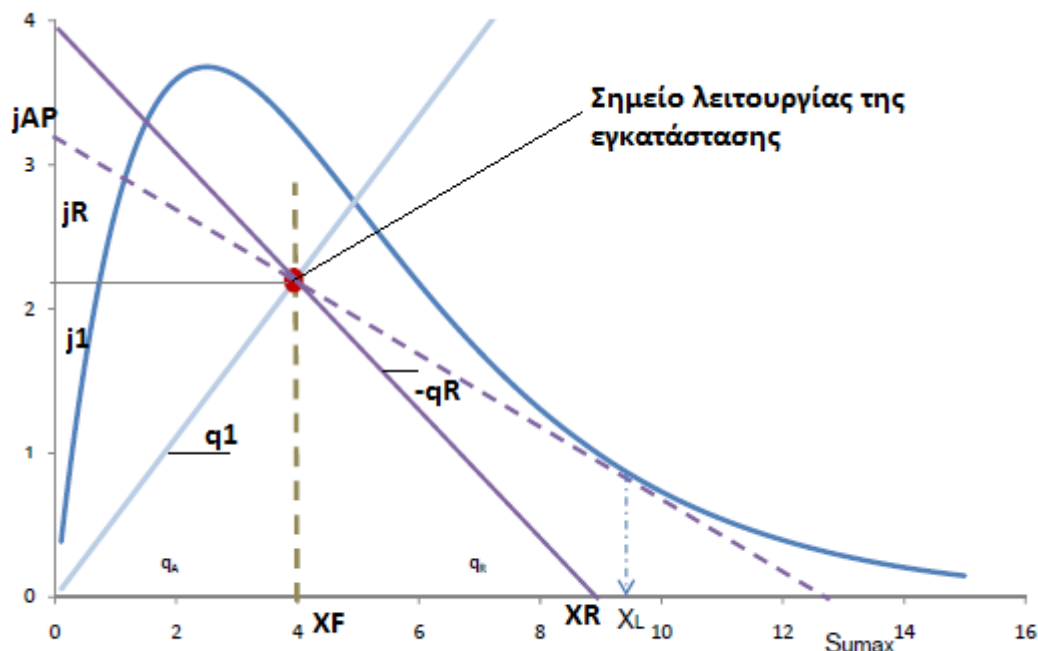
q_1 : υδραυλική φόρτιση ή ρυθμός υπερχείλισης, $Q_1/A, (\text{m}/\text{h})$

q_R : υδραυλικός ρυθμός υποροής, $Q_R/A, (\text{m}/\text{h})$

j_1 : ρυθμός ροής υπερχείλισης, $Q_1/AX_F (\text{kg}/\text{m}^2/\text{h})$

j_R : ρυθμός ροής υποροής, $Q_R/AX_F (\text{kg}/\text{m}^2/\text{h})$

j_{AP} : συνολική εφαρμοζόμενη ροή, $Q_R/AX_F (\text{kg}/\text{m}^2/\text{h})$



Σχήμα 2.9: Σημαντικές πληροφορίες για το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης.

Η θέση του σημείου λειτουργίας της εγκατάστασης και η γραμμή υποροής, σε σχέση με την καμπύλη ροής βαρύτητας, καθορίζει την κατάσταση λειτουργίας της δεξαμενής καθίζησης.

3) Εάν το σημείο λειτουργίας είναι πάνω από την καμπύλη ροής βαρύτητας, η δεξαμενή καθίζησης είναι υπερφορτωμένη (αποτυχία SHC II). Σε αυτή την κατάσταση υψηλότερη ροή εφαρμόζεται από ό, τι μπορεί να υποστεί επεξεργασία από τη δεξαμενή καθίζησης. Αυτό θα οδηγήσει σε συσσώρευση στερεών στη δεξαμενή καθίζησης, η οποία δεν μπορεί να διατηρηθεί σε μια σταθερή κατάσταση και θα οδηγήσει σε απώλεια στερεών μεγάλου μεγέθους του υγρού αποβλήτου στην εκροή.

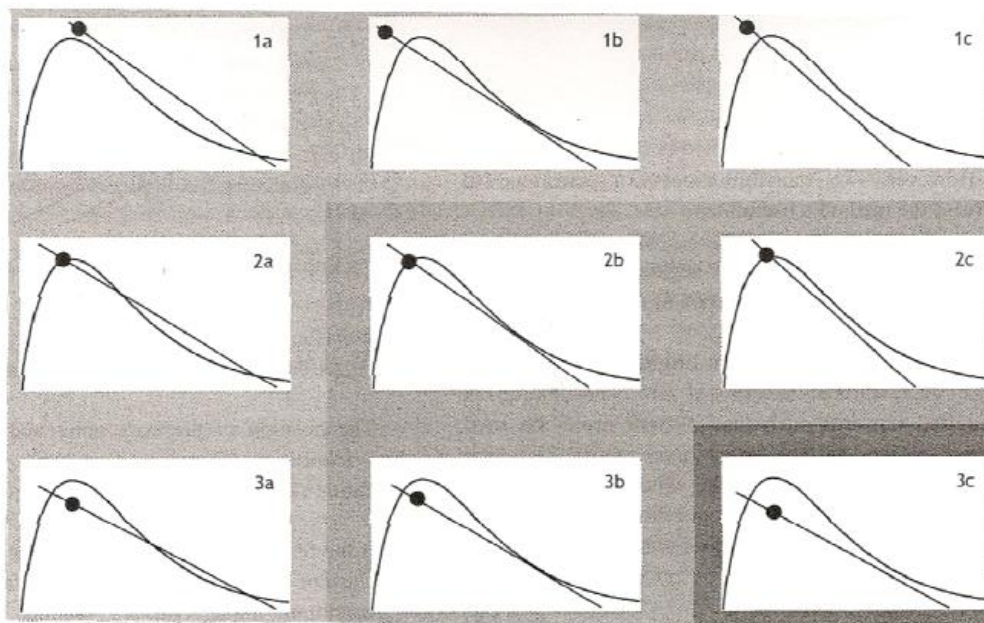
4) Εάν το σημείο λειτουργίας βρίσκεται στην καμπύλη ροής βαρύτητας, ο διαυγαστήρας είναι τουλάχιστον κρίσιμα φορτισμένος για SHC II , και η κατάσταση του εξαρτάται από την θέση της γραμμής υποροής σε σχέση με το φθίνον σκέλος της καμπύλης ροής βαρύτητας σε υψηλότερες συγκεντρώσεις :

- Αν η γραμμή υποροής πέσει κάτω από το φθίνον σκέλος της καμπύλης βαρύτητας, ο διαυγαστήρας είναι εξαιρετικά φορτισμένος (SHC II κρίσιμο, SHC I ικανοποιητικό).

- Αν η γραμμή υποροής συναντά το φθίνον σκέλος της καμπύλης ροής βαρύτητας, ο διαυγαστήρας είναι υπερφορτισμένος (SHC II κρίσιμο, SHC I αστοχία).

5) Εάν το σημείο λειτουργίας βρίσκεται κάτω από την καμπύλη ροής βαρύτητας, ο διαυγαστήρας ικανοποιεί το SHC II, και η κατάσταση του θα εξαρτηθεί από το Κριτήριο Χειρισμού στερεών I, την ελάχιστη ροή στερεών .

- Αν η γραμμή υποροής πέσει κάτω από το φθίνον σκέλος της καμπύλης βαρύτητας, ο διαυγαστήρας είναι υπό φορτισμένος (τόσο το SHC II όσο και το SHC I ικανοποιητικά).
- Αν η γραμμή υποροής εφάπτεται με το φθίνον σκέλος της καμπύλης βαρύτητας , ο διαυγαστήρας είναι κρίσιμα φορτισμένος (SHC II ικανοποιητικό, αλλά SHC I κρίσιμο).
- Αν η γραμμή υποροής τέμνεται με το φθίνον σκέλος της καμπύλης ροής βαρύτητας, ο διαυγαστήρας είναι υπερφορτισμένος (SHC II ικανοποιητικό, αλλά SHC I αστοχία).



Σχήμα 2.10: Το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης για διαφορετικές συνθήκες φόρτισης (οι γραμμές υπερχείλισης και τροφοδοσίας δεν εικονίζονται). (IWA, 2008, Biological Wastewater Treatment: Principles, modeling and design)

Όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί παρουσιάζονται οπτικά στο Σχήμα 2.10, όπου η κουκίδα είναι το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης και η γραμμή είναι η γραμμή υποροής. Η γραμμή υπερχείλισης (δεν φαίνεται) συνδέει το αρχικό σημείο (αρχή των αξόνων) και το σημείο λειτουργίας. Η δεξαμενή καθίζησης πρέπει να πληροί και τα δύο κριτήρια χειρισμού των στερεών για να μην είναι κρίσιμα φορτισμένη ή υπερφορτισμένη η δεξαμενή. Από τις εννέα περιπτώσεις που απεικονίζονται, 1a, 1b, 1c, 2a και 3a είναι υπερφορτισμένες, 2b, 2c και 3b κρίσιμα φορτισμένες, και μόνο σε μία περίπτωση (3c) είναι υπό φορτισμένη.

2.3.7 Μικροσκοπικές παρατηρήσεις και μέθοδοι αναγνώρισης νηματοειδών μικροοργανισμών

Η αποτυχία στην εξεύρεση γενικής λύσης για τον έλεγχο της διόγκωσης της ιλύος οδήγησε πολλούς ερευνητές να στραφούν προς το μικροβιακό πληθυσμό και την αναζήτηση των κυρίαρχων νηματοειδών βακτηρίων που είναι υπεύθυνα για την διόγκωση. Κλειδιά προσδιορισμού αναπτύχθηκαν από τους ερευνητές (Eikelboom, 1977, 2000) για τον εντοπισμό νηματοειδών βακτηρίων, οι οποίοι βασίστηκαν στον μικροσκοπικό χαρακτηρισμό.

Με αρκετούς περιορισμούς, αυτές οι μέθοδοι ταυτοποίησης παρήγαγαν ένα συστηματικό εργαλείο που επέτρεψε μια σχετική εμπιστοσύνη στην ταυτοποίηση των νηματοειδών. Το επόμενο βήμα, ήταν η εξεύρεση των σχέσεων μεταξύ των πιο κυρίαρχων νηματοειδών με τη φυσιολογία τους και τις λειτουργικές συνθήκες (π.χ. τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου DO, την αναλογία τροφής/ μικροοργανισμών F/M, κ.λπ.), προκειμένου να προσδιοριστούν (ειδικές) στρατηγικές για τον έλεγχό τους (Jenkins et al. , 1993a).

Πολλοί τύποι βακτηρίων δεν έχουν ακόμη ταυτοποιηθεί και ταξινομικά δεν αναγνωρίζονται. Ως εκ τούτου, αυτά τα βακτήρια δεν τεκμηριώνονται στα τυποποιημένα μικροβιολογικά εγχειρίδια αναγνώρισης, όπως στο Εγχειρίδιο του Bergey στη Συστηματική Βακτηριολογία. Ο Eikelboom (1975-1977) ανέπτυξε το πρώτο κλειδί για να αναγνωρίζονται οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί σε συστήματα ενεργού ιλύος. Αυτή η αναγνώριση, βασίζεται κυρίως σε μορφολογικά χαρακτηριστικά και από την ανταπόκριση των νηματοειδών βακτηρίων σε μερικές μικροσκοπικές δοκιμές χρώσης (Gram, Neisser). Οι διαδικασίες, οι τεχνικές και τα κλειδιά ταυτοποίησης συγκεντρώθηκαν σε ένα εγχειρίδιο μικροσκοπικής έρευνας της ιλύος (Eikelboom, 2000), που μαζί με ένα ελαφρώς διαφορετικό εγχειρίδιο από Jenkins et al. (1993a, 2003), έχουν χρησιμοποιηθεί ως αναφορές παγκοσμίως σχετικά με την ταυτοποίηση των νηματοειδών βακτηρίων.

Σύμφωνα με αυτές τις εργασίες των Eikelboom (1975) και των Eikelboom και van Buijsen (1981), οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για τη δημιουργία του φαινομένου της διογκωμένης ιλύος και του αφρισμού μπορούν να αναγνωριστούν μικροσκοπικά και να διακριθούν με βάση τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά. Έτσι, έως σήμερα έχουν αναγνωρισθεί περίπου τριάντα νηματοειδείς μικροοργανισμοί από τους οποίους αυτοί που συνήθως παρουσιάζονται και δημιουργούν προβλήματα στις ΕΕΛ δεν είναι περισσότεροι από δέκα.

Αν και πολύ χρήσιμο αυτό το είδος αναγνώρισης έχει πεπερασμένα όρια. Για παράδειγμα, πολλά νηματοειδή βακτήρια (π.χ. *Sphaerotilus natans*, T1701, T0092 και T0961), μπορεί να αλλάξουν τη μορφολογία τους, ανάλογα με τις αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών και παρόλο που ορισμένα από αυτά μπορεί να φαίνονται μορφολογικά το ίδιο, πιθανότατα να διαφέρουν σημαντικά στη φυσιολογία και την ταξινόμησή τους.

Η αναγνώριση των νηματοειδών μικροοργανισμών ως τύπους και όχι ως γένη ή είδη ελάχιστα ενοχλεί την έρευνα για τη σχέση τους με τα φαινόμενα της νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού της ιλύος, αφού αυτό που κυρίως ενδιαφέρει τους ερευνητές δεν είναι το όνομα, αλλά οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των νηματοειδών μικροοργανισμών. (Νουτσόπουλος, 2002)

Η μικροσκοπική αναγνώριση νηματοειδών βακτηρίων με βάση τη μορφολογία απαιτεί ένα καλά εκπαιδευμένο και έμπειρο άτομο, αλλιώς μια λανθασμένη κρίση μπορεί να οδηγήσει εύκολα σε λάθος εκτιμήσεις. Επιπλέον, περίπου 40 νέοι μορφολογικοί τύποι νηματοειδών βακτηρίων πρόσφατα εντοπίστηκαν σε μια μελέτη

έρευνας σε βιομηχανικά συστήματα ενεργού ιλύος (Eikelboom και Geurkink, 2002), καθιστώντας την αναγνώριση νηματοειδών βακτηρίων ακόμη πιο περίπλοκη.

Στην πραγματικότητα, λόγω της απλής μορφολογίας των βακτηρίων ήταν εξαιρετικά δύσκολη η ταξινόμησή τους. Επομένως, οι μικροβιολόγοι προσπαθούσαν να απομονώσουν καθαρές καλλιέργειες των βακτηρίων για να μπορέσουν στη συνέχεια να κάνουν πιο εξειδικευμένες δοκιμές. Οι προσπάθειες αυτές ήταν τις περισσότερες φορές αποτυχημένες, καθώς η επιλογή του μέσου καθόριζε τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονταν και σε κάθε περίπτωση, ήταν αδύνατη η παρακολούθηση και η καταμέτρησή συγκεκριμένων μικροοργανισμών επί τόπου στο οικοσύστημά τους.

Έτσι καταρχήν, εφαρμόστηκαν συμβατικές μικροβιολογικές μέθοδοι χρώσης των δειγμάτων, ώστε να διακριθούν σε μικρότερες ομάδες και να είναι στη συνέχεια δυνατή η καταμέτρησή τους βάσει της μορφολογίας τους. Όσον αφορά στην παρακολούθηση και καταμέτρηση των νηματοειδών μικροοργανισμών, η πιο διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα είναι η παραδοσιακή μέθοδος Pitt και Jenkins της Gram χρώσης και της καταμέτρησης τμήσεων των νηματοειδών (Pitt και Jenkins, 1990) και η τροποποίησή της (Mamais et al., 1998).

Ωστόσο, παρόλο που η τεχνική αυτή είναι απλή και σχετικώς γρήγορη, υπόκειται σε αρκετούς περιορισμούς, εφόσον δεν παρέχει πληροφορίες ούτε για την ταυτότητα αλλά ούτε για τη βιωσιμότητα των βακτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, δεν έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίσει ή να διαχωρίσει μικροοργανισμούς με τα ίδια φυσικά χαρακτηριστικά (π.χ. διαφορετικά είδη της ίδιας οικογένειας) και δεν έχει τη δυνατότητα να διαχωρίσει τους ζωντανούς από τους νεκρούς μικροοργανισμούς, εφόσον όλοι οι μικροοργανισμοί χάνουν τη βιωσιμότητά τους κατά την προετοιμασία του δείγματος. Επίσης, η μέθοδος έχει μικρή ευαισθησία με υψηλό όριο ανίχνευσης με αποτέλεσμα να μην επιτρέπει τον προσδιορισμό χαμηλών συγκεντρώσεων νηματοειδών μικροοργανισμών.

Η παραπλανητική και δύσκολη αναγνώριση με τις παραδοσιακές τεχνικές μικροσκοπίας λοιπόν, σταδιακά κατευθύνει την έρευνα προς μοριακές μεθόδους.

Κατά τη διάρκεια του '90 οι μοριακές μέθοδοι με βάση τις αναλύσεις DNA και RNA εισήχθησαν στη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων. Αυτές οι μέθοδοι επιτρέπουν την διόρθωση στην αναγνώριση ενός πληθυσμού νηματοειδών βακτηρίων. Ως εκ τούτου, είναι σκόπιμο να εφαρμόζονται ειδικοί γονιδιακοί ανιχνευτές, όποτε υπάρχουν, στις έρευνες της διογκούμενης ιλύος. Η χρήση τους σε συνδυασμό με τον χαρακτηρισμό των νηματοειδών βακτηρίων και του σωστού ελέγχου και των συνθηκών λειτουργίας (π.χ. φρεάτιο επιλογής) θεωρούνται μεγάλες προκλήσεις για τον έλεγχο της διόγκωσης της ιλύος.

Οι μοριακές μέθοδοι που βασίζονται στην ανάλυση DNA ή RNA των βακτηρίων έχουν αναπτυχθεί ραγδαία. Προκειμένου να χαρακτηριστεί η πολυπλοκότητα μιας μικροβιακής κοινότητας, η έρευνα έχει σταθεί στη μοριακή βιολογία και σε μεθόδους οι οποίες δεν θα προϋποθέτουν την ανάπτυξη καθαρής καλλιέργειας των νηματοειδών μικροοργανισμών. Η βασική κατεύθυνση αυτής της ερευνητικής προσπάθειας εστιάζεται στην αποκρυπτογράφηση της ακολουθίας των ριβοσωμικών υπομονάδων 16S rRNA και 23S rRNA των νηματοειδών βακτηρίων με χρήση αλυσιδωτής αντίδρασης με πολυμεράσα (polymerase chain reaction, PCR). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αποκρυπτογράφηση της ακολουθίας των ριβοσωμικών υποομάδων των βακτηρίων με τη μέθοδο PCR είναι μια ιδιαίτερα επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία. Παράλληλα με χρήση φθορίζοντων ανιχνευτών (γονιδίων) πραγματοποιείται επί τόπου η αναγνώριση των μικροοργανισμών και ο φυλογεννητικός χαρακτηρισμός τους (Νουτσόπουλος, 2002).

Κατά συνέπεια, προκειμένου να μελετηθεί ο ρόλος των νηματοειδών βακτηρίων, χρειάζεται να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν μοριακές μέθοδοι, που αφορούν κυρίως σε επί τόπου πειράματα υβριδισμού των κυττάρων με ανιχνευτές, δηλαδή είτε φθορίζοντα κύτταρα (Erhart et al., 1997), είτε φθορίζοντα αντισώματα (Hernandez et al., 1993), είτε και παραλλαγές αυτών με χρήση συγκεκριμένων για κάθε μικροοργανισμό ανιχνευτών φθορίζοντων ολιγονουκλεοτιδίων για την ταυτοποίηση δια μέσω Φθορίζουσας Επί Τόπου Υβριδοποίησης (Fluorescent In Situ Hybridization - FISH) (Amann, 1995, Kanagawa et al., 2000, Wagner et al., 1994).

Σε όλες αυτές τις μεθόδους, οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται, προσημειώνονται με φθορίζοντα στοιχεία, έτσι ώστε οι μικροοργανισμοί που για διαφορετικούς σε κάθε μέθοδο λόγους, τους προσλαμβάνουν για να μπορούν να ξεχωρίσουν ως φθορίζοντα σημεία στο μικροσκόπιο.

Μία άλλη μοριακή μέθοδος, είναι η μέθοδος Live/Dead BacLight. Άλλες μοριακές μέθοδοι που προσδιορίζουν τη βιωσιμότητα των μικροοργανισμών, είναι οι μέθοδοι INT και CTC, ομώνυμες των χρωστικών που προστίθενται, οι οποίες όταν απορροφούνται από υγιή κύτταρα κατά την αναπνοή ανάγονται στο εσωτερικό τους σε αδιάλυτους κρυστάλλους (formazan).

2.3.7.1 Συμβατικές μέθοδοι αναγνώρισης νηματοειδών μικροοργανισμών

Μια συμβατική μέθοδος αναγνώρισης βασίζεται στην απομόνωση των νηματοειδών και τον έλεγχο της μορφολογίας και της φυσιολογίας τους. Τα αποτελέσματα αυτά διασταυρώνονταν έπειτα με τις πρότυπες αναφορές από σχετικά εγχειρίδια (Bergey's Manual of Determinative Bacteriology). Η ταξινόμηση του μικροοργανισμού κατ' αυτό τον τρόπο δεν επιδεχόταν αμφισβήτησης καθώς ακολουθούσαν μια πρωτοκολλημένη διαδικασία που επέτρεπε στον ερευνητή να γνωρίζει και τις βιοχημικές ιδιότητες του μικροοργανισμού προς εξέταση. Ωστόσο, αυτή η «βάση δεδομένων» ήταν αρκετά φτωχή καθώς ορισμένα βακτήρια δεν είχαν ακόμα αναγνωριστεί με αποτέλεσμα να μην αναφέρονται στα σχετικά εγχειρίδια. Επιπλέον η απομόνωση του μικροοργανισμού απαιτούσε χρόνο και η χρονική παράμετρος επηρέαζε τα αποτελέσματα, καθιστώντας τα ανακριβή και χρονοβόρα.

Παράλληλα, αναπτύχθηκε και μια ακόμα μέθοδος (Farquhar & Boyle, 1971) όπου οι μικροοργανισμοί εξετάζονταν μικροσκοπικά ως προς τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και ταξινομούνταν με βάση την αντίδρασή τους σε χρωστικές τεχνικές. Τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων αντιπαραβάλλονταν στα γνωστά είδη του εγχειριδίου του Bergey. Η μέθοδος αυτή αποτέλεσε τη βάση για τη σημερινή βιβλιογραφία εγχειριδίων αναγνώρισης νηματοειδών αλλά δεν έτυχε ευρείας εφαρμογής λόγω της πολυπλοκότητας των διαδικασιών. Αντίθετα, η μέθοδος αναγνώρισης και ταξινόμησης νηματοειδών του Eikelboom (1975), χρησιμοποιείται έως και σήμερα καθώς κατάφερε να απλοποιήσει σημαντικά τις τεχνικές αναγνώρισης των Farquhar & Boyle. Ο Eikelboom υπέθεσε πως οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί ήταν πολύ περισσότεροι από όσους είχαν αναγνωριστεί ως τότε και κατάφερε να εντοπίσει συνολικά 26 διαφορετικά είδη, τα οποία και κατέταξε σύμφωνα με τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά και τις αντιδράσεις τους στις χρωστικές τεχνικές Gram (κυρίως) & Neisser (Νουτσόπουλος, 2002).

Τα σημαντικότερα μορφολογικά χαρακτηριστικά που πρέπει να καθοριστούν από τη μικροσκοπική παρατήρηση των νηματοειδών είναι :

- Σχήμα και μήκος νήματος μικροοργανισμού (Filament shape and length)
- Σχήμα και διάμετρος κυττάρου (Cell shape and diameter)

- Τοποθεσία νηματοειδών, μέσα ή έξω από τις βιοκροκίδες (Filament location)
- Κινητικότητα (Mobility)
- Περίβλημα (Sheath)
- Διακλαδώσεις (Branching)

Ο ερευνητής, χρησιμοποιώντας οδηγούς κλειδιά, καταλήγει στην αναγνώριση των μικροοργανισμών στο δείγμα ύλους ή λάσπης. Τέτοια κλειδιά αναγνώρισης (identification keys) υπάρχουν σε όλα τα εγχειρίδια αναγνώρισης νηματοειδών βακτηρίων. Μια προκαταρκτική ταξινόμηση των νηματοειδών βακτηρίων βάσει των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών επιχειρήθηκε από τον Eikelboom το 1975, βασιζόμενος στα αποτελέσματα των χρωστικών τεχνικών (Πίνακας 2.5).

Πίνακας 2.5 Κατάταξη νηματοειδών μικροοργανισμών βάσει των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών (Νουτσόπουλος, 2002).

Μορφολογικά Χαρακτηριστικά	Νηματοειδείς Μικροοργανισμοί
Ύπαρξη περιβλήματος, Gram (-)	H.hydrossis, Type 1701, S.natans
Ύπαρξη περιβλήματος, Gram (+)	Type0041, Type0675, Type1851
Απουσία περιβλήματος	Type021N, N.Limicola
Λεπτά με ελικοειδή μορφή	M.parvicella, Type0581
Ίσια Gram (-)	Type0092, Type0961

Επιπλέον, αντίστοιχα κλειδιά αναγνώρισης υπάρχουν με κριτήριο ταξινόμησης τη χρωστική τεχνική Gram. Η αρχή της κηλίδωσης συνίσταται στον σχηματισμό ενός συμπλέγματος σύνθετης ύλης από μωβ κρυστάλλους και ιώδιο μέσα στα κύτταρα. Αυτό το σύμπλεγμα δεν είναι υδροδιαλυτό στην αιθανόλη, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ξεπλυθεί από τα κύτταρα. Το σύμπλεγμα προσδίδει ένα σκούρο μωβ χρώμα στα κύτταρα με θετικό Gram. Η κηλίδα χρωματίζεται επιπροσθέτως με φουξίνη ή σαρφανίνη ώστε να γίνουν ορατά και τα κύτταρα με αρνητικό Gram, τα οποία παίρνουν κόκκινο χρώμα. Οι διαφορετικές αποχρώσεις θετικού και αρνητικού Gram οφείλονται στις διαφορετικές χημικές συστάσεις των κυτταρικών τοιχωμάτων (Ανδρόνικου, 2001). Ωστόσο, παρατηρούνται διαφορετικά αποτελέσματα στις Gram μετρήσεις ορισμένων μικροοργανισμών, καθώς τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά εξαρτώνται από τις συνθήκες περιβάλλοντος και λειτουργίας κάθε ξεχωριστής ΕΕΛ.

2.3.7.2 Η μοριακή μέθοδος PCR

Η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (Polymerase Chain Reaction, PCR) είναι μια *in vitro* μέθοδος που επιτρέπει τον πολλαπλασιασμό προεπιλεγμένης αλληλουχίας DNA σε πολλά αντίγραφα σε σύντομο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος της PCR στηρίζεται στην συνεχή επανάληψη ενός κύκλου που αποτελείται από 3 διαδοχικά στάδια. Σε κάθε στάδιο γίνεται επώαση του δείγματος σε διαφορετική κάθε φορά θερμοκρασία, με τη βοήθεια ενός ειδικού μηχανήματος, του θερμικού κυκλοποιητή (thermal cycler). Ο κυκλοποιητής έχει τη δυνατότητα να θερμαίνει και να ψύχει τα δείγματα σε σύντομο χρόνο (Βερβερίδης, 2003).

Τα στάδια που αποτελούν τον επαναλαμβανόμενο κύκλο της PCR είναι τα εξής:

- 1) Αποδιάταξη του δίκλωνου DNA (denaturation)
- 2) Υβριδοποίηση εκκινητών (primer annealing) στις αλληλουχίες του DNA στόχου
- 3) Επιμήκυνση εκκινητών (extension)

Κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου το τμήμα DNA που μας ενδιαφέρει υποβάλλεται σε θερμοκρασία 94 °C προκειμένου να επιτευχθεί ο διαχωρισμός των αλυσίδων του δίκλωνου αυτού DNA (αποδιάταξη/denaturation).

Στο δεύτερο στάδιο η θερμοκρασία μειώνεται στους 50-60 °C κι έτσι επιτυγχάνεται η ένωση των εκκινητών με τις συμπληρωματικές αλληλουχίες του DNA σε κάθε αλυσίδα (υβριδοποίηση εκκινητών/primer annealing).

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο η θερμοκρασία αυξάνεται στους 72 °C και με τη βοήθεια της DNA πολυμεράσης, που προσθέτει τα νουκλεοτίδια (dNTP's) στο 3' άκρο των εκκινητών, επιτυγχάνεται η σύνθεση των νέων συμπληρωματικών αλυσίδων DNA. Η σύνθεση των αντιγράφων γίνεται από την DNA πολυμεράση πάντα με κατεύθυνση 5' προς 3' (επιμήκυνση/extension).

Η διαδικασία της PCR χωρίζεται σε τρεις φάσεις (Λαζανάκη, 2010) :

- 1) Εκθετική (exponential) φάση: Είναι η φάση κατά την οποία έχει αρχίσει ο πολλαπλασιασμός της προεπιλεγμένης αλληλουχίας DNA. Σε αυτή τη φάση η αντίδραση είναι πολύ αποτελεσματική και σε κάθε κύκλο διπλασιάζεται η προεπιλεγμένη αλληλουχία DNA.
- 2) Γραμμική (linear) φάση: Η φάση στην οποία παρατηρείται μειωμένη παραγωγή αντιγράφων της αλληλουχίας DNA εξαιτίας της μείωσης της ενεργότητας των αντιδραστηρίων.
- 3) Φάση Plateau: Στη φάση αυτή έχει σταματήσει η αντίδραση PCR καθώς και η παραγωγή νέων αντιγράφων εξαιτίας της εξάντλησης των αντιδραστηρίων.

2.3.7.3 Η μοριακή μέθοδος Φθορίζουσας Επί Τόπου Υβριδοποίησης (FISH)

Η μέθοδος FISH στηρίζεται σε αναλύσεις του ριβοσωμικού ριβονουκλεϊκού οξέος (16S rRNA) που έγιναν με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και αποκάλυψαν σύντομες ακολουθίες ολιγονουκλεοτιδίων μοναδικές για ορισμένες ομάδες μικροοργανισμών, για ορισμένα γένη, ή ακόμα και για συγκεκριμένα είδη. Αυτή η ανακάλυψη, οδήγησε στην κατασκευή μοριακών εργαλείων και επέτρεψε τη μελέτη των περιβαλλοντικών δειγμάτων, βάσει του γενότυπου αντί του φαινότυπού τους. Τα εν λόγω μοριακά εργαλεία καλούνται ιχνηλάτες.

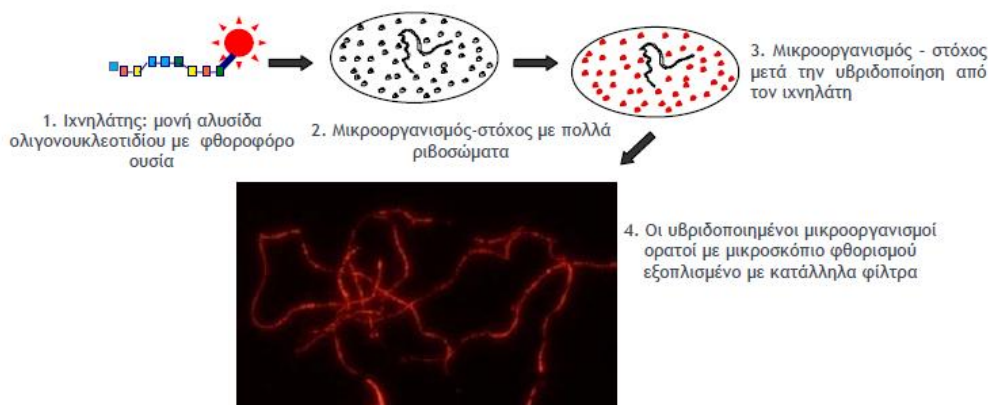
Η αρχή της μεθόδου μπορεί να συνοψιστεί ως εξής: Οι ιχνηλάτες που αποτελούνται από μονές αλυσίδες ολιγονουκλεοτιδίων γνωστής ακολουθίας εισέρχονται στα κύτταρα και υβριδοποιούν τις συμπληρωματικές τους ακολουθίες

ριβονουκλεϊκού οξέος (RNA) στα ριβοσώματα. Αν δεν βρεθεί συμπληρωματική ακολουθία RNA, τότε δεν πραγματοποιείται υβριδοποίηση και άρα οι προστιθέμενοι ιχνηλάτες απομακρύνονται σε ακόλουθο στάδιο καθαρισμού. Έτσι, μόνο τα κύτταρα που στοχεύονται από τα μοριακά εργαλεία κρατούν τις ακολουθίες των ολιγονουκλεοτιδίων και καθώς αυτές είναι χαρακτηρισμένες με φθοροφόρες ουσίες, τα κύτταρα που έχουν υβριδοποιηθεί μπορούν να παρατηρηθούν με μικροσκόπιο φθορισμού λόγω της φυσικής ενίσχυσης του φθορίζοντος σήματος από το μεγάλο αριθμό των ριβοσωμάτων σε κάθε κύτταρο.

Οι ιχνηλάτες μπορούν να είναι σχεδιασμένοι ώστε οι στόχοι τους να είναι γενικοί ή περισσότερο συγκεκριμένοι. Έτσι υπάρχουν οικουμενικοί ιχνηλάτες που στοχεύουν ακολουθίες νουκλεοτιδίων που συντηρούνται σε όλους τους μικροοργανισμούς. Ωστόσο, είναι δυνατός και ο σχεδιασμός ιχνηλατών που υβριδοποιούν μόνο μικροοργανισμούς συγκεκριμένου βασιλείου, οικογένειας, γένους, είδους ή ακόμα και συγκεκριμένου στελέχους. Είναι επίσης δυνατή, η χρήση περισσότερων από ενός ιχνηλατών, με διακριτές φθοροφόρες ουσίες, για την ταυτόχρονη παρακολούθηση περισσότερων του ενός μικροοργανισμών.

Έτσι, η χρήση των μοριακών αυτών εργαλείων που στοχεύουν το r-RNA παρέχουν γνώση για τη μικροβιακή οικολογία, καθιστώντας ικανή την απεικόνιση ολόκληρων κυττάρων και την *in situ* μελέτη οικοσυστημάτων. Δίνεται με τον τρόπο αυτό η δυνατότητα συσχέτισης της σύνθεσης, των μεταβολικών λειτουργιών και των τοπικών σχέσεων μιας μικροβιακής κοινότητας. Επίσης με την *in situ* υβριδοποίηση μπορεί να επιβεβαιωθεί ότι οι μικροοργανισμοί που αναγνωρίστηκαν είναι παρόντες σε ένα περιβάλλον αλλά και να καθοριστεί η αφθονία τους. Τέλος, δεν υπάρχει κατώφλι ανίχνευσης των υπό εξέταση μικροοργανισμών εφόσον αρκεί η παρουσία τους για να πραγματοποιηθεί υβριδοποίηση και να είναι δυνατή η παρατήρησή τους.

Παρά τις μεγάλες δυνατότητες της μεθόδου FISH υπάρχουν και περιορισμοί που σχετίζονται με την ενδεχόμενη ανεπαρκή διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης από τον ιχνηλάτη και άρα την ευκολία προσέγγισης των ριβοσωμάτων καθώς και με τον φθορισμό του ίδιου του δείγματος. Επίσης, πρέπει να λάβει κανείς υπόψη ότι οι ιχνηλάτες στοχεύουν το rRNA στα ριβοσώματα και άρα αν τα κύτταρα είναι μεταβολικώς ανενεργά τότε δε θα προσδεθούν (Μαρνέρη Ματίνα, 2010).



Εικόνα 2.7 : Διάγραμμα ροής της μεθόδου FISH: 1. Ιχνηλάτης αποτελούμενος από μονή αλυσίδα ολιγονουκλεοτιδίου σημασμένος με φθοροφόρο ουσία. 2. Ο προς ανίχνευση μικροοργανισμός, στον οποίο φαίνεται ο μεγάλος αριθμός ριβοσωμάτων. 3. Ο προς ανίχνευση μικροοργανισμός μετά την υβριδοποίηση. 4. Οι υβριδοποιημένοι μικροοργανισμοί ορατοί με μικροσκόπιο φθορισμού εξοπλισμένο με κατάλληλα φίλτρα. (Μαρνέρη Ματίνα, 2010)

2.3.8 Η χρήση της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (image analysis) ως εργαλείο σε έρευνες και αξιολόγησή της

Μέχρι πρόσφατα, ο προσδιορισμός της μορφολογίας των κροκίδων και του πληθυσμού των νηματοειδών μικροοργανισμών, βασιζόταν στην εκτίμηση και την εμπειρία του εκάστοτε ερευνητή με αποτέλεσμα να μην υπάρχει πάντα σαφής εικόνα του δείγματος. Ο συνδυασμός της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας με την τεχνική της μικροσκοπικής παρατήρησης μας έδωσαν τη δυνατότητα να έχουμε μια έγκυρη εκτίμηση για την κατάσταση και τη φύση της βιομάζας (Grijnspeerdt K. and Verstraete W., 1997).

Οι τεχνικές ανάλυσης εικόνας έχουν αναπτυχθεί εκτεταμένα τα τελευταία χρόνια με σκοπό να αξιολογήσουν πολύπλοκα μικροβιακά συσσωματώματα, όπως κροκίδες λάσπης και βιοφίλμ. Διάφοροι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει τη μέθοδο ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας με σκοπό να διερευνήσουν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των κροκίδων ή των νηματοειδών μικροοργανισμών ή διάφορα είδη πρωτοζώων. Επίσης, με τη χρήση αυτού του εργαλείου έχουν γίνει προσπάθειες να προβλεφθούν φαινόμενα νηματοειδούς διόγκωσης στην έναρξή τους για την άμεση αντιμετώπισή τους σε συνδυασμό με άλλα προγράμματα ή μεθόδους, αλλά και για μεθόδους μοριακής ανάλυσης όπως η μέθοδος FISH.

Σύμφωνα με τους Liwarska-Bizukojc, Ewa (2005) που ασχολήθηκαν με την εφαρμογή τεχνικών ανάλυσης εικόνας σε ενεργό ιλύ βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων, είναι δυνατή η εφαρμογή της ανάλυσης εικόνας στα συστήματα ενεργού ιλύος και μπορεί να επιτευχθεί σύγκριση σε σχέση με τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μορφολογικές παραμέτρους και τις σχέσεις μεταξύ τους καθώς και τις παραδοσιακές παραμέτρους επεξεργασίας λυμάτων. Οι πρόσφατες εξελίξεις έχουν δείξει, ότι η ανάλυση εικόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την ποσοτικοποίηση των κροκίδων και των νηματοειδών βακτηρίων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, η οποία επιτρέπει την πρόβλεψη γεγονότων διόγκωσης και τον εντοπισμό σχηματισμού κροκίδων.

Μερικές από τις πιο σημαντικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε σχέση με την εφαρμογή τεχνικών ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας σε ενεργό ιλύ βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων για τον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση μορφολογικών παραμέτρων των βιοκροκίδων είναι αυτές που αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

Σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Costa JC1, Mesquita DP, Amaral AL, Alves MM, Ferreira EC οι ποσοτικές τεχνικές ανάλυσης εικόνας έχουν αποκτήσει έναν αναμφισβήτητο ρόλο σε διάφορους τομείς της έρευνας κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Στον τομέα της βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων, πολλές εφαρμογές υπολογιστών έχουν αναπτυχθεί για την παρακολούθηση μικροβιακών οντοτήτων, είτε ως μεμονωμένα κύτταρα ή με τη μορφή διαφορετικών τύπων συσσωματωμάτων. Νέες παράμετροι που έχουν καθοριστεί είναι πιο αξιόπιστες, αντικειμενικές και χρήσιμες από τις υποκειμενικές και χρονοβόρες κλασικές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση βιολογικών διεργασιών βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων. Παραδείγματα αυτής της εφαρμογής περιλαμβάνουν την αντικειμενική πρόβλεψη της νηματοειδούς διόγκωσης, που είναι γνωστό ότι είναι ένα από τα πιο προβληματικά φαινόμενα που συμβαίνουν στην τεχνολογία ενεργού ιλύος. Επίσης, απέδειξαν τη χρησιμότητά τους στην ταξινόμηση των πληθυσμών πρωτοζώων και μεταζώων. Σε υψηλού ρυθμού αναερόβιες διεργασίες, οι χρόνοι συσσωμάτωσης και τα φαινόμενα κατακερματισμού θα

μπορούσαν να ανιχνευθούν κατά τη διάρκεια κρίσιμων γεγονότων, π.χ., τοξικές και βιολογικές υπερφορτώσεις. Η δική τους έρευνα είχε σα στόχο την ανάπτυξη ποσοτικών τεχνικών ανάλυσης εικόνας εστιάζοντας στην εφαρμογή αυτή σε συνδυασμό με τα δείγματα χρώσεων είτε με κλασικές τεχνικές είτε με τεχνικές φθορισμού. Η χρήση ποσοτικών μορφολογικών παραμέτρων για τον έλεγχο της διαδικασίας και online εφαρμογές ήταν επίσης αντικείμενο της έρευνας τους.

Πρόβλεψη της έναρξης της διόγκωσης της ενεργού ιλύος σε βιολογικά συστήματα επεξεργασίας εκμεταλλεύμενοι τις πληροφορίες ανάλυσης εικόνας προσπάθησαν να κάνουν και οι E.N. Banadda, R. Jenne, I.Y. Smets and J.F. Van Impe σε μια ερευνητική εργασία. Σε αυτή την εργασία, οι συσχετίσεις μεταξύ των πληροφοριών ανάλυσης εικόνας, δηλαδή, το συνολικό μήκος του νήματος ανά εικόνα, ο μέσος συντελεστής μορφής, η μέση ισοδύναμη διάμετρος κροκίδων, η κυκλικότητα της μέσης κροκίδας, η μέση μειωμένη ακτίνα περιστροφής κροκίδων και οι κλασικές μετρήσεις (όπως ο Δείκτης ιλύος Όγκος (SVI)) έχουν αναζητηθεί, καθώς και η δυνατότητα εκμετάλλευσης των εν λόγω πληροφοριών στον τύπο μοντέλων ARX (Σύστημα Αναγνώρισης Toolbox 5.0.1 στο MATLAB) για να προβλέψουν την εμφάνιση της διόγκωσης της ενεργού ιλύος παρουσιάζεται. Ο σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να διερευνήσει εάν οι πληροφορίες ανάλυσης εικόνας (π.χ., το συνολικό μήκος του νήματος, ο μέσος συντελεστής μορφής κλπ.) συσχετίζονται με τις κλασικές μετρήσεις (όπως το SVI) και αν οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν σε μοντέλα ARX για την πρόβλεψη της έναρξης της νηματοειδούς διόγκωσης. Αντί για την ανάπτυξη στατικών (στιγμιαίων) μοντέλων συσχέτισης, όπως αναφέρθηκε από da Motta και τους συνεργάτες του [da Motta et al., 2002], η έρευνα αυτή επικεντρώθηκε σε δυναμικά μοντέλα ARX.

Πιο αναλυτικά, πειράματα εργαστηριακής κλίμακας που προσομοιάζουν συνεχή συστήματα μεγάλης κλίμακας στήθηκαν, και διεξήχθη μια καθημερινή καταγραφή των χαρακτηριστικών της λάσπης, πληροφορίες εικόνας και καθίζησης της ιλύος.

Ένα εργαστηριακής κλίμακας σύστημα ενεργού ιλύος σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε για να προσομοιώσει μια εγκατάσταση πλήρους κλίμακας. Η εργαστηριακή εγκατάσταση ήταν ένα συνεχούς τύπου σύστημα ενεργού ιλύος με μια κλασική διαμόρφωση: μια δεξαμενή αερισμού (5,5 L) που ακολουθείται από μια δεξαμενή καθίζησης (3 L) και η ιλύς επανακυκλοφορίας.

Το σύστημα τροφοδοτήθηκε με ενεργό ιλύ από μία εγχώρια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στο Huldenberg (Βέλγιο), και τροφοδοτήθηκε με συνθετικά λύματα με οξικό νάτριο ως το μοναδικό οργανικό υπόστρωμα [Houtmeyers et al., 1980], που αντιστοιχεί σε μέγιστη ζήτηση χημικού οξυγόνου (COD) 1000 mg/l. Η βιομάζα διατηρήθηκε όσο το δυνατόν σταθερή μέσω της σπατάλης ανάμικτου υγρού οποτεδήποτε ήταν αναγκαίο, αποδίδοντας μια συγκέντρωση ιλύος μεταξύ 2 και 3 g/L, και μία φόρτιση λάσπης από περίπου 0,3 g COD g MLSS-1 d⁻¹. Πεπιεσμένος αέρας παρασχέθηκε σε αφθονία προκειμένου να ανταποκριθεί το διαλυμένο οξυγόνο (DO) στις απαιτήσεις της βιομάζας και να εξασφαλισθεί ομοιογενής ανάμιξη στην δεξαμενή αερισμού. Το DO κυμαινόταν μεταξύ 6 και 8 mg/l. Μερικές πρότυπες μετρήσεις, δηλαδή, MLSS, SVI, SS, COD των λυμάτων έγιναν και παρακολουθούνταν καθημερινά για μια περίοδο 100 ημερών. Η καθημερινή σύνθεση της ενεργού ιλύος παρακολουθήθηκε μέσω μικροσκοπικής παρατήρησης και ψηφιακής ανάλυσης εικόνας.

Οι εικόνες ενεργού ιλύος λήφθηκαν χρησιμοποιώντας ένα οπτικό μικροσκόπιο (Olympus BX51) εξοπλισμένο με μια βιντεοκάμερα έγχρωμη 3CCD (Sony DXC-

950P). Η μεγέθυνση του αντικειμενικού φακού του μικροσκοπίου που χρησιμοποιήθηκε ήταν 10 φορές. Μία πλήρως αυτόματη μέθοδος ανάλυσης εικόνας για την αναγνώριση και το χαρακτηρισμό των κροκίδων αλλά και των νηματοειδών μικροοργανισμών σε ένα δείγμα ενεργού ιλύος έχει αναπτυχθεί σε προηγούμενες εργασίες [Jenne et al., 2002, Cenens et al., 2002], και εφαρμόζεται στις ληφθείσες εικόνες αυτού του πειράματος.



Εικόνα 2.8: Αριστερά εικονίζεται το σύστημα ενεργού ιλύος σε κλίμακα εργαστηριακή και δεξιά παρουσιάζεται το μικροσκόπιο με το οποίο έγινε η έρευνα.

Μόλις τα αντικείμενα στην εικόνα (δηλ. οι κροκίδες και οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί) διακριθούν από το φόντο, αρκετές παράμετροι που σχετίζονται με το μέγεθος και το σχήμα μπορούν να υπολογιστούν. Αυτές οι παράμετροι επιτρέπουν όχι μόνο τη διάκριση μεταξύ κροκίδων και νηματοειδών, αλλά μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς παρακολούθησης με σκοπό την ανίχνευση μεταβολών στα χαρακτηριστικά της ιλύος (καθίζηση).

Οι παράμετροι αυτές είναι οι εξής:

- *Μέτρηση του μεγέθους*: Το μέγεθος των κροκίδων της λάσπης είναι μια σημαντική παράμετρος σε σχέση με τις ιδιότητες της καθίζησης [Ganczarezyk, 1994]. Το μέγεθος των κροκίδων εκφράζεται ως η ισοδύναμη διάμετρος κύκλου D_{eq} , που υπολογίζεται από την πραγματική προβλεπόμενη περιοχή A :

$$D_{eq} = 2\sqrt{A/\pi}$$

όπου η επιφάνεια A είναι ίση με 1.

- *Μετρήσεις Σχήματος*: Όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία [Erikson και Hardin, 1984], το σχήμα των κροκίδων της λάσπης σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά καθίζησης. Πολλές ποσοτικές παράμετροι προσδιορισμού του σχήματος μπορεί να μετρηθούν με τη βοήθεια της ανάλυσης εικόνας [Russ, 1990, Pons et al., 1993]. Τρεις παράμετροι λαμβάνονται υπόψη στην παρούσα μελέτη:
 - *Ο παράγοντας μορφή (FF)* περιγράφει την απόκλιση ενός αντικειμένου από έναν κύκλο. Είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στην τραχύτητα των ορίων του. Ένας κύκλος έχει FF ίσο με 1.

$$FF = 4\pi \frac{area}{perimeter^2}$$

- Η κυκλικότητα (R) επηρεάζεται κυρίως από την επιμήκυνση ενός αντικειμένου. Κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Ένας κύκλος έχει ένα R ίσο με 1.

$$R = \frac{4 \cdot area}{\pi \cdot length^2}$$

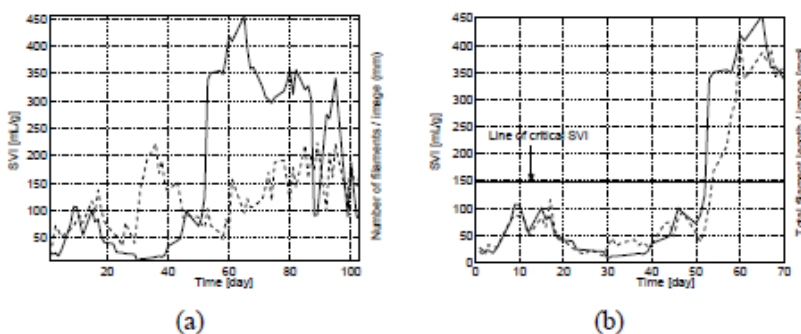
- Η μειωμένη ακτίνα περιστροφής (RG) επηρεάζεται επίσης από την επιμήκυνση ενός αντικειμένου. Μια πιο επίμηκης κροκίδα θα έχει

$$RG = \frac{\sqrt{M_{2X} + M_{2Y}}}{\frac{D_{eq}}{2}}$$

- M_{2X} και M_{2Y} είναι ροπές δεύτερης τάξης.

Τα συμπεράσματα αυτής της έρευνας παρουσιάζονται παρακάτω:

Οι συσχετίσεις μεταξύ των πληροφοριών ανάλυσης εικόνας και την τιμή SVI αναζητήθηκαν. Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίστηκε η εξέλιξη της τιμής SVI, ο αριθμός των νηματοειδών ανά εικόνα και το συνολικό μήκος των νηματοειδών ανά εικόνα σε σχέση με το χρόνο. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα (b) στο σχήμα 2.11 η καθίζηση της ιλύος ήταν γενικά ικανοποιητική στην περίοδο που κυμαίνεται από την 1η έως την 52η ημέρα: οι τιμές SVI ήταν χαμηλότερες από την κρίσιμη τιμή των 150 $mg l^{-1}$. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι μεταξύ της 10ης και της 18ης ημέρας, καταγράφηκαν τιμές SVI άνω των 100 $mg l^{-1}$. Στη συνέχεια, κατά την περίοδο μιας εβδομάδας, το SVI σταδιακά μειώθηκε σε πολύ χαμηλές τιμές (περίπου 25 $mg l^{-1}$), η οποία διήρκεσε για περίπου 20 ημέρες. Στη συνέχεια, το SVI αυξήθηκε και πάλι μέσα σε 1 εβδομάδα, και την 53η ημέρα ξεπεράστηκε η κρίσιμη τιμή των 150 $mg l^{-1}$, καθώς συνέβη μια σοβαρή εκδήλωση νηματοειδούς διόγκωσης. Κατά τη διάρκεια των ακόλουθων 33 ημερών, η καθίζηση της ιλύος συνέχισε να είναι πολύ χαμηλής ποιότητας, αποδίδοντας ένα SVI που κυμαίνονταν από 300 έως 450 $mg l^{-1}$.



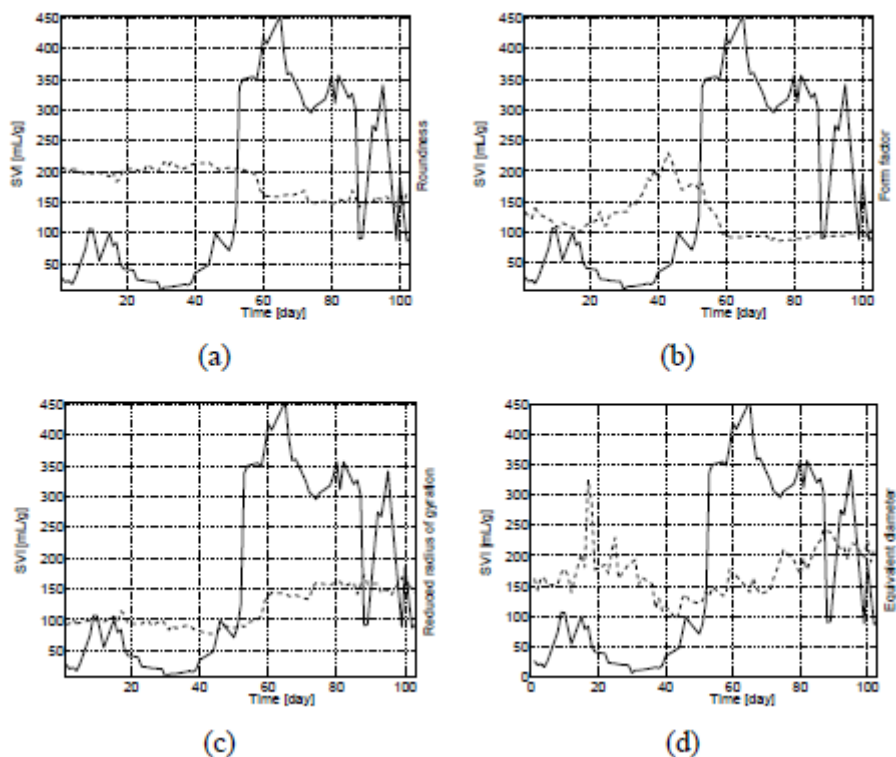
Σχήμα 2.11: Διάγραμμα 1: (a): Εξέλιξη της τιμής του SVI (εικονίζεται με συνεχή γραμμή) και ο αριθμός των νηματοειδών βακτηρίων ανά εικόνα (εικονίζεται με

διακεκομμένη γραμμή), (b): Εξέλιξη της τιμής του SVI (εικονίζεται με συνεχή γραμμή) και το συνολικό μήκος των νηματοειδών βακτηρίων ανά εικόνα (εικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή).

Χαρακτηριστικά των νηματοειδών μικροοργανισμών:

Από το διάγραμμα (α) του σχήματος 2.11 είναι φανερό ότι η εξέλιξη του αριθμού των νηματοειδών ανά εικόνα φαίνεται να έχει μια σχέση με το SVI μόνο κατά τη διάρκεια των πρώτων 30 ημερών του πειράματος. Οι ακόλουθες περιόδους με πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές τιμές SVI, αντίστοιχα, δεν δείχνουν καμία στιγμιαία συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των νηματοειδών ανά εικόνα και την καθίζησης της ιλύος. Αυτή η παρατήρηση μπορεί να εξηγηθεί εύκολα ως ακολούθως.

Κατά την περίοδο των χαμηλών τιμών SVI (26η με 45η ημέρα), ένας μεγάλος αριθμός νηματοειδών με πολύ κοντά νημάτια παρουσιάζονταν στην ιλύ, χωρίς να έχει αρνητική επίδραση στην καθίζηση. Κατά την περίοδο των αυξημένων τιμών SVI (μετά την 53η ημέρα), η υπεραφθονία των νηματοειδών τους ανάγκασε να ακουμπάνε ο ένας τον άλλον ή να επικαλύπτονται στην εικόνα. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι νηματοειδείς μικροοργανισμοί δεν μπορούσαν να διακριθούν ως μεμονωμένα αντικείμενα, δίδοντας έτσι ένα μικρότερο αριθμό νηματοειδών από ό, τι θα αναμενόταν. Ως εκ τούτου, είναι σκόπιμο να εξετάζονται τα παγκόσμια χαρακτηριστικά των νηματοειδών αντί των μεμονωμένων. Από την άλλη πλευρά, από το διάγραμμα (b) στο σχήμα 2.11 φαίνεται να υπάρχει μια σαφής συσχέτιση μεταξύ του συνολικού μήκους των νηματοειδών ανά εικόνα και SVI. Πρέπει να σημειωθεί ότι το συνολικό μήκος των νηματοειδών αυξήθηκε έντονα την 51η ημέρα, η οποία είναι η χρονική στιγμή δύο ημέρες πριν συμβεί η σοβαρή εκδήλωση διόγκωσης.



Σχήμα 2.12: Διάγραμμα 2: (a): Εξέλιξη της τιμής του SVI (εικονίζεται με συνεχή γραμμή) και η μέση κυκλικότητα R των κροκίδων (εικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή), (b) ο μέσος παράγοντας σχηματισμού των κροκίδων FF (εικονίζεται με

διακεκομμένη γραμμή), (c) η μέση μειωμένη ακτίνα περιστροφής της κροκίδας RG (εικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή) (d) η μέση ισοδύναμη διάμετρος της κροκίδας Deq (εικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή).

Χαρακτηριστικά κροκίδων

Είναι εξίσου σημαντικό το ότι εξετάστηκε η επίδραση των χαρακτηριστικών των κροκίδων στην καθιζηματικότητα της ιλύος, λόγω του ότι οι ιδιότητες καθίζησης της λάσπης δεν σχετίζονται μόνο με το ποσό των νηματοειδών. Σε αντίθεση με τους νηματοειδείς, οι κροκίδες μπορούν να θεωρηθούν ως μεμονωμένα αντικείμενα, και αρκετοί συγγραφείς ήδη συνδέουν το επιμέρους σχήμα των κροκίδων με προβλήματα καθίζησης [da Motta et al., 2002, Jenne et al., 2002]. Εξετάζοντας τις μέσες τιμές των παραμέτρων κατά την έναρξη του σοβαρού προβλήματος διόγκωσης (περίπου την 55η μέρα), μια αλλαγή στις τρεις περιγραφές σχήματος μπορεί να παρατηρηθεί. Πρώτον, υπήρχε μια μείωση στην καμπυλότητα την 59η ημέρα, και μια ταυτόχρονη αύξηση στην μειωμένη ακτίνα περιστροφής. Εφεξής, οι δύο παράμετροι σταθεροποιήθηκαν στην χαμηλότερη και υψηλότερη τιμή τους, αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι οι κροκίδες της ενεργού ιλύος εξελίχθηκε να έχουν από ένα κάπως πιο κυκλικό σχήμα ένα πιο επιμήκες σχήμα. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να εξηγηθεί από την υψηλή αφθονία των νηματοειδών βακτηρίων, προκαλώντας το σχηματισμό ενός τύπου κροκίδων περισσότερο τεντωμένο, περίπου τέσσερις ημέρες μετά την έναρξη του συμβάντος της διόγκωσης. Δεύτερον, υπήρξε μια αλλαγή στον συντελεστή μορφής των κροκίδων, αλλά σε αντίθεση με τις δύο άλλες παραμέτρους, ο συντελεστής μορφής άρχισε να μειώνεται πριν από το συμβάν της νηματοειδούς διόγκωσης. Μαζί με μια αύξηση του SVI, η οποία ξεκίνησε την 45η ημέρα, οι κροκίδες εξελίχθηκαν σιγά-σιγά από ομαλά σχήματα σε πιο χονδροειδή-τραχιά σχήματα, και, τέλος, ο συντελεστής μορφής σταθεροποιήθηκε στη μικρότερη τιμή από την 59η ημέρα και μετά. Από την άλλη πλευρά, η μέση ισοδύναμη διάμετρος κροκίδων Deq κάπως μειωμένη εμφανίστηκε την 19η ημέρα φθάνοντας την χαμηλότερη τιμή της κατά την 42η ημέρα και μετά έδειξε να αυξάνεται. Αυτή η τάση μπορεί να ερμηνευθεί ως αποκροκίδωση που ακολουθείται από μία κροκίδωση του σχηματισμού κροκίδων βιομάζας.

Τέλος, στην συγκεκριμένη έρευνα, ένας αριθμός δοκιμών του μοντέλου ARX έχει παρουσιαστεί και δοκιμαστεί για τη μοντελοποίηση του δείκτη όγκου λάσπης SVI ως συνάρτηση των πληροφοριών ανάλυσης εικόνας που αναπτύχθηκαν παραπάνω.

Μία ακόμα μελέτη πραγματοποιήθηκε από τους Y. G. Perez, S. G. F. Leite and M. A. Z. Coelho (2006), η οποία ασχολείται με την ανάπτυξη μιας διαδικασίας ψηφιακής ανάλυσης εικόνας για να χαρακτηρίσει μικροβιακά συσσωματώματα που λαμβάνονται σε τρεις διαφορετικές ΕΕΛ:

- Έναν αντιδραστήρα (SBR) που σχετίζεται με απομάκρυνση φαινόλης και βιολογική απομάκρυνση αζώτου μιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων του δωλιστηρίου REPAR (PETROBRAS S.A., Βραζιλία),
- Μία μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων (Ilha do Governador, το Ρίο ντε Τζανέιρο, Βραζιλία) και
- μια μονάδα επεξεργασίας βιομηχανικών λυμάτων (Ciba - Estrada do Colégio, Ρίο Ντε Τζανέιρο, Βραζιλία).

Ο στόχος της εργασίας αυτής ήταν η ανάπτυξη μιας διαδικασίας ψηφιακής ανάλυσης εικόνας για να χαρακτηρίσει μικροβιακά συσσωματώματα, επιτρέποντας την εκτίμηση των μορφολογικών τους παραμέτρων, όπως η ισοδύναμη διάμετρος, η ικανότητα συμπίκνωσης, η καμπυλότητα και οι ιδιότητες του πορώδους, καθώς και η διάσταση κατάτμησης. Επιπροσθέτως, μία επικύρωση της διαδικασίας ανάλυσης εικόνας που αναπτύχθηκε διεξήχθη με ενεργές λάσπες από αστικά και βιομηχανικά λύματα μονάδων επεξεργασίας, που οδηγούν σε αναγνώριση των μείζονων σχέσεων μεταξύ των μορφολογικών παραμέτρων που αναλύονται. Επίσης, βγήκε το συμπέρασμα ότι είναι απαραίτητος ένας ελάχιστος αριθμός κροκίδων για την ανάλυση εικόνας και ανιχνεύτηκε μια σημαντική επιρροή του σταδίου αραίωσης του δείγματος στο μέσο μέγεθος των κροκίδων, η οποία και επαληθεύτηκε.

Πιο αναλυτικά, αρχικά πραγματοποιήθηκαν κάποιες φυσικοχημικές αναλύσεις. Τα Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) και πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS) από τα δείγματα που εξετάστηκαν μετρήθηκαν σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους (APHA, 1992), και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6: Αποτελέσματα TSS και VSS για τα δείγματα από τις υπό εξέταση ΕΕΛ

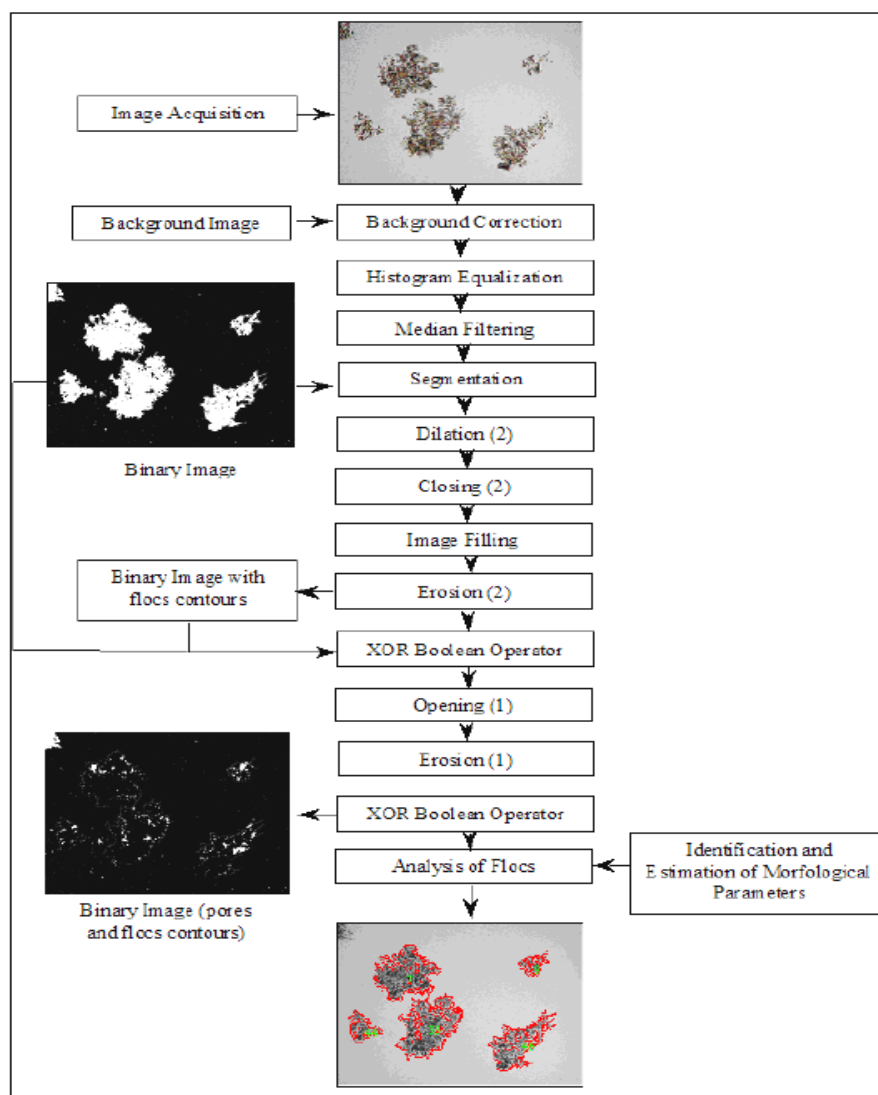
WWTP	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)
REPAR	3.6×10^3	3.0×10^3
Ilha do Governador	6.2×10^3	4.7×10^3
CIBA	2.8×10^3	2.3×10^3

Απόκτηση εικόνων από μικροβιακές κροκίδες

Για απόκτηση εικόνων από τα συσσωματώματα μια σταγόνα ιλύος εναποτίθεται επί ενός ολισθητήρα και προσεκτικά καλύπτεται με μία καλυπτρίδα. Απόκτηση εικόνων των κροκίδων στη διαφάνεια διεξήχθη με τη μικροσκοπική τεχνική φωτεινού πεδίου (μεγέθυνση 120x) χρησιμοποιώντας φωτονικό μικροσκόπιο (Nikon Eclipse 200) και διατηρώντας σταθερό φωτισμό για όλα τα δείγματα. Το μικροσκόπιο ήταν συζευγμένο με κάμερα CCD Nikon (COOLPIX 990), και η λήψη εικόνων πραγματοποιήθηκε σε 24 bit (16 εκατομμύρια χρώματα περίπου) και 2048x1536 pixels. Περίπου 50 ψηφιακές εικόνες αποκτήθηκαν για κάθε δείγμα και αποθηκεύτηκαν σε μορφή JPEG. Η βαθμονόμηση της μετρικής μονάδα διάστασης έγινε με τη βοήθεια ενός μικρομέτρου.

Ανάλυση εικόνας

Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το εμπορικό λογισμικό Image-Pro Plus® (έκδοση 4.5) (Media Cybernetic Inc.). Η ανάλυση των επεξεργασμένων εικόνων διεξήχθη με ποσοτικοποίηση διαφόρων παραμέτρων ευκλείδειας γεωμετρίας και από τη διάσταση κατάτμησης περιγράμματος των μικροβιακών κροκίδων. Η σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας απεικονίζεται στην Εικόνα 2.9



Εικόνα 2.9: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της ανάλυσης εικόνας

Το πρώτο βήμα της διαδικασίας συνίσταται στη μετατροπή των εικόνων RGB σε εικόνες διαβαθμισμένου γκρι χρώματος και ακολουθεί η εκ των υστέρων διόρθωση υποβάθρου για τη μείωση των άνισων εντάσεων υποβάθρου που προκαλείται από άνισο φωτισμό από το σύστημα λήψης εικόνας. Οι γκρι εικόνες στη συνέχεια ενισχύονται με τη βοήθεια των εργαλείων επεξεργασίας εικόνας (εξισορρόπηση ιστογράμματος και διάμεση διήθηση).

Μόλις οι ψηφιακές εικόνες έχουν βελτιωθεί, το επόμενο βήμα σχετίζεται με την εφαρμογή ενός βήματος τμηματοποίησης που βασίζεται στον αλγόριθμο του Zack (Rossin, 2001), προκειμένου να επιλεγούν τα μικροβιακά συσσωματώματα, καταλήγοντας σε δυαδικές εικόνες. Μετά την κατάτμηση, οι δυαδικές εικόνες είχαν επιπροσθέτως ενισχυθεί με μέσα μορφολογικών χειρισμών (διαστολή, κλείσιμο, πλήρωση) για να διευκολυνθεί η ανάλυση εικόνων. Σε αυτό το βήμα, το πορώδες διαχωρίστηκε από τις κροκίδες, χρησιμοποιώντας τον τελεστή Boole, βελτιώθηκε με τη βοήθεια των μορφολογικών φίλτρων (διάβρωση και άνοιγμα) και ένωσε και πάλι τις κροκίδες από τη λήψη εικόνων με ενισχυμένες κροκίδες και πορώδη.

Μορφολογικές Παράμετροι

Μόλις οι εικόνες υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με τη διαδικασία που περιγράφεται ανωτέρω, αρκετές μορφολογικές παράμετροι τόσο της ευκλείδειας γεωμετρίας (κυρτότητα, ικανότητα συμπύκνωσης, καμπυλότητα, αριθμός πορώδους, 2D-πορώδες, ισοδύναμη διάμετρος) και κλασματικής γεωμετρίας (διάσταση κατάτμησης του περιγράμματος) εκτιμήθηκαν από το λογισμικό.

1. Ευκλείδεια γεωμετρία

- Μέγεθος - Η κατανομή μεγέθους των μικροβιακών κροκίδων προσδιορίστηκε ως η ισοδύναμη διάμετρο κύκλου D_{eq} , που υπολογίζεται από την προβλεπόμενη περιοχή, ως:

$$D_{eq} = 2\sqrt{Area/\pi}$$

- Ποσοτικοποίηση σχήματος - Η κυρτότητα, η ικανότητα συμπύκνωσης και η καμπυλότητα εφαρμόστηκαν για την ποσοτικοποίηση του σχήματος και περιγράφουν το σχήμα του μικροβιακού συσσωματώματος. Το πλεονέκτημα χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους αυτές είναι το γεγονός ότι δεν είναι συναφείς με θέματα όπως ο προσανατολισμός, το μέγεθος και η θέση του αντικείμενου, κάτι το οποίο επιτρέπει τη σύγκριση κροκίδων που διαφέρουν σε αυτές τις πτυχές, αλλά έχουν το ίδιο σχήμα.

- *Ικανότητα συμπύκνωσης* ορίζεται η αναλογία μεταξύ της περιοχής των αντικειμένων και του εμβαδού ενός κύκλου με την ίδια περίμετρο.

Αυτή η παράμετρος παίρνει την τιμή 1 για κυκλικά αντικείμενα και τιμές χαμηλότερες από 1 για μη κυκλικά.

- *Η καμπυλότητα* υπολογίζεται από το λογισμικό μέσω της ακόλουθης

$$\text{έκφρασης: } Round = \frac{Perimeter^2}{4 \cdot \pi \cdot area}$$

Σύμφωνα με αυτήν την παράμετρο ένας κύκλος έχει καμπυλότητα ίση με 1 και υψηλότερες τιμές έχουν τα αντικείμενα με διαφορετικό σχήμα από αυτό του κύκλου.

- *Η κυρτότητα* επίσης ποσοτικά ορίζεται ως η αναλογία μεταξύ της κυρτής περιμέτρου ενός αντικείμενου και της περιμέτρου του, με τις δύο γεωμετρικές παραμέτρους να έχουν μετρηθεί από το λογισμικό Image Pro. Η κυρτή περίμετρος ορίζεται ως η περίμετρος του κυρτού περιγράμματος του αντικείμενου. Η κυρτότητα κυμαίνεται μεταξύ 0 για ακανόνιστο αντικείμενο και 1 για κυρτά αντικείμενα.

- Η παράμετρος 2D πορώδες συμπεριελήφθη επίσης σε αυτή η μελέτη. Εκτιμήθηκε από την παράμετρο οπής, η οποία περιγράφεται ως ο λόγος της περιοχής των αντικειμένων εξαιρουμένων των οπών για τη συνολική έκταση των αντικειμένων. Στη συνέχεια, το 2D-πορώδες μπορεί να οριστεί ως:
 $2D - Porosity = 100 \times (1 - Holeratio)$

2. Κλασματική Γεωμετρία

Η διάσταση κατάτμησης του περιγράμματος κροκίδων χρησιμοποιείται επίσης για τον χαρακτηρισμό των βακτηριακών συσσωματωμάτων. Αυτή η παράμετρος έχει χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες μελέτες για να χαρακτηριστεί το ακανόνιστο περίγραμμα του μικροβιακού συσσωματώματος. Στην παρούσα μελέτη, το λογισμικό ανάλυσης εικόνας εκτιμά άμεσα τη διάσταση κατάτμησης των κροκίδων με εφαρμογή της μεθόδου του πλαισίου μέτρησης (Liebovitch και Toth, 1989) που

εκτενώς χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία για την εκτίμηση της διάστασης κατάτμησης των συσσωματωμάτων. Οι τιμές για την παράμετρο αυτή είναι μεταξύ 1 και 2, που είναι μικρότερες τιμές για τα αντικείμενα με ακανόνιστο περίγραμμα και υψηλότερες τιμές για ιδιαίτερα ακανόνιστα αντικείμενα (Obert et al, 1990).

Στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων

Οι εκτιμώμενες μορφολογικές παράμετροι αναλύθηκαν με εφαρμογή του εμπορικού λογισμικού Statistica (StatSoft Inc, 2000) για να καθοριστεί η συνάρτηση κατανομής του μεγέθους των μικροβιακών συσσωματωμάτων με σκοπό την επαλήθευση των επιδράσεων του δείγματος αραίωσης στο μέγεθος των κροκίδων μέσω της μονόδρομης ANOVA στατιστικής τεχνικής. Για να προσδιοριστεί η σχέση αιτίας και αποτελέσματος μεταξύ των μορφολογικών παραμέτρων που αναλύθηκαν, χρησιμοποιήθηκε μονοπαραγοντική γραμμική συσχέτιση. Οι συσχετίσεις θεωρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ($p < 0,05$).

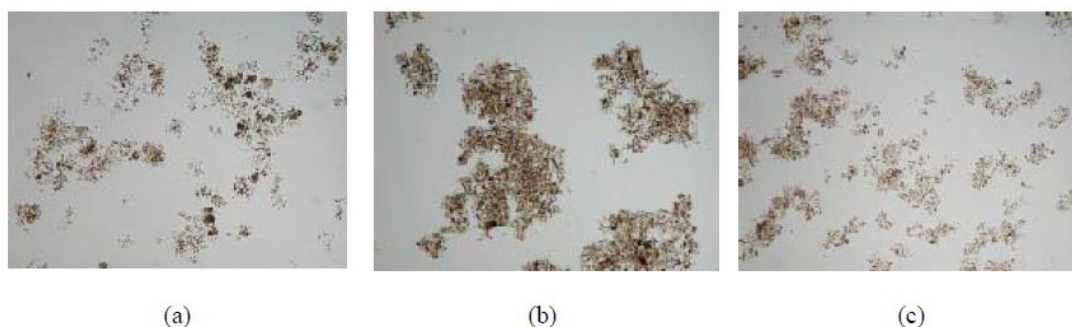
Παρουσίαση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

Μια οπτική μικροσκοπική ανάλυση των συσσωματωμάτων από τις τρεις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που αξιολογούνται στην παρούσα μελέτη έγινε πρώτον για να επαληθευτεί τη μορφολογική τους κατάσταση, που είναι ένα κρίσιμο βήμα για να προετοιμάσει μια αρκετά αξιόπιστη διαδικασία ικανή για επεξεργασία ψηφιακών εικόνων από μικροβιακά συσσωματώματα ανεξάρτητα από την φυσική τους πτυχή.

Η εικόνα 2.10 απεικονίζει τις ψηφιακές εικόνες των μικροβιακών κροκίδων που ανήκουν σε ενεργό ιλύ από κάθε μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Οι φωτογραφίες στην εικόνα 2.10 αποκαλύπτουν ότι οι υπό μελέτη κροκίδες ενεργού ιλύος εμφάνισαν σημαντικές φυσικές διαφορές που μπορεί να οφείλονται στη διαφορετική σύνθεση της εκροής που συνήθως επεξεργάζεται κάθε μία από αυτές τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Μπορεί να παρατηρηθεί, ότι οι κροκίδες λάσπης από την ΕΕΛ *Ilha do Governador* είναι πιο ανθεκτικές και ομογενείς από τα άλλα συσσωματώματα. Αυτό θα μπορούσε να εξηγηθεί από το γεγονός ότι τα λύματα σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων συνήθως παρουσιάζουν υψηλό οργανικό φορτίο που, σύμφωνα με τους Barbusinski και Koscielniak (1995), ευνοεί την αύξηση του μεγέθους των κροκίδων, το οποίο αποδίδεται στην αύξηση της παραγωγής μικροβιακών εξωπολυζακχαριτών υπό τέτοιες συνθήκες.

Οι Jin et al. (2003) κατά τη διάρκεια μιας μελέτης σύγκρισης καθίζησης των ενεργών ιλύων από 7 διαφορετικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων παρατήρησαν επίσης ότι οι κροκίδες λάσπης από συστήματα επεξεργασίας οικιακών λυμάτων παρουσιάζουν μέσα μεγέθη υψηλότερα από ό, τι εκείνες που ανήκουν σε βιομηχανικά συστήματα.

Από την άλλη πλευρά, έχει επίσης επαληθευτεί ότι τα μικροβιακά συσσωματώματα από τις ΕΕΛ REPAR και CIBA είναι λιγότερο ομογενή από εκείνα από την ΕΕΛ *Ilha do Governador*. Η διαφορά αυτή οφείλεται κυρίως στη σύνθεση των λυμάτων τους, συμπεριλαμβανομένης μιας ευρείας ποικιλίας χημικών που προήλθε από βιομηχανικές διεργασίες, που έχουν επισημανθεί ως ένας από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν όχι μόνο την μικροβιακή δραστηριότητα αλλά επίσης και το φαινόμενο της βιο-κροκίδωσης. Αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν ως αποτέλεσμα τη θραύση των μεγάλων κροκίδων και το σχηματισμό των μικρών και διαρθρωτικά αδύναμων κροκίδων που θα καθιζάνουν ελάχιστα στο διαυγαστήρα (ή καθόλου) και θα οδηγήσουν σε μια τελική εκροή με υψηλή θολότητα και οργανικής ύλης περιεχόμενο.



Εικόνα 2.10: Μικροσκοπικές εικόνες σε φωτεινό πεδίο (συνολική μεγέθυνση 120x) μικροβιακών κροκίδων από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, (a) κροκίδες από την ενεργό ιλύ της ΕΕΛ REPAR, (b) κροκίδες από την ενεργό ιλύ της ΕΕΛ Ilha do Governador, (c) κροκίδες από την ενεργό ιλύ της ΕΕΛ CIBA

Διαδικασία επικύρωσης ανάλυσης εικόνας

Η διαδικασία ανάλυσης εικόνας (Εικόνα 2.9) που αποτελείται από διαφορετικά εργαλεία επεξεργασίας εικόνας επικυρώθηκε σύμφωνα με την αποτελεσματικότητα της να προσδιορίζει μικροβιακά συσσωματώματα και τους πόρους/κροκίδες σε σχέση με ένα εγχειρίδιο ταυτοποίησης. Αυτή η δοκιμή εκτελέστηκε για ψηφιακές εικόνες κροκίδων ενεργού ιλύος από τις τρεις υπό μελέτη εγκαταστάσεις επεξεργασίας.

Ο Πίνακας 2.7 δείχνει το συνολικό αριθμό των κροκίδων που λήφθηκαν υπόψη στη δοκιμή επικύρωσης και τον αριθμό των κροκίδων που προσδιορίζονται σωστά από τη διαδικασία που αναπτύχθηκε μετά την επεξεργασία κάθε ομάδας εικόνων ενεργού ιλύος που αξιολογήθηκαν.

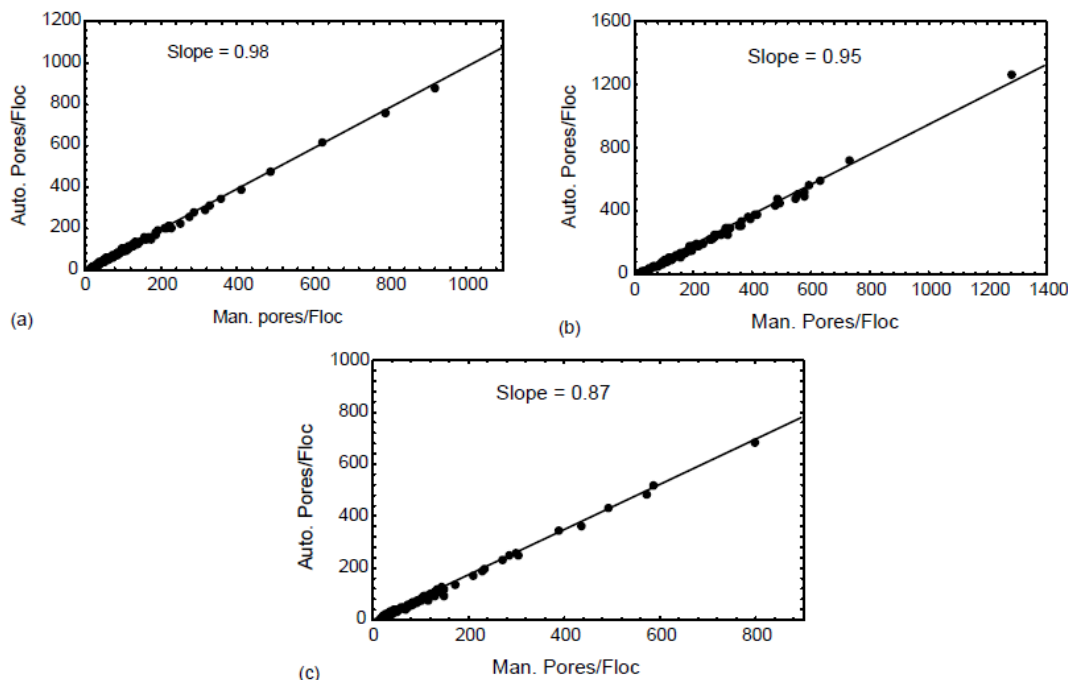
Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι η διαδικασία ανάλυσης εικόνας εμφάνισε το μεγαλύτερο σφάλμα αναγνώρισης (4,92%) όταν εφαρμόστηκε σε εικόνες ενεργού ιλύος από την ΕΕΛ REPAR. Το σφάλμα μειώθηκε στο 2%, όταν οι εικόνες των κροκίδων από την ΕΕΛ Ilha Governador υποβλήθηκαν σε επεξεργασία. Η χαμηλότερη τιμή αυτής της παραμέτρου (1%) επιτεύχθηκε μετά την εφαρμογή της διαδικασίας ανάλυσης εικόνας στις εικόνες που ανήκουν σε κροκίδες από την ΕΕΛ CIBA, πράγμα που σημαίνει ότι η προτεινόμενη διαδικασία επέτρεψε την ταυτοποίηση επαρκώς 95% των κροκίδων που περιλαμβάνονται στη δοκιμή επικύρωσης.

Πίνακας 2.7 Αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ταυτοποίησης των μικροβιακών κροκίδων με την ανάλυση εικόνας

Wastewater Treatment Plant	Total number of flocs	Number of flocs correctly identified	Identification error (%)	Effectiveness of identification (%)
REPAR	305	290	4.92	95.08
Ilha Governador	300	294	2.00	98.00
CIBA	315	312	1.00	99.00

Η διαδικασία της καταλληλότητας της ανάλυσης εικόνας για την αναγνώριση της σχέσης πόρων/κροκίδων μπορεί να επαληθευτεί στο Σχήμα 2.13, όπου απεικονίζεται ο συσχετισμός μεταξύ χειρωνακτικής και αυτόματης ταυτοποίησης πόρων/κροκίδων. Ελέγχθηκε ότι για τις ψηφιακές εικόνες δειγμάτων από την ΕΕΛ REPAR και την ΕΕΛ Ilha do Governador, οι τιμές της κλίσης της γραμμικής συσχέτισης ήταν πολύ κοντά στο 1 (0.98 και 0.95, αντίστοιχα) πράγμα που δείχνει

την υψηλή αποτελεσματικότητα της διαδικασίας για τον προσδιορισμό της παραμέτρου πόροι/κροκίδες. Μία μείωση στην κλίση (0.87) της γραμμικής συσχέτισης ελήφθη μετά την επεξεργασία των εικόνων δειγμάτων από την ΕΕΛ CIBA και άρα μείωση στην αποτελεσματικότητα ταυτοποίησης των πόρων/κροκίδων που ελήφθησαν μετά την επεξεργασία των εικόνων δειγμάτων από την ΕΕΛ CIBA.



Σχήμα 2.13 Ο αριθμός των πόρων/κροκίδες σε συνάρτηση του Deq για τα τρία δείγματα λάσπης που αξιολογήθηκαν (a) δείγματα από ΕΕΛ REPAR, (b) δείγματα από ΕΕΛ Iha do Governador, (c) δείγματα από την ΕΕΛ CIBA

Οι διαφορές στην αναγνώριση των κροκίδων και των πόρων/κροκίδων που λαμβάνονται μπορεί ίσως να εξηγηθεί αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι τα συσσωματώματα αυτά δεν είναι μόνο διαφορετικά στη μορφολογία τους, αλλά και στο χρώμα τους, το οποίο θα μπορούσε να παρεμβαίνει στο στάδιο του κατακερματισμού και, επομένως, στην αποτελεσματικότητα του λογισμικού για την εξαγωγή των αντικειμένων ενδιαφέροντος. Παρ'όλα αυτά το 87% της αποτελεσματικότητας της ταυτοποίησης των πόρων/κροκίδων μπορεί να θεωρηθεί ως επαρκές, λόγω της πολύπλοκης φύσης των μικροβιακών συσσωματωμάτων που παρουσιάζονται σε διεργασίες επεξεργασίας λυμάτων.

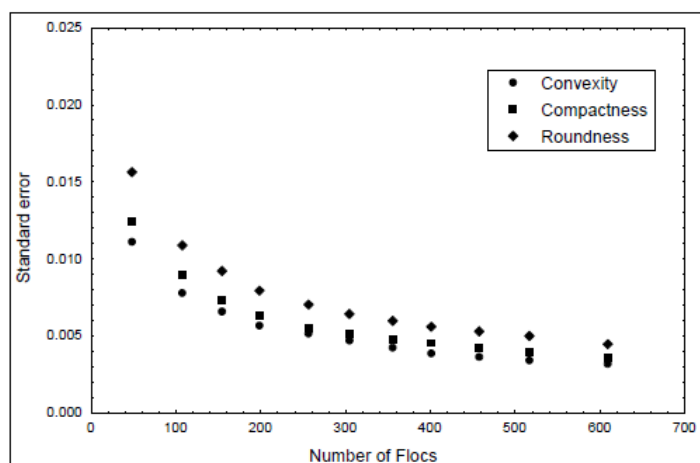
Άλλη πτυχή που αξιολογήθηκε ήταν ο ελάχιστος αριθμός των κροκίδων που πρέπει να συμπεριληφθούν στην ανάλυση εικόνας για να ληφθούν στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα. Για αυτή τη μελέτη, ένας αριθμός 70 εικόνων κροκίδων λάσπης από την ΕΕΛ REPAR αποκτήθηκαν και τυχαία επεξεργάστηκαν μέχρι που ο συνολικός αριθμός των κροκίδων έφθασε περίπου τις 600. Σε αυτήν την ανάλυση λήφθηκαν υπόψη οι μετρήσεις που αντιστοιχούν σε κυρτότητα, ικανότητα συμπίκνωσης και καμπυλότητα, δεδομένου ότι τέτοιες μορφολογικές παράμετροι είναι ανεξάρτητες από τον προσανατολισμό, το μέγεθος και τη θέση των αντικειμένων και επιτρέπουν την προέκταση των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται για τις κροκίδες της ΕΕΛ REPAR και σε άλλες ΕΕΛ.

Το Σχήμα 2.14 δείχνει ότι το τυπικό σφάλμα στις μετρήσεις έχει επιτύχει μια σταθερή τιμή, όταν ο αριθμός των κροκίδων που συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση

είναι περίπου 300, το οποίο σημαίνει ότι αυτός είναι ο ελάχιστος αριθμός αντικειμένων που είναι αναγκαίος για την επίτευξη σημαντικών αποτελεσμάτων. Για να ληφθεί αυτός ο αριθμός είναι αναγκαίο να επεξεργαστεί ένας μέσος αριθμός από 25 εικόνες κροκίδων λάσπης από την ΕΕΛ REPAR που περιέχει περίπου 10 έως 20 αντικείμενα σε κάθε μία. Ένας παρόμοιος αριθμός εικόνων θα πρέπει να υποβάλλεται σε επεξεργασία για την ΕΕΛ CIBA. Ωστόσο, ένας αριθμός εικόνων, αρκετά υψηλότερος (100 φωτογραφίες) απαιτείται για να περιλαμβάνει 300 αντικείμενα κατά την επεξεργασία των εικόνων από την μονάδα επεξεργασίας των αστικών λυμάτων, αφού κάθε εικόνα περιέχει περίπου 2 έως 3 κροκίδες, λόγω των μεγαλύτερων κροκίδων. Αυτά τα αποτελέσματα απέδειξαν ότι το μέγεθος των κροκίδων ενεργού ιλύος καθορίζει τον αριθμό των εικόνων που θα υποβληθούν σε επεξεργασία για την επίτευξη αντιπροσωπευτικής μορφολογική ποσοτικοποίησης αυτών των μικροβιακών συσσωματωμάτων.

Οι Grijspeerdts και Verstraete (1997), μελετώντας τη μορφολογία της ενεργού ιλύος, διαπίστωσαν ότι απαιτούνται τουλάχιστον 150 κροκίδες. Ο Jenne et al. (2002) ανέπτυξε μια αυτόματη μέθοδο ανάλυσης εικόνας που να αναγνωρίζει κροκίδες και νημάτια σε ένα δείγμα ενεργού ιλύος και ανέφερε ότι τουλάχιστον 50 εικόνες (που αντιστοιχούν σε περίπου 100 αντικείμενα) ήταν επαρκείς για την ποσοτικοποίηση τόσο των κροκίδων όσο και των νημάτων.

Οι διαφορές στα αποτελέσματα θα μπορούσαν να εξηγηθούν με βάση τις συνθήκες που χρησιμοποιούνται για την απόκτηση των εικόνων, όπως η μικροσκοπική τεχνική και η μεγέθυνση, η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει το τυπικό σφάλμα των μετρούμενων μορφολογικών παραμέτρων. Αυτές οι πτυχές ερευνήθηκαν από τον Carrete (1995) που εξέτασε μια σημαντική επιρροή της μεγέθυνσης σε διάφορες μετρήσεις μορφολογικών παραμέτρων και σημείωσε την αναγκαιότητα της χρήσης της ίδιας μεγέθυνσης στη διαδικασία μέτρησης. Σε αυτή τη μελέτη, οι εικόνες κροκίδων λάσπης αποκτήθηκαν χρησιμοποιώντας τη μικροσκοπική τεχνική του φωτεινού πεδίου με συνολική μεγέθυνση 120x, ενώ, στις μελέτες που διεξάγονται από τους Grijspeerdts και Verstraete (1997), ακολουθήθηκε η τεχνική του σκοτεινού πεδίου με μεγέθυνση 40x. Οι Jenne et al. (2002) χρησιμοποίησαν επίσης διαφορετικές συνθήκες λήψης: τεχνική αντίθεσης φάσης και μία μεγέθυνση 100x. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι οι συνθήκες απόκτησης επίσης καθορίζουν τη διαδικασία ανάλυσης εικόνας που πρέπει να εφαρμοστεί.



Σχήμα 2.14 : Τυπικό σφάλμα της κυρτότητας, της ικανότητας συμπύκνωσης και της καμπυλότητας σε συνάρτηση του αριθμού των κροκίδων.

Κατανομή μεγέθους κροκίδας

Εφόσον τα μικρότερα αντικείμενα παράγουν υψηλότερα σφάλματα στις μετρήσεις, είναι αναγκαίο να καθιερωθεί ένα κατώτερο όριο στη διαδικασία ανάλυσης εικόνας προκειμένου να αποκλειστούν τέτοια αντικείμενα από την ανάλυση. Από τον Russ (1995) παρατηρήθηκε ότι τα αντικείμενα με έναν αριθμό pixels μικρότερο από 0.1% του συνολικού αριθμού των pixels μιας εικόνας δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία στην παρούσα μελέτη μια σειρά κροκίδων μεγέθους μεταξύ 65 και 2000 μm θεωρήθηκε στη μορφολογική ανάλυση. Για κάθε δείγμα τρεις επαναλήψεις πραγματοποιήθηκαν και σε όλες τις περιπτώσεις, το ιστόγραμμα κατανομής μεγέθους αντανάκλωσε μία λογαριθμοκανονική κατανομή που περιγράφεται από τον παρακάτω τύπο:

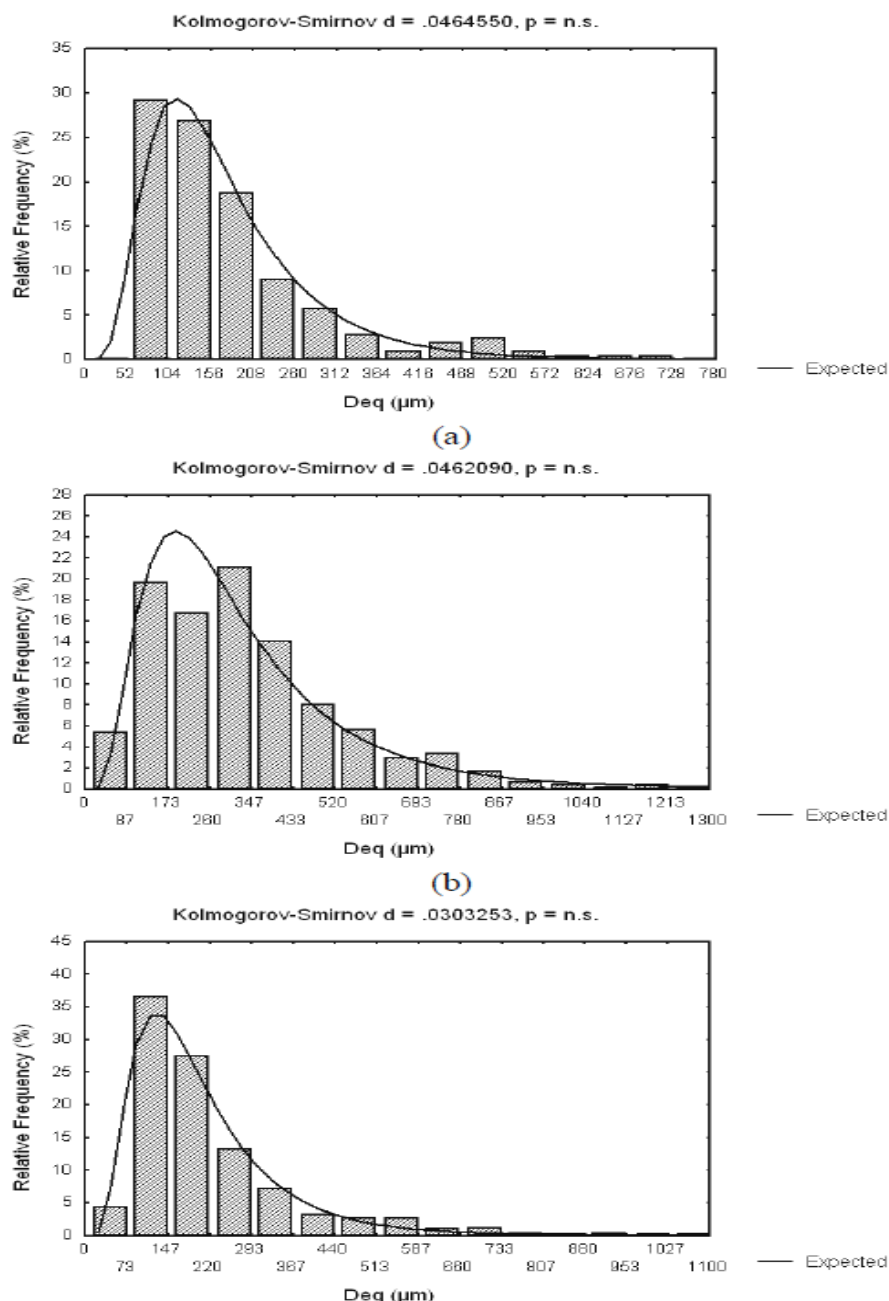
$$f(x) = \frac{1}{\sigma_{\ln x} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln x - \mu_{\ln x})^2}{2\sigma_{\ln x}^2} \right]$$

όπου x είναι το μέγεθος των κροκίδων, $\mu_{\ln x}$ και $\sigma_{\ln x}$ είναι αντίστοιχα η λογαριθμική μέση και η λογαριθμική τυπική απόκλιση ενός μεγέθους κροκίδων.

Η δοκιμασία Kolmogorov-Smirnov για επάρκεια ανακατανομής δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, που υποδεικνύει την κατάλληλη τοποθέτηση των πειραματικών δεδομένων σε μια κατανομή λογαριθμοκανονική. Σε προηγούμενες έρευνες, η κατανομή του μεγέθους των κροκίδων της ιλύος έχει επίσης περιγραφεί με την λογαριθμοκανονική έκφραση (Grijnspeerdit και Verstraete, 1997, Barbusinski και Koscielniak, 1995, Li και Ganczarczyk, 1991, Namer και Ganczarczyk, 1993). Σύμφωνα με τους Li και Ganczarczyk (1991), αυτό το είδος της κατανομής μπορεί να αναμένεται για τα σύνολα δεδομένων στα οποία μέρος από τις τιμές (σε αυτήν την περίπτωση μικρότερες από 65μm) έχει αφαιρεθεί αυθαίρετα.

Το Σχήμα 2.15 δείχνει τις κατανομές μεγέθους κροκίδων που εκφράζεται ως η συχνότητα εμφάνισης που επιτυγχάνεται για τις τρεις υπό αξιολόγηση ενεργές λάσπες. Τα μετρημένα συνολικά μεγέθη των δειγμάτων της ΕΕΛ REPAR κυμάνθηκαν στα 68 - 712 μm. Για τα δείγματα από τις ΕΕΛ CIBA και Iha do Governador το ανώτατο όριο για το εύρος του μεγέθους των κροκίδων σταδιακά θα στραφεί σε 920 και 1162 μm, αντιστοίχως.

Επαληθεύεται, επίσης, από το Σχήμα 2.15 ότι για δείγματα της ΕΕΛ REPAR η υψηλότερη συχνότητα αντιστοιχούσε με την κλίμακα μεγέθους 52 - 104 μm (29%), ενώ για δείγματα των ΕΕΛ Ciba και Iha do Governador, το υψηλότερο σημείο συχνότητας (36% και 21%, αντίστοιχα) μετατοπίζεται σταδιακά προς μεγαλύτερα μεγέθη: από 147 έως 220 μm για την ΕΕΛ Ciba και από 260 έως 346 μm για την ΕΕΛ Iha do Governador. Σε γενικές γραμμές, στο εξής η ληφθείσα κλίμακα για το μέγεθος των κροκίδων αντιστοιχεί σε μικροβιακά συσσωματώματα που συνήθως λαμβάνονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, όπως ποσοτικοποιείται με την τεχνική ανάλυσης εικόνας ή / και άλλων μεθόδων που αναφέρονται στη βιβλιογραφία.



Σχήμα 2.15 Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητας για την Ισοδύναμη Διάμετρο Deq των δειγμάτων (a) από ΕΕΛ REPAR, (b) από ΕΕΛ Iha do Governador, (c) από την ΕΕΛ CIBA

Ο Πίνακας 2.8 παρουσιάζει τις μέσες τιμές μεγέθους που αξιολογήθηκαν για τα μικροβιακά συσσωματώματα, καθώς και την τυπική απόκλιση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η ενεργός ιλύ από την ΕΕΛ Iha do Governador έχει τις μεγαλύτερες κροκίδες μεταξύ των τριών δειγμάτων που μελετήθηκαν, και ακολουθούν αυτές της CIBA και της REPAR όπως παρατηρήθηκε σε προηγούμενη μικροσκοπική παρατήρηση.

Πίνακας 2.8: Μέσες τιμές μεγέθους και αντίστοιχη τυπική απόκλιση για τα μικροβιακά συσσωματώματα που μελετήθηκαν για κάθε ΕΕΛ.

WWTP	Number of flocs	Mean (μm)	Std. Dev. (μm)
REPAR	309	177.4	116.2
Ilha do Governador	300	328.6	194.8
CIBA	304	195.4	125.4

Μορφολογία κροκίδας

Οι μορφολογικές παράμετροι που υπολογίστηκαν από διαφορετικά δείγματα ενεργού ιλύος μετά από την επεξεργασία εικόνας συγκρίθηκαν στατιστικά με σκοπό να εντοπιστούν οι σημαντικές σχέσεις μεταξύ τους. Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson (r_p) χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των γραμμικών συσχετίσεων. Οι τιμές του εύρους του συντελεστή Pearson μεταξύ -1 και 1, όπου -1 αντιστοιχεί σε τέλεια αρνητική συσχέτιση και +1 αντιστοιχεί στην τελειοποίηση θετικής συσχέτισης. Η τιμή 0 σημαίνει σε αυτήν την περίπτωση απουσία της σχέσης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης συσχέτισης συνοψίζονται στον Πίνακα 2.9.

Πίνακας 2.9: Τα αποτελέσματα της συσχέτισης για την καθίζηση και τις μορφολογικές παραμέτρους που μετρήθηκαν μετά από την εφαρμογή της διαδικασίας ανάλυσης εικόνας.

	Deq	2-De	Convex.	Comp.	Round.	FD
Deq	1	-0.0045*	-0.1139	-0.0758	0.0741	0.0827
2-De	-0.0045*	1	-0.3255	-0.019*	0.2058	0.4135
Convex.	-0.1139	-0.3255	1	0.2248	-0.7421	-0.7987
Comp.	-0.0758	-0.019*	0.2248	1	-0.6678	-0.2132
Round.	0.0741	0.2058	-0.7421	-0.6678	1	0.6129
FD	0.0827	0.4135	-0.7987	-0.2132	0.6129	1

*no significant correlation at $p < 0.05$

Είναι φανερό ότι η μορφολογική παράμετρος της καμπυλότητας συσχετίζεται καλά με την κυρτότητα, την ικανότητα συμπύκνωσης και, σε μικρότερο βαθμό, με τη διάσταση κατάτμησης των μικροβιακών συσσωματωμάτων με συσχετίσεις του Pearson της τάξης των -0,7421 -0,6678 και 0,6129, αντιστοίχως. Αυτές οι τιμές δείχνουν, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι πιο συμπαγείς και ομαλές κροκίδες τείνουν να παρουσιάζουν ένα πιο σφαιρικό σχήμα. Από την άλλη πλευρά, μια ιδιαίτερα ακανόνιστη δομή μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα λιγότερο σφαιρικό σχήμα των βιοκροκίδων. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ, ότι μια καλή συσχέτιση μεταξύ αυτών των παραμέτρων είναι επιθυμητή, δεδομένου ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συναχθεί το σχήμα μικροβιακών συσσωματωμάτων και να γίνει πρόβλεψη της καθίζησης της ενεργού ιλύος, η οποία επηρεάζεται πολύ από το σχήμα των συσσωματωμάτων (Grijnspeerdt και Verstraete, 1997, Jin et al, 2003., Namer και Ganczarczyk, 1993, Amaral et al., 2003).

Μια καλή συσχέτιση βρέθηκε μεταξύ διάστασης κατάτμησης και κυρτότητας που σημαίνει ότι η ομαλότητα/κανονικότητα των ορίων των κροκίδων αυξάνεται καθώς η κυρτότητα προσεγγίζει το 1, που αντιστοιχεί σε έναν κύκλο. Είναι γνωστό ότι η πολύ ανομοιογενής δομή των βιοκροκίδων είναι δύσκολο να περιγραφεί με ευκλείδεια γεωμετρία, η οποία οφείλεται κυρίως στη μορφοκλασματική φύση τους. Έτσι, η διάσταση κατάτμησης, που προέκυψε από την κλασματική θεωρία, έχει χρησιμοποιηθεί για να ξεπεραστούν αυτές οι δυσκολίες που είναι δυνατόν να εξηγήσουν κάποια απροσδόκητα φαινόμενα.

Οι Logan και Kilps (1995) απέδειξαν ότι διάσταση κατάτμησης αντικατοπτρίζει το υδροδυναμικό περιβάλλον στο οποίο τα συσσωματώματα σχηματίζονται όντας

δυνατόν να χρησιμοποιήσει αυτήν την παράμετρο για να μελετήσει τη διαδικασία συσσωμάτωσης.

Μια μικρότερη, αλλά σημαντική συσχέτιση ($r = 0.4135$) μεταξύ πορώδους (2-De) και διάστασης κατάτμησης των συσσωματωμάτων παρατηρήθηκε επίσης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.9 που υποδεικνύει ότι πιο ακανόνιστες κροκίδες παρουσιάζουν μια πορώδη δομή. Παρά το γεγονός ότι ο λόγος πόρων/κροκίδων αυξάνεται με την αύξηση του μεγέθους των κροκίδων (δεν παρουσιάζονται τα δεδομένα), δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του Deq και του πορώδους 2-D.

Παρά τις πρώτες μελέτες σχετικά με το πορώδες των συσσωματωμάτων της ιλύος, που χρησιμοποιώντας ελεύθερη δοκιμή καθίζησης και εκφράσεις που προέρχονται από το Νόμο του Stokes, έχουν αναφερθεί στην ύπαρξη μιας σχέσης μεταξύ του μεγέθους των κροκίδων και του πορώδους, πρόσφατες έρευνες έχουν αποδείξει ότι η εκτίμηση αυτής της παραμέτρου παρουσιάζει ένα ορισμένο βαθμό δυσκολίας, ο οποίος οφείλεται κυρίως στην εξαιρετικά πολύπλοκη δομή των μικροβιακών συσσωματωμάτων (Chu and Lee, in press). Οι Johnson et al. (1996) επαληθεύουν ότι το πορώδες των συσσωματωμάτων υπερεκτιμάται από τα δεδομένα της ταχύτητας καθίζησης και από το νόμο του Stokes. Οι Chung and Lee (2003) εκτίμησαν επίσης το πορώδες των κροκίδων της ενεργού ιλύος που βασίζεται στην ελεύθερη δοκιμή καθίζησης, με δοκιμές μετρήσεων βύθισης λόγω βάρους και συνεστιακές δοκιμές μικροσκοπίου laser, και αποδείχθηκε η ύπαρξη διαφοράς μεταξύ των τιμών πορώδους που υπολογίζεται με τέτοιες μεθόδους. Από την άλλη πλευρά, στην ανάλυση που περιγράφεται, οι εσωτερικοί πόροι των κροκίδων δεν συμπεριλήφθησαν παρά μόνο λήφθηκαν υπόψη οι εξωτερικοί πόροι που είναι ορατοί στις αντίστοιχες ψηφιακές εικόνες. Επιπλέον, η προβλεπόμενη περιοχή θεωρείται ως η συνολική επιφάνεια των κροκίδων. Σίγουρα αυτοί οι περιορισμοί θα μπορούσαν να επηρεάσουν σημαντικά την εκτίμηση της παραμέτρου αυτής.

Όσον αφορά την Deq, παρά τη στατιστική σημαντικότητα σε 95% επίπεδο εμπιστοσύνης, εκτός του πορώδους 2-D, οι γραμμικές συσχετίσεις που λαμβάνονται μεταξύ αυτής της παραμέτρου και των άλλων που μελετήθηκαν, δεν ήταν ισχυρή, όπως αποδεικνύεται από τις τιμές του συντελεστή r . Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η ανάλυση αυτή διεξήχθη σε λάσπες από διαφορετικές πηγές που θα μπορούσαν να εισάγουν ένα υψηλό επίπεδο σφάλματος στις μετρήσεις. Μια ατομική ανάλυση του κάθε δείγματος ιλύος θα πρέπει να πραγματοποιείται με σκοπό να μειωθεί η στάθμη αστοχίας των μετρήσεων.

Επίδραση της αραίωσης δείγματος

Προκειμένου να γνωρίζουμε την επίδραση στο προηγούμενο στάδιο αραίωσης του δείγματος που χρησιμοποιείται για την απόκτηση των ψηφιακών φωτογραφιών για τη μορφολογία των μικροβιακών συσσωματωμάτων, μία μελέτη για την επίδραση της κατανομής μεγέθους πραγματοποιήθηκε. Για το σκοπό αυτό, μια σειρά αραιωμένων δειγμάτων των EEL REPAR και Ilha do Governador παρασκευάστηκαν και έγιναν δύο επαναλήψεις ανά αραίωση.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.10 η αραίωση των δύο δειγμάτων προκάλεσε μία μείωση στο μέσο μέγεθος των κροκίδων. Αυτό το αποτέλεσμα ήταν ιδιαίτερα έντονο όταν τα αρχικά δείγματα υποβλήθηκαν σε μία αραίωση 1:1 (ίσα μέρη δείγματος: νερού), η οποία οδήγησε σε μείωση κατά 24% και 30% στο μέγεθος κροκίδων για τα δείγματα από τις EEL REPAR και Ilha do Governador, αντίστοιχα. Τα πειραματικά δεδομένα ήταν στατιστικώς επεξεργασμένα με την εφαρμογή της ανάλυσης μονόδρομης μεταβλητής (ANOVA-ανάλυση), προκειμένου να επιβεβαιωθεί η

σημαντική επίδραση της αραιώσης του δείγματος στο μέγεθος των κροκίδων. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης για τα δείγματα από τις δύο λάσπες παρουσιάζονται στους Πίνακες 2.11 και 2.12.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ANOVA δείχνουν την ύπαρξη σημαντικών διαφορών μεταξύ της σειράς των αραιώσεων που αξιολογήθηκαν σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, όπως υποδεικνύεται από την τιμή $p < 0,05$. Αυτά τα αποτελέσματα δεν είναι σε συμφωνία με εκείνα που λαμβάνονται από τον Carrete (1995), ο οποίος παρατήρησε ότι οι μετρήσεις των μορφολογικών παραμέτρων συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους των κροκίδων ήταν ανεξάρτητες από την αραιώση του δείγματος της ιλύος σε ένα εύρος συγκέντρωσης μεταξύ 0.5 και 4.0 g/L. Παρά το γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις των δειγμάτων λάσπης από τις EEL REPAR και Ilha do Governador ήταν στην περιοχή που αξιολογείται από αυτούς τους συγγραφείς (3 και 4,7 g/L, αντίστοιχα), η σημαντική επίδραση της αραιώσης επαληθεύεται το συντομότερο με τα αρχικά δείγματα λάσπης που υποβάλλονται στην πρώτη αραιώση (1:1). Αυτό το αποτέλεσμα επέτρεψε να συναχθεί το συμπέρασμα ότι το δείγμα ιλύος για απόκτηση ψηφιακών εικόνων θα πρέπει να προετοιμάζεται χωρίς προηγούμενη αραιώση για να ληφθούν ακριβείς μετρήσεις του μεγέθους των μικροβιακών κροκίδων.

Πίνακας 2.10: Σύνοψη των μέσων τιμών Deq των κροκίδων προκύπτουν από αραιώσεις για τις δύο υπό μελέτη ενεργές λάσπες

Dilution	REPAR	Ilha do Governador
not diluted	181.4 ± 117.1	328.6 ± 194.8
1:1	138.1 ± 58.1	229.5 ± 137.7
1:2	137.7 ± 59.7	213.0 ± 142.9
1:3	144.2 ± 66.8	221.8 ± 104.9
1:4	139.3 ± 77.6	204.5 ± 140.4

Πίνακας 2.11: Επίδραση του βήματος αραιώσης στο μέγεθος των κροκίδων για την ενεργό ιλύ της EEL REPAR

Source	Sum of Squares	Degree of freedom	Weighted Sum of squares	F	p-value
Effect	431926	4	107982	18.78	0.00
Error	8804486	1531	5751	-	-
Total	9236412	1535	-	-	-

Πίνακας 2.12 Επίδραση του βήματος αραιώσης στο μέγεθος των κροκίδων για την ενεργό ιλύ της EEL Ilha do Governador

Source	Sum of Squares	Degree of freedom	Weighted Sum of squares	F	p-value
Effect	3027880	4	756970	33.11	0.00
Error	30704448	1343	22863	-	-
Total	33732328	1347	-	-	-

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα που ελήφθησαν σε αυτή την εργασία από τους ερευνητές συνοψίζονται στα εξής:

1. Η διαδικασία ανάλυσης της εικόνας που λαμβάνεται για επεξεργασία ψηφιακών εικόνων κροκίδων λάσπης είναι επαναλήψιμη και επαρκής για να χαρακτηρίσει τη μορφολογία των διαφορετικών τύπων ιλύος όπως αποδεικνύεται από τους ελέγχους επικύρωσης.
2. Ως ελάχιστο, συνολικά 300 κροκίδες θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση της εικόνας, με σκοπό την απόκτηση σημαντικών στατιστικών αποτελεσμάτων στις μορφολογικές ποσοτικοποιήσεις.

3. Το ιστόγραμμα κατανομής μεγέθους αντανakλούσε λογαριθμοκανονική κατανομή για όλα τα δείγματα ιλύος που δοκιμάστηκαν.
4. Μορφολογική ποσοτικοποίηση της βιοκροκίδωσης μετά την επεξεργασία ψηφιακών εικόνων απέδειξε ότι οι κροκίδες λάσπης από την ΕΕΛ Pha do Governador παρουσίασαν το υψηλότερο μέσο μέγεθος.
5. Η παράμετρος καμπυλότητα συσχετίζεται καλά με την κυρτότητα, την ικανότητα συμπύκνωσης και σε μικρότερο βαθμό, με τις παραμέτρους διάστασης κατάτμησης, και αυτοί οι συσχετισμοί είναι πολύ σημαντικοί για την περιγραφή του σχήματος των μικροβιακών συσσωματωμάτων και την πρόβλεψη της καθίζησης της ενεργού ιλύος.
6. Η παράμετρος πορώδες συσχετίζεται θετικά σε ένα μικρότερο βαθμό με τη διάσταση κατάτμησης των μικροβιακών συσσωματωμάτων που δείχνει ότι οι εξαιρετικά πορώδεις κροκίδες είναι πολύ ακανόνιστες.
7. Είναι επιβεβαιωμένη η σημαντική επιρροή του σταδίου της αραίωσης του δείγματος στο μέσο μέγεθος των κροκίδων για τα δείγματα ιλύος που αναλύθηκαν. Μείωση του μεγέθους των κροκίδων παρατηρήθηκε με την αύξηση της αραίωσης του δείγματος.

Χρήση της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας πραγματοποιήθηκε και σε έρευνα του Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας (Χιουρέα Βασιλική, 2013). Στόχος της έρευνας ήταν η ανάπτυξη μιας μεθόδου ανάλυσης της μικροσκοπικής εικόνας δειγμάτων ενεργού ιλύος με σκοπό τον υπολογισμό των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων και εν συνεχεία ο προσδιορισμός των μεταξύ τους συσχετίσεων. Επιπλέον, άλλος ένας στόχος ήταν ο προσδιορισμός της συσχέτισης των χαρακτηριστικών καθιζησιμότητας, δηλαδή των σταθερών V_0 και n της εξίσωσης Vesilind, με το δείκτη καθιζησιμότητας ενεργού ιλύος (DSVI), καθώς και τη διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος.

Οι παράμετροι που επιλέχθηκε να εξεταστούν ήταν: η επιφάνεια, η περίμετρος, ο μέγιστος άξονας, ο ελάχιστος άξονας, η ελάχιστη διάμετρος, η μέση διάμετρος, η καμπυλότητα και το aspect ratio. Επιπλέον, η μέθοδος εφαρμόστηκε για την εξέταση δειγμάτων ανάμικτου υγρού που προέρχονταν από διάφορα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα.

Αρχικά, από τη διαδικασία επικύρωσης της μεθόδου, βγήκε το συμπέρασμα ότι η μέθοδος αυτή διέθετε επαναληψιμότητα, καθώς αν εξαιρεθεί η επιφάνεια, όλες οι άλλες παράμετροι δεν παρουσίαζαν σημαντικές αποκλίσεις από τον μέσο όρο. Επίσης, δεν παρουσιάζονταν σημαντικά σφάλματα και αυτό επικύρωνε τη μεγάλη ακρίβεια της μεθόδου.

Από τις αθροιστικές κατανομές των αποτελεσμάτων της κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η νηματοειδής διόγκωση σχετίζεται με το σχήμα και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των κροκίδων. Πιο συγκεκριμένα, παρατήρησε ότι σε συστήματα που δεν παρουσίαζαν νηματοειδή διόγκωση, οι παράμετροι aspect ratio και η καμπυλότητα εμφάνιζαν μικρότερες τιμές και επομένως σε αυτά τα συστήματα οι κροκίδες έτειναν να αναπτύσσουν πιο σφαιρικό σχήμα. Επίσης, τα συστήματα που εμφάνιζαν υψηλό δείκτη νηματοειδών μικροοργανισμών παρουσίαζαν μικρές διαμέτρους και μικρή επιφάνεια κροκίδων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

3.1 Περιγραφή αναλυτικών μεθόδων

3.1.1 Προσδιορισμός των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS)

Η μέτρηση των ολικών αιωρούμενων στερεών πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο 2540D που περιγράφεται στον πρότυπο κανονισμό Standard Methods 18th edition (A.P.H.A, 1992).

Οι συσκευές και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία προσδιορισμού των ολικών αιωρούμενων στερεών ήταν ένα αναλυτικός ζυγός ακριβείας, ένας φούρνος των 550°C, μια μονή συσκευή διήθησης και μια αντλία κενού, ένας φούρνος των 103°C, ένας ξηραντήρας, ειδικές λαβίδες και φίλτρα GF/C διαμέτρου 4,7cm.

Τα φίλτρα GF/C ανήκουν στα στρωματικά φίλτρα, τα οποία συγκρατούν τα σωματίδια κατά μήκος του στρώματος του φίλτρου, παγιδεύοντάς τα μέσα σε ένα πλέγμα από ανόργανες ίνες από τις οποίες αποτελείται το φίλτρο (glass fibre filters GF/C). Έτσι, τα στρωματικά φίλτρα (π.χ. GF/C φίλτρα) είναι τα πλέον κατάλληλα για τον διαχωρισμό των διαφόρων κλασμάτων των στερεών. Ο φούρνος των 550°C, απαιτείται για την προξήρασή τους.

Ο αναλυτικός ζυγός ακριβείας χρησιμοποιείται για την ακριβή ζύγιση και καταγραφή του βάρους των φίλτρων σε διάφορες χρονικές στιγμές κατά την πειραματική διαδικασία. Η διήθηση του δείγματος, για τον διαχωρισμό του ιζήματος από το διάλυμα, πραγματοποιείται με μια συσκευή διήθησης που συνδέεται με την αντλία κενού, αφού τοποθετηθεί πρώτα σε αυτή το φίλτρο.

Ο φούρνος των 103°C είναι απαραίτητος στην πειραματική διαδικασία, δεδομένου ότι γενικά η εξάτμιση διαχωρίζει το νερό από τα στερεά. Η εξάτμιση του νερού συνήθως γίνεται στους 103-105°C ή στους 179-181°C. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες συνήθως χρησιμοποιούνται όταν έχουμε δείγματα που περιέχουν οργανικές ουσίες που μπορεί να εξατμισθούν μαζί με το νερό στους 180°C. Γενικά παρατηρείται πολύ μικρή απώλεια ανόργανων στερεών στους 103°C. Μόνο κάποιες μικρές ποσότητες CO₂ μπορεί να εκλυθούν λόγω μετατροπής των όξινων ανθρακικών σε ανθρακικά. Κάποια προβλήματα παρουσιάζονται κατά τον διαχωρισμό του νερού από τα στερεά στους 103°C λόγω κάποιων ποσοτήτων νερού που δεν εξατμίζονται πλήρως λόγω παγίδευσης του νερού σε κρυστάλλους ένυδρων ανόργανων αλάτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις προτιμάται η μέτρηση των στερεών στους 179-181°C, όπου όμως υπάρχει ο κίνδυνος απώλειας ποσοτήτων ανθρακικού αμμωνίου. Πάντως στις περιπτώσεις προσδιορισμού των στερεών σε λύματα προτιμάται ο προσδιορισμός των στερεών στους 103°C (Μαμάης, 2009).

Ο ξηραντήρας είναι μια συσκευή αεροστεγώς κλειστή, στην οποία τα δείγματα μπορούν να διατηρούνται σε ξηρή κατάσταση μετά την ξήρασή τους και έως ότου έρθουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Όλες οι συσκευές που είναι απαραίτητες για την πειραματική διαδικασία προσδιορισμού των ολικών αιωρούμενων στερεών και περιγράφηκαν συνοπτικά παραπάνω εικονίζονται παρακάτω (Εικόνα 3.1).



α) Αναλυτικός ζυγός ακριβείας



β) Φούρνος των 103°C



γ) Ξηραντήρας



δ) Φούρνος των 550°C



ε) Συσκευή διήθησης



στ) Αντλία κενού



ζ) Πιπέτες & πουάρ

Εικόνα 3.1: Συσκευές απαραίτητες στην πειραματική διαδικασία για τον προσδιορισμό των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) και εν συνεχεία των αιωρούμενων οργανικών στερεών (VSS).

Πειραματική διαδικασία

Για τον προσδιορισμό των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- 1) Ζυγίζεται το προξηραμένο φίλτρο GF/C στον αναλυτικό ζυγό ακριβείας και καταγράφεται το βάρος του. Το φίλτρο είναι προξηραμένο στους 550°C σε ειδικό φούρνο, για περίπου ένα τέταρτο και για περίπου ακόμα ένα τέταρτο πριν τη μέτρηση στον αναλυτικό ζυγό ακριβείας έχει τοποθετηθεί και στον ξηραντήρα.
- 2) Το φίλτρο τοποθετείται με χρήση ειδικής λαβίδας και ιδιαίτερη προσοχή στη μονάδα διήθησης και χρησιμοποιώντας αντλία κενού διηθούνται τα ml του δείγματος ανάμικτου υγρού ή ιλύος από την επανακυκλοφορία. Η εξαγωγή δείγματος γίνεται με τη χρήση πιπέτας για τον ακριβή προσδιορισμό της ποσότητας δείγματος προς διήθηση και εφόσον πρώτα το δείγμα έχει ομογενοποιηθεί χειρονακτικά. Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν επιλέχτηκε διήθηση 10-15ml δείγματος.
- 3) Αφαιρείται το φίλτρο με ειδική λαβίδα μετά τη διήθηση του δείγματος και τοποθετείται σε ειδική βάση από αλουμινόχαρτο στον φούρνο των 103°C για ξήρανση για μία ώρα.
- 4) Μετά το πέρας της μίας ώρας το φίλτρο τοποθετείται στον ξηραντήρα για περίπου 10-15 λεπτά, έως ότου έρθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- 5) Κατόπιν πραγματοποιείται εκ νέου μέτρηση του βάρους του δείγματος που περιέχει και το ξηραμένο υπόλειμμα πλέον, στον αναλυτικό ζυγό ακριβείας και καταγράφεται το βάρος του.
- 6) Εν συνεχεία μπορεί να γίνει ο υπολογισμός των ολικών αιωρούμενων στερεών/L:

$$TSS \text{ (mg/l)} = (B - A) \times 1000 / \text{όγκος V του δείγματος σε ml}$$

όπου : B = βάρος φίλτρου μετά την ξήρανση στους 103°C (βάρος φίλτρου+ ξηραμένο υπόλειμμα διηθημένου δείγματος, σε mg

A = αρχικό βάρος προξηραμένου φίλτρου, σε mg

3.1.2 Προσδιορισμός των αιωρούμενων οργανικών στερεών (VSS)

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας προσδιορισμού των ολικών αιωρούμενων στερεών, ακολουθεί ο προσδιορισμός των αιωρούμενων οργανικών στερεών. Έτσι, μετά από την διαδικασία που ακολουθήθηκε παραπάνω, πραγματοποιείται καύση των οργανικών στερεών, τοποθετώντας το φίλτρο μέσα σε αλουμινόχαρτο (καλά κλεισμένο) στον φούρνο των 550°C, για περίπου 15-20 λεπτά.

Η καύση στοχεύει στον διαχωρισμό των στερεών σε οργανικά και ανόργανα στερεά. Τα οργανικά στερεά καταστρέφονται στους 550°C σε 15-30 min. Σε αυτές τις θερμοκρασίες εξαερώνονται εκτός των οργανικών στερεών, κάποιες ποσότητες χλωριούχων και νιτρικών αλάτων και η πλειονότητα των αμμωνιακών και ανθρακικών ανόργανων ενώσεων.

Εν συνεχεία, το φίλτρο απομακρύνεται πολύ προσεκτικά με χρήση ειδικής λαβίδας από το φούρνο των 550°C και τοποθετείται στον ξηραντήρα για περίπου ένα τέταρτο, έως ότου να έρθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ακολουθεί μέτρηση του φίλτρου στον αναλυτικό ζυγό ακριβείας και καταγραφή του βάρους του.

Ο υπολογισμός των αιωρούμενων οργανικών στερεών ακολουθεί ως εξής:

$$VSS \text{ (mg/l)} = (B - \Gamma) \times 1000 / \text{όγκο V του δείγματος, σε ml}$$

όπου : Γ = βάρος φίλτρου μετά τους 550°C, σε mg

B = βάρος φίλτρου μετά την ξήρανση στους 103°C σε mg

3.2 Περιγραφή μικροσκοπικών παρατηρήσεων

3.2.1 Εξοπλισμός για μικροσκοπικές παρατηρήσεις

Για τη μικροσκοπική ανάλυση των δειγμάτων ενεργού ιλύος, καταρχήν απαιτείται η χρήση ενός καλού μικροσκοπίου, το οποίο θα επιτρέψει την παρατήρηση των δειγμάτων. Το μικροσκόπιο που διαθέτει το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τις μικροσκοπικές παρατηρήσεις, είναι ένα ορθό μικροσκόπιο Nikon Eclipse 80 με τεχνική τεχνική αντίθεσης φάσης και διαθέτει τρεις φακούς 10x, 20x και 100x, οι οποίοι μεγεθύνουν 100, 200 και 1000 φορές αντίστοιχα.

Ένα μικροσκόπιο αντιθέτων φάσεων, έχει τη δυνατότητα να μπορεί να ξεχωρίσει μικρές διαφορές για τη διάκριση των ποικίλων χαρακτηριστικών των μικροοργανισμών που παρατηρούνται στην ενεργό ιλύ, σε αντίθεση με ένα απλό μικροσκόπιο φωτεινού πεδίου.

Το μικροσκόπιο του Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ, είναι συνδεδεμένο με μια ηλεκτροκίνητη τράπεζα (Marzhanser Tango 3-axis) με κίνηση στους άξονες x και y και διαθέτει έγχρωμη ψηφιακή κάμερα μικροσκοπίας Lumenera Infinity 1-3c, με ανάλυση εικόνας 2048x1536 pixel και 24bit. Η ηλεκτροκίνητη τράπεζα μπορεί να κινείται με τη βοήθεια ενός χειριστηρίου που διαθέτει ένα μοχλό κίνησης στις δύο προαναφερθείσες κατευθύνσεις.

Τέλος, το μικροσκόπιο είναι επίσης συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος διαθέτει λειτουργικό σύστημα Windows και το λογισμικό Image-pro (Media Cybernetics) που είναι κατάλληλο για ανάλυση και μορφομετρία εικόνων.



Εικόνα 3.2: Μικροσκόπιο με ηλεκτροκίνητη τράπεζα και χειριστήριο καθώς και έγχρωμη ψηφιακή κάμερα μικροσκοπίας στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ.

3.2.2 Συμβατικές μικροσκοπικές παρατηρήσεις

Εξέταση δείγματος σε μικροσκόπιο στον φακό 20x, αντιθέτων φάσεων

Για την μικροσκοπική παρατήρηση ενός δείγματος, εκτός από το μικροσκόπιο είναι απαραίτητο να διαθέτουμε ειδικές γυάλινες αντικειμενοφόρες πλάκες (slides), πάνω στις οποίες τοποθετείται μια σταγόνα καλά ανακατεμένου δείγματος (περίπου 0,05ml), καθώς και μικρές γυάλινες καλυπτρίδες, οι οποίες τοποθετούνται πάνω από τη σταγόνα του δείγματος, με τέτοιο τρόπο ώστε αυτή να απλωθεί και να καλύψει το χώρο κάτω από το λεπτό αυτό γυαλί. Σχεδόν πάντα, είναι απαραίτητη η άσκηση πίεσης πάνω στην καλυπτρίδα με κάποιο αμβλύ αντικείμενο ή με λίγο χαρτί και απομάκρυνση του υγρού που αποβάλλεται από τα πλαϊνά των αντικειμενοφόρων πλακών με απορροφητικό χαρτί. Η λεπτομερής αυτή διαδικασία είναι απαραίτητη ώστε να επιτευχθεί το ελάχιστο βάθος στο οποίο μπορεί να εστιάσει το μικροσκόπιο. Οι αντικειμενοφόρες πλάκες συνήθως έχουν διαστάσεις 25mmx75mm ή 26mmx76mm, ενώ οι καλυπτρίδες συνήθιζεται να είναι πιο μικρές με διαστάσεις 24mmx32mm ή 22mmx22mm.

Όταν ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, το γυάλινο πλακίδιο τοποθετείται με προσοχή στην κατάλληλη θέση του μικροσκοπίου για να ξεκινήσει η εξέταση του δείγματος. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο φακός δεν πρέπει να ακουμπάει στο γυάλινο πλακίδιο.

Τα χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι τα εξής:

- 1) Η επίδραση των νηματοειδών μικροοργανισμών στις κροκίδες της ενεργού ιλύος: Εξετάζεται δηλαδή: α) αν και κατά πόσο τα νηματοειδή βακτήρια αποτελούν τη «ραχοκοκκαλιά» των βιοκροκίδων, β) αν τα νηματοειδή βακτήρια συμβάλουν στην δημιουργία γεφύρωσης μεταξύ των κροκίδων με τα νημάτιά τους, δεδομένου ότι αυτά προεξέχουν στο υγρό διάλυμα, γ) αν προκαλούν τη δημιουργία κροκίδων ανοιχτής δομής, δηλαδή κροκίδων με

- ακαθόριστο σχήμα, μεγάλο μέγεθος και κενά και δ) αν σχηματίζονται συσσωματώματα από κροκίδες που ενώνονται μεταξύ τους.
- 2) *Τα χαρακτηριστικά των κροκίδων*: Εξετάζεται δηλαδή: α) το μέγεθος των κροκίδων, δηλαδή η μέγιστη διάμετρος αν η κροκίδα προσομοιαστεί με σφαιρική (οι μικρές κροκίδες έχουν διάμετρο μικρότερη από 150μm, οι μεσαίες από 150-500μm και οι μεγάλες μεγαλύτερη από 500μm), β) το σχήμα των κροκίδων, δηλαδή αν είναι στρογγυλές ή ακαθόριστου σχήματος και γ) η μορφή των κροκίδων, δηλαδή αν είναι ή όχι συμπαγείς.
 - 3) *Τα ανόργανα στερεά*: Αν υπάρχουν ανόργανα στερεά αυτά ξεχωρίζουν λόγω της έντονης λάμψης τους.
 - 4) *Οι οργανικές ίνες*: Η παρουσία οργανικών μορίων μπορεί να μας προσφέρει πληροφορίες για το αν υπάρχει πρωτοβάθμια επεξεργασία στην εγκατάσταση ή για το αν πραγματοποιείται επανακυκλοφορία χωνεμένης ιλύος από κάποιο σημείο των έργων επεξεργασίας της ιλύος.
 - 5) *Τα ελεύθερα κύτταρα* : Η παρουσία ελεύθερων κυττάρων σε ένα δείγμα, καταδεικνύει ότι στην τελική εκροή υπάρχει θολότητα. Τα ελεύθερα κύτταρα συναντώνται συνήθως όταν η συντήρηση του δείγματος πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες, προκαλώντας σηπτικότητα ή αν δεν υπάρχει ο απαραίτητος χώρος στον δειγματοληπτικό σωλήνα.
 - 6) *Η παρουσία μικροοργανισμών Zoogloea*: Αν εντοπιστεί αυτή η κατηγορία μικροοργανισμών συνάγεται το συμπέρασμα ότι το σύστημα έχει υψηλή οργανική φόρτιση, δηλαδή συνήθως σε συστήματα που εφαρμόζονται επιλογείς.
 - 7) *Η παρουσία Spirochaetes*: Τα συγκεκριμένα βακτήρια αναπτύσσονται κυρίως σε συνθήκες χαμηλής συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου και υψηλής συγκέντρωσης οργανικών οξέων και κινούνται ελεύθερα στο υγρό ανάμεσα στις κροκίδες. Η παρουσία τους συνδέεται άμεσα με τη σηπτικότητα των εισερχόμενων λυμάτων ή του ανάμικτου υγρού.
 - 8) *Ο εντοπισμός πρωτοζώων, ασπόνδυλων και τριχοπόδιων*: Αν εντοπιστούν γίνεται μια καταγραφή του αριθμού τους.
 - 9) *Η αφθονία των νηματοειδών βακτηρίων ή δείκτης των νηματοειδών (Filament Index-FI)*: Πρόκειται για ένα δείκτη με εύρος τιμών από 0-5 και υποδηλώνει το πλήθος και τη συγκέντρωση των νηματοειδών μικροοργανισμών στο σύνολο των μικροοργανισμών του δείγματος, όπου ως 0 νοείται η πλήρης απουσία νηματοειδών βακτηρίων και ως 5 η υπερβολική παρουσία αυτών. Η μέθοδος FI αναπτύχθηκε από τους Eikelboom et al., το 1981. Εκτός από το δείκτη νηματοειδών (FI), οι μικροσκοπικές αναλύσεις στοχεύουν και στον εντοπισμό των κυρίαρχων νηματοειδών βακτηρίων στο δείγμα του ανάμικτου υγρού, αλλά και στον καθορισμό του πληθυσμού τους με έναν ειδικό δείκτη νηματοειδών (Specific Filament Index-SFI). Ο δείκτης SFI βαθμονομείται στην ίδια κλίμακα με το δείκτη FI, δηλαδή από το 0-5. Η διαφορά με την αντίστοιχη κλίμακα των Jenkins et al. (1993), η οποία κυμαίνεται μεταξύ 0-6, είναι ότι για μικρότερους δείκτες η αντίστοιχη ποσότητα των νηματοειδών είναι

αυξημένη. Πρέπει να επισημανθεί επίσης, ότι η βαθμονόμηση είναι καθαρά υποκειμενική, καθώς υπόκειται στα κριτήρια του εκάστοτε ερευνητή.

Εξέταση δείγματος σε μικροσκόπιο στον φακό 100x, αντιθέτων φάσεων

Η μικροσκοπική παρατήρηση συνεχίζεται με την προετοιμασία ενός νέου πλακιδίου ακολουθώντας την διαδικασία που έχει προαναφερθεί, με τη διαφορά ότι για την εξέταση του δείγματος σε μεγαλύτερη μεγέθυνση απαιτείται η προσθήκη μιας σταγόνας από ειδικό λάδι, η οποία τοποθετείται μεταξύ καλυπτρίδας και φακού. Ο λόγος που χρειάζεται να προστεθεί το ειδικό αυτό λάδι, είναι γιατί τώρα η πλάκα ακουμπά πάνω στο φακό, και με το λάδι θα αποφευχθεί η εκτροπή του φωτός του μικροσκοπίου από τη διεπιφάνεια του γυαλιού λόγω διάθλασης.

Εξετάζεται λοιπόν το δείγμα σε μεγαλύτερη μεγέθυνση, με χρήση του φακού 100x του μικροσκοπίου, με σκοπό να γίνει μια πρώτη αναγνώριση των νηματοειδών μικροοργανισμών, με βάση τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά. Εν συνεχεία, γίνεται μια εκτίμηση των νηματοειδών που κυριαρχούν στο δείγμα, με βάση τον αριθμό των νημάτων τους. Ένας εμπειρικός κανόνας που ακολουθείται για την εκτίμηση αυτή είναι ότι ένας νηματοειδής μικροοργανισμός είναι δευτερέων, όταν το πλήθος των νημάτων του είναι 10-20 φορές μικρότερο από το αντίστοιχο πλήθος νημάτων του κυρίαρχου.

Χρωστικές τεχνικές Gram και Neisser

Με τη βοήθεια των χρωστικών τεχνικών Gram και Neisser, γίνεται η τελική αναγνώριση όλων των νηματοειδών μικροοργανισμών που υπάρχουν σε ένα δείγμα ενεργού ιλύος, ο δείκτης νημάτων που αντιστοιχεί σε κάθε τύπο, καθώς και η σειρά με την οποία εμφανίζονται στο δείγμα (Νουτσόπουλος, 2002).

Χρώση κατά Gram

Η εφαρμογή της χρώσης κατά Gram, προϋποθέτει την παρασκευή τεσσάρων διαλυμάτων τα οποία διατηρούνται για 3-6 μήνες.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

- 1) Σε μια αντικειμενοφόρο πλάκα, τοποθετείται μια σταγόνα από το δείγμα της ενεργού ιλύος, η οποία απλώνεται σε όλη την πλάκα. Η εφαρμογή των διαλυμάτων ξεκινά αφού πρώτα έχει στεγνώσει πολύ καλά το δείγμα.
- 2) Η πλάκα χρωματίζεται με το πρώτο διάλυμα, για ένα περίπου λεπτό και στη συνέχεια ξεπλένεται με νερό πολύ γρήγορα (1 δευτερόλεπτο). Το πρώτο διάλυμα περιλαμβάνει ένα μείγμα από 2gr Crystal Violet, 20ml Αιθανόλης 95%, 0,8gr Οξαλικό αμμώνιο και 20ml αποσταγμένο νερό.
- 3) Η πλάκα χρωματίζεται με το δεύτερο διάλυμα, πάλι για ένα λεπτό και ξεπλένεται καλά αυτή τη φορά με νερό. Το δεύτερο διάλυμα περιλαμβάνει 1gr ιωδίου, 2gr ιωδιδίου του καλίου και 300ml αποσταγμένου νερού.
- 4) Κρατώντας την πλάκα από τη μία άκρη, την αποχρωματίζουμε, με το τρίτο διάλυμα που είναι αιθανόλη 95%, η οποία εφαρμόζεται σταγόνα-σταγόνα πάνω στην πλάκα, για περίπου 25 δευτερόλεπτα (περίπου 20 σταγόνες). Η αποχρωμάτωση δεν θα πρέπει να ξεπερνά τον προκαθορισμένο χρόνο.

- 5) Η πλάκα χρωματίζεται με το τέταρτο διάλυμα για ένα λεπτό και ξεπλένεται καλά με νερό. Το τέταρτο διάλυμα περιλαμβάνει 10ml σαφρανίνη Ο (2,5% β/ο σε 95% αιθανόλη) και 100ml αποσταγμένο νερό. (Jenkins et al., 1993)

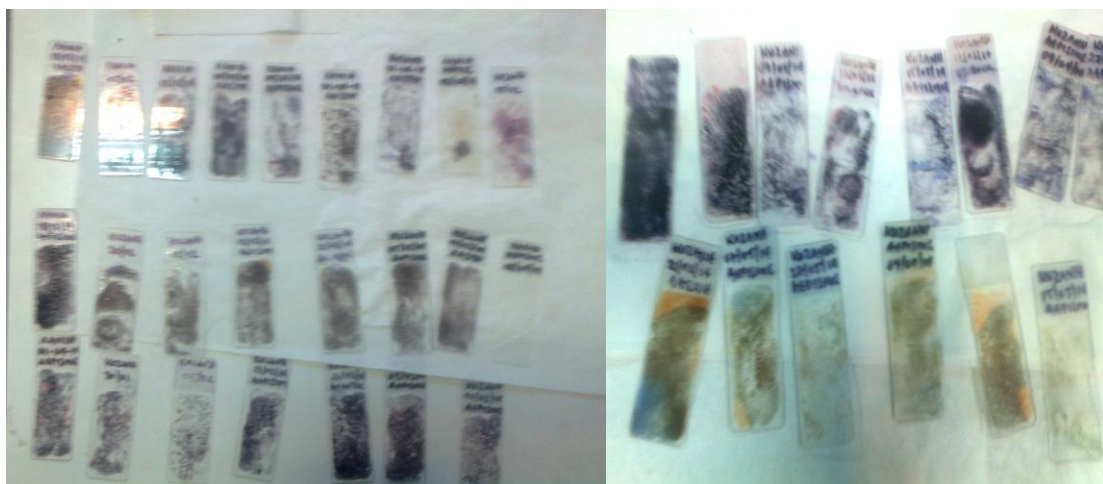
Το δείγμα εξετάζεται με το φακό 100x του μικροσκοπίου, σε φωτεινό πεδίο. Πάνω στη γυάλινη πλάκα τοποθετείται μια σταγόνα λάδι και μέσα από το μικροσκόπιο γίνεται η τελική αναγνώριση των νηματοειδών μικροοργανισμών. Αν τα νήματα έχουν χρωματιστεί μπλε-μωβ, τότε η αντίδραση είναι θετική, ενώ αν έχουν χρωματιστεί κόκκινα- έντονα πορτοκαλί, τότε η αντίδραση είναι αρνητική. (Νουτσόπουλος, 2002).

Χρώση κατά Neisser

Η εφαρμογή της χρώσης κατά Neisser προϋποθέτει την παρασκευή δύο διαλυμάτων, τα οποία διατηρούνται επίσης για 3-6 μήνες. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

- 1) Σε μια γυάλινη πλάκα τοποθετείται μια σταγόνα από το δείγμα της ενεργού ιλύος, η οποία απλώνεται σε όλη την πλάκα. Η εφαρμογή των διαλυμάτων ξεκινά αφού πρώτα έχει στεγνώσει καλά το δείγμα.
- 2) Η πλάκα χρωματίζεται με το πρώτο διάλυμα για 30 δευτερόλεπτα και ξεπλένεται γρήγορα με νερό (1 δευτερόλεπτο). Το πρώτο διάλυμα περιλαμβάνει ένα μείγμα ουσιών Α και Β (αναλογία ανάμιξης 2 προς 1, δηλαδή 2 μέρη όγκου από το Α και 1 μέρος όγκου από το Β). Το Α περιλαμβάνει 0,1gr Methylene blue, αιθανόλη, 5ml οξικό οξύ, κρυσταλλικό και 100ml αποσταγμένο νερό, ενώ το Β περιλαμβάνει 3,3ml Crystal Violet (10% β/ο σε 95% αιθανόλη), 6,7ml αιθανόλη 95% και 100ml αποσταγμένο νερό.
- 3) Η πλάκα χρωματίζεται σε ένα δεύτερο διάλυμα για ένα λεπτό και ξεπλένεται καλά με νερό. Το δεύτερο διάλυμα περιλαμβάνει 33,3ml Bismark Brown C₁₈H₁₈N₈ (1% β/ο υδάτινο) και 66,7ml αποσταγμένο νερό. (Jenkins et al., 1993).

Το δείγμα εξετάζεται όπως και στη χρώση Gram. Συνήθως κατά τη μικροσκοπική ανάλυση του δείγματος εξετάζεται πρώτα η χρώση κατά Neisser, γιατί μόνο δύο από τους νηματοειδείς μικροοργανισμούς αντιδρούν θετικά (οι *N. limicola*, και *Type 0092*) με αποτέλεσμα να αναγνωρίζονται εύκολα. (Νουτσόπουλος, 2002).



Εικόνα 3.3: Γυάλινες αντικειμενοφόρες πλάκες με δείγματα από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας, στα οποία έγινε εφαρμογή τεχνικών χρώσεων κατά Gram και Neisser αφού πρώτα τα δείγματα είχαν στεγνώσει καλά

3.2.3 Πρωτόκολλο μικροσκοπικών παρατηρήσεων μέσω της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (με τη βοήθεια του λογισμικού image analysis).

Ο συνδυασμός των συμβατικών μεθόδων μικροσκοπικής παρατήρησης με την ανάπτυξη της μεθόδου ανάλυσης εικόνας οδηγούν σε μια πιο αξιόπιστη εκτίμηση της κατάστασης της βιομάζας στο εκάστοτε εξεταζόμενο δείγμα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η εμπειρία και η υποκειμενική εκτίμηση του εκάστοτε ερευνητή καθόριζε ως τώρα την εκτίμηση της μορφολογίας των κροκίδων, αλλά και της παρουσίας των νηματοειδών μικροοργανισμών σε ένα δείγμα ενεργού ιλύος. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και της έρευνας, η χρήση μεθόδων όπως αυτή της ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας, οδηγούν σε πιο αντικειμενικές πλέον εκτιμήσεις.

Στην παρούσα διπλωματική, το λογισμικό image analysis ήταν το εργαλείο για την καταγραφή των κροκίδων μέσω της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας. Μέσω αυτού του εργαλείου, κατέστη εφικτό να καταμετρηθούν οι κροκίδες διαφόρων δειγμάτων ανάμικτου υγρού ενεργού ιλύος από δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων της Ελλάδας, αυτές της Λαμίας και της Κοζάνης, καθώς και να υπολογιστούν διάφορες μορφολογικές παράμετροι των κροκίδων (π.χ. διάμετρος, περίμετρος, επιφάνεια, καμπυλότητα κλπ.).

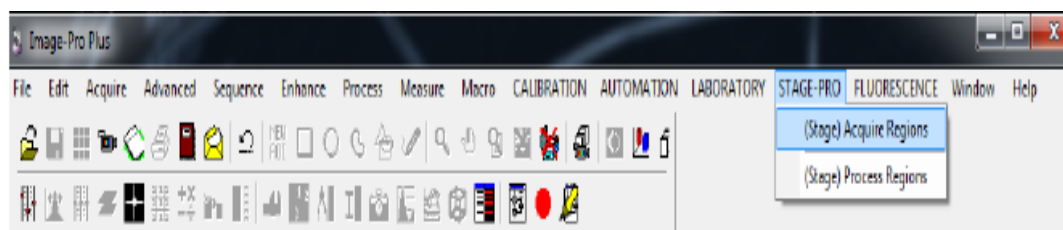
Το λογισμικό image pro plus χρησιμοποιεί τη γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic. Το πρώτο βήμα χρήσης του λογισμικού είναι η ψηφιακή αρχειοθέτηση των πλακιδίων στο σκληρό δίσκο του υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος με το μικροσκόπιο και σε ένα επόμενο στάδιο με τη βοήθεια του λογισμικού πραγματοποιείται η καταμέτρηση των κροκίδων και η καταγραφή των μορφολογικών τους παραμέτρων.

Διαδικασία ψηφιακής αρχειοθέτησης των πλακιδίων

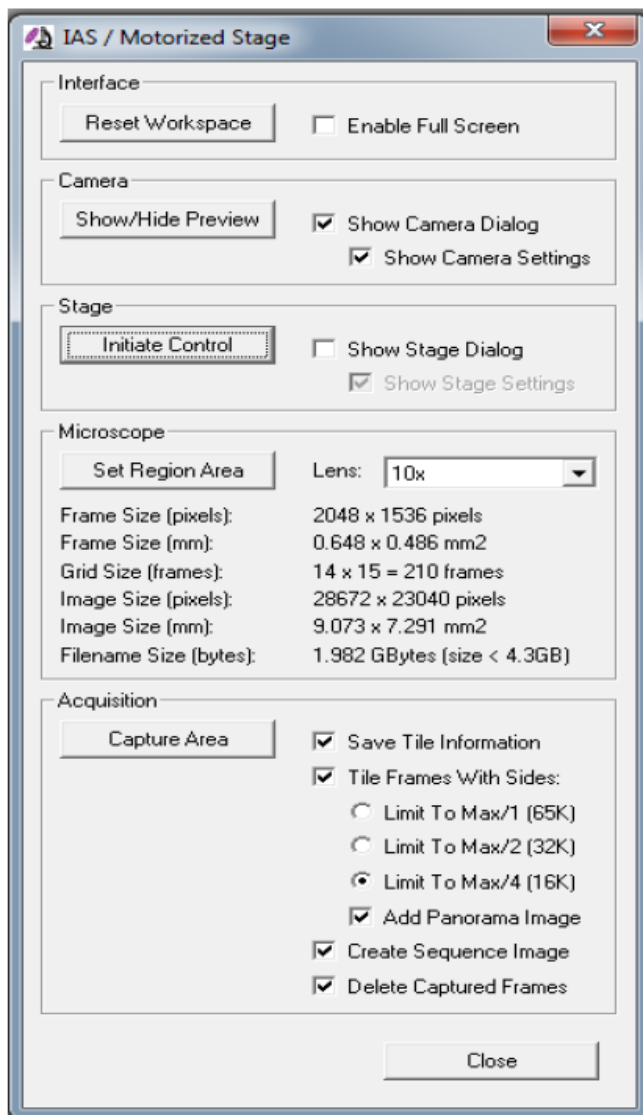
Ο υπολογιστής που διαθέτει το λογισμικό image analysis είναι συνδεδεμένος με το μικροσκόπιο. Για την ψηφιακή αρχειοθέτηση των πλακιδίων απαιτείται αρχικά σάρωση του πλακιδίου που διαθέτει το υπό εξέταση δείγμα.

Όπως και στην περίπτωση των συμβατικών μεθόδων παρατήρησης, μετά από καλή ανάμειξη του δείγματος, ακολουθεί η τοποθέτηση μιας σταγόνας δείγματος σε μια αντικειμενοφόρο πλάκα και εν συνεχεία τοποθέτηση καλυπτρίδας πάνω στη σταγόνα του δείγματος. Σημαντικό είναι να μην ασκηθεί υπερβολική δύναμη και υποστούν αλλοίωση οι κροκίδες, στην προσπάθεια να επιτευχθεί το ελάχιστο βάθος στο οποίο μπορεί να εστιάσει το μικροσκόπιο. Επίσης, σκόπιμο είναι να αποφευχθεί κατά το δυνατόν η πιθανότητα εγκλωβισμού φυσαλίδων αέρα στο δείγμα (Εικόνα 3.16). Το πλακίδιο τοποθετείται στο μικροσκόπιο, όπου επιλέγεται η τεχνική της αντίθεσης φάσεως και ο φακός 10x, για μεγέθυνση 100 φορές. Η σάρωση του πλακιδίου πρέπει να πραγματοποιηθεί σχετικά σύντομα, διότι το φως του μικροσκοπίου σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σταδιακά «στεγνώνουν» την μικρή ποσότητα δείγματος που βρίσκεται στην αντικειμενοφόρο πλάκα. Στην περίπτωση αυτή, το δείγμα πρέπει να σαρωθεί εκ νέου (Εικόνα 3.15).

Μετά την τοποθέτηση του πλακιδίου στο μικροσκόπιο, αφού είναι ανοιχτός ο υπολογιστής αλλά και το λογισμικό, για να σαρωθεί το πλακίδιο, επιλέγεται από το μενού η εντολή STAGE-PRO και η υποεντολή (Stage) Acquire Regions από το παράθυρο που ανοίγει, όπως εικονίζεται παρακάτω (Εικόνα 3.4). Με το που επιλέγεται η υποεντολή (Stage) Acquire Regions, ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου για τη σάρωση της περιοχής. Το παράθυρο αυτό εικονίζεται ακριβώς παρακάτω (Εικόνα 3.5).

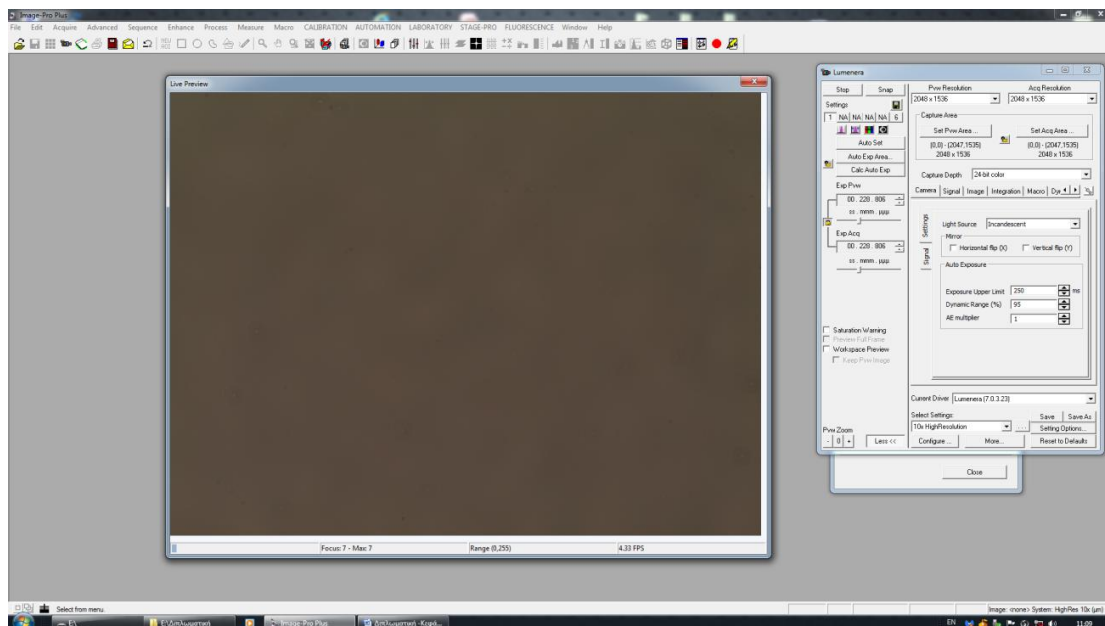


Εικόνα 3.4: Μενού λογισμικού Image Pro Plus – Επιλογή της εντολής STAGE-PRO και εν συνεχεία της υποεντολής (Stage) Acquire Regions.



Εικόνα 3.5: Παράθυρο διαλόγου για τη σάρωση του πλακιδίου στο περιβάλλον εργασίας του λογισμικού Image Pro Plus

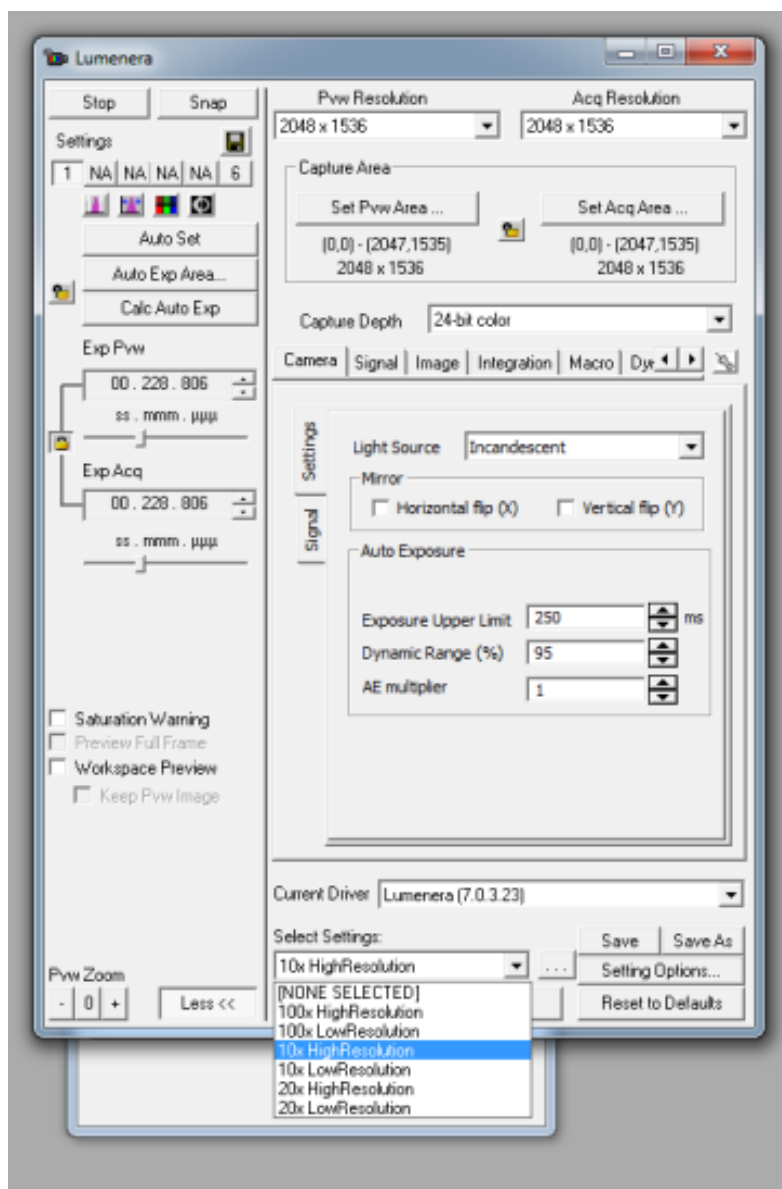
Στο παράθυρο διαλόγου αρχικά είναι ενεργές οι τρεις πρώτες εντολές στα μενού Interface, Camera και Stage, ενώ οι υπόλοιπες ενεργοποιούνται σταδιακά στην πορεία χειρισμού του λογισμικού. Επιλέγεται η εντολή Reset Workspace, η οποία «καθαρίζει» ότι υπάρχει στο περιβάλλον εργασίας και κλείνει ανοιχτά παράθυρα που δεν είναι απαραίτητα. Εν συνεχεία, επιλέγεται η εντολή Show/Hide Preview, που ξεκινά ή σταματά τη λειτουργία της κάμερας. Με αυτή την επιλογή εμφανίζεται σε νέο παράθυρο η εικόνα του πλακιδίου μέσω της έγχρωμης ψηφιακής κάμερας μικροσκοπίας Lumenera Infinity 1-3c (Εικόνα 3.6). Υπάρχει περίπτωση η εικόνα που εμφανίζεται να είναι θολή ή να μην εμφανίζεται καν αν δεν έχει ρυθμιστεί ή εστιαστεί σωστά το μικροσκόπιο. Οποιαδήποτε διορθωτική κίνηση απαιτείται, πραγματοποιείται.



Εικόνα 3.6: Περιβάλλον εργασίας του λογισμικού στο οποίο εικονίζεται στα δεξιά το παράθυρο διαλόγου (Lumenera) μετά την επιλογή της εντολής Show/Hide Preview, που ξεκινά ή σταματά τη λειτουργία της κάμερας (Live Preview) στα αριστερά.

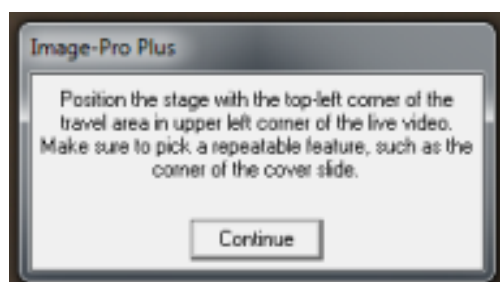
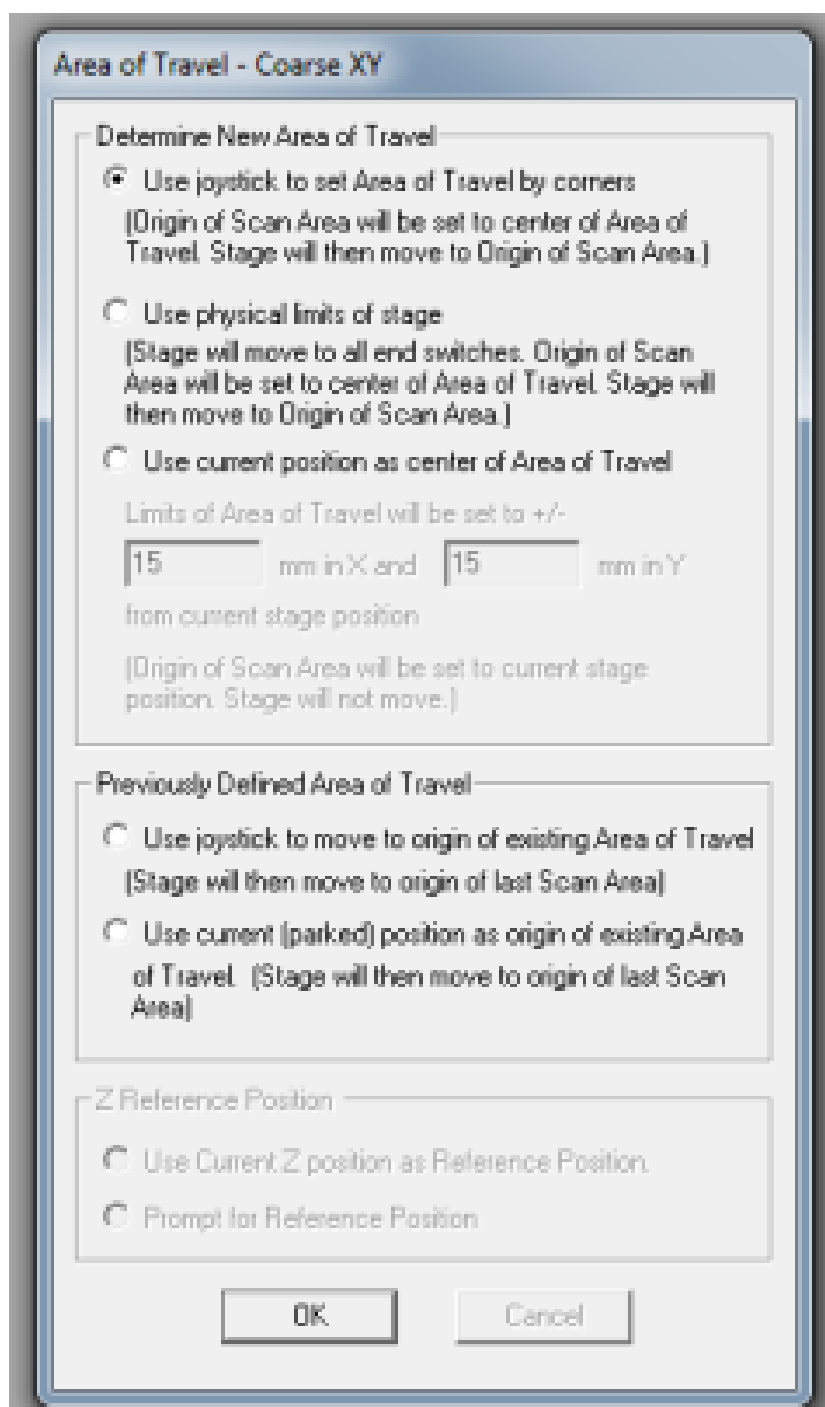
Πριν τη σάρωση του πλακιδίου απαιτείται διόρθωση του φόντου στην εικόνα, έτσι ώστε να αποδοθεί το μέγιστο ποιοτικό φως και χρώμα και η βαθμονόμηση της φωτεινότητας της εικόνας (White Balance) κατά την οποία η κάμερα βαθμονομεί τα κανάλια έγχρωμης εικόνας (κόκκινο, μπλε, πράσινο) για να έχουμε λευκό υπόβαθρο.

Επίσης, πρέπει να έχουν επιλεγεί οι κατάλληλες ρυθμίσεις στο παράθυρο διαλόγου Lumenera. Ενδεικτικά, μπορεί να αναφερθεί ότι στην εντολή Light Source επιλέγεται η επιλογή Incandescent και για το συγκεκριμένο φακό επιλέγεται στο Select Settings η επιλογή 10x High Resolution. Επίσης, στην επιλογή Settings πρέπει για το συγκεκριμένο φακό να έχει επιλεγεί το 1, για να φαίνεται καθαρά η εικόνα του πλακιδίου που θα σαρωθεί, ενώ αν για παράδειγμα ήταν επιθυμητό να εξεταστεί ένα δείγμα σε φακό 100x ή ένα δείγμα μετά από χρώση κατά Gram ή Neisser θα επιλεγόταν το 6. Διορθωτικές κινήσεις για την ποιότητα της εικόνας μπορούν να γίνουν και με αυξομειώσεις των τιμών στην επιλογή Exp Prv. Όλες αυτές οι εντολές μπορούν να ρυθμιστούν από το παράθυρο διαλόγου που ανοίγει και φαίνεται καθαρά στην εικόνα παρακάτω (Εικόνα 3.7).



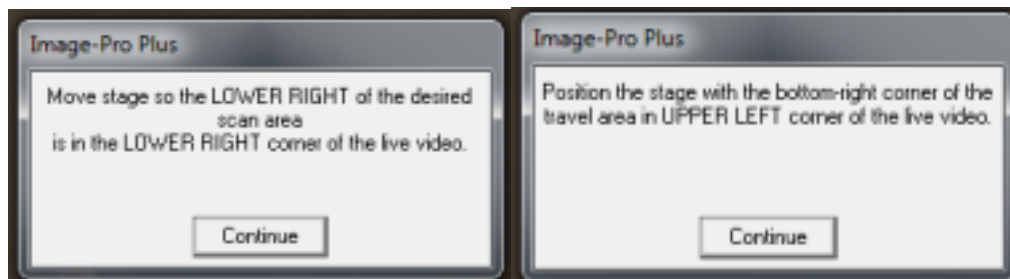
Εικόνα 3.7: Παράθυρο διαλόγου (Lumenera) μετά την επιλογή της εντολής Show/Hide Preview, που ξεκινά ή σταματά τη λειτουργία της κάμερας

Με την επιλογή της εντολής Initiate Control (Εικόνα 3.5), εμφανίζεται νέο παράθυρο διαλόγου με την ονομασία Area of Travel – Coarse XY, όπου ακολουθώντας τις οδηγίες επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί το χειριστήριο της ηλεκτροκίνητης τράπεζας για τον καθορισμό της συνολικής περιοχής που είναι διαθέσιμη για σάρωση από την κάτω αριστερή γωνία μέχρι την πάνω δεξιά γωνία του πλακιδίου επιλέγοντας την εντολή use joystick to set Area of travel by corners. Αυτό είναι απαραίτητο έτσι ώστε να καθοριστούν τα όρια αυτόματης κίνησης της τράπεζας του μικροσκοπίου στους δύο άξονες x και y. Μετά την επιλογή της εντολής αυτής ζητούνται να δοθούν τα δύο σημεία, δηλαδή αρχικά η κάτω αριστερή γωνία του πλακιδίου και εν συνεχεία η πάνω δεξιά γωνία του (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8: Παράθυρο διαλόγου για τον καθορισμό των ορίων της αυτόματης κίνησης της ηλεκτροκίνητης τράπεζας του μικροσκοπίου στους άξονες x και y.

Μετά από αυτό το βήμα, ενεργοποιούνται και οι επόμενες δύο εντολές του μενού Microscope και Acquisition αντίστοιχα (Εικόνα 3.5). Με την εντολή Set Region Area μπορεί να επιλεγεί, με τη βοήθεια του χειριστηρίου της ηλεκτροκίνητης τράπεζας, η περιοχή του πλακιδίου που είναι επιθυμητό να σαρωθεί, ορίζοντας εν συνεχεία σταδιακά και πάλι δύο ακραία σημεία της επιθυμητής προς σάρωση περιοχής (Εικόνα 3.9).

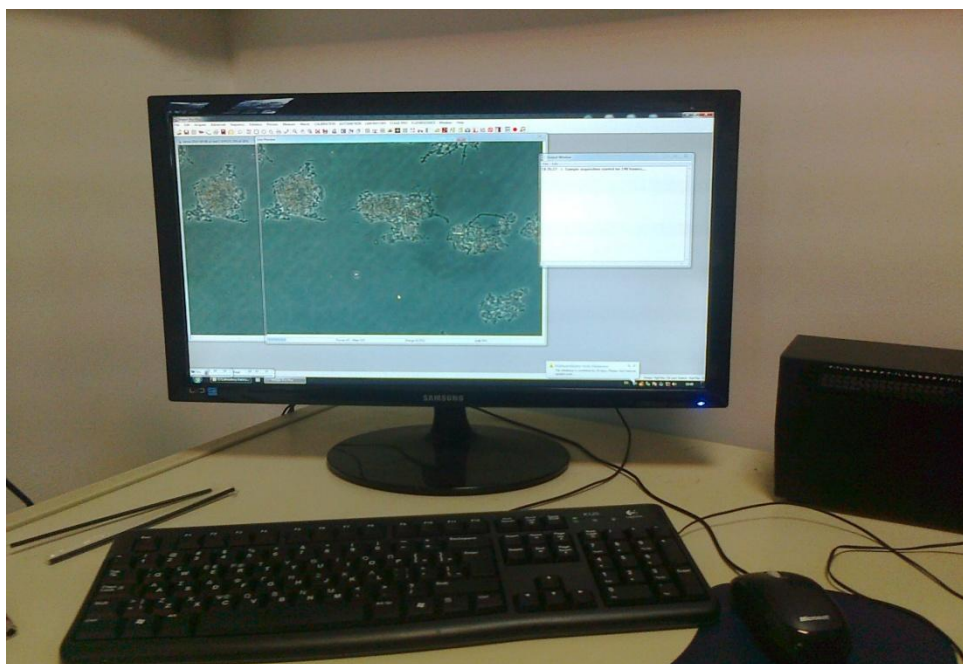


Εικόνα 3.9: Εντολές για τον προσδιορισμό δύο ακραίων σημείων με σκοπό να πραγματοποιηθεί σάρωση της επιθυμητής περιοχής

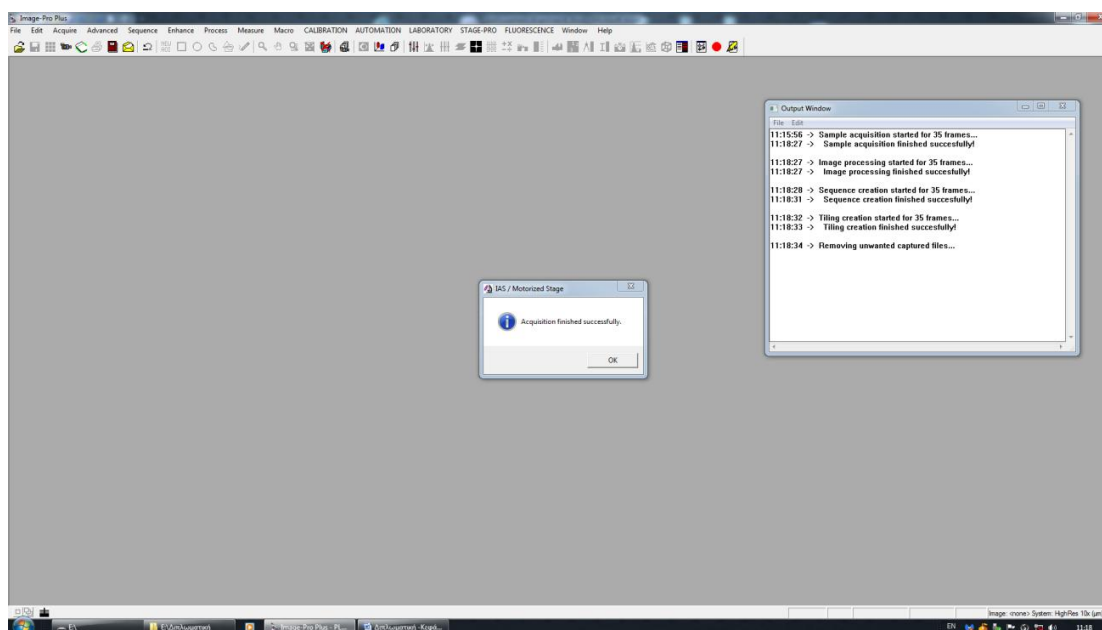
Η περιοχή που επιλέγεται είναι στην κρίση του χειριστή, πρέπει όμως να επιλέγεται μία περιοχή, η οποία να είναι ικανό να σαρωθεί σε ένα λογικό χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να μη στεγνώνει το δείγμα. Εμπειρικά, μια περιοχή περίπου 1 cm² είναι ικανοποιητική για σάρωση και συνήθως μετά την πάροδο μισής ώρας το δείγμα είναι επίφοβο να αρχίσει να στεγνώνει και ειδικότερα στις άκρες του πλακιδίου. Αυτό συμβαίνει διότι καθώς η σταγόνα του δείγματος πέφτει στο κέντρο της αντικειμενοφόπου πλάκας, απλώνεται με την τοποθέτηση της καλυπτρίδας και το πάχος του δείγματος στις άκρες του πλακιδίου είναι μικρότερο απ' ότι στο κέντρο του.

Τέλος, με την εντολή Capture Area πραγματοποιείται η αυτόματη σάρωση της επιλεγμένης περιοχής, από την οποία προκύπτουν σειριακές εικόνες. Μετά τη λήψη των εικόνων, το λογισμικό πραγματοποιεί αυτόματη συνένωσή τους σε έναν ενιαίο χάρτη, που εικονίζει την περιοχή που είχε επιλεγεί προς σάρωση. Λόγω της ιδιαιτερότητας των Windows (32 bit) να μην μπορούν να δημιουργήσουν αρχεία μεγαλύτερα των 4MB και να «διαβάσουν» εικόνα με ανάλυση μεγαλύτερη των 32000x32000 pixel, το σύστημα ελέγχει το μέγεθος και την τελική ανάλυση του χάρτη και κάνει αυτόματα μορφοποίηση των ιδιοτήτων του προκειμένου να μην υπερβεί αυτά τα όρια. Η εικόνα του χάρτη αποθηκεύεται σε μορφή TIFF στο σκληρό δίσκο του υπολογιστή από όπου μπορεί να ανακτηθεί για περαιτέρω επεξεργασία της.

Συνολικά επιλέχτηκε να σαρώνονται από τρία πλακάκια για κάθε δείγμα, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη αντικειμενικότητα στα μετέπειτα αποτελέσματα που θα προέκυπταν από την επεξεργασία.

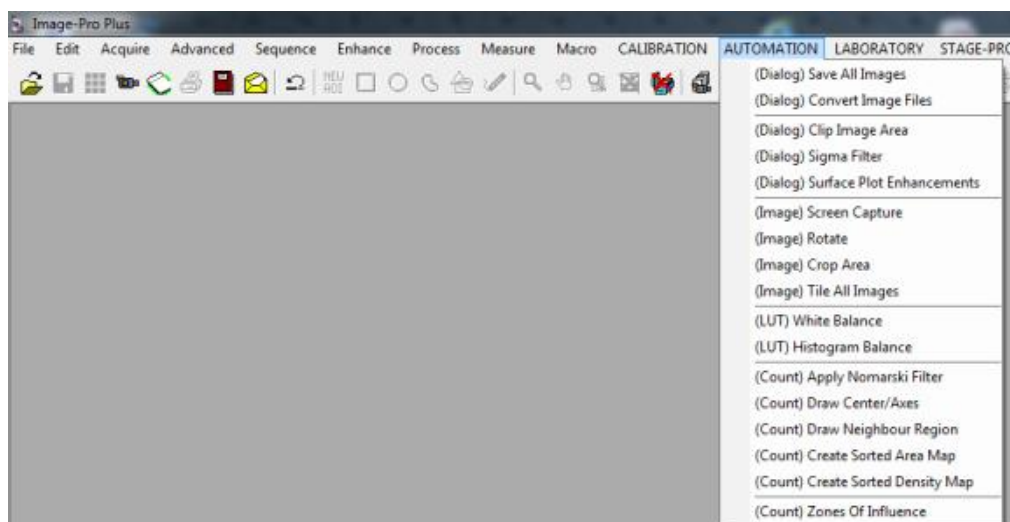


Εικόνα 3.10: Διαδικασία αυτόματης σάρωσης δείγματος

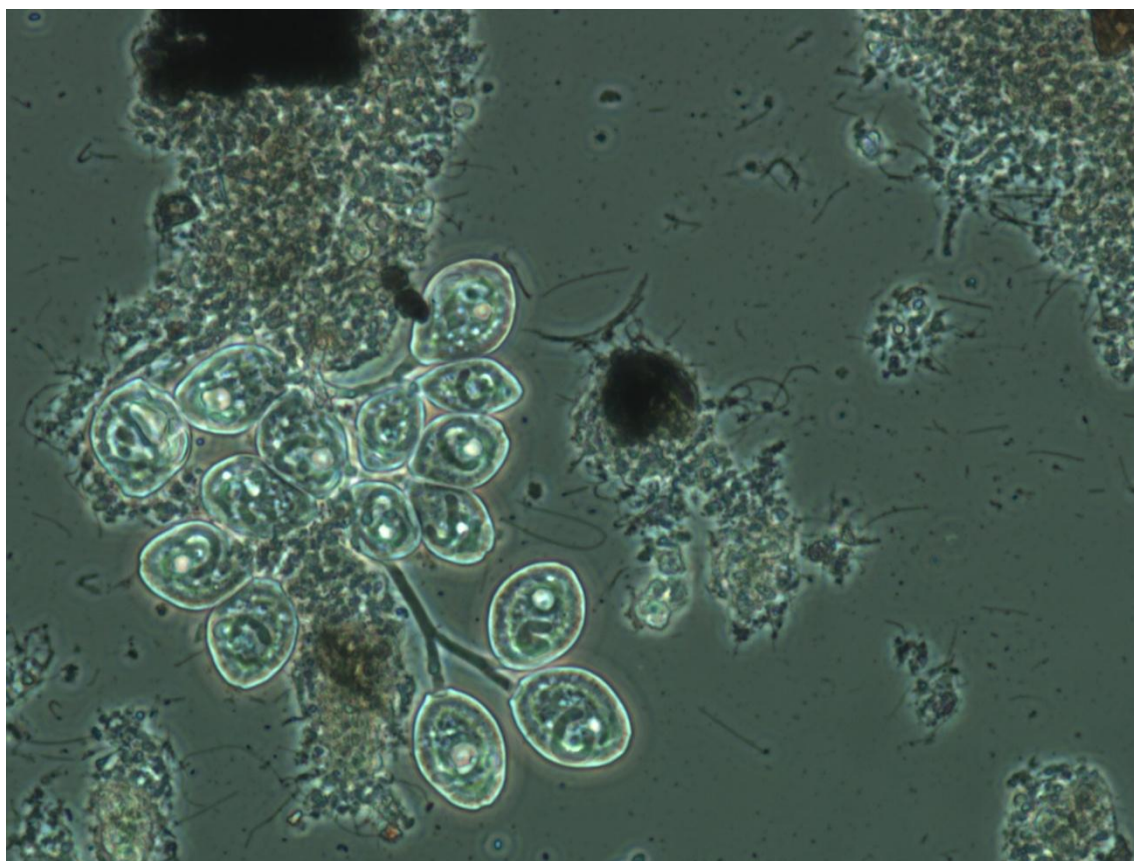


Εικόνα 3.11: Περιβάλλον εργασίας στο λογισμικό όπου εικονίζεται η ολοκλήρωση της διαδικασίας σάρωσης

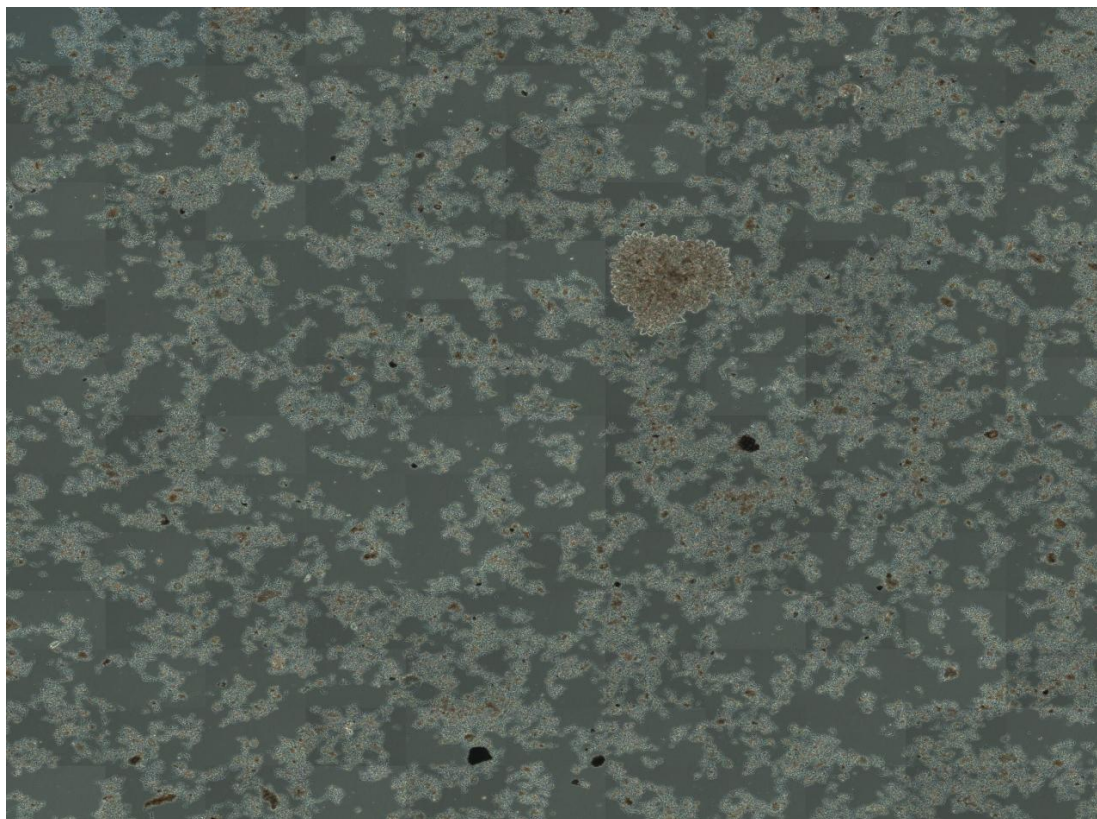
Το λογισμικό επίσης, δίνει και τη δυνατότητα λήψης φωτογραφιών σε όλη την περιοχή του πλακιδίου αν αυτό είναι επιθυμητό με την εντολή Snap (Εικόνα 3.7). Εν συνεχεία μπορεί να πραγματοποιηθεί αποθήκευση των φωτογραφιών με την επιλογή της εντολής Automation από το μενού του λογισμικού και μετά της υποεντολής Save all images (Εικόνα 3.12).



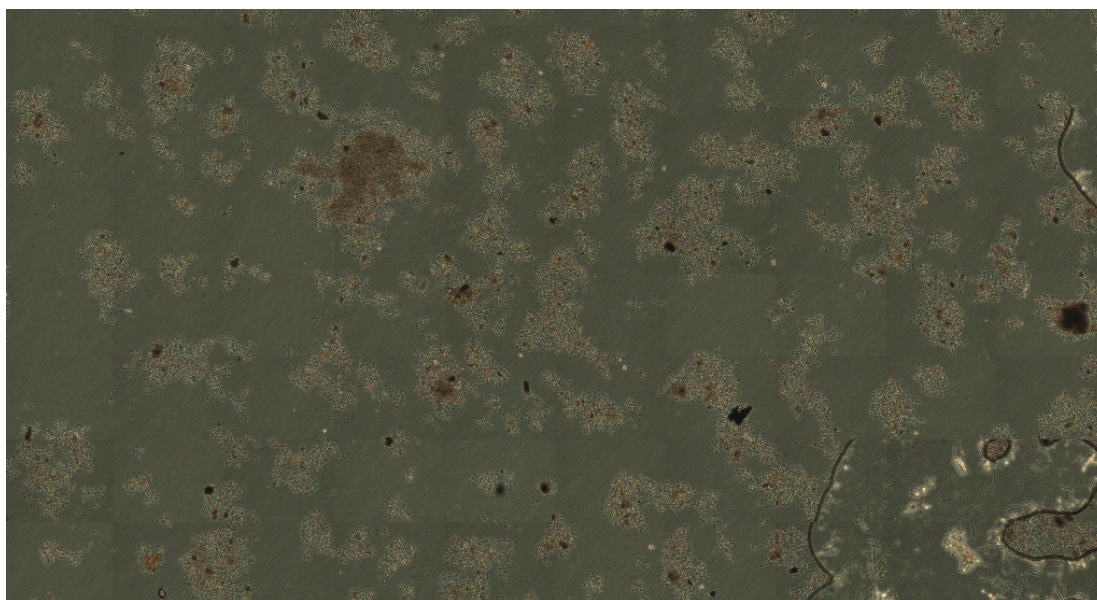
Εικόνα 3.12: Εντολή Automation και υποεντολή Save All Images για την αποθήκευση των φωτογραφιών που έχουν ληφθεί



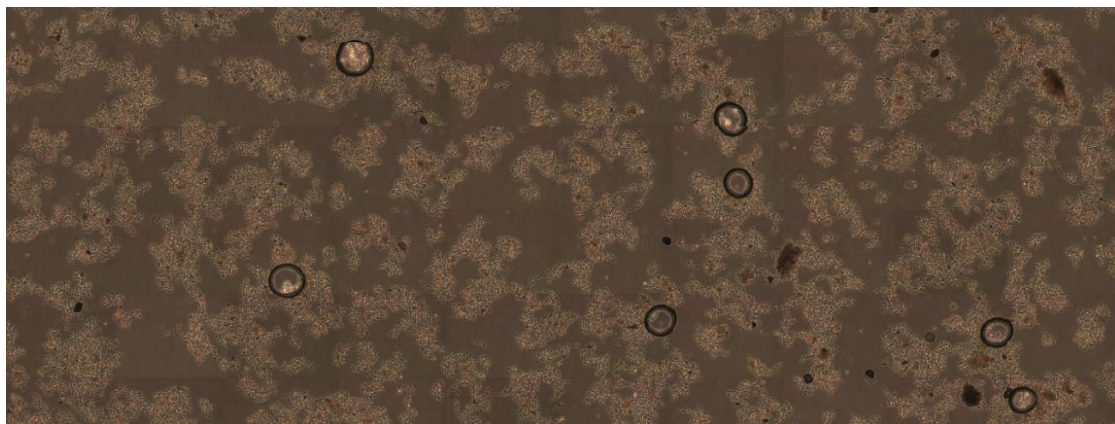
Εικόνα 3.13: Ενδεικτική λήψη φωτογραφίας από σάρωση πλακιδίου. Δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης (Δειγματοληψία 31/01/2014). Στη φωτογραφία διακρίνονται κροκίδες στο υγρό μέσο και η ανάπτυξη πρωτοζώων στο εσωτερικό των κροκίδων που οδηγούν στη δημιουργία κροκίδας με μεγαλύτερη διάμετρο.



Εικόνα 3.14: Ενδεικτικό παράδειγμα χάρτη που προέκυψε μετά από συνένωση εικόνων στο πέρας της διαδικασίας σάρωσης πλακιδίου με δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 18/02/2014)



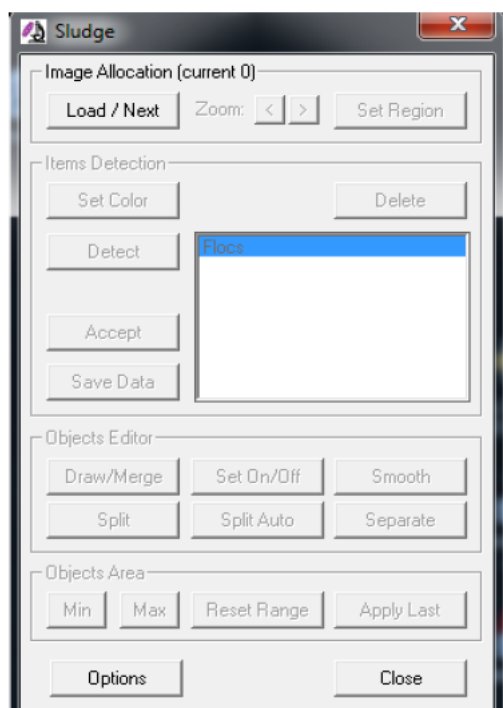
Εικόνα 3.15: Ενδεικτικό παράδειγμα χάρτη στον οποίο κατά τη σάρωση το δείγμα στο πλακίδιο ξεράθηκε και η σάρωση συνίσταται να επαναληφεί. Η προβληματική κατάσταση παρουσιάζεται έντονα στο δεξί τμήμα της εικόνας. Η σάρωση αυτή έγινε για δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης (δειγματοληψία 09/04/2014) και φυσικά πραγματοποιήθηκε επαναληπτική σάρωση.



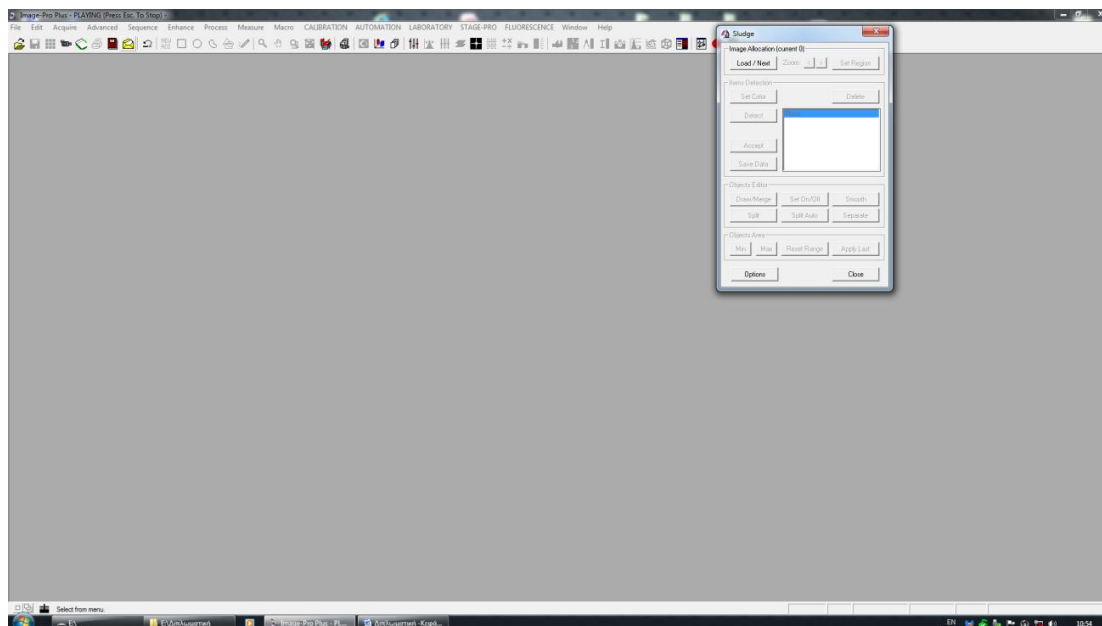
Εικόνα 3.16: Ενδεικτικό παράδειγμα χάρτη στον οποίο εικονίζονται φουσαλίδες αέρα που εγλωβίστηκαν κατά την τοποθέτηση της καλυπτρίδας στο πλακίδιο με το δείγμα και η σάρωση πρέπει να επαναληφεί. Η σάρωση αυτή έγινε για δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 22/04/2014) και φυσικά πραγματοποιήθηκε επαναληπτική σάρωση.

Διαδικασία καταμέτρησης κροκίδων με χρήση του λογισμικού

Εφόσον πραγματοποιηθεί η σάρωση των πλακιδίων με το ίδιο λογισμικό μπορεί να πραγματοποιηθεί επεξεργασία, καταμέτρηση των κροκίδων και υπολογισμός κάποιων μορφολογικών τους χαρακτηριστικών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με χρήση της δεύτερης υποεντολής (Stage) Process Regions στην εντολή STAGE-PRO (Εικόνα 3.4). Η επιλογή αυτής της υποεντολής ανοίγει στο περιβάλλον εργασίας του λογισμικού νέο παράθυρο διαλόγου με την ονομασία Sludge (Εικόνα 3.17).



Εικόνα 3.17: Παράθυρο διαλόγου για την καταμέτρηση των κροκίδων με την επιλογή της υποεντολής (Stage) Process Regions



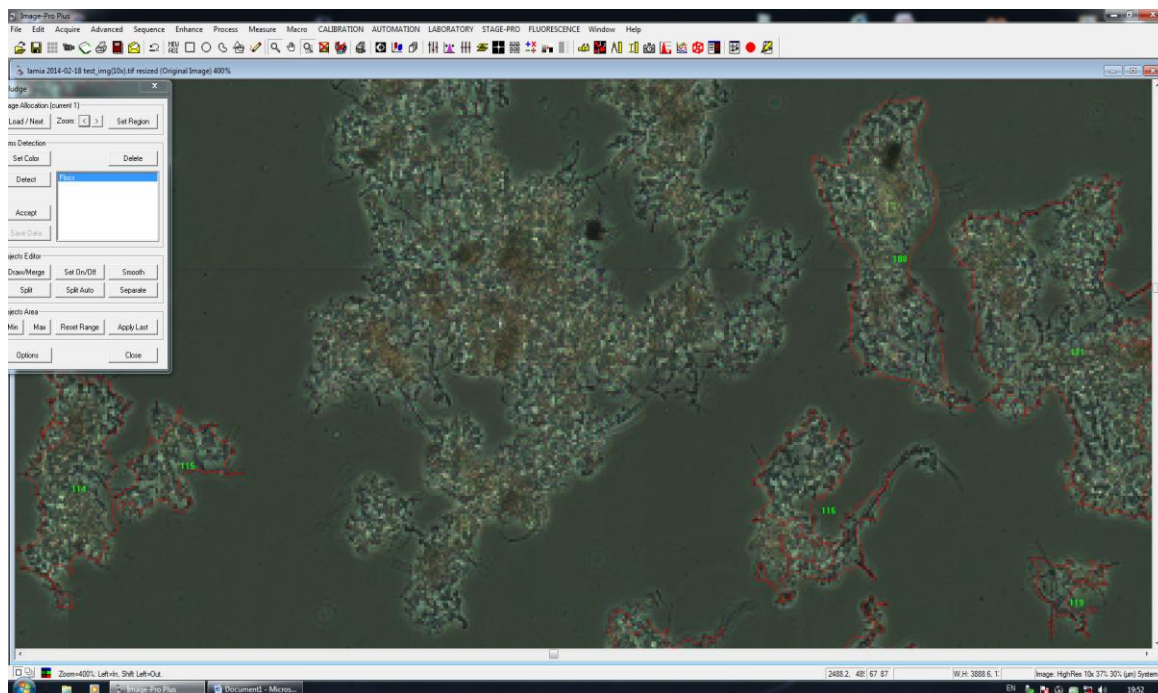
Εικόνα 3.18: Περιβάλλον εργασίας λογισμικού με χρήση της δεύτερης υποεντολής (Stage) Process Regions στην εντολή STAGE-PRO. Οι εντολές στο παράθυρο διαλόγου είναι σχεδόν όλες ανενεργές.

Αρχικά οι περισσότερες εντολές, όπως φαίνεται και στην παραπάνω Εικόνα 3.18 είναι «παγωμένες» στο παράθυρο διαλόγου. Επιλέγεται η εντολή Load/Next για να «φορτωθεί» από τον σκληρό δίσκο η αποθηκευμένη χαρτογραφημένη εικόνα σαρωμένου δείγματος που είναι έτοιμη προς επεξεργασία και αυτόματα ενεργοποιούνται και όλες οι υπόλοιπες εντολές του παραθύρου.

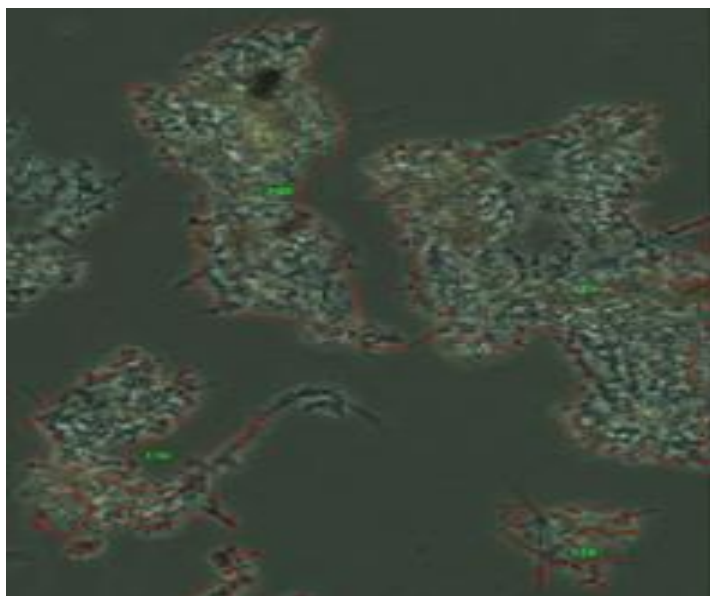
Με την εντολή Set Color γίνεται από το χρήστη η επιλογή χρώματος κροκίδων, βάση της οποίας πραγματοποιείται από την εφαρμογή ο εντοπισμός των αντικειμένων από τη χρωματική διαφοροποίηση. Ουσιαστικά, δίνεται η δυνατότητα στο πρόγραμμα να προσδιορίσει τα όρια των κροκίδων από τη χρωματική διαφορά μεταξύ υγρού μέσου και κροκίδων. Αυτό πρέπει να πραγματοποιείται κάθε φορά από το χρήστη, καθώς το χρώμα των κροκίδων είναι διαφορετικό από δείγμα σε δείγμα (Εικόνες 3.21β, 3.24).

Με κατάλληλα φίλτρα η εφαρμογή βελτιώνει αυτόματα την αντίθεση της εικόνας και κάνει πολύ πιο ευδιάκριτα τα όρια κάθε κροκίδας προκειμένου να ανιχνεύσει όλα τα αντικείμενα (Εικόνες 3.21γ, 3.23).

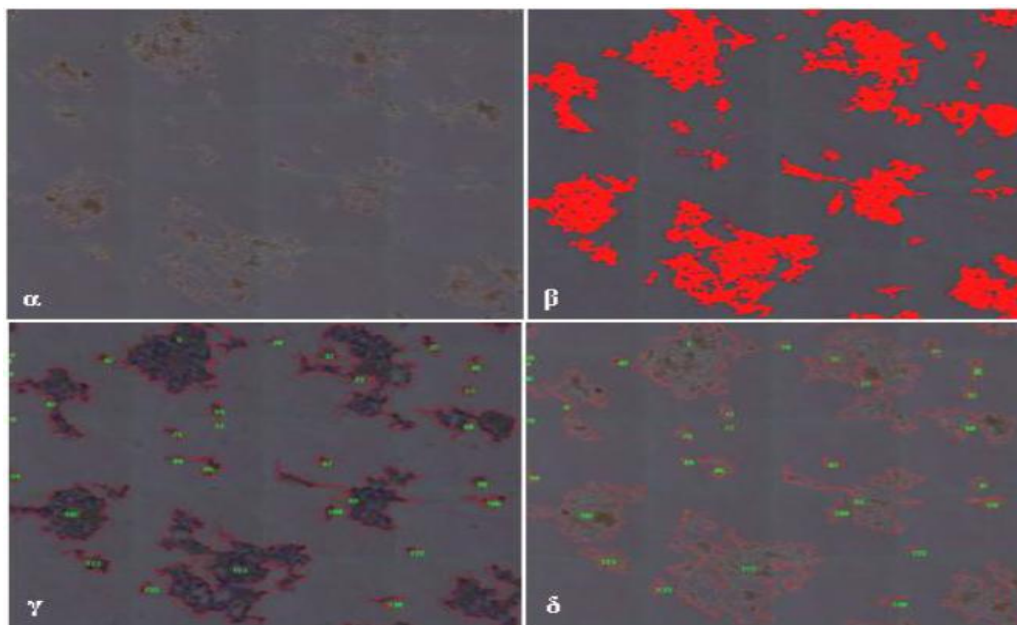
Ο εντοπισμός των κροκίδων γίνεται με την εντολή Detect. Με την επιλογή αυτής της εντολής ένα κόκκινο περίγραμμα πλαισιώνει κάθε κροκίδα και εισάγεται ένας αριθμός που αντιπροσωπεύει τον αριθμό μέτρησης κάθε κροκίδας. Όσο καλύτερη χρωματική προσέγγιση έχει γίνει στο προηγούμενο βήμα, τόσο πιο ενδεικτική είναι και η ηλεκτρονική καταμέτρηση που πραγματοποιείται από την εφαρμογή, δεδομένου ότι είναι πιο σαφές στην εφαρμογή το όριο κάθε κροκίδας (Εικόνες 3.19, 3.20, 3.21δ, 3.25).



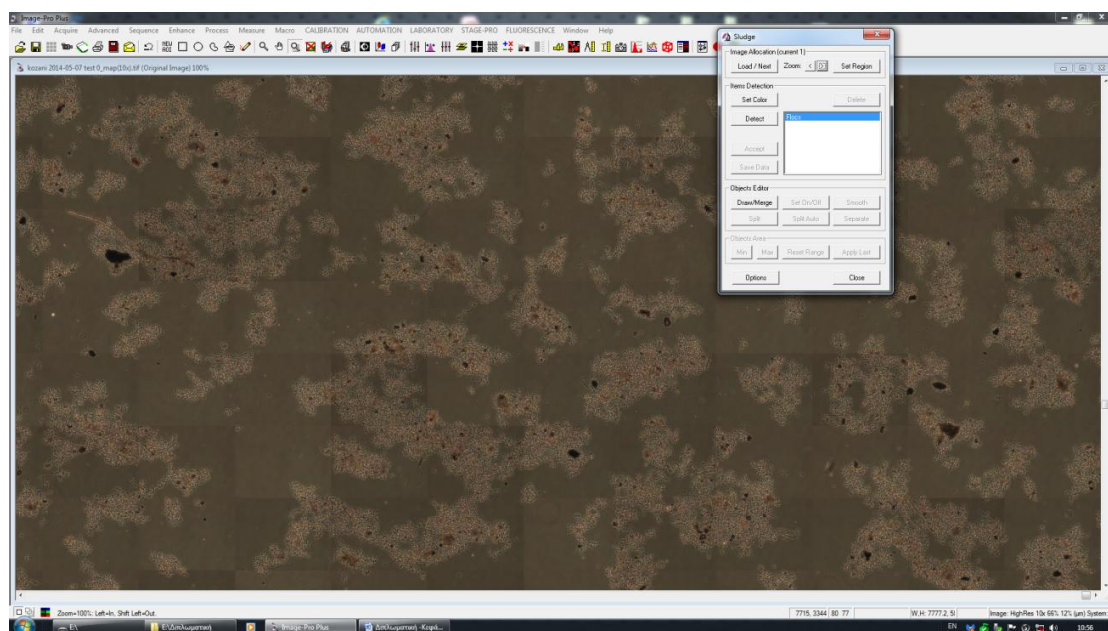
Εικόνα 3.19: Παράδειγμα εντοπισμού και αριθμητικής μέτρησης κροκίδων στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος Stage Pro Plus. Με κόκκινη συνεχόμενη γραμμή αποτυπώνεται το περίγραμμα των κροκίδων και με πράσινο αριθμό χαρακτηρίζεται η «ταυτότητα» της κάθε κροκίδας. Η κροκίδα στο κέντρο της φωτογραφίας δεν έχει κόκκινο περίγραμμα και αριθμό, διότι έγινε χρήση της εντολής Set on/off.



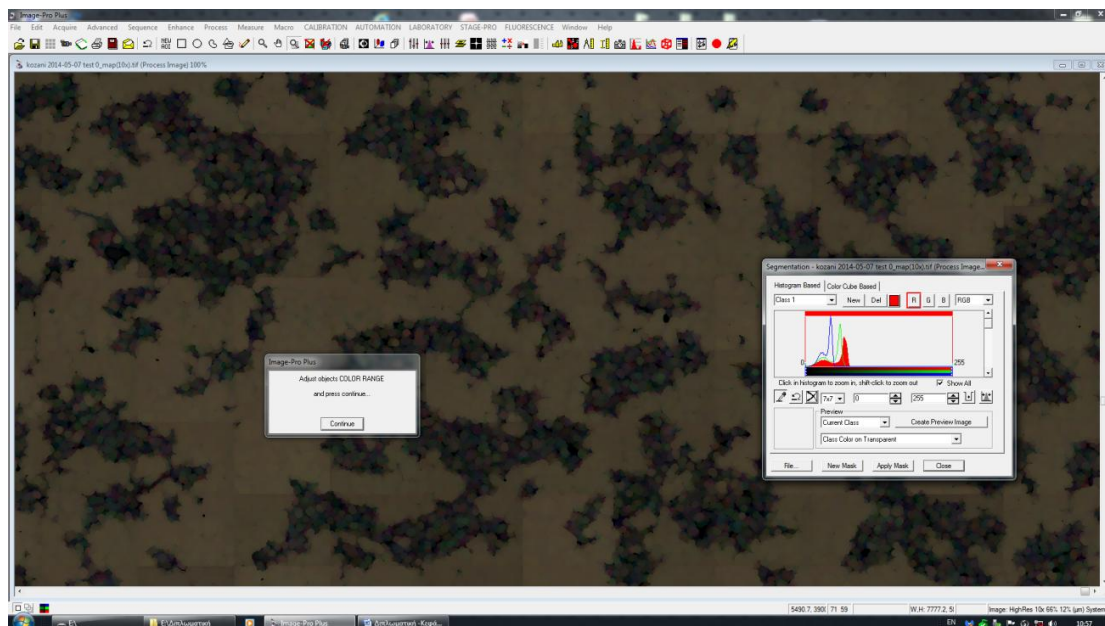
Εικόνα 3.20: Κοντινή άποψη της εικόνας 3.19. Παράδειγμα εντοπισμού και αριθμητικής μέτρησης κροκίδων. Με κόκκινη συνεχόμενη γραμμή αποτυπώνεται το περίγραμμα των κροκίδων και με πράσινο αριθμό χαρακτηρίζεται η «ταυτότητα» της κάθε κροκίδας.



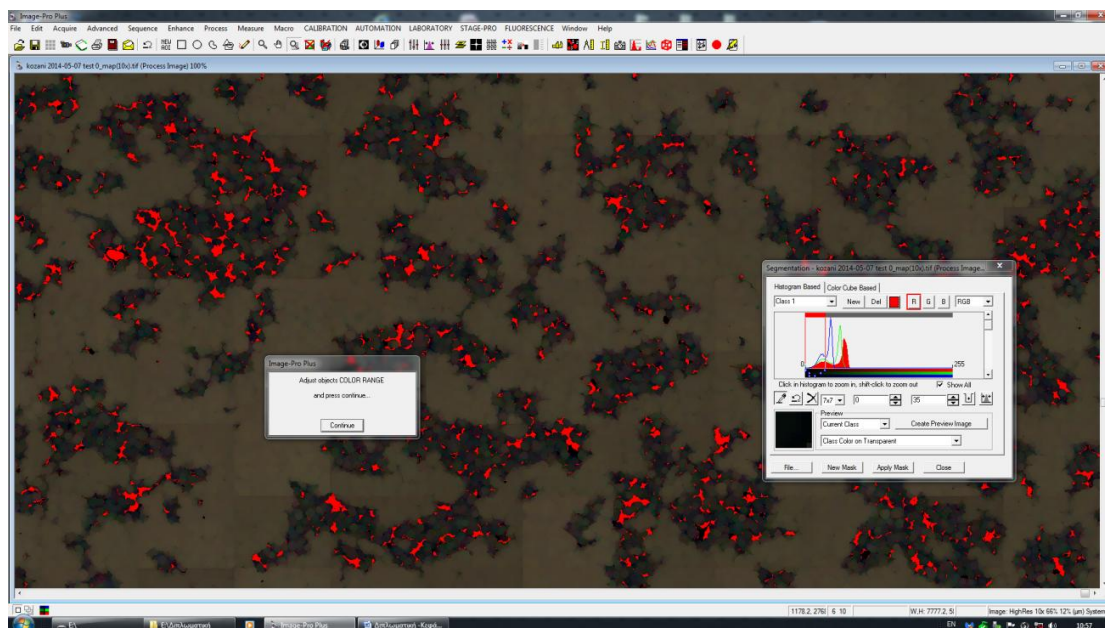
Εικόνα 3.21: α) Χάρτης σαρωμένου πλακιδίου, β) Καθορισμός του χρώματος των κροκίδων, γ) Εφαρμογή φίλτρου και εντοπισμός κροκίδων, δ) Εντοπισμός και αριθμητικός χαρακτηρισμός κροκίδων στο χάρτη του σαρωμένου πλακιδίου. (Πηγή: Βασιλική Χιουρέα, Ιούλιος 2013)



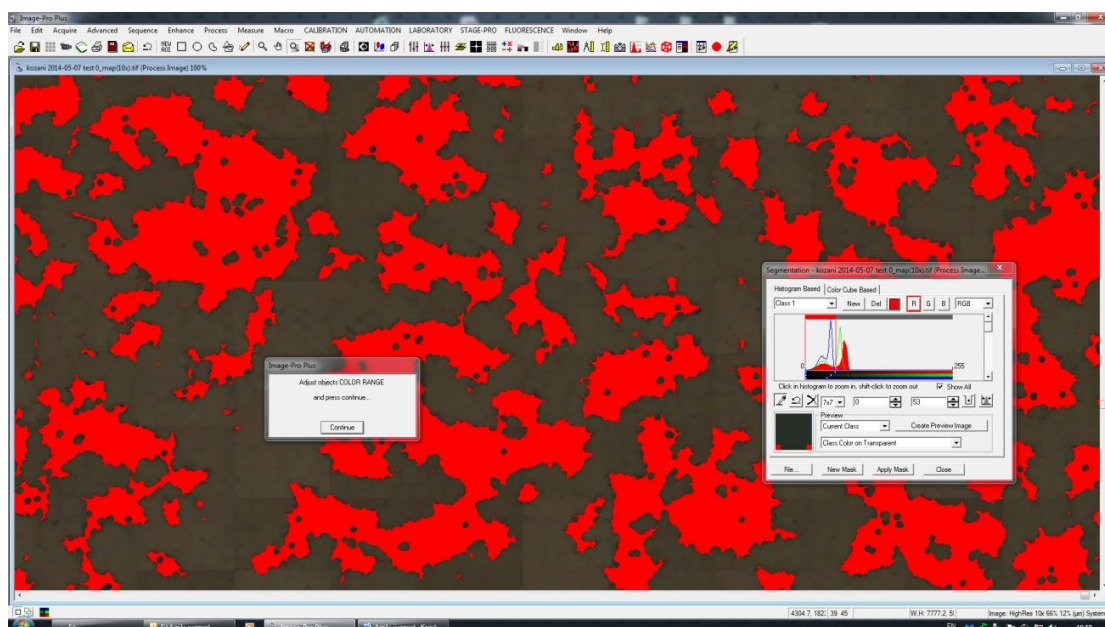
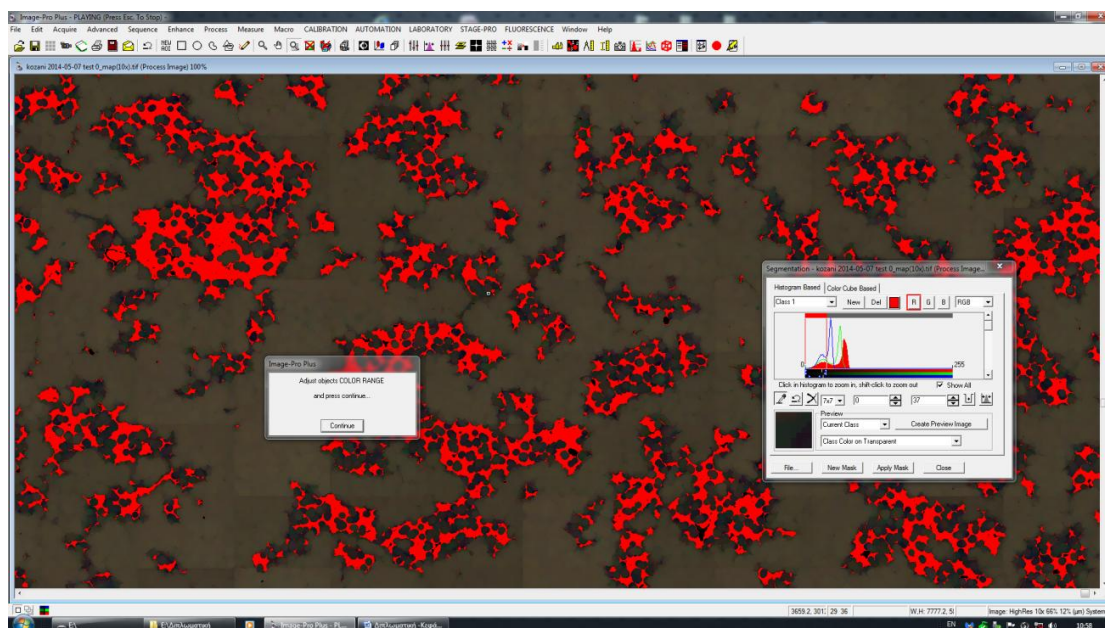
Εικόνα 3.22: Χάρτης ενός σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης



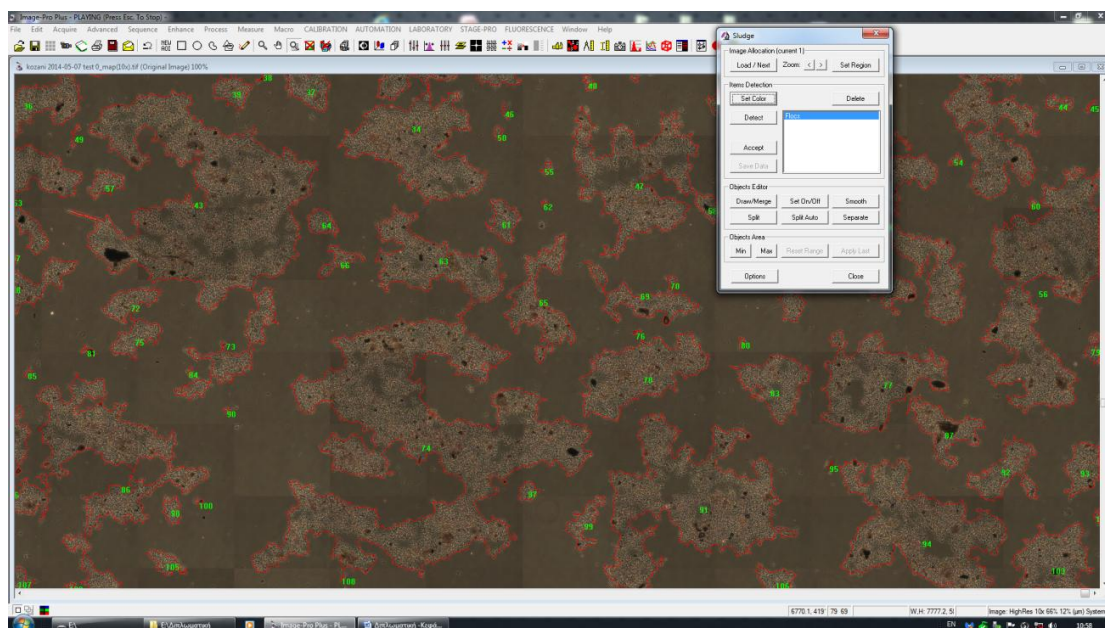
Εικόνα 3.23: Φίλτρο του ίδιου χάρτη σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης. Πάνω στο φίλτρο αυτό θα γίνει η επιλογή των χρωμάτων των κροκίδων



Εικόνα 3.24: Σταδιακή επιλογή χρωμάτων για τον χρωματικό καθορισμό των κροκίδων στο χάρτη σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

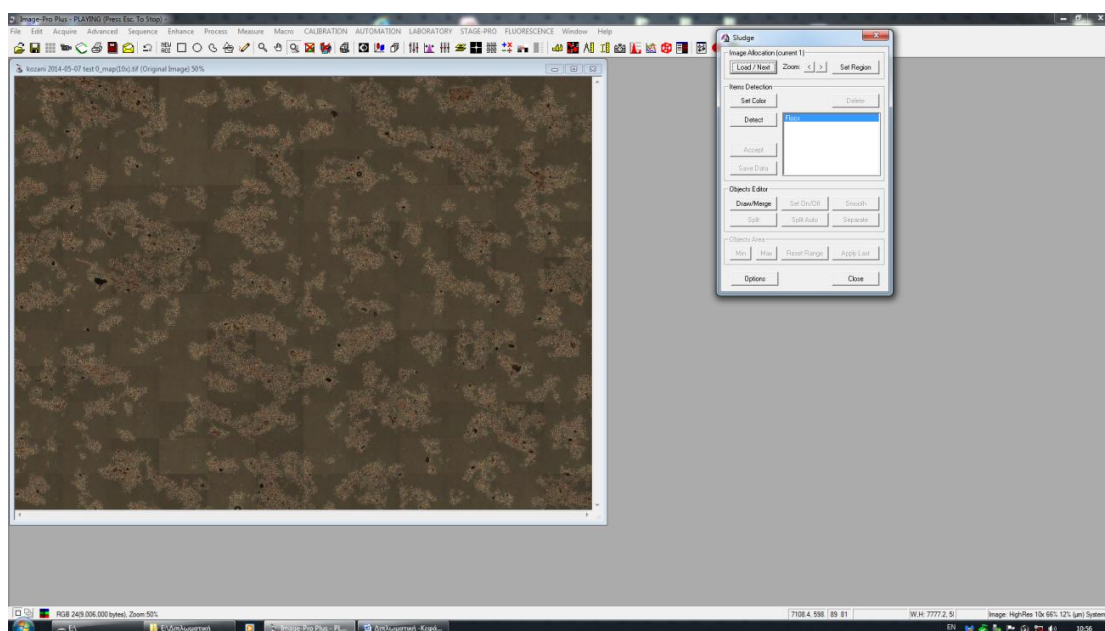


Εικόνα 3.24: (συνέχεια) Σταδιακή επιλογή χρωμάτων για τον χρωματικό καθορισμό των κροκίδων στο χάρτι σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

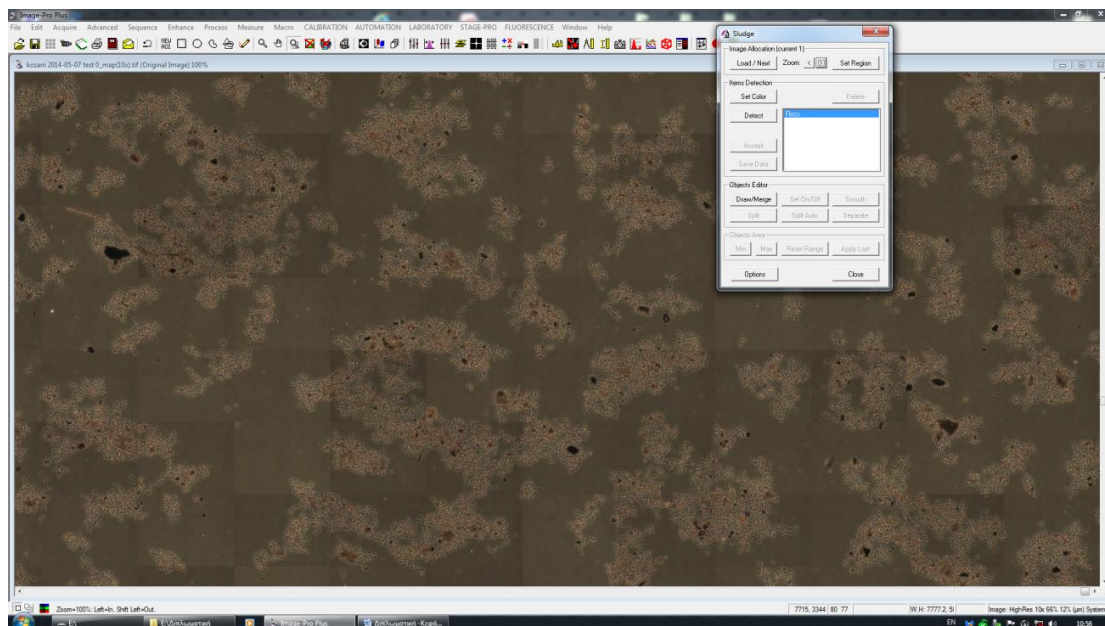


Εικόνα 3.25: Εντοπισμός και αριθμητικός χαρακτηρισμός κροκίδων στο χάρτη του σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης.

Με την εντολή Zoom μπορεί ο χρήστης να μεγεθύνει την εικόνα για ευκολότερη αναγνώριση των αντικειμένων, στο βαθμό που το επιθυμεί. Συνήθως μεγέθυνση μεγαλύτερη από 200% δεν διευκολύνει το χρήστη στην επεξεργασία και δεν συνίσταται (Εικόνες 3.26, 3.27).



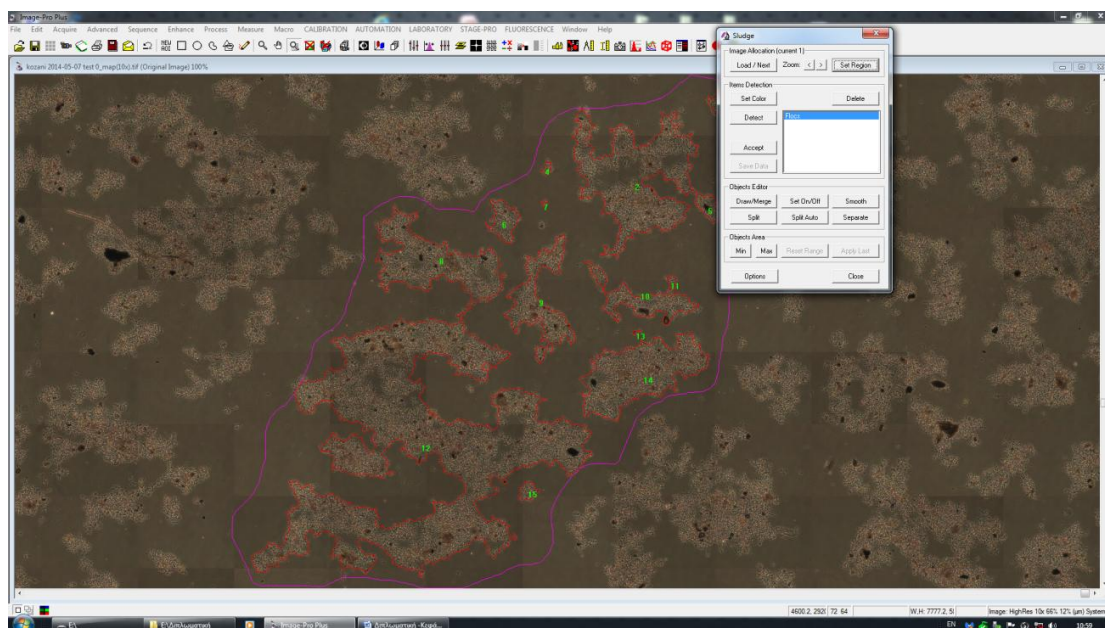
Εικόνα 3.26: Απεικόνιση του χάρτη του σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης χωρίς μεγέθυνση.



Εικόνα 3.27: Απεικόνιση του χάρτη του σαρωμένου πλακιδίου από τα τρία που σαρώθηκαν για το δείγμα 07/05/2014 Κοζάνης με μεγέθυνση κάνοντας χρήση της εντολής Zoom.

Με την εντολή Set Region, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μόνο μιας περιοχής του χάρτη σαρωμένου πλακιδίου, η οποία θα οριστεί προς επεξεργασία. Δηλαδή, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα, αν το επιθυμεί, να ορίσει το περίγραμμα μιας περιοχής στην σαρωμένη εικόνα, χαράσσοντας μία κλειστή γραμμή και να προχωρήσει σε επεξεργασία μόνο της περιοχής αυτής, αγνοώντας οτιδήποτε άλλο υπάρχει στο χάρτη. Το πρόγραμμα πλέον θα θεωρεί ως σαρωμένη εικόνα προς επεξεργασία μόνο την περιοχή που ορίστηκε από το χρήστη και όλες οι εντολές θα έχουν εφαρμογή μόνο σε αυτήν την περιοχή. Οι κροκίδες που προσδιορίζονται και χαρακτηρίζονται αριθμητικά εντοπίζονται μόνο στα όρια της κλειστής γραμμής που έχει χαραχτεί (Εικόνα 3.28).

Η εντολή αυτή μπορεί να φανεί χρήσιμη σε περιπτώσεις στις οποίες κατά τη σάρωση ένα μέρος των κροκίδων δεν είναι αρκετά ευκρινές για κάποιο λόγο και είναι επιθυμητό να αποκλειστεί από την επεξεργασία ή κατά τη σάρωση είχε στεγνώσει ένα μέρος του δείγματος και αλλοιώνεται η πραγματική εικόνα (π.χ. Εικόνα 3.15) ή υπάρχει παρουσία φυσαλίδων αέρα σε κάποιο σημείο της εικόνας (π.χ. Εικόνα 3.16). Φυσικά συνίσταται νέα σάρωση δείγματος και επεξεργασία μιας νέας καλύτερης εικόνας έναντι της χρήσης της συγκεκριμένης εντολής, όπως ήδη έχει αναφερθεί. Πάντως για λόγους οικονομίας χρόνου υπάρχει και αυτή η εναλλακτική λύση.



Εικόνα 3.28: Χρήση της εντολής Set Region. Η περιοχή που έχει οριστεί προς περαιτέρω επεξεργασία προσδιορίζεται από τα όρια της ροζ γραμμής που φαίνεται στην εικόνα. Μόνο οι κροκίδες που βρίσκονται εντός αυτών των ορίων εντοπίστηκαν από το λογισμικό και προσδιορίστηκαν αριθμητικά όπως φαίνεται παραπάνω.

Με την εντολή Set on/off μπορεί να γίνει χειροκίνητη αφαίρεση κροκίδων ή κάποιου αντικειμένου που έχει θεωρηθεί κακώς ως κροκίδα από την εφαρμογή, όπως για παράδειγμα φυσαλίδες αέρα (Εικόνα 3.19 και Εικόνα 3.29 αντίστοιχα). Η εντολή δίνει τη δυνατότητα συνολικής αφαίρεσης των επιλεγμένων αντικειμένων ή διαδοχικής μεμονωμένης αφαίρεσης κάθε αντικειμένου ξεχωριστά, ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη. Ο λόγος που μπορεί να είναι επιθυμητό να αφαιρεθεί μία κροκίδα, είναι συνήθως, αν η κροκίδα αυτή δεν εικονίζεται ολόκληρη, αλλά φαίνεται ένα μέρος αυτής στο χάρτη σαρωμένου πλακιδίου. Αυτό συμβαίνει συνήθως στο περίγραμμα του χάρτη, όπου μπορεί κάποια κροκίδα να μην έχει σαρωθεί ολόκληρη, διότι δεν ήταν μέσα στα όρια της επιλεγμένης περιοχής σάρωσης.



Εικόνα 3.29: Εφαρμογή της εντολής Set on/off είναι απαραίτητη στο παραπάνω παράδειγμα για την διαγραφή της φυσαλίδας αέρα που νοείται από το πρόγραμμα λανθασμένα ως κροκίδα, λόγω της χρωματικής ομοιότητας με τις υπόλοιπες κροκίδες και προσημάνθηκε με τον αριθμό 277. (Πηγή: Βασιλική Χιουρέα, Ιούλιος 2013).

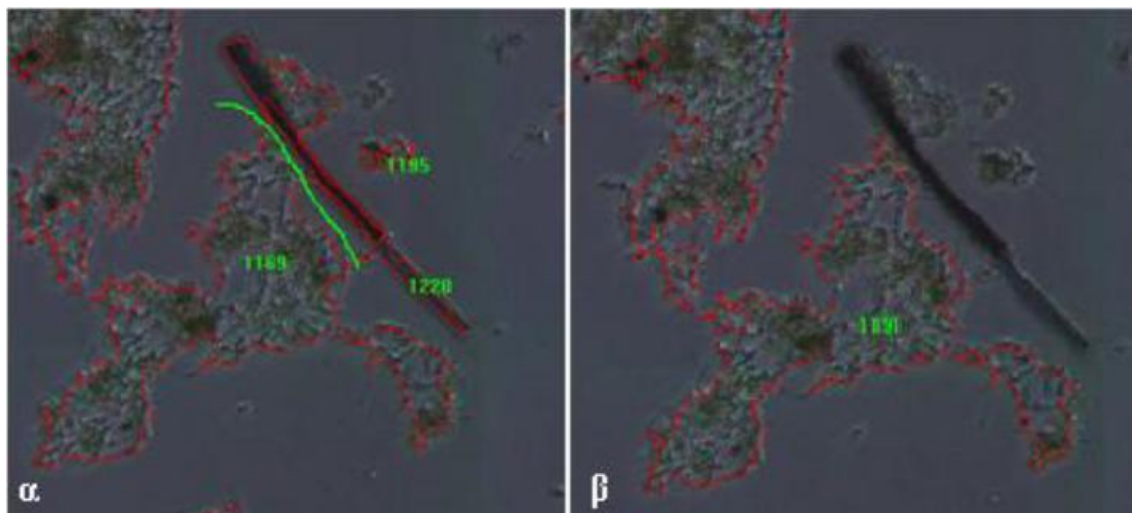
Με την εντολή Split, υπάρχει η δυνατότητα χειρωνακτικού διαχωρισμού των κροκίδων που έχουν συνενωθεί και το πρόγραμμα τις αντιλαμβάνεται ως μία ενιαία κροκίδα, με την χάραξη μιας πράσινης γραμμής στο επιθυμητό σημείο τομής. Επίσης, μπορούν να διαχωριστούν κροκίδες που έχουν λανθασμένα συνενωθεί με άλλα αντικείμενα λόγω χρωματικής ομοιότητας, όπως π.χ. μια φυσαλίδα αέρα, ώστε να απομονωθεί το ανεπιθύμητο αντικείμενο αρχικά, ως πλασματικά ξεχωριστή κροκίδα, όπως στην εικόνα 3.29 και εν συνεχεία να αφαιρεθεί με την εντολή Set on/off. Η χρήση αυτής της εντολής δίνει την δυνατότητα να διαχωρίζονται ένα-ένα τα επιθυμητά στοιχεία ή να επιλεγούν όλα τα στοιχεία που πρέπει να διαχωριστούν και συνολικά να πραγματοποιηθεί ο διαχωρισμός τους.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην εντολή Split Auto, της οποίας η χρήση δεν συνιστάται για το χρήστη, διότι με την επιλογή της το πρόγραμμα διενεργεί διαχωρισμούς κατά βούληση, οι οποίοι δεν είναι απαραίτητα οι επιθυμητοί ή/και οι ορθοί. Σε αυτό το σημείο, σκόπιμο κρίνεται επίσης να επισημανθεί, ότι δεν υπάρχει δυνατότητα αναίρεσης επιλογής μιας εντολής ή επιστροφής στην πρότερη κατάσταση και για το λόγο αυτό συνιστάται επισταμένη προσοχή κατά την επεξεργασία, διότι μια λανθασμένη κίνηση μπορεί να συνεπάγεται επαναληπτική διενέργεια επεξεργασίας της σαρωμένης εικόνας από μηδενικής βάσεως.

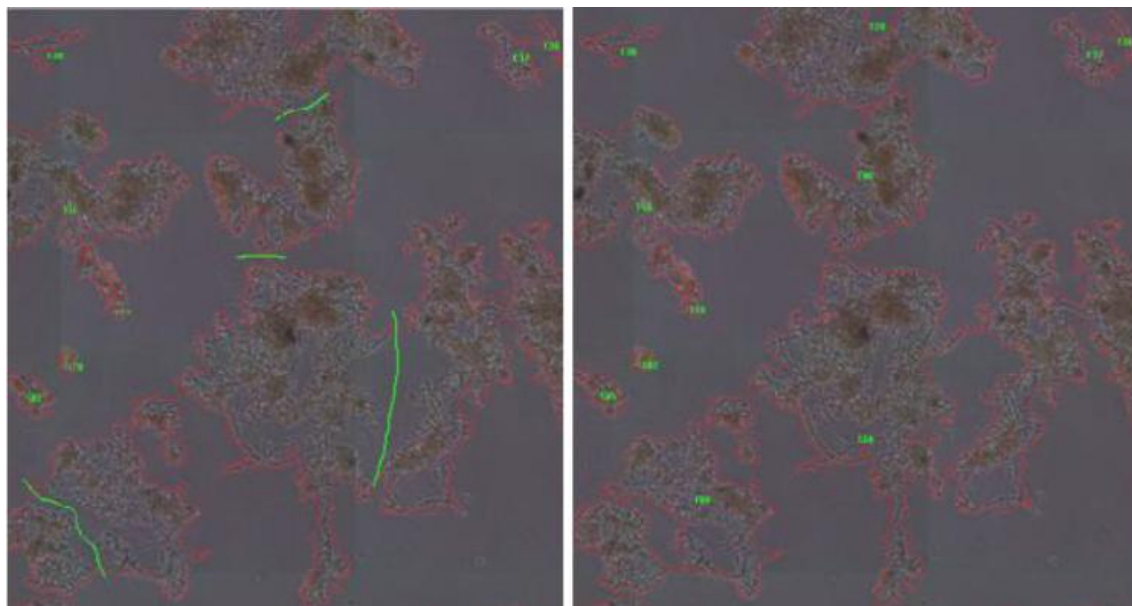
Η εντολή Draw/Merge δίνει τη δυνατότητα συνένωσης αντικειμένων ή βελτίωσης του περιγράμματος των κροκίδων, όταν αυτό δεν έχει χαραχθεί σωστά, λόγω της μη ορθής χρωματικής αναγνώρισης των κροκίδων. Η εντολή εκτελείται με τη χάραξη του επιθυμητού περιγράμματος με μια πράσινη γραμμή ή τη χάραξη ενός νέου συνολικού περιγράμματος για τη συνένωση πολλών αντικειμένων μαζί. Δίνει δε, τη δυνατότητα συνολικής ή διαδοχικής μεμονωμένης συνένωσης αντικειμένων ή βελτίωσης περιγράμματος, ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη, όμοια με την περίπτωση των εντολών Split και Set on/off.

Με την εντολή Min, επιλέγεται η μικρότερη κροκίδα που είναι επιθυμητή από το χρήστη. Δηλαδή, ορίζεται η ελάχιστη επιθυμητή σε μέγεθος κροκίδα (μέγιστης διαμέτρου περίπου 50μm). Οποιαδήποτε άλλη κροκίδα εντοπίζεται από το πρόγραμμα με μικρότερο μέγεθος από την επιλεγμένη, διαγράφεται και δεν νοείται πλέον ως κροκίδα και φυσικά δεν προσμετράται στην καταμέτρηση. Επίσης, διαγράφεται και κάθε άλλο αντικείμενο ή θραύσμα που έχει μικρότερο μέγεθος από αυτό της επιλεγμένης κροκίδας.

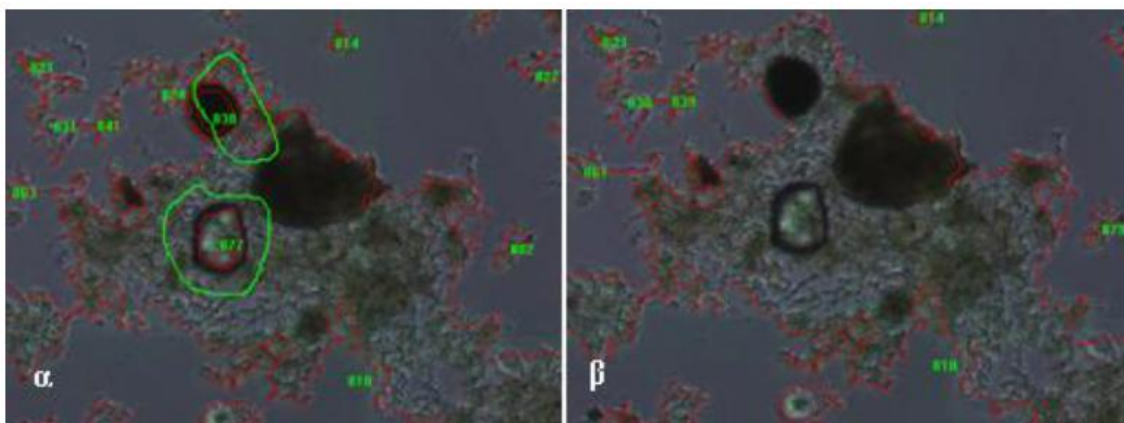
Η εντολή Max συνήθως δεν χρησιμοποιείται κατά την επεξεργασία, αλλά δίνει τη δυνατότητα επιλογής της μεγαλύτερης σε μέγεθος επιθυμητής κροκίδας, κατά αντιστοιχία με την εντολή Min.



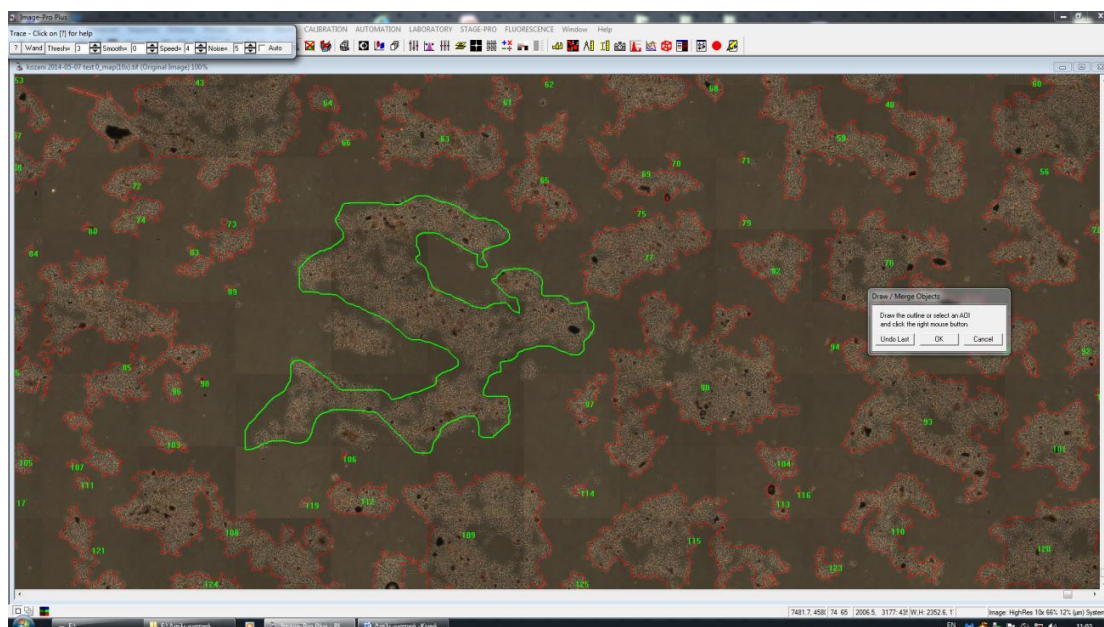
Εικόνα 3.30: Παράδειγμα αφαίρεσης αντικειμένου αρχικά με χρήση της εντολής Split και εν συνεχεία με χρήση της εντολής Set on/off. (Πηγή: Βασιλική Χιουρέα, Ιούλιος 2013)



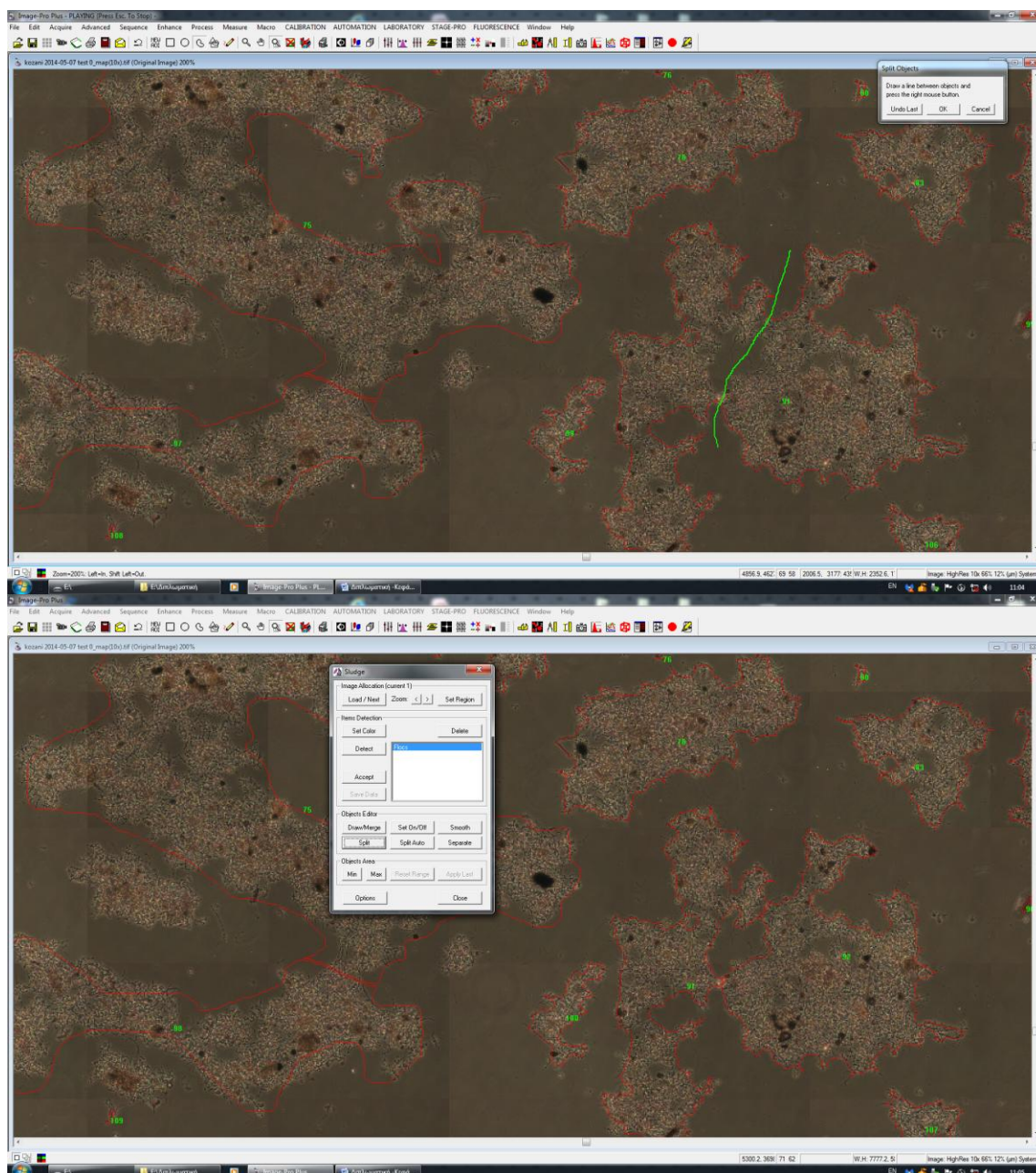
Εικόνα 3.31: Διαχωρισμός κροκίδων με τη βοήθεια της εντολής Split. Αριστερά η εικόνα των κροκίδων πριν το διαχωρισμό και δεξιά μετά από αυτόν. (Πηγή: Βασιλική Χιουρέα, Ιούλιος 2013)



Εικόνα 3.32: Συγχώνευση-συνένωση αντικειμένων με τη βοήθεια της εντολής Draw/Merge. (Πηγή: Βασιλική Χιουρέα, Ιούλιος 2013)



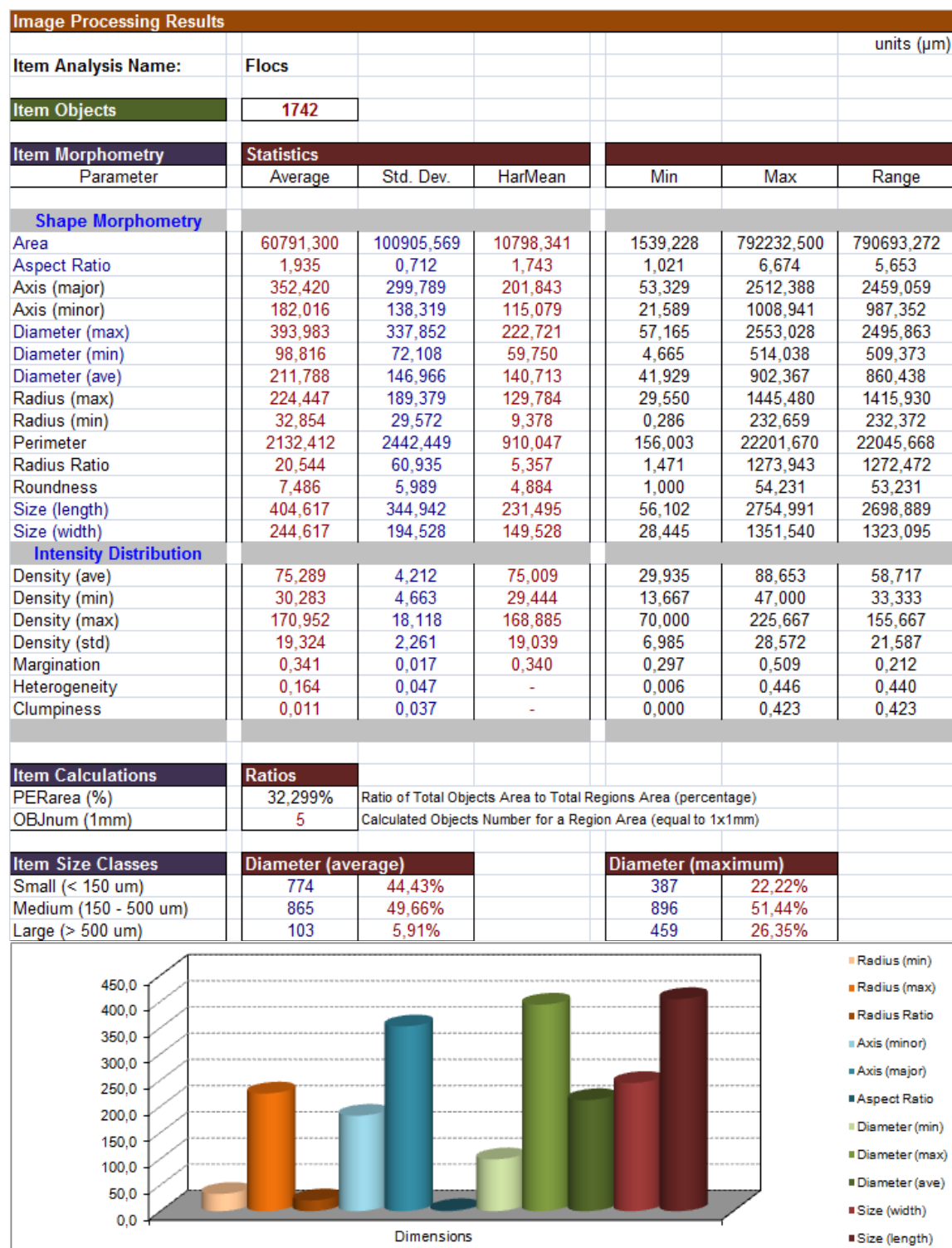
Εικόνα 3.33: Χρήση της εντολής Draw/Merge για να σχεδιαστεί το περίγραμμα κροκίδας που δεν έχει εντοπιστεί από το λογισμικό ή κροκίδας της οποίας κατά λάθος αφαιρέθηκε το περίγραμμα με χρήση της εντολής Set on/off.



Εικόνα 3.34: Χρήση της εντολής Split για το διαχωρισμό κροκίδων. Στην πρώτη εικόνα φαίνεται ο σχεδιασμός της γραμμής στα όρια που είναι επιθυμητό να πραγματοποιηθεί διαχωρισμός και στη δεύτερη εικόνα φαίνονται οι κροκίδες μετά το διαχωρισμό σε ξεχωριστό πλέον περίγραμμα και με διαφορετικό αριθμητικό προσδιορισμό.

Όταν έχει ολοκληρωθεί η επεξεργασία του χάρτη σαρωμένου πλακιδίου, με τη βοήθεια όλων των εντολών του προγράμματος που παρουσιάστηκαν αναλυτικά προηγουμένως, και αν ο χρήστης είναι σίγουρος ότι πραγματοποιήθηκαν όλες οι απαιτούμενες ενέργειες, χρησιμοποιείται η εντολή Accept (Εικόνα 3.17), που επικυρώνει την ολοκλήρωση της επεξεργασίας. Εν συνεχεία, επιλέγεται η εντολή Save Data (Εικόνα 3.17), η οποία δίνει πρακτικά την εντολή στο πρόγραμμα να διενεργήσει καταμέτρηση των κροκίδων και προσδιορισμό των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας καταγράφονται αυτόματα σε ένα αρχείο excel, το οποίο εμφανίζεται στο περιβάλλον εργασίας του λογισμικού και δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να το αποθηκεύσει στο σκληρό δίσκο του υπολογιστή. Το αρχείο αυτό περιλαμβάνει στατιστικούς τύπους (μέσο όρο, τυπική απόκλιση, ελάχιστο, μέγιστο, κλπ.) και τιμές και γραφήματα για όλες τις εξεταζόμενες από το πρόγραμμα παραμέτρους (π.χ. περίμετρος, διάμετρος, επιφάνεια κλπ.).

Στην περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να επεξεργαστεί περισσότερους του ενός χάρτες σαρωμένων πλακιδίων, του ίδιου δείγματος, την ίδια χρονική στιγμή διαδοχικά, έχει τη δυνατότητα να το κάνει και να λάβει όλα τα δεδομένα σε ένα μοναδικό αρχείο excel, αν προβεί στην επεξεργασία του επόμενου χάρτη κάθε φορά χωρίς να κλείσει το αρχείο excel που του εμφανίζεται από την πρώτη επεξεργασία και φυσικά χωρίς να κλείσει το πρόγραμμα. Το μόνο που απαιτείται να γίνει είναι να φορτωθεί ο επόμενος χάρτης, με την εντολή Load/Next και να ακολουθήσει κανονικά η επεξεργασία της εικόνας με το σύνολο των εντολών που περιγράφηκαν. Σε αντίθετη περίπτωση, αν δηλαδή για το ίδιο δείγμα υπάρχουν πολλοί χάρτες σαρωμένων πλακιδίων, που επεξεργάστηκαν διαφορετική χρονική στιγμή και προέκυψαν πολλά διαφορετικά αρχεία excel, υπάρχει δυνατότητα να ενταχθούν όλα τα δεδομένα εύκολα σε ένα αρχείο excel με αντιγραφή και επικόλληση των δεδομένων σε ένα συγκεκριμένο φύλλο του excel με την ονομασία 1. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η τυπική μορφή ενός αρχείου excel που προκύπτει μετά από την επεξεργασία (Εικόνα 3.35).



Εικόνα 3.35: Ενδεικτικό παράδειγμα αρχείου excel από την επεξεργασία τριών χαρτών σαρωμένων πλακιδίων για δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 05/02/2014).

3.3 Πειραματικός προσδιορισμός παραμέτρων καθίζησης της ενεργού ιλύος

3.3.1 Πειραματικός προσδιορισμός του δείκτη καθιζησιμότητας ιλύος (DSVI)

Η δοκιμή του αραιωμένου SVI (DSVI) είναι μία μέθοδος που πραγματοποιείται για τον έλεγχο της καθιζησιμότητας. Κατά την πειραματική διαδικασία απαιτείται αραιώση του δείγματος λάσπης, έτσι ώστε ο καθιζάνων όγκος μετά από 30 λεπτά να μην ξεπερνά το εύρος των 150-250 ml (Henze et al.,2008). Η δοκιμή αυτή αποφεύγει το πρόβλημα των υψηλών συγκεντρώσεων MLSS, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας καλύτερος δείκτης δυνητικής νηματοειδούς διόγκωσης (εάν $DSVI > 150 \text{ml/g}$).

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο του Jenkins, η ακριβής διαδικασία που περιγράφεται για τον προσδιορισμό του δείκτη DSVI περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

1) Μια σειρά αραιώσεων στο διπλάσιο του δείγματος της ενεργού ιλύος που θα χρησιμοποιηθεί για την πειραματική διαδικασία παρασκευάζεται (δηλαδή όχι αραιώσεις 1:1 ή 1:3), χρησιμοποιώντας καλά διαυγασμένο δευτερογενές λύμα.

2) Τα αραιωμένα δείγματα ενεργού ιλύος τοποθετούνται σε βαθμονομημένους κυλίνδρους και προσεκτικά επανα-αιωρούνται για να διανεμηθούν ομοιόμορφα τα σωματίδια ενεργού ιλύος σε ολόκληρο τον όγκο των ογκομετρικών κυλίνδρων.

3) Τα δείγματα ενεργού ιλύος αφήνονται να καθιζάνουν κάτω υπό συνθήκες απόλυτης ηρεμίας για 30 λεπτά. Ο όγκος της λάσπης που έχει καθιζάνει μετά την πάροδο των 30 λεπτών, SV_{30} , στη συνέχεια διαβάζεται και καταγράφεται.

4) Το DSVI υπολογίζεται από μία τιμή SV_{30} από αυτές της μετρούμενης σειράς αραιωμένων δειγμάτων, η οποία να είναι μικρότερη από τις πιο κοντινές στην τιμή των 200ml/l. Μια ανοχή για 40ml/l είναι αποδεκτή για τις τιμές SV_{30} . Το DSVI υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο :

$$DSVI = \frac{SV_{30} \cdot 2^n}{X} \quad (3.1)$$

Όπου:

SV_{30} : Ο όγκος της λάσπης στον ογκομετρικό κύλινδρο μετά την πάροδο 30 λεπτών

n: Ο αριθμός των διπλών αραιώσεων που απαιτούνται για την απόκτηση του SV_{30} όγκου της λάσπης που έχει καθιζάνει με τιμή μικρότερη από 200ml/l.

X: Η αρχική συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού πριν την αραιώση

(Πηγή: Activated Sludge: Bulking and Foaming Control του Jiri Wanner)

Η δοκιμή για τον προσδιορισμό του δείκτη DSVI στην παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκε για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού των ΕΕΛ Λαμίας και Κοζάνης. Σημαντικό είναι να επισημανθεί, ότι η αραιώση του λύματος πραγματοποιήθηκε για όλα τα δείγματα με νερό και όχι με υπερκείμενο υγρό από το δείγμα ανάμικτου υγρού. Το αραιωμένο δείγμα αφηνόταν να καθιζάνει, σε απόλυτη ηρεμία, σε ένα βαθμονομημένο ογκομετρικό κύλινδρο II και μετά από 30 λεπτά γινόταν καταμέτρηση του όγκου που καταλαμβάνει η ιλύς στον ογκομετρικό κύλινδρο.

Όλα τα πειράματα DSVI πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία 20°C. Για την επίτευξη αυτής της σταθερής θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν ειδικά ανοξείδωτα υδατόλουτρα (bath), με εσωτερικές διαστάσεις μήκους-πλάτους-βάθους 505mmx300mmx200mm. Η θέρμανση των υδατόλουτρων γίνεται μέσω αντίστασης στο κάτω μέρος της λεκάνης του λουτρού και με ανακυκλοφορία νερού μέσω αντλίας με πίεση 120mbar και εκτόνωση 10lt/min (λειτουργικά χαρακτηριστικά: 220V/50HZ, 2000W). Ένα από τα υδατόλουτρα που χρησιμοποιήθηκε εικονίζεται παρακάτω (Εικόνα 3.36).



Εικόνα 3.36: Αριστερά εικονίζεται ανοξείδωτο υδατόλουτρο ρυθμισμένο στους 20°C κατά την πειραματική διαδικασία προσδιορισμού του δείκτη DSVI. Δεξιά στο εσωτερικό του ανοξείδωτου υδατόλουτρου φαίνεται ογκομετρικός κύλινδρος του 1l, μέσα στον οποίο έχει αφεθεί, σε απόλυτη ηρεμία, να καθιζάνει αραιωμένο δείγμα ανάμικτου υγρού για μισή ώρα. Η θερμοκρασία του αραιωμένου λύματος προσδιορίστηκε και επιβεβαιώθηκε ότι ήταν στους 20°C και κατά την έναρξη, αλλά και κατά τη λήξη της πειραματικής διαδικασίας, με τη χρήση πεχάμετρου, ενός ειδικού οργάνου που έχει τη δυνατότητα μέτρησης του pH αλλά και της θερμοκρασίας. Η συσκευή αυτή φαίνεται επίσης στο κάτω μέρος της πρώτης εικόνας.

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας στους 20°C για την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, γινόταν αφού πρώτα με ειδικό θερμόμετρο ή με πεχάμετρο ελεγχόταν η θερμοκρασία του λύματος. Συχνά, ήταν απαραίτητη η αρχική προθέρμανση του λύματος σε ένα υδατόλουτρο, μέχρι να φτάσει τους 20°C το αραιωμένο λύμα, διότι η θερμοκρασία των λυμάτων που συντηρούνται στο ψυγείο συνήθως δεν ξεπερνά τους 15°C, και στόχος της δοκιμής ήταν η θερμοκρασία να παραμένει σταθερή σε όλη τη διάρκεια των 30 λεπτών. Έλεγχος της θερμοκρασίας γινόταν και στην έναρξη αλλά και στη λήξη της πειραματικής διαδικασίας.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να επισημανθεί ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, που η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν μεγαλύτερη των 20°C στο χώρο του εργαστηρίου, η διατήρηση της θερμοκρασίας ήταν δύσκολο κάποιες φορές να επιτευχθεί στο αναμενόμενο επίπεδο, λόγω του ότι τα υδατόλουτρα έχουν δυνατότητα θέρμανσης μεν, αλλά όχι ψύξης δε, και αυτό δεν βοηθούσε κατά την πειραματική διαδικασία. Η θερμοκρασία πάντως για καμία δοκιμή δεν είχε απόκλιση πάνω από 1-2°C το πολύ, από τον αρχικό θερμοκρασιακό στόχο, οπότε θεωρείται ότι ο στόχος έχει επιτευχθεί.

Η θερμοκρασία ασκεί σημαντική επίδραση στο δείκτη DSVI και αυτός ήταν ο λόγος που όλα τα πειράματα αποφασίστηκε να πραγματοποιηθούν στην ίδια θερμοκρασία, σταθερά στους 20°C, έτσι ώστε να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι από πειραματικές δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί από τη Χιουρέα Βασιλική (2013) στα πλαίσια της διπλωματικής της εργασίας στο εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ, φαίνεται ότι στο θερμοκρασιακό διάστημα 20-30°C, η τιμή του δείκτη DSVI παρουσίαζε γραμμική μείωση. Για θερμοκρασίες κάτω των 20°C, η τιμή του δείκτη παραμένει αμετάβλητη,

ενώ για θερμοκρασίες άνω των 30°C, η διαδικασία της καθίζησης επηρεάζεται αρνητικά, καθώς η τιμή του δείκτη DSVI αυξάνεται.

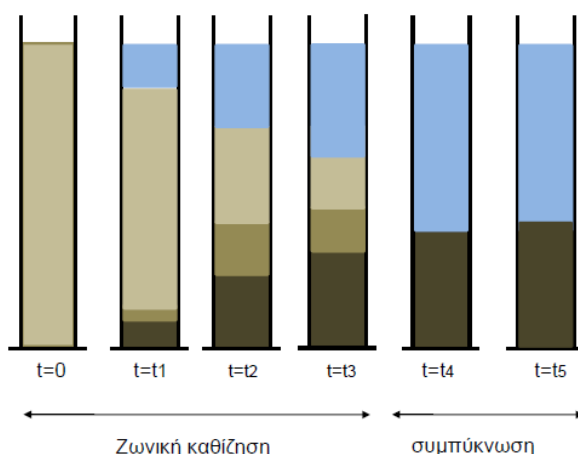
Τέλος, ο υπολογισμός του δείκτη DSVI μετά τη λήξη της πειραματικής διαδικασίας προσδιορίζεται εύκολα, εφόσον είναι ήδη γνωστή η αρχική συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού όπως αυτή έχει υπολογιστεί μέσω της πειραματικής διαδικασίας που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.1.1 ως εξής:

$$DSVI = \frac{\text{Όγκος ιλύος, ml}}{\text{αρχική συγκέντρωση ανάμικτου υγρού, gr}} \times \text{αριθμός αραιώσεων} \quad (3.2)$$

3.3.2 Πειραματικός προσδιορισμός της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης της ιλύος και των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind

Για τη μέτρηση της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης, πραγματοποιήθηκαν πειράματα για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού και επανακυκλοφορίας της ενεργού ιλύος από τις ΕΕΛ Λαμίας και Κοζάνης. Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν και σε αυτή τη δοκιμή ανοξείδωτα υδατόλουτρα, με σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας σταθερή στους 20°C. Επίσης, άλλες συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν βαθμονομημένοι ογκομετρικοί κύλινδροι του 1l, χρονόμετρο με ακρίβεια δευτερολέπτου και θερμομέτρο ή πεχάμετρο για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας πριν και μετά από κάθε δοκιμή.

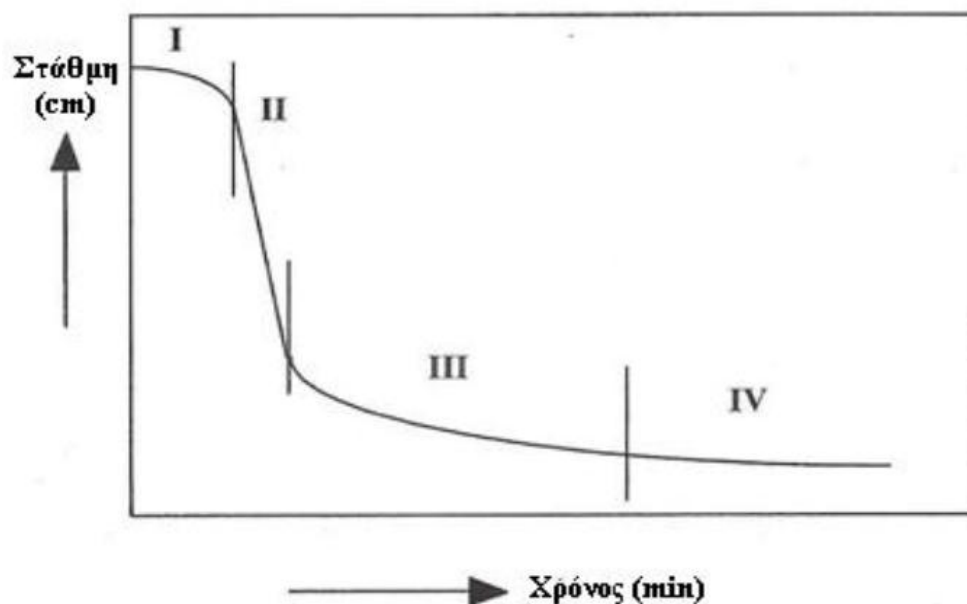
Σε αυτό το πείραμα, ανάμικτο υγρό ή λάσπη από την επανακυκλοφορία τοποθετείται σε έναν βαθμονομημένο ογκομετρικό κύλινδρο του 1l και εν συνεχεία καταγράφεται το ύψος της επιφάνειας του όγκου που καταλαμβάνει η ιλύς ανά τακτά χρονικά διαστήματα, καθώς καθιζάνει σε συνθήκες απόλυτης ηρεμίας και σε σταθερή θερμοκρασία 20°C. Επιλέχτηκε να καταγράφονται τιμές υψών κάθε 3 λεπτά για διάρκεια μισής ώρας. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν για διάφορες συγκεντρώσεις (1000mg/l, 2000 mg/l, 3000 mg/l, 4000 mg/l, 5000 mg/l κλπ.). Για να γίνουν οι δοκιμές αυτές σε μια μεγάλη γκάμα συγκεντρώσεων, πραγματοποιήθηκαν κάθε φορά οι κατάλληλες αραιώσεις με νερό (και όχι υπερκείμενο υγρό) είτε σε δείγματα ανάμικτου υγρού είτε σε δείγματα ιλύος επανακυκλοφορίας, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκέντρωση κάθε φορά.



Εικόνα 3.37: Ενδεικτική απεικόνιση πειράματος προσδιορισμού ταχύτητας ζωνικής καθίζησης

Μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας, στο πέρας των 30 λεπτών, καταστρώνεται η καμπύλη των υψών της επιφάνειας του όγκου της ιλύος

συναρτήσε του χρόνου, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα



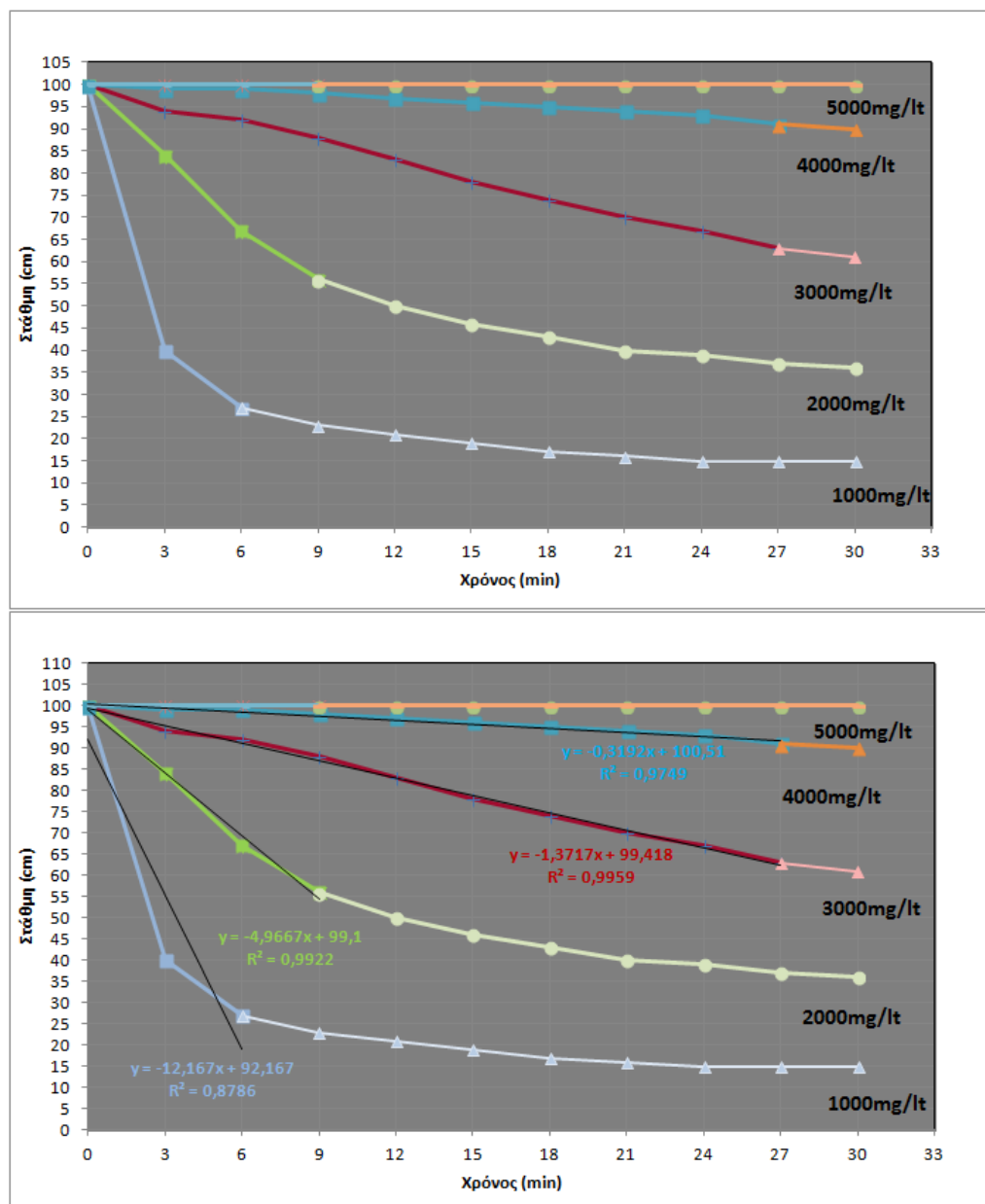
Σχήμα 3.1: Τυπική καμπύλη ζωνικής καθίζησης (Valter T. et al. 2006). Η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης προκύπτει από την κλίση της καμπύλης στη φάση (II)

Η καμπύλη που καταστρώνεται μπορεί να διαχωριστεί σε τρία στάδια. Η πρώτη φάση (I) λέγεται φάση υστέρησης και διαρκεί ένα με δύο λεπτά στην αρχή του πειράματος. Η δεύτερη φάση (II) είναι η φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας. Διαρκεί περίπου 3-30 λεπτά ανάλογα με τη συγκέντρωση του ανάμικτου υγρού και το ύψος του κυλίνδρου. Από την κλίση αυτής της γραμμικής περιοχής προκύπτει η Ζωνική ταχύτητα καθίζησης (ZSV) της ιλύος για τη συγκέντρωση που πραγματοποιήθηκε η δοκιμή. Η τρίτη και τελευταία φάση (III, IV) είναι η φάση της επίδρασης της συμύκνωσης στην ταχύτητα καθίζησης με αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωσή της.

Γνωρίζοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διεξαγωγή των πειραμάτων προσδιορισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού, στη συνέχεια μπορούν να υπολογιστούν και οι σταθερές V_0 (m/h) και n (m^3/kg) της εξίσωσης Vesilind, η οποία εκφράζει, όπως αναπτύχθηκε αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 2, την ταχύτητα καθίζησης V_s (m/h) συναρτήσε της συγκέντρωσης των στερεών X (g/l ή kg/m^3) μέσω της εξίσωσης:

$$v_s = v_o \cdot e^{-n \cdot X} \quad (3.3).$$

Παρακάτω στο διάγραμμα 3.2 παρουσιάζεται ένα τυπικό παράδειγμα πειράματος για τον υπολογισμό της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιήθηκε για συγκεντρώσεις στερεών 1000, 2000, 3000, 4000 και 5000mg/l. Η δειγματοληψία είχε γίνει από την ΕΕΛ Κοζάνης στις 11/03/2014 και με την πειραματική διαδικασία που έχει περιγραφεί στην παράγραφο 3.1.1, είχε προσδιοριστεί ότι η συγκέντρωση των στερεών MLSS στο δείγμα του ανάμικτου υγρού ήταν ίση με 3646,67mg/l και αντίστοιχα στο δείγμα της λάσπης ανακυκλοφορίας ήταν ίση με 6953,33mg/l. Ακολούθησαν οι απαιτούμενες αραιώσεις και πραγματοποιήθηκε το πείραμα για κάθε συγκέντρωση. Οι καμπύλες καθίζησης που προέκυψαν για κάθε συγκέντρωση εικονίζονται στο διάγραμμα 3.2.

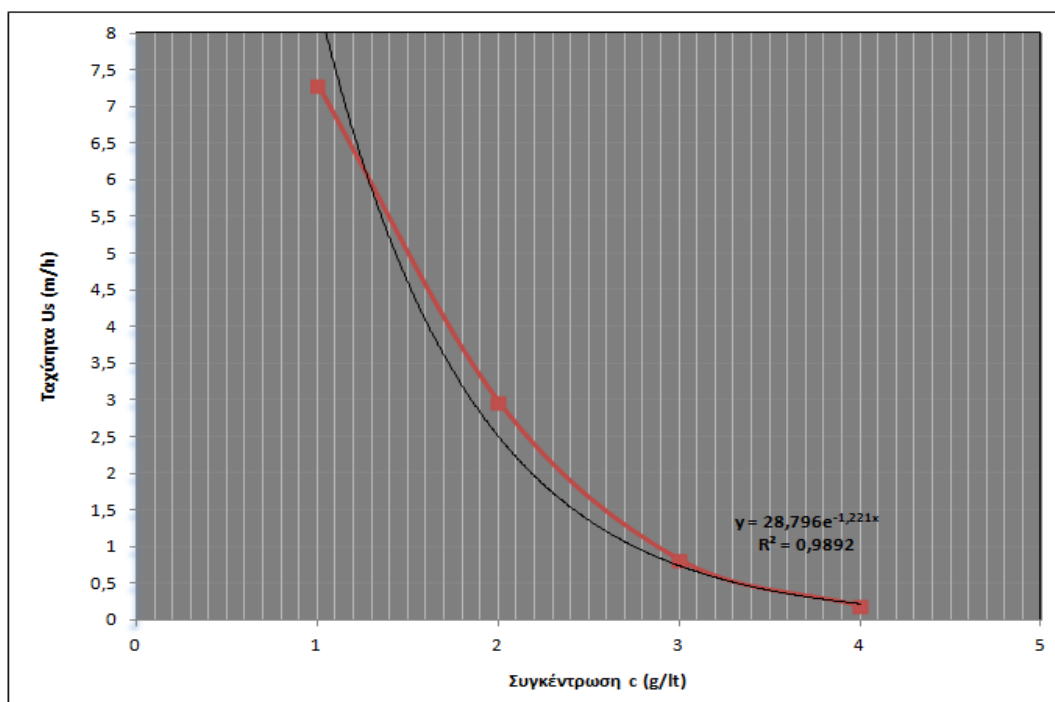


Σχήμα 3.2: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014. Στην δεύτερη εικόνα με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

Για		cm/min	m/h
c1=1g/lt	Vs1	12,167	7,3002
c2=2g/lt	Vs2	4,9667	2,98002
c3=3g/lt	Vs3	1,3717	0,82302
c4=4g/lt	Vs4	0,3192	0,19152

Εικόνα 3.38: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014.

Από την εικόνα 3.38 είναι εμφανές ότι τα πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί για χαμηλές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού παρουσιάζουν υψηλές ταχύτητες ζωνικής καθίζησης, ενώ στις υψηλές συγκεντρώσεις η καθίζηση πραγματοποιείται με πολύ πιο αργούς ρυθμούς. Στη συνέχεια, οι υπολογισμένες ταχύτητες καθίζησης (σε m/h) καταγράφονται σε ένα γράφημα συναρτήσεως των αντίστοιχων συγκεντρώσεων στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας (σε g/l) και από την καμπύλη αυτού του γραφήματος εξάγεται η εκθετική εξίσωση Vesilind, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.3.



Σχήμα 3.3: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί και έχουν τιμές 28,796 και 1,221 αντίστοιχα, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

Αναφέρεται τέλος, ότι υπάρχει η δυνατότητα, τα ίδια δεδομένα να καταγραφούν και σε γράφημα στο οποίο οι ταχύτητες ζωνικής καθίζησης θα παρουσιάζονται με τη μορφή φυσικού λογαρίθμου και η καμπύλη που θα προκύπτει θα είναι γραμμική αντί για εκθετική. Η εξίσωση που θα την περιγράψει θα είναι της μορφής:

$$\ln(v_s) = \ln(v_o) - n \cdot MLSS \quad (3.4)$$

3.4 Πειραματικό πρωτόκολλο δοκιμών με προσθήκη κροκιδωτικών

Στα πλαίσια των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν, αποφασίστηκε να γίνουν και κάποιες σειρές πειραμάτων προσδιορισμού του δείκτη DSVI και των ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης σε δείγματα ανάμικτου υγρού από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας, στα οποία έγινε προσθήκη κροκιδωτικών. Εν συνεχεία, έγινε για κάποια δείγματα με κροκιδωτικά καταμέτρηση κροκίδων και καταγραφή

των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών με τη βοήθεια του λογισμικού image analysis που αναπτύχθηκε στην παράγραφο 3.2.3.

Η πρώτη σειρά πειραμάτων με κροκιδωτικά πραγματοποιήθηκε για δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης (δειγματοληψία 12/02/2014), η δεύτερη σειρά πειραμάτων έγινε για δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης (δειγματοληψία 11/03/2014), και τέλος η τρίτη σειρά πειραμάτων έγινε για δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014).

Στην πρώτη σειρά πειραμάτων, τα κροκιδωτικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα FeCl_2 και FeCl_3 . Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκαν εκτός από τα δύο κροκιδωτικά που προαναφέρθηκαν και το Al_2O_3 , ενώ στην τελευταία σειρά πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκαν τα τρία κροκιδωτικά που προαναφέρθηκαν και επιπλέον πολυηλεκτρολύτης και $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

Πιο συγκεκριμένα, συνολικά αξιολογήθηκε η αποτελεσματικότητα των ακόλουθων ανόργανων και οργανικών κροκιδωτικών:

- τρισθενής χλωριούχος σίδηρος, διάλυμα περιεκτικότητας σε $\text{Fe}^{3+} = 14\%$ κ.β., με ειδικό βάρος 1,44kg/l
- χλωριούχος υποσίδηρος, διάλυμα περιεκτικότητας σε $\text{Fe}^{2+} = 9\%$ κ.β., με ειδικό βάρος 1,30kg/l
- χλωριούχο πολυαργιλικό υδροξείδιο χαμηλής βασικότητας PAC B40, διάλυμα περιεκτικότητας σε $\text{Al}_2\text{O}_3 = 17\%$ κ.β.
- θειϊκό αργίλιο (η προμήθεια του θειϊκού αργιλίου έγινε απευθείας από την ΕΕΛ Λαμίας)
- Κατιονικός πολυηλεκτρολύτης (η προμήθεια του πολυηλεκτρολύτη έγινε απευθείας από την ΕΕΛ Λαμίας, αφού χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση).

Σε όλες τις σειρές πειραμάτων διενεργήθηκαν πειράματα για τρεις δόσεις από κάθε κροκιδωτικό, ενώ κάθε φορά γινόταν και μία δοκιμή χωρίς προσθήκη κροκιδωτικού.

Οι δόσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη σειρά πειραμάτων ήταν οι εξής:

- τρισθενής χλωριούχος σίδηρος: 20g Fe^{3+} /KgSS, 35g Fe^{3+} /KgSS και 70g Fe^{3+} /KgSS
- χλωριούχος υποσίδηρος: 20 g Fe^{2+} /KgSS, 35 g Fe^{2+} /KgSS και 70 g Fe^{2+} /KgSS

Οι δόσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη δεύτερη σειρά πειραμάτων ήταν οι εξής:

- τρισθενής χλωριούχος σίδηρος: 20g Fe^{3+} /KgSS, 35g Fe^{3+} /KgSS και 70g Fe^{3+} /KgSS
- χλωριούχος υποσίδηρος: 20 g Fe^{2+} /KgSS, 35 g Fe^{2+} /KgSS και 70 g Fe^{2+} /KgSS
- χλωριούχο πολυαργιλικό υδροξείδιο χαμηλής βασικότητας: 5 g Al^{3+} /KgSS, 10 g Al^{3+} /KgSS και 20 g Al^{3+} /KgSS

Οι δόσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην τρίτη σειρά πειραμάτων ήταν οι εξής:

- τρισθενής χλωριούχος σίδηρος: 20g Fe^{3+} /KgSS, 35g Fe^{3+} /KgSS και 70g Fe^{3+} /KgSS

- χλωριούχος υποσίδηρος: 20 gFe²⁺/KgSS, 35 gFe²⁺/KgSS και 70 gFe²⁺/KgSS
- χλωριούχο πολυαργιλικό υδροξείδιο χαμηλής βασικότητας: 20 gAl³⁺/KgSS, 50 gAl³⁺/KgSS και 90 gAl³⁺/KgSS
- θειϊκό αργίλιο: 20 gAl³⁺/KgSS, 50 gAl³⁺/KgSS και 100 gAl³⁺/KgSS
- κατιονικός πολυηλεκτρολύτης: 4 g/KgSS, 10 g/KgSS και 20 g/KgSS

Πειραματική διαδικασία

Σε όλες τις σειρές πειραμάτων που διενεργήθηκαν σε δείγματα ανάμικτου υγρού με προσθήκη κροκιδωτικών ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- 1) Μετρήθηκαν τα ολικά αιωρούμενα στερεά του δείγματος ανάμικτου υγρού με βάση το πειραματικό πρωτόκολλο που περιγράφηκε ήδη αναλυτικά στην παράγραφο 3.1.1.
- 2) Διενεργήθηκε αραιώση των δειγμάτων με νερό με στόχο την επίτευξη συγκέντρωσης ολικών αιωρούμενων στερεών στα 2000mg/lit.
- 3) Επαναληπτική μέτρηση ολικών αιωρούμενων στερεών έγινε για να επιβεβαιωθεί ότι έχει επιτευχθεί ο στόχος των 2000mg/lit ως συγκέντρωση στο δείγμα που προορίζεται για το πείραμα χωρίς την προσθήκη κάποιου κροκιδωτικού.
- 4) Διενέργεια πειράματος για τον προσδιορισμό του δείκτη DSVI σε αραιωμένο δείγμα ανάμικτου υγρού, χωρίς προσθήκη κροκιδωτικού και σε θερμοκρασία 20°C, ακολουθώντας το πειραματικό πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε αναλυτικά στην παράγραφο 3.3.1, καθώς και πειράματος για τον προσδιορισμό της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης, στις ίδιες συνθήκες, ακολουθώντας το πειραματικό πρωτόκολλο 3.3.2.
- 5) Νέα μέτρηση ολικών αιωρούμενων στερεών με βάση το πρωτόκολλο 3.1.1 για να επιβεβαιωθεί ότι έχει επιτευχθεί ο στόχος των 2000mg/lit ως συγκέντρωση στο εκάστοτε δείγμα που προορίζεται για πείραμα με προσθήκη κάποιου κροκιδωτικού.
- 6) Προσθήκη απαιτούμενης δόσης κροκιδωτικού στο εκάστοτε αραιωμένο δείγμα ανάμικτου υγρού, με χρήση της κατάλληλης πιπέτας, ανάλογα με την δοσολογία του κροκιδωτικού που έχει αποφασιστεί και αφού έχει πρώτα αναδευτεί πολύ καλά.
- 7) Πολύ καλή ανάδευση του αραιωμένου δείγματος ανάμικτου υγρού που περιέχει κάποιο κροκιδωτικό, με σκοπό το κροκιδωτικό να αντιδράσει καλά.
- 8) Διενέργεια επαναληπτικής μέτρησης ολικών αιωρούμενων στερεών με βάση το πρωτόκολλο 3.1.1, με στόχο να εξεταστεί αν διαφοροποιείται η συγκέντρωση στόχος των 2000mg/lit μετά την προσθήκη του εκάστοτε κροκιδωτικού σε οποιαδήποτε δοσολογία.
- 9) Διενέργεια πειράματος για τον προσδιορισμό του δείκτη DSVI σε αραιωμένο δείγμα ανάμικτου υγρού, με προσθήκη κροκιδωτικού αυτή τη φορά, και σε θερμοκρασία 20°C, ακολουθώντας το πειραματικό πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε αναλυτικά στην παράγραφο 3.3.1, καθώς και

πειράματος για τον προσδιορισμό της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης, στις ίδιες συνθήκες ακολουθώντας το πειραματικό πρωτόκολλο 3.3.2.

- 10) Διενέργεια πειραματικού πρωτοκόλλου 3.2.3 για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού με προσθήκη κάποιου κροκιδωτικού. (Αυτό το βήμα δεν πραγματοποιήθηκε για την πρώτη σειρά πειραμάτων της ΕΕΛ Κοζάνης - δειγματοληψία 12/02/2014. Επίσης στη δεύτερη σειρά πειραμάτων έγινε σάρωση τριών πλακιδίων για κάθε δόση και κάθε είδος κροκιδωτικού, ενώ στην τρίτη σειρά πειραμάτων, έγινε σάρωση μόνο ενός πλακιδίου για κάθε δόση και κάθε είδος κροκιδωτικού).

Επιμέρους διαδικασίες απαραίτητες για το πείραμα

Τα κροκιδωτικά FeCl_2 και FeCl_3 και Al_2O_3 είναι σε μορφή διαλύματος εξαρχής και δεν απαιτείται καμία επιπλέον διεργασία για την προσθήκη τους στο δείγμα του αραιωμένου ανάμικτου υγρού, πέρα από μια καλή ανάμειξη. Αντίθετα, τα άλλα δύο κροκιδωτικά, επειδή είναι σε στερεή μορφή (μορφή σκόνης και κοκκώδης μορφή) απαιτούν κάποιες επιμέρους διεργασίες, πριν την προσθήκη τους στο δείγμα.

Πιο συγκεκριμένα, για το $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ απαιτήθηκε να φτιαχτεί διάλυμα με αναλογία 370gr σκόνης σε 1L νερού. Για την ακριβή ζύγιση της απαιτούμενης ποσότητας κροκιδωτικού σε μορφή σκόνης χρησιμοποιήθηκε ειδικός ζυγός που φαίνεται στην εικόνα 3.39. Μετά την ανάμειξη με το νερό, το διάλυμα τοποθετήθηκε σε ένα ποτήρι ζέσεως και αφέθηκε για μία ώρα να αναδευτεί σε μέτρια ταχύτητα σε κατάλληλη συσκευή ανάδευσης (Εικόνα 3.40). Εναλλακτικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και μαγνητικός αναδευτήρας (Εικόνα 3.39).

Για τον κατιονικό πολυηλεκτρολύτη, 0,4gr σκόνης πολυηλεκτρολύτη ανακατεύτηκαν καλά με 200ml νερού. Το διάλυμα αφέθηκε να ωριμάσει για μία ώρα περίπου πριν τη λήψη των δόσεων. Η όψη που αποκτά το παρασκευασμένο διάλυμα έχει ζελατινοειδή μορφή.



Εικόνα 3.39: Ζυγός στα αριστερά και μηχανικός αναδευτήρας στα δεξιά



Εικόνα 3.40: Συσκευή ανάδευσης που χρησιμοποιήθηκε για την καλή ανάμειξη του διαλύματος των κροκιδωτικών. Η συσκευή αυτή διαθέτει δυνατότητα ρύθμισης των στροφών ανάδευσης και χρονόμετρο.



Εικόνα 3.41: Κροκιδωτικά: (α) κατιονικός πολυηλεκτρολύτης, (β) θειικό αργίλιο, (γ) χλωριούχο πολυαργιλικό υδροξείδιο χαμηλής βασικότητας, (δ) τρισθενής χλωριούχος σιδήρος, (ε) χλωριούχος υποσίδηρος.

3.5 Πειραματική διαδικασία προσδιορισμού της τάσης αφρισμού της βιομάζας.

Η τάση των δειγμάτων για αφρισμό, καθώς και η σταθερότητα του αφρού αυτού, εκτιμάται με ελεγχόμενη πρόκληση αφρισμού του δείγματος σε ογκομετρικό κύλινδρο. Ο χρόνος που χρειάζεται για να καταρρεύσει ο αφρός που σχηματίζεται, περιγράφει την σταθερότητα του αφρού, ενώ ο μέγιστος όγκος αφρού που δημιουργείται, περιγράφει το δυναμικό αφρισμού. Για την ελεγχόμενη πρόκληση αφρισμού υιοθετήθηκε αρχικά η δοκιμή που έχει αναπτυχθεί από τους Pitt και Jenkins (1990). Η δοκιμή αυτή συνίσταται στην σταθερή παροχή αέρα ίσης με $1800 \text{ cm}^3/\text{min}$ για χρονικό διάστημα 2 λεπτών στη βάση ογκομετρικού κυλίνδρου του 1L στον οποίο έχουν εισαχθεί 250 mL δείγματος και καταγραφή του μέγιστου πάχους και του μέσου πάχους αφρού που δημιουργείται. Για την εκτέλεση της ανωτέρω μεθόδου απαιτείται μετρητής παροχής αέρα με δυνατότητα ρύθμισης της παροχής του αέρα στο διάστημα 2 – $10 \text{ cm}^3/\text{min}$.

Για την ελεγχόμενη πρόκληση αφρισμού τελικά ακολουθήθηκε το πρωτόκολλο που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας (Mamaï et al., 2011). Η δοκιμή αυτή συνίσταται στην σταθερή παροχή αέρα για χρονικό διάστημα 7 λεπτών στη βάση ογκομετρικού κυλίνδρου του 1L στον οποίο έχουν εισαχθεί 500mL δείγματος και καταγραφή του μέγιστου πάχους και του μέσου πάχους αφρού που δημιουργείται, καθώς και της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών στην αρχή και στο τέλος του πειράματος αφρισμού, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός της ποσότητας των στερεών που έχουν την τάση να δημιουργούν αφρισμό. Για την εκτέλεση της ανωτέρω μεθόδου, απαιτείται μετρητής παροχής αέρα με δυνατότητα ρύθμισης της παροχής του αέρα. Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιείται για την μέτρηση του αφρισμού δίνεται στην Εικόνα 3.42.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκαν κάποια πειράματα αφρισμού για δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας δειγματοληψίας 08/04/2014, τα οποία όμως δεν έδειξαν καμία σημαντική παρουσία αφρισμού κατά την πειραματική διαδικασία και εγκαταλήφθηκαν τελικά.



Εικόνα 3.42: Πειραματική διάταξη μέτρησης αφρισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**4.1 Συσχέτιση παραμέτρων καθιζησιμότητας και χαρακτηριστικών κροκίδων για ΕΕΛ με ή χωρίς προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού**

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία για τα δείγματα από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας. Τα δείγματα ανάμικτου υγρού και ανακυκλοφορίας ιλύος που εξετάστηκαν προέρχονται από συστήματα με διαφορετικές λειτουργικές συνθήκες και διέφεραν ως προς τα χαρακτηριστικά και τη σύστασή τους. Επιλέχθηκε να εξεταστούν δείγματα από δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων με σκοπό να εξεταστούν παράμετροι καθιζησιμότητας και χαρακτηριστικών κροκίδων για δύο περιπτώσεις: α) για μία ΕΕΛ η οποία εμφανίζει προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, δηλαδή την περίπτωση της ΕΕΛ Κοζάνης και β) για μια ΕΕΛ που δεν παρουσιάζει προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, δηλαδή την περίπτωση της ΕΕΛ Λαμίας. Εν συνεχεία, γίνεται και μία σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις δύο αυτές περιπτώσεις.

Για κάθε δείγμα από τις εγκαταστάσεις αυτές, όπως έχει ενδελεχώς αναλυθεί και στο 3^ο κεφάλαιο, εκτός από την καταμέτρηση των κροκίδων και τον προσδιορισμό διαφόρων χαρακτηριστικών που πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός των ολικών αιωρούμενων στερεών (MLSS), των οργανικών αιωρούμενων στερεών (VSS), του δείκτη καθιζησιμότητας (DSVI), της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης και των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind. Επιπλέον, διενεργήθηκε μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων ως προς τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των κροκίδων και το είδος και την ποικιλία των νηματοειδών βακτηρίων. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν ήταν ο δείκτης νηματοειδών (Filament Index – FI), η γεφύρωση, το σχήμα της κροκίδας, η ύπαρξη ανοιχτής δομής, η ύπαρξη σπειροχετών (spirochete) και τα είδη των νηματοειδών μικροοργανισμών που εντοπίζονται. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν πειράματα με χρήση διαφόρων κροκιδωτικών με στόχο να εξακριβωθεί αν και με ποιο τρόπο επηρέασαν τα κροκιδωτικά τις παραμέτρους που εξετάστηκαν.

4.1.1 Συσχέτιση παραμέτρων καθιζησιμότητας και χαρακτηριστικών κροκίδων για ΕΕΛ με προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού (Περίπτωση ΕΕΛ Κοζάνης)*4.1.1.1 Προσδιορισμός παραμέτρων καθιζησιμότητας**4.1.1.1.1 Προσδιορισμός ζωνικής καθίζησης και παραμέτρων V_0 , n της εξίσωσης Vesilind για τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης*

Για τη μέτρηση της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης, πραγματοποιήθηκαν πειράματα για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού και επανακυκλοφορίας της ενεργού ιλύος από την ΕΕΛ Κοζάνης. Η διεξαγωγή των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία σταθερή στους 20°C.

Όπως έχει ήδη περιγραφεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 3, σε αυτό το πείραμα, ανάμικτο υγρό ή λάσπη από την επανακυκλοφορία τοποθετείται σε έναν βαθμονομημένο ογκομετρικό κύλινδρο του 1l και εν συνεχεία καταγράφεται το ύψος

της επιφάνειας του όγκου που καταλαμβάνει η ιλύς ανά τακτά χρονικά διαστήματα, καθώς καθίζανει σε συνθήκες απόλυτης ηρεμίας και σε σταθερή θερμοκρασία 20°C. Επιλέχθηκε να καταγράφονται τιμές υψών κάθε 3 λεπτά για διάρκεια μισής ώρας. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν για διάφορες συγκεντρώσεις ανά 1000mg/l. Για να γίνουν οι δοκιμές αυτές σε μια μεγάλη γκάμα συγκεντρώσεων, πραγματοποιήθηκαν κάθε φορά οι κατάλληλες αραιώσεις με νερό είτε σε δείγματα ανάμικτου υγρού είτε σε δείγματα ιλύος επανακυκλοφορίας, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκέντρωση κάθε φορά. Μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας, στο πέρας των 30 λεπτών, καταστρώνεται η καμπύλη των υψών της επιφάνειας του όγκου της ιλύος συναρτήσει του χρόνου.

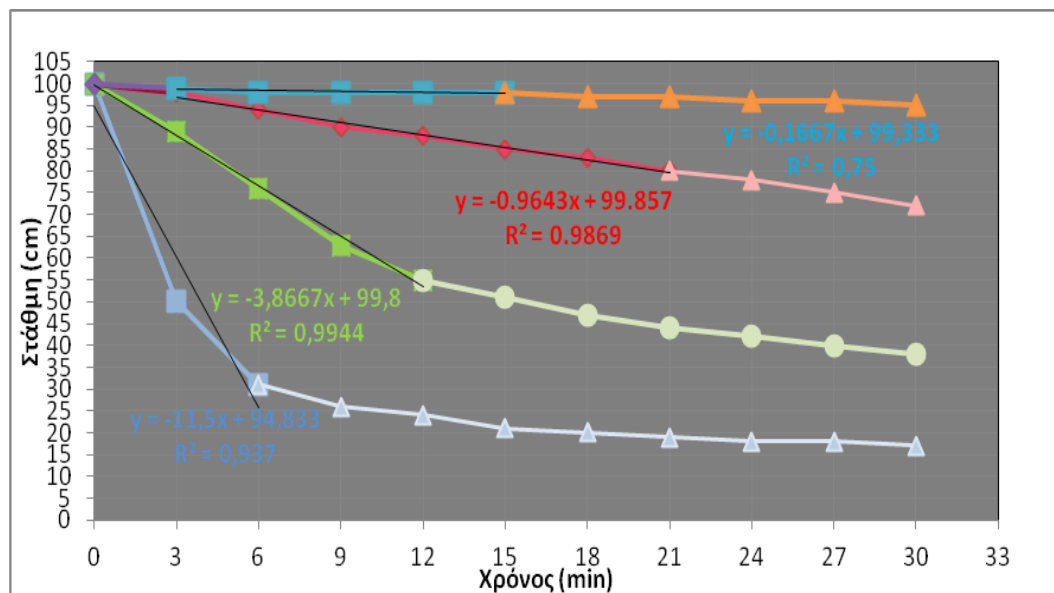
Γνωρίζοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διεξαγωγή των πειραμάτων προσδιορισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού, στη συνέχεια μπορούν να υπολογιστούν και οι σταθερές V_0 (m/h) και n (m^3/kg) της εξίσωσης Vesilind, η οποία εκφράζει, όπως αναπτύχθηκε αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 2, την ταχύτητα καθίζησης V_s (m/h) συναρτήσει της συγκέντρωσης των στερεών X (g/l ή kg/m^3) μέσω της εξίσωσης:

$$v_s = v_o \cdot e^{-n \cdot X} \quad (3.3).$$

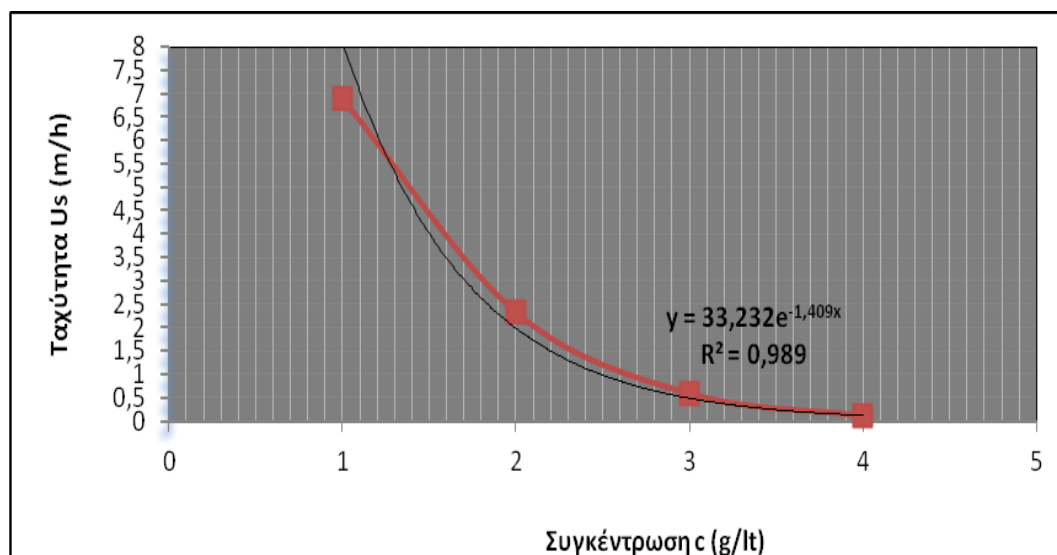
Πιο συγκεκριμένα, οι υπολογισμένες ταχύτητες καθίζησης (σε m/h) καταγράφονται σε ένα γράφημα συναρτήσει των αντίστοιχων συγκεντρώσεων στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας (σε g/l) και από την καμπύλη αυτού του γραφήματος εξάγεται η εκθετική εξίσωση Vesilind και προσδιορίζονται και οι σταθερές V_0 (m/h) και n (m^3/kg).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από 16 πειράματα προσδιορισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης και σε 11 από αυτά προσδιορίζονται και οι σταθερές V_0 και n .

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 31/01/2014



Σχήμα 4.1: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 31/01/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

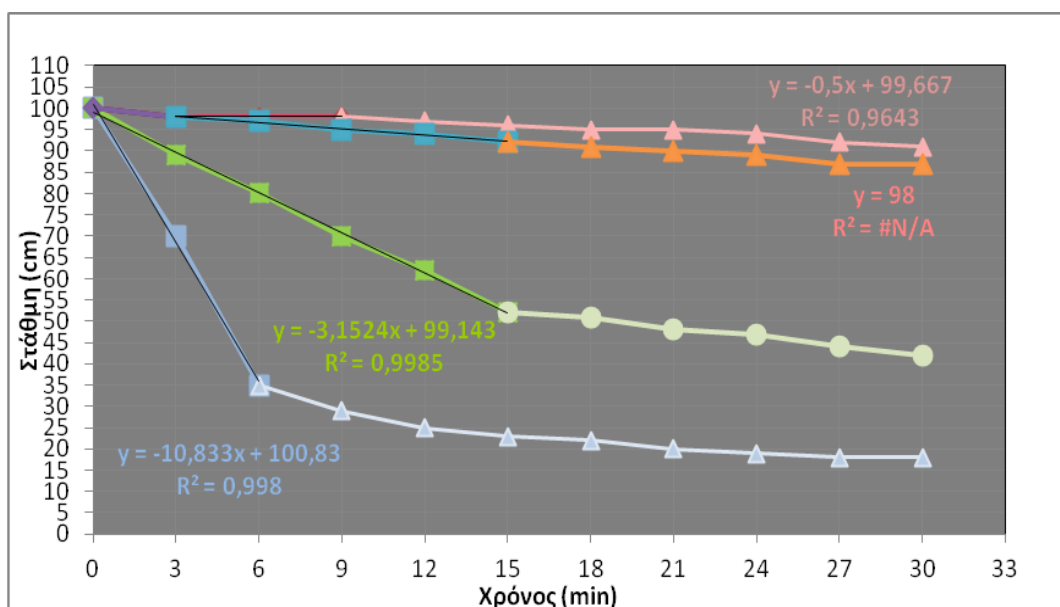


Σχήμα 4.2: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 31/01/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

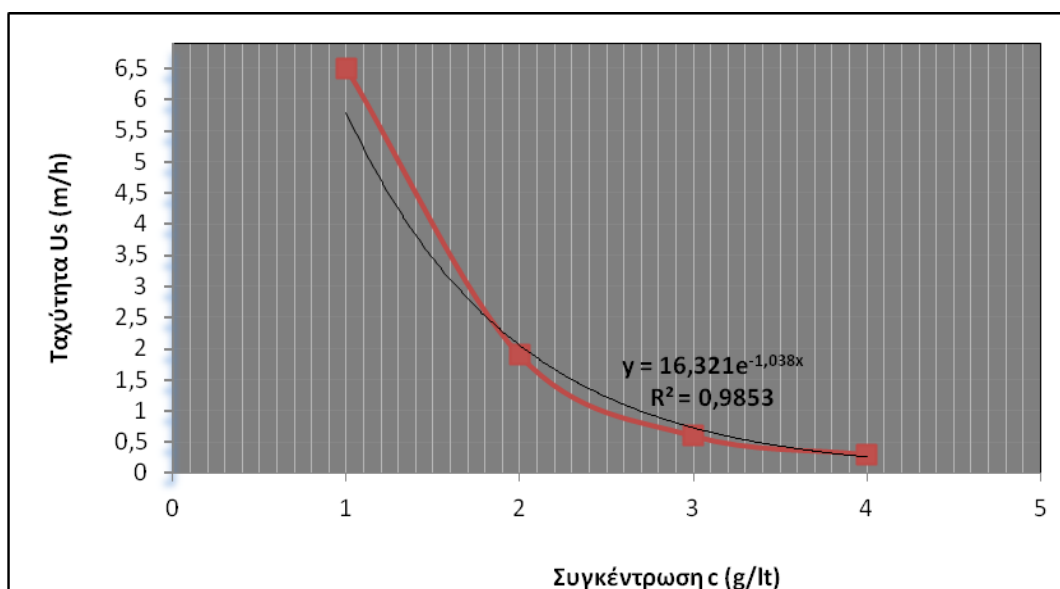
Για		cm/min	m/h
$c_1=1\text{g/Lt}$	V_{s1}	11,5	6,9
$c_2=2\text{g/Lt}$	V_{s2}	3,8667	2,32002
$c_3=3\text{g/Lt}$	V_{s3}	0,9643	0,57858
$c_4=4\text{g/Lt}$	V_{s4}	0,1667	0,10002
$V_0=33,232$			
$n=1,409$			
$V_0/n=23,585$			

Εικόνα 4.1: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 31/01/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 05/02/2014



Σχήμα 4.3: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 05/02/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

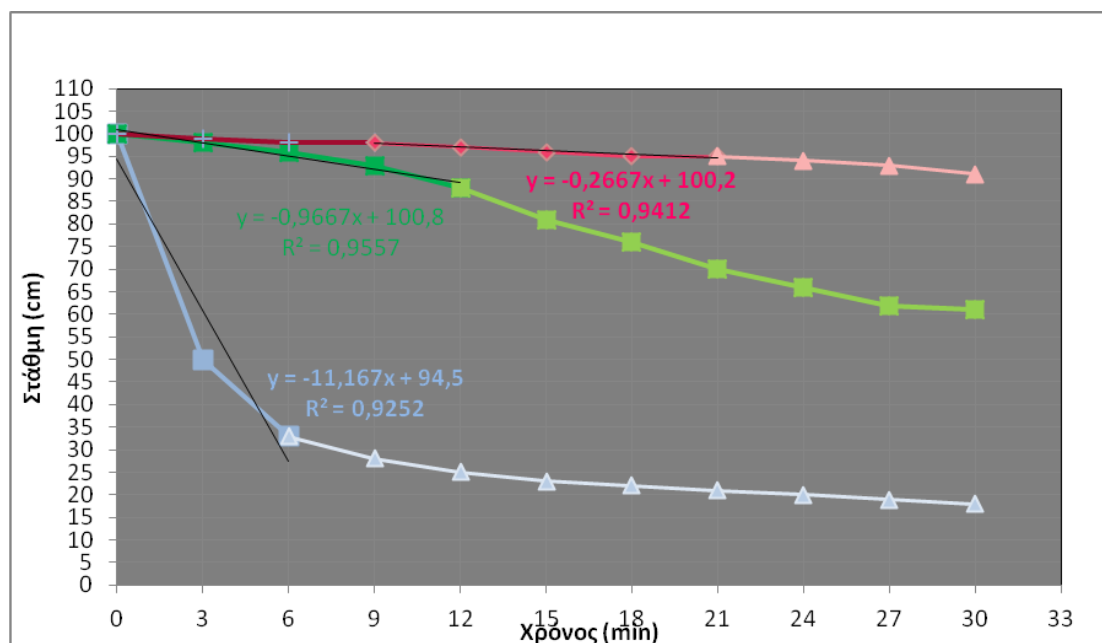


Σχήμα 4.4: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 05/02/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

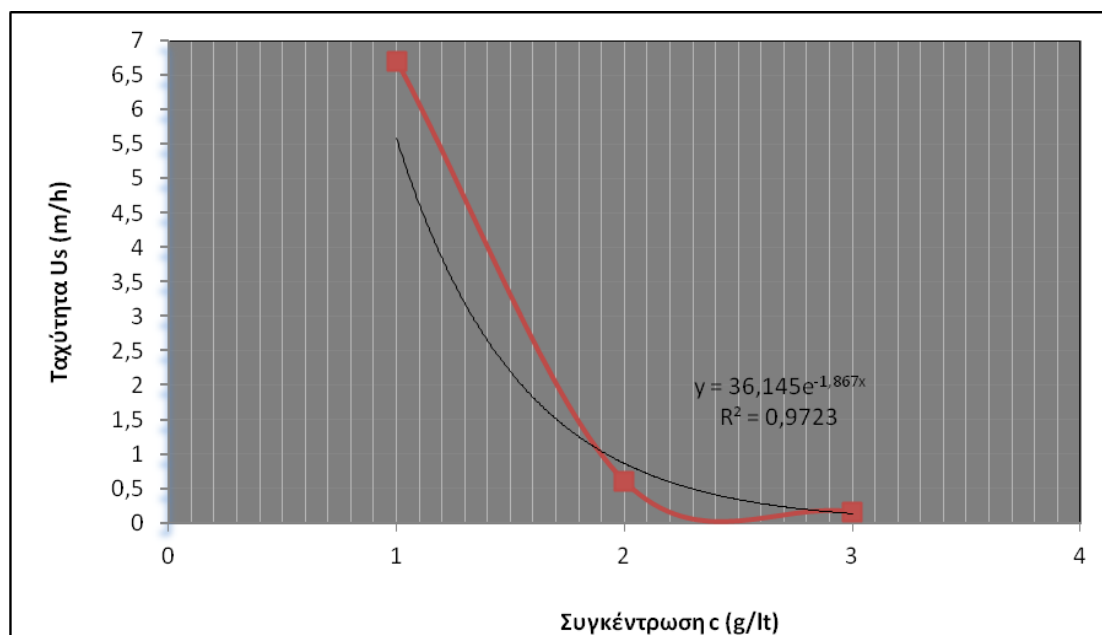
Για		cm/min	m/h
c1=1g/lt	Vs1	10,833	6,4998
c2=2g/lt	Vs2	3,1524	1,89144
c3=3g/lt	Vs3	1	0,6
c4=4g/lt	Vs4	0,5	0,3
Vo=16,321			
n=1,038			
Vo/n=15,726			

Εικόνα 4.2: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων Vo και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου Vo/n. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 05/02/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 12/02/2014



Σχήμα 4.5: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 12/02/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

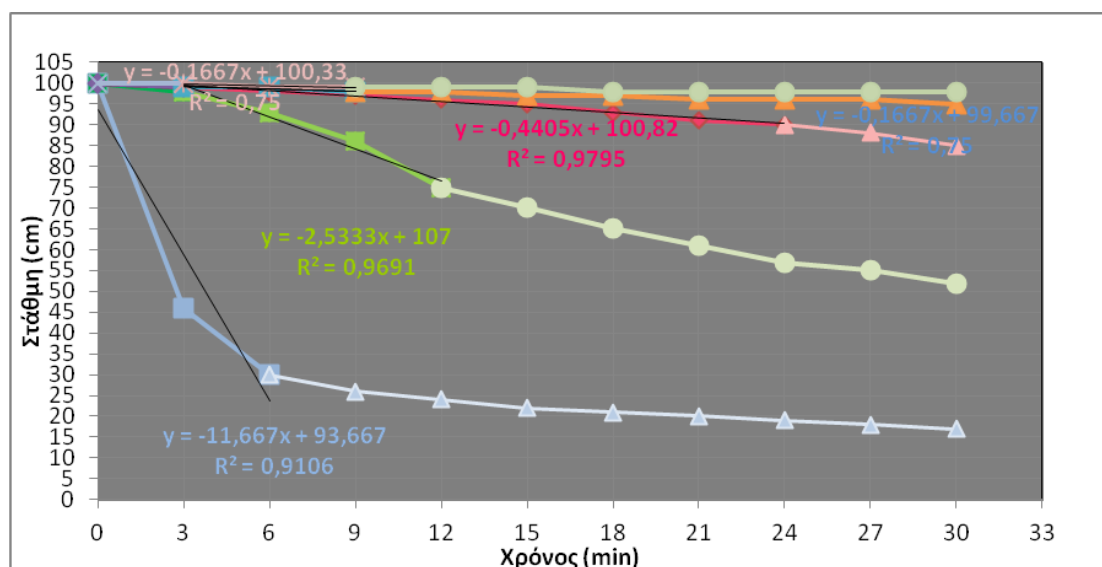


Σχήμα 4.6: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 12/02/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

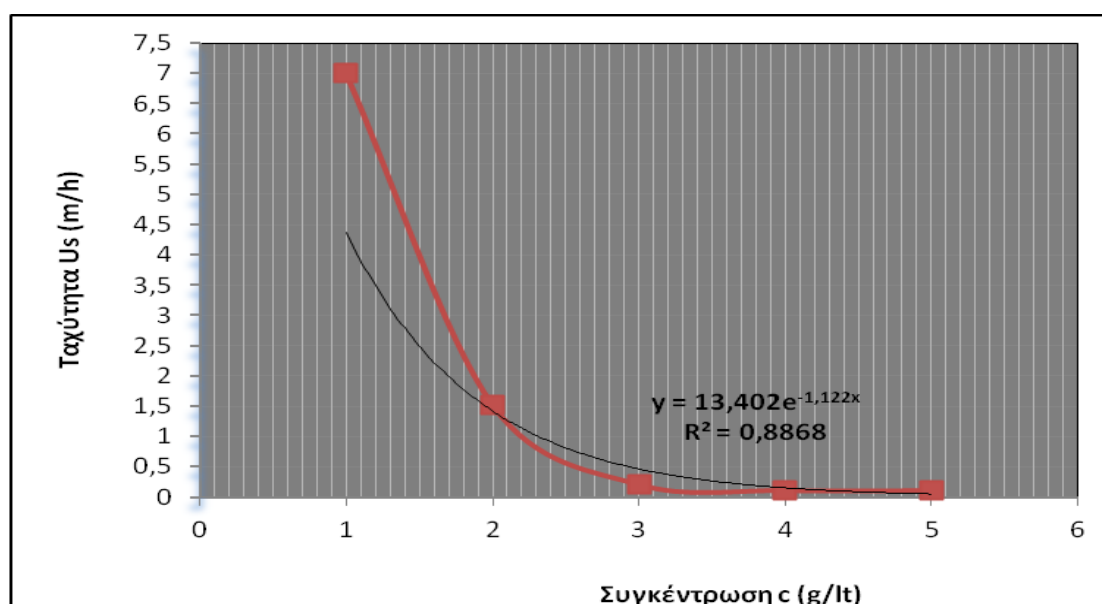
Για		cm/min	m/h
$c_1=1\text{g/l}$	V_{s1}	11,167	6,7002
$c_2=2\text{g/l}$	V_{s2}	1	0,6
$c_3=3\text{g/l}$	V_{s3}	0,2667	0,16002
$V_0=36,145$ $n=1,867$ $V_0/n=19,36$			

Εικόνα 4.3: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 12/02/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 21/02/2014



Σχήμα 4.7: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 21/02/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

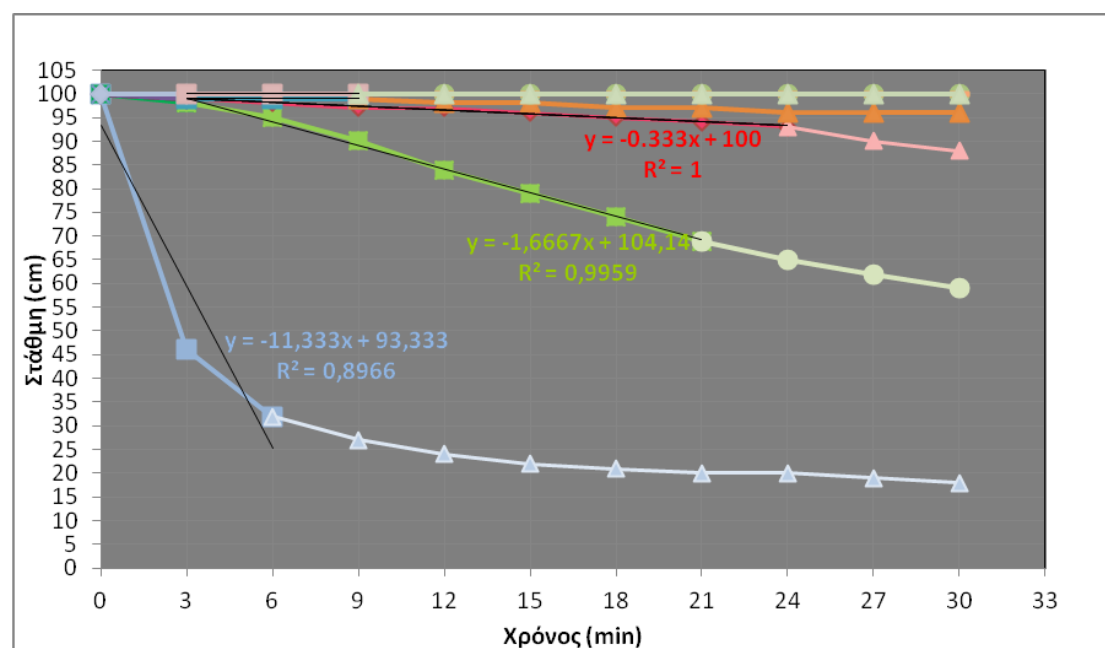


Σχήμα 4.8: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 21/02/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές N_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

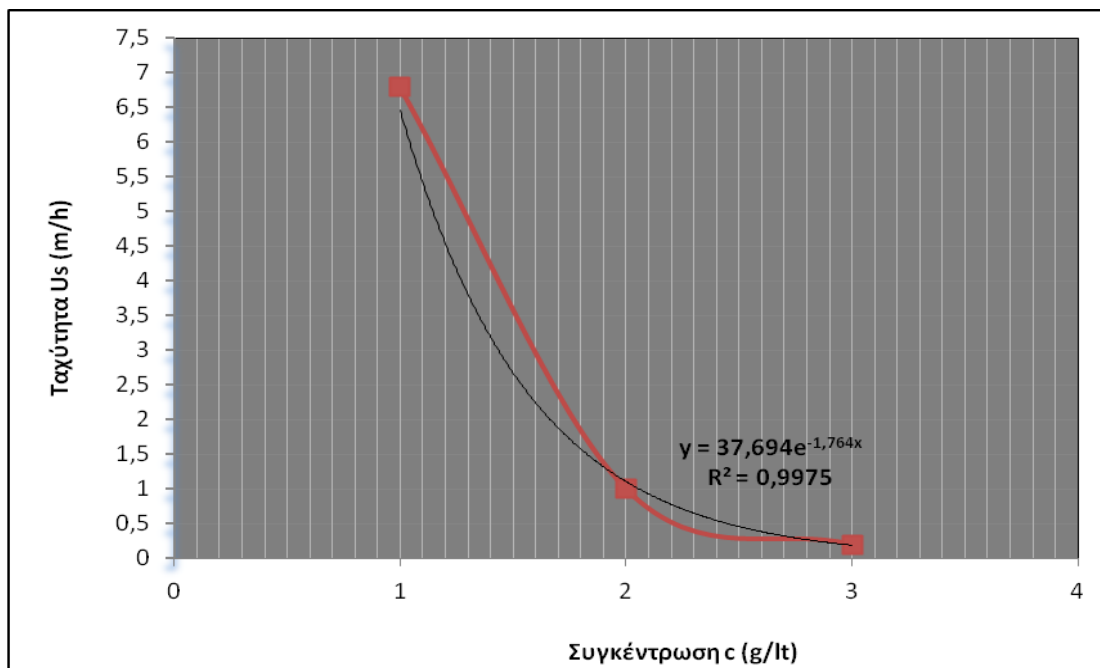
Για		cm/min	m/h
c1=1g/lt	Vs1	11,667	7,0002
c2=2g/lt	Vs2	2,5333	1,51998
c3=3g/lt	Vs3	0,3333	0,19998
c4=4g/lt	Vs4	0,1667	0,10002
c5=5g/lt	Vs5	0,1667	0,10002
Vo=13,402			
n=1,122			
Vo/n=11,945			

Εικόνα 4.4: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων Vo και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου Vo/n. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 21/02/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 28/02/2014



Σχήμα 4.9: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 28/02/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

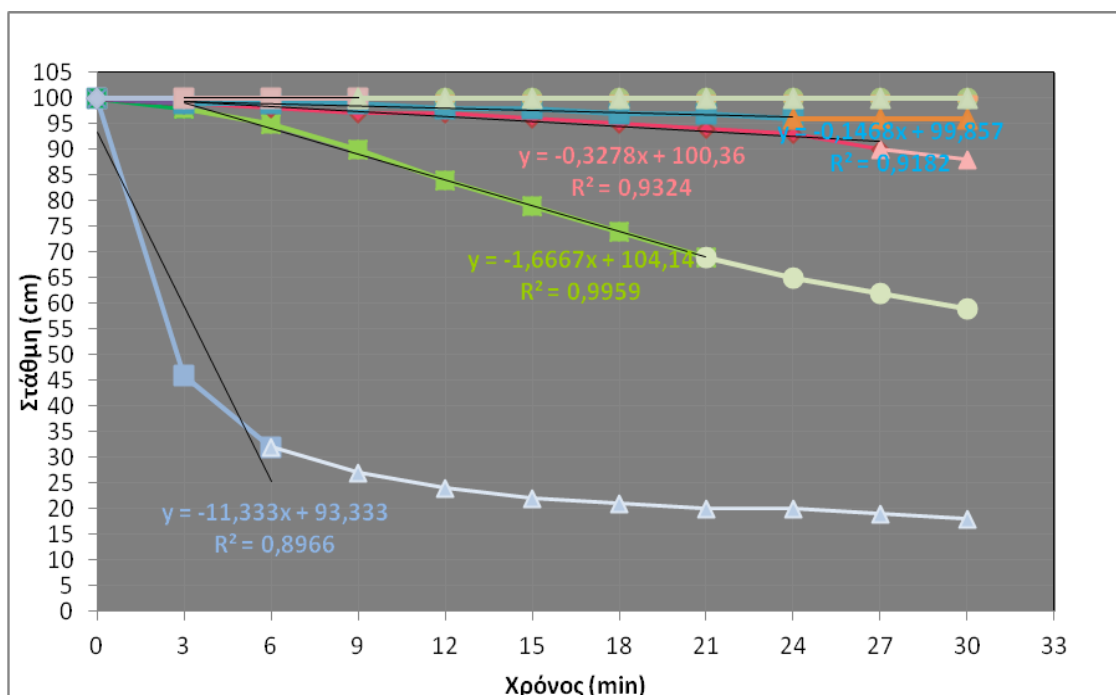


Σχήμα 4.10: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 28/02/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

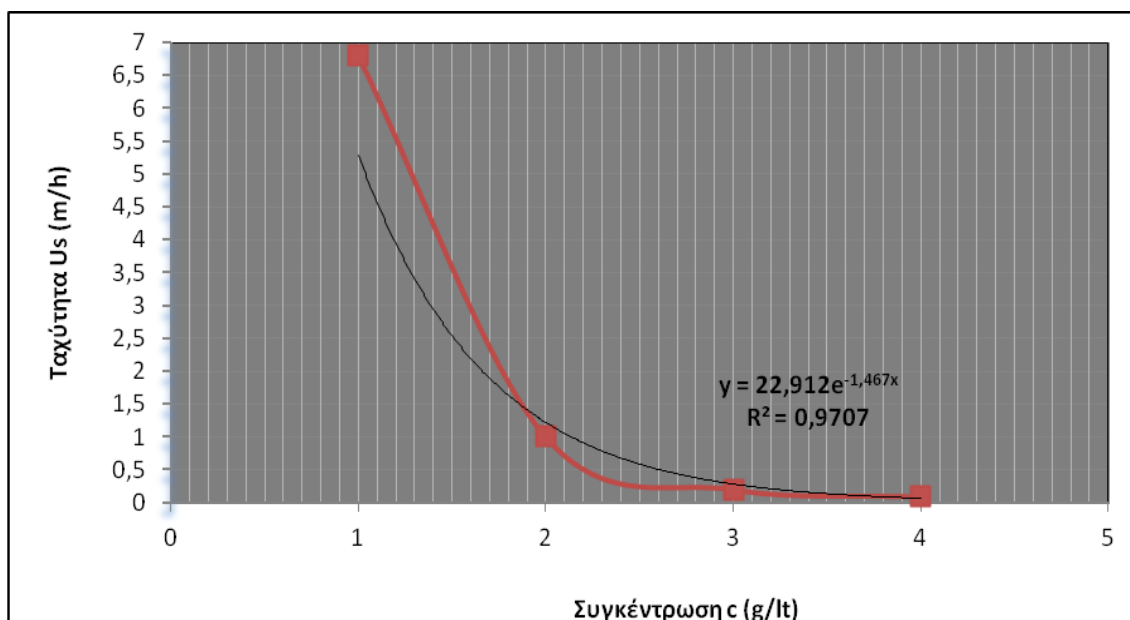
Για		cm/min	m/h
$c_1=1\text{g/l}$	V_{s1}	11,333	6,7998
$c_2=2\text{g/l}$	V_{s2}	1,6667	1,00002
$c_3=3\text{g/l}$	V_{s3}	0,333	0,1998
$V_0=37,694$			
$n=1,764$			
$V_0/n=21,368$			

Εικόνα 4.5: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 28/02/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 05/03/2014



Σχήμα 4.11: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 05/03/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

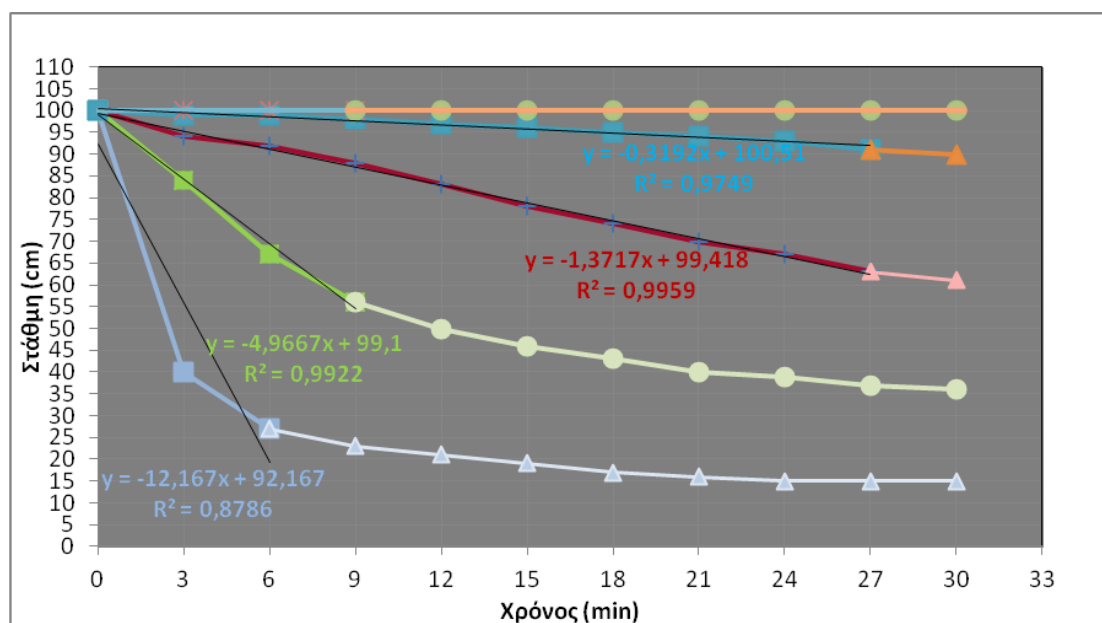


Σχήμα 4.12: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 05/03/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

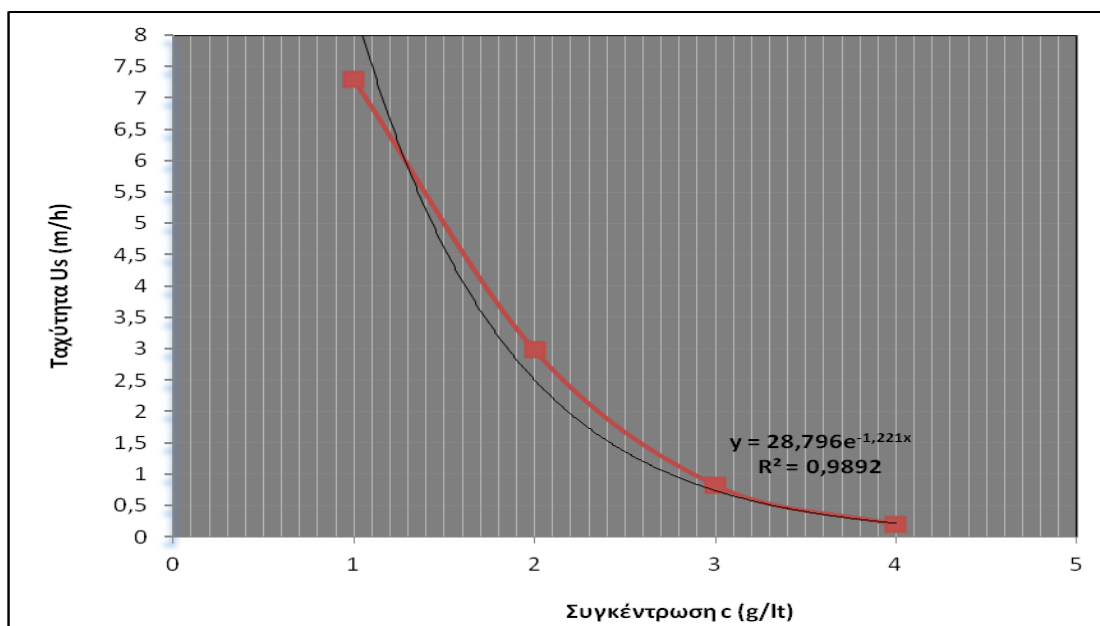
Για		cm/min	m/h
c1=1g/lt	Vs1	11,333	6,7998
c2=2g/lt	Vs2	1,6667	1,00002
c3=3g/lt	Vs3	0,3278	0,19668
c4=4g/lt	Vs4	0,1468	0,08808
Vo=22,912			
n=1,467			
Vo/n=15,618			

Εικόνα 4.6: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων Vo και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου Vo/n. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 05/03/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014



Σχήμα 4.13: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

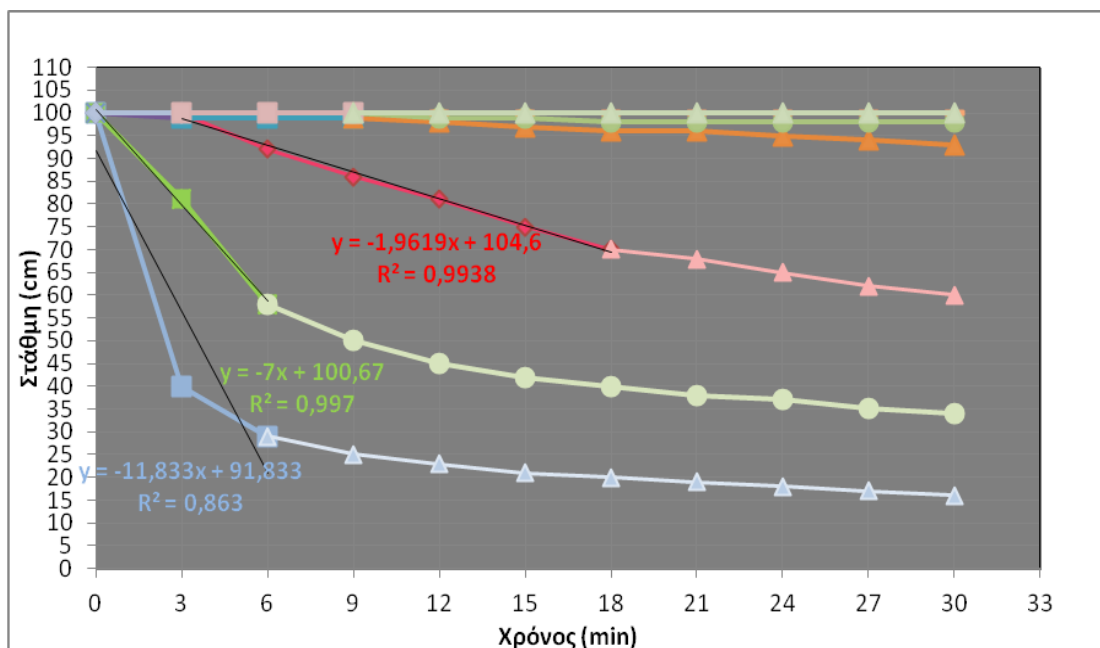


Σχήμα 4.14: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

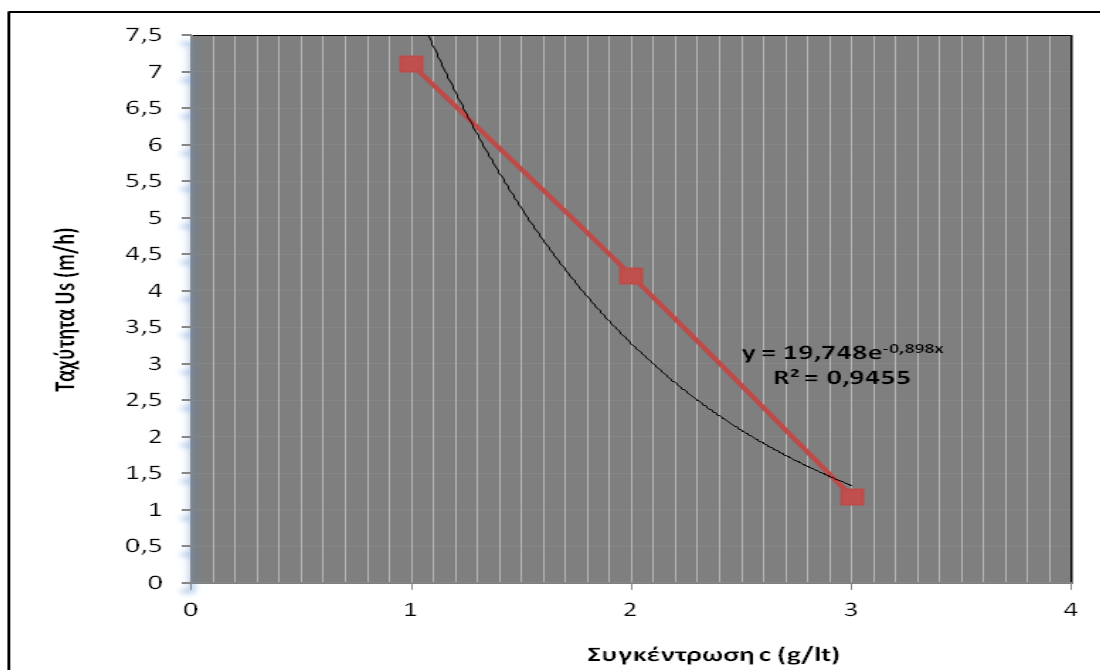
Για		cm/min	m/h
$c_1=1\text{g/l}$	V_{s1}	12,167	7,3002
$c_2=2\text{g/l}$	V_{s2}	4,9667	2,98002
$c_3=3\text{g/l}$	V_{s3}	1,3717	0,82302
$c_4=4\text{g/l}$	V_{s4}	0,3192	0,19152
$V_0=28,796$			
$n=1,221$			
$V_0/n=23,584$			

Εικόνα 4.7: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 11/03/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 19/03/2014



Σχήμα 4.15: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 19/03/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

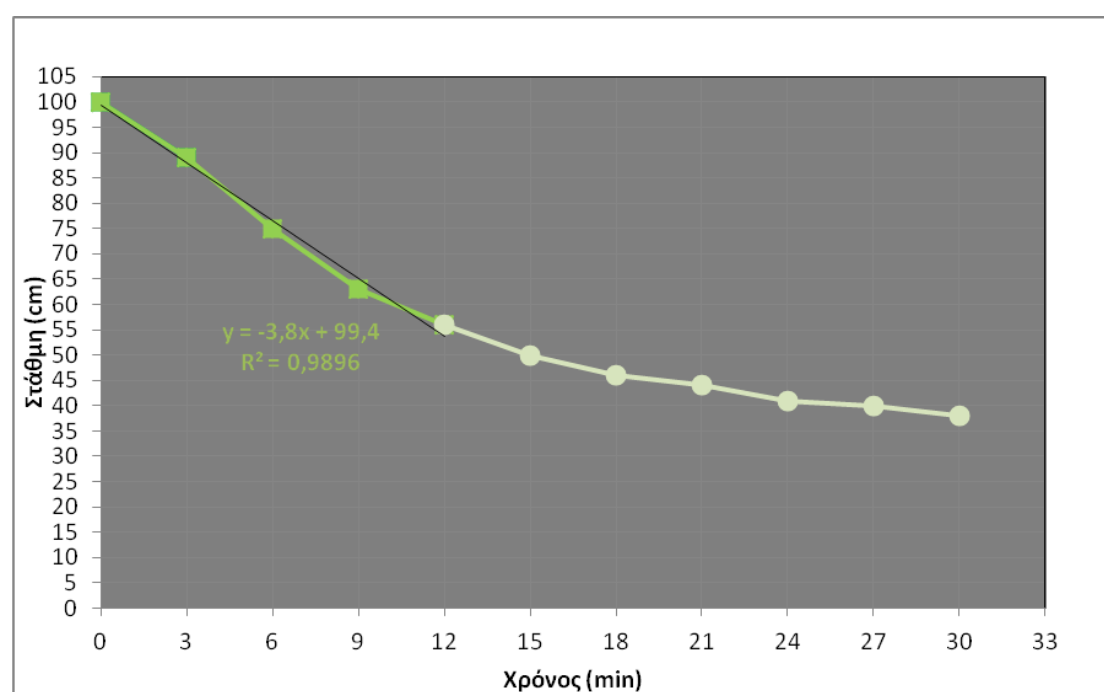


Σχήμα 4.16: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 19/03/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

Για		cm/min	m/h
c1=1g/lt	Vs1	11,833	7,0998
c2=2g/lt	Vs2	7	4,2
c3=3g/lt	Vs3	1,9619	1,17714
Vo=19,748			
n=0,898			
Vo/n=21,991			

Εικόνα 4.8: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων Vo και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου Vo/n. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 19/03/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 27/03/2014

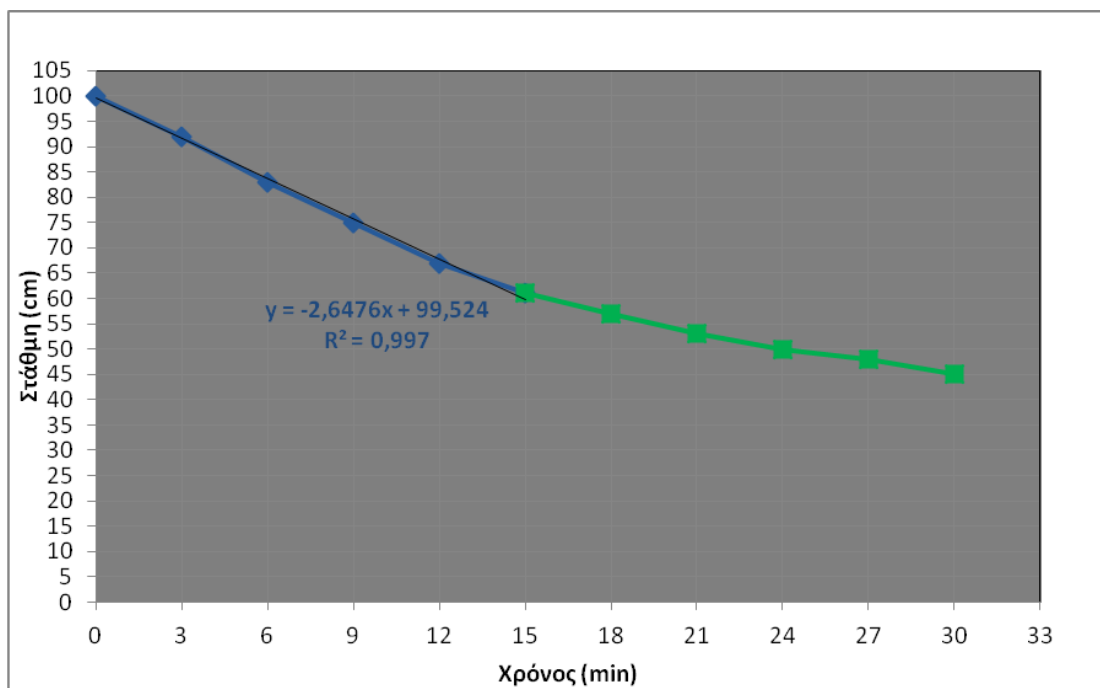


Σχήμα 4.17: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού 2000mg/lt. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 27/03/2014. Με τη βοήθεια του excel έχει προσδιοριστεί η κλίση της καμπύλης στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

Για		cm/min	m/h
c2=2g/lt	Vs2	3,8	2,28

Εικόνα 4.9: Υπολογισμός ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού στα 2000mg/lt. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 27/03/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 01/04/2014

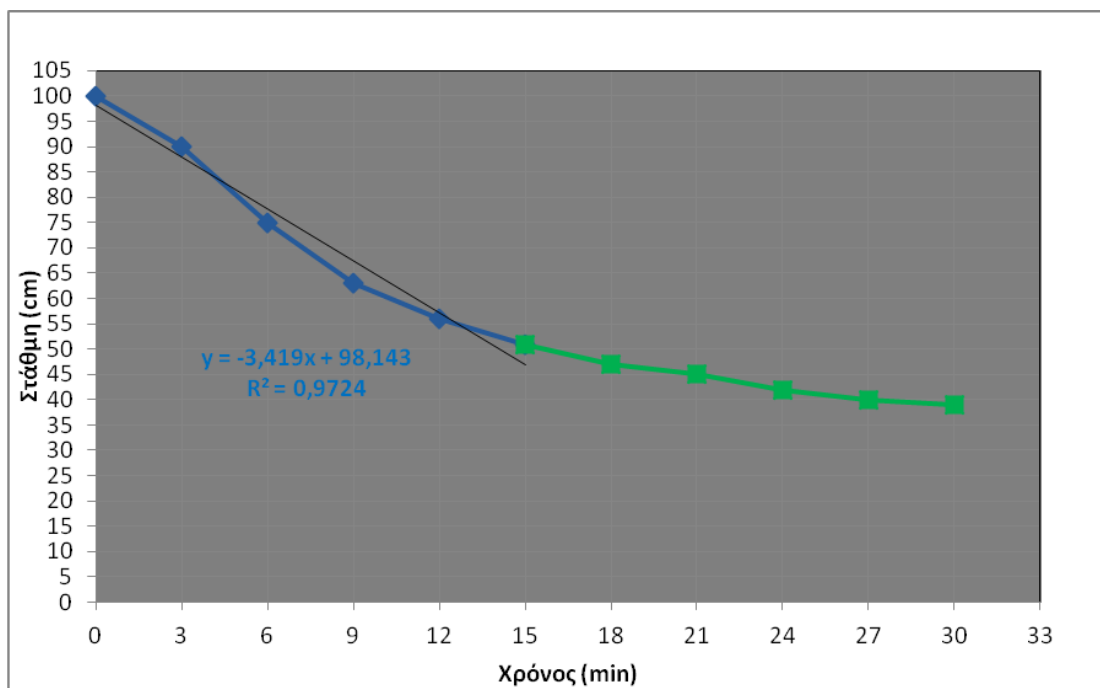


Σχήμα 4.18: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού 2000mg/l. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 01/04/2014. Με τη βοήθεια του excel έχει προσδιοριστεί η κλίση της καμπύλης στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

Για		cm/min	m/h
c2=2g/l	Vs2	2,6476	1,58856

Εικόνα 4.10: Υπολογισμος ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού στα 2000mg/l. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 01/04/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 09/04/2014

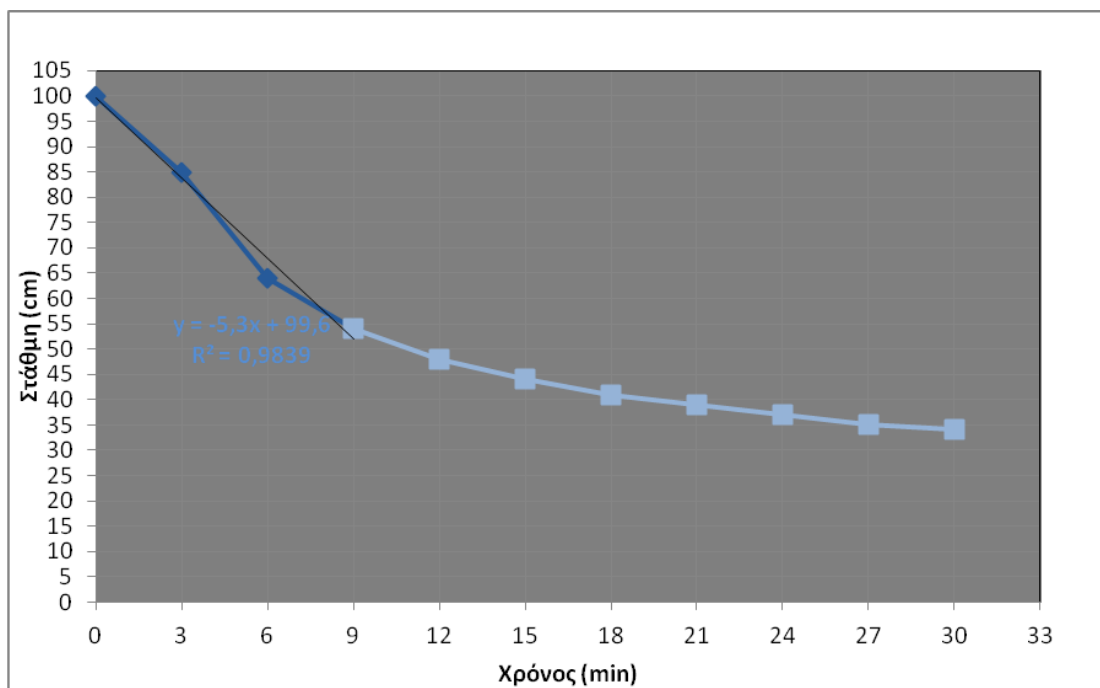


Σχήμα 4.19: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού 2000mg/l. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 09/04/2014. Με τη βοήθεια του excel έχει προσδιοριστεί η κλίση της καμπύλης στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

Για		cm/min	m/h
c2=2g/l	Vs2	3,419	2,0514

Εικόνα 4.11: Υπολογισμός ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού στα 2000mg/l. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 09/04/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 23/04/2014

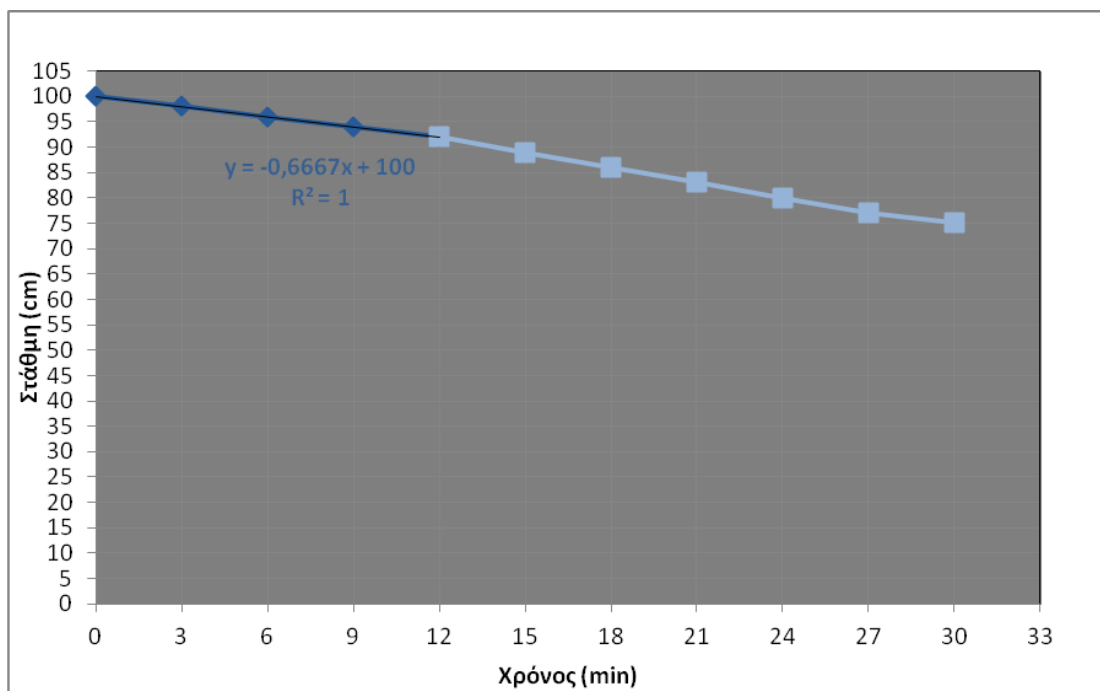


Σχήμα 4.20: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού 2000mg/l. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 23/04/2014. Με τη βοήθεια του excel έχει προσδιοριστεί η κλίση της καμπύλης στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

Για		cm/min	m/h
c2=2g/l	Vs2	5,3	3,18

Εικόνα 4.12: Υπολογισμος ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού στα 2000mg/l. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 23/04/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 07/05/2014

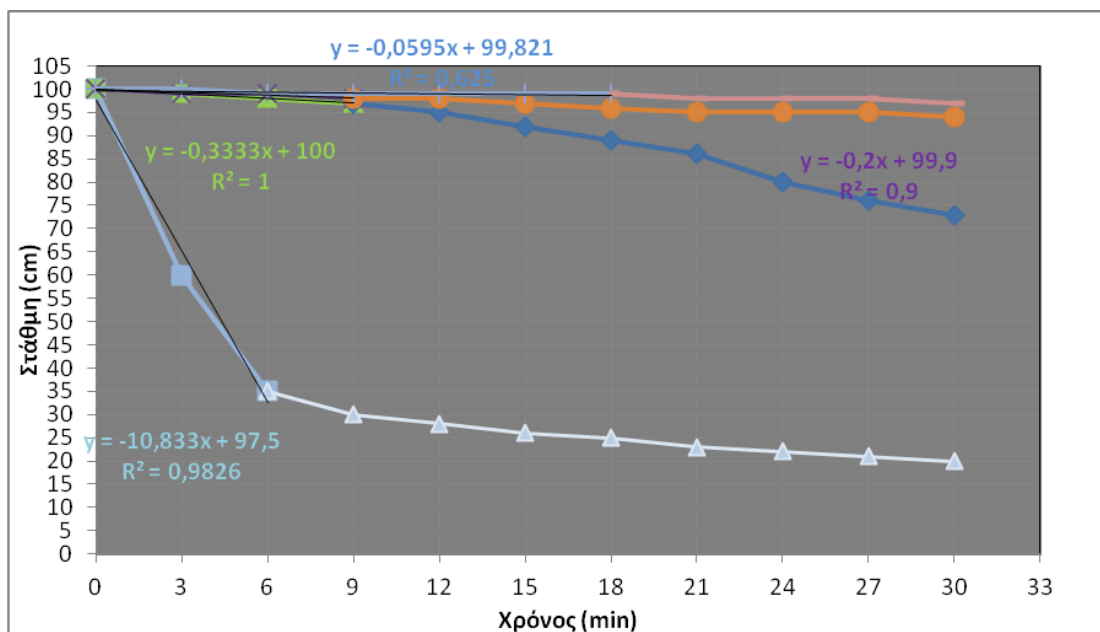


Σχήμα 4.21: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού 2000mg/lit. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 07/05/2014. Με τη βοήθεια του excel έχει προσδιοριστεί η κλίση της καμπύλης στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

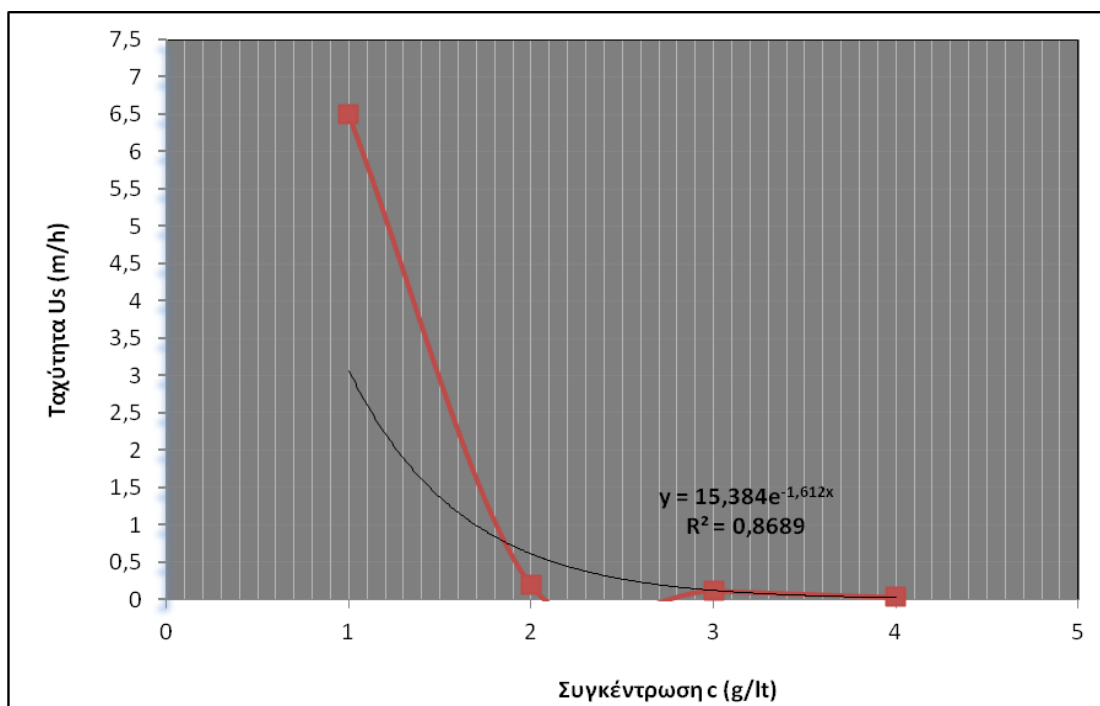
Για		cm/min	m/h
c2=2g/lit	Vs2	0,6667	0,40002

Εικόνα 4.13: Υπολογισμος ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού στα 2000mg/lit. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 07/05/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 15/05/2014



Σχήμα 4.22: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 15/05/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

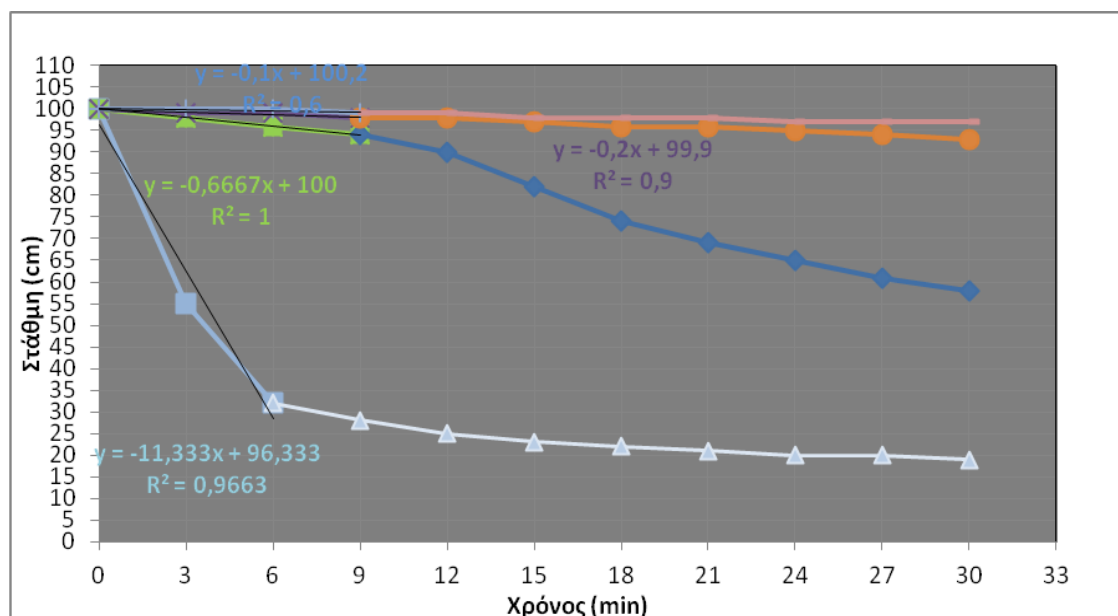


Σχήμα 4.23: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 15/05/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

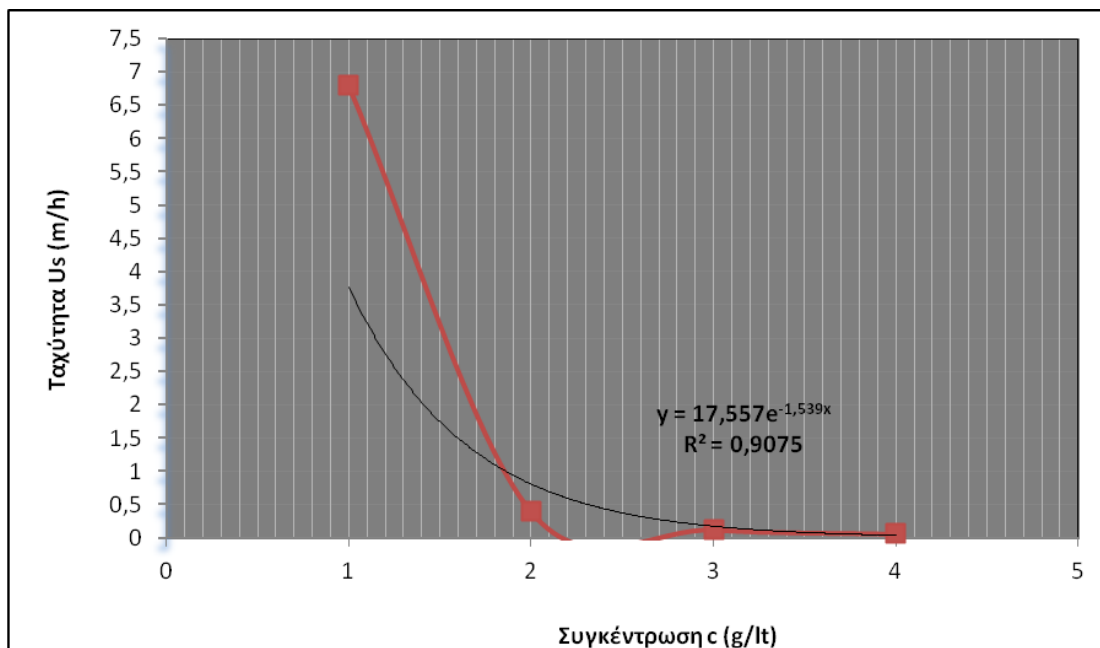
Για		cm/min	m/h
c1=1g/lt	Vs1	10,833	6,4998
c2=2g/lt	Vs2	0,3333	0,19998
c3=3g/lt	Vs3	0,2	0,12
c4=4g/lt	Vs4	0,0595	0,0357
V ₀ =15,384			
n=1,612			
V ₀ /n=9,543			

Εικόνα 4.14: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V₀ και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V₀/n. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 15/05/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 21/05/2014



Σχήμα 4.24: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 21/05/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

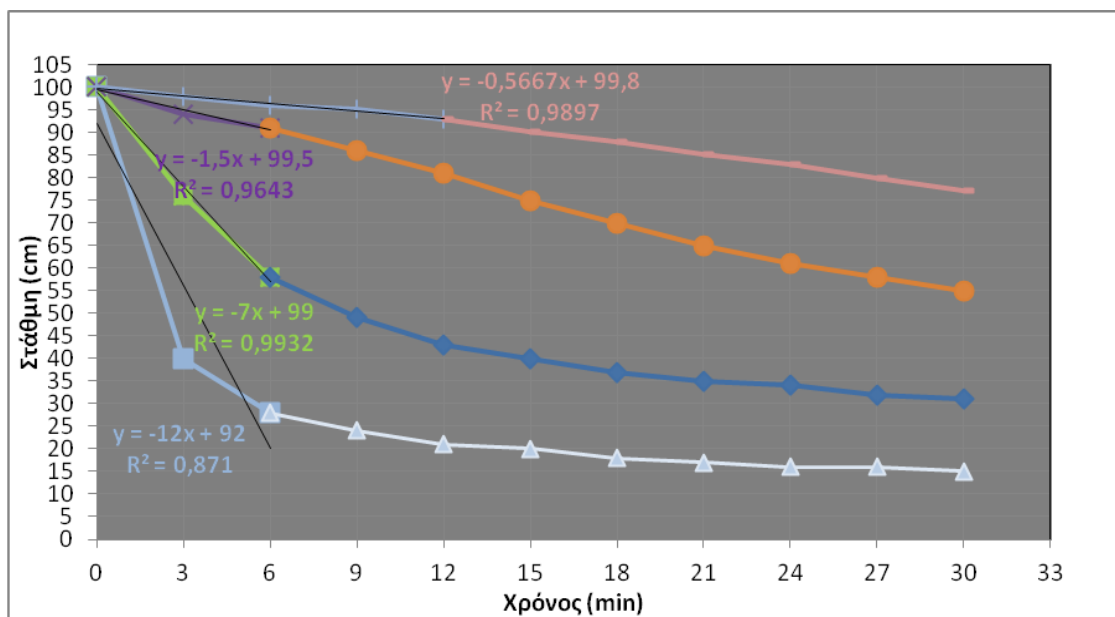


Σχήμα 4.25: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 21/05/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

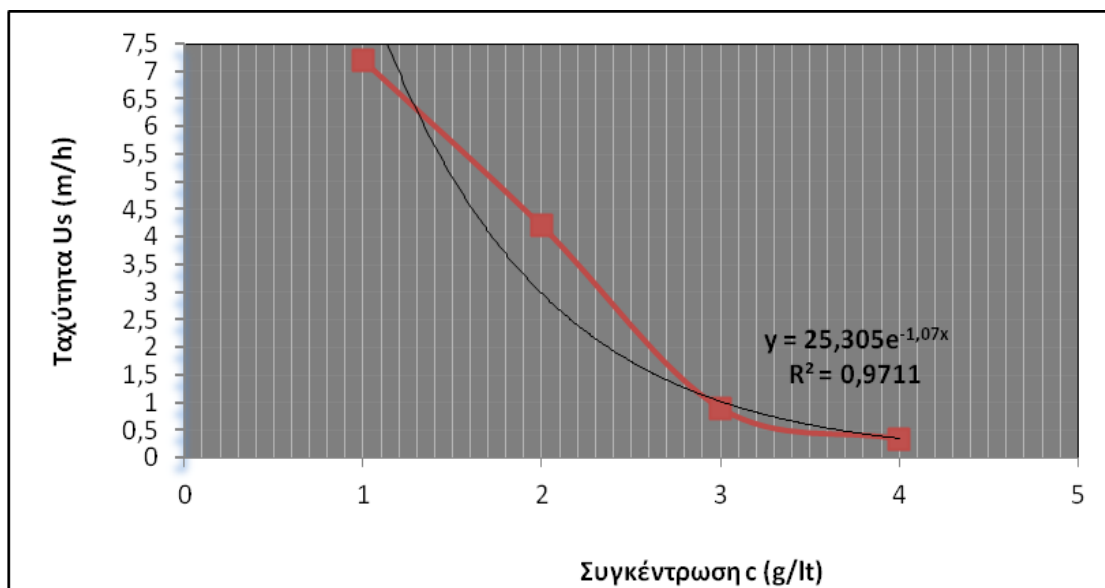
Για		cm/min	m/h
$c_1=1\text{g/l}$	V_{s1}	11,333	6,7998
$c_2=2\text{g/l}$	V_{s2}	0,6667	0,40002
$c_3=3\text{g/l}$	V_{s3}	0,2	0,12
$c_4=4\text{g/l}$	V_{s4}	0,1	0,06
$V_0=17,557$			
$n=1,539$			
$V_0/n=11,408$			

Εικόνα 4.15: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 21/05/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 27/05/2014



Σχήμα 4.26: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 27/05/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.



Σχήμα 4.27: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης 27/05/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές N_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

Για		cm/min	m/h
c1=1g/lit	Vs1	12	7,2
c2=2g/lit	Vs2	7	4,2
c3=3g/lit	Vs3	1,5	0,9
c4=4g/lit	Vs4	0,5667	0,34002
Vo=25,305			
n=1,07			
Vo/n=23,65			

Εικόνα 4.16: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων Vo και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου Vo/n. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Κοζάνης 27/05/2014.

Είναι εμφανές ότι τα πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί για χαμηλές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού παρουσιάζουν υψηλές ταχύτητες ζωνικής καθίζησης, ενώ στις υψηλές συγκεντρώσεις η καθίζηση πραγματοποιείται με πολύ πιο αργούς ρυθμούς

4.1.1.1.2 Συσχέτιση παραμέτρων Vo και n της εξίσωσης Vesilind ως προς το δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI για τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης

Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελέσματα για τη συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS), το δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI, τις υπολογισμένες σταθερές Vesilind Vo και n, το λόγο τους Vo/n και την ταχύτητα καθίζησης Vsz για κάθε δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης.

ΕΕΛ Κοζάνης	MLSS (mg/lit)	DSVI(mL/gSS)	Vo (m/h)	n (m ³ /kg)	Vo/n (kg/m ² /h)	Vsz(m/h)
30-Ιαν	4580	190	33,23	1,409	23,586	2,32
5-Φεβ	4766,67	210	16,32	1,038	15,724	1,89
12-Φεβ	5980	305	36,15	1,867	19,363	1
21-Φεβ	4986,67	260	13,40	1,122	11,945	1,52
28-Φεβ	4300	295	37,69	1,764	21,368	1
5-Μαρ	3413,33	260	22,91	1,467	15,618	1
11-Μαρ	3646,67	180	28,80	1,221	23,584	2,98
19-Μαρ	3873,33	170	19,75	0,898	21,991	4,2
27-Μαρ	4186,67	190				2,28
1-Απρ	3853,33	225				1,59
9-Απρ	4673,33	195				2,05
23-Απρ	5470	170				3,18
7-Μαϊ	4260	300				0,4
15-Μαϊ	4540	300	15,38	1,612	9,543	0,2
21-Μαϊ	5050	290	17,56	1,539	11,408	0,4
27-Μαϊ	4890	155	25,31	1,070	23,650	4,2

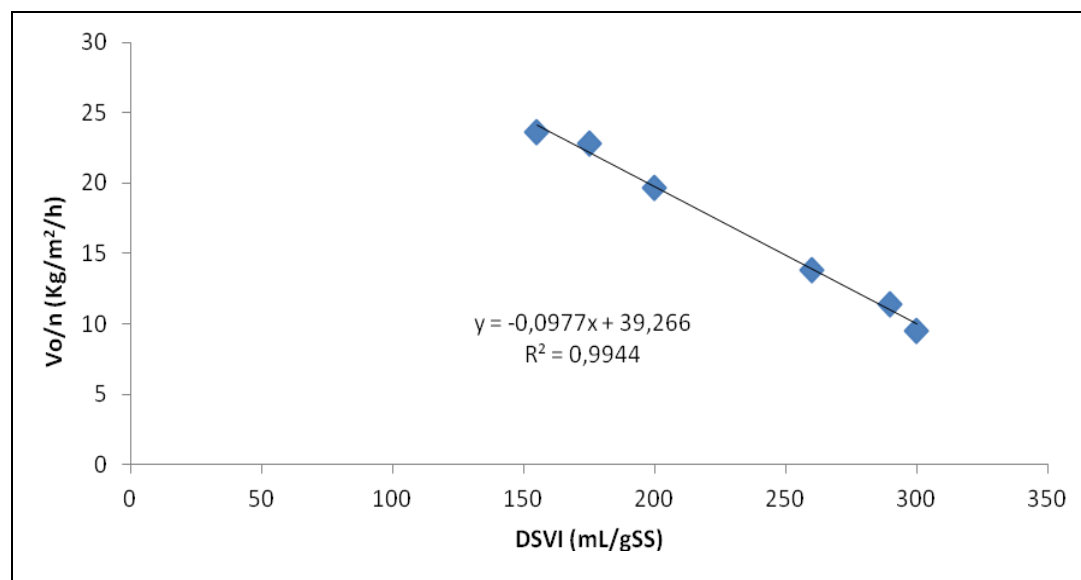
Στον παραπάνω πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τη συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS), το δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI), τις υπολογισμένες σταθερές Vesilind V_0 και n και το λόγο τους V_0/n καθώς και την ταχύτητα καθίζησης V_{sz} για 16 δείγματα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης που εξετάστηκαν με σκοπό να διερευνηθεί η συσχέτιση των χαρακτηριστικών της καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος με τον δείκτη καθιζησιμότητας DSVI.

Με βάση τα αποτελέσματα του συνόλου των πειραμάτων προέκυψαν τα ακόλουθα:

$$V_0 = 24,22 \pm 8,6 \text{ m/h και } n = 1,364 \pm 0,3$$

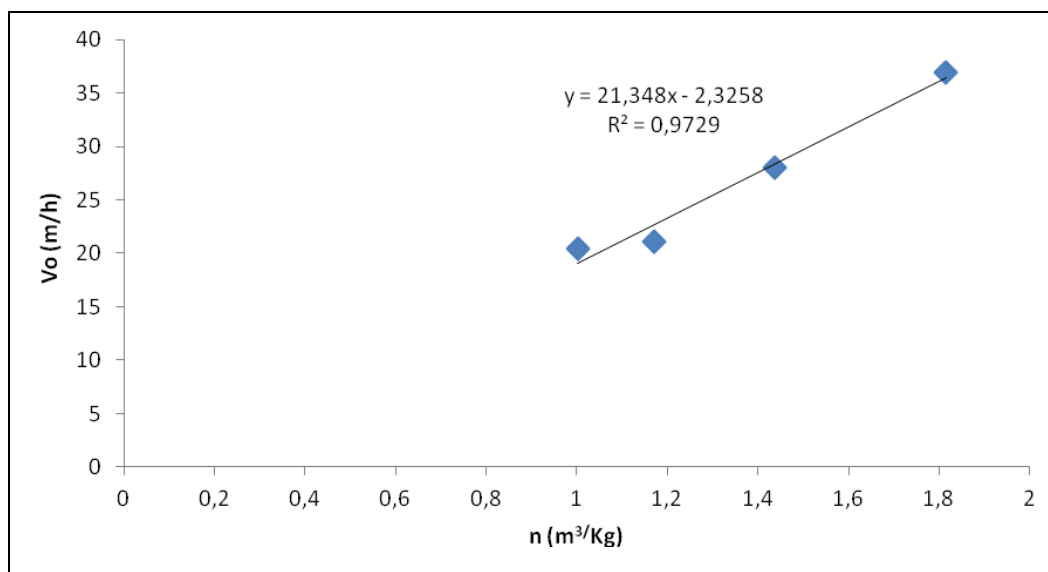
Οι ανωτέρω τιμές είναι αρκετά υψηλές σε σχέση με τις τιμές που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία για τις παραμέτρους αυτές. Γενικά υψηλές τιμές της σταθεράς V_0 και χαμηλές τιμές της σταθεράς n χαρακτηρίζουν μία βιομάζα με ικανοποιητικά χαρακτηριστικά καθίζησης. Στην προκειμένη περίπτωση, ενώ η σταθερά V_0 έχει ικανοποιητικές τιμές, οι τιμές που υπολογίσθηκαν για την σταθερά n είναι αρκετά δυσμενείς.

Επισημαίνεται ότι οι σταθερές V_0 και n εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά καθίζησης της βιομάζας. Αυτή η εξάρτηση, στην περίπτωση της ΕΕΛ Κοζάνης, παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.28, στο οποίο περιγράφεται η μεταβολή του λόγου των δύο σταθερών V_0/n συναρτήσει του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος.



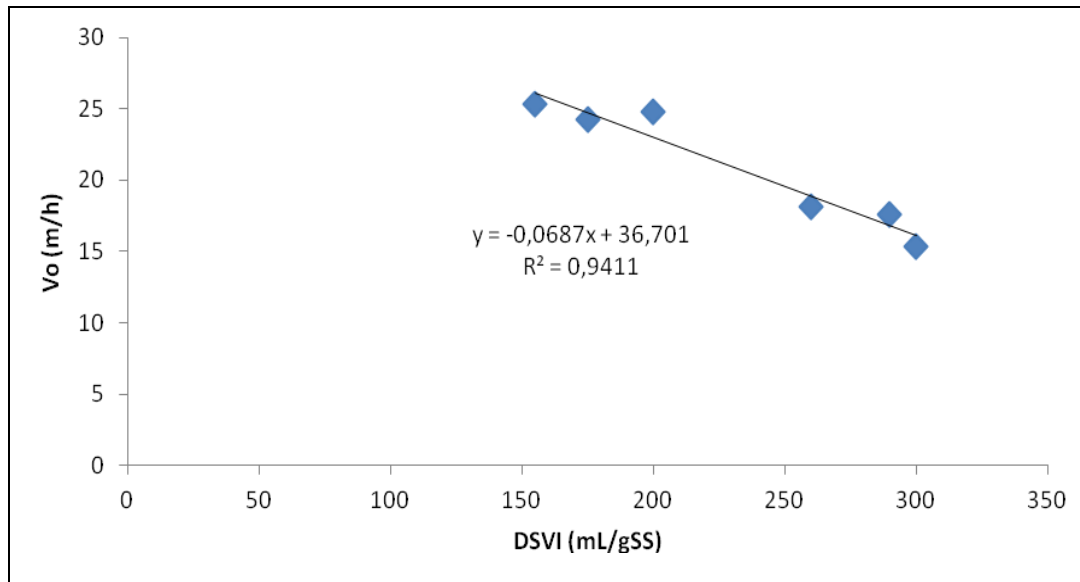
Σχήμα 4.28: Γραφική απεικόνιση των δεδομένων του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI σε σχέση με το λόγο V_0/n που προέκυψαν για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης.

Όπως απεικονίζεται στο ανωτέρω σχήμα, υψηλές τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας σχετίζονται με χαμηλές τιμές της σταθεράς V_0 και υψηλές τιμές της σταθεράς n (ήτοι χαμηλές τιμές του λόγου V_0/n). Αντίθετα καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης της βιομάζας (χαμηλότερες τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας) σχετίζονται με υψηλότερους λόγους V_0/n .



Σχήμα 4.29: Γραφική απεικόνιση των υπολογισμένων τιμών της παραμέτρου n σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της παραμέτρου V_o της εξίσωσης Vesilind που προέκυψαν για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης.

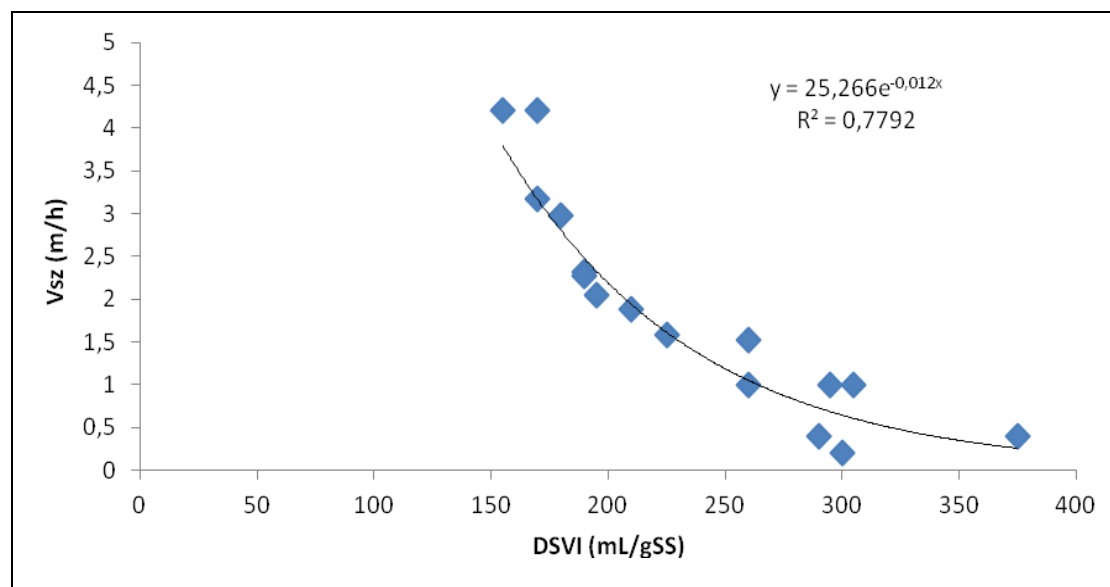
Στην προκειμένη περίπτωση, ενώ η σταθερά V_o έχει πολύ ικανοποιητικές τιμές, οι τιμές που υπολογίστηκαν για την σταθερά n είναι αρκετά δυσμενείς, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 4.29, καθώς όσο οι τιμές της σταθεράς V_o αυξάνονται, αυξάνονται και οι τιμές της σταθεράς n .



Σχήμα 4.30: Γραφική απεικόνιση των υπολογισμένων τιμών της παραμέτρου V_o της εξίσωσης Vesilind σε σχέση με τις τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI που προέκυψαν για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης.

Στο διάγραμμα 4.30 φαίνεται ότι υπάρχει καλή γραμμική συσχέτιση ($R^2=0,9411$). Η ταχύτητα καθίζησης είναι ανάλογη της σταθεράς V_o , όπως προκύπτει από την εξίσωση Vesilind. Υψηλές τιμές στο δείκτη DSVI υποδηλώνουν χαμηλή ταχύτητα καθίζησης της ενεργού ιλύος. Επομένως, για υψηλές τιμές στο δείκτη DSVI

αναμένεται να εμφανίζονται χαμηλές τιμές στη σταθερά V_0 , πράγμα το οποίο φαίνεται να συμβαίνει.



Σχήμα 4.31: Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ταχύτητας καθίζησης V_{sz} σε σχέση με τις τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI που προέκυψαν για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης.

Τέλος στο Σχήμα 4.31 απεικονίζεται η επίδραση των χαρακτηριστικών καθίζησης της ιλύος στην ταχύτητα καθίζησης της. Τα αποτελέσματα φαίνονται να είναι αρκετά ικανοποιητικά και υπάρχει αρκετά καλή συσχέτιση στα δεδομένα. Με βάση τα ανωτέρω διαπιστώνεται ότι αύξηση του δείκτη καθιζησιμότητας έχει ως συνέπεια τη μείωση της ταχύτητας καθίζησης της βιομάζας.

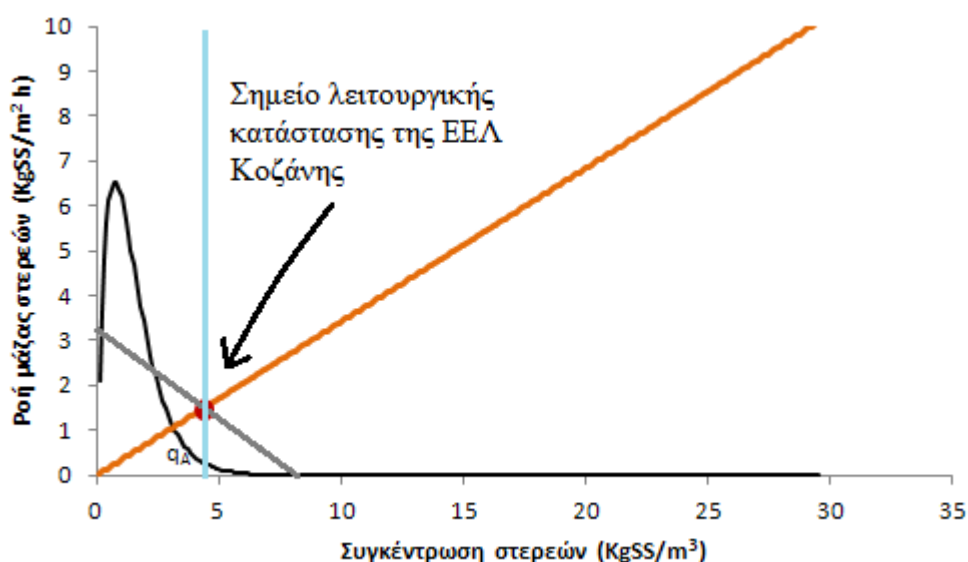
Σε αυτό το σημείο, πρέπει να επισημανθεί ότι στην ΕΕΛ Κοζάνης γινόταν προσθήκη κροκιδωτικών σχεδόν καθ'όλη τη χρονική διάρκεια της λήψης και εξέτασης δειγμάτων ανάμεικτου υγρού. Πιο συγκεκριμένα, από 30/01/2014 έως και 25/02/2014 στην ΕΕΛ Κοζάνης γινόταν προσθήκη δισθενούς σιδήρου με τη μορφή διαλύματος FeCl_2 (9% κ.β. σε Fe) με μία μικρή δόση, της τάξης των 15 $\text{grFe}^{2+}/\text{kgMLSS}$. Εν συνεχεία, από 25/02/2014 έως και 18/04/2014 έκαναν προσθήκη τρισθενούς σιδήρου με τη μορφή διαλύματος FeClSO_4 (12,3% κ.β. σε Fe) με πολύ μεγάλη δόση, της τάξης των 90 $\text{grFe}^{3+}/\text{kgMLSS}$ μέχρι το τέλος Μαρτίου (27/03) και εν συνεχεία με μια πολύ μικρότερη δόση της τάξης των 24 $\text{grFe}^{3+}/\text{kgMLSS}$. Πρέπει να τονιστεί ότι οι συνιστώμενες δόσεις είναι της τάξης των 35 $\text{grFe}^{3+}/\text{kgMLSS}$. Κατά την περίοδο από 19/04/2014 έως και 30/04/2014 δεν γινόταν καμία προσθήκη κροκιδωτικών, ενώ τέλος κατά την περίοδο του μήνα Μάη πραγματοποιήθηκε προσθήκη κροκιδωτικού PAC (9% κ.β. σε Al) σε μία μικρή δόση, με μέση δόση της τάξης των 1,3 $\text{grAl}/\text{kgMLSS}/\text{d}$. Η προσθήκη των κροκιδωτικών πραγματοποιήθηκε κυρίως για την αντιμετώπιση του έντονου φαινομένου του αφρισμού στην ΕΕΛ. Αυτή η προσθήκη είχε ως αποτέλεσμα την βελτίωση των χαρακτηριστικών καθίζησης της βιομάζας (χαμηλότερες τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας) και επομένως τα κροκιδωτικά σχετίζονται άμεσα με τους υψηλότερους λόγους V_0/n , αλλά κυρίως με τις υψηλότερες τιμές της παραμέτρου V_0 , αφού στην παράμετρο n δεν επιφέρουν καμία αλλαγή. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος για τον οποίο, ενώ οι τιμές της παραμέτρου V_0 εμφανίζονται ικανοποιητικές, οι τιμές της παραμέτρου n

εξακολουθούν να παραμένουν υψηλές, ενώ ιδανικά έπρεπε να είναι χαμηλές. Αυτό καταδεικνύεται και από τα αποτελέσματα των μικροσκοπικών παρατηρήσεων αλλά και από την εξέταση των μορφολογικών παραμέτρων που προέκυψαν από την παρατήρηση των μεγεθών των κροκίδων (με τη βοήθεια του λογισμικού image analysis) και αναλύονται σε επόμενες παραγράφους εκτενέστερα, όπου με την προσθήκη των κροκιδωτικών παρατηρήθηκε αύξηση του μεγέθους των κροκίδων και έστω και κατ' ελάχιστο μια πιο συμπαγής μορφή στις κροκίδες. Με άλλα λόγια, μεγαλύτερες και πιο συμπαγείς κροκίδες καθίζουν με μεγαλύτερη ταχύτητα καθίζησης, άρα παρουσιάζουν μια καλύτερη εικόνα στο δείκτη καθιζησιμότητας της ύλος, αφού αυτός μειώνεται, και αυτονότητα οδηγούν σε καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης.

Η γνώση των σταθερών V_0 και n είναι χρήσιμη για την εξέταση της φόρτισης των δεξαμενών τελικής καθίζησης και για την εκτίμηση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας τους. Με βάση τις τιμές των σταθερών V_0 και n μπορεί να υπολογισθεί η συνολική ροή μάζας των στερεών στις δεξαμενές τελικής καθίζησης, η οποία είναι το άθροισμα της ροής μάζας λόγω βαρύτητας και της ροής μάζας λόγω απομάκρυνσης ύλος από τον πυθμένα των δεξαμενών τελικής καθίζησης (μέσω της ανακυκλοφορίας της ύλος). Η συνολική ροή μάζας σε μία δεξαμενή τελικής καθίζησης δίνεται από την ακόλουθη σχέση: $F = F_1 + F_2 = X V_0 e^{-nX} + q_r X$ ($\text{KgSS}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)

όπου $q_r = rQ/A$ και r είναι ο συντελεστής ανακυκλοφορίας της ύλος, Q η παροχή των λυμάτων (m^3/h), A η επιφάνεια των δεξαμενών τελικής καθίζησης (m^2) και X η συγκέντρωση των MLSS (KgSS/m^3).

Στο Σχήμα 4.32 παρουσιάζεται η ανάλυση του σημείου λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης της ΕΕΛ Κοζάνης. Το σημείο λειτουργικής κατάστασης ορίζεται από την τομή τριών ευθειών: της ευθείας που ορίζει την υδραυλική φόρτιση των δεξαμενών τελικής καθίζησης ($qA=Q/A$), της ευθείας που ορίζει το q_r και της κάθετη στον οριζόντιο άξονα στην συγκέντρωση των MLSS .



Σχήμα 4.32: Γραφική απεικόνιση του σημείου λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης της ΕΕΛ Κοζάνης.

Με βάση τα λειτουργικά δεδομένα της ΕΕΛ Κοζάνης για μία μέση παροχή της τάξης των $545 \text{ m}^3/\text{h}$, για τη συνολική επιφάνεια των τριών δεξαμενών τελικής καθίζησης (1592 m^2), για ένα μέσο συντελεστή ανακυκλοφορίας της τάξης του 115% και για μία μέση τιμή MLSS της τάξης των $4,5 \text{ KgSS}/\text{m}^3$, υπολογίζεται γραφικά το σημείο λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης της εγκατάστασης, όπως φαίνεται παραπάνω στο σχήμα 4.32.

Από το παραπάνω σχήμα, διακρίνεται με μαύρο χρώμα η καμπύλη ροής μάζας των στερεών λόγω βαρύτητας. Επίσης, φαίνεται η κατακόρυφη γαλάζιου χρώματος γραμμή, η οποία απεικονίζει τη μέση τιμή της συγκέντρωσης των στερεών (MLSS) της τάξης των $4,5 \text{ KgSS}/\text{m}^3$ (συγκέντρωση τροφοδοσίας).

Η πλάγια γκρι γραμμή όπως είναι εμφανές συναντά τον άξονα y στην τιμή $3,3 \text{ KgSS}/\text{m}^2\text{h}$, τιμή η οποία αντικατοπτρίζει την τιμή του συνολικού επιβαλλόμενου φορτίου των στερεών της τελικής καθίζησης και το οποίο ισούται με:

$$\frac{Q}{A} (1+r) \cdot MLSS = \frac{545 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{1592 \text{m}^2} (1+1,15) \cdot 4,5 \frac{\text{kgSS}}{\text{m}^3} = 3,3 \frac{\text{kgSS}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Η ίδια γκρι γραμμή στον άξονα x συναντά την τιμή $8 \text{ KgSS}/\text{m}^3$, η οποία είναι μια μέση τιμή της συγκέντρωσης στερεών της επανακυκλοφορίας της ιλύος (Su). Η κλίση αυτής της γραμμής ισούται με $r \cdot Q/A$.

Επίσης, η κλίση της πορτοκαλί πλάγιας γραμμής μας δίνει το Q/A .

Το σημείο τομής αυτών των τριών γραμμών απεικονίζει το σημείο λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης της ΕΕΛ Κοζάνης. Είναι φανερό ότι το σημείο αυτό βρίσκεται εκτός της καμπύλης ροής μάζας στερεών λόγω βαρύτητας. Αυτό προφανώς και δεν είναι επιθυμητό και υποδηλώνει ότι οι δεξαμενές τελικής καθίζησης είναι υπερφορτωμένες και δεν επιτυγχάνονται τα κριτήρια της διαύγασης και της συμπύκνωσης. Σε αυτή την κατάσταση υψηλότερη ροή εφαρμόζεται από ό, τι μπορεί να υποστεί επεξεργασία από τη δεξαμενή καθίζησης. Αυτό σημαίνει ότι σταδιακά θα συσσωρεύονται στερεά στη δεξαμενή καθίζησης, η οποία δεν μπορεί να διατηρηθεί σε μια σταθερή κατάσταση και αυτό θα οδηγήσει σε απώλεια στερεών μεγάλου μεγέθους του υγρού αποβλήτου στην εκροή.

Μια τέτοια κατάσταση είναι αναμενόμενη, αφού είναι γνωστό ότι η ΕΕΛ Κοζάνης αντιμετωπίζει προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και επομένως αναμένεται ότι η συμπύκνωση της ιλύος δεν θα είναι ικανοποιητική.

Μία λύση για την καλύτερη λειτουργία της εγκατάστασης θα ήταν να λειτουργεί με μικρότερη συγκέντρωση τροφοδοσίας, δηλαδή να μειωθεί η συγκέντρωση των στερεών (MLSS). Όμως φαίνεται ότι για να βρεθεί το σημείο λειτουργίας εντός της καμπύλης, πρέπει να πραγματοποιηθεί πολύ μεγάλη μείωση της συγκέντρωσης στερεών κάτι το οποίο δεν φαίνεται να εξυπηρετεί.

Εναλλακτικά, θα μπορούσε να μειωθεί ο ρυθμός ανακυκλοφορίας της λάσπης, άρα και ο ρυθμός άντλησης της λάσπης. Με μείωση του ρυθμού ανακυκλοφορίας της λάσπης, θα μειωθεί η κλίση της γκρι γραμμής και επομένως το σημείο τομής, δηλαδή το σημείο λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης της ΕΕΛ Κοζάνης θα βρίσκεται πλέον εντός των ορίων της καμπύλης ροής μάζας στερεών λόγω βαρύτητας.

Τέλος, δεδομένου ότι στην ΕΕΛ Κοζάνης το πρόβλημα ξεκινά από την εμφάνιση της νηματοειδούς διόγκωσης και κατ'επέκταση την αδυναμία ικανοποιητικής συμπύκνωσης της ιλύος, εάν βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά της καθίζησης, θα αλλάξουν και οι παράμετροι N_0 και n και επομένως η καμπύλη ροής

μάζας στερεών λόγω βαρύτητας θα μετατοπιστεί προς τα πάνω, οπότε το πιθανότερο είναι ότι με την μετατόπιση της καμπύλης το σημείο λειτουργικής κατάστασης της εγκατάστασης θα είναι πλέον εντός των ορίων της καμπύλης και η εγκατάσταση δεν θα υφίσταται πλέον πρόβλημα. Η βελτίωση των χαρακτηριστικών της καθίζησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με προσθήκη του σωστού κροκιδωτικού και στη σωστή δόση στην ΕΕΛ.

4.1.1.1.3 Αποτελέσματα μικροσκοπικών παρατηρήσεων για την ΕΕΛ Κοζάνης

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, διενεργήθηκε μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων ως προς τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των κροκίδων και το είδος και την ποικιλία των νηματοειδών βακτηρίων. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν ήταν ο δείκτης νηματοειδών (Filament Index – FI), η γεφύρωση, το σχήμα της κροκίδας, η ύπαρξη ανοιχτής δομής, η ύπαρξη σπειροχετών (spirochete) και τα είδη των νηματοειδών μικροοργανισμών που εντοπίζονται.

Η αφθονία των νηματοειδών μικροοργανισμών, δηλαδή το πλήθος και η συγκέντρωση των νηματοειδών μικροοργανισμών στο σύνολο των μικροοργανισμών του δείγματος, βαθμονομήθηκε με βάση στο δείκτη νηματοειδών (FI) στην κλίμακα 0-5, όπου ως 0 νοείται η πλήρης απουσία νηματοειδών βακτηριδίων και ως 5 η υπερβολική παρουσία αυτών (Eikelboom et al., 1981).

Ο εντοπισμός των κυρίαρχων νηματοειδών βακτηριδίων στο δείγμα του ανάμικτου υγρού, αλλά και ο καθορισμός του πληθυσμού τους έγινε με βάση τον ειδικό δείκτη νηματοειδών (SFI), ο οποίος βαθμονομείται στην ίδια κλίμακα με το δείκτη FI, δηλαδή από το 0-5.

Το μέγεθος των κροκίδων ταξινομήθηκε με βάση τη διάμετρο τους και συγκεκριμένα σύμφωνα με τον Jenkins et al. (1993). Ως μικρές ορίζονται οι κροκίδες με διάμετρο κάτω από 150 μm, ως μεσαίες οι κροκίδες με διάμετρο από 150 μm έως 500 μm και ως μεγάλες οι κροκίδες με διάμετρο πάνω από 500 μm.

Με βάση τα αποτελέσματα των μικροσκοπικών αναλύσεων για τα δείγματα ενεργού ιλύος της ΕΕΛ Κοζάνης, ο δείκτης νημάτων κυμάνθηκε μεταξύ 3,5-4,5, με τιμές οι οποίες παρουσιάζουν μία σταθερή υψηλή πορεία του δείκτη από τον Ιανουάριο έως τον Μάη σε τιμές που κυμάνθηκαν από 4-4,5 με μοναδική εξαίρεση τη μείωση του δείκτη νημάτων στην τελευταία μικροσκοπική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για δείγμα που λήφθηκε στις 27/05/2014, όπου η τιμή του δείκτη ήταν της τάξης του 3,5.

Οι βιοκροκίδες της ενεργού ιλύος παρουσιάζουν υψηλή προς πολύ υψηλή γεφύρωση λόγω της μεγάλης παρουσίας νηματοειδών μικροοργανισμών εντός και εκτός των κροκίδων και σε ποσοστό 50-50% ή 60-40% παρουσιάζουν ανοιχτή δομή και δεν είναι συμπαγείς και σφαιρικές. Αξιοσημείωτο είναι ότι δεν παρουσιάζεται ικανοποιητική κατανομή μεγεθών των κροκίδων (δηλαδή δεν παρουσιάζεται μια κατανομή 15% < 150 μm, 55% μεταξύ 150-500 μm και 30% > 500 μm που θα ήταν επιθυμητή) τον μήνα Ιανουάριο δεδομένου ότι υπάρχει υψηλό ποσοστό των μικρών κροκίδων της τάξης του 40%. Αργότερα, την χρονική περίοδο από Φεβρουάριο έως και Μάρτιο παρουσιάζεται μία σημαντική μείωση του ποσοστού των μικρών κροκίδων από το 40% σε ένα ποσοστό της τάξης του 10% και ταυτόχρονα άυξηση του ποσοστού των μεσαίων και των μεγάλων κροκίδων στα δείγματα ενεργού ιλύος. Οι κροκίδες μάλιστα αυτήν την περίοδο φαίνεται να είναι και πιο συμπαγείς.

Η αλλαγή αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι από 30/01/2014 έως και 25/02/2014 γινόταν προσθήκη κροκιδωτικών στην εγκατάσταση και συγκεκριμένα δισθενούς σιδήρου με τη μορφή διαλύματος FeCl₂ (9% κ.β. σε Fe) με δόση της τάξης των

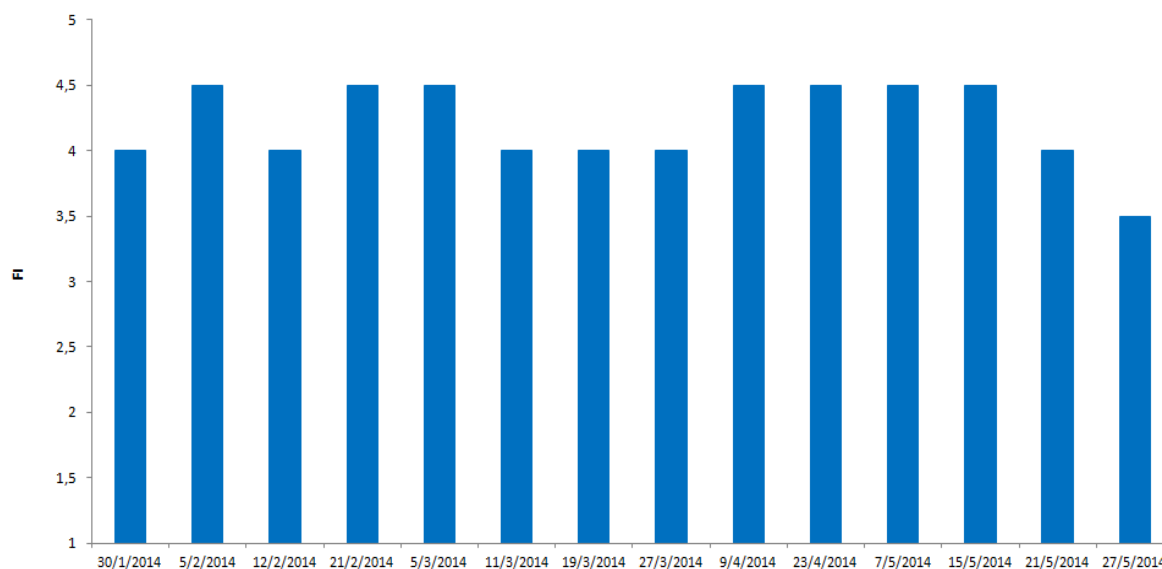
15gFe²⁺/kgSS, δόση ιδιαίτερα χαμηλή, ενώ εν συνεχεία την περίοδο από 25/02/2014 έως και 18/04/2014 γινόταν προσθήκη τρισθενούς σιδήρου με τη μορφή διαλύματος FeClSO₄ (12,3% κ.β. σε Fe) με δόση της τάξης των 90 gFe³⁺/kgSS μέχρι το τέλος Μαρτίου, δόση η οποία είναι ιδιαίτερος υψηλή, αν σκεφτεί κανείς ότι οι συνιστώμενες δόσεις είναι περίπου της τάξης των 35 gFe³⁺/kgSS και από το τέλος του Μαρτίου και μετά μια δόση των 24 gFe³⁺/kgSS την υπόλοιπη περίοδο, δόση που είναι μικρή. Φαίνεται λοιπόν, ότι η προσθήκη μεγαλύτερης δόσης κροκιδωτικού επηρέασε θετικά στην αύξηση του μεγέθους των κροκίδων και αλλά και έκανε τις κροκίδες να έχουν μία πιο συμπαγή μορφή έστω και ελάχιστα.

Επισημαίνεται ότι η ανάλυση των χαρακτηριστικών των κροκίδων πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης εικόνας (image analysis) που έχουν αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας. Συνολικά αναλύθηκαν περισσότερες από 18000 κροκίδες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης προκύπτει ότι η μέση διάμετρος και η μέση περίμετρος για το 50% των κροκίδων κυμαίνονται μεταξύ 97-221 μm και 761-1813 μm αντίστοιχα, ενώ το 90% των κροκίδων έχουν μέση διάμετρο που κυμαίνεται μεταξύ 226-491 μm και μέση περίμετρο μεταξύ 2457-5721 μm.

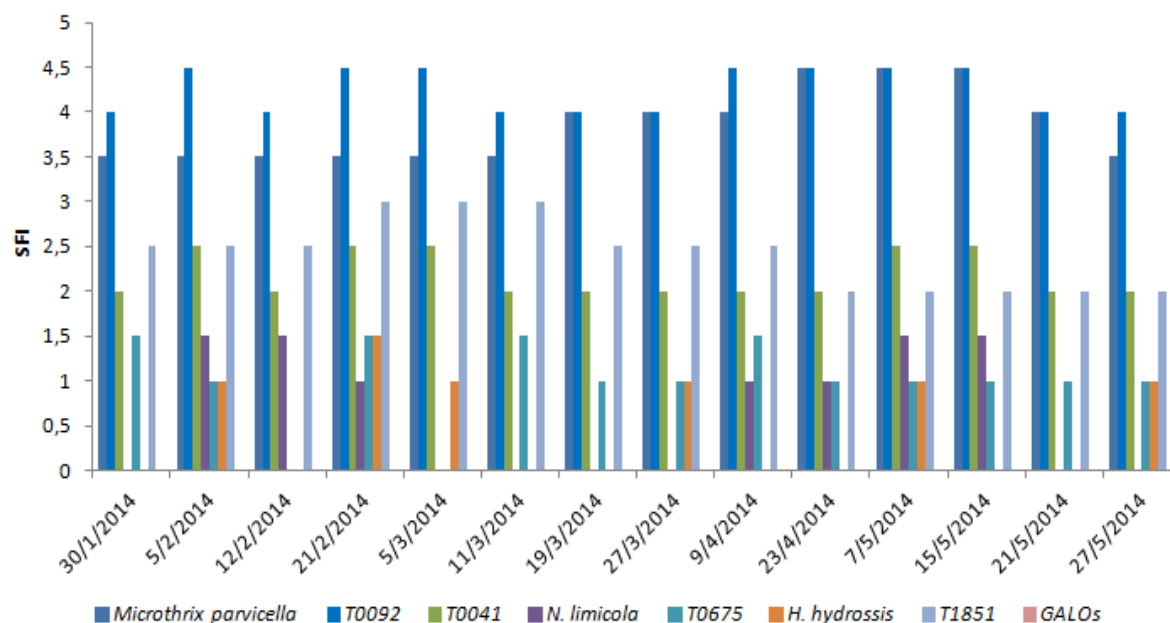
Οι διακυμάνσεις των τιμών επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την προσθήκη των κροκιδωτικών που έβαζαν στην ΕΕΛ Κοζάνης διαχρονικά αλλά και σε σχέση με τις δόσεις τους. Ενδεικτικά, μπορεί να αναφερθεί ότι από 30/01/2014-25/02/2014 που γινόταν προσθήκη χαμηλής δόσης FeCl₂ το 50% των κροκίδων εμφάνιζε τιμές μέσης διαμέτρου και περιμέτρου της τάξης των 97-153μm και 761-1255μm αντίστοιχα και για την ίδια χρονική περίοδο το 90% των κροκίδων εμφάνιζε τιμές μέσης διαμέτρου και περιμέτρου της τάξης των 226-398μm και 2605-4686μm αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές αλλάζουν παρουσιάζοντας μια αύξηση για όλα τα μεγέθη τη χρονική περίοδο 25/02/2014-18/04/2014 όπου στην εγκατάσταση γινόταν προσθήκη διαλύματος FeClSO₄ σε αρκετά μεγάλη δόση, όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, με την μέση διάμετρο και περίμετρο για το 50% των κροκίδων να εμφανίζει τιμές μεταξύ 134-213μm και 769-1767μm και για το 90% των κροκίδων τιμές μεταξύ 289-479 και 2457-5530 για μέση διάμετρο και περίμετρο αντίστοιχα. Στο διάστημα από 19/04/2014-30/04/2014 δεν γινόταν καμία προσθήκη κροκιδωτικού στην εγκατάσταση και το μόνο δείγμα που εξετάστηκε ήταν αυτό στις 23/04/2014, το οποίο παρουσίαζε τιμές μέσης διαμέτρου και περιμέτρου για το 50% των κροκίδων της τάξης των 180μm και 1262μm αντίστοιχα, ενώ για το 90% των κροκίδων τιμές 324μm και 2861μm για μέση διάμετρο και περίμετρο αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές αυξάνονται κι άλλο μετά την προσθήκη PAC (9% κ.β. σε Al) με μέση δόση 1,3 g Al/kgSS/d (μικρή δόση) κατά την περίοδο του Μάη μήνα, με την μέση διάμετρο και περίμετρο για το 50% των κροκίδων να εμφανίζει τιμές μεταξύ 176-221μm και 1299-1813μm και για το 90% των κροκίδων τιμές μεταξύ 394-490 και 3496-5721 για μέση διάμετρο και περίμετρο αντίστοιχα.

Οι επικρατέστεροι νηματοειδείς μικροοργανισμοί στα δείγματα ανάμικτου υγρού κατά την χρονική αυτή περίοδο (Ιανουάριος-Μάιος) ήταν οι *Type 0092*, *M. parvicella*, *Type 1851*, *Type 0041*, *Type 0675*, *Type 1863*, *Gordona spp.*, *Thiothrix*, *H. Hydrossis* και *N.limicola*. Οι περισσότεροι εκ των μικροοργανισμών αυτών κατατάσσονται στην κατηγορία των μικροοργανισμών χαμηλής οργανικής φόρτισης (low F/M filamentous microorganisms), ενώ η ανάπτυξη κάποιων εξ' αυτών των μικροοργανισμών (*M. parvicella*, *Type 0041*, *Gordona spp.*, *Type 0092*) συσχετίζεται με την εισροή υψηλών συγκεντρώσεων λιπών και ελαίων στη βιολογική βαθμίδα.

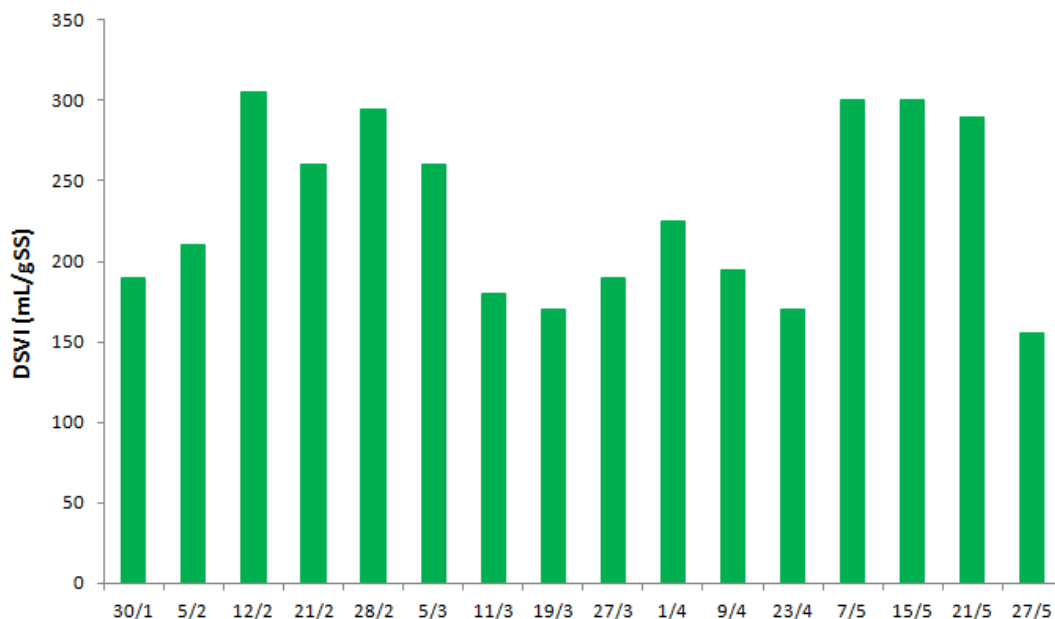
Παρακάτω στα σχήματα 4.33 και 4.34 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη νηματοειδών (Filament Index – FI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Κοζάνης σε μία κλίμακα από το 0-5, καθώς και οι τιμές του ειδικού δείκτη νηματοειδών (Specific Filament Index – SFI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Κοζάνης σε μία κλίμακα από το 0-5. Ακολουθεί μία οπτική απεικόνιση της εξέλιξης του δείκτη καθιζημασιότητας της ιλύος την ίδια χρονική περίοδο στο σχήμα 4.35.



Σχήμα 4.33: Τιμές του δείκτη νηματοειδών (Filament Index – FI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Κοζάνης σε μία κλίμακα από το 0-5.



Σχήμα 4.34: Τιμές του ειδικού δείκτη νηματοειδών (Specific Filament Index – SFI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Κοζάνης σε μία κλίμακα από το 0-5.



Σχήμα 4.35: Τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Κοζάνης.

Παραπάνω στο σχήμα 4.35 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος, όπου φαίνεται ότι οι τιμές είναι καθ'όλη τη χρονική διάρκεια που εξετάζονται δείγματα ανάμεικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης ιδιαίτερα υψηλές, κάτι που δικαιολογείται και από τις ιδιαίτερα υψηλές τιμές δεικτών FI και SFI. Η πιο χαμηλή τιμή του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος παρουσιάζεται στις 27/05/2014, όπου φαίνεται ότι έχει αρχίσει να επιδρά η προσθήκη ΑΙ του κροκιδωτικού ΡΑC, παρόλο που προστέθηκε σε μικρή δόση.

Επίσης κατά την περίοδο 25/02/2014 έως 27/03/2014, όπου στην εγκατάσταση γινόταν προσθήκη διαλύματος FeClSO_4 (12,3% κ.β. σε Fe) με δόση της τάξης των 90 $\text{gFe}^{3+}/\text{kgSS}$, δόση η οποία είναι ιδιαίτερος υψηλή, παρατηρείται μία σταδιακή σημαντική μείωση του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος από ένα $\text{DSVI}=295\text{mL/gSS}$ στις 28/02/2014, σε ένα $\text{DSVI}=170\text{ mL/gSS}$ στις 19/03/2014. Αντίστοιχη είναι και η μείωση της παραμέτρου V_0 από τιμές της τάξης του 37,69m/h σε 19,75m/h, κάτι που αποδεικνύει ότι τα κροκιδωτικά επηρεάζουν σημαντικά και αυτήν την παράμετρο. Αμέσως μετά με μείωση της δόσης του FeClSO_4 στα 24 $\text{gFe}^{3+}/\text{kgSS}$, οι τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος σταδιακά αυξάνονται και πάλι, με τιμές που ξεκινούν στις 27/03/2014 από ένα $\text{DSVI}=190\text{ mL/gSS}$ και καταλήγουν σε τιμές ιδιαίτερα υψηλές που φτάνουν στη 01/04/2014 έως και μια τιμή $\text{DSVI}=225\text{ mL/gSS}$.

Αντίστοιχη εικόνα παρατηρείται και κατά την περίοδο 30/01/2014-25/02/2014, όπου η δόση του δισθενούς χλωρίου ήταν επίσης χαμηλή (15 $\text{gFe}^{2+}/\text{kgSS}$) και ενώ στις 30/01/2014 η τιμή του δείκτη καθιζησιμότητας ήταν της τάξης του $\text{DSVI}=190\text{ mL/gSS}$ φτάνει και σε πολύ υψηλότερες τιμές, έως και ένα $\text{DSVI}=305\text{ mL/gSS}$ στις 12/02/2014. Ανάλογη είναι και η αύξηση που παρατηρείται για την παράμετρο V_0 .

4.1.1.1.4 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (*image analysis*) για τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης

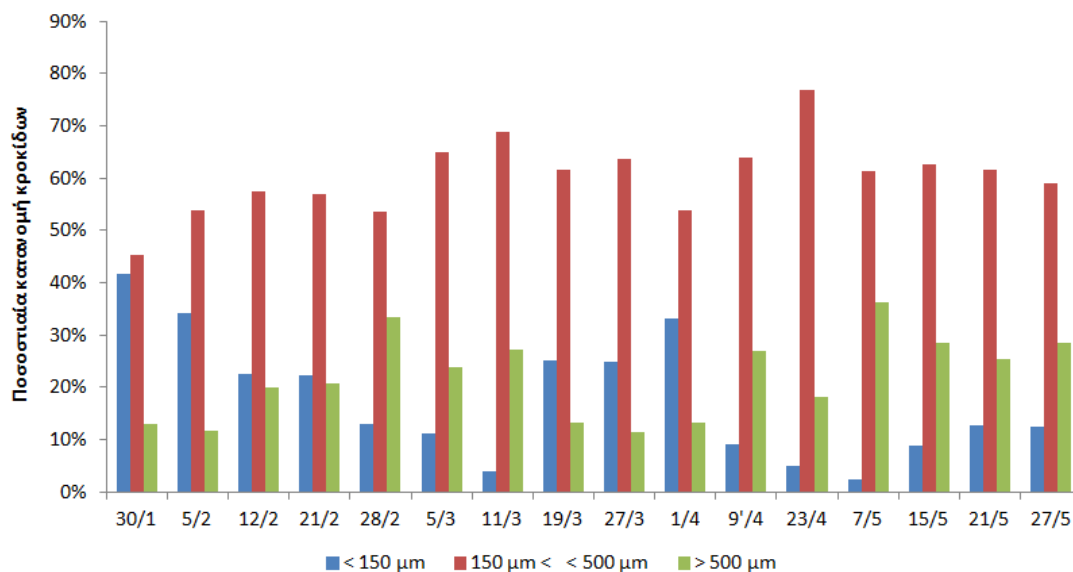
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας στα δείγματα που προέρχονταν από την ΕΕΛ Κοζάνης. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίστηκαν, για κάθε κροκίδα, παράμετροι που αφορούν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της. Υπολογίστηκαν μεταξύ άλλων και κάποιες μορφολογικές παράμετροι που μας ενδιαφέρουν περισσότερο και περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω:

- 1) Area: η επιφάνεια της κροκίδας
- 2) Aspect Ratio: ο λόγος του μέγιστου άξονα ως προς τον ελάχιστο άξονα της έλλειψης που ισοδυναμεί στο αντικείμενο. Όσο πιο κοντά είναι στη μονάδα, τόσο πιο κυκλική είναι η κροκίδα.
- 3) Axis (major): ο μέγιστος άξονας δηλαδή το μήκος του μέγιστου άξονα της σχηματιζόμενης έλλειψης γύρω από το αντικείμενο.
- 4) Axis (minor): ο ελάχιστος άξονας δηλαδή το μήκος του μικρότερου άξονα της σχηματιζόμενης έλλειψης γύρω από το αντικείμενο.
- 5) Diameter (max): η μέγιστη διάμετρος δηλαδή το μήκος της μακρύτερης γραμμής που ενώνει δύο σημεία του αντικειμένου και ταυτόχρονα διέρχεται από το κέντρο.
- 6) Diameter (min): η ελάχιστη διάμετρος δηλαδή το μήκος της μικρότερης γραμμής που ενώνει δύο σημεία του αντικειμένου και ταυτόχρονα διέρχεται από το κέντρο.
- 7) Diameter (ave): η μέση διάμετρος δηλαδή ο μέσος όρος των διαμέτρων που μετρώνται ανά δύο μοίρες και ταυτόχρονα διέρχονται από το κέντρο του αντικειμένου.
- 8) Radius (max): η μέγιστη ακτίνα δηλαδή το μήκος της μακρύτερης γραμμής που ενώνει ένα σημείο του αντικειμένου με το κέντρο του.
- 9) Radius (min): η ελάχιστη ακτίνα δηλαδή το μήκος της μικρότερης γραμμής που ενώνει ένα σημείο του αντικειμένου με το κέντρο του.
- 10) Roundness: η καμπυλότητα, δηλαδή ένα μέτρο που περιγράφει πόσο σφαιρικό είναι το αντικείμενο (η αναμενόμενη περίμετρος του αντικειμένου αν ήταν σφαιρικό προς την πραγματική του περίμετρο). Ένα σφαιρικό αντικείμενο θα έχει καμπυλότητα 1, ενώ ανομοιόμορφα αντικείμενα έχουν καμπυλότητες μεγαλύτερες της μονάδας.
- 11) Perimeter: η περίμετρος δηλαδή το μήκος του περιγράμματος του αντικειμένου.
- 12) PERarea%: το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες
- 13) OBJnum: ο αριθμός των αντικειμένων που εντοπίζονται ανά mm²

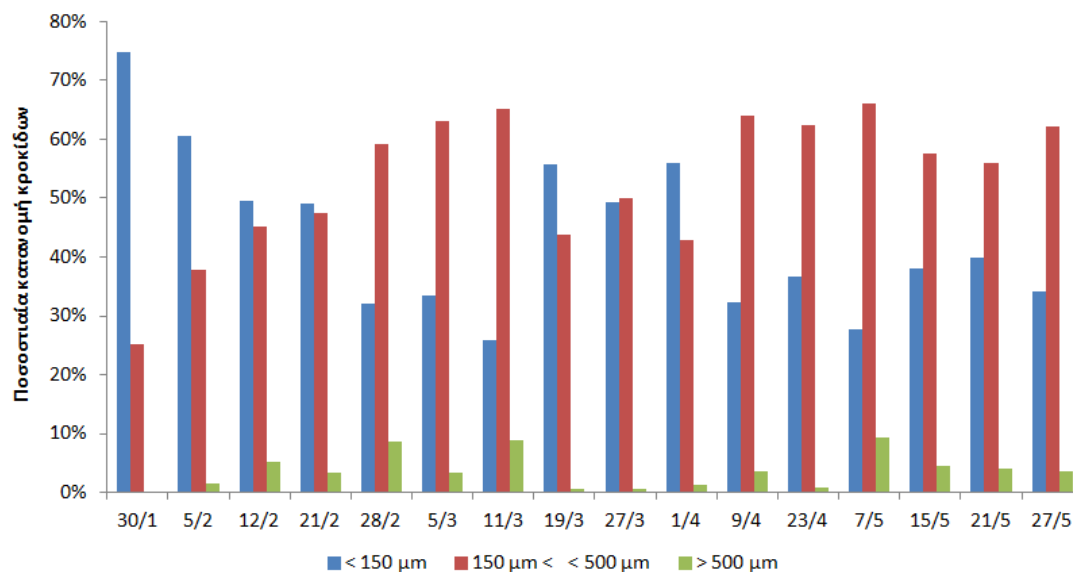
Στον πίνακα 4.2 που ακολουθεί έχουν καταγραφεί οι τιμές των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων που υπολογίστηκαν από το λογισμικό Image Pro Plus σε excel και καταγράφηκαν για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης καθώς επίσης και η συγκέντρωση στερεών (MLSS) και ο δείκτης καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI).

Πίνακας 4.2: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για διάφορες μορφολογικές παραμέτρους των κροκίδων που προέκυψαν μετά από τη χρήση της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (image analysis) για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης.

ΚΟΖΑΝΗ	30-Ιαν	5-Φεβ	12-Φεβ	21-Φεβ	28-Φεβ	5-Μαρ	11-Μαρ	19-Μαρ	27-Μαρ	1-Απρ	9-Απρ	23-Απρ	7-Μαϊ	15-Μαϊ	21-Μαϊ	27-Μαϊ
MLSS(mg/lit)	4580	4766,67	5980	4986,67	4300	3413,33	3646,67	3873,33	4186,67	3853,33	4673,33	5470	4260	4540	5050	4890
DSVI(σρ ml/gSS)	190	210	305	260	295	260	180	170	190	225	195	170	375	365	290	155
Item Objects	384	1835	2097	1693	1215	1016	1009	1368	1302	1328	1050	887	650	690	1003	1513
Area	18100,383	30050,322	56270,288	45833,936	81596,325	56400,589	87649,051	30963,713	32444,399	34537,846	60245,303	43487,554	81634,792	60362,514	56297,285	62245,610
Aspect Ratio	2,455	1,989	1,962	1,947	1,872	1,854	1,848	1,934	1,886	1,885	1,931	1,972	1,953	2,069	1,937	1,969
Axis (major)	233,705	244,597	315,673	311,432	403,630	341,168	406,917	262,004	260,806	253,343	360,493	320,442	436,400	375,816	349,674	365,340
Axis (minor)	89,102	129,093	167,277	165,599	221,819	190,388	224,570	140,375	143,526	137,636	192,264	168,878	232,396	189,285	188,409	191,551
Diameter (max)	257,749	267,748	352,158	356,280	456,241	383,501	443,568	290,554	285,841	275,004	392,058	354,657	494,024	422,367	392,237	398,596
Diameter (min)	53,891	79,112	106,732	82,888	127,066	120,408	142,110	80,075	92,661	91,150	120,167	105,497	126,944	103,100	102,344	115,449
Diameter (ave)	119,830	157,916	203,661	189,631	256,650	224,265	262,135	163,864	170,088	164,978	227,056	200,370	269,194	223,062	212,932	225,264
Radius (max)	143,923	154,134	199,827	204,525	259,447	218,794	252,645	167,894	164,842	158,531	224,195	202,220	280,431	241,061	224,828	227,339
Radius (min)	18,678	26,001	38,253	26,618	43,433	42,549	50,922	26,937	33,303	33,130	42,804	37,792	42,851	34,389	34,048	40,568
Perimeter	1238,969	1182,580	1800,382	2171,421	2580,740	1971,222	1939,288	1313,034	1213,862	1122,387	1684,272	1614,560	2616,535	2144,723	2002,825	1760,698
Radius Ratio	23,256	14,037	14,211	27,502	16,642	15,630	10,509	15,448	12,572	11,464	13,673	20,434	20,692	23,717	18,478	13,998
Roundness	8,470	4,870	6,550	10,011	8,175	7,480	4,416	5,229	4,335	3,816	4,457	5,474	7,803	7,159	6,746	4,804
Size (length)	264,092	277,091	361,660	367,524	467,903	392,113	454,847	300,312	295,256	283,778	402,702	363,417	508,738	434,548	403,165	410,353
Size (width)	128,012	168,422	222,578	229,760	296,716	251,980	292,903	188,726	187,708	178,986	251,034	224,245	316,742	259,379	254,228	253,075
Density (ave)	75,836	60,545	75,851	73,763	72,718	94,342	78,600	82,700	75,286	81,523	78,194	76,515	74,944	77,588	80,340	79,522
Density (min)	30,721	28,061	28,399	28,467	25,688	35,806	28,629	30,531	30,362	39,611	34,616	27,396	25,186	27,383	29,268	29,032
Density (max)	169,280	123,595	178,784	164,525	166,126	205,439	176,183	185,690	159,380	159,692	157,610	175,383	172,748	177,510	180,394	178,470
Density (std)	20,492	14,715	21,436	19,725	18,832	22,775	19,180	22,600	17,922	17,134	16,760	20,387	20,454	21,065	21,574	20,405
Margination	0,350	0,353	0,347	0,345	0,341	0,340	0,336	0,338	0,340	0,341	0,338	0,333	0,337	0,336	0,333	0,332
Heterogeneity	0,187	0,085	0,210	0,183	0,161	0,236	0,170	0,250	0,157	0,127	0,119	0,201	0,200	0,215	0,228	0,198
Clumpiness	0,026	0,009	0,034	0,028	0,035	0,027	0,027	0,029	0,023	0,021	0,027	0,025	0,025	0,027	0,015	0,015
PERarea(%)	16,341%	18,624%	30,815%	30,121%	33,128%	24,683%	30,487%	20,249%	21,290%	19,346%	30,780%	25,280%	26,997%	27,035%	31,776%	38,448%
OBJ num (1mm)	9	6	5	7	4	4	3	7	7	6	5	6	3	4	6	6
Diameter																
Small (<150um)	287	1113	1039	831	391	340	262	763	642	743	340	326	161	262	401	517
percentage	74,74%	60,65%	49,55%	49,08%	32,18%	33,46%	25,97%	55,77%	49,31%	55,95%	32,38%	36,75%	27,77%	37,97%	39,98%	34,17%
Medium (150-)	97	695	947	805	718	642	658	598	652	569	673	554	429	397	562	941
percentage	25,26%	37,87%	45,16%	47,55%	59,09%	63,19%	65,21%	43,71%	50,08%	42,85%	64,10%	62,46%	66,00%	57,54%	56,03%	62,19%
Large (500um)	0	27	111	57	106	34	89	7	8	16	37	7	60	31	40	55
percentage	0,00%	1,47%	5,29%	3,37%	8,72%	3,35%	8,82%	0,51%	0,61%	1,20%	3,52%	0,79%	9,23%	4,49%	3,99%	3,64%
Diameter																
Small (<150um)	160	630	473	376	158	115	39	343	324	439	97	45	16	62	128	188
percentage	41,67%	34,33%	22,56%	22,21%	13,00%	11,32%	3,87%	25,07%	24,88%	33,06%	9,24%	5,07%	2,46%	8,99%	12,76%	12,43%
Medium (150-)	174	988	1206	964	650	659	694	843	830	714	671	681	398	432	619	894
percentage	45,31%	53,84%	57,51%	56,94%	53,50%	64,86%	68,78%	61,62%	63,75%	53,77%	63,90%	76,78%	61,23%	62,61%	61,71%	59,09%
Large (500um)	50	217	418	353	407	242	276	182	148	175	282	161	236	196	256	431
percentage	13,02%	11,83%	19,93%	20,85%	33,50%	23,82%	27,35%	13,30%	11,37%	13,18%	26,86%	18,15%	36,31%	28,41%	25,52%	28,49%



Σχήμα 4.36 : Ποσοστιαία κατανομή κροκίδων για την παράμετρο diameter maximum (μέγιστη διάμετρος) για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης.

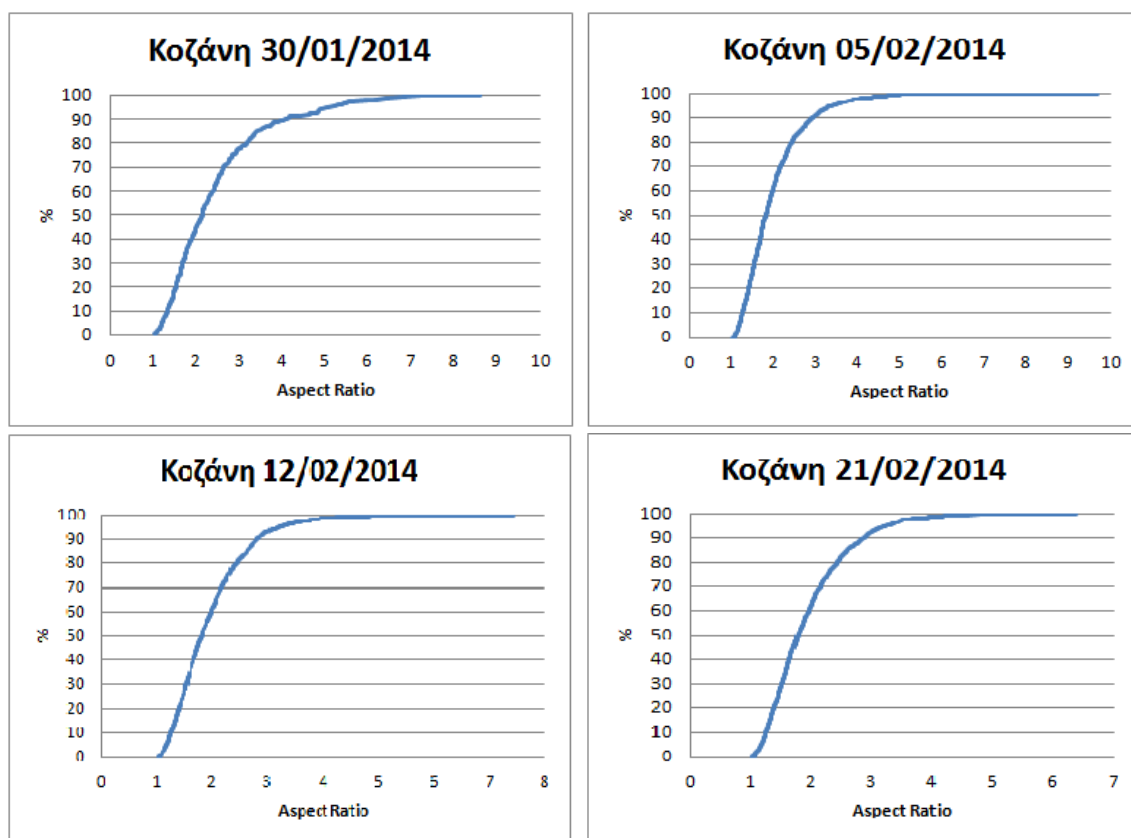


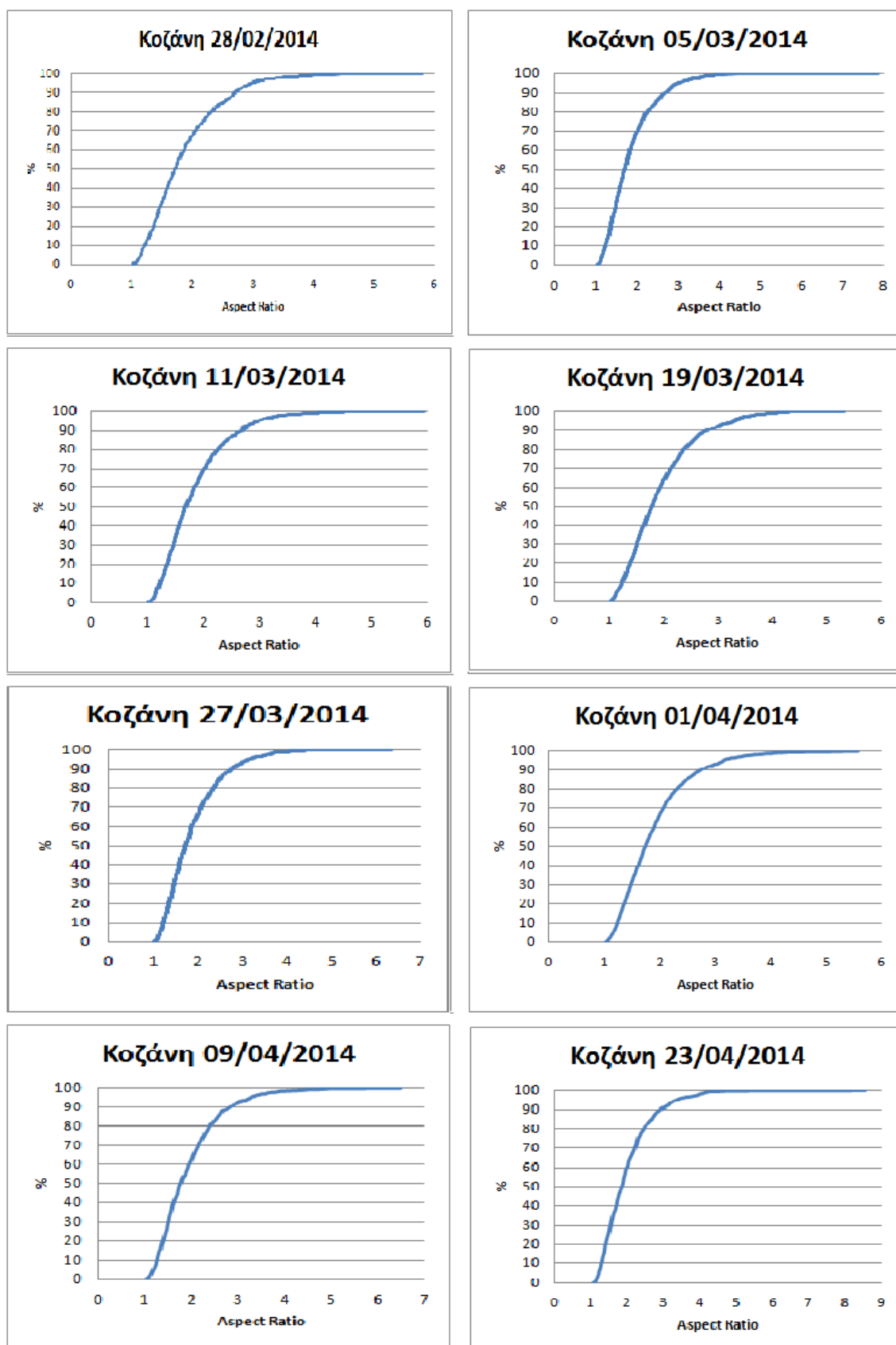
Σχήμα 4.37 : Ποσοστιαία κατανομή κροκίδων για την παράμετρο diameter average (μέση διάμετρος) για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης.

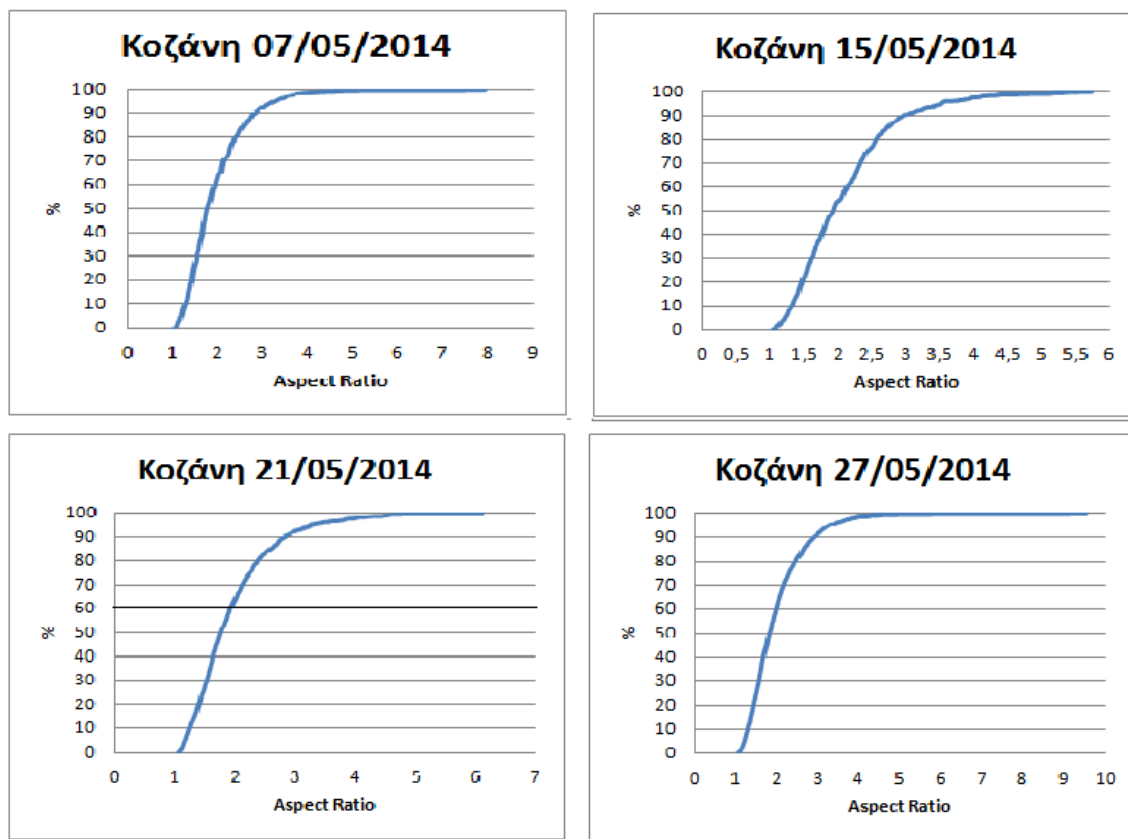
4.1.1.1.5 Αθροιστική Κατανομή των αποτελεσμάτων των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων για τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η αθροιστική κατανομή των τιμών κάποιων μορφολογικών παραμέτρων από αυτές που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας. Οι παράμετροι που επιλέχτηκε να εξεταστούν είναι οι εξής: aspect ratio, axis (major), diameter (max), diameter (ave) και perimeter. Στα σχήματα που εικονίζονται παρακάτω παρουσιάζονται τα γραφήματα της αθροιστικής κατανομής των παραμέτρων που επιλέχτηκαν για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης με χρονολογική σειρά και στο τέλος παρουσιάζονται γραφήματα που δείχνουν συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των δειγμάτων για κάθε παράμετρο που εξετάστηκε.

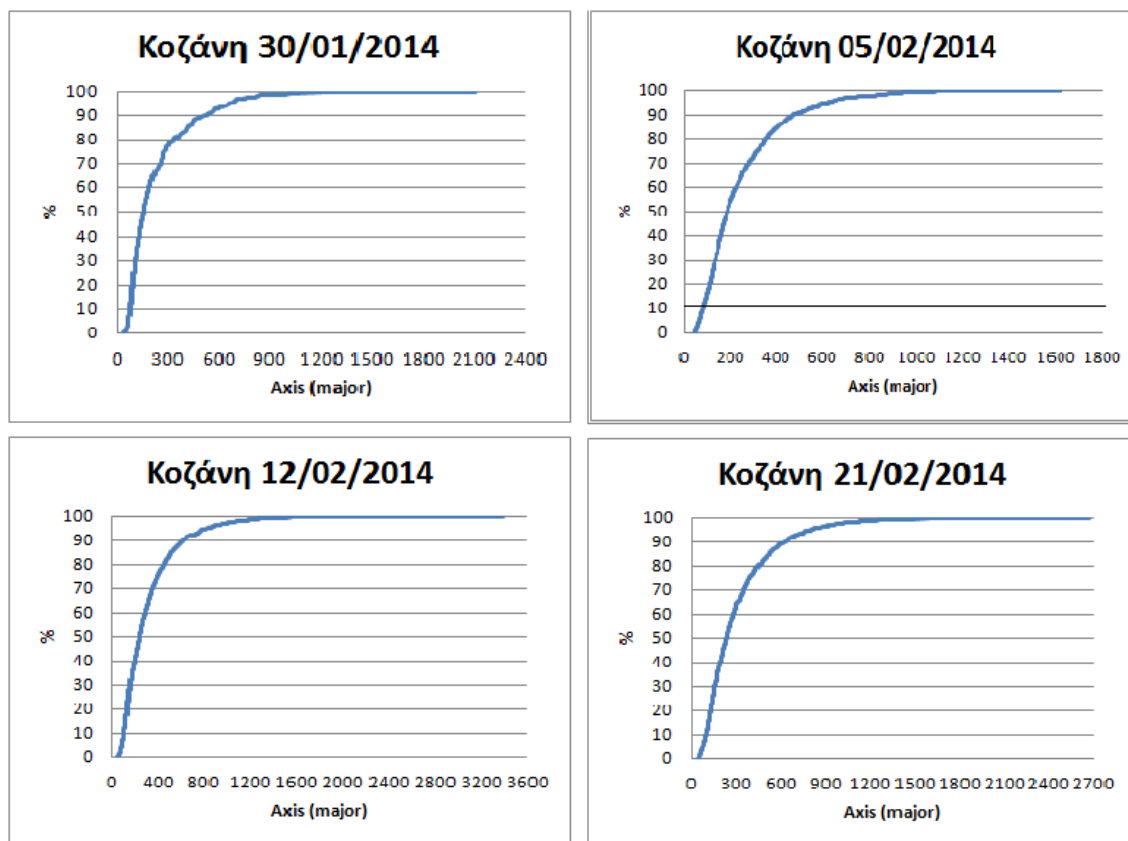
Για την αποτελεσματικότερη επεξεργασία τους εν συνεχεία καταγράφονται οι τιμές των μορφολογικών παραμέτρων που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων.

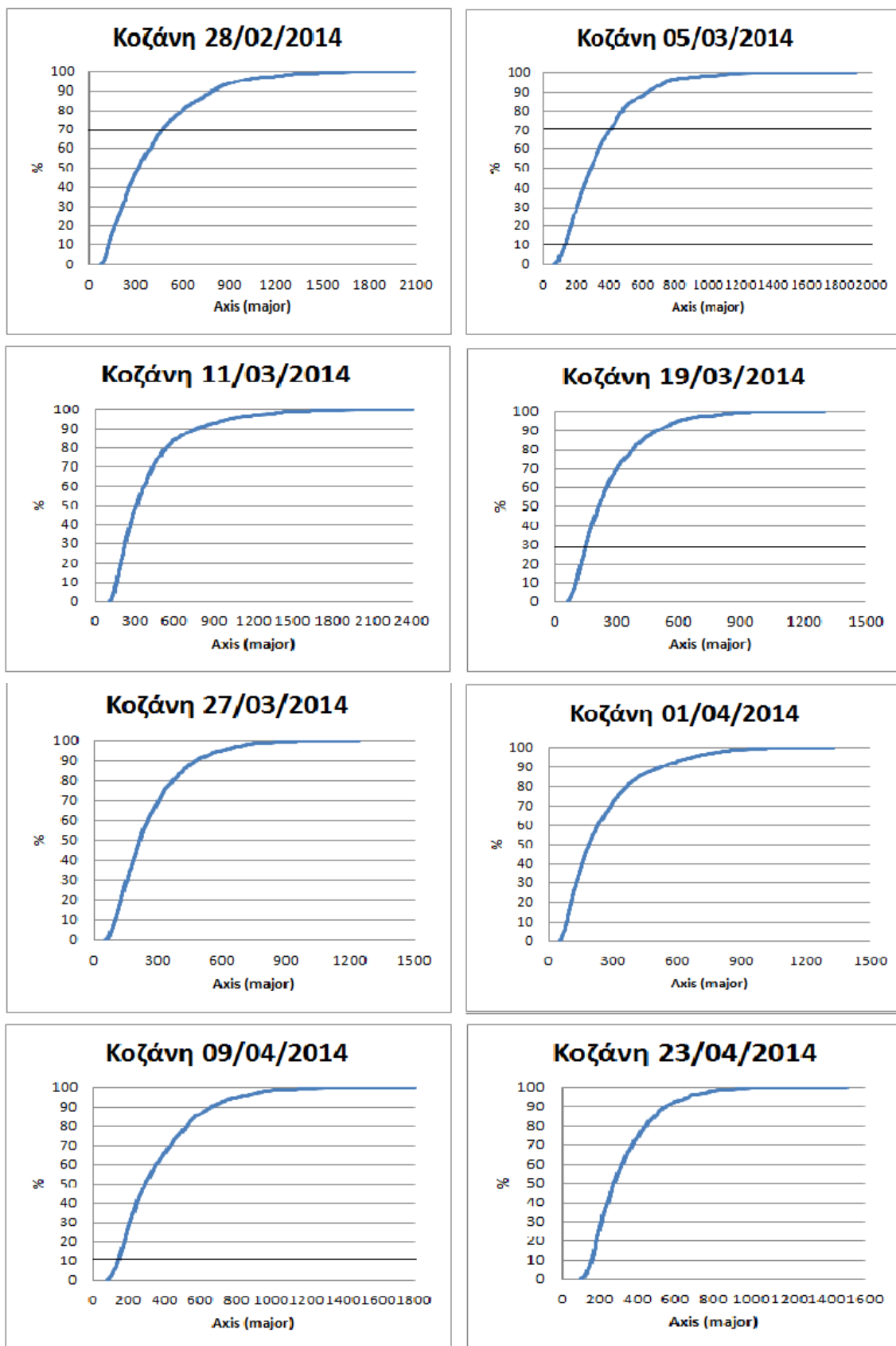


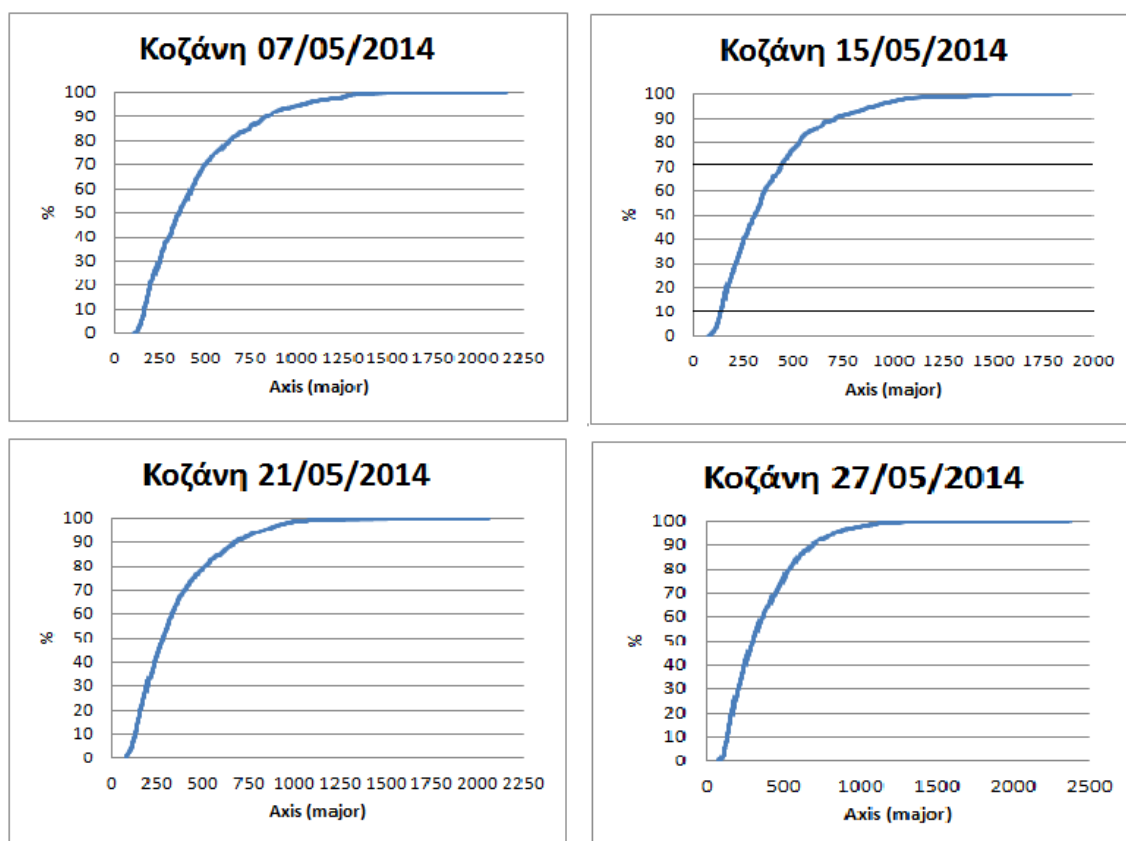




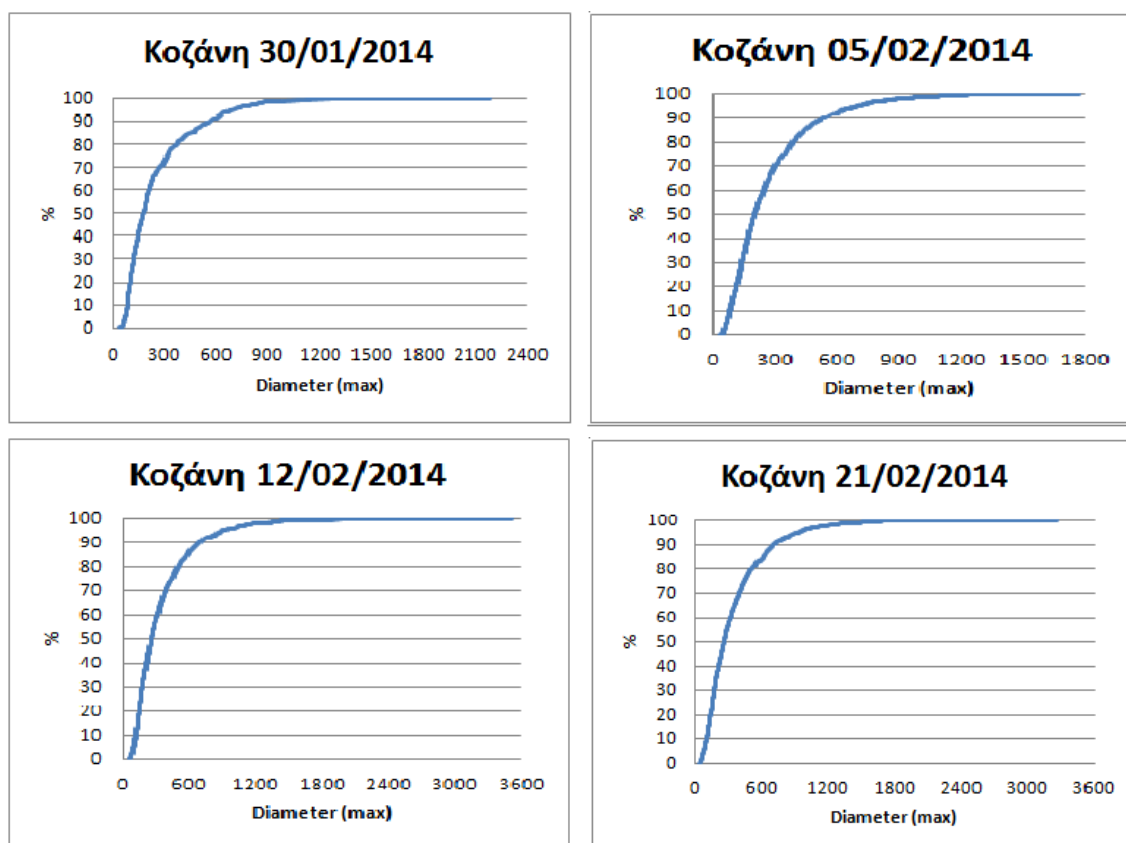
Σχήμα 4.38: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του aspect ratio των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης.

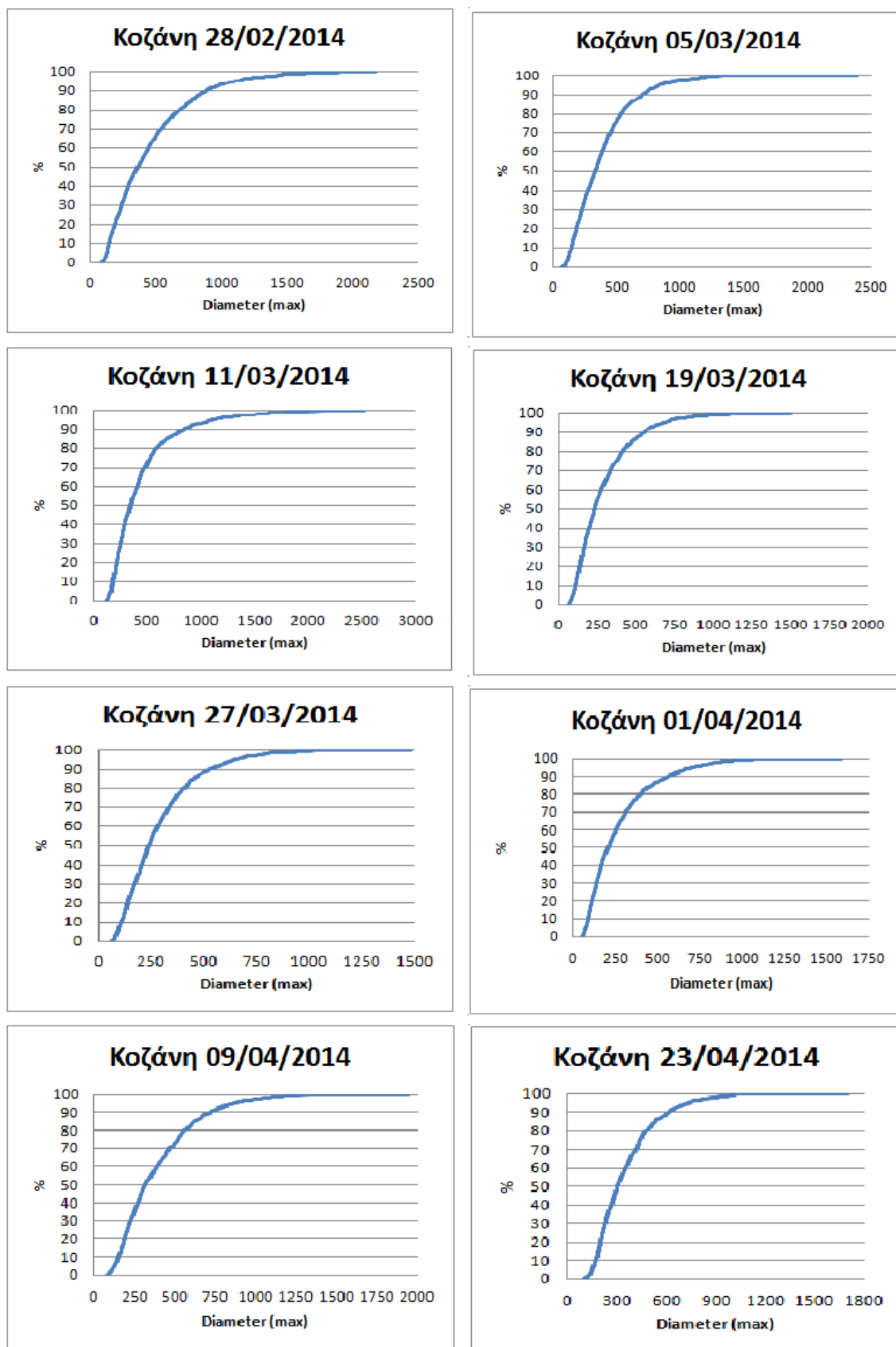


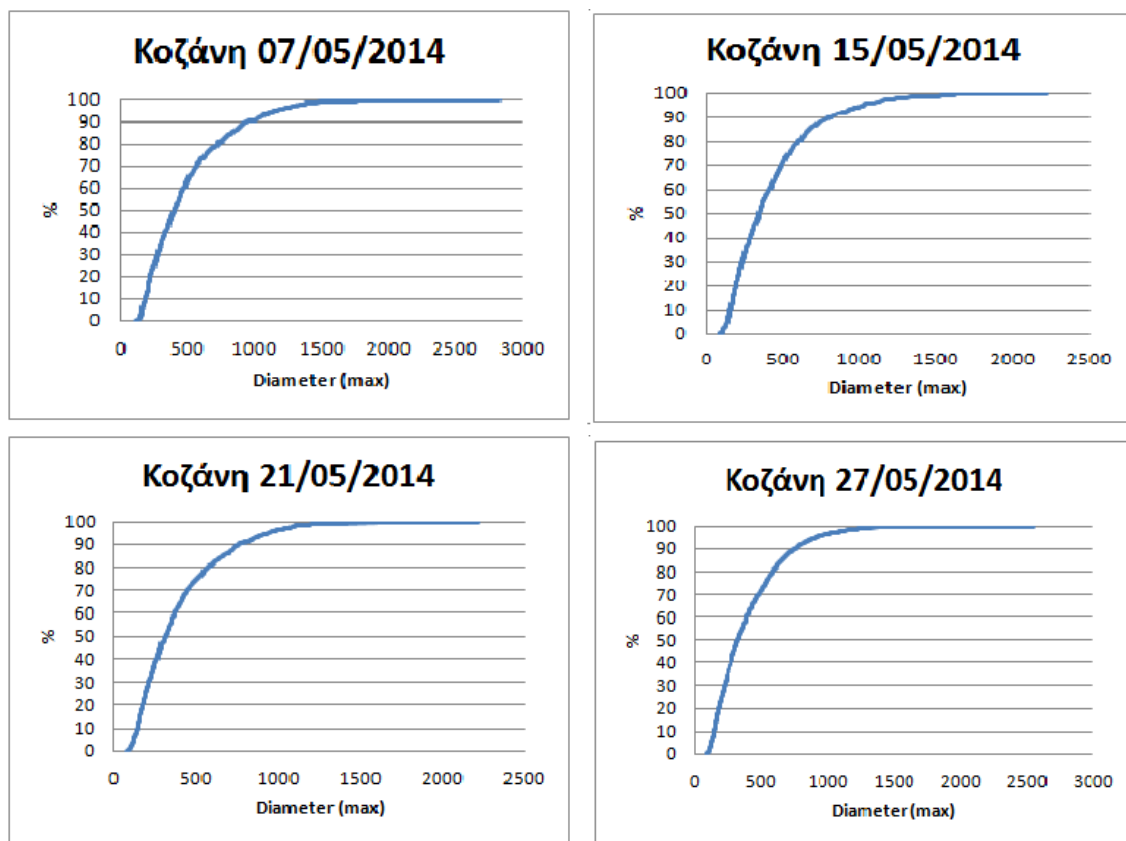




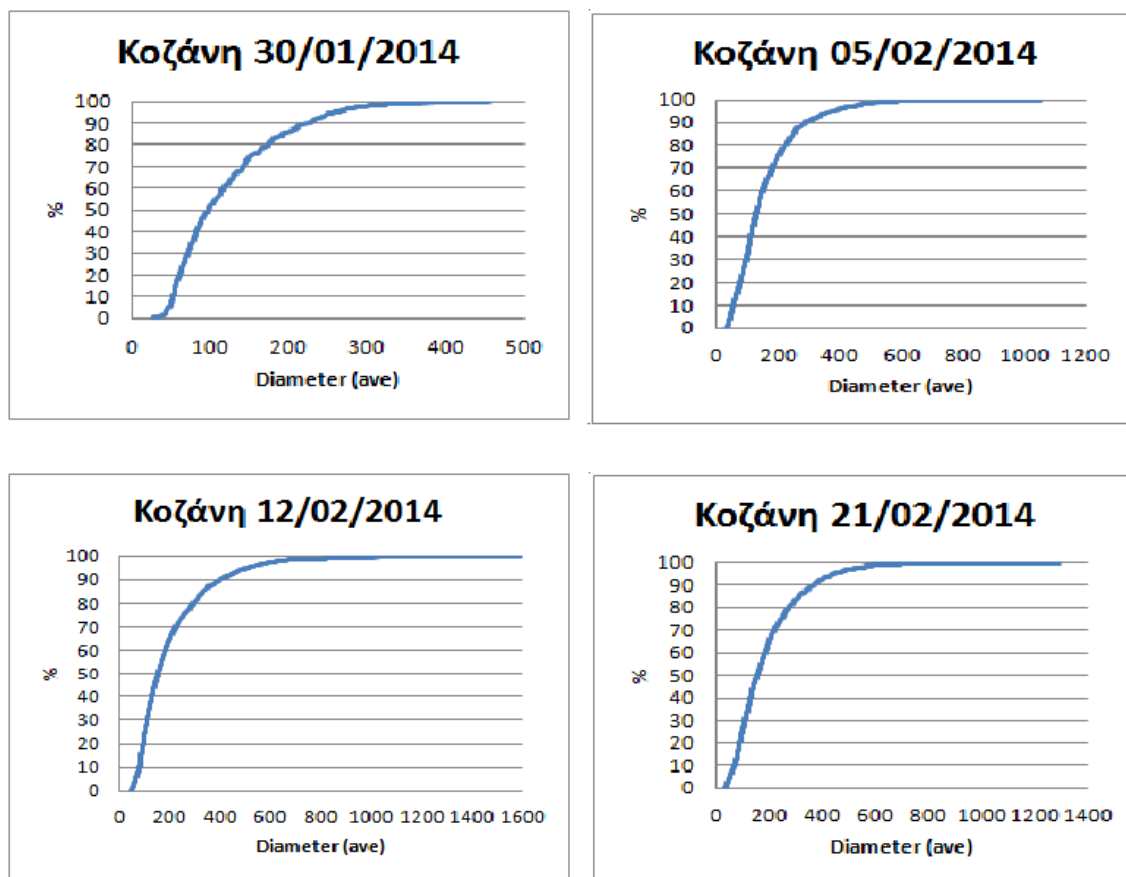
Σχήμα 4.39: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του axis major των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης.

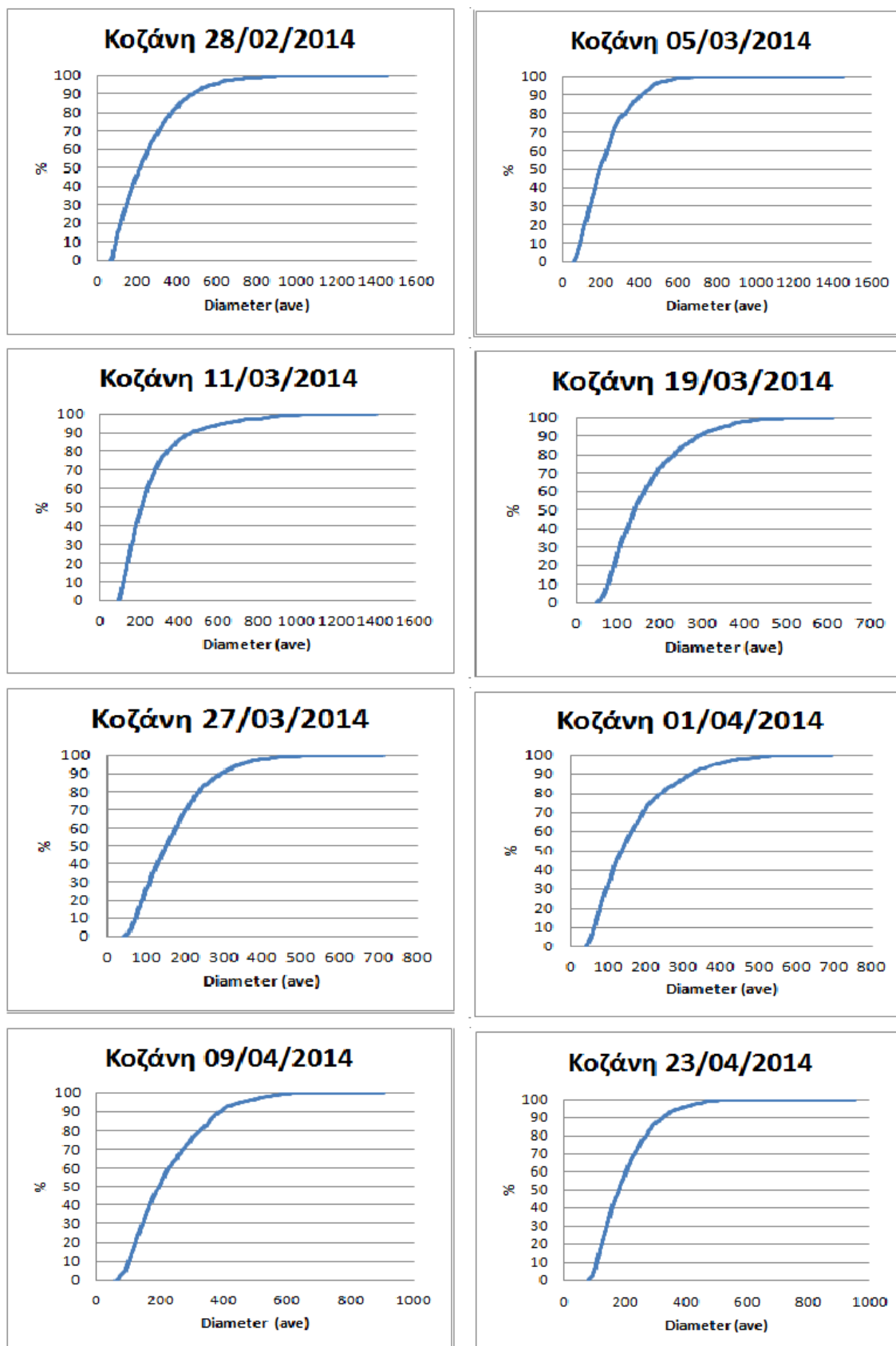


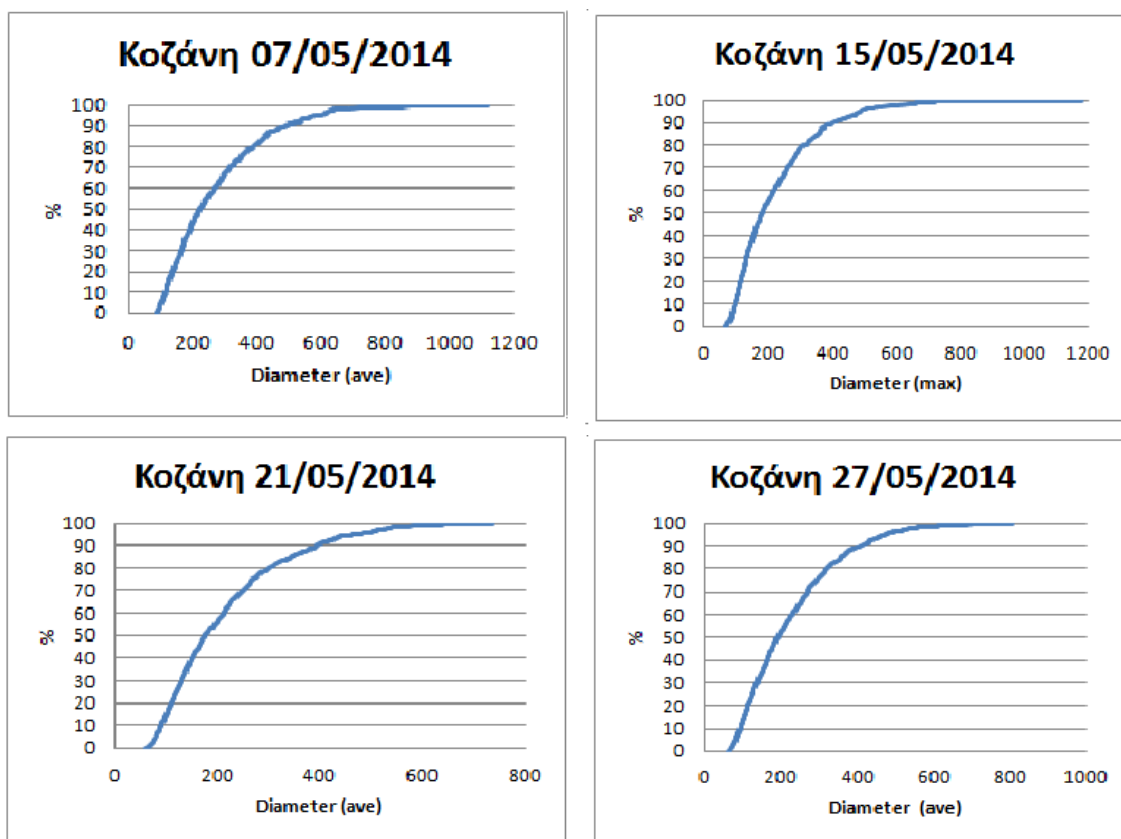




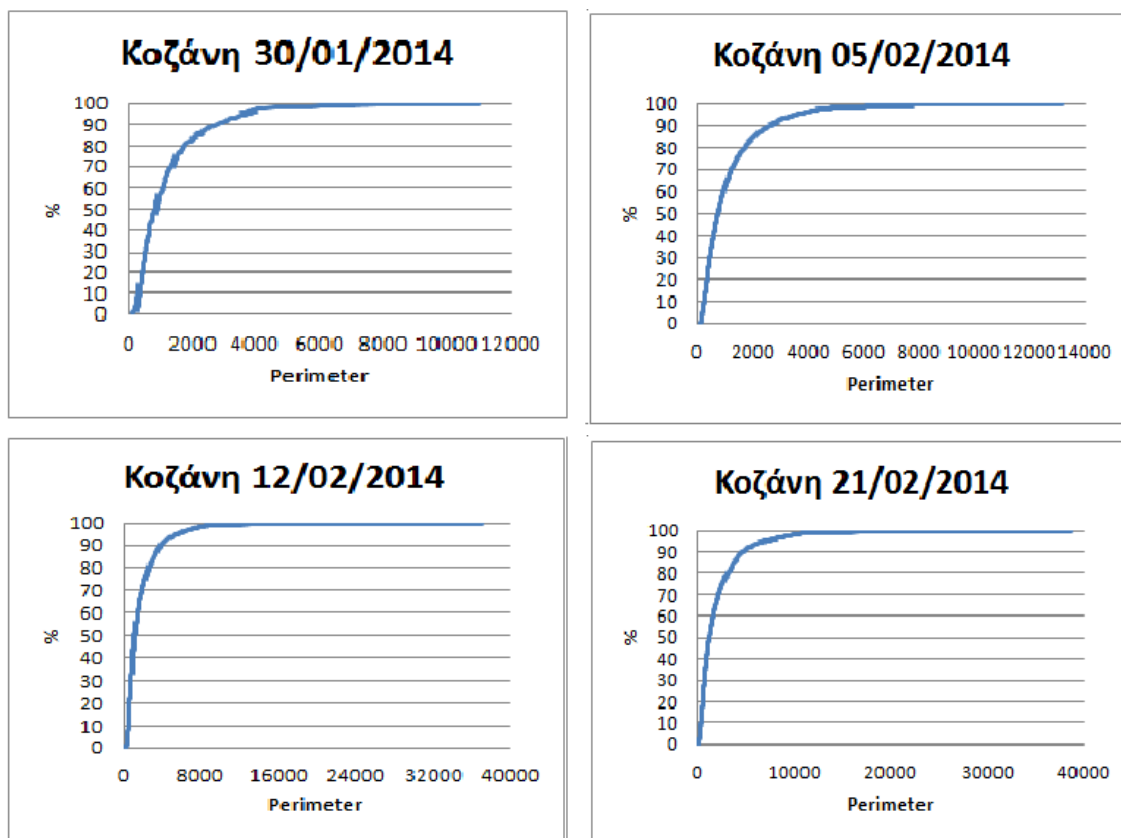
Σχήμα 4.40: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του diameter (max) των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης.

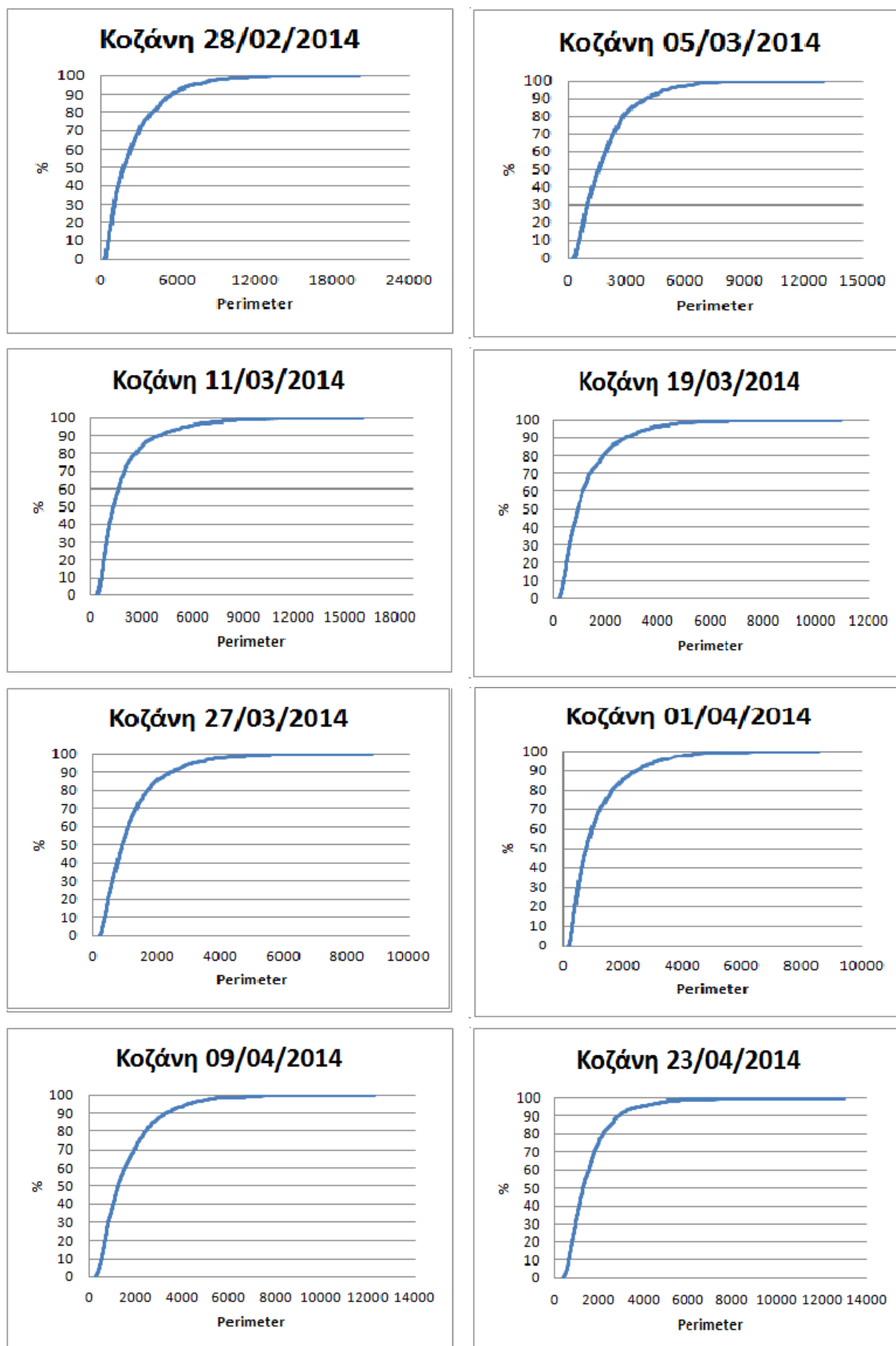


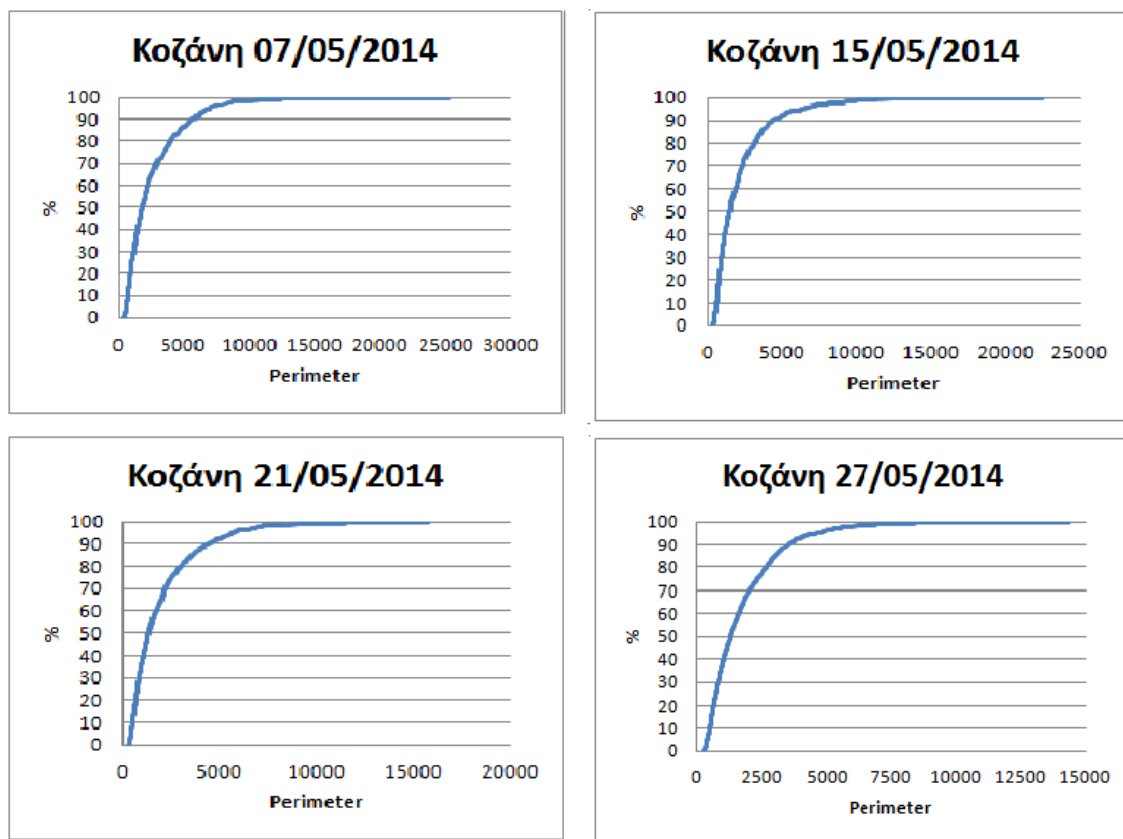




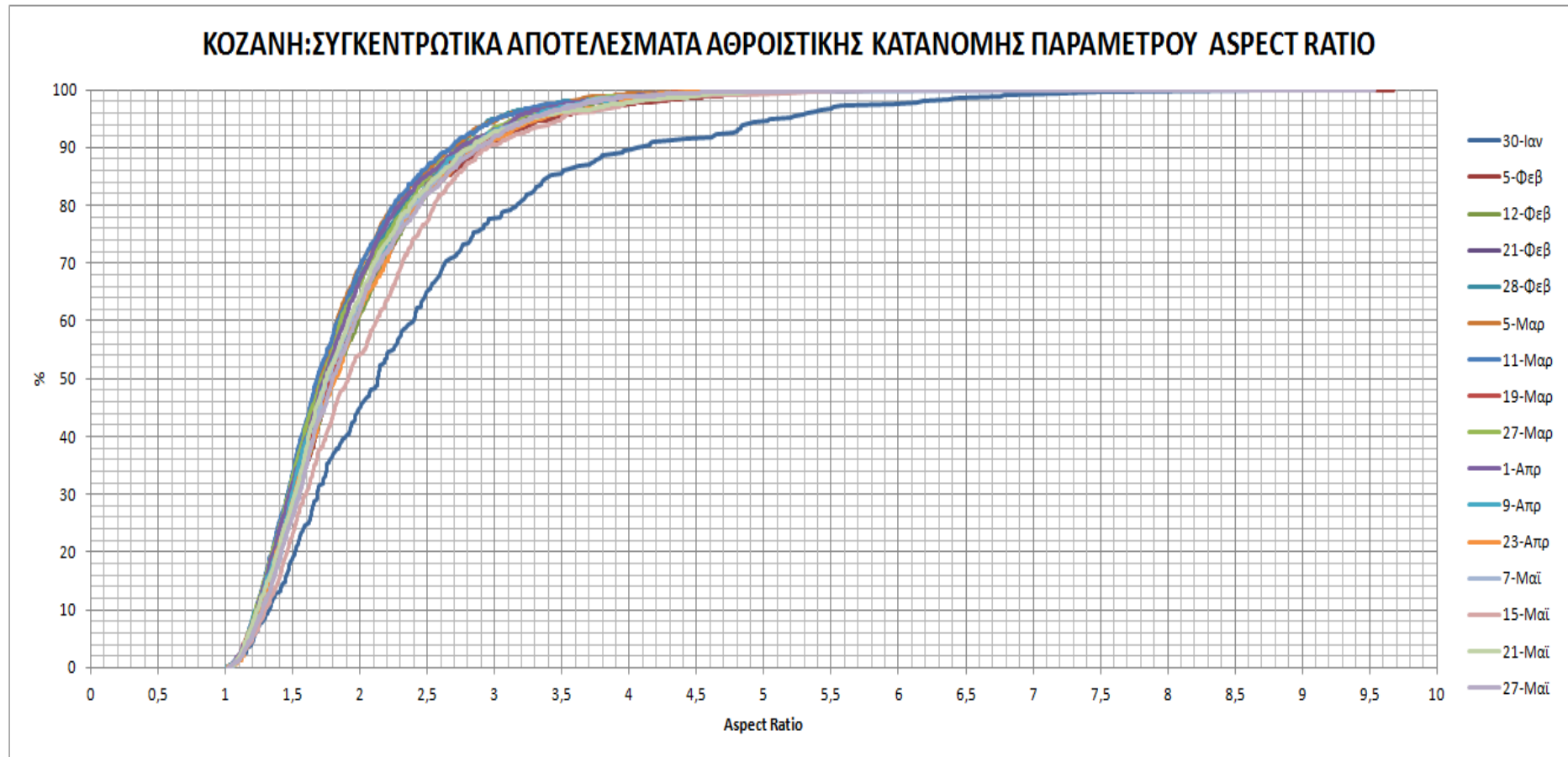
Σχήμα 4.41: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του diameter (ave) των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης.



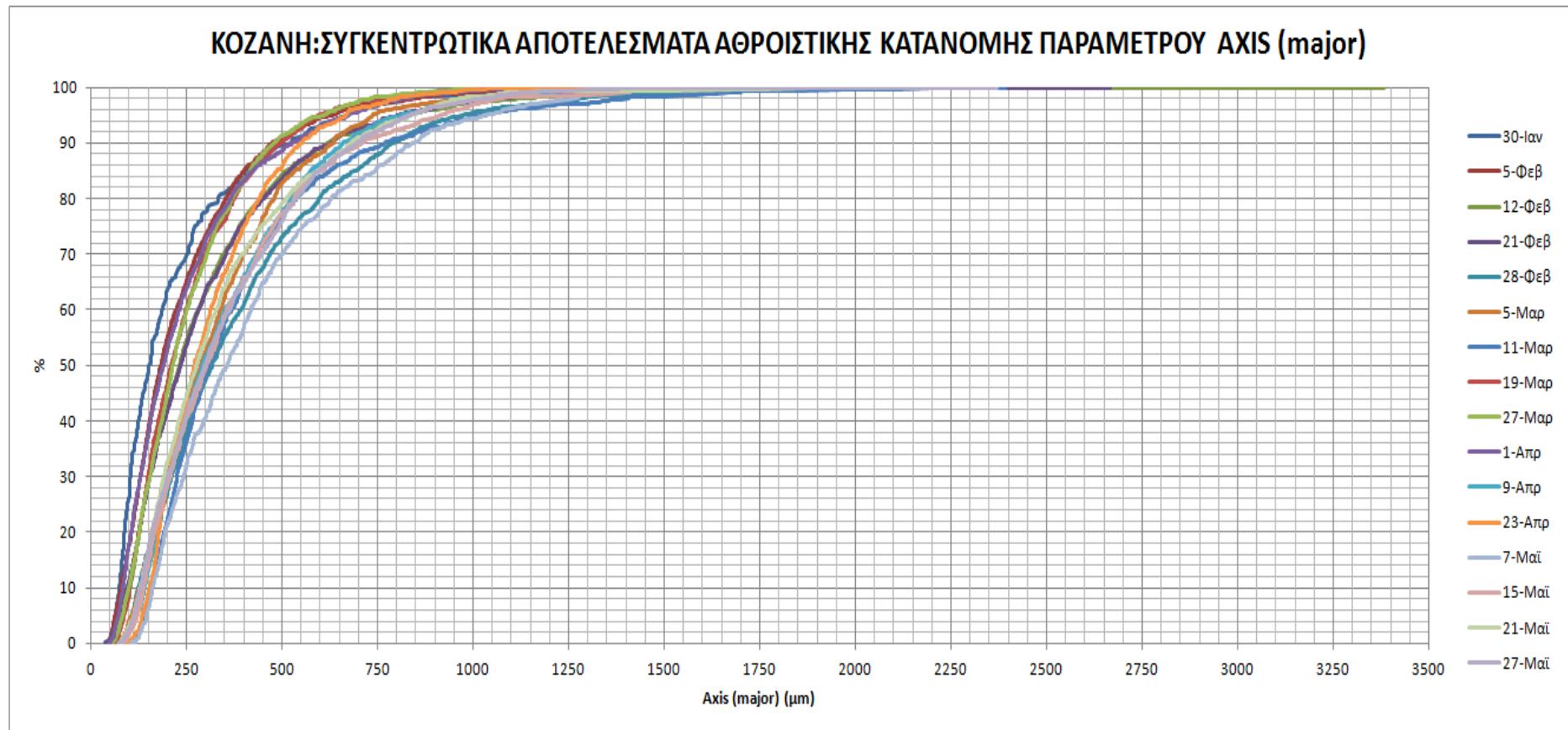




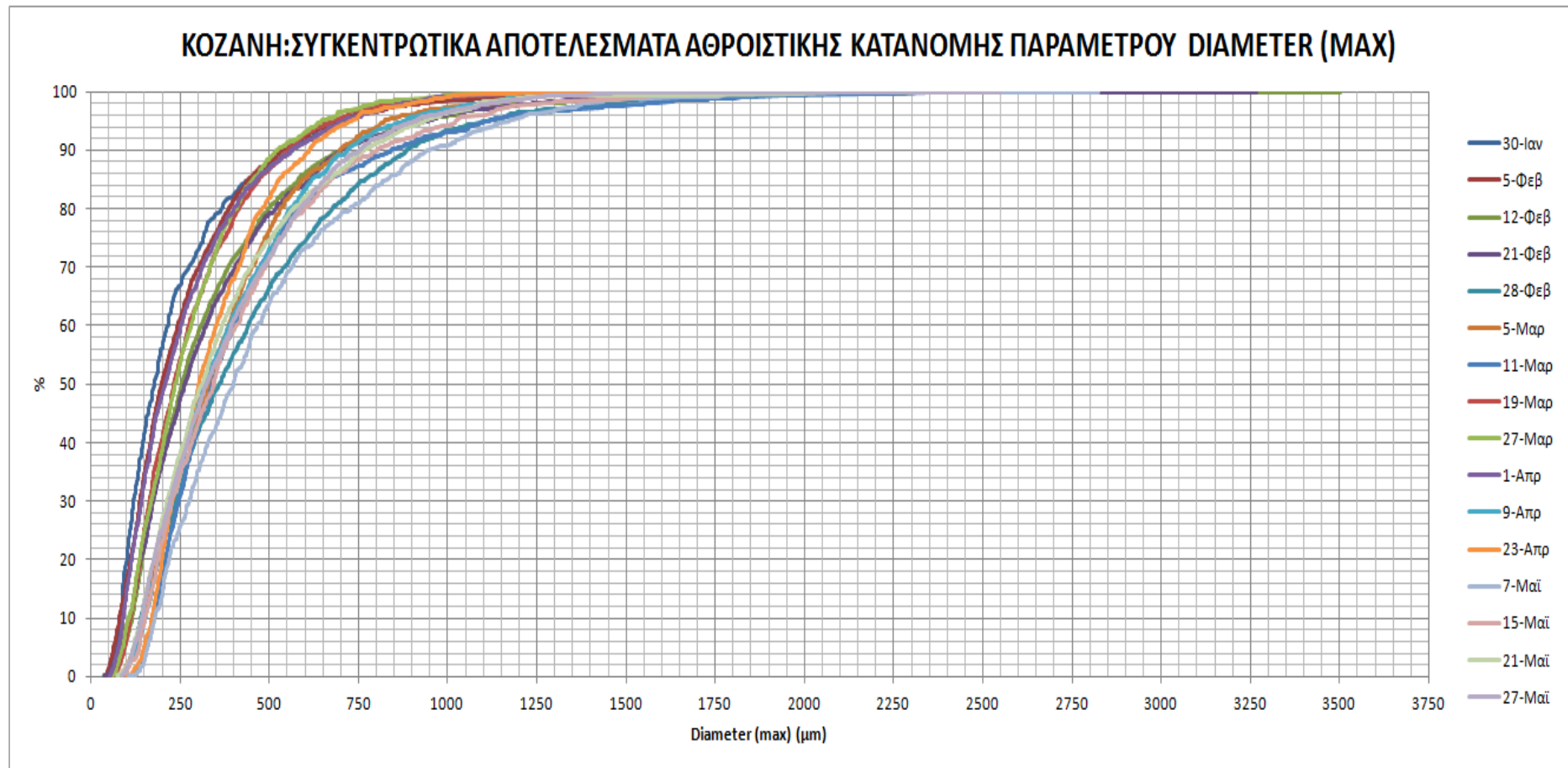
Σχήμα 4.42: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του perimeter των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Κοζάνης.



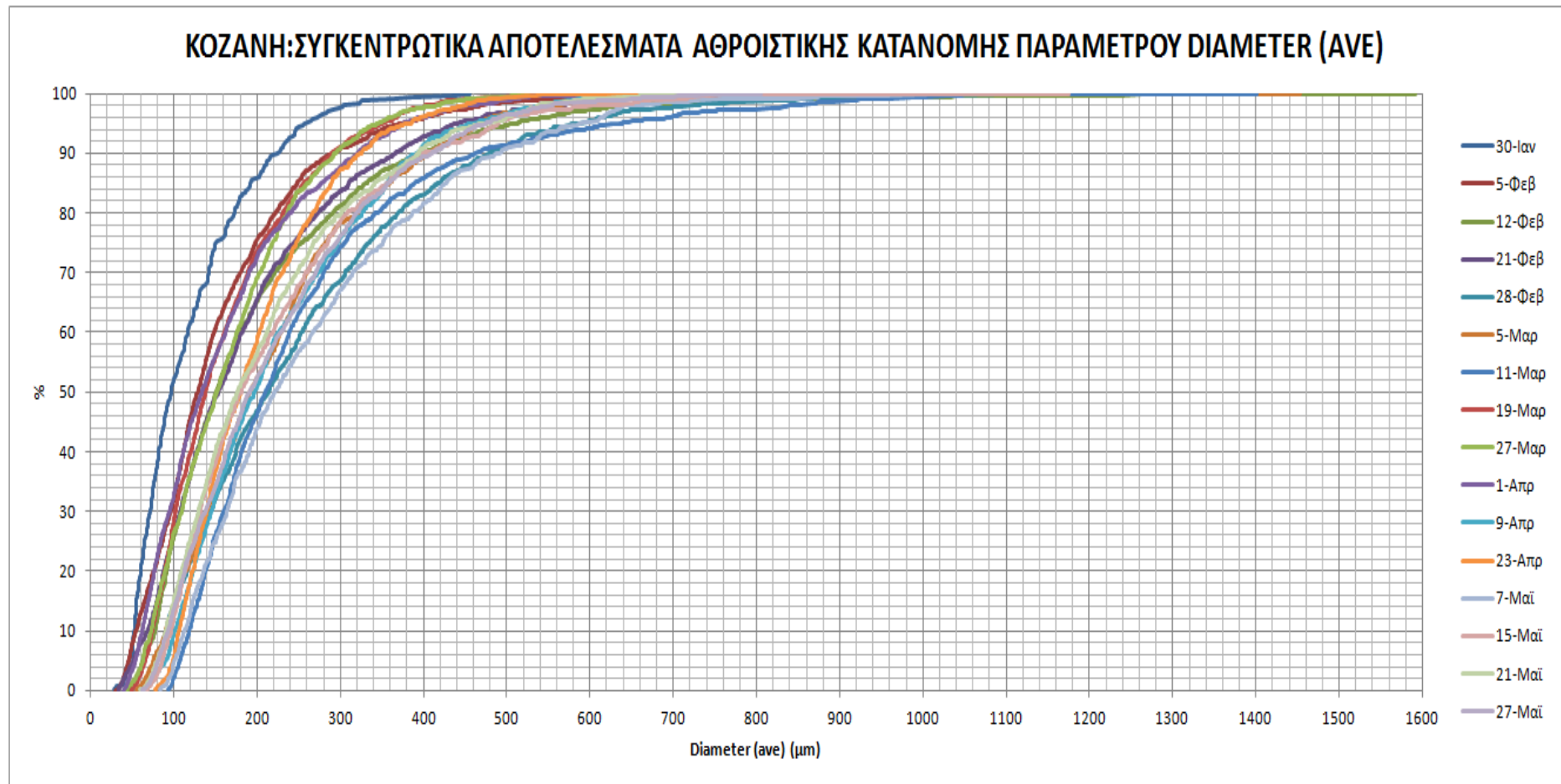
Σχήμα 4.43: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου aspect ratio των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.



Σχήμα 4.44: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου axis major των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.



Σχήμα 4.45: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου diameter (max) των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.



Σχήμα 4.46: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου diameter (ave) των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.



Σχήμα 4.47: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου perimeter των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.

Πίνακας 4.3: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης παρουσιάζονται οι τιμές του aspect ratio που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων

Κοζάνη Δειγματοληψία	Aspect Ratio		
	AR50	AR80	AR90
30-Ιαν	2,134	3,168	4,083
5-Φεβ	1,807	2,418	2,93
12-Φεβ	1,808	2,433	2,796
21-Φεβ	1,773	2,427	2,871
28-Φεβ	1,725	2,316	2,717
5-Μαρ	1,704	2,253	2,684
11-Μαρ	1,683	2,25	2,677
19-Μαρ	1,778	2,378	2,809
27-Μαρ	1,717	2,351	2,763
1-Απρ	1,737	2,297	2,746
9-Απρ	1,755	2,378	2,824
23-Απρ	1,818	2,429	2,883
7-Μαϊ	1,765	2,394	2,841
15-Μαϊ	1,912	2,549	2,948
21-Μαϊ	1,75	2,371	2,822
27-Μαϊ	1,796	2,445	2,883

Πίνακας 4.4: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης παρουσιάζονται οι τιμές του axis major που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων

Κοζάνη Δειγματοληψία	Axis major (μm)		
	Am50	Am80	Am90
30-Ιαν	153,295	332,711	524,302
5-Φεβ	182,964	352,672	475,015
12-Φεβ	232,344	448,939	621,936
21-Φεβ	235,104	451,036	630,977
28-Φεβ	317,206	598,147	789,246
5-Μαρ	287,214	480,624	632,759
11-Μαρ	310,037	536,869	769,807
19-Μαρ	209,521	374,433	497,693
27-Μαρ	214,246	368,97	478,811
1-Απρ	189,828	365,028	526,644
9-Απρ	291,843	526,597	659,753
23-Απρ	270,508	440,187	551,754
7-Μαϊ	356,839	628,734	842,55
15-Μαϊ	302,774	532,144	710,594
21-Μαϊ	275,877	510,081	679,996
27-Μαϊ	298,048	535,217	697,518

Πίνακας 4.5: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης παρουσιάζονται οι τιμές του diameter (max) που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων

Κοζάνη	Diameter max (μm)		
	D _{max} 50	D _{max} 80	D _{max} 90
Δειγματοληψία			
30-Ιαν	177,648	367,455	566,347
5-Φεβ	197,534	386,311	538,121
12-Φεβ	254,339	497,928	700,725
21-Φεβ	262,78	518,173	700,301
28-Φεβ	360,449	676,825	884,818
5-Μαρ	330,003	531,807	698,385
11-Μαρ	339,643	586,15	841,732
19-Μαρ	232,419	415,11	555,165
27-Μαρ	236,326	406,143	523,573
1-Απρ	207,78	401,096	561,49
9-Απρ	315,388	557,085	720,418
23-Απρ	302,431	478,661	612,312
7-Μαϊ	400,266	728,097	946,345
15-Μαϊ	343,64	598,851	803,165
21-Μαϊ	312,133	566,568	765,574
27-Μαϊ	324,106	585,612	752,872

Πίνακας 4.6: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης παρουσιάζονται οι τιμές του diameter (ave) που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων

Κοζάνη	Diameter ave (μm)		
	D _{ave} 50	D _{ave} 80	D _{ave} 90
Δειγματοληψία			
30-Ιαν	97,045	173,837	226,016
5-Φεβ	129,037	222,593	290,054
12-Φεβ	150,836	291,34	398,634
21-Φεβ	153,667	273,017	366,161
28-Φεβ	213,869	369,703	479,062
5-Μαρ	192,176	323,954	406,524
11-Μαρ	210,058	342,989	462,325
19-Μαρ	138,334	231,372	289,538
27-Μαρ	151,737	236,685	294,381
1-Απρ	134,08	239,829	321,348
9-Απρ	197,047	326,434	392,883
23-Απρ	180,406	267,029	324,97
7-Μαϊ	221,288	387,422	490,641
15-Μαϊ	181,533	308,97	399,842
21-Μαϊ	176,808	301,242	394,861
27-Μαϊ	191,11	319,812	410,17

Πίνακας 4.7: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Κοζάνης παρουσιάζονται οι τιμές του perimeter που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων

Κοζάνη	Perimeter (μm)		
	P50	P80	P90
Δειγματοληψία			
30-Ιαν	849,251	1709,457	2713,732
5-Φεβ	761,296	1729,995	2605,285
12-Φεβ	1084,07	2591,258	3847,842
21-Φεβ	1255,604	3207,663	4686,163
28-Φεβ	1766,908	3971,181	5530,531
5-Μαρ	1565,894	2798,707	3979,81
11-Μαρ	1325,123	2655,387	4097,792
19-Μαρ	922,994	1907,512	2752,198
27-Μαρ	904,399	1726,517	2476,485
1-Απρ	769,708	1635,145	2457,271
9-Απρ	1255,55	2454,804	3336,654
23-Απρ	1262,284	2181,45	2861,797
7-Μαϊ	1813,061	3952,444	5721,39
15-Μαϊ	1463,471	3098,289	4404,347
21-Μαϊ	1320,755	2980,64	4395,952
27-Μαϊ	1299,054	2685,561	3496,385

Από τα αποτελέσματα των αθροιστικών κατανομών και τους πίνακες που παρουσιάζουν τις τιμές των παραμέτρων των κροκίδων που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των τιμών αυτών προκύπτουν κάποια συμπεράσματα.

Αρχικά, σε ότι αφορά στην παράμετρο aspect ratio, που υποδηλώνει το λόγο του μέγιστου άξονα ως προς τον ελάχιστο άξονα σε μια έλλειψη, είναι εύκολο να παρατηρήσει κανείς ότι το 50% των κροκίδων εμφανίζουν aspect ratio που κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1,683 έως 2,134, ενώ το 80% και το 90% εμφανίζουν aspect ratio που είναι πάντοτε πολύ μεγαλύτερο της μονάδας και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 2,25-4,083. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι η τιμή του aspect ratio, τόσο πιο κυκλική είναι η κροκίδα. Επομένως, η πλειοψηφία των κροκίδων τείνει να έχει επίμηκες σχήμα και όχι κυκλικό που προσεγγίζει το σχήμα μιας έλλειψης.

Σε ότι αφορά τον μέγιστο άξονα (axis major) παρατηρείται ότι το 50% των κροκίδων παρουσιάζουν τιμές από 153-357μm περίπου, ενώ το 80% και το 90% των κροκίδων παρουσιάζει τιμές μέγιστου άξονα από 333μm έως 843μm περίπου.

Η μέγιστη διάμετρος παρουσιάζει ανάλογες διακυμάνσεις με τον μέγιστο άξονα, δηλαδή πιο συγκεκριμένα για το 50% των κροκίδων παρουσιάζει τιμές από 178μm μέχρι 400μm περίπου, ενώ το 80% και το 90% των κροκίδων παρουσιάζει μέγιστη διάμετρο από 367μm έως 946μm.

Η μέση διάμετρος παρουσιάζει μικρότερες τιμές από την μέγιστη διάμετρο και πιο αναλυτικά παρατηρείται ότι οι τιμές για το 50% των κροκίδων κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 97-221μm περίπου ενώ για το 80% και 90% των κροκίδων παρουσιάζει τιμές μέσης διαμέτρου από 174μm μέχρι 491μm περίπου.

Τέλος, όσον αφορά στην περίμετρο οι τιμές για το 50% των κροκίδων φαίνεται να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 761-1813μm περίπου, ενώ για το 80% και 90% των κροκίδων κυμαίνεται από 1635μm έως 5721μm περίπου.

4.1.1.1.6 Συσχέτιση των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων και των παραμέτρων καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος για τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης

Σε αυτό το κεφάλαιο έγινε μία προσπάθεια προσδιορισμού του είδους της αλληλεπίδρασης μεταξύ των τιμών κάποιων μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων (aspect ratio, axis major, diameter max, diameter ave, perimeter), των τιμών των ίδιων μορφολογικών παραμέτρων που εξετάστηκαν και αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων, των τιμών των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind, των τιμών του δείκτη καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος DSVI, των τιμών των ολικών αιωρούμενων στερεών (MLSS) και τέλος των τιμών του ποσοστού κάλυψης της επιφάνειας από κροκίδες (PERarea%) αλλά και του αριθμού των αντικειμένων ανά mm^2 (OBJnum) που προσδιορίστηκαν από τη μέθοδο ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (image analysis). Η συσχέτιση αυτή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης r του Pearson. Πρέπει να σημειωθεί ότι στη συσχέτιση συμπεριλήφθηκαν μόνο τα δείγματα από την ΕΕΛ Κοζάνης για τα οποία υπήρχαν αποτελέσματα για όλες τις παραπάνω παραμέτρους.

Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης r του Pearson ανήκει στην κατηγορία των σταθμισμένων δεικτών, δηλαδή είναι ένας στατιστικός δείκτης που έχει συγκεκριμένο εύρος με αποτέλεσμα να έχει νόημα από μόνος του και χωρίς τη σύνδεσή του με επίπεδα σημαντικότητας ή με άλλες πληροφορίες. Μας δίνει ένα μέτρο του μεγέθους της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών και παίρνει τιμές στο κλειστό διάστημα $[-1,1]$. Επίσης, ο βαθμός γραμμικής συσχέτισης καθορίζεται από την απόλυτη τιμή του r και όχι από το πρόσημό του. Το πρόσημο καθορίζει μόνο το είδος της συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών, δηλαδή αν είναι θετική (ευθέως ανάλογη σχέση) ή αρνητική (αντιστρόφως ανάλογη σχέση). Μας πληροφορεί δηλαδή για το αν η αύξηση της μιας μεταβλητής αντιστοιχεί σε αύξηση ή σε μείωση της άλλης μεταβλητής. Το μηδέν αντιπροσωπεύει μηδενική σχέση μεταξύ των μεταβλητών (Παπαδόπουλος Γ.).

Η κατασκευή του πίνακα που δείχνει τη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών ανά δύο, μπορεί να γίνει εύκολα και στο excel με χρήση της συνάρτησης Pearson. Πριν την εποχή των υπολογιστών όλες οι πράξεις πραγματοποιούνταν στο χέρι με αποτέλεσμα να απαιτείται και καλή κατανόηση των μαθηματικών μοντέλων. Σήμερα αυτό δεν είναι απαραίτητο αφού η χρήση στατιστικών πακέτων έχει αντικαταστήσει αυτή την ανάγκη. Ο τύπος για τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson είναι ο παρακάτω:

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Όπου X_i και Y_i είναι οι τιμές των μεταβλητών και \bar{X} και \bar{Y} οι μέσες τιμές των μεταβλητών αυτών.

Μετά την κατασκευή του πίνακα στο excel μπορεί να προσδιοριστεί η συσχέτιση των μεταβλητών έχοντας υπόψη ότι:

- Αν η τιμή του r είναι ίση με ± 1 αυτό υποδηλώνει τέλεια γραμμική συσχέτιση.
- Αν η τιμή του r κυμαίνεται μεταξύ $-0,3 \leq r < 0,3$ δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση.
- Αν η τιμή του r κυμαίνεται μεταξύ $-0,5 < r \leq -0,3$ ή $0,3 < r < 0,5$ υπάρχει ασθενής γραμμική συσχέτιση.

- Αν η τιμή του r κυμαίνεται μεταξύ $-0,7 < r \leq -0,5$ ή $0,5 \leq r < 0,7$ υπάρχει μέση γραμμική συσχέτιση.
- Αν η τιμή του r κυμαίνεται μεταξύ $-0,8 < r \leq -0,7$ ή $0,7 \leq r < 0,8$ υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση.
- Αν η τιμή του r κυμαίνεται μεταξύ $-1 < r \leq -0,8$ ή $0,8 \leq r < 1$ υπάρχει πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση.

Αν και στην πραγματικότητα σχέσεις της τάξης του 0,8 και πάνω είναι δύσκολο να παρατηρηθούν, όταν συμβαίνει αυτό δημιουργείται ένας θεωρητικός προβληματισμός, δηλαδή μήπως αυτές οι δύο μεταβλητές που σχετίζονται τόσο ισχυρά μετρούν το ίδιο θεωρητικά φαινόμενο. Επομένως, οι πολύ δυνατές σχέσεις θέλουν προσοχή στην αξιολόγηση και στην ερμηνεία τους (Εμβαλωτής Α., Κάτσης Α., Σιδερίδης Γ., 2006)

Έτσι, όταν χρησιμοποιείται ο συντελεστής συσχέτισης r του Pearson θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη τα παρακάτω:

- 1) Επηρεάζεται από ακραίες παρατηρήσεις. Πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές τιμές είναι πιθανό να διαστρεβλώνουν σημαντικά το μέγεθος του συντελεστή συσχέτισης r .
- 2) Επηρεάζεται από το μέγεθος του δείγματος. Πολύ μεγάλα ή πολύ μικρά δείγματα δημιουργούν προβλήματα στην ερμηνεία της πιθανότητας και της στατιστικής σημαντικότητας.
- 3) Η αξιοπιστία του δείκτη «πλήττεται» από τη μη τήρηση της προϋπόθεσης αναφορικά με τη γραμμικότητα της σχέσης.
- 4) Επηρεάζεται από την αξιοπιστία των μετρήσεων. Αν οι μετρήσεις έχουν μεγάλες τιμές με στατιστικό σφάλμα, το πιθανότερο είναι ότι το σφάλμα αυτό θα επιφορτίσει και το συντελεστή συσχέτισης με απρόβλεπτες συνέπειες.
- 5) Είναι ακατάλληλος όταν οι μεταβλητές δεν είναι συνεχείς αλλά διακριτές.
- 6) Επηρεάζεται από την ύπαρξη στρεβλών κατανομών, ειδικά όταν αυτές αποκλίνουν κατά πολύ από την κανονικότητα.
- 7) Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση αιτιωδών σχέσεων. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν αιτιακές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών που μελετήθηκαν, αλλά ότι η χρήση του συντελεστή συσχέτισης δεν επιτρέπει αυτό το συμπέρασμα. Το μόνο συμπέρασμα που μπορεί να προκύψει από τη χρήση του συντελεστή συσχέτισης είναι ότι οι δύο μεταβλητές συνδιακυμαίνονται.

Πίνακας 4.8: Συσχέτιση των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων (aspect ratio, axis major, diameter max, diameter ave, perimeter, PERarea(%), OBJnum(1mm²) και των παραμέτρων καθαρισιμότητας (DSVI,Vo, n) της ενεργού ύλης με το συντελεστή συσχέτισης του Pearson

	AR50	AR80	AR90	Am50	Am80	Am90	Dmax50	Dmax80	Dmax90	Dave50	Dave80	Dave90	P50	P80	P90	Vo	n	Vo/n	MLSS	DSVI	PERarea	OBJnum	AR	Am	Dmax	Dave	P	
AR50	1,000																											
AR80	0,981	1,000																										
AR90	0,946	0,986	1,000																									
Am50	-0,621	-0,637	-0,666	1,000																								
Am80	-0,541	-0,543	-0,581	0,970	1,000																							
Am90	-0,431	-0,408	-0,440	0,916	0,966	1,000																						
Dmax50	-0,587	-0,603	-0,631	0,995	0,967	0,915	1,000																					
Dmax80	-0,529	-0,531	-0,575	0,957	0,996	0,962	0,958	1,000																				
Dmax90	-0,450	-0,439	-0,477	0,918	0,971	0,994	0,919	0,972	1,000																			
Dave50	-0,721	-0,718	-0,723	0,981	0,947	0,893	0,970	0,931	0,893	1,000																		
Dave80	-0,711	-0,712	-0,735	0,965	0,959	0,907	0,955	0,949	0,916	0,980	1,000																	
Dave90	-0,703	-0,698	-0,725	0,940	0,949	0,920	0,924	0,940	0,930	0,956	0,990	1,000																
P50	-0,487	-0,483	-0,504	0,898	0,909	0,867	0,930	0,923	0,876	0,881	0,896	0,857	1,000															
P80	-0,470	-0,461	-0,508	0,796	0,878	0,844	0,819	0,914	0,872	0,774	0,835	0,832	0,915	1,000														
P90	-0,454	-0,435	-0,475	0,753	0,840	0,841	0,779	0,878	0,872	0,737	0,802	0,817	0,882	0,983	1,000													
Vo	0,126	0,196	0,199	0,069	0,181	0,282	0,070	0,163	0,255	0,120	0,202	0,231	0,159	0,116	0,128	1,000												
n	0,077	0,050	-0,016	0,321	0,430	0,468	0,364	0,447	0,512	0,270	0,407	0,437	0,497	0,526	0,568	0,531	1,000											
Vo/n	0,093	0,183	0,232	-0,119	-0,095	-0,018	-0,154	-0,138	-0,087	-0,038	-0,067	-0,067	-0,198	-0,307	-0,337	0,715	-0,196	1,000										
MLSS	0,256	0,232	0,136	-0,263	-0,107	-0,105	-0,291	-0,089	-0,074	-0,327	-0,178	-0,097	-0,284	0,021	0,024	0,080	0,328	-0,211	1,000									
DSVI	-0,034	-0,131	-0,225	0,339	0,398	0,363	0,386	0,444	0,442	0,250	0,363	0,379	0,499	0,605	0,640	-0,074	0,776	-0,720	0,315	1,000								
PERarea	-0,528	-0,500	-0,555	0,778	0,842	0,802	0,741	0,834	0,792	0,754	0,805	0,826	0,648	0,732	0,675	0,160	0,267	-0,007	0,274	0,198	1,000							
OBJnum	0,660	0,717	0,732	-0,817	-0,744	-0,706	-0,804	-0,723	-0,732	-0,848	-0,853	-0,853	-0,689	-0,560	-0,565	-0,135	-0,386	0,122	0,307	-0,396	-0,466	1,000						
AR	0,988	0,996	0,983	-0,649	-0,566	-0,438	-0,616	-0,557	-0,465	-0,733	-0,733	-0,722	-0,510	-0,500	-0,473	0,148	0,037	0,143	0,222	-0,118	-0,540	0,702	1,000					
Am	-0,558	-0,558	-0,588	0,976	0,981	0,976	0,968	0,969	0,975	0,960	0,959	0,958	0,877	0,814	0,797	0,185	0,397	-0,058	-0,189	0,350	0,798	-0,810	-0,577	1,000				
Dmax	-0,558	-0,559	-0,594	0,975	0,986	0,976	0,973	0,981	0,981	0,955	0,962	0,961	0,906	0,858	0,843	0,167	0,431	-0,113	-0,174	0,409	0,795	-0,800	-0,580	0,996	1,000			
Dave	-0,712	-0,714	-0,732	0,966	0,947	0,916	0,950	0,931	0,921	0,983	0,988	0,987	0,849	0,778	0,759	0,183	0,353	-0,037	-0,222	0,310	0,780	-0,885	-0,730	0,973	0,967	1,000		
P	-0,472	-0,463	-0,508	0,816	0,882	0,870	0,840	0,915	0,896	0,792	0,850	0,853	0,928	0,990	0,990	0,119	0,549	-0,318	-0,028	0,623	0,709	-0,614	-0,499	0,842	0,885	0,805	1,000	

Πίνακας 4.9: Χρωματική απεικόνιση της ύπαρξης ή μη γραμμικής συσχέτισης και της έντασής της μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων για την ΕΕΛ Κοζάνης.

	AR50	AR80	AR90	Am50	Am80	Am90	Dmax50	Dmax80	Dmax90	Dave50	Dave80	Dave90	P50	P80	P90	Vo	n	Vo/n	MLSS	DSVI	PERarea	OBJnum	AR	Am	Dmax	Dave	P	
AR50	1,000																											
AR80	0,981	1,000																										
AR90	0,946	0,986	1,000																									
Am50	-0,621	-0,637	-0,666	1,000																								
Am80	-0,541	-0,543	-0,581	0,970	1,000																							
Am90	-0,431	-0,408	-0,440	0,916	0,966	1,000																						
Dmax50	-0,587	-0,603	-0,631	0,995	0,967	0,915	1,000																					
Dmax80	-0,529	-0,531	-0,575	0,957	0,996	0,962	0,958	1,000																				
Dmax90	-0,450	-0,439	-0,477	0,918	0,971	0,994	0,919	0,972	1,000																			
Dave50	-0,721	-0,718	-0,723	0,981	0,947	0,893	0,970	0,931	0,893	1,000																		
Dave80	-0,711	-0,712	-0,735	0,965	0,959	0,907	0,955	0,949	0,916	0,980	1,000																	
Dave90	-0,703	-0,698	-0,725	0,940	0,949	0,920	0,924	0,940	0,930	0,956	0,990	1,000																
P50	-0,487	-0,483	-0,504	0,898	0,909	0,867	0,930	0,923	0,876	0,881	0,896	0,857	1,000															
P80	-0,470	-0,461	-0,508	0,796	0,878	0,844	0,819	0,914	0,872	0,774	0,835	0,832	0,915	1,000														
P90	-0,454	-0,435	-0,475	0,753	0,840	0,841	0,779	0,878	0,872	0,737	0,802	0,817	0,882	0,983	1,000													
Vo	0,126	0,196	0,199	0,069	0,181	0,282	0,070	0,163	0,255	0,120	0,202	0,231	0,159	0,116	0,128	1,000												
n	0,077	0,050	-0,016	0,321	0,430	0,468	0,364	0,447	0,512	0,270	0,407	0,437	0,497	0,526	0,568	0,531	1,000											
Vo/n	0,093	0,183	0,232	-0,119	-0,095	-0,018	-0,154	-0,138	-0,087	-0,038	-0,067	-0,067	-0,198	-0,307	-0,337	0,715	-0,196	1,000										
MLSS	0,256	0,232	0,136	-0,263	-0,107	-0,105	-0,291	-0,089	-0,074	-0,327	-0,178	-0,097	-0,284	0,021	0,024	0,080	0,328	-0,211	1,000									
DSVI	-0,034	-0,131	-0,225	0,339	0,398	0,363	0,386	0,444	0,442	0,250	0,363	0,379	0,499	0,605	0,640	-0,074	0,776	-0,720	0,315	1,000								
PERarea	-0,528	-0,500	-0,555	0,778	0,842	0,802	0,741	0,834	0,792	0,754	0,805	0,826	0,648	0,732	0,675	0,160	0,267	-0,007	0,274	0,198	1,000							
OBJnum	0,660	0,717	0,732	-0,817	-0,744	-0,706	-0,804	-0,723	-0,732	-0,848	-0,853	-0,853	-0,689	-0,560	-0,565	-0,135	-0,386	0,122	0,307	-0,396	-0,466	1,000						
AR	0,988	0,996	0,983	-0,649	-0,566	-0,438	-0,616	-0,557	-0,465	-0,733	-0,733	-0,722	-0,510	-0,500	-0,473	0,148	0,037	0,143	0,222	-0,118	-0,540	0,702	1,000					
Am	-0,558	-0,558	-0,588	0,976	0,981	0,976	0,968	0,969	0,975	0,960	0,959	0,958	0,877	0,814	0,797	0,185	0,397	-0,058	-0,189	0,350	0,798	-0,810	-0,577	1,000				
Dmax	-0,558	-0,559	-0,594	0,975	0,986	0,976	0,973	0,981	0,981	0,955	0,962	0,961	0,906	0,858	0,843	0,167	0,431	-0,113	-0,174	0,409	0,795	-0,800	-0,580	0,996	1,000			
Dave	-0,712	-0,714	-0,732	0,966	0,947	0,916	0,950	0,931	0,921	0,983	0,988	0,987	0,849	0,778	0,759	0,183	0,353	-0,037	-0,222	0,310	0,780	-0,885	-0,730	0,973	0,967	1,000		
P	-0,472	-0,463	-0,508	0,816	0,882	0,870	0,840	0,915	0,896	0,792	0,850	0,853	0,928	0,990	0,990	0,119	0,549	-0,318	-0,028	0,623	0,709	-0,614	-0,499	0,842	0,885	0,805	1,000	

τέλεια

πολύ ισχυρή

ισχυρή

μέση

ασθενής

καμία συσχέτιση

Από την επεξεργασία του πίνακα για κάθε παράμετρο προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Το aspect ratio φαίνεται να παρουσιάζει ισχυρή ή μέση αρνητική συσχέτιση με τις διαστάσεις των κροκίδων (μέγιστο άξονα, μέγιστη και μέση διάμετρο) αλλά όχι με την περίμετρο των κροκίδων. Δηλαδή όσο αυξάνονται οι διαστάσεις της κροκίδας φαίνεται πως η έλλειψη που τις περικλείει τείνει να αποκτά πιο σφαιρικό σχήμα, χωρίς όμως το σχήμα της να σχετίζεται με το συνολικό μήκος του περιγράμματος της κροκίδας. Με τις υπόλοιπες παραμέτρους που σχετίζονται με την καθιζησιμότητα της ιλύος δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση ή αν υπάρχει συσχέτιση είναι ιδιαίτερα ασθενής και το ίδιο συμβαίνει και με τη συγκέντρωση στερεών (MLSS). Ισχυρή θετική συσχέτιση υπάρχει μεταξύ aspect ratio και αριθμού αντικειμένων ανά mm^2 , δηλαδή όσο πιο ελλειψοειδείς γίνονται οι κροκίδες, τόσο αυξάνεται ο αριθμός τους ανά mm^2 . Μία μέση αρνητική συσχέτιση εμφανίζεται και με το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες, δηλαδή όσο πιο ελλειψοειδείς γίνονται οι κροκίδες, τόσο μειώνεται το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες.
- Οι διαστάσεις της κροκίδας, δηλαδή ο μέγιστος άξονας, η μέγιστη διάμετρος και η μέση διάμετρος φαίνεται να παρουσιάζουν ισχυρές θετικές συσχετίσεις μεταξύ τους, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο. Επιπλέον παρουσιάζουν θετικές συσχετίσεις και με την περίμετρο, δηλαδή αύξηση του μήκους του περιγράμματος της κροκίδας επιφέρει και αύξηση στο μέγεθος των διαστάσεων της κροκίδας. Ισχυρή θετική συσχέτιση επίσης φαίνεται να υπάρχει μεταξύ των διαστάσεων της κροκίδας και του ποσοστού κάλυψης της επιφάνειας, ενώ πολύ ισχυρές αρνητικές συσχετίσεις υπάρχουν με τον αριθμό αντικειμένων ανά mm^2 . Αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί καθώς οι μεγαλύτερες κροκίδες καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο στο πλακίδιο και επομένως ο αριθμός τους ανά mm^2 θα είναι μικρότερος, ενώ το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας θα αυξάνεται. Το μέγεθος των κροκίδων φαίνεται να έχει θετική ασθενή συσχέτιση με το δείκτη καθιζησιμότητας DSVI και ασθενή ή καθόλου συσχέτιση με τις παραμέτρους V_0 και n , ενώ δεν έχει καμία απολύτως συσχέτιση με τη συγκέντρωση στερεών (MLSS). Αυτά τα αποτελέσματα δεν είναι αναμενόμενα δεδομένου ότι αύξηση στο μέγεθος των κροκίδων θα ήταν αναμενόμενο να δίνει μικρότερες τιμές στο δείκτη καθιζησιμότητας DSVI.
- Η περίμετρος της κροκίδας φαίνεται να έχει μια μέση θετική συσχέτιση με το δείκτη καθιζησιμότητας DSVI, πράγμα το οποίο δεν είναι αναμενόμενο, δεδομένου ότι αύξηση στην περίμετρο της κροκίδας συνεπάγεται μάλλον και αύξηση στο μέγεθός της και μεγαλύτερες κροκίδες συνεπάγονται μείωση του δείκτη καθιζησιμότητας. Επίσης, δεν παρουσιάζεται καμία συσχέτιση με τη συγκέντρωση στερεών (MLSS). Μία μέση θετική συσχέτιση με το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες δικαιολογείται, αφού αύξηση της περιμέτρου συνεπάγεται αυτονόητα και μεγαλύτερες κροκίδες, άρα και μεγαλύτερη κάλυψη της επιφάνειας. Μία αρνητική ισχυρή συσχέτιση υπάρχει με τον αριθμό αντικειμένων ανά mm^2 , πράγμα λογικό αφού αν αύξηση της περιμέτρου συνεπάγεται αυτονόητα και μεγαλύτερες κροκίδες, ο αριθμός των αντικειμένων θα είναι μικρότερος, αφού αυτά θα καταλαμβάνουν μεγαλύτερη επιφάνεια.
- Τα συμπεράσματα είναι στην ίδια λογική και για τις ίδιες παραμέτρους που εξετάστηκαν παραπάνω αλλά για το 50%, το 80% και το 90% των κροκίδων.

4.1.1.2 Αποτελέσματα και σχολιασμός πειραμάτων με προσθήκη κροκιδωτικών σε δείγματα ενεργού ιλύος της ΕΕΛ Κοζάνης

Στα πλαίσια των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν, αποφασίστηκε να γίνουν και κάποιες σειρές πειραμάτων προσδιορισμού του δείκτη DSVI και των ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης σε δείγματα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης, στα οποία έγινε προσθήκη κροκιδωτικών.

Η πρώτη σειρά πειραμάτων με κροκιδωτικά που πραγματοποιήθηκε για την ΕΕΛ Κοζάνης ήταν για δείγμα ανάμικτου υγρού δειγματοληψίας 12/02/2014, και η δεύτερη σειρά πειραμάτων έγινε για δείγμα ανάμικτου υγρού δειγματοληψίας 11/03/2014.

Εν συνεχεία, διενεργήθηκε μόνο για τα δείγματα ανάμικτου υγρού δειγματοληψίας 11/03/2014 με προσθήκη κροκιδωτικών, καταμέτρηση κροκιδών και καταγραφή των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών με τη βοήθεια του λογισμικού image analysis. Τα πλακάκια που σαρώθηκαν και επεξεργάστηκαν μέσω του λογισμικού, ήταν τρία στον αριθμό για κάθε κροκιδωτικό και κάθε δόση και τρία για δείγμα χωρίς προσθήκη κροκιδωτικού, δηλαδή συνολικά 12 πλακάκια.

Στην πρώτη σειρά πειραμάτων δειγματοληψία 12/02/2014, τα κροκιδωτικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν χλωριούχος υποσίδηρος (FeCl_2) και τρισθενής χλωριούχος σίδηρος (FeCl_3). Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων δειγματοληψία 11/03/2014, χρησιμοποιήθηκαν τα δύο κροκιδωτικά που προαναφέρθηκαν και επιπλέον χλωριούχο πολυαργιλικό υδροξείδιο χαμηλής βασικότητας (Al_2O_3). Σε όλες τις σειρές πειραμάτων διενεργήθηκαν πειράματα για τρεις δόσεις από κάθε κροκιδωτικό, ενώ κάθε φορά γινόταν και μία δοκιμή χωρίς προσθήκη κροκιδωτικού.

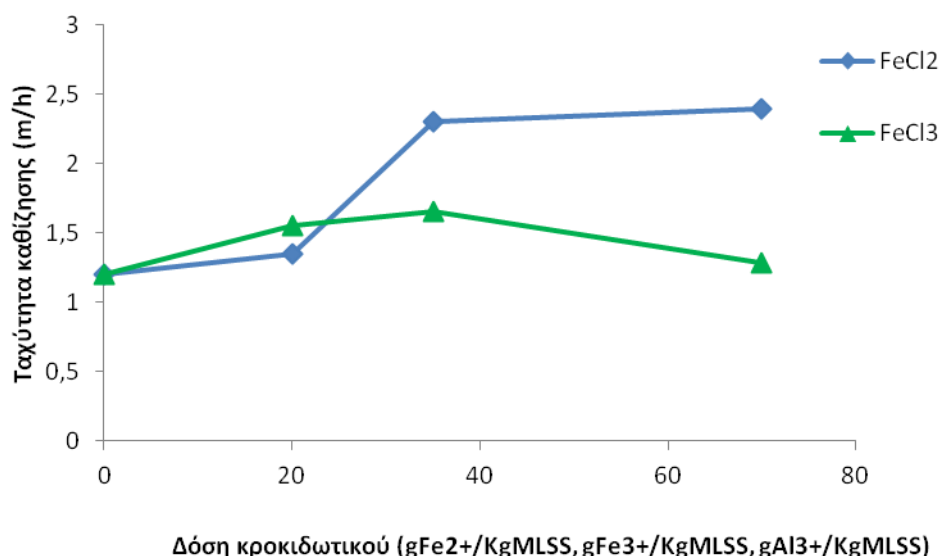
Οι δόσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη σειρά πειραμάτων ήταν οι εξής:

- τρισθενής χλωριούχος σίδηρος: A_1 : $20\text{gFe}^{3+}/\text{KgSS}$, A_2 : $35\text{gFe}^{3+}/\text{KgSS}$ και A_3 : $70\text{gFe}^{3+}/\text{KgSS}$
- χλωριούχος υποσίδηρος: B_1 : $20\text{gFe}^{2+}/\text{KgSS}$, B_2 : $35\text{gFe}^{2+}/\text{KgSS}$ και B_3 : $70\text{gFe}^{2+}/\text{KgSS}$

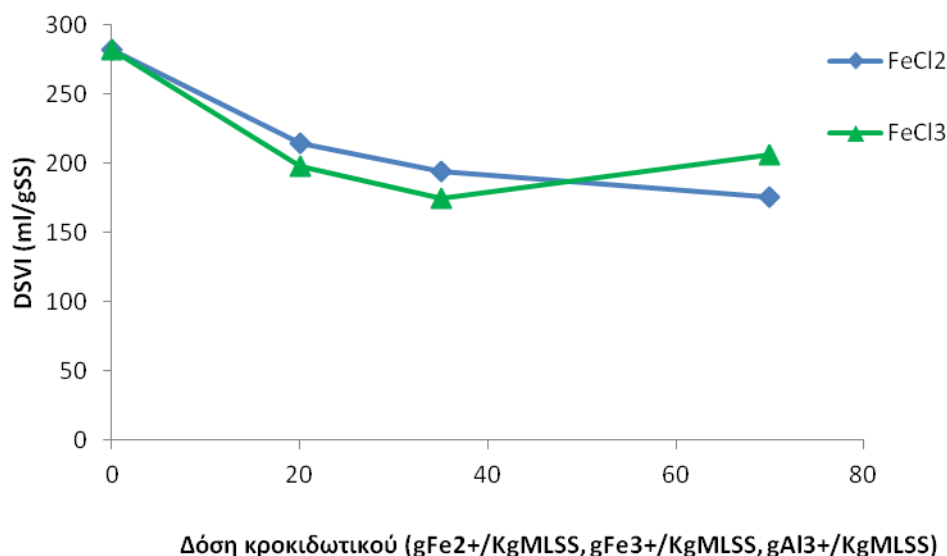
Οι δόσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη δεύτερη σειρά πειραμάτων ήταν οι εξής:

- τρισθενής χλωριούχος σίδηρος: A_1 : $20\text{gFe}^{3+}/\text{KgSS}$, A_2 : $35\text{gFe}^{3+}/\text{KgSS}$ και A_3 : $70\text{gFe}^{3+}/\text{KgSS}$
- χλωριούχος υποσίδηρος: B_1 : $20\text{gFe}^{2+}/\text{KgSS}$, B_2 : $35\text{gFe}^{2+}/\text{KgSS}$ και B_3 : $70\text{gFe}^{2+}/\text{KgSS}$
- χλωριούχο πολυαργιλικό υδροξείδιο χαμηλής βασικότητας: Γ_1 : $5\text{gAl}^{3+}/\text{KgSS}$, Γ_2 : $10\text{gAl}^{3+}/\text{KgSS}$ και Γ_3 : $20\text{gAl}^{3+}/\text{KgSS}$

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στις 12/02/2014 έδειξαν μία επίδραση των κροκιδωτικών στην ταχύτητα καθίζησης και στον δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI) όπως φαίνεται στα σχήματα 4.48 και 4.49 που ακολουθούν. Την ίδια περίοδο (από 30/01/2014 έως 25/02/2014) στην ΕΕΛ Κοζάνης, πρέπει να επισημανθεί ότι γινόταν προσθήκη κροκιδωτικών και συγκεκριμένα δισθενούς σιδήρου με τη μορφή διαλύματος FeCl_2 (9% κ.β. σε Fe^{+3}) μεν, αλλά σε πολύ μικρή δόση, της τάξης των $15\text{gFe}^{2+}/\text{KgSS}$.



Σχήμα 4.48: Εξέλιξη ταχύτητας καθίζησης σε συνάρτηση με την προσθήκη διαφορετικών δόσεων δύο ειδών κροκιδωτικών στην ΕΕΛ Κοζάνης (δειγματοληψία 12/02/2014).



Σχήμα 4.49: Εξέλιξη του δείκτη καθιζησιμότητας (DSVI) σε συνάρτηση με την προσθήκη διαφορετικών δόσεων δύο ειδών κροκιδωτικών στην ΕΕΛ Κοζάνης (δειγματοληψία 12/02/2014).

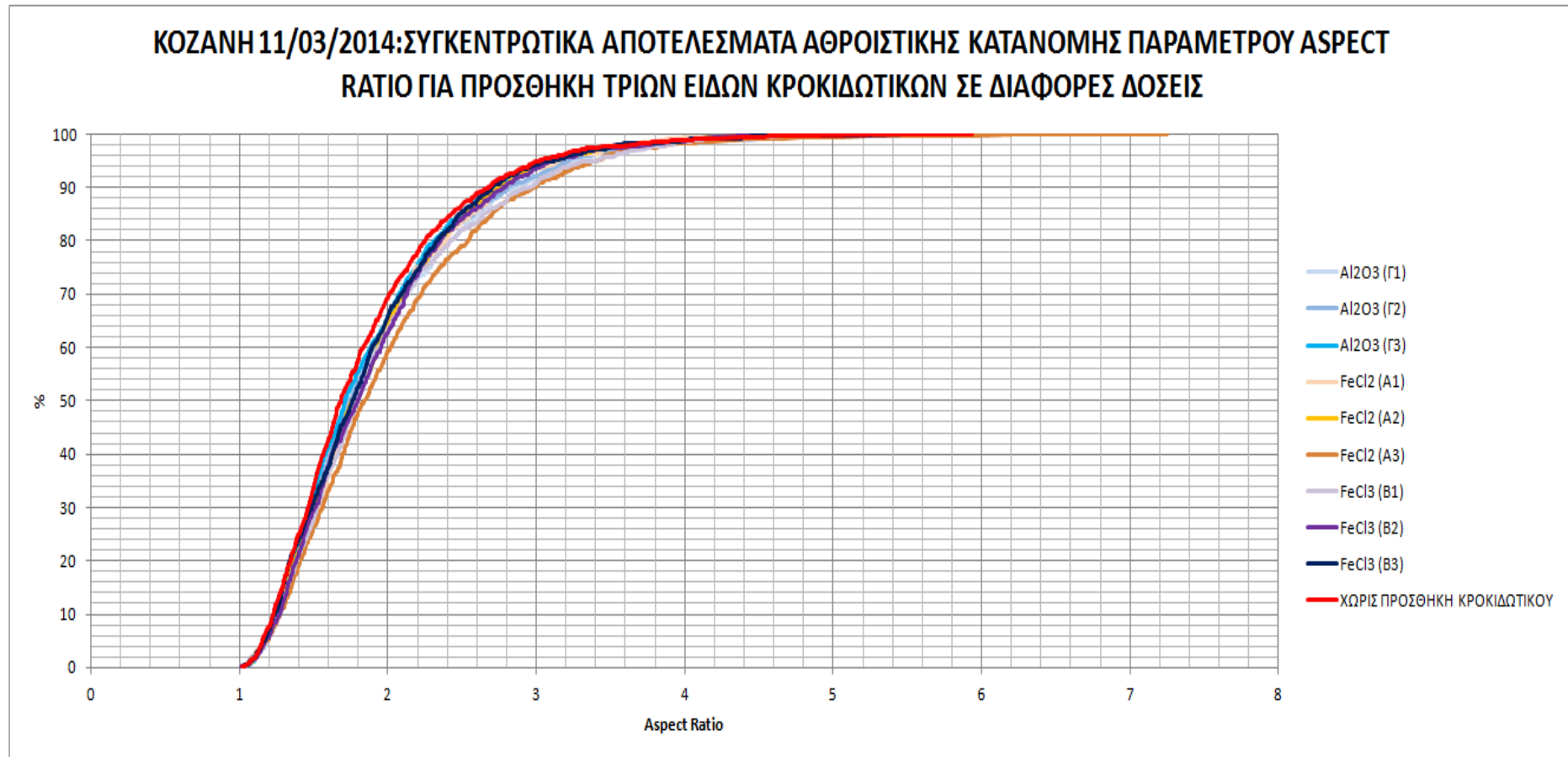
Αντίθετα, τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν 11/03/2014 δεν έδειξαν καμία σημαντική επίδραση στις παραμέτρους που εξετάστηκαν, δεδομένου ότι την ίδια χρονική περίοδο (από 25/02/2014 έως 27/03/2014) στην ΕΕΛ Κοζάνης, λόγω ύπαρξης αφρισμού και νηματοειδούς διόγκωσης, για λειτουργικούς λόγους έκαναν επίσης προσθήκη κροκιδωτικών και συγκεκριμένα, τρισθενούς σιδήρου με τη μορφή διαλύματος FeClSO_4 (12,3% κ.β σε Fe^{3+}) στην εγκατάσταση (κυρίως για την αντιμετώπιση του προβλήματος του αφρισμού) και μάλιστα σε μία ιδιαίτερος υψηλή δόση της τάξης των $90\text{gFe}^{3+}/\text{KgSS}$, αν ληφεί υπόψη ότι οι συνιστώμενες δόσεις δεν

ξεπερνούν τα 35gFe³⁺/KgSS. Επομένως, η προσθήκη κροκιδωτικών σε εργαστηριακή κλίμακα δεν έδειξε καμία σημαντική επίδραση στα δείγματα ανάμικτου υγρού.

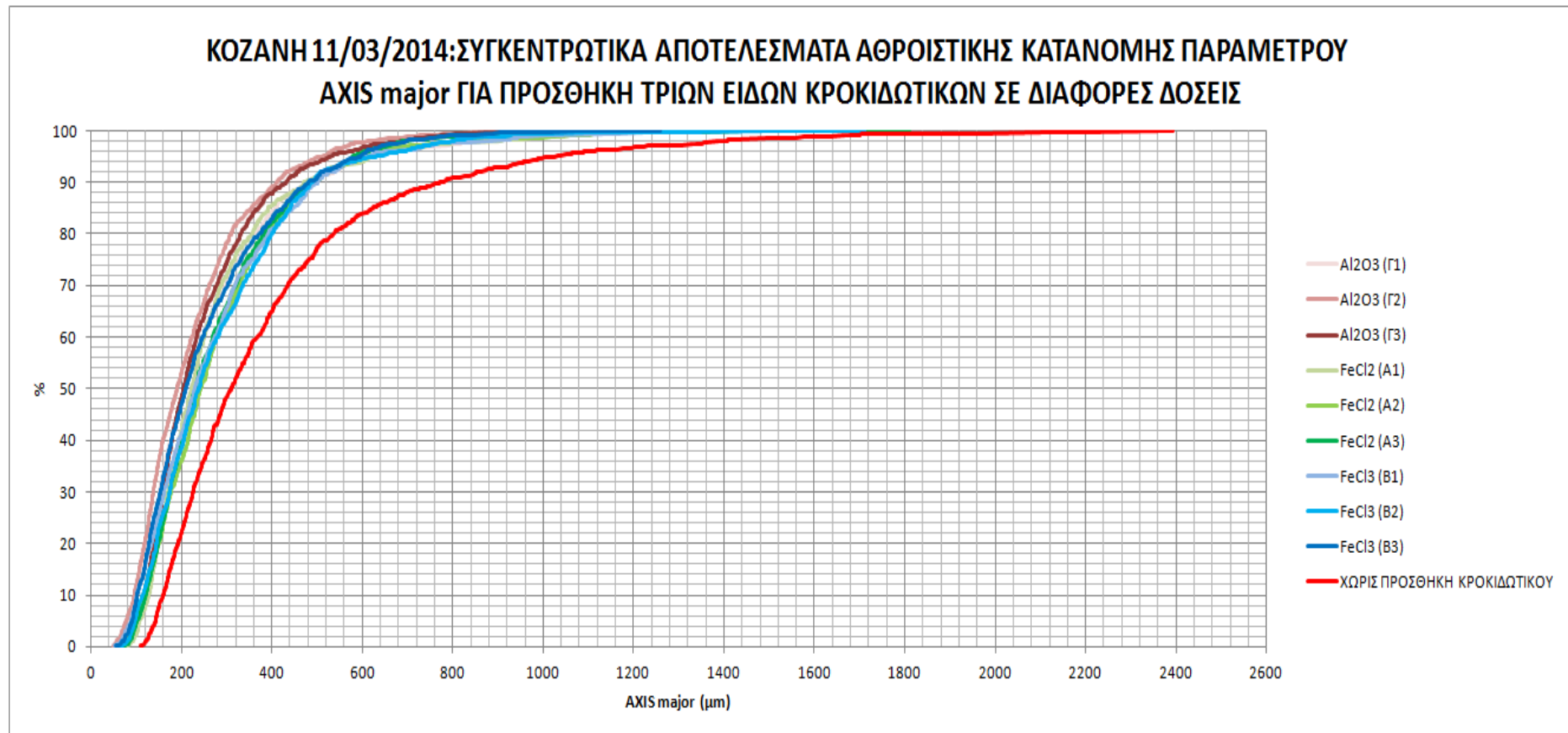
Ενδεικτικά, παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τη 2η σειρά πειραμάτων με κροκιδωτικά για την ΕΕΛ Κοζάνης, καθώς και τα διαγράμματα αθροιστικής κατανομής των παραμέτρων που εξετάστηκαν (aspect ratio, axis major, diameter max, diameter ave, perimeter) για προσθήκη των κροκιδωτικών σε εργαστηριακή κλίμακα σε διάφορες δόσεις και σε σύγκριση με την μη προσθήκη κάποιου κροκιδωτικού σε εργαστηριακό επίπεδο στα δείγματα ανάμικτου υγρού που λήφθηκαν από την ΕΕΛ Κοζάνης.

Πίνακας 4.10: Αποτελέσματα 2^{ης} σειράς πειραμάτων με προσθήκη τριών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις για την ΕΕΛ Κοζάνης (δευματοληψία 11/03/2014) για διάφορες παραμέτρους

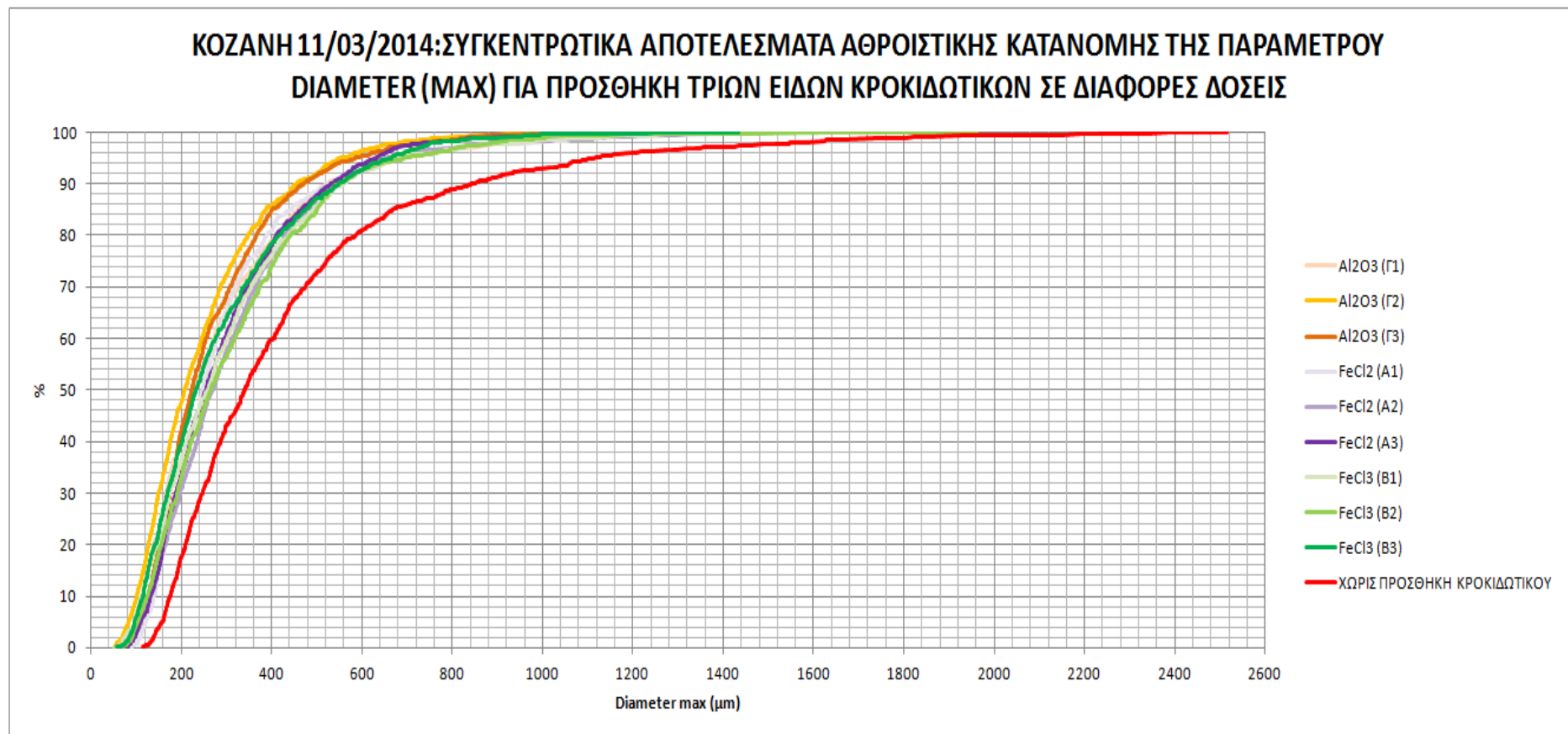
ΔΕΙΓΜΑ	ΚΟΖΑΝΗ 11-03-2014									
	ΕΙΔΟΣ ΚΡΟΚΙΔΩΤΙΚΟΥ	ΔΟΣΗ FeCl2			ΔΟΣΗ FeCl3			ΔΟΣΗ Al2O3		
ΔΟΣΕΙΣ ΚΑΘΕ SVI (σε ml/gSS)	A1	A2	A3	B1	B2	B3	Γ1	Γ2	Γ3	
Item Objects	779	990	925	781	975	940	743	1125	1332	1009
Area	33140,606	37641,696	31260,361	35914,905	35956,540	29919,116	32866,491	23928,647	28135,547	87649,051
Aspect Ratio	1,926	1,910	2,015	1,958	1,922	1,894	1,952	1,919	1,882	1,848
Axis (major)	272,890	286,814	277,852	279,114	285,277	258,703	263,524	227,969	246,936	406,917
Axis (minor)	145,074	156,026	140,001	148,975	154,394	140,588	140,269	124,342	136,369	224,570
Diameter (max)	302,773	318,002	301,163	308,121	317,796	290,302	291,788	251,057	270,834	443,568
Diameter (min)	90,152	97,825	89,834	90,615	87,478	85,149	85,968	76,619	86,506	142,110
Diameter (ave)	173,203	185,006	173,386	176,675	179,441	165,778	166,816	148,196	162,102	262,135
Radius (max)	175,443	182,573	174,309	178,529	184,767	167,851	169,283	146,159	156,955	252,645
Radius (min)	31,423	34,370	31,436	30,840	29,474	29,582	29,583	26,089	30,496	50,922
Perimeter	1305,342	1373,968	1184,417	1373,778	1458,286	1304,036	1280,293	1048,802	1109,120	1939,288
Radius Ratio	15,439	13,745	12,566	15,304	19,620	16,649	17,045	18,606	12,513	10,509
Roundness	4,897	4,823	4,140	4,985	5,412	5,326	4,907	4,329	4,070	4,416
Size (length)	312,676	327,161	311,810	318,184	328,514	299,259	301,482	259,682	279,069	454,847
Size (width)	194,622	206,897	186,851	199,785	207,686	188,978	187,213	165,626	178,826	292,903
Density (ave)	76,631	75,518	73,975	70,564	69,851	74,227	71,845	66,526	66,429	78,600
Density (min)	28,309	27,267	28,113	26,410	26,559	28,407	27,242	26,588	25,965	28,629
Density (max)	180,223	171,508	169,897	161,137	158,607	170,545	160,197	146,997	153,533	176,183
Density (std)	22,321	20,958	21,064	19,377	19,010	20,508	19,225	18,048	18,617	19,180
Margination	0,335	0,337	0,337	0,335	0,335	0,335	0,336	0,337	0,334	0,336
Heterogeneity	0,246	0,215	0,215	0,178	0,171	0,200	0,175	0,149	0,161	0,170
Clumpiness	0,017	0,018	0,015	0,013	0,015	0,012	0,018	0,008	0,007	0,027
Per. Area	12,048%	13,936%	10,396%	12,792%	15,186%	13,692%	12,342%	13,434%	16,407%	30,487%
OBJnum	4	4	3	4	4	5	4	6	6	3
Diameter (average)										
Small (<150um)	407	425	447	373	452	510	411	676	735	262
percentage	52,25%	42,93%	48,32%	47,76%	46,36%	54,26%	55,32%	60,09%	55,18%	25,97%
Medium (150-500um)	363	551	473	397	513	426	320	444	594	658
percentage	46,60%	55,66%	51,14%	50,83%	52,62%	45,32%	43,07%	39,47%	44,59%	65,21%
Large (500um)	9	14	5	11	10	4	12	5	3	89
percentage	1,16%	1,41%	0,54%	1,41%	1,03%	0,43%	1,62%	0,44%	0,23%	8,82%
Diameter (maximum)										
Small (<150um)	111	151	139	158	175	209	169	338	253	39
percentage	14,25%	15,25%	15,03%	20,23%	17,95%	22,23%	22,75%	30,04%	18,99%	3,87%
Medium (150-500um)	578	712	673	510	651	610	486	697	967	694
percentage	74,20%	71,92%	72,76%	65,30%	66,77%	64,89%	65,41%	61,96%	72,60%	68,78%
Large (500um)	90	127	113	113	149	121	88	90	112	276
percentage	11,55%	12,83%	12,22%	14,47%	15,28%	12,87%	11,84%	8,00%	8,41%	27,35%



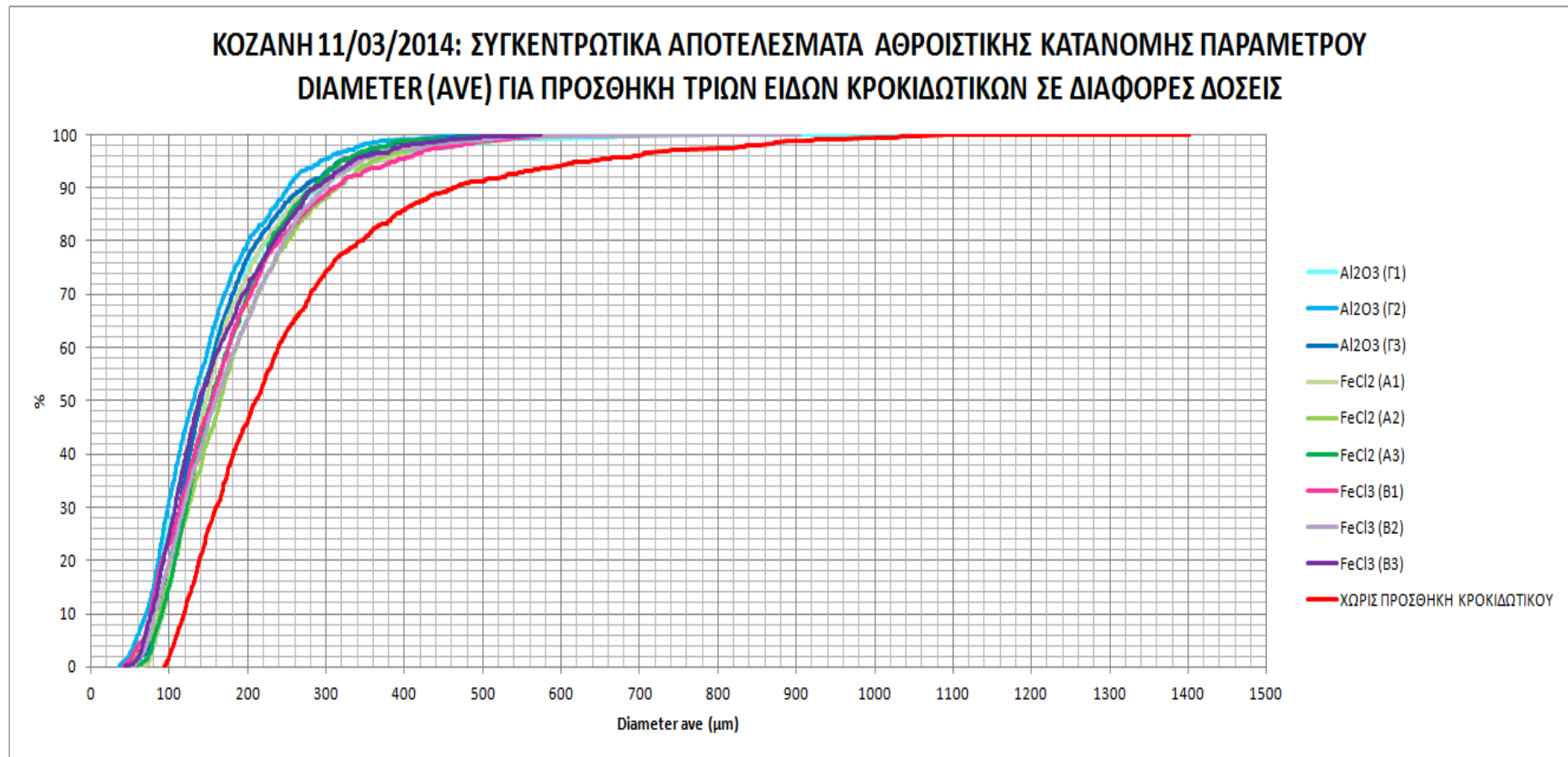
Σχήμα 4.50: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου aspect ratio για προσθήκη τριών ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης (δειγματοληψία 11/03/2014)



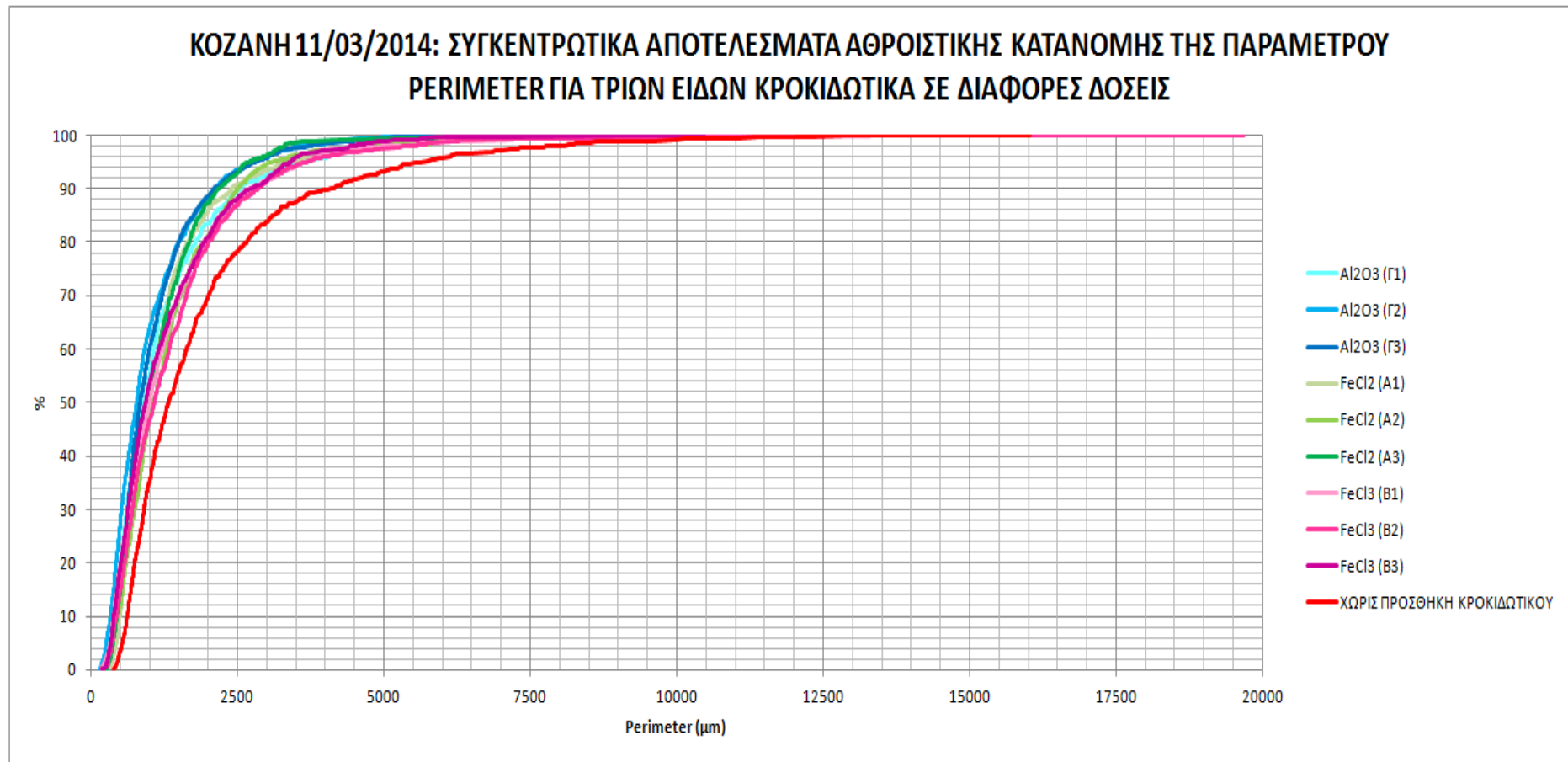
Σχήμα 4.51: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου axis major για προσθήκη τριών ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης (δειγματοληψία 11/03/2014)



Σχήμα 4.52: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου diameter max για προσθήκη τριών ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης (δειγματοληψία 11/03/2014)



Σχήμα 4.53 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου diameter ave για προσθήκη τριών ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης (δειγματοληψία 11/03/2014)



Σχήμα 4.54: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου perimeter για προσθήκη τριών ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης (δειγματοληψία 11/03/2014)

4.1.2 Συσχέτιση παραμέτρων καθιζησιμότητας και χαρακτηριστικών κροκίδων για ΕΕΛ χωρίς προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού (Περίπτωση ΕΕΛ Λαμίας)

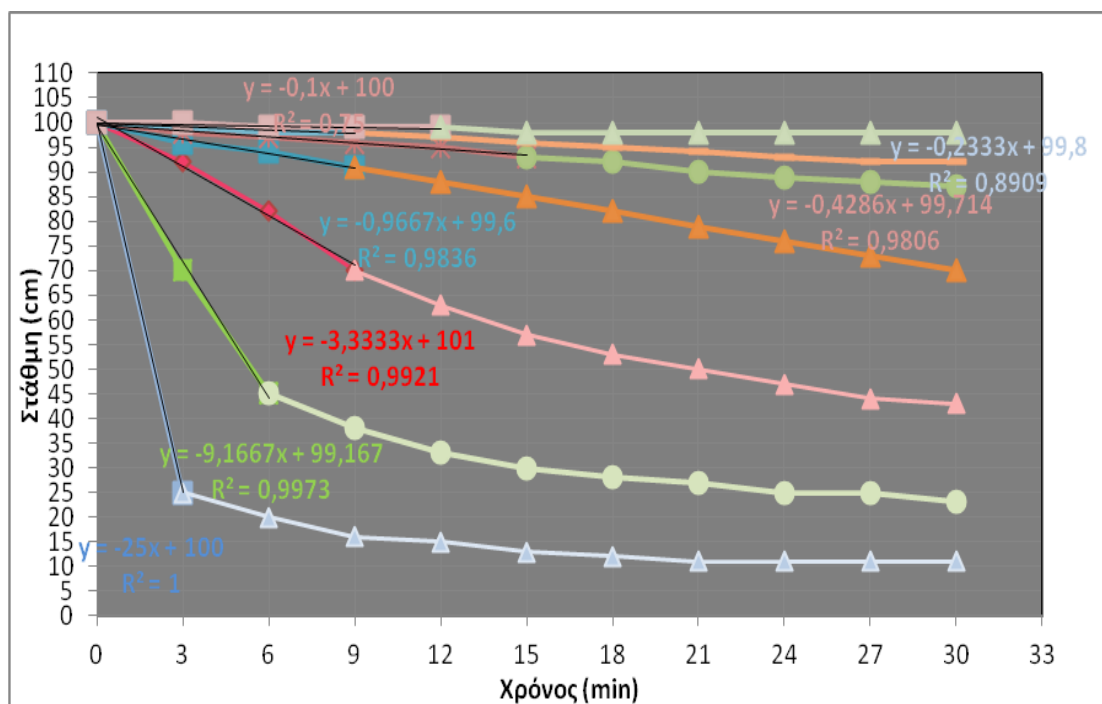
4.1.2.1 Προσδιορισμός παραμέτρων καθιζησιμότητας

4.1.2.1.1 Προσδιορισμός ζωνικής καθίζησης και παραμέτρων V_0 , n της εξίσωσης Vesilind για τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας

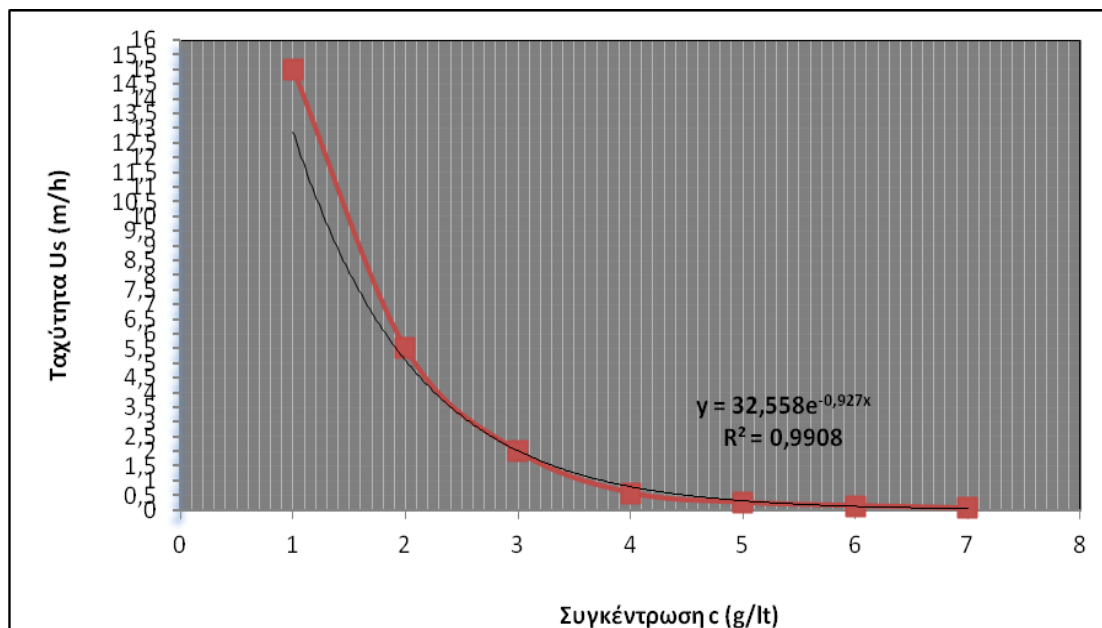
Για την ΕΕΛ Λαμίας συνολικά διεξήχθησαν 7 πειράματα προσδιορισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης. Δύο εξ' αυτών απορρίφθηκαν διότι τα αποτελέσματα τους δεν ήταν αξιόπιστα. Πρόκειται για τα πειράματα που έγιναν σε δείγματα ανάμικτου υγρού από δειγματοληψία από την ΕΕΛ Λαμίας στις 04/03/2014 και 18/03/2014.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν τελικά από τα 5 πειράματα προσδιορισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας και σε 4 από αυτά προσδιορίζονται και οι σταθερές V_0 και n με τον τρόπο που έχει περιγραφεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 05/02/2014



Σχήμα 4.55: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 05/02/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

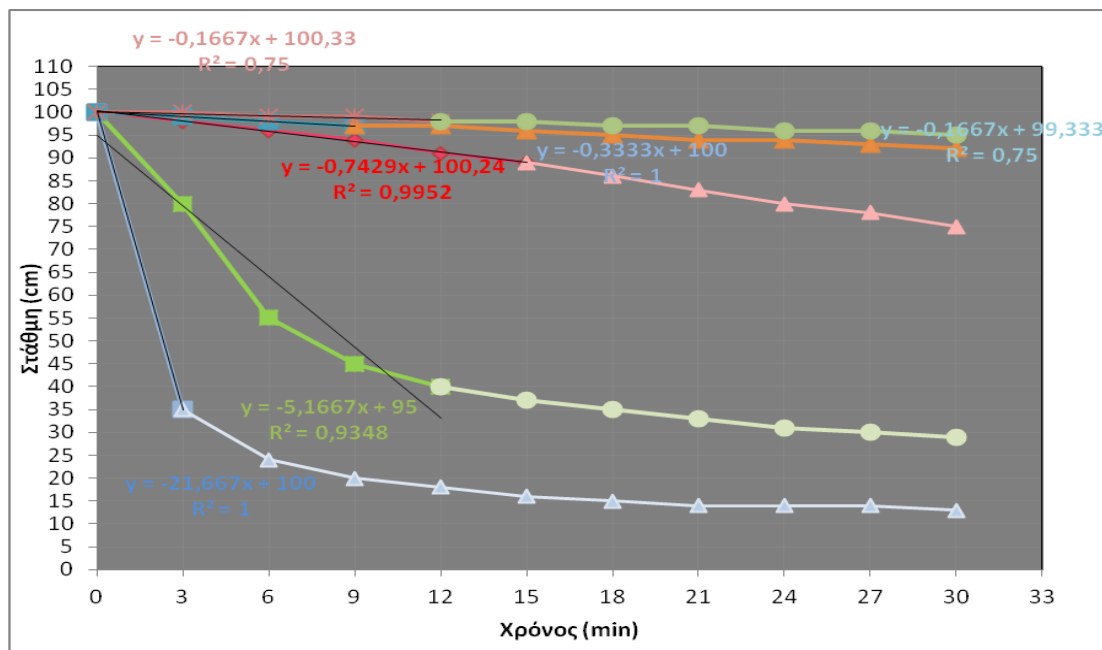


Σχήμα 4.56: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας 05/02/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

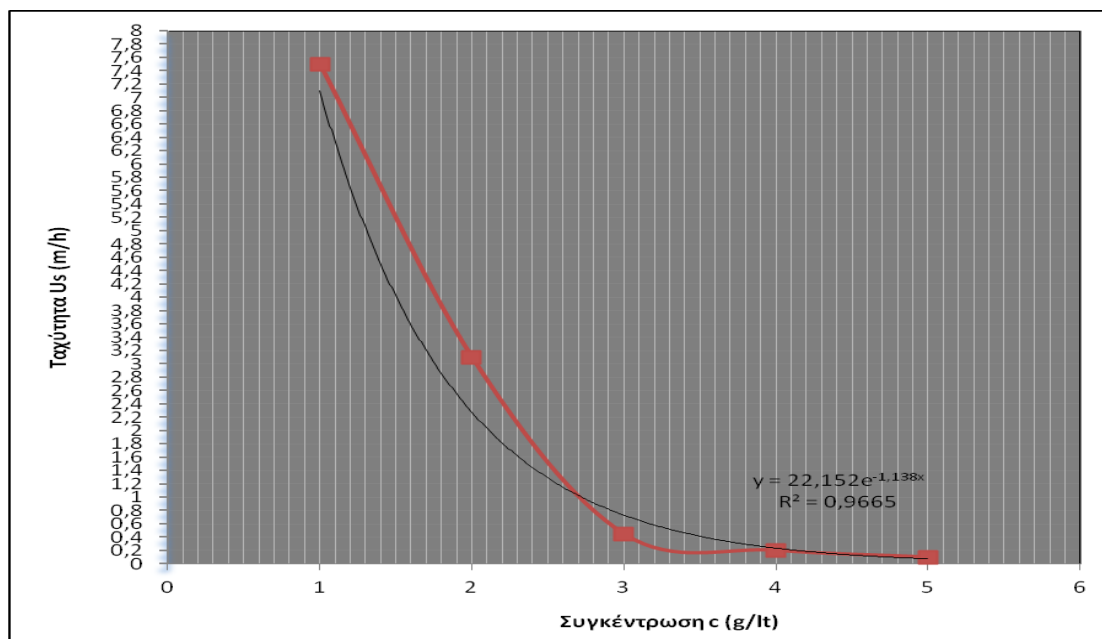
Για		cm/min	m/h
c1=1g/lit	Vs1	25	15
c2=2g/lit	Vs2	9,1667	5,50002
c3=3g/lit	Vs3	3,3333	1,99998
c4=4g/lit	Vs4	0,9667	0,58002
c5=5g/lit	Vs5	0,4286	0,25716
c6=6g/lit	Vs6	0,2333	0,13998
c7=7g/lit	Vs7	0,1	0,06
$V_0=32,558$			
$n=0,927$			
$V_0/n=35,122$			

Εικόνα 4.17: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 05/02/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 18/02/2014



Σχήμα 4.57: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 18/02/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

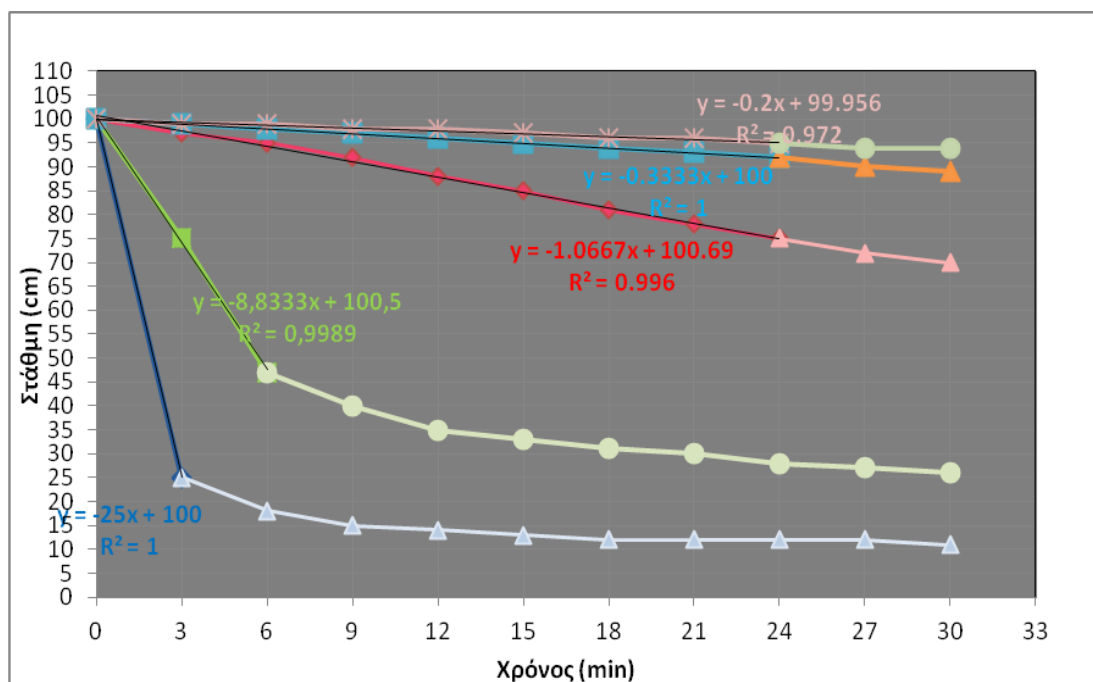


Σχήμα 4.58: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ίλως ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας 18/02/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές N_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

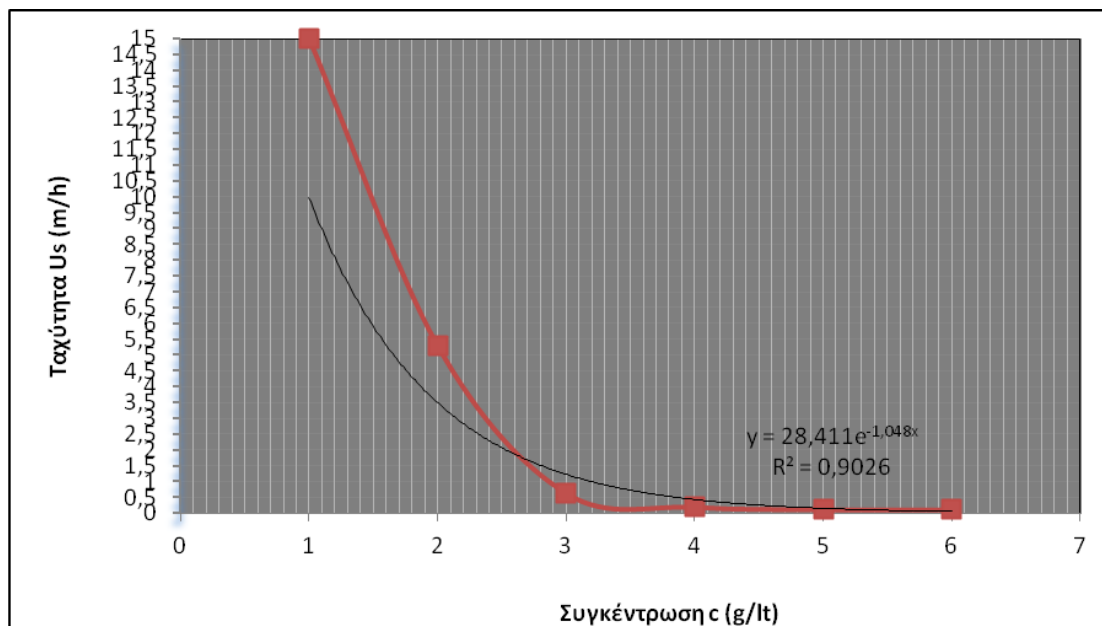
Για		cm/min	m/h
c1=1g/lt	Vs1	21,67	7,5
c2=2g/lt	Vs2	5,1667	3,10002
c3=3g/lt	Vs3	0,7429	0,44574
c4=4g/lt	Vs4	0,3333	0,19998
c5=5g/lt	Vs5	0,1667	0,10002
Vo=22,152 n=1,138 Vo/n=19,466			

Εικόνα 4.18: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων Vo και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου Vo/n. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 18/02/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 01/04/2014



Σχήμα 4.59: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 01/04/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

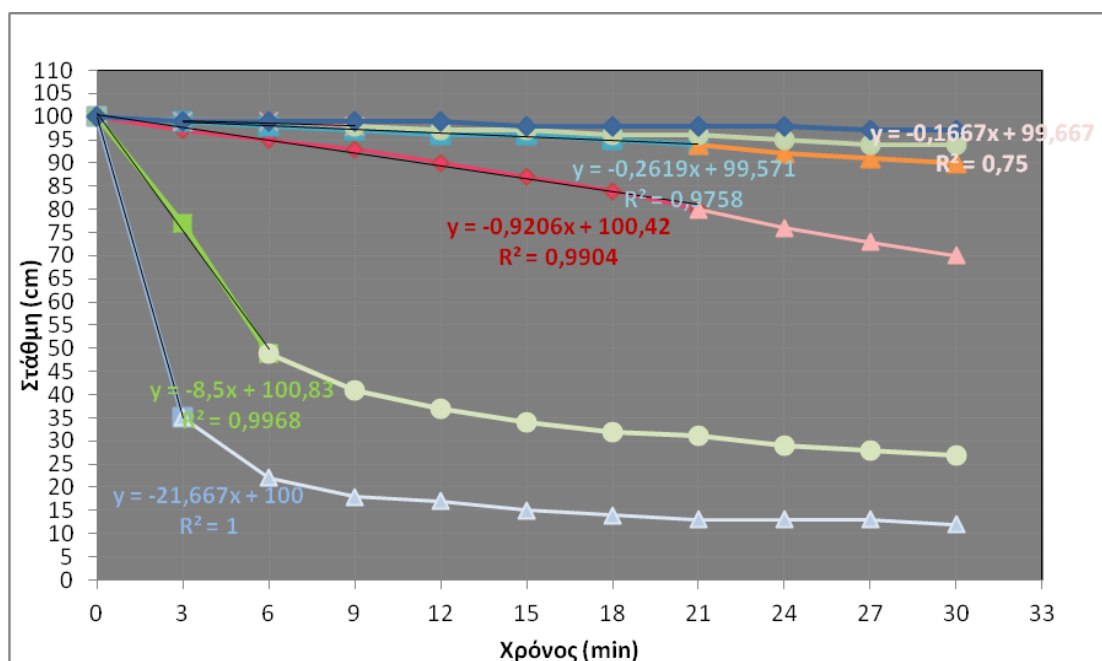


Σχήμα 4.60: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας 01/04/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

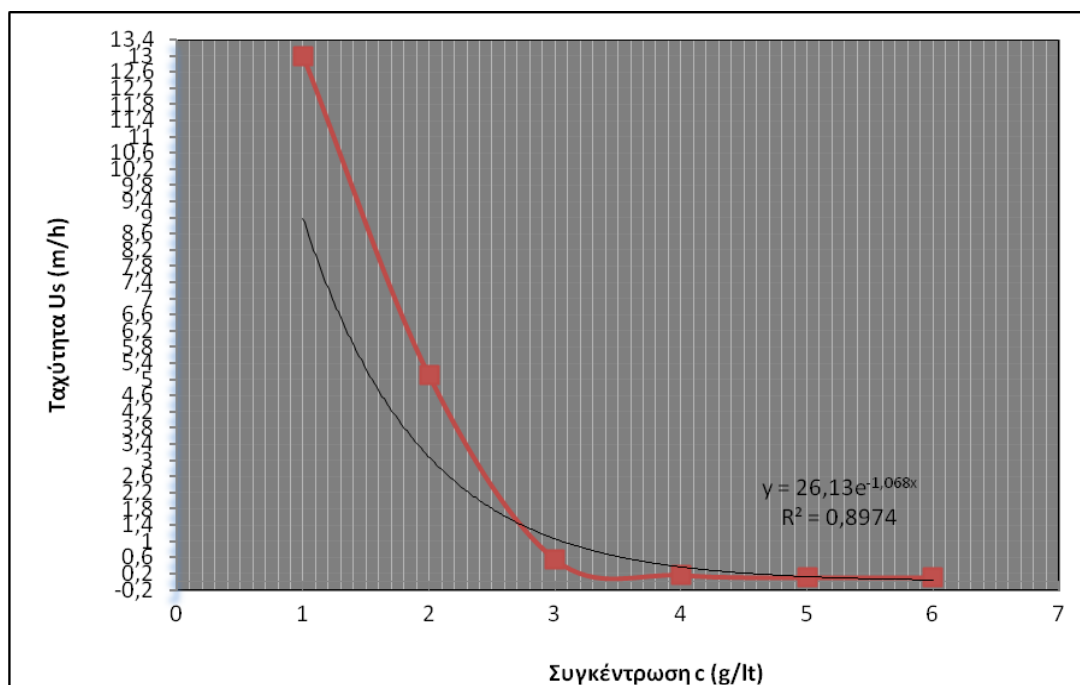
Για		cm/min	m/h
$c_1=1\text{g/l}$	V_{s1}	25	15
$c_2=2\text{g/l}$	V_{s2}	8,8333	5,29998
$c_3=3\text{g/l}$	V_{s3}	1,0667	0,64002
$c_4=4\text{g/l}$	V_{s4}	0,3333	0,19998
$c_5=5\text{g/l}$	V_{s5}	0,2	0,12
$c_6=6\text{g/l}$	V_{s6}	0,2	0,12
$V_0=28,411$ $n=1,048$ $V_0/n=27,11$			

Εικόνα 4.19: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου V_0/n . Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 01/04/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 08/04/2014



Σχήμα 4.61: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται σε διάφορες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 08/04/2014. Με τη βοήθεια του excel έχουν προσδιοριστεί οι κλίσεις των καμπυλών στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

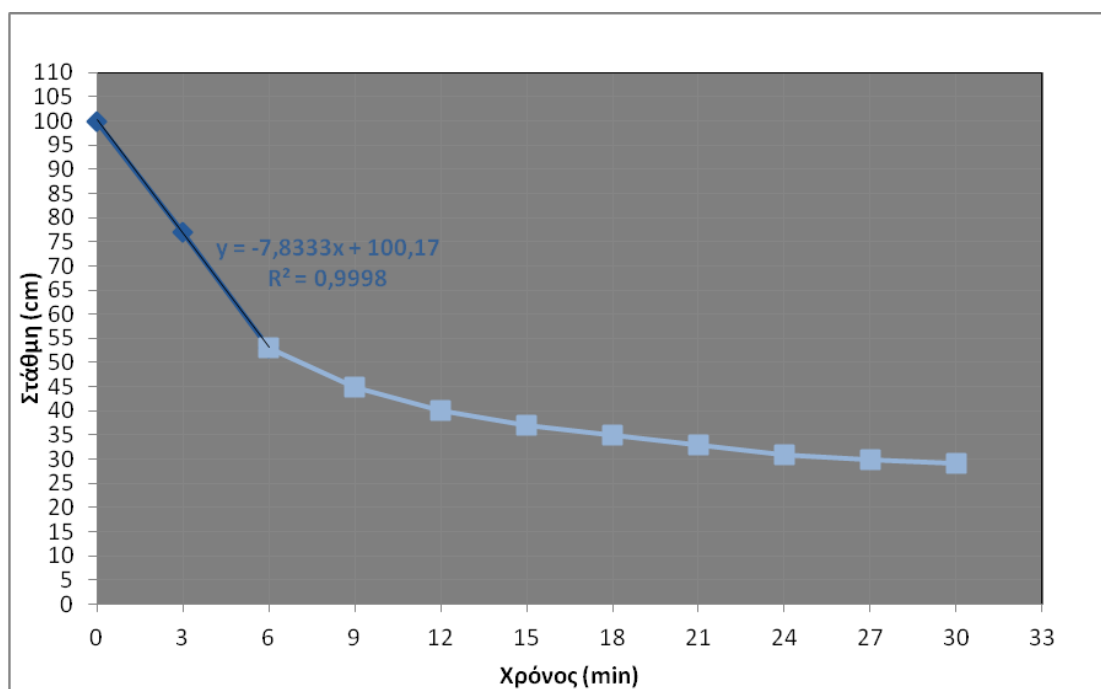


Σχήμα 4.62: Συσχέτιση ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και της ίλδος ανακυκλοφορίας για το δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας 08/04/2014. Η εκθετική καμπύλη δίνει την εξίσωση Vesilind. Οι σταθερές V_0 και n έχουν πλέον προσδιοριστεί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

Για		cm/min	m/h
c1=1g/lt	Vs1	21,667	13,0002
c2=2g/lt	Vs2	8,5	5,1
c3=3g/lt	Vs3	0,9206	0,55236
c4=4g/lt	Vs4	0,2619	0,15714
c5=5g/lt	Vs5	0,1667	0,10002
c6=6g/lt	Vs6	0,1667	0,10002
Vo=26,13 n=1,068 Vo/n=24,466			

Εικόνα 4.20: Υπολογισμοί ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για διαφορετικές συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού και λάσπης επανακυκλοφορίας και προσδιορισμός των παραμέτρων Vo και n της εξίσωσης Vesilind καθώς και του λόγου Vo/n. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 08/04/2014.

➤ Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 22/04/2014



Σχήμα 4.63: Πείραμα υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που πραγματοποιείται για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού 2000mg/lt. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 22/04/2014. Με τη βοήθεια του excel έχει προσδιοριστεί η κλίση της καμπύλης στη φάση της γραμμικής μείωσης της επιφάνειας.

Για		cm/min	m/h
c2=2g/lt	Vs2	7,8333	4,69998

Εικόνα 4.21: Υπολογισμος ταχύτητας ζωνικής καθίζησης για συγκέντρωση ανάμικτου υγρού στα 2000mg/lt. Δειγματοληψία από ΕΕΛ Λαμίας 22/04/2014.

4.1.2.1.2 Συσχέτιση παραμέτρων V_0 , n της εξίσωσης Vesilind με το δείκτη DSVI για τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας

Πίνακας 4.11: Συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελέσματα για τη συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS), το δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI, τις υπολογισμένες σταθερές Vesilind V_0 και n , το λόγο τους V_0/n και την ταχύτητα καθίζησης V_{sz} για κάθε δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας.

ΕΕΛ Λαμίας	MLSS (mg/l)	DSVI (mL/gSS)	V_0 (m/h)	n (m ³ /kg)	V_0/n (kg/m ² /h)	V_{sz} (m/h)
5-Φεβ	7060	115	32,55	0,927	35,11327	5,5
18-Φεβ	5686,67	145	22,15	1,138	19,46397	3,1
4-Μαρ	5853,33	130				
18-Μαρ	5980	155				
1-Απρ	6693,33	130	28,41	1,048	27,10878	5,3
8-Απρ	7466,67	135	26,13	1,068	24,46629	5,1
22-Απρ	6240	145				4,7

Στον παραπάνω πίνακα 4.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τη συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS), το δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI), τις υπολογισμένες σταθερές Vesilind V_0 και n και το λόγο τους V_0/n καθώς και την ταχύτητα καθίζησης V_{sz} για τα δείγματα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας που εξετάστηκαν με σκοπό να διερευνηθεί η συσχέτιση των χαρακτηριστικών της καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος με τον δείκτη καθιζησιμότητας DSVI.

Με βάση τα αποτελέσματα του συνόλου των πειραμάτων προέκυψαν τα ακόλουθα:

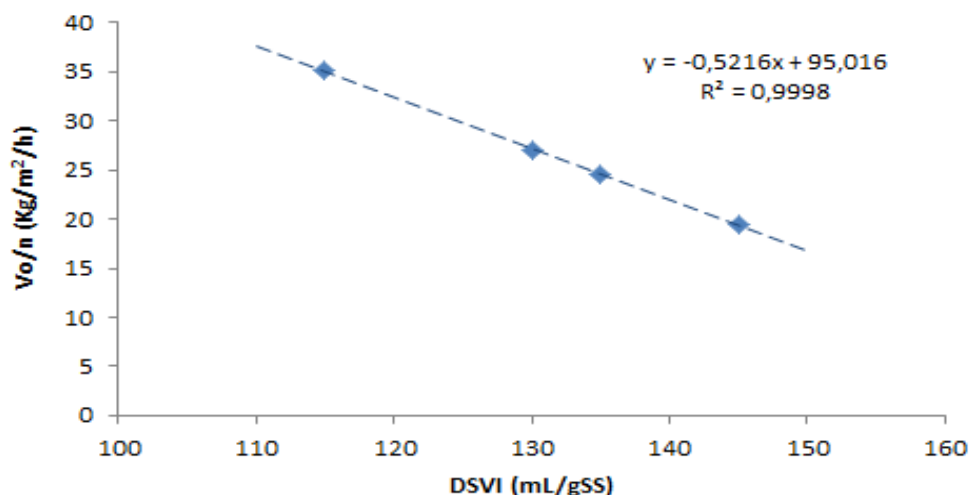
$$V_0 = 27,3 \pm 4,3 \text{ m/h και } n = 1 \pm 0,09$$

Οι ανωτέρω τιμές είναι αρκετά υψηλές σε σχέση με τις τιμές που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία για τις παραμέτρους αυτές. Γενικά υψηλές τιμές της σταθεράς V_0 και χαμηλές τιμές της σταθεράς n χαρακτηρίζουν μία βιομάζα με ικανοποιητικά χαρακτηριστικά καθίζησης. Στην προκειμένη περίπτωση, ενώ η σταθερά V_0 έχει πολύ ικανοποιητικές τιμές, οι τιμές που υπολογίστηκαν για την σταθερά n είναι αρκετά δυσμενείς.

Επισημαίνεται ότι οι σταθερές V_0 και n εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά καθίζησης της βιομάζας. Αυτή η εξάρτηση, στην περίπτωση της ΕΕΛ Λαμίας, παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.64, στο οποίο περιγράφεται η μεταβολή του λόγου των δύο σταθερών V_0/n συναρτήσει του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος.

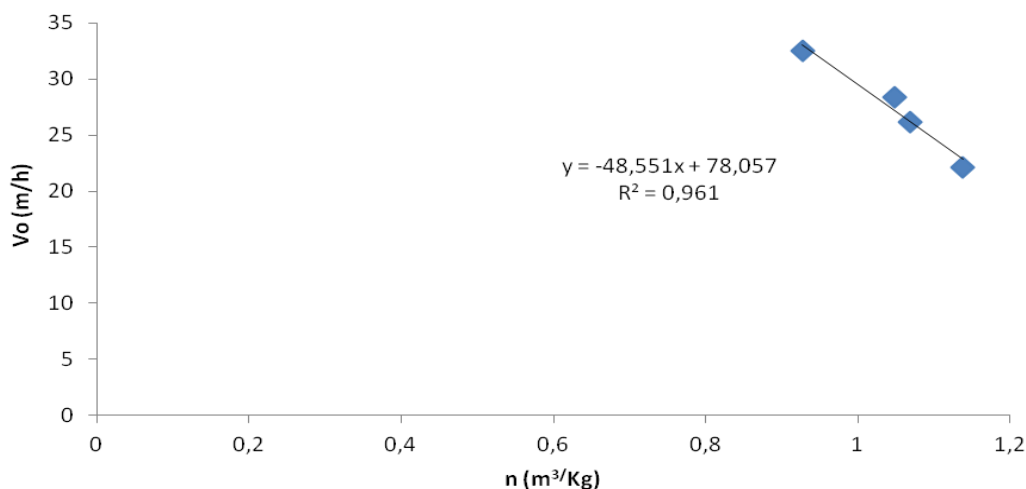
Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι καθ'όλη τη διάρκεια της λήψης δειγμάτων από την ΕΕΛ Λαμίας στην εγκατάσταση γινόταν προσθήκη κροκιδωτικών και συγκεκριμένα πολυηλεκτρολύτη. Αυτή η προσθήκη είχε ως αποτέλεσμα να παρουσιάζονται αρκετά ικανοποιητικά χαρακτηριστικά καθίζησης της βιομάζας (χαμηλές τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας) και επομένως τα κροκιδωτικά σχετίζονται άμεσα με τους υψηλότερους λόγους V_0/n , αλλά κυρίως με τις υψηλότερες τιμές της παραμέτρου V_0 , αφού στην παράμετρο n δεν επιφέρουν καμία αλλαγή. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος για τον οποίο, ενώ οι τιμές της παραμέτρου V_0 εμφανίζονται ικανοποιητικές, οι τιμές της παραμέτρου n εξακολουθούν να παραμένουν υψηλές, ενώ ιδανικά έπρεπε να είναι χαμηλές. Αυτό καταδεικνύεται και από τα αποτελέσματα των μικροσκοπικών παρατηρήσεων αλλά και από την εξέταση

των μορφολογικών παραμέτρων που προέκυψαν από την παρατήρηση των μεγεθών των κροκίδων (με τη βοήθεια του λογισμικού image analysis) και αναλύονται σε επόμενες παραγράφους εκτενέστερα, όπου με την προσθήκη των κροκιδωτικών είχε επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό μέγεθος κροκίδων με συμπαγή μορφή. Έτσι, μεγαλύτερες και πιο συμπαγείς κροκίδες καθίζουν με μεγαλύτερη ταχύτητα καθίζησης, άρα παρουσιάζουν ικανοποιητικό δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος και αυτονόητα οδηγούν σε καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης.

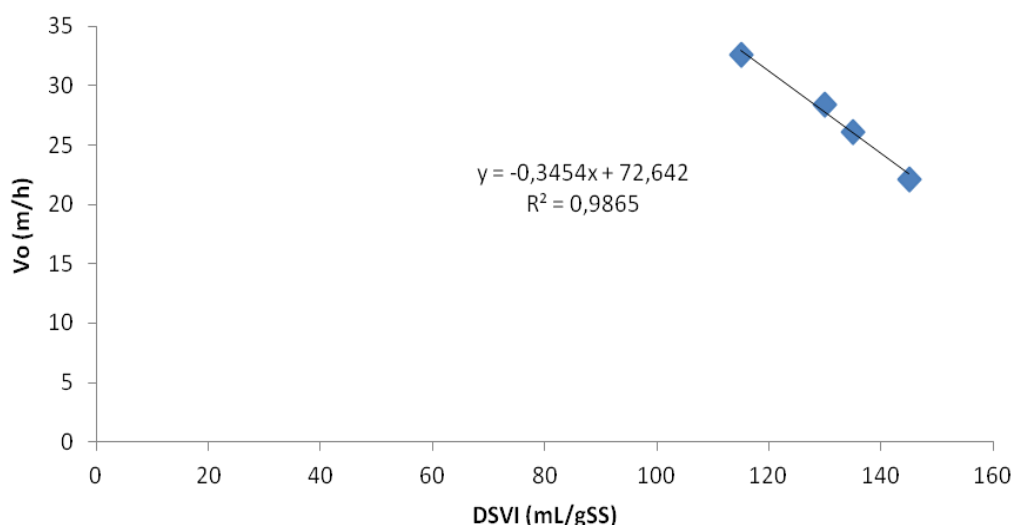


Σχήμα 4.64: Συσχέτιση των σταθερών της εξίσωσης Vesilind με τα χαρακτηριστικά της καθίζησης της ιλύος (συσχέτιση του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI σε σχέση με το λόγο V_0/n που προέκυψε για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας).

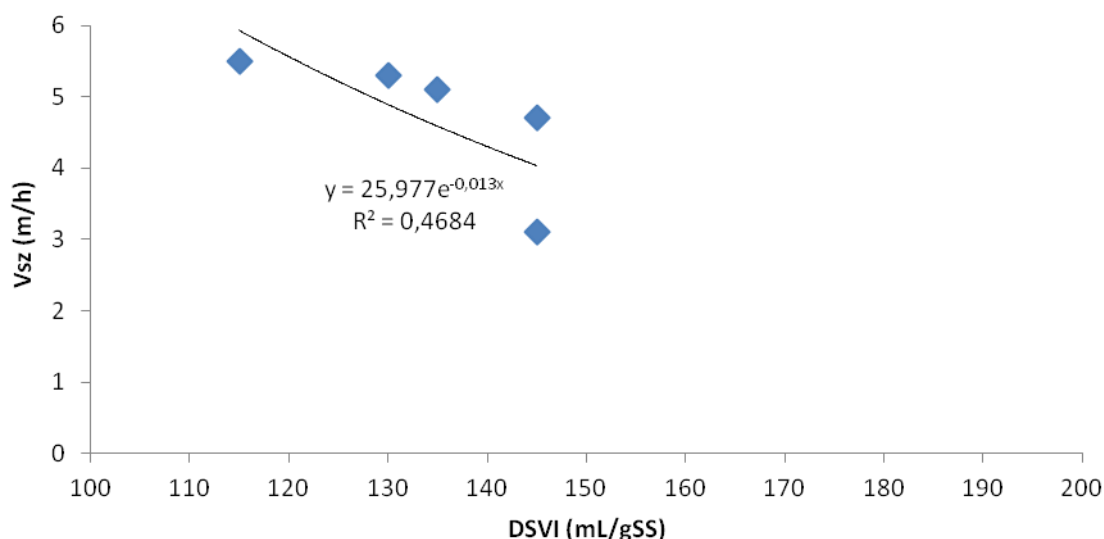
Όπως απεικονίζεται στο ανωτέρω σχήμα 4.64, υψηλές τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας σχετίζονται με χαμηλές τιμές της σταθεράς V_0 και υψηλές τιμές της σταθεράς n (ήτοι χαμηλές τιμές του λόγου V_0/n). Αντίθετα καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης της βιομάζας (χαμηλότερες τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας) σχετίζονται με υψηλότερους λόγους V_0/n .



Σχήμα 4.65: Γραφική απεικόνιση των υπολογισμένων τιμών της παραμέτρου n σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της παραμέτρου V_0 της εξίσωσης Vesilind που προέκυψαν για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας.



Σχήμα 4.66: Γραφική απεικόνιση των υπολογισμένων τιμών της παραμέτρου V_o της εξίσωσης Vesilind σε σχέση με τις τιμές του δείκτη καθιζσιμότητας της ιλύος DSVI που προέκυψαν για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας.



Σχήμα 4.67: Εξάρτηση της ταχύτητας καθίζησης (V_{sz}) από το δείκτη καθιζσιμότητας της ιλύος (DSVI)

Τέλος, στο σχήμα 4.67 απεικονίζεται η επίδραση των χαρακτηριστικών καθίζησης της ιλύος στην ταχύτητα καθίζησής της.

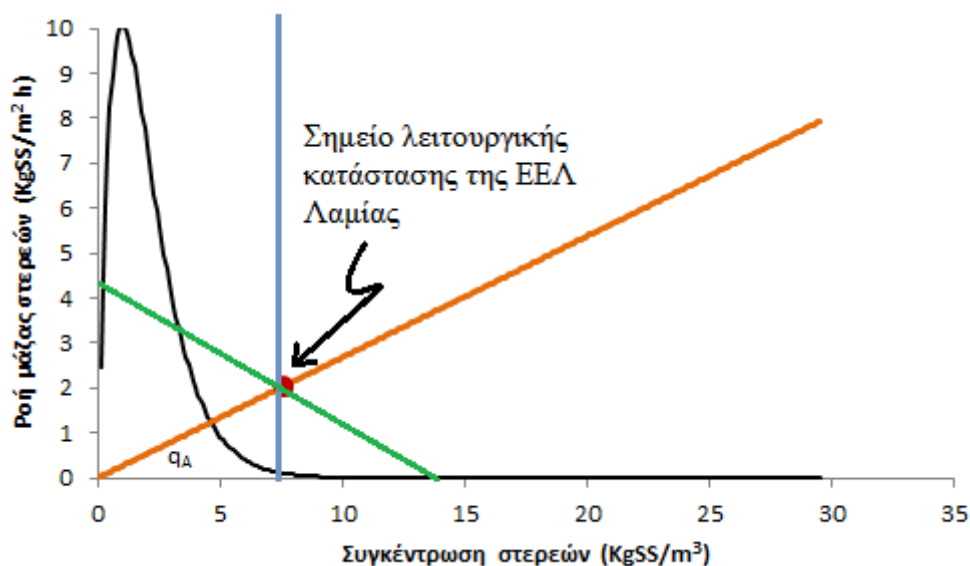
Με βάση τα ανωτέρω διαπιστώνεται ότι αύξηση του δείκτη καθιζσιμότητας έχει ως συνέπεια τη μείωση της ταχύτητας καθίζησης της βιομάζας.

Η γνώση των σταθερών V_o και n είναι χρήσιμη για την εξέταση της φόρτισης των δεξαμενών τελικής καθίζησης και για την εκτίμηση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας τους. Με βάση τις τιμές των σταθερών V_o και n μπορεί να υπολογισθεί η συνολική ροή μάζας των στερεών στις δεξαμενές τελικής καθίζησης, η οποία είναι το άθροισμα της ροής μάζας λόγω βαρύτητας και της ροής μάζας λόγω απομάκρυνσης ιλύος από τον πυθμένα των δεξαμενών τελικής καθίζησης (μέσω της ανακυκλοφορίας

της ιλύος). Η συνολική ροή μάζας σε μία δεξαμενή τελικής καθίζησης δίνεται από την ακόλουθη σχέση: $F = F_1 + F_2 = X V_o e^{-nX} + qr X$ ($\text{KgSS}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) όπου $qr = rQ/A$ και r είναι ο συντελεστής ανακυκλοφορίας της ιλύος, Q η παροχή των λυμάτων (m^3/h), A η επιφάνεια των δεξαμενών τελικής καθίζησης (m^2) και X η συγκέντρωση των MLSS (KgSS/m^3).

Στο Σχήμα 4.68 παρουσιάζεται η ανάλυση του σημείου λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης της ΕΕΛ Λαμίας. Το σημείο λειτουργικής κατάστασης ορίζεται από την τομή τριών ευθειών: της ευθείας που ορίζει την υδραυλική φόρτιση των δεξαμενών τελικής καθίζησης ($qA=Q/A$), της ευθείας που ορίζει το qr και της κάθετη στον οριζόντιο άξονα στην συγκέντρωση των MLSS.

Με βάση τα λειτουργικά δεδομένα της ΕΕΛ Λαμίας για μία μέση παροχή της τάξης των $625 \text{ m}^3/\text{h}$ ($15.000 \text{ m}^3/\text{d}$), για τη συνολική επιφάνεια των τριών δεξαμενών τελικής καθίζησης (2322 m^2), για ένα μέσο συντελεστή ανακυκλοφορίας της τάξης του 113% και για μία μέση τιμή MLSS της τάξης των $7,5 \text{ KgSS}/\text{m}^3$, υπολογίζεται γραφικά το σημείο λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης της εγκατάστασης.



Σχήμα 4.68: Γραφική απεικόνιση του σημείου λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης της ΕΕΛ Λαμίας.

Από το παραπάνω σχήμα, διακρίνεται με μαύρο χρώμα η καμπύλη ροής μάζας των στερεών λόγω βαρύτητας. Επίσης, φαίνεται η κατακόρυφη μπλε χρώματος γραμμή, η οποία απεικονίζει τη μέση τιμή της συγκέντρωσης των στερεών (MLSS) της τάξης των $7,5 \text{ KgSS}/\text{m}^3$ (συγκέντρωση τροφοδοσίας).

Η πλάγια πράσινη γραμμή όπως είναι εμφανές συναντά τον άξονα y στην τιμή $4,3 \text{ KgSS}/\text{m}^2\text{h}$, τιμή η οποία αντικατοπτρίζει την τιμή του συνολικού επιβαλλόμενου φορτίου των στερεών της τελικής καθίζησης και το οποίο ισούται με:

$$\frac{Q}{A} (1+r) \cdot MLSS = \frac{625 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{2322 \text{m}^2} (1+1,13) \cdot 7,5 \frac{\text{kgSS}}{\text{m}^3} = 4,3 \frac{\text{kgSS}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Η ίδια πράσινη γραμμή στον άξονα x συναντά την τιμή $14 \text{ KgSS}/\text{m}^3$, η οποία είναι μια μέση τιμή της συγκέντρωσης στερεών της επανακυκλοφορίας της ιλύος

(Su). Η κλίση αυτής της γραμμής ισούται με $r \cdot Q/A$. Επίσης, η κλίση της πορτοκαλί πλάγιας γραμμής μας δίνει το Q/A .

Το σημείο τομής αυτών των τριών γραμμών απεικονίζει το σημείο λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης της ΕΕΛ Λαμίας. Είναι φανερό ότι το σημείο αυτό βρίσκεται εκτός της καμπύλης ροής μάζας στερεών λόγω βαρύτητας. Αυτό προφανώς και δεν είναι επιθυμητό και υποδηλώνει ότι οι δεξαμενές τελικής καθίζησης είναι υπερφορτωμένες και δεν επιτυγχάνονται τα κριτήρια της διαύγασης και της συμπύκνωσης. Σε αυτή την κατάσταση υψηλότερη ροή εφαρμόζεται από ό, τι μπορεί να υποστεί επεξεργασία από τη δεξαμενή καθίζησης. Αυτό σημαίνει ότι σταδιακά θα συσσωρεύονται στερεά στη δεξαμενή καθίζησης, η οποία δεν μπορεί να διατηρηθεί σε μια σταθερή κατάσταση και αυτό θα οδηγήσει σε απώλεια στερεών μεγάλου μεγέθους του υγρού αποβλήτου στην εκροή.

Αυτή η κατάσταση αποδίδεται στο γεγονός ότι η ΕΕΛ Λαμίας λειτουργεί με πολύ υψηλή συγκέντρωση στερεών (MLSS) (συγκέντρωση τροφοδοσίας).

Μία λύση λοιπόν για την καλύτερη λειτουργία της εγκατάστασης θα ήταν να λειτουργεί με αρκετά μικρότερη συγκέντρωση τροφοδοσίας, δηλαδή να μειωθεί κατά πολύ η συγκέντρωση των στερεών (MLSS) και να μειωθεί ο ρυθμός επανακυκλοφορίας της ιλύος.

Με μείωση της συγκέντρωσης των στερεών η μπλε γραμμή θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά και με μείωση του ρυθμού ανακυκλοφορίας της λάσπης, θα μειωθεί η κλίση της πράσινης γραμμής και επομένως το σημείο τομής, δηλαδή το σημείο λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης της ΕΕΛ Λαμίας θα βρίσκεται πλέον εντός των ορίων της καμπύλης ροής μάζας στερεών λόγω βαρύτητας. Η βελτίωση των χαρακτηριστικών της καθίζησης μπορεί να πραγματοποιηθεί επίσης με προσθήκη του σωστού κροκιδωτικού, στη σωστή δόση στην ΕΕΛ.

4.1.2.1.3 Αποτελέσματα μικροσκοπικών παρατηρήσεων για την ΕΕΛ Λαμίας

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, διενεργήθηκε μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων ως προς τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των κροκίδων και το είδος και την ποικιλία των νηματοειδών βακτηρίων. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν ήταν ο δείκτης νηματοειδών (Filament Index – FI), η γεφύρωση, το σχήμα της κροκίδας, η ύπαρξη ανοιχτής δομής, η ύπαρξη σπειροchetών (spirochete) και τα είδη των νηματοειδών μικροοργανισμών που εντοπίζονται.

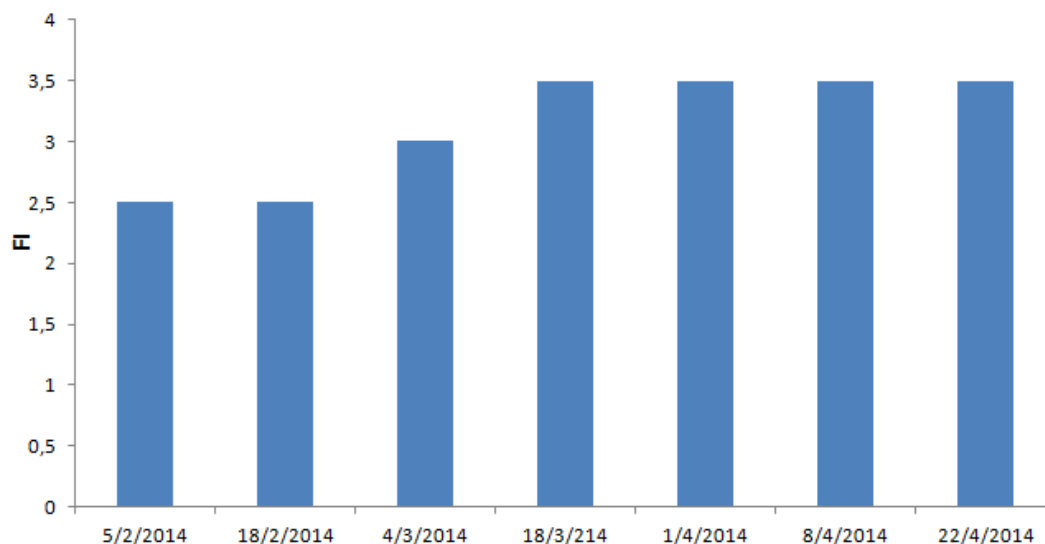
Η αφθονία των νηματοειδών μικροοργανισμών, δηλαδή το πλήθος και η συγκέντρωση των νηματοειδών μικροοργανισμών στο σύνολο των μικροοργανισμών του δείγματος, βαθμονομήθηκε με βάση στο δείκτη νηματοειδών (FI) στην κλίμακα 0-5, όπου ως 0 νοείται η πλήρης απουσία νηματοειδών βακτηριδίων και ως 5 η υπερβολική παρουσία αυτών (Eikelboom et al., 1981).

Ο εντοπισμός των κυρίαρχων νηματοειδών βακτηριδίων στο δείγμα του ανάμικτου υγρού, αλλά και ο καθορισμός του πληθυσμού τους έγινε με βάση τον ειδικό δείκτη νηματοειδών (SFI), ο οποίος βαθμονομείται στην ίδια κλίμακα με το δείκτη FI, δηλαδή από το 0-5.

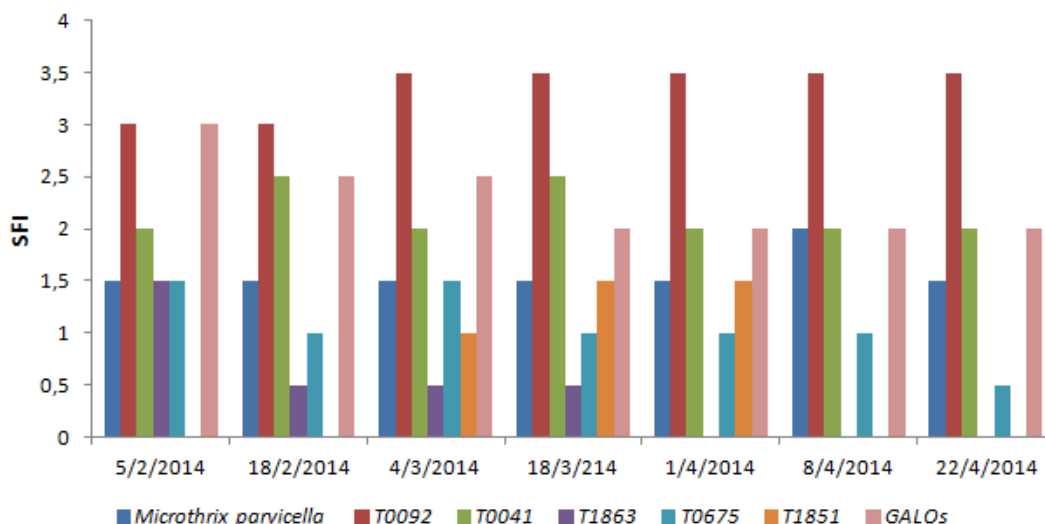
Με βάση τα αποτελέσματα των μικροσκοπικών αναλύσεων, ο δείκτης νημάτων κυμάνθηκε μεταξύ 2,5-3,5, με τιμές οι οποίες παρουσιάζουν μία αυξητική τάση από το Φεβρουάριο έως τον Απρίλιο (δείκτης νημάτων 2,5 τον Φεβρουάριο και 3,5 τον Απρίλιο).

Οι βιοκροκίδες της ενεργού ιλύος παρουσιάζουν χαμηλή προς μέτρια γεφύρωση και σε ποσοστό 60-80% είναι συμπαγείς και σφαιρικές. Αξιοσημείωτη είναι η ικανοποιητική κατανομή μεγεθών των κροκίδων (15% < 150 μm, 55% μεταξύ 150-500 μm και 30% > 500 μm) και ιδιαίτερα το υψηλό ποσοστό των μεγάλων κροκίδων. Επισημαίνεται ότι η ανάλυση των χαρακτηριστικών των κροκίδων πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης εικόνας (image analysis) που έχουν αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας. Συνολικά αναλύθηκαν περισσότερες από 8000 κροκίδες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης προκύπτει ότι η μέση διάμετρος και η μέση περίμετρος των κροκίδων κυμαίνονται μεταξύ 205-252 μm και 1800-2450 μm αντίστοιχα, ενώ το 90% των κροκίδων έχουν μέγιστη διάμετρο που κυμαίνεται μεταξύ 730-990 μm. Ενδιαφέρουσα είναι, επίσης, η σταθερότητα των μεγεθών και των λοιπών χαρακτηριστικών των κροκίδων σε όλο το διάστημα της παρακολούθησής τους.

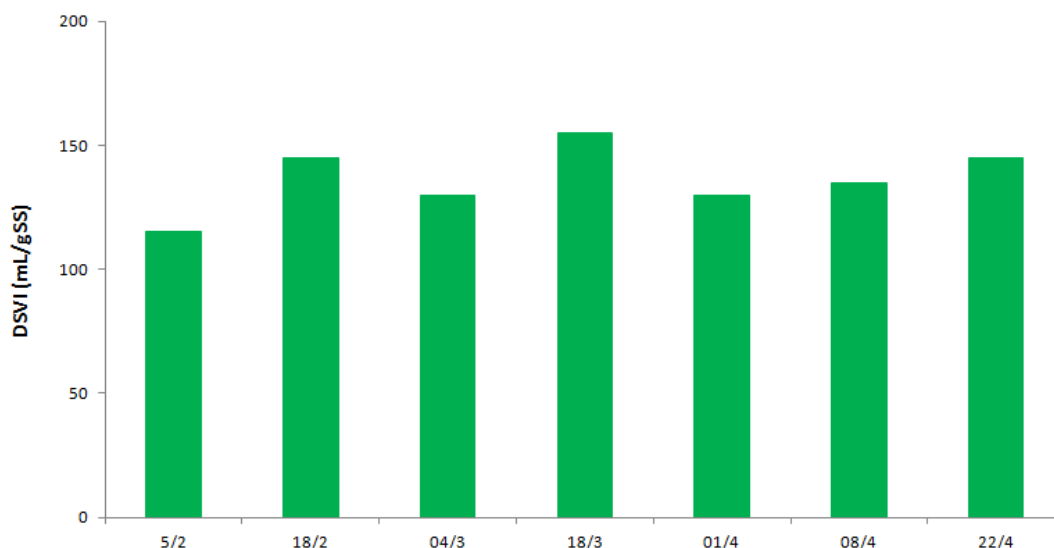
Οι επικρατέστεροι νηματοειδείς μικροοργανισμοί στα δείγματα ανάμικτου υγρού κατά την χρονική αυτή περίοδο ήταν σε φθίνουσα σειρά οι *Type 0092*, *Gordona spp.*, *Type 0041*, *M. parvicella*, *Type 1851*, *Type 0675*, *Type 1863*. Οι περισσότεροι εκ των μικροοργανισμών αυτών κατατάσσονται στην κατηγορία των μικροοργανισμών χαμηλής οργανικής φόρτισης (low F/M filamentous microorganisms), ενώ η ανάπτυξη κάποιων εξ' αυτών των μικροοργανισμών (*M. parvicella*, *Type 0041*, *Gordona spp.*, *Type 0092*) συσχετίζεται με την εισροή υψηλών συγκεντρώσεων λιπών και ελαίων στη βιολογική βαθμίδα. Παρακάτω στα σχήματα 4.69 και 4.70 παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη νηματοειδών (Filament Index – FI), σε μία κλίμακα από το 0-5 και οι τιμές του ειδικού δείκτη νηματοειδών (Specific Filament Index – SFI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Λαμίας σε μία κλίμακα από το 0-5.



Σχήμα 4.69: Τιμές του δείκτη νηματοειδών (Filament Index – FI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Λαμίας σε μία κλίμακα από το 0-5.



Σχήμα 4.70: Τιμές του ειδικού δείκτη νηματοειδών (Specific Filament Index – SFI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Λαμίας σε μία κλίμακα από το 0-5.



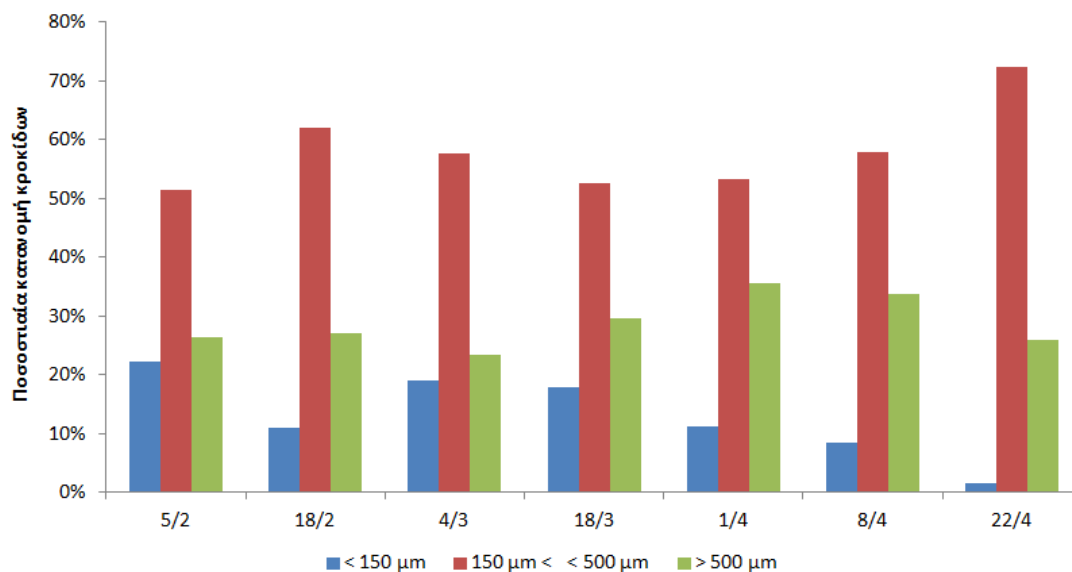
Σχήμα 4.71: Τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI), για όλα τα δείγματα ΕΕΛ Λαμίας.

Παραπάνω στο σχήμα 4.71 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος όπου φαίνεται ότι οι τιμές είναι καθ'όλη τη χρονική διάρκεια που εξετάζονταν δείγματα ανάμεικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας είναι σε φυσιολογικά επίπεδα κάτι που δικαιολογείται και σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές δεικτών FI και SFI. Πρέπει πάντως να επισημανθεί ότι και στην ΕΕΛ Λαμίας όλη αυτή τη χρονική περίοδο γινόταν σταθερά προσθήκη πολυηλεκτρολύτη στην εγκατάσταση.

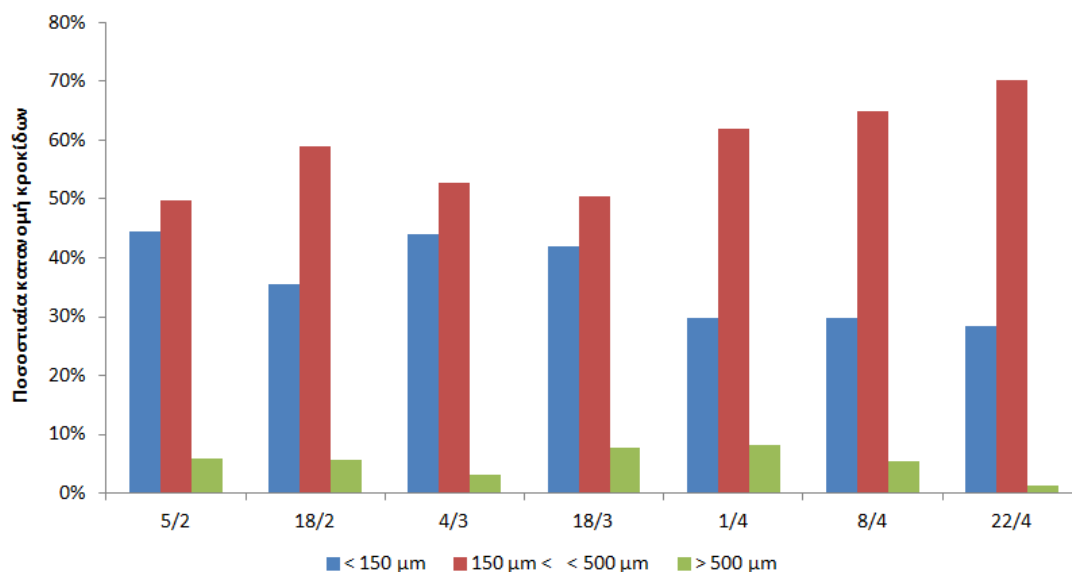
4.1.2.1.4 Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (image analysis) για τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας

Πίνακας 4.12: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για διάφορες μορφολογικές παραμέτρους των κροκίδων που προέκυψαν μετά από χρήση της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (image analysis) για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας.

ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ Ε.Ε.Λ ΛΑΜΙΑΣ	ΛΑΜΙΑ 05/02	ΛΑΜΙΑ 18/02	ΛΑΜΙΑ 04/03	ΛΑΜΙΑ 18/03	ΛΑΜΙΑ 01/04	ΛΑΜΙΑ 08/04	ΛΑΜΙΑ 22/04
MLSS mg/lit	7060	5686,67	5853,33	5980	6693,33	7466,67	6240
DSVI (σε ml/gSS)	115	145	130	155	130	135	145
Item Objects	1742	1386	1915	1115	788	1125	1179
Area	60791,300	62554,689	51314,219	78255,425	84467,616	72893,172	54271,281
Aspect Ratio	1,935	1,924	1,937	1,928	1,992	2,024	2,051
Axis (major)	352,420	362,915	329,169	387,903	436,034	416,878	377,447
Axis (minor)	182,016	196,779	175,668	204,257	221,226	209,622	187,321
Diameter (max)	393,983	403,143	365,829	431,867	484,776	459,998	413,377
Diameter (min)	98,816	114,919	101,567	108,551	114,088	108,116	105,942
Diameter (ave)	211,788	228,877	204,976	232,362	252,583	240,780	220,590
Radius (max)	224,447	229,048	209,015	247,485	276,664	262,587	234,648
Radius (min)	32,854	39,960	34,036	35,930	37,626	34,792	36,224
Perimeter	2132,412	1992,935	1771,364	2179,969	2456,875	2276,734	1903,719
Radius Ratio	20,544	19,469	16,320	23,395	20,535	22,661	17,492
Roundness	7,486	6,570	5,946	6,076	6,706	6,494	6,079
Size (length)	404,617	413,592	376,228	443,572	497,689	473,674	424,032
Size (width)	244,617	258,766	235,299	276,101	300,863	283,310	251,031
Density (ave)	75,289	85,481	93,681	77,443	89,528	79,822	78,533
Density (min)	30,283	33,715	34,981	28,619	35,130	37,343	28,056
Density (max)	170,952	189,406	208,439	180,274	197,998	162,531	179,697
Density (std)	19,324	20,426	24,454	20,764	21,329	16,268	20,319
Margination	0,341	0,338	0,336	0,334	0,340	0,346	0,335
Heterogeneity	0,164	0,191	0,275	0,203	0,210	0,106	0,192
Clumpiness	0,011	0,011	0,009	0,009	0,018	0,023	0,022
PERarea%	32,299%	43,706%	32,968%	41,216%	35,453%	34,332%	30,502%
OBJnum	5	7	6	5	4	5	6
Diameter (average)							
Small (<150um)	774	492	844	468	235	335	335
percentage	44,43%	35,50%	44,07%	41,97%	29,82%	29,78%	28,41%
Medium (150-500um)	865	817	1012	562	489	730	828
percentage	49,66%	58,95%	52,85%	50,40%	62,06%	64,89%	70,23%
Large (500um)	103	77	59	85	64	60	16
percentage	5,91%	5,56%	3,08%	7,62%	8,12%	5,33%	1,36%
Diameter (maximum)							
Small (<150um)	387	152	363	200	88	96	19
percentage	22,22%	10,97%	18,96%	17,94%	11,17%	8,53%	1,61%
Medium (150-500um)	896	858	1103	586	419	650	854
percentage	51,44%	61,90%	57,60%	52,56%	53,17%	57,78%	72,43%
Large (500um)	459	376	449	329	281	379	306
percentage	26,35%	27,13%	23,45%	29,51%	35,66%	33,69%	25,95%

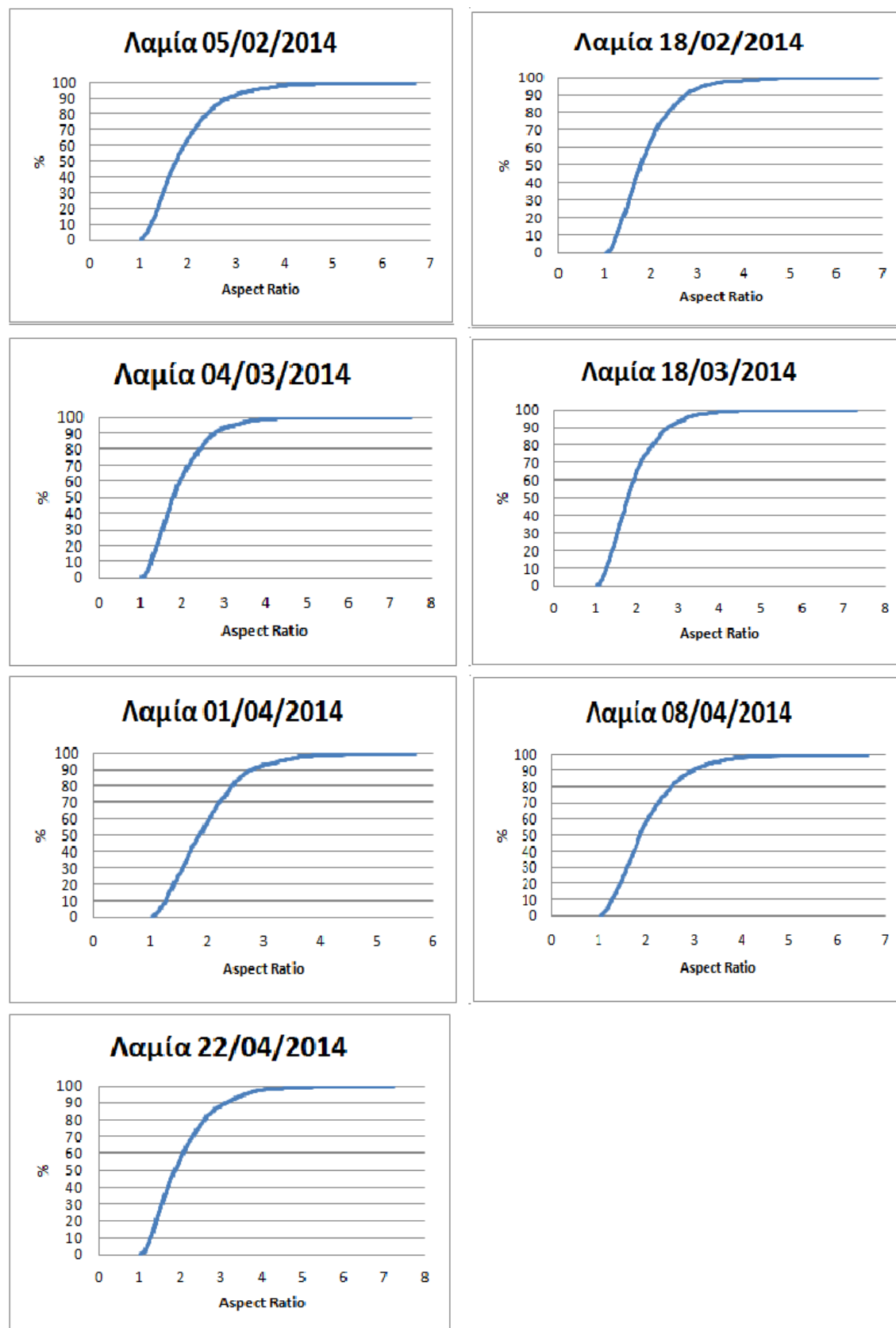


Σχήμα 4.72: Ποσοστιαία κατανομή κροκίδων για την παράμετρο diameter maximum (μέγιστη διάμετρος) για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας.

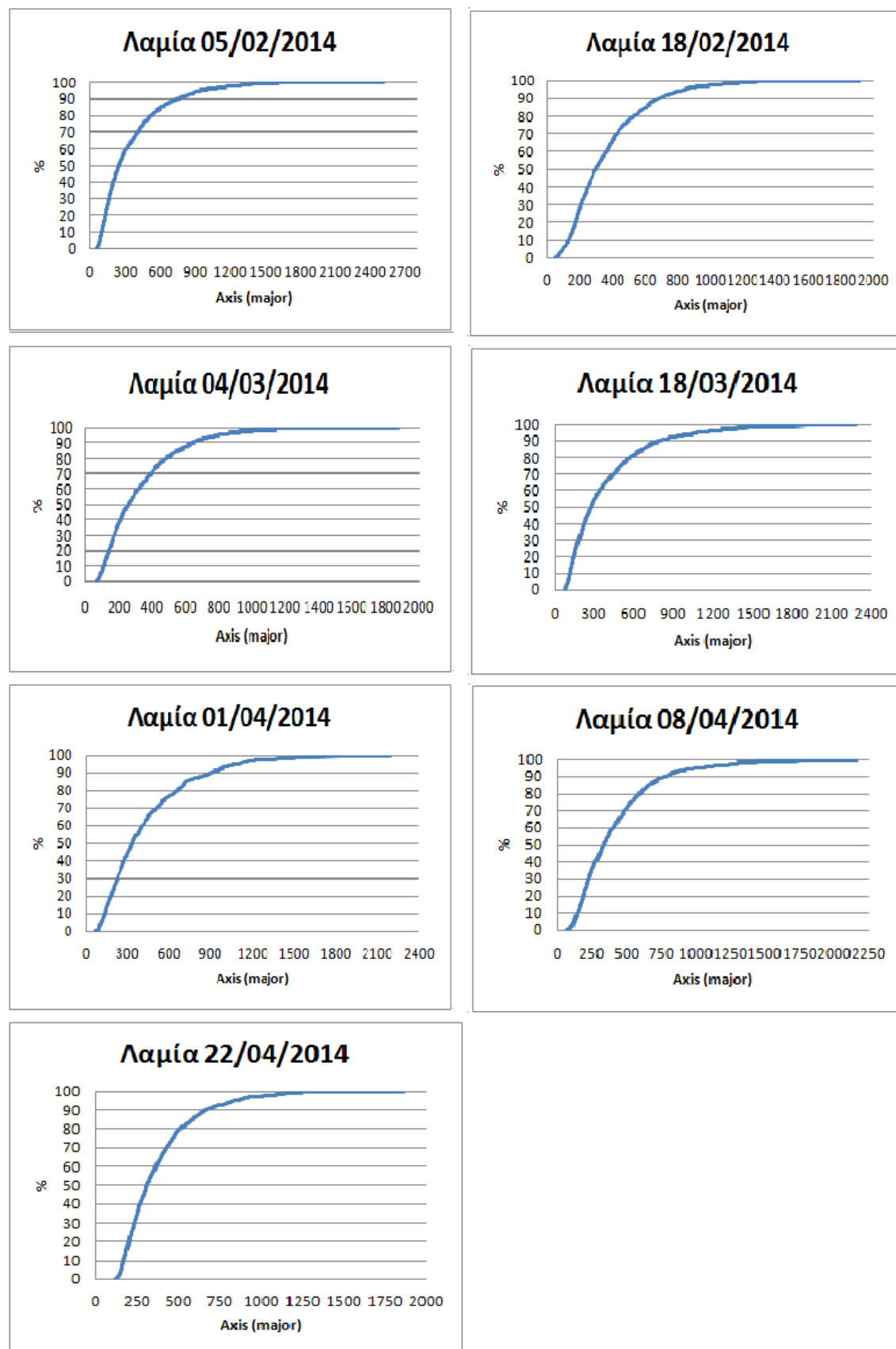


Σχήμα 4.73: Ποσοστιαία κατανομή κροκίδων για την παράμετρο diameter average (μέση διάμετρος) για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας.

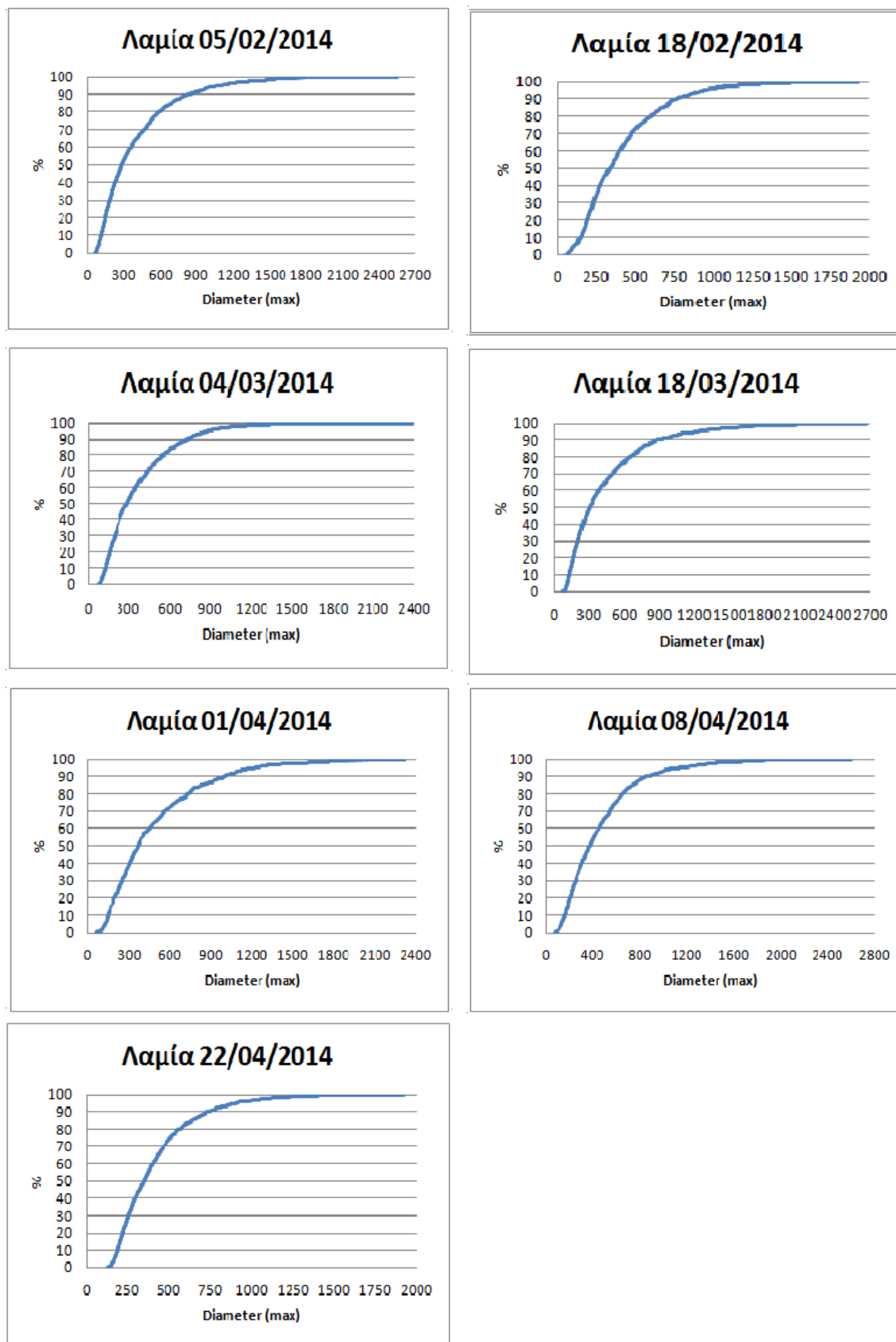
4.1.2.1.5 Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων για τα δείγματα από την ΕΕΛ Λαμίας



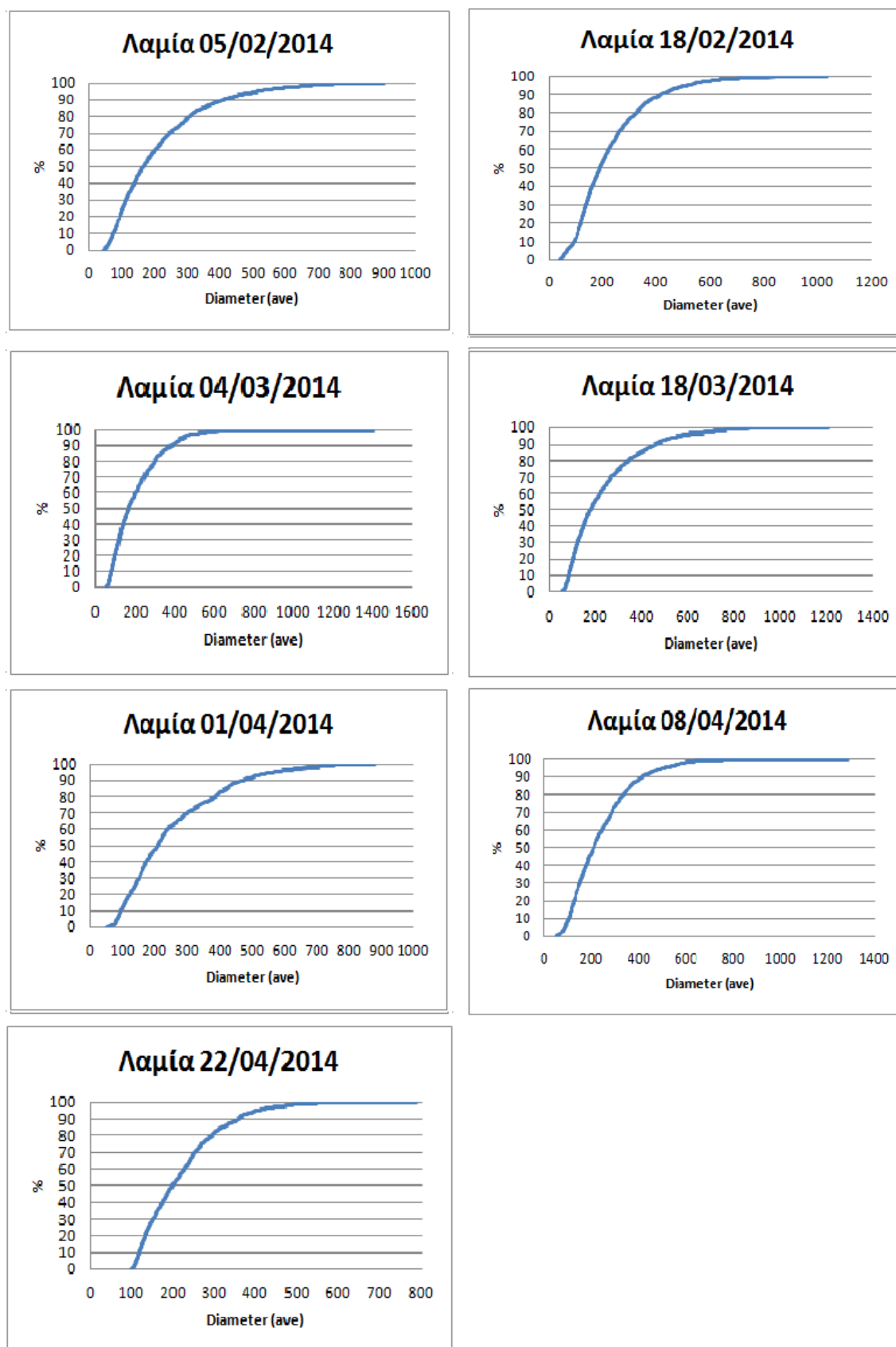
Σχήμα 4.74: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του aspect ratio των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας.



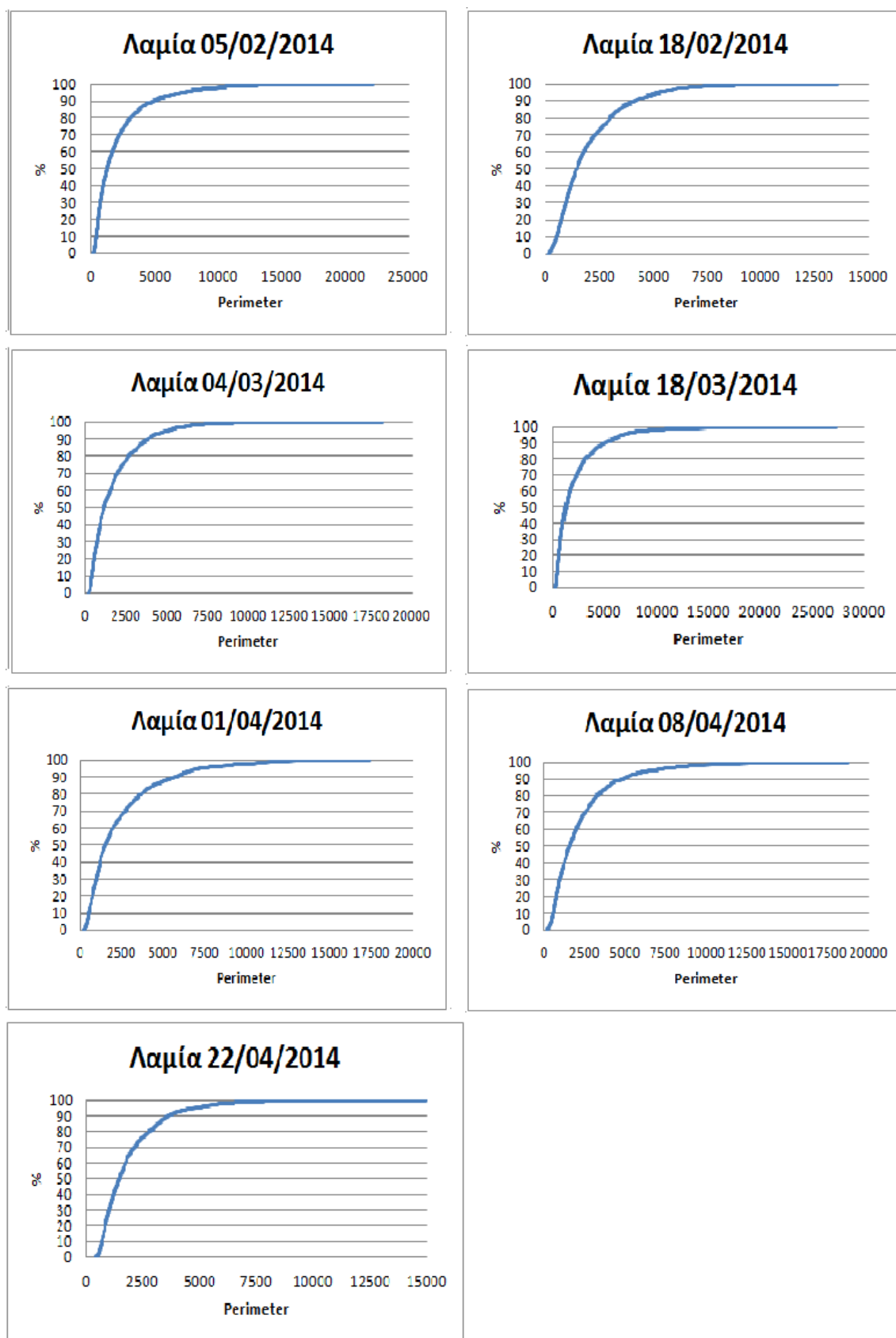
Σχήμα 4.75: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του axis major των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας.



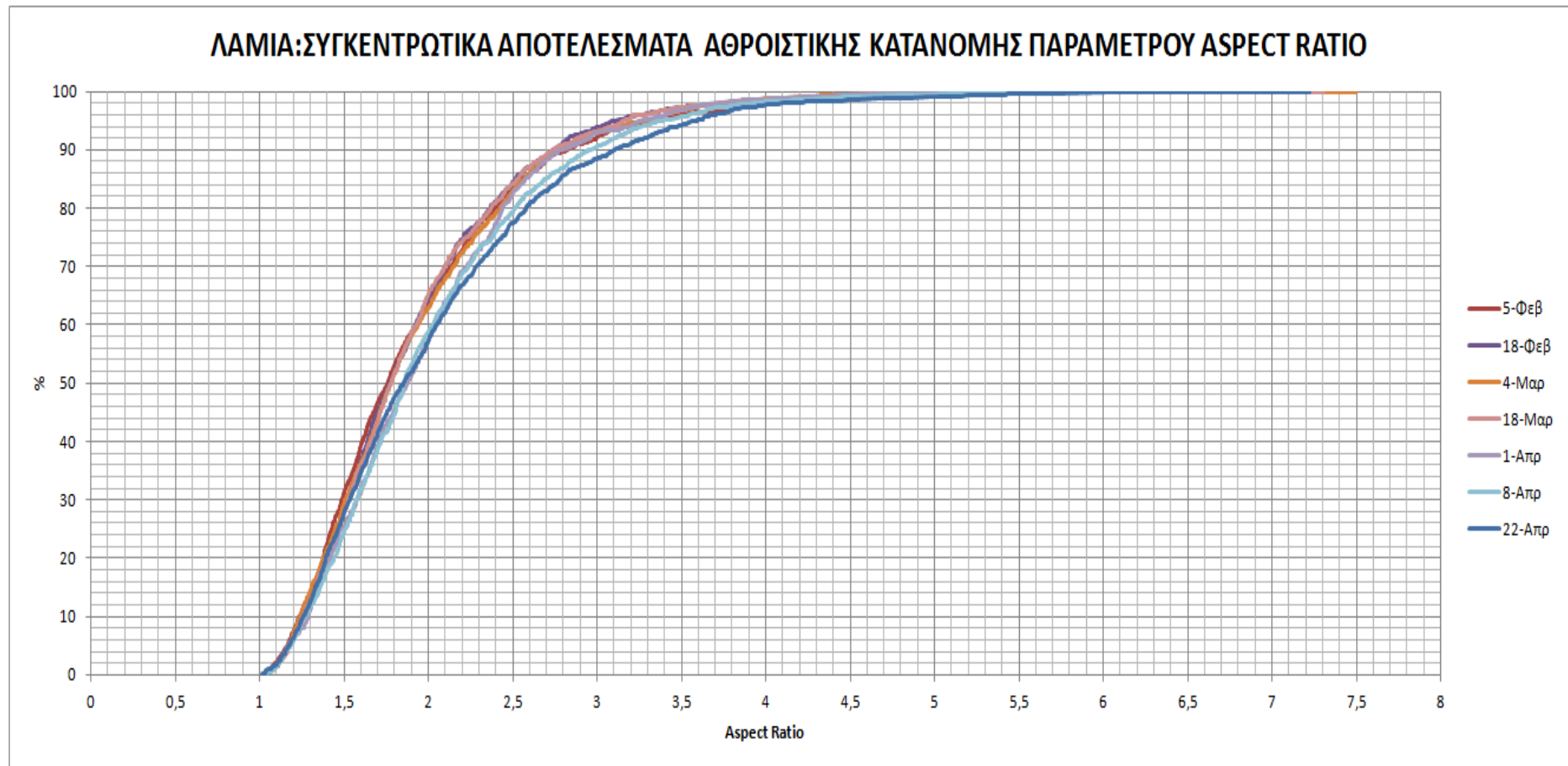
Σχήμα 4.76: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του diameter (max) των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας.



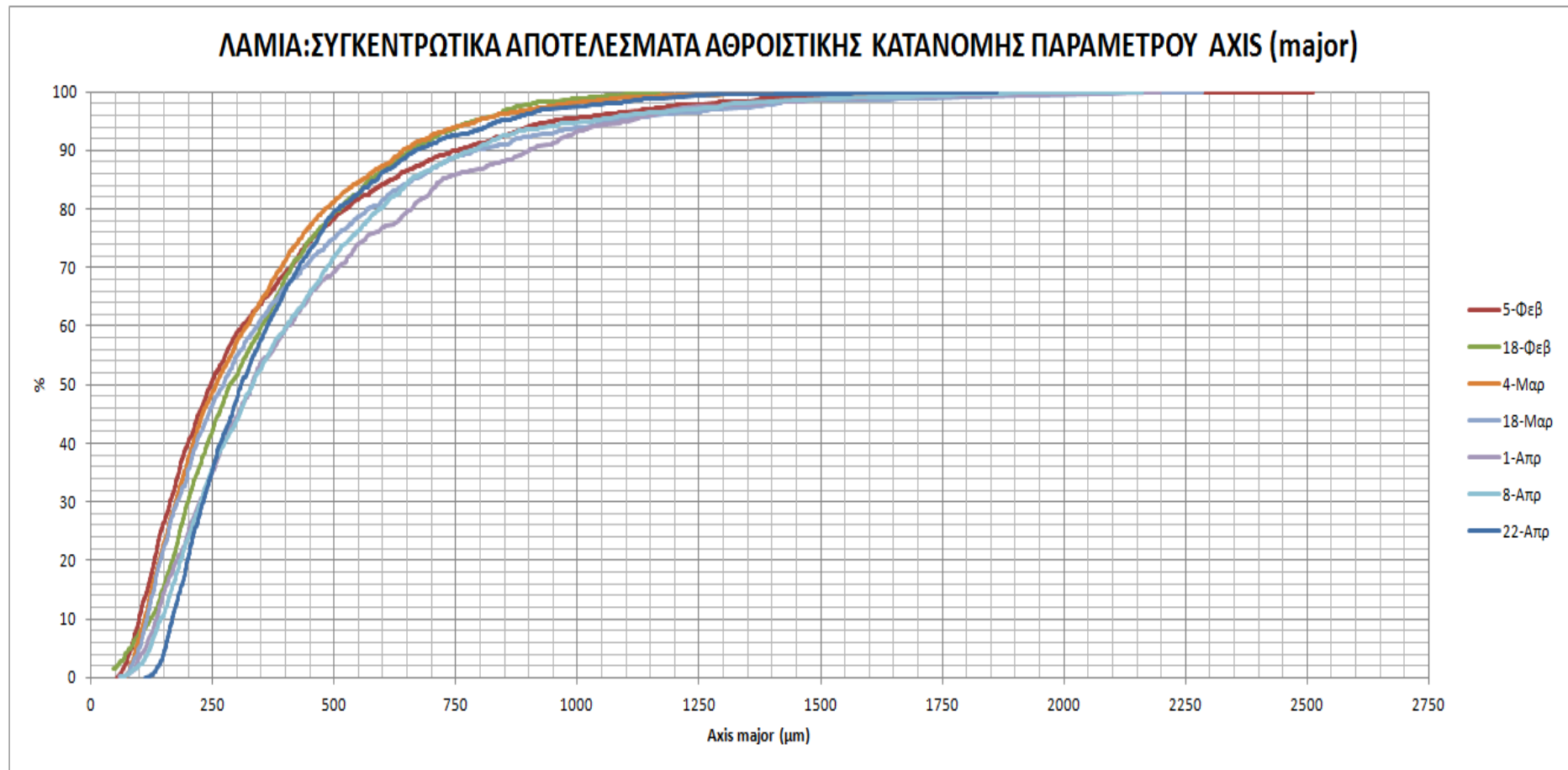
Σχήμα 4.77: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του diameter (ave) των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας.



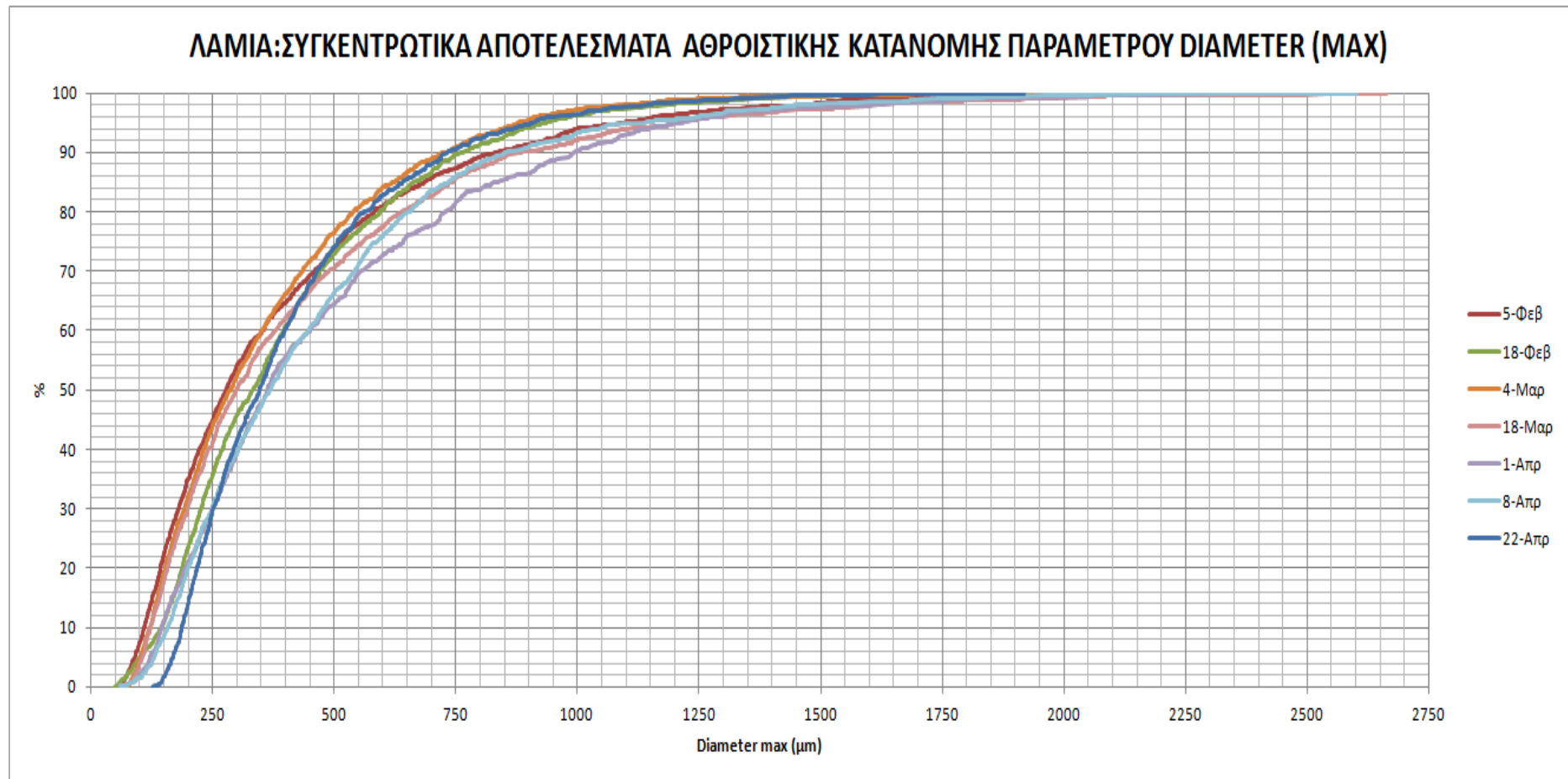
Σχήμα 4.78: Αθροιστική κατανομή των αποτελεσμάτων του perimeter των κροκίδων για κάθε ένα δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας.



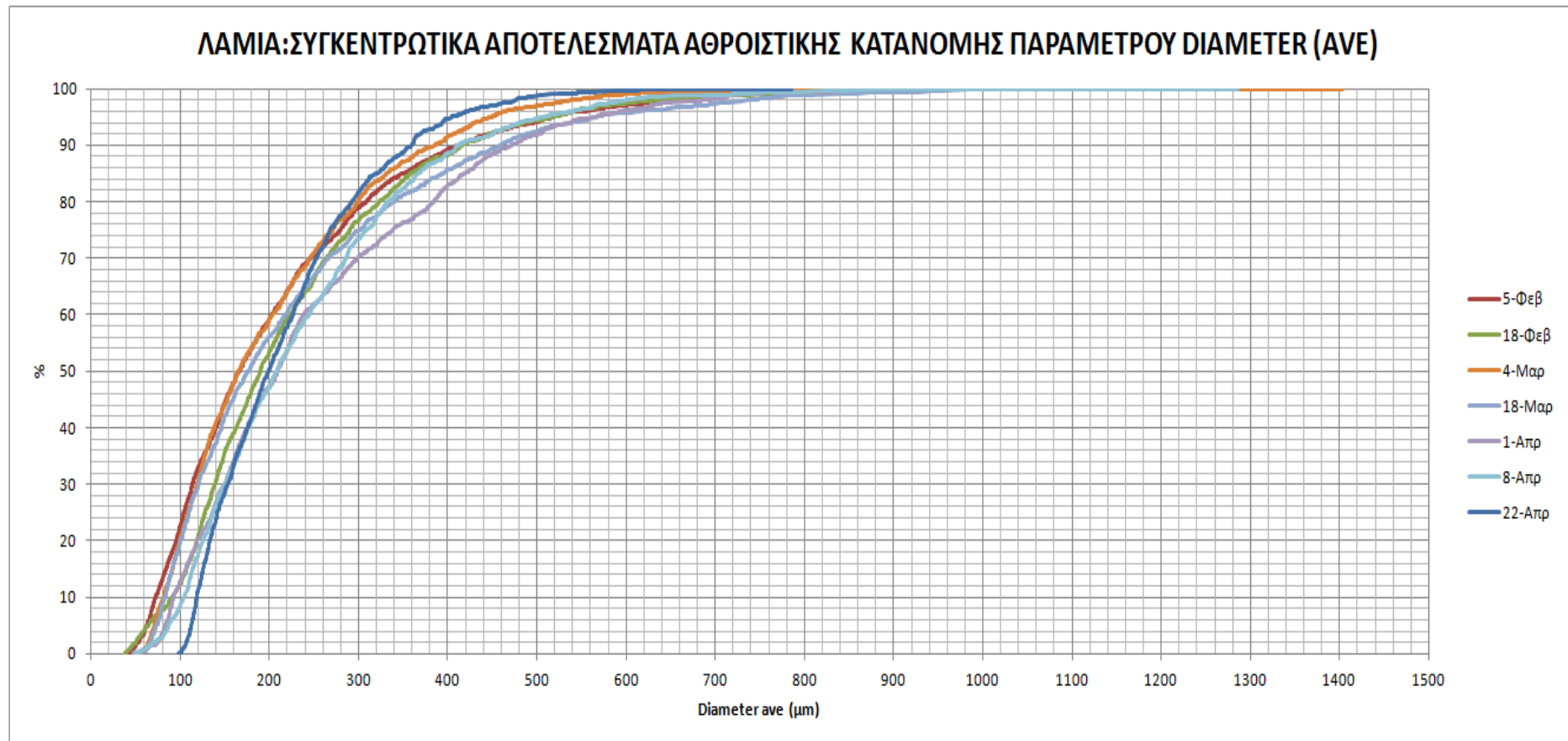
Σχήμα 4.79: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου aspect ratio των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.



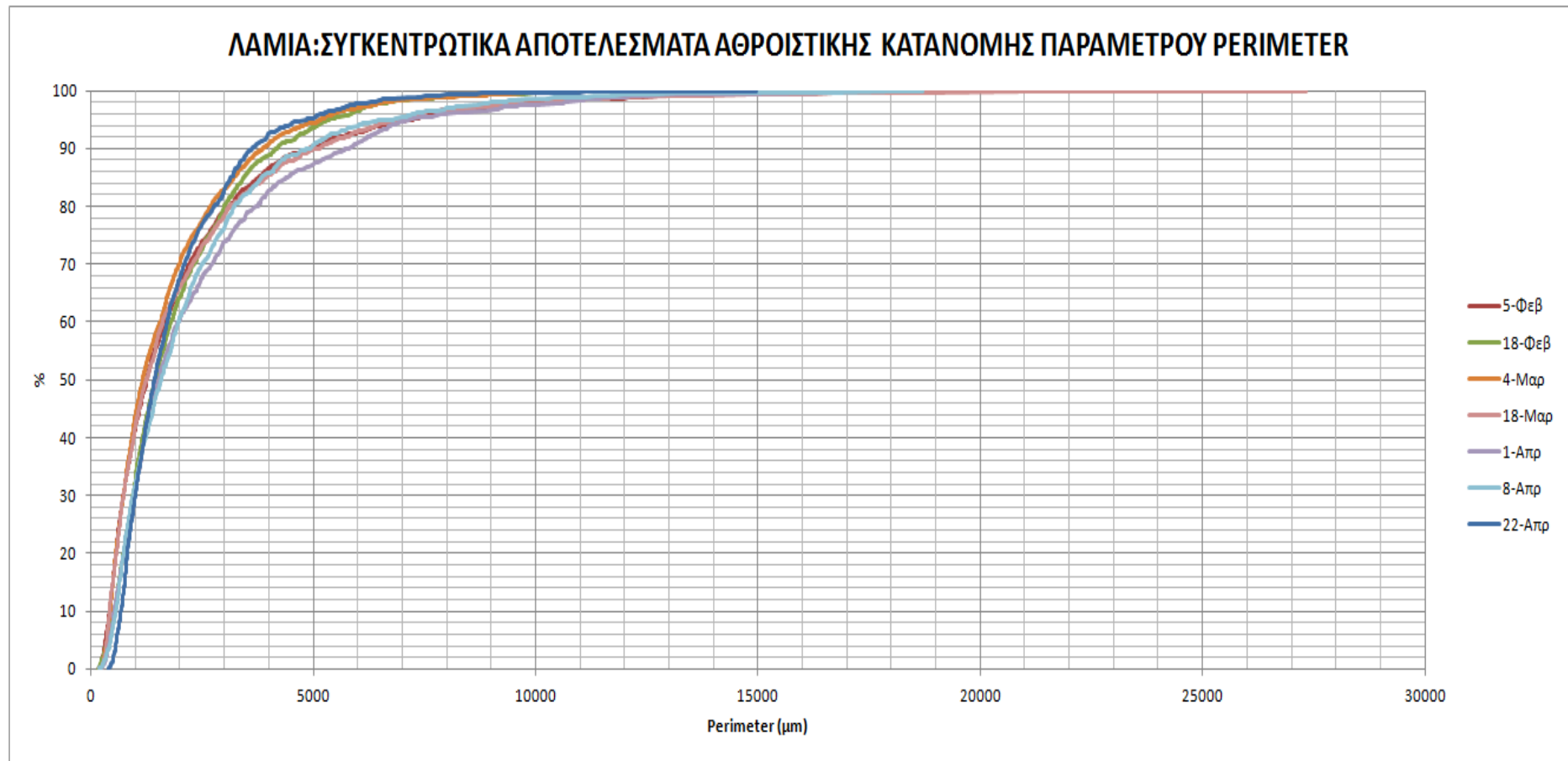
Σχήμα 4.80: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου axis major των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.



Σχήμα 4.81: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου diameter (max) των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.



Σχήμα 4.82: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου diameter (ave) των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.



Σχήμα 4.83: Αθροιστική κατανομή όλων των αποτελεσμάτων της παραμέτρου perimeter των κροκίδων για όλα τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα.

Πίνακας 4.13: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας παρουσιάζονται οι τιμές του aspect ratio που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων

Λαμία	Aspect Ratio		
Δειγματοληψία	AR50	AR80	AR90
5-Φεβ	1,759	2,391	2,82
18-Φεβ	1,772	2,366	2,742
4-Μαρ	1,779	2,429	2,77
18-Μαρ	1,781	2,371	2,743
1-Απρ	1,876	2,44	2,793
8-Απρ	1,859	2,516	2,956
22-Απρ	1,856	2,579	3,102

Πίνακας 4.14: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας παρουσιάζονται οι τιμές του axis major που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων

Λαμία	Axis major		
Δειγματοληψία	Am50	Am80	Am90
5-Φεβ	246,716	523,064	751,538
18-Φεβ	298,489	526,134	688,112
4-Μαρ	257,658	480,893	640,906
18-Μαρ	273,284	571,588	789,469
1-Απρ	331,073	659,267	901,245
8-Απρ	331,553	597,458	779,972
22-Απρ	309,013	509,545	667,543

Πίνακας 4.15: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας παρουσιάζονται οι τιμές του diameter (max) που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων

Λαμία	Diameter (max)		
Δειγματοληψία	D _{max} 50	D _{max} 80	D _{max} 90
5-Φεβ	278,169	581,944	832,969
18-Φεβ	333,151	594,123	764,077
4-Μαρ	287,286	539,219	727,028
18-Μαρ	298,87	638,686	882,529
1-Απρ	362,322	729,261	992,925
8-Απρ	369,38	653,504	850,358
22-Απρ	346,696	561,26	731,522

Πίνακας 4.16: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας παρουσιάζονται οι τιμές του diameter (ave) που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων

Λαμία	Diameter (ave)		
	D _{ave} 50	D _{ave} 80	D _{ave} 90
Δειγματοληψία			
5-Φεβ	166,542	309,013	412,151
18-Φεβ	190,129	324,072	416,285
4-Μαρ	165,397	299,3	384,767
18-Μαρ	176,606	338,967	458,715
1-Απρ	209,03	384,204	472,298
8-Απρ	208,456	332,524	411,798
22-Απρ	199,387	292,578	360,009

Πίνακας 4.17: Για κάθε δείγμα από την ΕΕΛ Λαμίας παρουσιάζονται οι τιμές του perimeter που αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων

Λαμία	Perimeter		
	P50	P80	P90
Δειγματοληψία			
5-Φεβ	1254,045	3117,743	4907,939
18-Φεβ	1448,904	3007,602	4176,65
4-Μαρ	1171,818	2695,231	3861,725
18-Μαρ	1255,626	3103,662	5138,679
1-Απρ	1530,309	3736,995	5806,683
8-Απρ	1586,502	3220,862	4920,109
22-Απρ	1422,741	2778,716	3618,003

Από τα αποτελέσματα είναι φανερό ότι σε ότι αφορά στην παράμετρο aspect ratio, που υποδηλώνει το λόγο του μέγιστου άξονα ως προς τον ελάχιστο άξονα σε μια έλλειψη, είναι εύκολο να παρατηρήσει κανείς ότι το 50% των κροκίδων εμφανίζουν aspect ratio που κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1,759 έως 1,876, ενώ το 80% και το 90% εμφανίζουν aspect ratio που είναι πάντοτε πολύ μεγαλύτερο της μονάδας και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 2,366-3,102. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι η τιμή του aspect ratio, τόσο πιο κυκλική είναι η κροκίδα. Επομένως, η πλειοψηφία των κροκίδων τείνει να έχει επίμηκες σχήμα και όχι κυκλικό.

Σε ότι αφορά τον μέγιστο άξονα (axis major) παρατηρείται ότι το 50% των κροκίδων παρουσιάζουν τιμές από 247-332μm περίπου, ενώ το 80% και το 90% των κροκίδων παρουσιάζει τιμές μέγιστου άξονα από 481μm έως 901μm περίπου.

Η μέγιστη διάμετρος παρουσιάζει ανάλογες διακυμάνσεις με τον μέγιστο άξονα, δηλαδή πιο συγκεκριμένα για το 50% των κροκίδων παρουσιάζει τιμές από 278μm μέχρι 369μm περίπου, ενώ το 80% και το 90% των κροκίδων παρουσιάζει μέγιστη διάμετρο από 539μm έως 993μm.

Η μέση διάμετρος παρουσιάζει μικρότερες τιμές από την μέγιστη διάμετρο και πιο αναλυτικά παρατηρείται ότι οι τιμές για το 50% των κροκίδων κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 165-209μm περίπου, ενώ για το 80% και 90% των κροκίδων παρουσιάζει τιμές μέσης διαμέτρου από 293μm μέχρι 472μm περίπου.

Τέλος, όσον αφορά στην περίμετρο οι τιμές για το 50% των κροκίδων φαίνεται να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1172-1587μm περίπου, ενώ για το 80% και 90% των κροκίδων κυμαίνεται από 2695μm έως 5807μm περίπου.

4.1.2.1.6 Συσχέτιση των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων και των παραμέτρων καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος για τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας

Σε αυτό το κεφάλαιο έγινε μία προσπάθεια προσδιορισμού του είδους της αλληλεπίδρασης μεταξύ των τιμών κάποιων μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων, των τιμών των ίδιων μορφολογικών παραμέτρων που εξετάστηκαν και αντιστοιχούν στο 50%, στο 80% και στο 90% των κροκίδων, των τιμών των παραμέτρων V_o και n της εξίσωσης Vesilind, των τιμών του δείκτη καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος DSVI, των τιμών των ολικών αιωρούμενων στερεών (MLSS) και τέλος των τιμών PERarea% και OBJnum. Η συσχέτιση αυτή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης r του Pearson. Πρέπει να σημειωθεί ότι στη συσχέτιση συμπεριλήφθηκαν μόνο τα δείγματα από την ΕΕΛ Λαμίας για τα οποία υπήρχαν αποτελέσματα για όλες τις παραπάνω παραμέτρους.

Πίνακας 4.18: Σύνολο δεδομένων από την ΕΕΛ Λαμίας για την κατάστροψη πίνακα με συσχέτιση των παραμέτρων με χρήση του συντελεστή συσχέτισης του Pearson.

ΛΑΜΙΑ	5-Φεβ	18-Φεβ	1-Απρ	22-Απρ
AR50	1,759	1,772	1,876	1,859
AR80	2,391	2,366	2,44	2,516
AR90	2,82	2,742	2,793	2,956
Am50	246,716	298,489	331,073	331,553
Am80	523,064	526,134	659,267	597,458
Am90	751,538	688,112	901,245	779,972
Dmax50	278,169	333,151	362,322	369,38
Dmax80	581,944	594,123	729,261	653,504
Dmax90	832,969	764,077	992,925	850,358
Dave50	166,542	190,129	209,03	208,456
Dave80	309,013	324,072	384,204	332,524
Dave90	412,151	416,285	472,298	411,798
P50	1254,045	1448,904	1530,309	1586,502
P80	3117,743	3007,602	3736,995	3220,862
P90	4907,939	4176,65	5806,683	4920,109
V_o	32,55	22,15	28,41	26,13
N	0,927	1,138	1,048	1,068
V_o/n	35,11327	19,46397	27,10878	24,46629
MLSS	7060	5686,67	6693,33	7466,67
DSVI	115	145	130	135
PERarea(%)	0,32299	0,43706	0,35453	0,34332
OBJ num (1mm)	5	7	4	5
Aspect Ratio	1,935	1,924	1,992	2,024
Axis major	352,420	362,915	436,034	416,878
Diameter max	393,983	403,143	484,776	459,998
Diameter ave	211,788	228,877	252,583	240,780
Perimeter	2132,412	1992,935	2456,875	2276,734

Πίνακας 4.19: Συσχέτιση των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων (aspect ratio, axis major, diameter max, diameter ave, perimeter, PERarea(%), OBJnum (1mm²) και των παραμέτρων καθιζησιμότητας (DSVI,Vo,n) της ενεργού ύλης με το συντελεστή συσχέτισης του Pearson

	AR50	AR80	AR90	Am50	Am80	Am90	Dmax50	Dmax80	Dmax90	Dave50	Dave80	Dave90	P50	P80	P90	Vo	n	Vo/n	MLSS	DSVI	PERarea(%)	OBJnum	AR	Am	Dmax	Dave	P	
AR50	1,000																											
AR80	0,791	1,000																										
AR90	0,468	0,909	1,000																									
Am50	0,886	0,658	0,320	1,000																								
Am80	0,958	0,616	0,255	0,790	1,000																							
Am90	0,811	0,463	0,158	0,506	0,929	1,000																						
Dmax50	0,869	0,677	0,357	0,998	0,756	0,459	1,000																					
Dmax80	0,936	0,543	0,163	0,788	0,995	0,924	0,750	1,000																				
Dmax90	0,776	0,404	0,098	0,470	0,911	0,998	0,419	0,911	1,000																			
Dave50	0,911	0,682	0,342	0,998	0,822	0,551	0,994	0,817	0,515	1,000																		
Dave80	0,824	0,310	-0,099	0,724	0,936	0,881	0,677	0,965	0,883	0,746	1,000																	
Dave90	0,641	0,072	-0,308	0,488	0,828	0,872	0,429	0,870	0,893	0,515	0,954	1,000																
P50	0,843	0,704	0,410	0,988	0,707	0,395	0,996	0,696	0,352	0,982	0,609	0,347	1,000															
P80	0,800	0,362	0,013	0,555	0,937	0,983	0,503	0,949	0,987	0,593	0,946	0,944	0,433	1,000														
P90	0,726	0,432	0,181	0,364	0,857	0,985	0,316	0,845	0,986	0,414	0,792	0,815	0,254	0,946	1,000													
Vo	-0,073	0,041	0,178	-0,527	0,054	0,393	-0,552	0,017	0,408	-0,477	-0,053	0,118	-0,577	0,268	0,546	1,000												
n	0,243	0,038	-0,175	0,662	0,137	-0,205	0,678	0,178	-0,220	0,618	0,249	0,070	0,690	-0,073	-0,371	-0,980	1,000											
Vo/n	-0,199	-0,042	0,142	-0,630	-0,077	0,271	-0,652	-0,114	0,288	-0,584	-0,175	0,010	-0,670	0,145	0,433	0,991	-0,997	1,000										
MLSS	0,416	0,774	0,874	0,067	0,318	0,402	0,079	0,230	0,361	0,111	-0,010	-0,097	0,103	0,231	0,485	0,624	-0,594	0,580	1,000									
DSVI	0,183	0,026	-0,154	0,617	0,062	-0,284	0,638	0,100	-0,300	0,570	0,164	-0,018	0,657	-0,157	-0,445	-0,993	0,996	-1,000	-0,592	1,000								
PERarea(%)	-0,261	-0,498	-0,602	0,187	-0,277	-0,498	0,196	-0,207	-0,482	0,134	-0,031	-0,065	0,200	-0,337	-0,621	-0,884	0,843	-0,846	-0,913	0,854	1,000							
OBJ num (1mm)	-0,661	-0,546	-0,396	-0,239	-0,748	-0,905	-0,203	-0,710	-0,896	-0,295	-0,596	-0,609	-0,159	-0,815	-0,956	-0,696	0,552	-0,596	-0,712	0,609	0,820	1,000						
Aspect Ratio	0,905	0,976	0,800	0,761	0,772	0,622	0,767	0,713	0,569	0,788	0,510	0,284	0,776	0,546	0,574	0,026	0,090	-0,077	0,698	0,060	-0,459	-0,632	1,000					
Axis major	0,997	0,742	0,400	0,883	0,976	0,837	0,861	0,960	0,807	0,908	0,866	0,698	0,829	0,837	0,751	-0,072	0,249	-0,201	0,365	0,184	-0,234	-0,666	0,870	1,000				
Diameter max	0,993	0,722	0,375	0,866	0,984	0,859	0,842	0,970	0,832	0,894	0,882	0,725	0,807	0,860	0,776	-0,044	0,225	-0,174	0,361	0,158	-0,247	-0,687	0,855	0,999	1,000			
Diameter ave	0,932	0,568	0,175	0,952	0,920	0,719	0,930	0,930	0,697	0,962	0,900	0,730	0,894	0,775	0,592	-0,341	0,514	-0,462	0,058	0,448	0,085	-0,431	0,720	0,948	0,945	1,000		
Perimeter	0,892	0,639	0,352	0,596	0,952	0,978	0,560	0,931	0,962	0,641	0,839	0,774	0,511	0,940	0,957	0,350	-0,167	0,224	0,531	-0,239	-0,549	-0,914	0,771	0,903	0,917	0,760	1,000	

Πίνακας 4.20: Χρωματική απεικόνιση της ύπαρξης ή μη συσχέτισης και της έντασής της μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων των δειγμάτων ΕΕΛ Λαμίας.

	AR50	AR80	AR90	Am50	Am80	Am90	Dmax50	Dmax80	Dmax90	Dave50	Dave80	Dave90	P50	P80	P90	Vo	n	Vo/n	MLSS	DSVI	PERarea(%)	OBJnum	AR	Am	Dmax	Dave	P													
AR50	1,000																																							
AR80	0,791	1,000																																						
AR90	0,468	0,909	1,000																																					
Am50	0,886	0,658	0,320	1,000																																				
Am80	0,958	0,616	0,255	0,790	1,000																																			
Am90	0,811	0,463	0,158	0,506	0,929	1,000																																		
Dmax50	0,869	0,677	0,357	0,998	0,756	0,459	1,000																																	
Dmax80	0,936	0,543	0,163	0,788	0,995	0,924	0,750	1,000																																
Dmax90	0,776	0,404	0,098	0,470	0,911	0,998	0,419	0,911	1,000																															
Dave50	0,911	0,682	0,342	0,998	0,822	0,551	0,994	0,817	0,515	1,000																														
Dave80	0,824	0,310	-0,099	0,724	0,936	0,881	0,677	0,965	0,883	0,746	1,000																													
Dave90	0,641	0,072	-0,308	0,488	0,828	0,872	0,429	0,870	0,893	0,515	0,954	1,000																												
P50	0,843	0,704	0,410	0,988	0,707	0,395	0,996	0,696	0,352	0,982	0,609	0,347	1,000																											
P80	0,800	0,362	0,013	0,555	0,937	0,983	0,503	0,949	0,987	0,593	0,946	0,944	0,433	1,000																										
P90	0,726	0,432	0,181	0,364	0,857	0,985	0,316	0,845	0,986	0,414	0,792	0,815	0,254	0,946	1,000																									
Vo	-0,759	-0,871	-0,779	-0,422	-0,703	-0,729	-0,416	-0,634	-0,689	-0,470	-0,425	-0,307	-0,412	-0,604	-0,757	1,000																								
n	-0,103	-0,287	-0,412	0,361	-0,174	-0,460	0,379	-0,117	-0,458	0,308	0,012	-0,091	0,393	-0,311	-0,601	0,674	1,000																							
Vo/n	-0,929	-0,888	-0,636	-0,931	-0,788	-0,543	-0,938	-0,751	-0,492	-0,942	-0,599	-0,341	-0,944	-0,523	-0,441	0,686	-0,075	1,000																						
MLSS	0,416	0,774	0,874	0,067	0,318	0,402	0,079	0,230	0,361	0,111	-0,010	-0,097	0,103	0,231	0,485	-0,898	-0,799	-0,420	1,000																					
DSVI	0,183	0,026	-0,154	0,617	0,062	-0,284	0,638	0,100	-0,300	0,570	0,164	-0,018	0,657	-0,157	-0,445	0,408	0,949	-0,383	-0,592	1,000																				
PERarea(%)	-0,261	-0,498	-0,602	0,187	-0,277	-0,498	0,196	-0,207	-0,482	0,134	-0,031	-0,065	0,200	-0,337	-0,621	0,810	0,973	0,133	-0,913	0,854	1,000																			
OBJ num (1mm)	-0,661	-0,546	-0,396	-0,239	-0,748	-0,905	-0,203	-0,710	-0,896	-0,295	-0,596	-0,609	-0,159	-0,815	-0,956	0,877	0,782	0,420	-0,712	0,609	0,820	1,000																	τέλεια	
Aspect Ratio	0,905	0,976	0,800	0,761	0,772	0,622	0,767	0,713	0,569	0,788	0,510	0,284	0,776	0,546	0,574	-0,886	-0,259	-0,941	0,698	0,060	-0,459	-0,632	1,000														πολύ ισχυρή			
Axis major	0,997	0,742	0,400	0,883	0,976	0,837	0,861	0,960	0,807	-0,908	0,866	0,698	0,829	0,837	0,751	-0,729	-0,089	-0,904	0,365	0,184	-0,234	-0,666	0,870	1,000													ισχυρή			
Diameter max	0,993	0,722	0,375	0,866	0,984	0,859	0,842	0,970	0,832	-0,894	0,882	0,725	0,807	0,860	0,776	-0,729	-0,109	-0,884	0,361	0,158	-0,247	-0,687	0,855	0,999	1,000												μέση			
Diameter ave	0,932	0,568	0,175	0,952	0,920	0,719	0,930	0,930	0,697	0,962	0,900	0,730	0,894	0,775	0,592	-0,473	0,215	-0,860	0,058	0,448	0,085	-0,431	0,720	0,948	0,945	1,000											ασθενής			
Perimeter	0,892	0,639	0,352	0,596	0,952	0,978	0,560	0,931	0,962	0,641	0,839	0,774	0,511	0,940	0,957	-0,838	-0,466	-0,682	0,531	-0,239	-0,549	-0,914	0,771	0,903	0,917	0,760	1,000										καμία συσχέτιση			

Από την επεξεργασία του παραπάνω πίνακα για κάθε παράμετρο προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Το aspect ratio φαίνεται να παρουσιάζει ισχυρή ή πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση με τις διαστάσεις των κροκίδων (μέγιστο άξονα, μέγιστη και μέση διάμετρο) αλλά και με την περίμετρο των κροκίδων. Δηλαδή όσο αυξάνονται οι διαστάσεις της κροκίδας φαίνεται πως η έλλειψη που τις περικλείει τείνει να αποκτά πιο ελλειπτικό σχήμα και το σχήμα της να σχετίζεται με το συνολικό μήκος του περιγράμματος της κροκίδας. Με τις υπόλοιπες παραμέτρους που σχετίζονται με την καθιζησιμότητα της ιλύος δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση όσο αφορά στο δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος, ενώ υπάρχει μία ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το V_0 και το V_0/n , ενώ αντίθετα με το n δεν εντοπίζεται καμία συσχέτιση. Με τη συγκέντρωση στερεών (MLSS) φαίνεται να υπάρχει μία μέση θετική συσχέτιση, δηλαδή όσο πιο ελλειψοειδές είναι το σχήμα των κροκίδων, τόσο αυξάνεται η συγκέντρωση των στερεών. Μέση αρνητική συσχέτιση υπάρχει μεταξύ aspect ratio και αριθμού αντικειμένων ανά mm^2 , δηλαδή όσο πιο ελλειψοειδείς γίνονται οι κροκίδες, τόσο μειώνεται ο αριθμός τους ανά mm^2 . Μία ασθενής αρνητική συσχέτιση εμφανίζεται και με το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες, δηλαδή όσο πιο ελλειψοειδείς γίνονται οι κροκίδες, τόσο αυξάνεται το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες.
- Οι διαστάσεις της κροκίδας, δηλαδή ο μέγιστος άξονας, η μέγιστη διάμετρος και η μέση διάμετρος φαίνεται να παρουσιάζουν ισχυρές ή πολύ ισχυρές θετικές συσχετίσεις μεταξύ τους, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο. Επιπλέον παρουσιάζουν θετικές συσχετίσεις και με την περίμετρο, δηλαδή αύξηση του μήκους του περιγράμματος της κροκίδας επιφέρει και αύξηση στο μέγεθος των διαστάσεων της κροκίδας. Καμία συσχέτιση δεν φαίνεται να υπάρχει μεταξύ των διαστάσεων της κροκίδας και του ποσοστού κάλυψης της επιφάνειας, ενώ μέσες αρνητικές συσχετίσεις υπάρχουν με τον αριθμό αντικειμένων ανά mm^2 . Αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί καθώς οι μεγαλύτερες κροκίδες καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο στο πλακίδιο και επομένως ο αριθμός τους ανά mm^2 θα είναι μικρότερος. Το μέγεθος των κροκίδων φαίνεται να μην συσχετίζεται με το δείκτη καθιζησιμότητας DSVI και να παρουσιάζει μηδενική συσχέτιση και με την παράμετρο n . Πολύ ισχυρή συσχέτιση διακρίνεται με το λόγο V_0/n και ισχυρή συσχέτιση με το V_0 , ενώ δεν έχει ή έχει ασθενή συσχέτιση με τη συγκέντρωση στερεών (MLSS).
- Η περίμετρος της κροκίδας φαίνεται να μην έχει καμία συσχέτιση με το δείκτη καθιζησιμότητας (DSVI), πράγμα το οποίο δεν είναι αναμενόμενο, δεδομένου ότι αύξηση στην περίμετρο της κροκίδας συνεπάγεται μάλλον και αύξηση στο μέγεθός της και μεγαλύτερες κροκίδες συνεπάγονται κατά συνέπεια μείωση του δείκτη καθιζησιμότητας. Επίσης, παρουσιάζεται μία μέση θετική συσχέτιση με τη συγκέντρωση στερεών (MLSS). Μία μέση αρνητική συσχέτιση φαίνεται να υπάρχει με το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες, πράγμα που δεν φαίνεται να είναι λογικό. Από την άλλη πλευρά, μία αρνητική ισχυρή συσχέτιση υπάρχει με τον αριθμό αντικειμένων ανά mm^2 , πράγμα λογικό, αφού αν αύξηση της περιμέτρου συνεπάγεται αυτονόητα και μεγαλύτερες κροκίδες, ο αριθμός των αντικειμένων θα είναι μικρότερος, αφού αυτά θα καταλαμβάνουν μεγαλύτερη επιφάνεια.
- Τα συμπεράσματα για τις ίδιες παραμέτρους που εξετάστηκαν παραπάνω αλλά για το 50%, το 80% και το 90% των κροκίδων διαφοροποιούνται κατά περίπτωση, αλλά χωρίς να ακολουθείται κάποιος γενικός κανόνας.

4.1.2.2 Αποτελέσματα και σχολιασμός πειραμάτων με προσθήκη κροκιδωτικών σε δείγματα ενεργού ιλύος της ΕΕΛ Λαμίας

Στα πλαίσια των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν, αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί μία σειρά πειραμάτων προσδιορισμού του δείκτη DSVI και των ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014), στο οποίο έγινε προσθήκη κροκιδωτικών.

Εν συνεχεία, διενεργήθηκε καταμέτρηση κροκίδων και καταγραφή των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών με τη βοήθεια του λογισμικού image analysis. Τα πλακάκια που σαρώθηκαν και επεξεργάστηκαν μέσω του λογισμικού, ήταν ένα για κάθε κροκιδωτικό και κάθε δόση και τρία για δείγμα χωρίς προσθήκη κροκιδωτικού, δηλαδή συνολικά 18 πλακάκια. Δεν επιλέχθηκε να σαρωθούν από τρία πλακάκια για κάθε δόση και κάθε κροκιδωτικό λόγω του μεγάλου αριθμού πειραματικών δοκιμών που απαιτούνται.

Τα κροκιδωτικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν χλωριούχος υποσίδηρος (FeCl_2) και τρισθενής χλωριούχος σίδηρος (FeCl_3), χλωριούχο πολυαργιλικό υδροξείδιο χαμηλής βασικότητας (Al_2O_3), κατιονικός πολυηλεκτρολύτης και θειϊκό αργίλιο ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). Σε όλες τις σειρές πειραμάτων διενεργήθηκαν πειράματα για τρεις δόσεις από κάθε κροκιδωτικό, ενώ κάθε φορά γινόταν και μία δοκιμή χωρίς προσθήκη κροκιδωτικού.

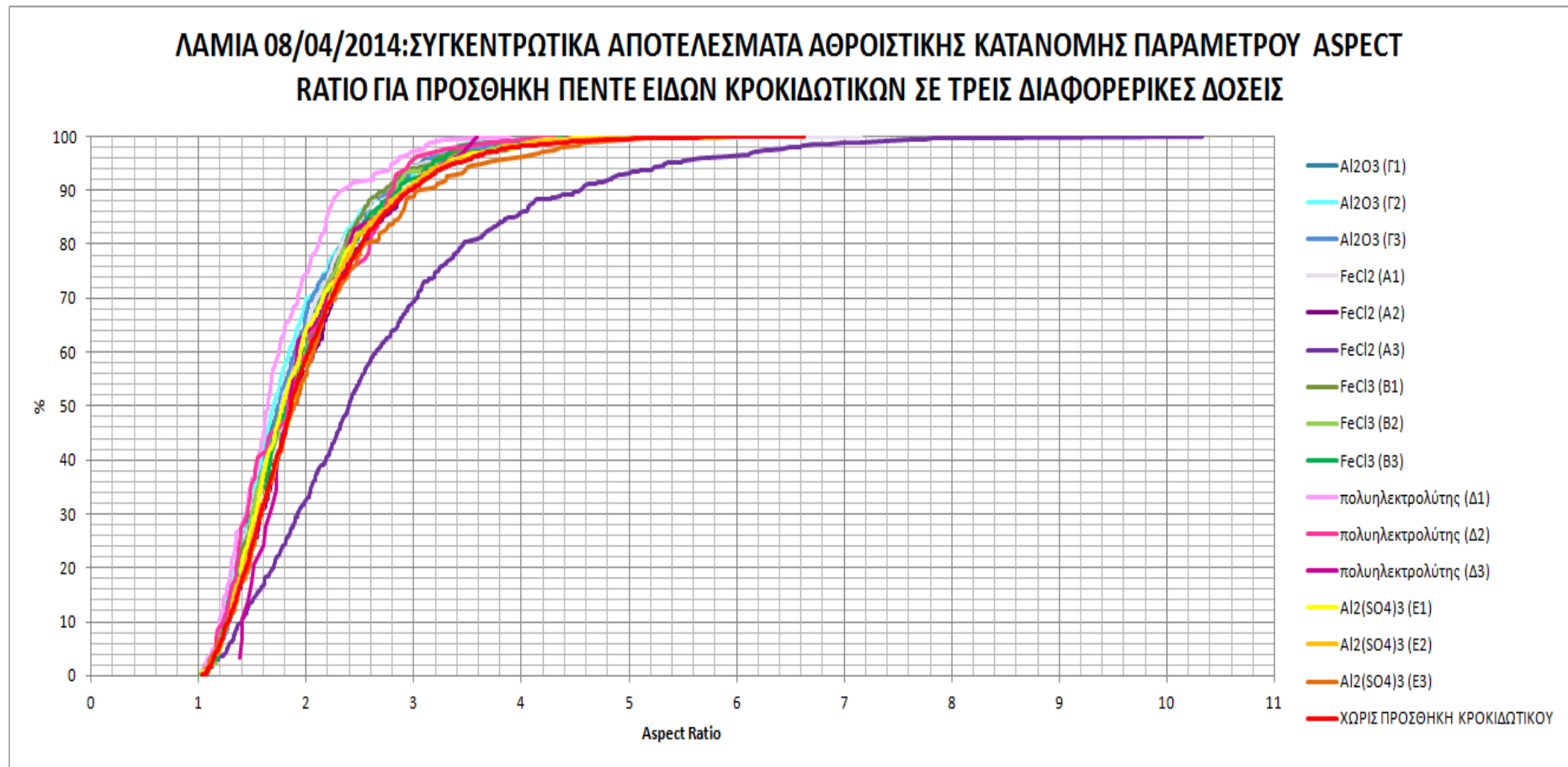
Οι δόσεις που χρησιμοποιήθηκαν για αυτή τη σειρά πειραμάτων ήταν οι εξής:

- χλωριούχος υποσίδηρος: A_1 : 20 $\text{gFe}^{2+}/\text{KgSS}$, A_2 : 35 $\text{gFe}^{2+}/\text{KgSS}$ και A_3 : 70 $\text{gFe}^{2+}/\text{KgSS}$
- τρισθενής χλωριούχος σίδηρος: B_1 : 20 $\text{gFe}^{3+}/\text{KgSS}$, B_2 : 35 $\text{gFe}^{3+}/\text{KgSS}$ και B_3 : 70 $\text{gFe}^{3+}/\text{KgSS}$
- χλωριούχο πολυαργιλικό υδροξείδιο χαμηλής βασικότητας: Γ_1 : 20 $\text{gAl}^{3+}/\text{KgSS}$, Γ_2 : 50 $\text{gAl}^{3+}/\text{KgSS}$ και Γ_3 : 90 $\text{gAl}^{3+}/\text{KgSS}$
- κατιονικός πολυηλεκτρολύτης: Δ_1 : 4 g/KgSS , Δ_2 : 10 g/KgSS και Δ_3 : 20 g/KgSS
- θειϊκό αργίλιο: E_1 : 20 $\text{gAl}^{3+}/\text{KgSS}$, E_2 : 50 $\text{gAl}^{3+}/\text{KgSS}$ και E_3 : 100 $\text{gAl}^{3+}/\text{KgSS}$

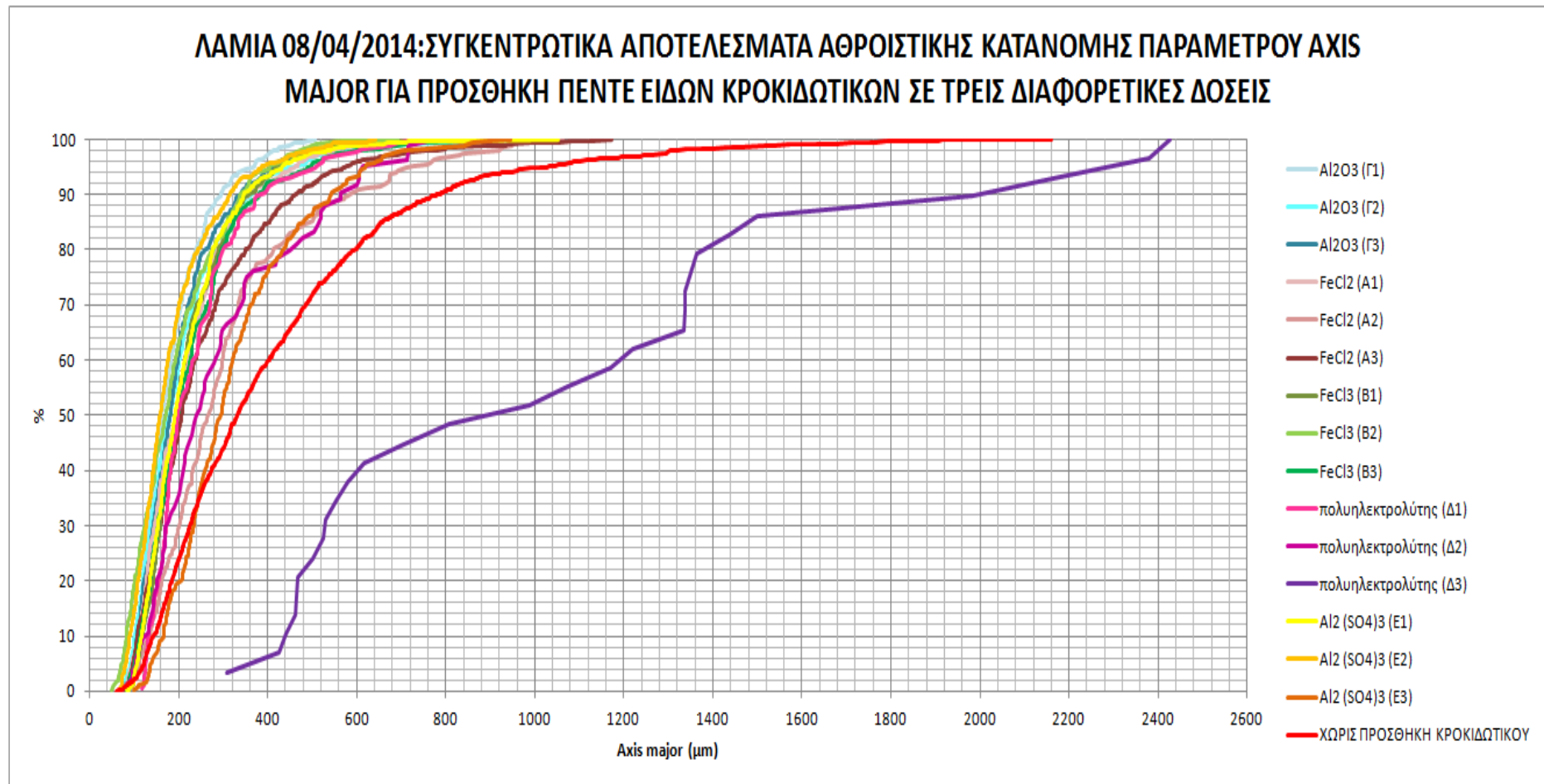
Τα πειράματα έδειξαν μία ιδιαίτερα σημαντική επίδραση στην περίπτωση της προσθήκης κατιονικού πολυηλεκτρολύτη στις παραμέτρους που εξετάστηκαν και κυρίως για τη μέγιστη δόση που επιλέχθηκε να προστεθεί στο ανάμικτο υγρό. Τα υπόλοιπα κροκιδωτικά δε φάνηκε να έχουν καμία θετική επίδραση μετά την προσθήκη τους σε οποιαδήποτε δόση επιλέχθηκε. Στον παρακάτω πίνακα 4.21, παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της μέτρησης του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI) και τα αποτελέσματα για διάφορες παραμέτρους των κροκίδων όπως αυτά προέκυψαν μετά από επεξεργασία στο λογισμικό ανάλυσης εικόνας (image analysis) για κάθε είδος κροκιδωτικού που προστέθηκε στο ανάμικτο υγρό και για όλες τις δόσεις που επιλέχθηκαν να εξεταστούν για το δείγμα της ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014). Εν συνεχεία, ακολουθούν τα διαγράμματα των αθροιστικών κατανομών για τις παραμέτρους που εξετάστηκαν (aspect ratio, axis major, diameter max, diameter ave, perimeter) με προσθήκη τριών διαφορετικών δόσεων των πέντε κροκιδωτικών και σύγκρισή τους με την περίπτωση που δεν γίνει προσθήκη κανενός κροκιδωτικού στο ανάμικτο υγρό του δείγματος της ΕΕΛ Λαμίας.

Πίνακας 4.21: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τα πειράματα με προσθήκη πέντε ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις για την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014) για διάφορες παραμέτρους.

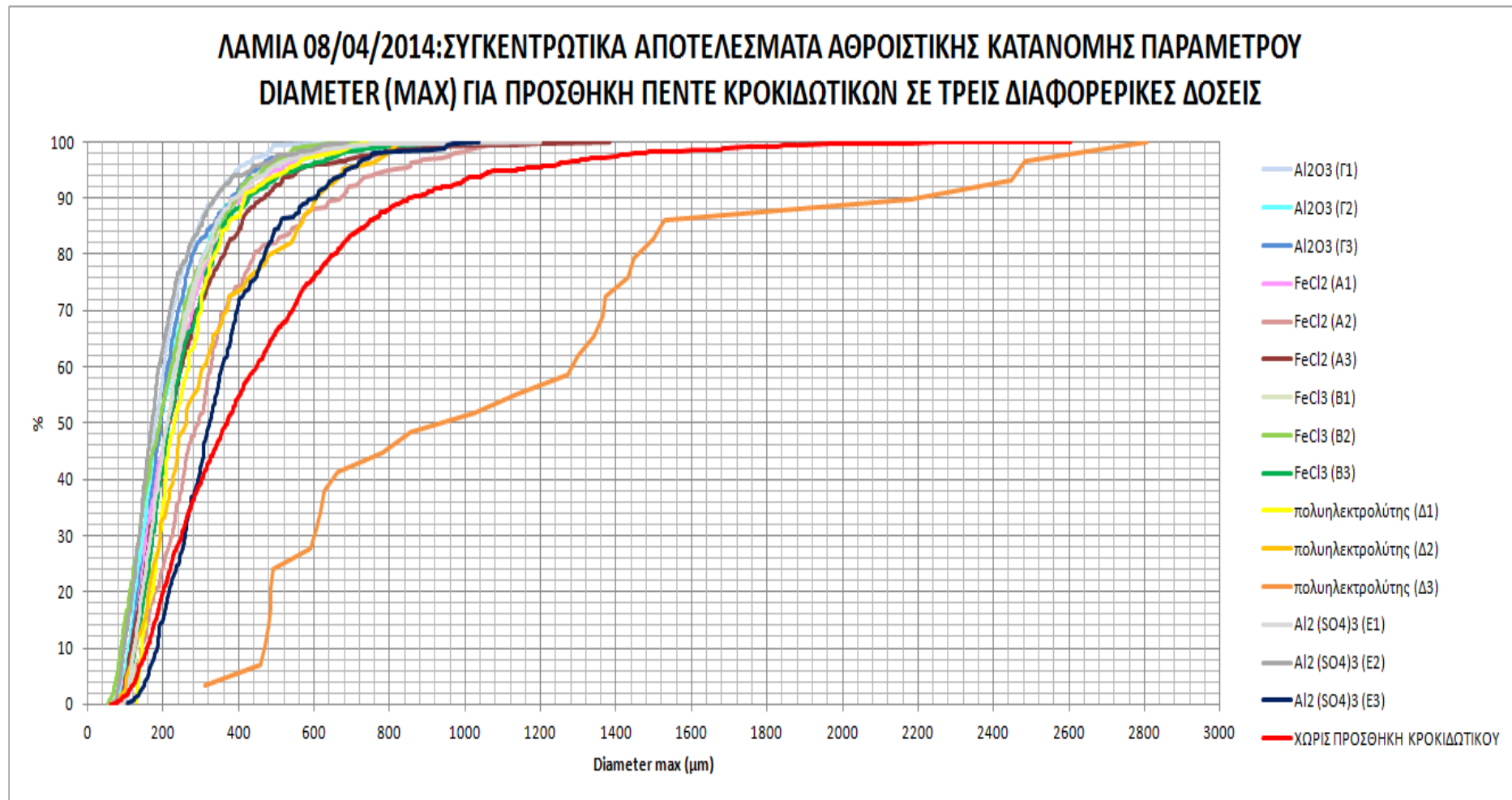
ΔΕΙΓΜΑ	ΛΑΜΙΑ 08-04-2014															ΧΩΡΙΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΚΡΟΚΙΔΩΤΙΚΟΥ
	ΔΟΣΗ FeCl2			ΔΟΣΗ FeCl3			ΔΟΣΗ Al2O3			ΔΟΣΗ ΠΟΛΥΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗ			ΔΟΣΗ Al2(SO4)3x18H2O			
ΔΟΣΕΙΣ ΚΑΘΕ	A1	A2	A3	B1	B2	B3	Γ1	Γ2	Γ3	Δ1	Δ2	Δ3	E1	E2	E3	
SVI (σε ml/gSS)	180	185	190	220	220	265	370	225	230	125	125	100	200	210	240	155
Item Objects	462	286	570	474	389	363	419	578	400	176	84	29	580	547	280	1125
Area	20405,913	38082,527	18485,344	18623,433	15179,589	20611,588	13411,368	21553,305	17994,085	27693,8494	42049,466	575600,601	18885,353	14347,419	38234,905	72893,172
Aspect Ratio	1,927	2,023	2,723	1,928	1,954	1,961	1,907	1,871	1,907	1,745	1,943	2,048	1,961	2,010	2,081	2,024
Axis (major)	220,329	313,735	256,871	221,110	194,490	231,095	185,529	211,715	204,829	241,915	296,865	1050,781	219,907	186,156	325,734	416,878
Axis (minor)	120,082	159,943	92,632	117,934	104,287	121,155	101,758	119,749	110,944	142,077	163,265	567,484	117,051	95,037	165,619	209,622
Diameter (max)	242,922	344,743	265,317	242,360	218,089	256,662	206,516	229,617	222,453	266,622	322,368	1122,551	240,141	200,337	357,879	459,998
Diameter (min)	68,641	83,095	66,660	67,946	58,146	65,172	59,000	79,571	72,224	101,779	106,162	393,237	68,577	67,440	85,338	108,116
Diameter (ave)	140,686	184,787	138,654	139,196	121,983	139,785	121,030	143,112	133,098	168,072	196,587	680,410	140,419	121,285	190,289	240,780
Radius (max)	139,483	197,581	148,037	139,410	126,939	148,453	120,347	132,318	128,237	151,502	183,812	643,658	139,881	115,725	205,247	262,587
Radius (min)	23,047	27,513	23,897	22,996	18,955	21,284	19,569	28,531	25,888	38,590	38,003	134,655	22,451	24,295	27,760	34,792
Perimeter	995,506	1589,868	877,205	999,792	959,566	1181,737	856,078	909,555	849,054	1143,368	1293,659	5709,873	965,813	700,647	1644,293	2276,734
Radius Ratio	16,205	16,239	11,275	20,861	17,957	22,631	17,896	10,444	10,688	8,995	9,370	8,187	15,548	10,300	21,461	22,661
Roundness	4,375	5,850	3,696	4,650	5,401	5,872	4,838	3,727	3,582	4,394	3,875	5,652	4,441	3,083	6,072	6,494
Size (length)	250,347	354,435	273,469	249,864	225,507	266,459	213,511	236,719	229,277	272,026	330,599	1165,543	248,408	207,591	368,119	473,674
Size (width)	160,322	218,203	120,484	157,921	141,036	165,698	137,249	153,860	144,021	179,570	210,142	698,795	157,116	122,989	226,671	283,310
Density (ave)	79,596	79,056	90,673	93,529	93,309	89,548	92,120	92,860	89,201	81,814	87,505	68,095	89,462	90,029	86,184	79,822
Density (min)	40,543	39,596	43,457	43,449	44,375	41,545	44,731	48,962	41,876	35,883	40,115	23,092	43,230	43,420	38,331	37,343
Density (max)	158,816	155,809	197,428	196,524	193,816	190,306	189,336	167,181	186,472	189,686	189,790	228,552	177,557	190,987	183,969	162,531
Density (std)	17,458	15,817	23,892	22,489	22,641	21,118	21,757	16,847	20,100	21,664	21,069	24,773	19,677	22,214	19,170	16,268
Margination	0,341	0,343	0,348	0,335	0,334	0,336	0,338	0,344	0,335	0,372	0,355	0,378	0,340	0,341	0,338	0,346
Heterogeneity	0,130	0,100	0,265	0,243	0,249	0,209	0,225	0,121	0,183	0,21899042	0,202	0,266	0,183	0,228	0,166	0,106
Clumpiness	0,008	0,014	0,002	0,006	0,007	0,009	0,005	0,009	0,005	0,052	0,015	0,235	0,006	0,003	0,015	0,023
PERarea	11,877%	14,412%	9,964%	10,781%	12,253%	13,118%	6,193%	12,671%	9,597%	6,786%	4,298%	29,107%	9,058%	10,385%	16,662%	34,332%
OBJnum	6	4	5	6	8	6	5	6	5	2	1	1	5	7	4	5
Diameter (average)																
Small (<150um)	307	117	377	314	282	244	340	370	287	87	34	0	383	429	95	335
percentage	66,45%	40,91%	66,14%	66,24%	72,49%	67,22%	81,15%	64,01%	71,75%	49,43%	40,48%	0,00%	66,03%	78,43%	33,93%	29,78%
Medium (150-500um)	154	167	119	160	107	119	79	207	113	89	49	12	197	118	185	730
percentage	33,33%	58,39%	33,51%	33,76%	27,51%	32,78%	18,85%	35,81%	28,25%	50,57%	58,33%	41,38%	33,97%	21,57%	66,07%	64,89%
Large (500um)	1	2	2	0	0	0	0	1	0	0	1	17	0	0	0	60
percentage	0,22%	0,70%	0,35%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,17%	0,00%	0,00%	1,19%	58,62%	0,00%	0,00%	0,00%	5,33%
Diameter (maximum)																
Small (<150um)	121	31	128	86	142	71	127	183	106	23	12	0	129	214	11	96
percentage	26,19%	10,84%	22,46%	18,14%	36,50%	19,56%	30,31%	31,66%	26,50%	13,07%	14,29%	0,00%	22,24%	39,12%	3,93%	8,53%
Medium (150-500um)	317	203	398	371	235	268	290	369	283	142	55	7	426	318	225	650
percentage	68,61%	70,98%	69,82%	78,27%	60,41%	73,83%	69,21%	63,84%	70,75%	80,68%	65,48%	24,14%	73,45%	58,14%	80,36%	57,78%
Large (500um)	24	52	44	17	12	24	2	26	11	11	17	22	25	15	44	379
percentage	5,19%	18,18%	7,72%	3,59%	3,08%	6,61%	0,48%	4,50%	2,75%	6,25%	20,24%	75,86%	4,31%	2,74%	15,71%	33,69%



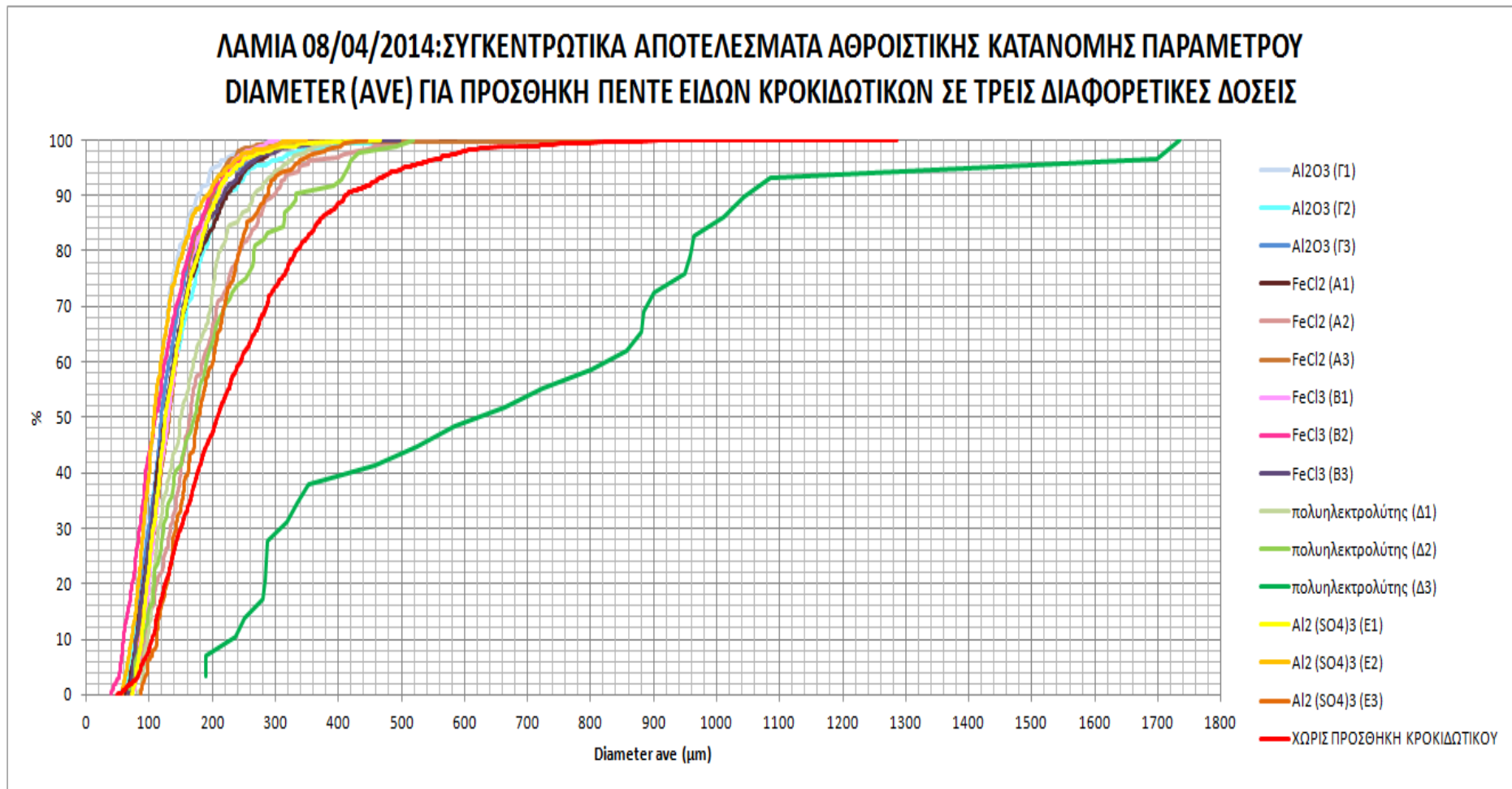
Σχήμα 4.84: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου aspect ratio για προσθήκη πέντε ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014)



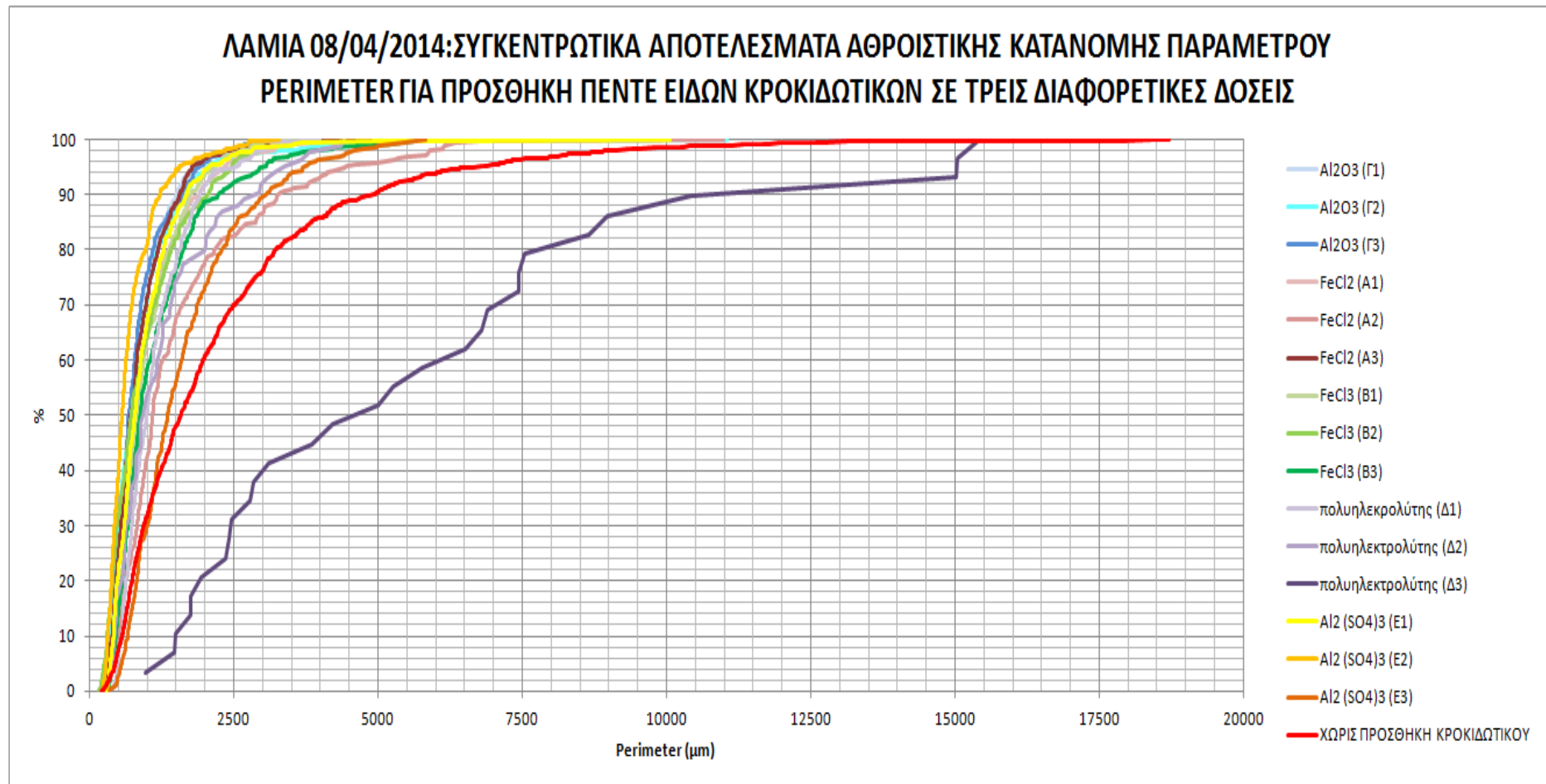
Σχήμα 4.85: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου axis major για προσθήκη πέντε ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014)



Σχήμα 4.86: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου diameter max για προσθήκη πέντε ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014)



Σχήμα 4.87: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου diameter ave για προσθήκη πέντε ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014)



Σχήμα 4.88: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου perimeter για προσθήκη πέντε ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας (δειγματοληψία 08/04/2014)

4.1.3 Σύγκριση ΕΕΛ Κοζάνης και ΕΕΛ Λαμίας

. Τα δείγματα ανάμικτου υγρού και ανακυκλοφορίας ιλύος που εξετάστηκαν, όπως έχει ήδη αναφερθεί, προέρχονται από συστήματα με διαφορετικές λειτουργικές συνθήκες και διέφεραν ως προς τα χαρακτηριστικά και τη σύστασή τους. Επιλέχθηκε να εξεταστούν δείγματα από δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων με σκοπό να εξεταστούν παράμετροι καθιζησιμότητας και χαρακτηριστικών κροκίδων για δύο περιπτώσεις: α) για μία ΕΕΛ η οποία εμφανίζει προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, δηλαδή την περίπτωση της ΕΕΛ Κοζάνης και β) για μια ΕΕΛ που δεν παρουσιάζει προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, δηλαδή την περίπτωση της ΕΕΛ Λαμίας. Σε αυτήν την ενότητα, γίνεται και μία σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις δύο αυτές εγκαταστάσεις.

Καταρχήν, όσο αφορά τις μετρήσεις του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI), όπως είναι λογικό οι τιμές ήταν πολύ υψηλότερες στην περίπτωση της ΕΕΛ Κοζάνης, δεδομένων των προβλημάτων νηματοειδούς διόγκωσης που παρουσιάζει. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI), για τα δείγματα που εξετάστηκαν από 31/01 έως 27/05, κυμαίνονταν σε υψηλά επίπεδα μεταξύ των τιμών 155-375 mL/gSS. Αντίθετα, οι αντίστοιχες τιμές για τα δείγματα που εξετάστηκαν από την ΕΕΛ Λαμίας από 05/02 έως 22/04, κυμαίνονταν σε φυσιολογικά μάλλον επίπεδα, μεταξύ των τιμών 115-155 mL/gSS. Οι τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος στην ΕΕΛ Κοζάνης αυξομειώνονταν ανάλογα με τον τύπο και τη δόση του κροκιδωτικού που είχε προστεθεί στην εγκατάσταση ανά περιόδους. Αντίθετα, στην περίπτωση της ΕΕΛ Λαμίας που σταθερά γινόταν προσθήκη πολυηλεκτρολύτη οι τιμές παρέμεναν σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Εν συνεχεία, οι μετρήσεις των ολικών αιωρούμενων στερεών (MLSS) που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα ανάμικτου υγρού αλλά και σε δείγματα επανακυκλοφορίας της ιλύος και από τις δύο εγκαταστάσεις, έδειξαν ότι ήταν μονίμως υψηλότερες στην περίπτωση της ΕΕΛ Λαμίας με τιμές που κυμαίνονται για το ανάμικτο υγρό μεταξύ 5687-7467mg/l. Οι αντίστοιχες τιμές για τις μετρήσεις ολικών αιωρούμενων στερεών για τα δείγματα που προέρχονταν από την ΕΕΛ Κοζάνης κυμαίνονταν μεταξύ 3413-5980mg/l.

Επίσης, μετά από προσδιορισμό των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind, του λόγου V_0/n και των ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης για τα δείγματα από τις δύο εγκαταστάσεις, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

1. Τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας εμφάνισαν υψηλότερες τιμές ταχύτητας ζωνικής καθίζησης, εφόσον οι τιμές κυμαίνονταν μεταξύ 3,1-5,5m/h, όταν οι αντίστοιχες τιμές ζωνικής καθίζησης για τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0,2-4,2m/h. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό, εφόσον μεγαλύτερες ταχύτητες ζωνικής καθίζησης σημαίνουν καλύτερη καθιζησιμότητα της ιλύος, και σε περιπτώσεις νηματοειδούς διόγκωσης υπάρχουν προβλήματα στην καλή συμπύκωση και καθίζηση της ιλύος.
2. Τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης παρουσίαζαν τιμές της παραμέτρου V_0 ίσες με $24,22 \pm 8,6$ m/h, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για την ΕΕΛ Λαμίας ήταν ίσες με $27,3 \pm 4,3$ m/h. Δεδομένου ότι ο δείκτης καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI) συνδέεται άμεσα με τα χαρακτηριστικά καθιζησιμότητας V_0, n και δεδομένου ότι με αύξηση του δείκτη DSVI παρατηρείται μείωση στην τιμή της σταθεράς V_0 , τα αποτελέσματα και σε αυτή την περίπτωση είναι αναμενόμενα, δεδομένου ότι η ΕΕΛ

- Λαμίας παρουσιάζει μικρότερο δείκτη καθιζησιμότητας από την ΕΕΛ Κοζάνης και ταυτόχρονα μεγαλύτερες τιμές της παραμέτρου V_0 .
3. Τα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης παρουσίαζαν τιμές τις παραμέτρου n ίσες με $1,364 \pm 0,3 \text{ m}^3/\text{kg}$, ενώ οι αντίστοιχες για την ΕΕΛ Λαμίας ήταν ίσες με $1 \pm 0,09 \text{ m}^3/\text{kg}$. Οι τιμές είναι ιδιαίτερα υψηλές και για τις δύο εγκαταστάσεις αλλά με δεδομένο ότι αύξηση του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI) συνδέεται με αύξηση της παραμέτρου n και αυτά τα αποτελέσματα είναι λογικά, δεδομένου ότι η ΕΕΛ Κοζάνης παρουσιάζει μεγαλύτερο δείκτη καθιζησιμότητας και έχει ταυτόχρονα και υψηλότερη τιμή για την παράμετρο n σε σχέση με την ΕΕΛ Λαμίας.
 4. Και στις δύο εγκαταστάσεις η προσθήκη κροκιδωτικών ευνοούσε την καλύτερη εικόνα για την παράμετρο V_0 και τον δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος, αντίθετα δεν είχε καμία επίδραση στην παράμετρο n .

Εν συνεχεία, από τον προσδιορισμό των σημείων λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης και για τις δύο εγκαταστάσεις, παρατηρήθηκε ότι και τα δύο σημεία βρίσκονται εκτός της καμπύλης ροής μάζας στερεών λόγω βαρύτητας. Αυτό προφανώς και δεν είναι επιθυμητό και υποδηλώνει ότι οι δεξαμενές τελικής καθίζησης και για τις δύο εγκαταστάσεις είναι υπερφορτωμένες και δεν επιτυγχάνονται τα κριτήρια της διαύγασης και της συμπύκνωσης. Προφανώς όμως, διαφέρει ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να αντιμετωπιστεί η αστοχία αυτή και οι λύσεις που πρέπει να δοθούν, όπως αναπτύχθηκε αναλυτικά σε προηγούμενη παράγραφο του παρόντος κεφαλαίου. Στην περίπτωση της Λαμίας απαιτείται μείωση της επανακυκλοφορίας και ταυτόχρονη μείωση της συγκέντρωσης των στερεών (συγκέντρωση τροφοδοσίας) ενώ στην περίπτωση της Κοζάνης εφικτή φαίνεται να είναι μόνο η μείωση της επανακυκλοφορίας της ιλύος. Και για τις δύο εγκαταστάσεις πάντως είναι επιθυμητό να επιτευχθούν καλύτερα χαρακτηριστικά καθιζησιμότητας με αλλαγή στις τιμές των παραμέτρων V_0 και n , κάτι που μπορεί πιθανά να επιτευχθεί με σωστή επιλογή προσθήκης κάποιου κροκιδωτικού στην κατάλληλη δόση.

Από τα αποτελέσματα των μικροσκοπικών αναλύσεων για την ΕΕΛ Λαμίας, ο δείκτης νημάτων κυμάνθηκε μεταξύ 2,5-3,5, με τιμές οι οποίες παρουσιάζουν μία αυξητική τάση από το Φεβρουάριο έως τον Απρίλιο (δείκτης νημάτων 2,5 τον Φεβρουάριο και 3,5 τον Απρίλιο). Από την άλλη μεριά, με βάση τα αποτελέσματα των μικροσκοπικών αναλύσεων για τα δείγματα ενεργού ιλύος της ΕΕΛ Κοζάνης, ο δείκτης νημάτων κυμάνθηκε μεταξύ 3,5-4,5, με τιμές οι οποίες παρουσιάζουν μία σταθερή υψηλή πορεία του δείκτη από τον Ιανουάριο έως τον Μάη σε τιμές που κυμάνθηκαν από 4-4,5 με μοναδική εξαίρεση τη μείωση του δείκτη νημάτων στην τελευταία μικροσκοπική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για δείγμα που λήφθηκε στις 27/05/2014, όπου η τιμή του δείκτη ήταν της τάξης του 3,5. Επομένως, η ΕΕΛ Κοζάνης παρουσίαζε σαφώς μεγαλύτερο δείκτη FI σε σύγκριση με την ΕΕΛ Λαμίας.

Οι βιοκροκίδες της ενεργού ιλύος της ΕΕΛ Λαμίας παρουσιάζουν χαμηλή προς μέτρια γεφύρωση και σε ποσοστό 60-80% είναι συμπαγείς και σφαιρικές. Αξιοσημείωτη είναι η ικανοποιητική κατανομή μεγεθών των κροκιδών ($15\% < 150 \mu\text{m}$, 55% μεταξύ $150-500 \mu\text{m}$ και $30\% > 500 \mu\text{m}$) και ιδιαίτερα το υψηλό ποσοστό των μεγάλων κροκιδών. Αντίθετα, οι βιοκροκίδες της ενεργού ιλύος παρουσιάζουν υψηλή προς πολύ υψηλή γεφύρωση λόγω της μεγάλης παρουσίας νηματοειδών μικροοργανισμών εντός και εκτός των κροκιδών και σε ποσοστό 50-50% ή 60-40% παρουσιάζουν ανοιχτή δομή και δεν είναι συμπαγείς και σφαιρικές. Αξιοσημείωτο

είναι ότι δεν παρουσιάζεται ικανοποιητική κατανομή μεγεθών των κροκίδων (15% < 150 μm, 55% μεταξύ 150-500 μm και 30% > 500 μm) τον μήνα Ιανουάριο δεδομένου ότι υπάρχει υψηλό ποσοστό των μικρών κροκίδων της τάξης του 40%. Αργότερα, την χρονική περίοδο από Φεβρουάριο έως και Μάρτιο παρουσιάζεται μία σημαντική μείωση του ποσοστού των μικρών κροκίδων από το 40% σε ένα ποσοστό της τάξης του 10% και ταυτόχρονα άυξηση του ποσοστού των μεσαίων και των μεγάλων κροκίδων στα δείγματα ενεργού ιλύος. Οι κροκίδες μάλιστα αυτήν την περίοδο φαίνεται να είναι και πιο συμπαγείς. Αυτό οφείλεται στην προσθήκη μεγάλης ποσότητας κροκιδωτικού τρισθενούς σιδήρου με τη μορφή διαλύματος FeClSO_4 .

Οι επικρατέστεροι νηματοειδείς μικροοργανισμοί στα δείγματα ανάμικτου υγρού της ΕΕΛ Λαμίας τη χρονική περίοδο που εξετάστηκε, ήταν σε φθίνουσα σειρά, οι *Type 0092*, *Gordona spp.*, *Type 0041*, *M. parvicella*, *Type 1851*, *Type 0675*, *Type 1863*. Οι περισσότεροι εκ των μικροοργανισμών αυτών κατατάσσονται στην κατηγορία των μικροοργανισμών χαμηλής οργανικής φόρτισης (low F/M filamentous microorganisms), ενώ η ανάπτυξη κάποιων εξ' αυτών των μικροοργανισμών (*M. parvicella*, *Type 0041*, *Gordona spp.*, *Type 0092*) συσχετίζεται με την εισροή υψηλών συγκεντρώσεων λιπών και ελαίων στη βιολογική βαθμίδα. Αντίστοιχα για την ΕΕΛ Κοζάνης, οι επικρατέστεροι νηματοειδείς μικροοργανισμοί στα δείγματα ανάμικτου υγρού κατά την χρονική αυτή περίοδο (Ιανουάριος-Μάιος) ήταν οι *Type 0092*, *M. parvicella*, *Type 1851*, *Type 0041*, *Type 0675*, *Type 1863*, *Gordona spp.*, *Thiothrix*, *H. Hydrossis* και *N.limicola*.

Από τα αποτελέσματα των αθροιστικών κατανομών που παρουσιάζονται και στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 4.89 έως Σχήμα 4.93) προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ΕΕΛ Λαμίας, δεδομένου ότι δεν παρουσίαζε προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης, σε αντίθεση με την ΕΕΛ Κοζάνης, εμφάνιζε μεγαλύτερες τιμές στις παραμέτρους axis major, diameter (max), diameter (ave) και perimeter και μικρότερες τιμές για την παράμετρο aspect ratio. Δηλαδή, με άλλα λόγια, τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας παρουσίαζαν μεγαλύτερες κροκίδες και με σχήμα πιο σφαιρικό από αυτές των δειγμάτων της ΕΕΛ Κοζάνης. Πιο αναλυτικά προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Αρχικά, σε ότι αφορά στην παράμετρο aspect ratio, που υποδηλώνει το λόγο του μέγιστου άξονα ως προς τον ελάχιστο άξονα σε μια έλλειψη, για την ΕΕΛ Κοζάνης το 50% των κροκίδων εμφανίζουν aspect ratio που κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1,683 έως 2,134, ενώ για την ΕΕΛ Λαμίας κυμαίνεται από 1,759 έως 1,876. Για το 80% και το 90% των κροκίδων το aspect ratio που είναι πάντοτε πολύ μεγαλύτερο της μονάδας και στις δύο εγκαταστάσεις κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 2,25-4,083 για την ΕΕΛ Κοζάνης και μεταξύ των τιμών 2,366-3,102 για την ΕΕΛ Λαμίας. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι η τιμή του aspect ratio, τόσο πιο κυκλική είναι η κροκίδα. Επομένως, η πλειοψηφία των κροκίδων τείνει να έχει επίμηκες σχήμα και όχι κυκλικό και στις δύο περιπτώσεις, με τις κροκίδες της ΕΕΛ Λαμίας να έχουν το πιο κυκλικό σχήμα εκ των δύο εγκαταστάσεων. Επομένως, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η παράμετρος aspect ratio εμφανίζει πιο μικρές τιμές στα συστήματα που δεν παρουσιάζουν προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης (ΕΕΛ Λαμίας) και οι κροκίδες τους τείνουν να έχουν πιο σφαιρικό σχήμα. Δηλαδή, φαίνεται ότι όσο αυξάνεται το μέγεθος των κροκίδων, η παράμετρος aspect ratio μειώνεται.

Σε ότι αφορά τον μέγιστο άξονα (axis major) παρατηρείται ότι στα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης το 50% των κροκίδων παρουσιάζουν τιμές από 153-357μm περίπου, ενώ το 80% και το 90% των κροκίδων παρουσιάζουν τιμές μέγιστου άξονα από 333μm έως 843μm περίπου. Κατά αντιστοιχία, για τα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας παρατηρείται ότι το 50% των κροκίδων παρουσιάζουν τιμές από 247-332μm περίπου, ενώ το 80% και το 90% των κροκίδων παρουσιάζει τιμές μέγιστου άξονα από 481μm

έως 901μm περίπου. Επομένως, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των κροκίδων, τόσο αυξάνεται και η παράμετρος axis major.

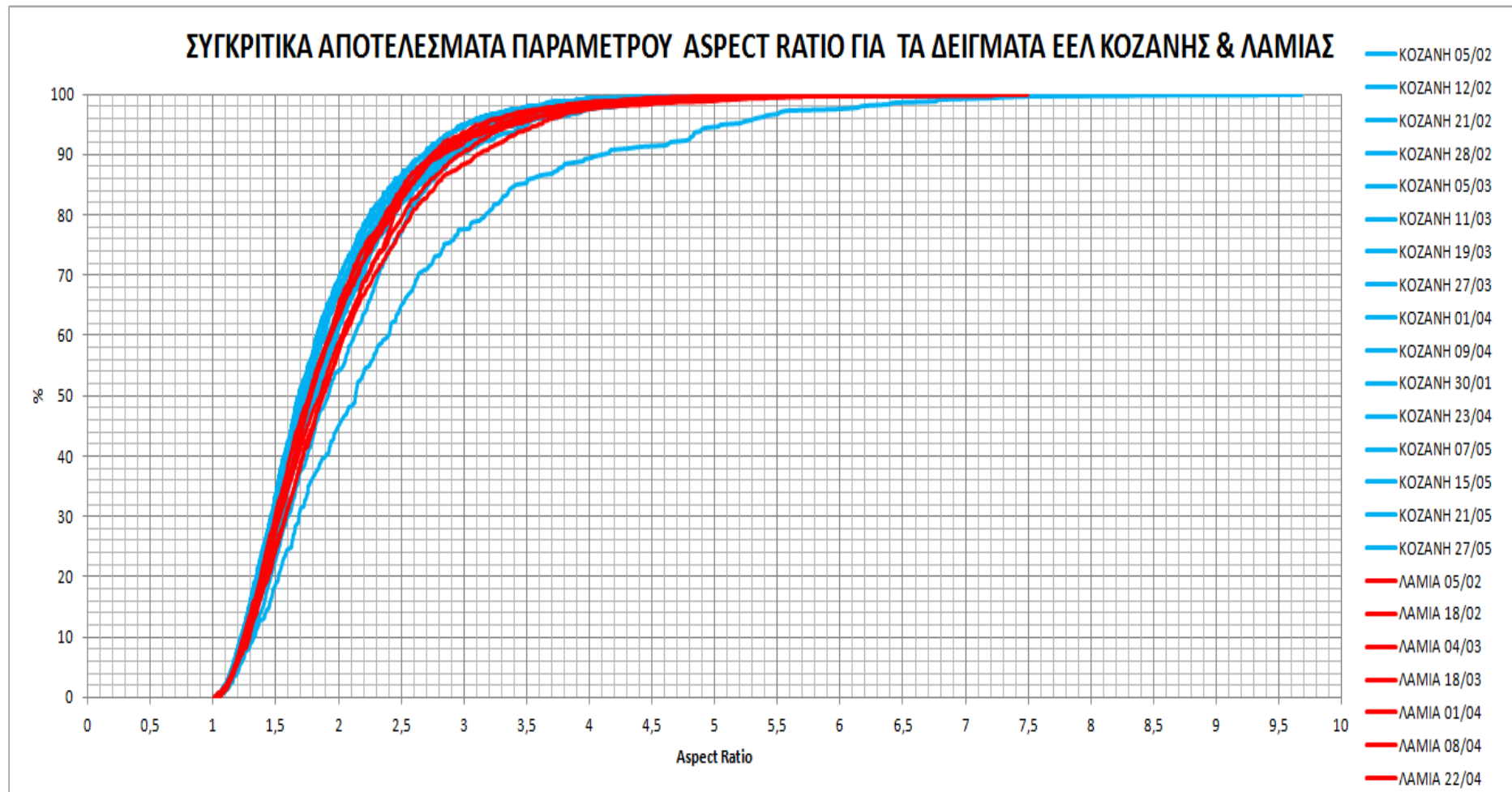
Επίσης, η μέγιστη διάμετρος παρουσιάζει ανάλογες διακυμάνσεις με τον μέγιστο άξονα και για τις δύο εγκαταστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, στα δείγματα της ΕΕΛ Κοζάνης, για το 50% των κροκίδων η μέγιστη διάμετρος παρουσιάζει τιμές από 178μm μέχρι 400μm περίπου, ενώ το 80% και το 90% των κροκίδων παρουσιάζει μέγιστη διάμετρο από 367μm έως 946μm. Αντίστοιχα, στα δείγματα της ΕΕΛ Λαμίας, η μέγιστη διάμετρος για το 50% των κροκίδων παρουσιάζει τιμές από 278μm μέχρι 369μm περίπου, ενώ το 80% και το 90% των κροκίδων παρουσιάζει μέγιστη διάμετρο από 539μm έως 993μm. Επομένως, τα συστήματα που εμφανίζουν υψηλό δείκτη νηματοειδών παρουσιάζουν και μικρότερες διαμέτρους και κατά συνέπεια μικρότερη επιφάνεια κροκίδων (ΕΕΛ Κοζάνης). Το ίδιο συμπέρασμα μπορεί να εξαχθεί και από την παρατήρηση των παραμέτρων diameter ave και perimeter.

Η μέση διάμετρος παρουσιάζει μικρότερες τιμές από την μέγιστη διάμετρο και για τις δύο εγκαταστάσεις. Πιο αναλυτικά, παρατηρείται ότι οι τιμές για το 50% των κροκίδων κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 97-221μm περίπου για την ΕΕΛ Κοζάνης, ενώ για το 80% και 90% των κροκίδων παρουσιάζει τιμές μέσης διαμέτρου από 174μm μέχρι 491μm περίπου. Αντίστοιχα, για την ΕΕΛ Λαμίας, η μέση διάμετρος για το 50% των κροκίδων κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 165-209μm περίπου, ενώ για το 80% και 90% των κροκίδων παρουσιάζει τιμές από 293μm μέχρι 472μm περίπου.

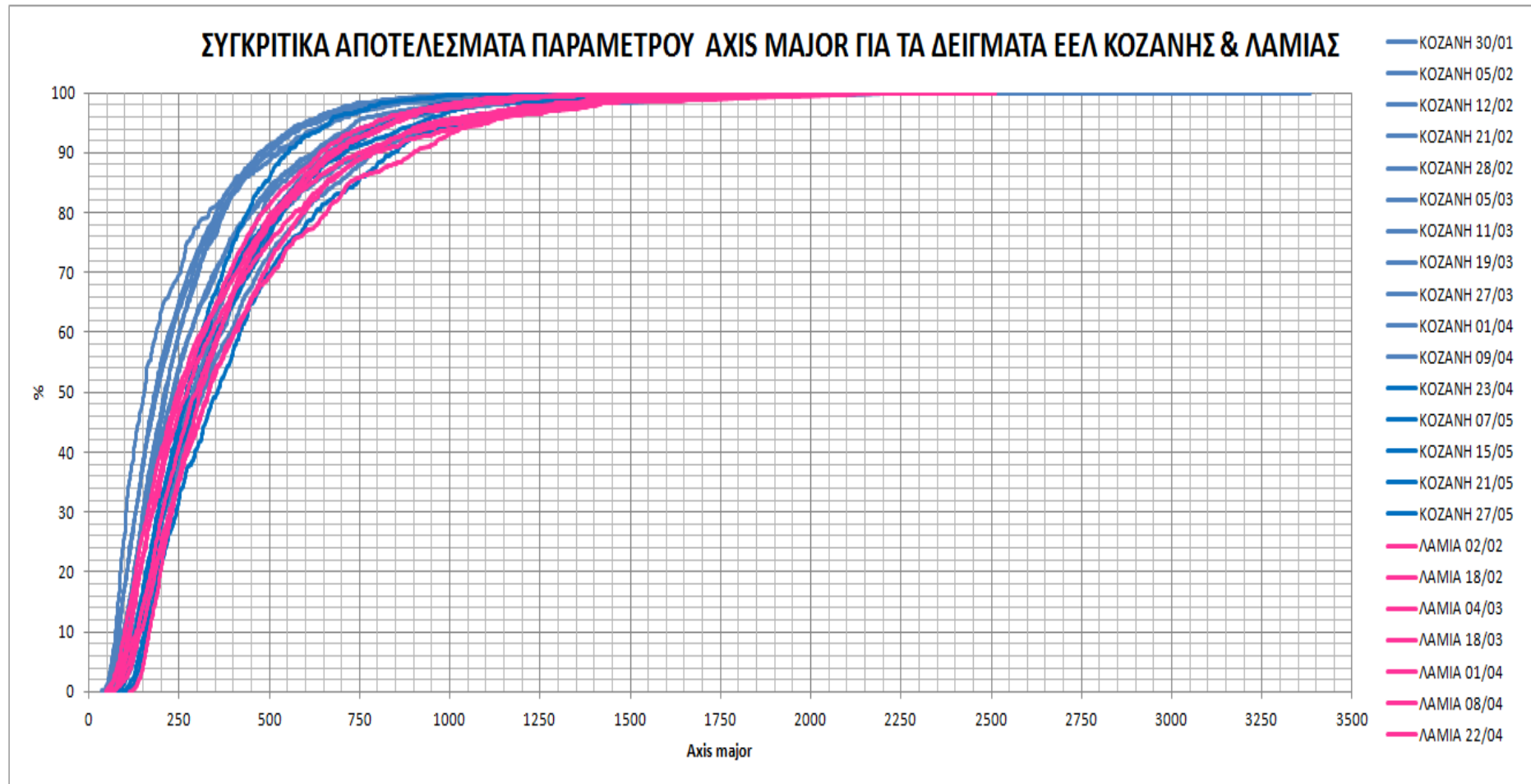
Τέλος, όσον αφορά στην περίμετρο οι τιμές για την περίπτωση της ΕΕΛ Κοζάνης και για το 50% των κροκίδων φαίνεται να κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 761-1813μm περίπου, ενώ για το 80% και 90% των κροκίδων κυμαίνονται από 1635μm έως 5721μm περίπου. Για την περίπτωση της ΕΕΛ Λαμίας αντίστοιχα, το 50% των κροκίδων φαίνεται να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1172-1587μm περίπου, ενώ για το 80% και 90% των κροκίδων κυμαίνεται από 2695μm έως 5807μm περίπου.

Σε κάθε περίπτωση η ΕΕΛ Κοζάνης πρέπει να ληφεί υπόψη ότι προσεγγίζει τις τιμές των παραμέτρων που έχει η ΕΕΛ Λαμίας κυρίως στις περιόδους που γινόταν προσθήκη κάποιου κροκιδωτικού σε υψηλή δόση, διότι οι διακυμάνσεις των τιμών επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την προσθήκη των κροκιδωτικών που έβαζαν στην ΕΕΛ Κοζάνης διαχρονικά αλλά και σε σχέση με τις δόσεις τους, όπως εκτενώς έχει αναλυθεί ήδη σε προηγούμενη παράγραφο.

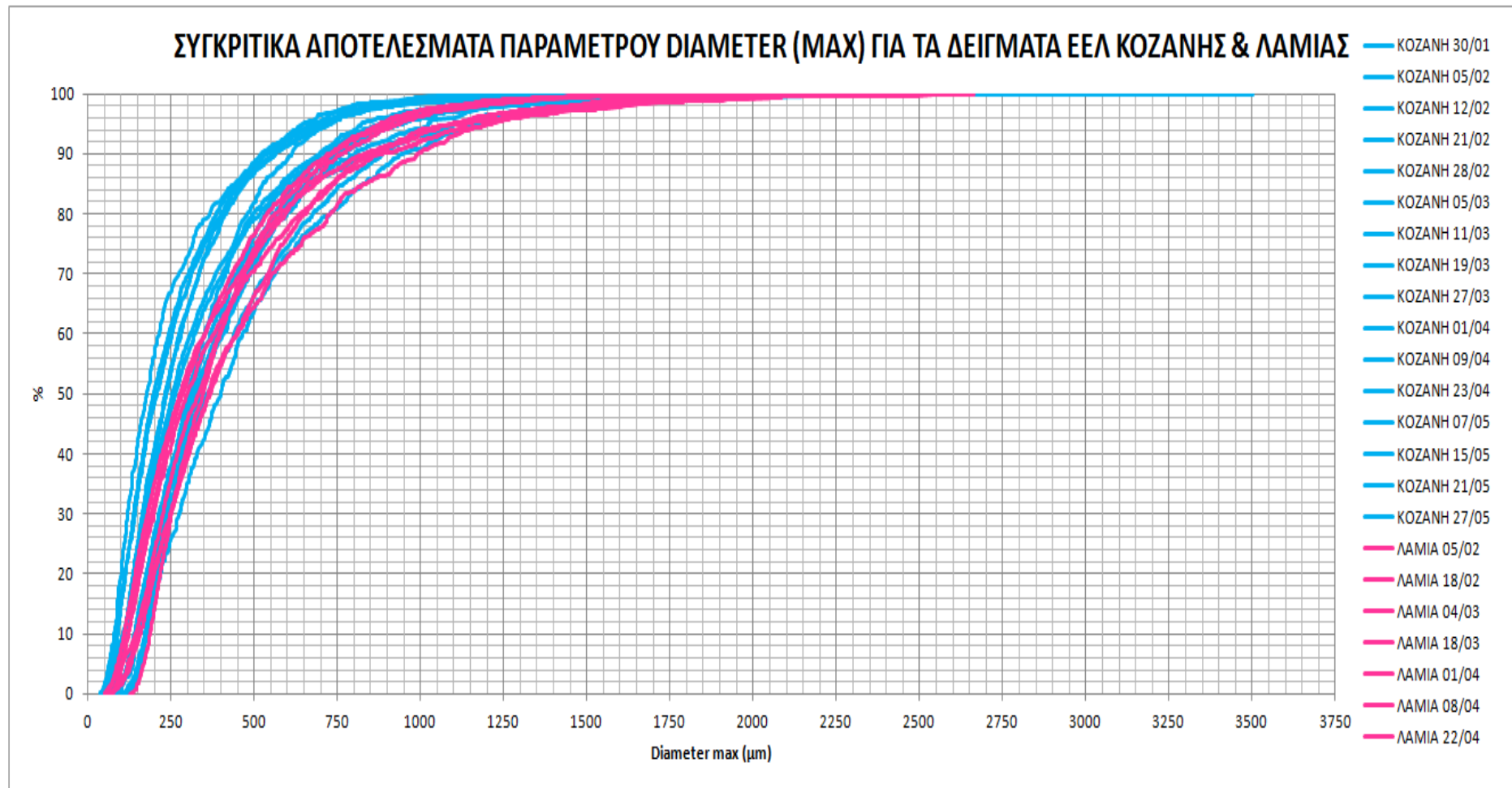
Έτσι, για παράδειγμα το γεγονός ότι οι τιμές της περιμέτρου για την ΕΕΛ Κοζάνης, για το 90% των κροκίδων φτάνουν μέχρι και τα 5721μm προσεγγίζοντας τις τιμές της περιμέτρου για την ΕΕΛ Κοζάνης που φτάνουν ως την τιμή 5807μm, αν και είναι πολύ κοντινές δεν πρέπει να παραπλανούν, δεδομένου ότι σε περιόδους που δεν γινόταν προσθήκη τρισθενούς σιδήρου σε μεγάλη δόση, οι τιμές αυτές ήταν πολύ πιο χαμηλές σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της ίδιας παραμέτρου για την ΕΕΛ Λαμίας.



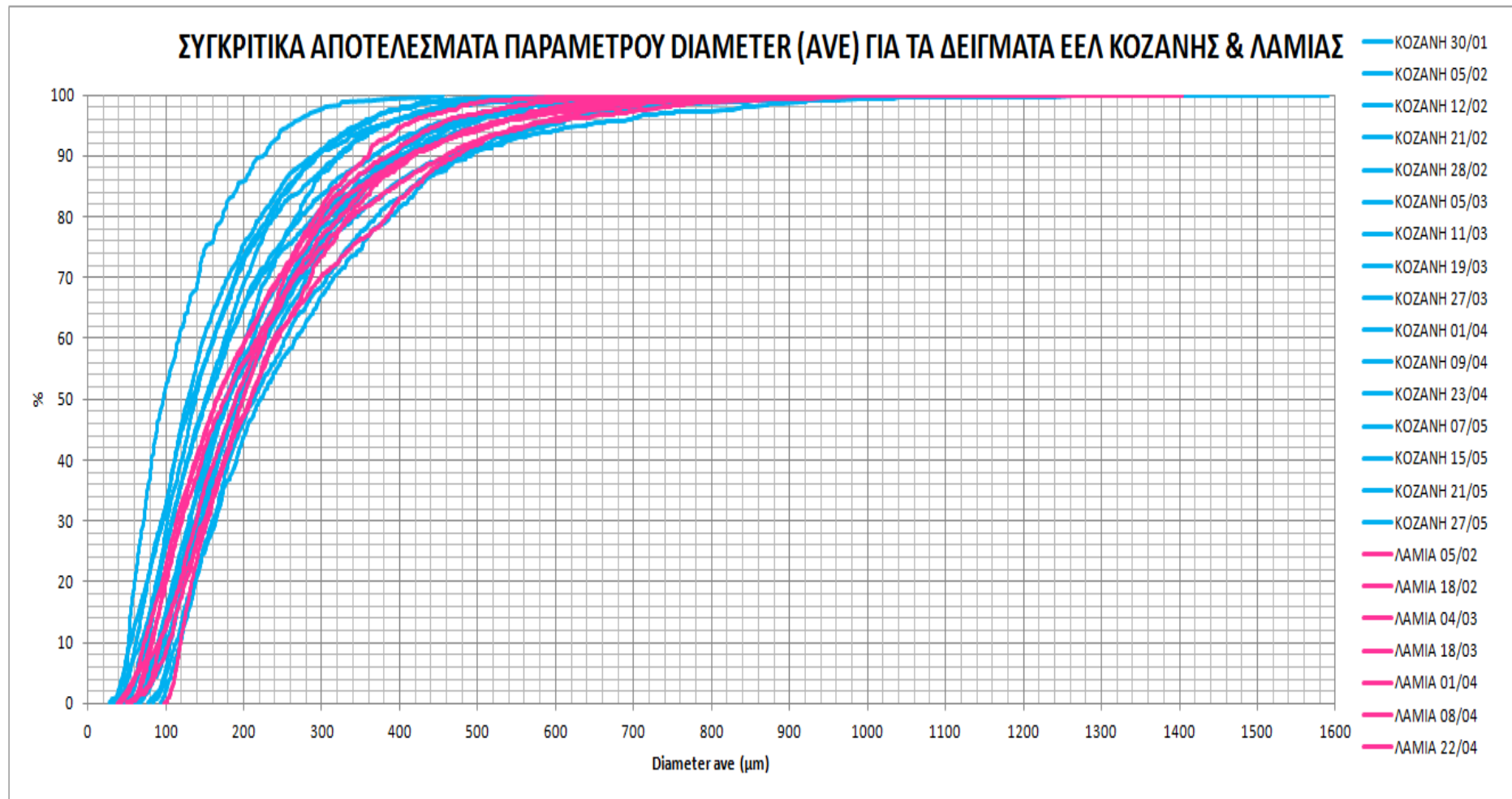
Σχήμα 4.89: Συγκριτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου aspect ratio για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας



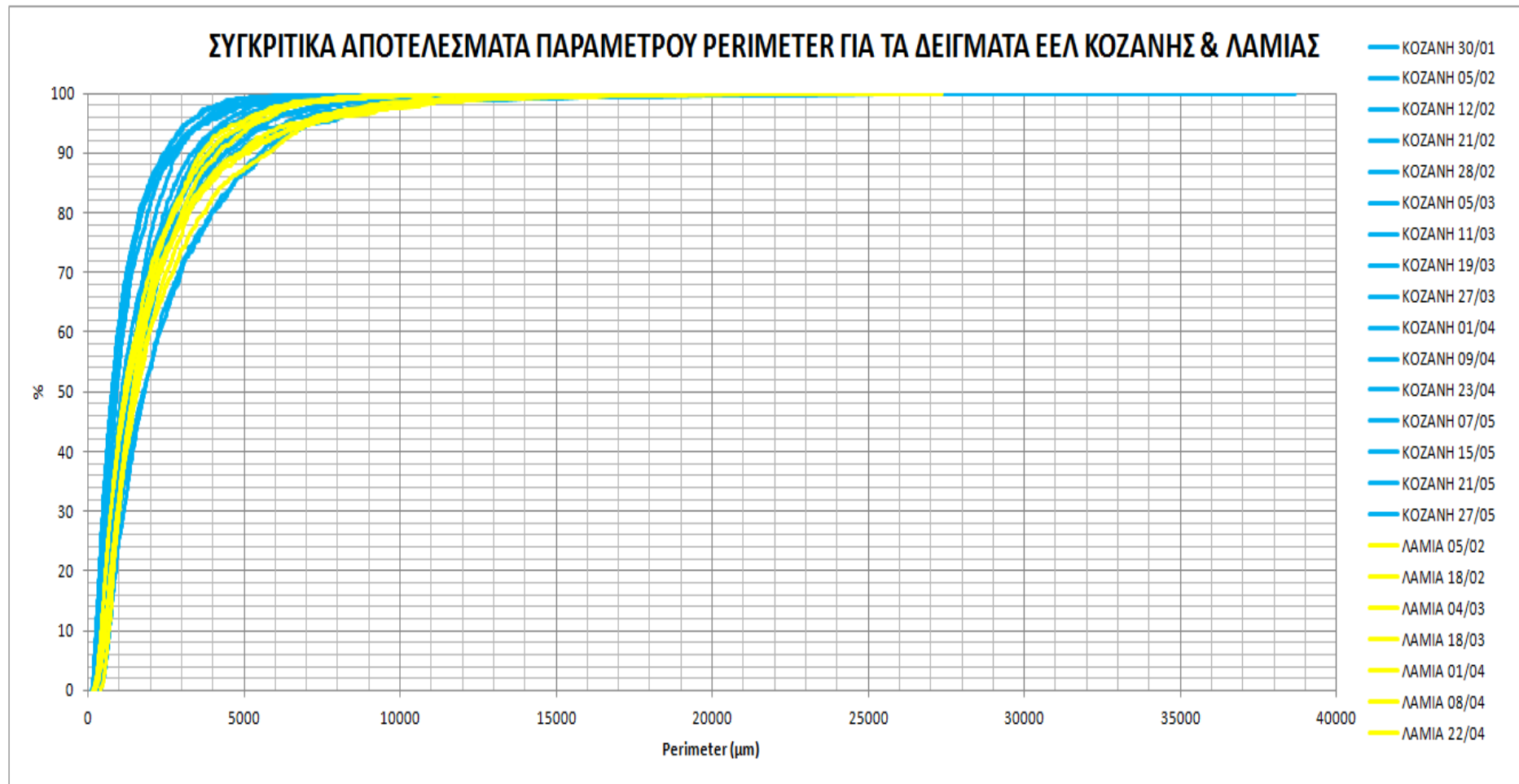
Σχήμα 4.90: Συγκριτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου axis major για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας



Σχήμα 4.91: Συγκριτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου diameter (max) για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας



Σχήμα 4.92: Συγκριτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου diameter (ave) για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας



Σχήμα 4.93: Συγκριτικά αποτελέσματα αθροιστικής κατανομής παραμέτρου aspect ratio για όλα τα δείγματα ανάμικτου υγρού από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής ήταν να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά της καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος σε δείγματα από δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων με διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά, αυτές της Κοζάνης και της Λαμίας, δηλαδή να προσδιοριστούν παράμετροι όπως ο δείκτης καθιζησιμότητας της ιλύος DSVI, η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης, οι παράμετροι $V_{0,n}$ της εξίσωσης Vesilind και επιπλέον να εφαρμοσθεί μια μέθοδος ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας, με σκοπό τον υπολογισμό διαφόρων μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων.

Επιπλέον στόχος της εργασίας, ήταν η διερεύνηση και ο προσδιορισμός των πιθανών συσχετίσεων μεταξύ αυτών των παραμέτρων. Επίσης, προσδιορίστηκε το σημείο λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης των δύο εγκαταστάσεων με σκοπό να διερευνηθεί περαιτέρω η δυνατότητα της ενεργού ιλύος να καθιζάνει ικανοποιητικά καθώς και να δωθούν λύσεις σε περίπτωση λειτουργικών προβλημάτων των ΕΕΛ και διερευνήθηκε η επίδραση της προσθήκης διαφορετικών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά στις μορφολογικές παραμέτρους που εξετάστηκαν για τα δείγματα της ενεργού ιλύος. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μία συγκριτική μελέτη για τις δύο εγκαταστάσεις, με δεδομένο ότι η ΕΕΛ Κοζάνης παρουσίαζε προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης, ενώ αντίθετα η ΕΕΛ Λαμίας όχι. Όλα τα συμπεράσματα που προέκυψαν έγιναν και με δεδομένο ότι στην ΕΕΛ Λαμίας γινόταν σταθερά προσθήκη πολυηλεκτρολύτη καθόλη τη διάρκεια λήψης και εξέτασης δειγμάτων ανάμικτου υγρού και ανακυκλοφορίας ιλύος και λαμβάνοντας υπόψη ότι στην ΕΕΛ Κοζάνης το μεγαλύτερο διάστημα λήψης και εξέτασης δειγμάτων γινόταν επίσης προσθήκη κροκιδωτικών διαφόρων ειδών και σε διαφορετικές δοσολογίες κάθε φορά.

Τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας συνοψίζονται στα ακόλουθα:

Συμπεράσματα από τη διεξαγωγή πειραμάτων για τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών καθίζησης της ενεργού ιλύος για δείγματα από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε μία σειρά εργαστηριακών αναλύσεων και πειραμάτων για τον προσδιορισμό των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS), των αιωρούμενων οργανικών στερεών (VSS), του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI), της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης της ενεργού ιλύος (V_{sz}) και των παραμέτρων V_0 και n της εξίσωσης Vesilind και εν συνεχεία προσδιορισμός του σημείου λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης των δύο εγκαταστάσεων. Όλα τα πειράματα προσδιορισμού του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος και της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης πραγματοποιήθηκαν σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας των 20°C, διότι οι παράμετροι αυτές επηρεάζονται άμεσα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας και ήταν επιθυμητό τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να είναι συγκρίσιμα. Επίσης, τα δείγματα ενεργού ιλύος προέρχονται από δύο διαφορετικές εγκαταστάσεις, τις ΕΕΛ Κοζάνης και ΕΕΛ Λαμίας. Τα σημαντικότερα γενικά συμπεράσματα από τη διεξαγωγή αυτών των πειραμάτων παρουσιάζονται παρακάτω:

Οι τιμές του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI), είναι πολύ υψηλές στην περίπτωση ΕΕΛ με προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού. Οι υψηλές αυτές τιμές σε τέτοιες ΕΕΛ μπορούν να βελτιωθούν στη περίπτωση προσθήκης ενός

κροκιδωτικού στη σωστή όμως πάντα δόση. Σε αντίθετη περίπτωση η τιμές του δείκτη δεν βελτιώνονται σε ικανοποιητικό βαθμό και εξακολουθούν να παραμένουν υψηλές.

Τα δείγματα μιας ΕΕΛ χωρίς προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού εμφανίζουν υψηλότερες τιμές ταχύτητας ζωνικής καθίζησης (Vsz). Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, εφόσον μεγαλύτερες ταχύτητες ζωνικής καθίζησης σημαίνουν καλύτερη καθιζησιμότητα της ιλύος, και σε περιπτώσεις νηματοειδούς διόγκωσης υπάρχουν προβλήματα στην καλή συμπίκωση και καθίζηση της ιλύος.

Ο δείκτης καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI) συνδέεται άμεσα με τα χαρακτηριστικά καθιζησιμότητας V_0 , n και με αύξηση του δείκτη DSVI παρατηρείται μείωση στην τιμή της σταθεράς V_0 , και αύξηση της παραμέτρου n . Επιπλέον, η προσθήκη κροκιδωτικών επηρεάζει την παράμετρο V_0 και το δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος θετικά αλλά δεν επιδρά στην παράμετρο n . Έτσι σε μία ΕΕΛ με προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, η προσθήκη κροκιδωτικών μπορεί να οδήγησε άμεσα στην αύξηση της παραμέτρου V_0 , χωρίς ωστόσο να μειώσει ιδιαίτερα την τιμή της παραμέτρου n . Γενικά, υψηλές τιμές της παραμέτρου V_0 και χαμηλές της n χαρακτηρίζουν μια βιομάζα με καλά χαρακτηριστικά καθίζησης.

Από τον προσδιορισμό των σημείων λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης, παρατηρήθηκε ότι όταν τα σημεία αυτά βρίσκονται εκτός της καμπύλης ροής μάζας στερεών λόγω βαρύτητας είναι άμεση η ανάγκη επέμβασης και πρότασης λύσεων για την καλύτερη λειτουργία των ΕΕΛ, δεδομένου ότι σε αυτή την κατάσταση οι δεξαμενές τελικής καθίζησης είναι υπερφορτωμένες με αποτέλεσμα να διαφεύγουν στερεά στην έξοδο αλλά και να υπάρχουν προβλήματα υπερχειλίσης. Στην περίπτωση της ΕΕΛ που παρουσίαζε προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, όπως ήταν αναμενόμενο το σημείο λειτουργικής κατάστασης των δεξαμενών τελικής καθίζησης ήταν έξω από την καμπύλη. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού σε πρώτη φάση, είναι αναγκαία η μείωση του ρυθμού επανακυκλοφορίας της ιλύος και σε επόμενη φάση ζητούμενο είναι η βελτίωση των χαρακτηριστικών καθίζησης μέσω της βελτίωσης των τιμών των παραμέτρων V_0 και n με επιλογή του κατάλληλου κροκιδωτικού για προσθήκη στη σωστή δόση.

Αντίθετα, σε περιπτώσεις ΕΕΛ που δεν αντιμετωπίζουν ιδιαίτερα προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού η αποκατάσταση ενός σημείου λειτουργικής κατάστασης των ΔΤΚ εντός των επιθυμητών ορίων απαιτεί λειτουργικές βελτιώσεις όπως μείωση του ρυθμού ανακυκλοφορίας της ιλύος καθώς και της συγκέντρωσης στερεών του ανάμικτου υγρού (MLSS).

Συμπεράσματα από τις μικροσκοπικές παρατηρήσεις και τη χρήση της μεθόδου ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας για τον προσδιορισμό διαφόρων μορφολογικών παραμέτρων των κροκιδών της ενεργού ιλύος για δείγματα από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας

Σε ένα δεύτερο βήμα της διπλωματικής αυτής, αναπτύχθηκε μια μέθοδος ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας δειγμάτων ανάμικτου υγρού ενεργού ιλύος, κατά την οποία συνδυάζεται η μικροσκοπική παρατήρηση με ένα λογισμικό ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας (Image Pro Plus). Αυτή η εφαρμογή μας δίνει τη δυνατότητα να εκτιμήσουμε μία πληθώρα μορφολογικών παραμέτρων των κροκιδών της ενεργού ιλύος με αρκετά μεγάλη ακρίβεια, λύνοντας έτσι το πρόβλημα της υποκειμενικότητας του παρατηρητή που εμπεριέχουν άλλες μέθοδοι μικροσκοπικής παρατήρησης. Η μέθοδος εφαρμόστηκε για την εξέταση δειγμάτων ανάμικτου υγρού που προέρχονταν

από δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων με διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά, την ΕΕΛ Λαμίας και την ΕΕΛ Κοζάνης, η οποία παρουσίαζε προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης.

Οι παράμετροι που εξετάστηκαν αναλυτικά στην εργασία αυτή ήταν ο λόγος του μέγιστου άξονα ως προς τον ελάχιστο άξονα μιας έλλειψης (aspect ratio), ο μέγιστος άξονα (axis major), η μέγιστη και η μέση διάμετρος (diameter max, diameter ave) και η περίμετρος (perimeter). Τα σημαντικότερα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω:

Η παράμετρος aspect ratio, υποδηλώνει το λόγο του μέγιστου άξονα ως προς τον ελάχιστο άξονα σε μια έλλειψη. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι η τιμή του aspect ratio, τόσο πιο κυκλική είναι η κροκίδα. Από τις αθροιστικές κατανομές των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε ότι οι κροκίδες μιας ΕΕΛ χωρίς προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού τείνουν να έχουν πιο κυκλικό σχήμα, ενώ σε εγκαταστάσεις με τέτοια προβλήματα οι κροκίδες τείνουν να έχουν σχήμα που προσεγγίζει το σχήμα της έλλειψης. Επομένως, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η παράμετρος aspect ratio εμφανίζει πιο μικρές τιμές στα συστήματα που δεν παρουσιάζουν προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και οι κροκίδες τους τείνουν να έχουν πιο σφαιρικό σχήμα. Δηλαδή, φαίνεται ότι όσο αυξάνεται το μέγεθος των κροκίδων, η παράμετρος aspect ratio μειώνεται.

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι συστήματα που εμφανίζουν υψηλό δείκτη νηματοειδών μικροοργανισμών FI παρουσιάζουν μικρές διαμέτρους κροκίδων, με υψηλή γεφύρωση λόγω της μεγάλης παρουσίας νηματοειδών μικροοργανισμών εντός και εκτός των κροκίδων, σε αντίθεση με τα συστήματα που δεν έχουν προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και παρουσιάζουν μεγαλύτερες διαμέτρους κροκίδων με χαμηλή γεφύρωση και μεγαλύτερη διάμετρο και περίμετρο. Επίσης, οι κροκίδες είναι πιο συμπαιγείς όταν δεν εμφανίζονται προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού και είναι πιο πιθανό να εμφανίζουν ικανοποιητική κατανομή μεγεθών των κροκίδων (15% < 150 μm, 55% μεταξύ 150-500 μm και 30% > 500 μm).

Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των κροκίδων, τόσο αυξάνεται και ο μέγιστος άξονας των κροκίδων. Ανάλογες διακυμάνσεις με τον μέγιστο άξονα ισχύουν και για τις παραμέτρους μέγιστης και μέσης διαμέτρου των κροκίδων. Η μόνη διαφορά είναι ότι η μέση διάμετρος παρουσιάζει μικρότερες τιμές από την μέγιστη διάμετρο, όπως είναι λογικό.

Έτσι, τα συστήματα που δεν παρουσιάζουν προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, σε αντίθεση με αυτά που εμφανίζουν, έχουν μεγαλύτερες τιμές στις παραμέτρους axis major, diameter (max), diameter (ave) και perimeter και μικρότερες τιμές για την παράμετρο aspect ratio. Με βάση τα ανωτέρω, συμπεραίνεται ότι η νηματοειδής διόγκωση σχετίζεται άμεσα με το σχήμα και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των κροκίδων.

Παρατηρήθηκε επίσης, ότι υπάρχει άμεση εξάρτηση των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων στα συστήματα που παρουσιάζουν νηματοειδή διόγκωση και αφρισμό από την προσθήκη ή μη κροκιδωτικών στην εγκατάσταση. Η προσθήκη κροκιδωτικών ιδιαίτερος όταν οι δοσολογίες είναι υψηλές επιφέρει αλλαγή στο σχήμα και στο μέγεθος των κροκίδων. Το μέγεθος των κροκίδων αυξάνεται, η ποσοστιαία κατανομή μεγεθών των κροκίδων βελτιώνεται, το σχήμα τους γίνεται πιο σφαιρικό και οι κροκίδες έστω και ελάχιστα αποκτούν μια πιο συμπαγή δομή.

Συμπεράσματα από τη συσχέτιση των διαφόρων μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων της ενεργού ιλύος μεταξύ τους αλλά και με τις παραμέτρους καθιζησιμότητας της ιλύος για δείγματα από τις ΕΕΛ Κοζάνης και Λαμίας

Για τη συσχέτιση των μορφολογικών παραμέτρων των κροκίδων και των παραμέτρων καθιζησιμότητας της ενεργού ιλύος έγινε χρήση του συντελεστή συσχέτισης r του Pearson και προέκυψαν τα παρακάτω γενικά συμπεράσματα:

- Το aspect ratio για συστήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, φαίνεται να παρουσιάζουν ισχυρή ή μέση αρνητική συσχέτιση με τις διαστάσεις των κροκίδων (μέγιστο άξονα, μέγιστη και μέση διάμετρο) αλλά όχι με την περίμετρο των κροκίδων. Δηλαδή, όσο αυξάνονται οι διαστάσεις της κροκίδας φαίνεται πως η έλλειψη που τις περικλείει τείνει να αποκτά πιο σφαιρικό σχήμα, χωρίς όμως το σχήμα της να σχετίζεται με το συνολικό μήκος του περιγράμματος της κροκίδας. Με τις υπόλοιπες παραμέτρους που σχετίζονται με την καθιζησιμότητα της ιλύος δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση ή αν υπάρχει συσχέτιση είναι ιδιαίτερα ασθενής και το ίδιο συμβαίνει και με τη συγκέντρωση στερεών (MLSS). Ισχυρή θετική συσχέτιση υπάρχει μεταξύ aspect ratio και αριθμού αντικειμένων ανά mm^2 , δηλαδή όσο πιο ελλειψοειδείς γίνονται οι κροκίδες, τόσο αυξάνεται ο αριθμός τους ανά mm^2 . Μία μέση αρνητική συσχέτιση εμφανίζεται και με το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες, δηλαδή όσο πιο ελλειψοειδείς γίνονται οι κροκίδες, τόσο μειώνεται το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες. Αντίθετα, η παράμετρος aspect ratio για για συστήματα χωρίς προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, φαίνεται να παρουσιάζουν ισχυρή ή πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση με τις διαστάσεις των κροκίδων (μέγιστο άξονα, μέγιστη και μέση διάμετρο) αλλά και με την περίμετρο των κροκίδων. Δηλαδή όσο αυξάνονται οι διαστάσεις της κροκίδας φαίνεται πως η έλλειψη που τις περικλείει τείνει να αποκτά πιο ελλειπτικό σχήμα και το σχήμα της να σχετίζεται με το συνολικό μήκος του περιγράμματος της κροκίδας. Με τις υπόλοιπες παραμέτρους που σχετίζονται με την καθιζησιμότητα της ιλύος, δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση όσο αφορά στο δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI), ενώ υπάρχει μία ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το V_0 και το V_0/n , ενώ αντίθετα με το n δεν εντοπίζεται καμία συσχέτιση. Με τη συγκέντρωση στερεών (MLSS) φαίνεται να υπάρχει μία μέση θετική συσχέτιση, δηλαδή όσο πιο ελλειψοειδές είναι το σχήμα των κροκίδων, τόσο αυξάνεται η συγκέντρωση των στερεών. Μέση αρνητική συσχέτιση υπάρχει μεταξύ aspect ratio και αριθμού αντικειμένων ανά mm^2 , δηλαδή όσο πιο ελλειψοειδείς γίνονται οι κροκίδες, τόσο μειώνεται ο αριθμός τους ανά mm^2 . Μία ασθενής αρνητική συσχέτιση εμφανίζεται και με το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες, δηλαδή όσο πιο ελλειψοειδείς γίνονται οι κροκίδες, τόσο αυξάνεται το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες.
- Οι διαστάσεις της κροκίδας συστημάτων με προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, δηλαδή ο μέγιστος άξονας, η μέγιστη διάμετρος και η μέση διάμετρος φαίνεται να παρουσιάζουν ισχυρές θετικές συσχετίσεις μεταξύ τους, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο. Επιπλέον, παρουσιάζουν θετικές συσχετίσεις και με την περίμετρο, δηλαδή αύξηση του μήκους του περιγράμματος της κροκίδας επιφέρει και αύξηση στο μέγεθος των διαστάσεων της κροκίδας. Ισχυρή θετική συσχέτιση επίσης φαίνεται να υπάρχει μεταξύ των διαστάσεων της κροκίδας και του ποσοστού κάλυψης της

επιφάνειας, ενώ πολύ ισχυρές αρνητικές συσχετίσεις υπάρχουν με τον αριθμό αντικειμένων ανά mm^2 . Αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί, καθώς οι μεγαλύτερες κροκίδες καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο στο πλακίδιο και επομένως ο αριθμός τους ανά mm^2 θα είναι μικρότερος, ενώ το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας θα αυξάνεται. Το μέγεθος των κροκίδων φαίνεται να έχει θετική ασθενή συσχέτιση με το δείκτη καθιζησιμότητας DSVI και ασθενή ή καθόλου συσχέτιση με τις παραμέτρους V_0 και n , ενώ δεν έχει καμία απολύτως συσχέτιση με τη συγκέντρωση στερεών (MLSS). Αυτά τα αποτελέσματα δεν είναι αναμενόμενα δεδομένου ότι αύξηση στο μέγεθος των κροκίδων θα ήταν αναμενόμενο να δίνει μικρότερες τιμές στο δείκτη καθιζησιμότητας DSVI. Οι διαστάσεις της κροκίδας για τα συστήματα χωρίς προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, αντίστοιχα παρουσιάζουν ισχυρές ή πολύ ισχυρές θετικές συσχετίσεις μεταξύ τους και επιπλέον παρουσιάζουν και αυτές θετικές συσχετίσεις και με την περίμετρο. Καμία συσχέτιση δεν φαίνεται να υπάρχει μεταξύ των διαστάσεων της κροκίδας και του ποσοστού κάλυψης της επιφάνειας, ενώ μέσες αρνητικές συσχετίσεις υπάρχουν με τον αριθμό αντικειμένων ανά mm^2 . Αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί καθώς οι μεγαλύτερες κροκίδες καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο στο πλακίδιο και επομένως ο αριθμός τους ανά mm^2 θα είναι μικρότερος. Το μέγεθος των κροκίδων φαίνεται να μην συσχετίζεται με το δείκτη καθιζησιμότητας DSVI και να παρουσιάζει μηδενική συσχέτιση και με την παράμετρο n . Πολύ ισχυρή συσχέτιση διακρίνεται με το λόγο V_0/n και ισχυρή συσχέτιση με το V_0 , ενώ δεν έχει ή έχει ασθενή συσχέτιση με τη συγκέντρωση στερεών (MLSS).

- Η περίμετρος της κροκίδας στην περίπτωση συστημάτων με προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, φαίνεται να έχει μια μέση θετική συσχέτιση με το δείκτη καθιζησιμότητας DSVI, πράγμα το οποίο δεν είναι αναμενόμενο, δεδομένου ότι αύξηση στην περίμετρο της κροκίδας συνεπάγεται μάλλον και αύξηση στο μέγεθός της και μεγαλύτερες κροκίδες συνεπάγονται μείωση του δείκτη καθιζησιμότητας. Επίσης, δεν παρουσιάζεται καμία συσχέτιση με τη συγκέντρωση στερεών (MLSS). Μία μέση θετική συσχέτιση με το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες δικαιολογείται, αφού αύξηση της περιμέτρου συνεπάγεται αυτονόητα και μεγαλύτερες κροκίδες, άρα και μεγαλύτερη κάλυψη της επιφάνειας. Μία αρνητική ισχυρή συσχέτιση υπάρχει με τον αριθμό αντικειμένων ανά mm^2 , πράγμα λογικό αφού αν αύξηση της περιμέτρου συνεπάγεται αυτονόητα και μεγαλύτερες κροκίδες, ο αριθμός των αντικειμένων θα είναι μικρότερος, αφού αυτά θα καταλαμβάνουν μεγαλύτερη επιφάνεια. Η περίμετρος της κροκίδας για συστήματα χωρίς προβλήματα νηματοειδούς διόγκωσης και αφρισμού, φαίνεται να μην έχει καμία συσχέτιση με το δείκτη καθιζησιμότητας (DSVI), πράγμα το οποίο δεν είναι αναμενόμενο για τον ίδιο λόγο που εξηγήθηκε παραπάνω στην περίπτωση της ΕΕΛ Κοζάνης. Επίσης, παρουσιάζεται μία μέση θετική συσχέτιση με τη συγκέντρωση στερεών (MLSS). Μία μέση αρνητική συσχέτιση φαίνεται να υπάρχει με το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από τις κροκίδες, πράγμα που δεν φαίνεται να είναι λογικό. Από την άλλη πλευρά, μία αρνητική ισχυρή συσχέτιση υπάρχει με τον αριθμό αντικειμένων ανά mm^2 , πράγμα λογικό, αφού αν αύξηση της περιμέτρου συνεπάγεται αυτονόητα και μεγαλύτερες κροκίδες, ο αριθμός των αντικειμένων θα είναι μικρότερος, αφού αυτά θα καταλαμβάνουν μεγαλύτερη επιφάνεια.

Συμπεράσματα από τη διεξαγωγή πειραμάτων προσθήκης διάφορων ειδών κροκιδωτικών σε τρεις διαφορετικές δόσεις κάθε φορά σε δείγματα ανάμικτου υγρού από τις ΕΕΛ Κοζάνης και ΕΕΛ Λαμίας.

Στα πλαίσια των εργαστηριακών δοκιμών αποφασίστηκε να πραγματοποιηθούν τρεις σειρές πειραμάτων προσδιορισμού του δείκτη καθιζησιμότητας της ιλύος (DSVI) και των ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης σε ένα δείγμα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Λαμίας και σε δύο δείγματα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης στα οποία έγινε προσθήκη κροκιδωτικών.

Εν συνεχεία, διενεργήθηκε καταμέτρηση κροκίδων και καταγραφή των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών με τη βοήθεια του λογισμικού image analysis. Τα πλακάκια που σαρώθηκαν και επεξεργάστηκαν μέσω του λογισμικού, ήταν για δείγματα με προσθήκη κάθε κροκιδωτικού σε κάθε επιλεγμένη δόση και για ένα δείγμα χωρίς προσθήκη κροκιδωτικού κάθε φορά.

Τα κροκιδωτικά που αξιολογήθηκαν συνολικά ήταν ο χλωριούχος υποσίδηρος (FeCl_2), ο τρισθενής χλωριούχος σίδηρος (FeCl_3), το χλωριούχο πολυαργιλικό υδροξείδιο χαμηλής βασικότητας (Al_2O_3), ο κατιονικός πολυηλεκτρολύτης και το θειϊκό αργίλιο ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). Σε όλες τις σειρές πειραμάτων διενεργήθηκαν πειράματα για τρεις δόσεις από κάποια κροκιδωτικά, ενώ κάθε φορά γινόταν και μία δοκιμή χωρίς προσθήκη κροκιδωτικού σε σταθερές πάντα συνθήκες θερμοκρασίας, στους 20°C .

Τα πειράματα που διενεργήθηκαν για το δείγμα ανάμικτου υγρού της ΕΕΛ Λαμίας έδειξαν μία ιδιαίτερα σημαντική επίδραση στην περίπτωση της προσθήκης κατιονικού πολυηλεκτρολύτη στις παραμέτρους που εξετάστηκαν και κυρίως για τη μέγιστη δόση που επιλέχτηκε να προστεθεί στο ανάμικτο υγρό. Τα υπόλοιπα κροκιδωτικά (χλωριούχος υποσίδηρος, τρισθενής χλωριούχος σίδηρος, χλωριούχο πολυαργιλικό υδροξείδιο χαμηλής βασικότητας και θειϊκό αργίλιο) δε φάνηκε να έχουν καμία θετική επίδραση μετά την προσθήκη τους σε οποιαδήποτε δόση επιλέχτηκε.

Πιο αναλυτικά, για το συγκεκριμένο κροκιδωτικό από τις αθροιστικές κατανομές των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε ότι αυξήθηκαν με την προσθήκη του κατιονικού πολυηλεκτρολύτη στο δείγμα ενεργού ιλύος οι τιμές των παραμέτρων του μέγιστου άξονα (axis major), της μέγιστης και μέσης διαμέτρου (diameter max, diameter ave) καθώς και της περιμέτρου (perimeter) των κροκίδων, ενώ οι τιμές του λόγου του μέγιστου άξονα ως προς τον ελάχιστο άξονα μιας έλλειψης (aspect ratio), μειώθηκαν. Δηλαδή, με την προσθήκη κατιονικού πολυηλεκτρολύτη επιτεύχθηκε η δημιουργία μεγαλύτερων κροκίδων, μεγαλύτερης διαμέτρου και περιμέτρου και με σχήμα πιο σφαιρικό από πριν.

Αντίθετα, τα πειράματα προσθήκης κροκιδωτικών που διενεργήθηκαν για τα δύο δείγματα ανάμικτου υγρού από την ΕΕΛ Κοζάνης, δεν έδειξαν καμία σημαντική επίδραση στις παραμέτρους που εξετάστηκαν, δεδομένου ότι την ίδια χρονική περίοδο στην ΕΕΛ Κοζάνης, για λειτουργικούς λόγους, έκαναν επίσης προσθήκη κροκιδωτικών και συγκεκριμένα προσθήκη τρισθενούς σιδήρου σε πολύ μεγάλη δόση στην εγκατάσταση και επομένως η προσθήκη κροκιδωτικών σε εργαστηριακή κλίμακα δεν έδειξε καμία σημαντική επίδραση στα δείγματα ανάμικτου υγρού και στις παραμέτρους που εξετάστηκαν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρεαδάκης Α., (1986) Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας και Διάθεσης Αστικών Αποβλήτων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα.

Ανδρεαδάκης Α.Δ. (1993). Η σημασία της βιοκροκίδωσης στην καθιζηματικότητα της ενεργού ιλύος. Πρακτικά 3ου Διεθνούς Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Λέσβος.

Ανδρεαδάκης Α.(2008) Βιολογική επεξεργασία με ενεργό ιλύ, ΕΜΠ, Αθήνα.

Ανδρονίκου Ε. (2001). Επίδραση διαλυμένου οξυγόνου στις διεργασίες συστημάτων ενεργού ιλύος. ΕΜΠ.

Βερβερίδης Φ. (2003), Εργαστηριακές ασκήσεις Βιοτεχνολογίας φυτών, ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο

Εμβλωτής Α., Κάτσης Α., Σιδερίδης Γ. Στατιστική Μεθοδολογία Εκπαιδευτικής Έρευνας (Α' Έκδοση), Ιωάννινα 2006.

Λαζανάκη Β. (2010), Η χρήση της Real Time PCR (RT-PCR) για την ανίχνευση γενετικά τροποποιημένων στελεχών βακτηρίου (*Escherichia coli*), Διπλωματική εργασία, ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο.

Μαμάης Δ., Εργαστηριακές Μέθοδοι Υγειονομικής Τεχνολογίας – Σημειώσεις μαθήματος, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Οκτώβριος 2009.

Μαρνέρι Ματίνα (2010), Ανάπτυξη και εφαρμογή της μοριακής τεχνικής Fish με στόχο τον ποσοτικό προσδιορισμό και τη διερεύνηση της ενεργότητας νηματοειδών βακτηρίων, ΕΜΠ.

Νουτσόπουλος Κ. (2002) Επίδραση εναλλακτικών σχημάτων επεξεργασίας στα χαρακτηριστικά καθίζησης συστημάτων ενεργού ιλύος με απομάκρυνση θρεπτικών, ΕΜΠ.

Νουτσόπουλος Κ., Μαμάης Δ. Καθιζηματικότητα Ιλύος, Προβλήματα καθίζησης-Νηματοειδής διόγκωση και αφρισμός-Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των νηματοειδών βακτηρίων-Μέθοδοι αντιμετώπισης και ελέγχου, ΕΜΠ.

Παπαδόπουλος Γ. Συσχέτιση δύο μεταβλητών. Εργαστήριο Μαθηματικών & Στατιστικής <<http://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/sisxetisi091.pdf>>

Χιουρέα Βασιλική (2013), Ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης εικόνας σε δείγματα ενεργού ιλύος και συσχέτιση παραμέτρων καθιζηματικότητας ιλύος, ΕΜΠ.

APHA (1992) Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC.

Ardern E, Lockett WT (1914). Experiment on the oxidation of sewage without the aids of filters.

Andreadakis A. (1993). Physical and chemical properties of activated sludge floc
Water Sci. Technol. 27 (12) 1707–1714.

Andreadakis A.D. (1996). Filamentous bulking in nutrient removal plants, in Protection and restoration of the environment III. Proceedings of International Conference organized by the Technical University of Crete. Chania, Crete, August 1996.

Blackbeard J.R., Gabb D.M.D., Ekama G.A. and Marais G.R. (1986). Identification of filamentous organisms in nutrient removal activated sludge plants in South Africa. Water SA, Vol. 14, No 1, pp. 29-33.

Bodik I., Gasparikova E., Dancova L., Kalina A., Hutnan M., Drtil M. (2008). Influence of disinfectants on domestic wastewater treatment plant performance. Bioresource Technology.

Bye CM, Dold PL. (1998). Sludge volume index settleability measures: Effect of solids characteristics and test parameters. Water Environ Res., 70(1):87–93.

Caravelli, A., Giannuzzi L., Zaritzky N., (2007). Inhibitory effect of surfactant on pure cultures of a filamentous and floc forming micro-organism. Environmental Technology, Vol 28, pp 137-146.

Catunda P. F. C., Van Haandel A. C., Araujo L. S. and Vilar A. (1989). Determination of the settleability of activated sludge. In Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental, September 1989, Vol. 15, pp. 53±85.

Chudoba et al., 1973. Chudoba J., Ottova V. and Madra V., Control of activated sludge filamentous bulking- I. Effect of the hydraulic regime of degree of mixing in an aeration tank. Wat. Res.

Chudoba J., Ottova V., Madera V. (1973a). Control of activated sludge filamentous bulking — I. Effect of the hydraulic regime or degree of mixing in an aeration tank.
Chudoba J., Grau P., Ottova V. (1973b). Control of activated sludge filamentous bulking — II. Selection of microorganisms by means of a selector.

Chudoba J, Blaha J., Madera V. (1974). Control of activated sludge filamentous bulking — III. Effect of Sludge Loading.

Chudoba J., Cech J.S., Farkac J., Grau P. (1985). Control of activated sludge filamentous bulking. Experimental Verification of kinetic selection theory.

Costa JC, Mesquita DP, Amaral AL, Alves MM, Ferreira EC, Quantitative image analysis for the characterization of microbial aggregates in biological wastewater treatment: a review,(abstract) < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23716077>>

Daigger G. T. and Roper R. E., Jr. (1985). The relationship between SVI and activated sludge settling characteristics. *Journal Water Pollution Control Federation*, 57(8), 859±866.

Daigger G. T. (1995). Development of refined clarifier operating diagrams using an updated settling characteristics database. *Water Environment Research*, 67(21), 95±100.

David Jenkins, Michael G. Richard, Glen T. Daigger Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming (2nd Edition).

Dick R., Vesilind P. (1969). The sludge volume index – what is it? *J WPCF*, 41 (7) 1285-1291.

D. Mamais, E Kalaitzi and A. Andreadakis (2011). “Foaming control in activated sludge treatment plants by coagulants addition”, *International Journal of Global Nest*, 13 (3), 237 - 245.

Eikelboom D.H. (1975). Filamentous organisms observed in activated sludge. *Wat. Res.*, Vol.9, pp.365-388.

Eikelboom, 2000. Eikelboom D.H., Process control of activated sludge plants by microscopic investigation., IWA Publishing, UK, (2000).

Eikelboom D.H. (1975). Filamentous organisms observed in activated sludge.

Eikelboom et al., 1998. Eikelboom D.H., Andreadakis A. and Andreasen K., Survey of filamentous populations in nutrient removal plants in four European countries.

Eikelboom D. H. and Geurkink B.(2001), Filamentous micro-organisms observed in industrial activated sludge plants. *Proceedings of the 3rd IWA International Specialized Conference on Microorganisms in Activated Sludge and Biofilm Process*, June 2001,Rome.

Eikelboom D. H. and van Buijsen H. J. J. (1981). *Microscopic Sludge Investigation Manual*. TNO Research Institute for Environmental Hygiene, Water and Soil Division, The Netherlands.

Erhart et al., 1997. Erhart R., Bradford D., Seviour R. J., Amann R. Blackall L. L., Development and Use of Fluorescent In Situ Hybridization Probes for the Detection and Identification of “*Microthrix parvicella*” in Activated Sludge, *Syst. Appl. Microbiol.* 20, 310-318 (1997).

Ekama G. A. and Marais G. v. R. (1986). Sludge settleability. Secondary settling tank design procedures. *Water Pollution Control*, 1, 101±114.

E.N. Banadda, R. Jenné, I.Y. Smets and J.F. Van Impe, Predicting the onset of filamentous bulking in biological wastewater treatment systems by exploiting Image Analysis information, Chemical Engineering Department

Farquhar G.J. and W.C Boyle (1971), Identification of filamentous microorganisms in activated sludge, Journal WPCF 43,4,604-622.

G.A. Ekama, A.R. Pitman, M.Smollen and G.v.R.Marais Secondary Settling Tanks

Grijpspeerdt K. and Verstraete W. (1997). Image analysis to estimate the settleability and concentration of activated sludge. Wat. Res., Vol. 31, No. 5, pp. 1126-1134.

Henze M., van Loosdrecht M.C.M., Ekama G.A. and Brdjanovic D. (2008). Biological Wastewater Treatment: Principles, Modeling and Design. IWA Publishing.

Hernandez et al.,1993. Hernandez M., Jenkins D. and Beaman B., Mass and Viability Estimations of Nocardia in Activated Sludge and Anaerobic Digesters Using Conventional Stains and Immunofluorescent Methods. First International Specialized Conference on Microorganisms in Activated Sludge and Biofilm Processes, Παρίσι, (1993).

IWA (2008) Biological Wastewater Treatment: Principles, modeling and design. IWA Publishing, Cambridge

Jenkins D. (1992). Towards a comprehensive model of activated sludge bulking and foaming.

Jenkins D., M.G. Richard and G.T. Daigger (1993). Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. Lewis Publishers, USA.

Jenkins et al., 2004. Jenkins D., Richard M.G. and Daigger G.T. Manual. on the Causes and Control of Activated sludge Bulking, Foaming and other Solids Separation Problems. Lewis Publishers, Washington DC.

Jiri Wanner, Activated Sludge: Bulking and Foaming Control, Lewis Publishers

Johnstone D. W. M., Rachwall A. J. and Hanbury M. J. (1979). Settlement characteristics and settlement-tank performance in the Carrousel activated sludge system. Water Pollution Control 78, 337±353.

Kappeler J. Gujer W. (1994). Verification and applications of a mathematical model for “aerobic bulking”..

Koopman B. and Cadee K. (1983). Prediction of thickening capacity using diluted sludge volume index. Water Research 17(10), 1427±1431.

Lee S.E., Koopman B.I., Jenkins D. and Lewis R.F. (1982). The effect of aeration basin configuration on activated sludge bulking at low organic loading, Water sci. Technol., 14, 407.

Liwerska-Bizukojc E., Application of image analysis techniques in activated sludge wastewater treatment processes (abstract)

<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16231212>>

Mamais et al., 1998. Mamais D., Andreadakis A., Noutsopoulos C., Kalergis C., “Causes and Control Strategies of Microthrix parvicella Bulking and Foaming in Nutrient Removal Activated Sludge Systems” *Water Science and Technology* , 37 (4/5), 9-17, (1998).

Pasveer, 1969. Pasveer A., An investigation on development and control of filamentous sludge

Pitman A. R. (1984). Settling of nutrient removal activated sludges. *Water Science and Technology*, 17, 493±504.

Pitt and Jenkins, 1990. Pitt P. and Jenkins D., Causes and control of *Nocardia* in activated sludge.

Rensink et al., 1992. Rensink J. H. and Donker H. J. W., Management of bulking sludge control by the selector. Two-day Workshop on Prevention and Control of Bulking Activated Sludge, Perugia, Italy, (1992).

Rensink J. H. and Donker H. J. G. W. (1991). The effect of contact tank operation on bulking sludge and biosorption processes

Soddell J.A. and Seviour R.J. (1990) Microbiology of foaming in activated sludge plants.

Soddell J.A. Seviour R.J. Serviou E.M. and Stratton H.M. (1992). Foaming and foam control in activated sludge systems. Two – day workshop on prevention and Control of Bulking Activated Sludge, Perugia, Italy.

Tomlinson E.J. and B. Chambers (1979). Methods for prevention of bulking in activated sludge. *Journal WPCF*, Vol.78, pp.524-538.

Tomilson E.J. and Chambers B. (1983). Control strategies for bulking sludge. Proceedings of a Workshop on the Design and Operation of large Wastewater Treatment Plants, September 1983, Vienna, Austria.

Tuntoolavest M. and Grady L. C. P. (1982). Effect of activated sludge operational conditions on sludge thickening characteristics. *Journal Water Pollution Control Federation*, 54(7), 1112±1117.

Valter T., Jenkins D. and Wanner J. (2006). Activated sludge separation problems. Theory, Control Measures, Practical Experience. IWA Publishing.

Vesilind PA. (1968). Design of prototype thickeners from batch settling tests. *Water Sew Works*, 115:302–7.

Von Sperling M. (1990). Optimal management of the oxidation ditch process. Ph.D. Thesis, Imperial College, University of London, 1990, 371 p.

Von Sperling M. and Froes C.M.V (1999). Determination of the Required Surface Area for Activated Sludge Final Clarifiers Based on a Unified Database. *Wat. Res.*, Vol. 33, No. 8, pp. 1884±1894

Wahlberg E. J. and Keinath T. M. (1988). Development of settling flux curves using SVI. *Journal Water Pollution Control Federation*, 60(12), 2095±2100.

Wagner M., R.Amman, H.Lemmer, W.Manz and K.H. Schleifer (1994), Probing activated sludge with fluorescently labeled rRNA targeted oligonucleotides. *Wat. Sci. Tech.*, Vol.29, No7, pp.15-23.

Wahlberg E. J. and Keinath T. M. (1995). Development of settling flux curves using SVI: an addendum. *Water Environment Research*, 67, 872.

Wanner, J., Chudoba, J., Kucman, K., Proske, L. (1987a). Control of activated sludge filamentous bulking - VII. Effect of anoxic conditions.

Wanner, J., Kucman, K., Ottova, V., Grau, P. (1987b). Effect of anaerobic conditions on activated sludge filamentous bulking in laboratory systems.

Wanner J. (1994). *Activated Sludge Bulking and Foaming Control*. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster (PA), USA.

Y. G. Perez, S. G .F. Leite and M. A. Z. Coelho, Activated Sludge Morphology Characterization through an Image Analysis Procedure, *Brazilian Journal of Chemical Engineering* (Vol.23, No.03, pp.319-330, July-September,2006)

Yamatomo – Ikemoto R., Matsui S., Komori T. and Bosque – Hamilton E.K. (1998). Interactions between filamentous sulfur bacteria, sulfate reducing bacteria and poly – P accumulating bacteria in anaerobic – oxic activated sludge from a municipal plant. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 37, No 4 – 5, pp. 599 – 603.