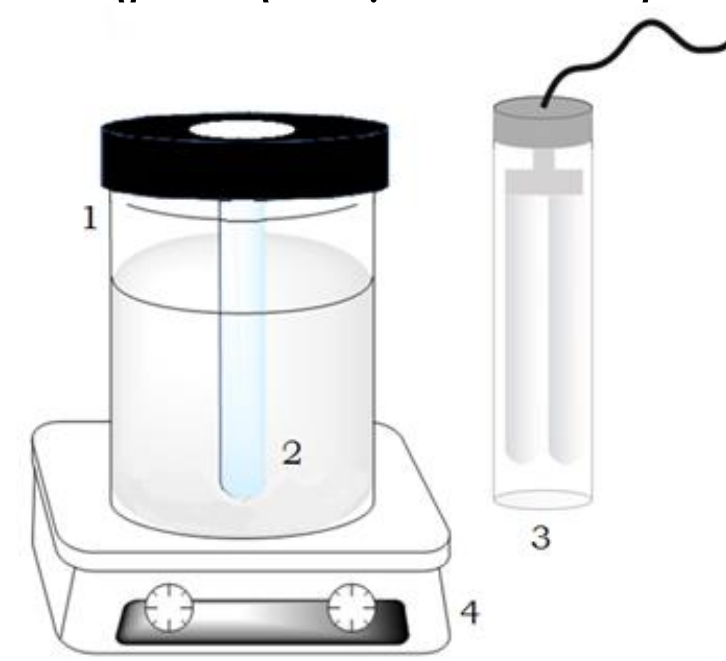


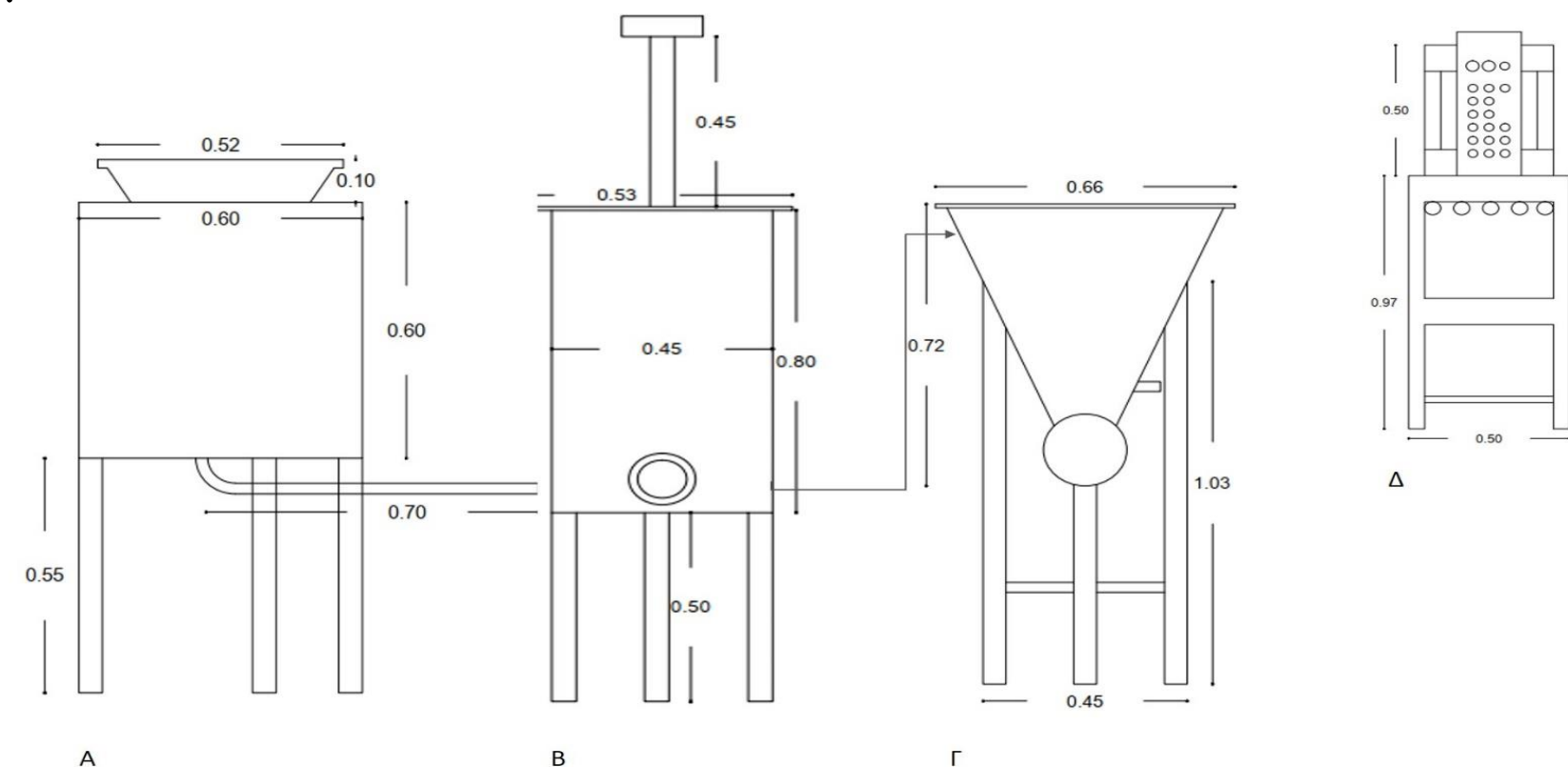
### Γενικά

Οι υγειονομικές μονάδες, όπως ιατρικά, βιοχημικά και μοριακά εργαστήρια, παράγουν επικίνδυνα ιατρικά υγρά απόβλητα (ΕΙΥΑ). Ανάλογα με τη σύστασή τους, διακρίνονται σε υγρά απόβλητα μολυσματικού (ΕΙΥΑ-MX), τοξικού (ΕΙΥΑ-TX) ή μικτού (μολυσματικού και τοξικού, ΕΙΥΑ-MTX) χαρακτήρα. Τα ΕΙΥΑ έχουν μεταβλητή σύσταση με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η εφαρμογή μιας μεθόδου κατεργασίας που θα βελτίωνε τη βιοαποικοδομησιμότητά τους και θα μπορούσε, τελικά, να επιτύχει πλήρη καταστροφή ρύπων και παθογόνων παραγόντων. Επιπλέον, η χρήση παραδοσιακών τεχνικών προϋποθέτει αρκετά στάδια κατά τη διάρκεια της κατεργασίας, ακριβό εξοπλισμό, υψηλό κόστος λειτουργίας. Σε πολλές περιπτώσεις, μάλιστα, οι εν λόγω μέθοδοι αδυνατούν να αδρανοποιήσουν πλήρως τους προαναφερθέντες ρύπους.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μέρος ενός ερευνητικού προγράμματος που στοχεύει στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία ενός καινοτόμου συστήματος φωτοκαταλυτικής αδρανοποίησης (ΣΦΑ), που βασίζεται στη μέθοδο της φωτοκαταλυτικής οξειδωσης, με στόχο την επεξεργασία των ΕΙΥΑ και την αδρανοποίηση παθογόνων παραγόντων ή/και τοξικών ουσιών που περιέχονται σε αυτά. Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι η εφαρμογή και βελτιστοποίηση της ετερογενούς και ομογενούς φωτοκαταλυτικής οξειδωσης, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα πλήρους ανοργανοποίησης χημικών οργανικών ρύπων και αδρανοποίησης παθογόνων. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η εφαρμογή των εν λόγω μεθόδων στην ανοργανοποίηση προσομοιωμένων και πραγματικών ΕΙΥΑ σε εργαστηριακή κλίμακα και προσομοιωμένων ΕΙΥΑ στο ΣΦΑ.



Σχήμα 1. Σχηματική αναπαράσταση φωτοκαταλυτικού αντιδραστήρα τεχνητού φωτισμού. 1. δοχείο αντίδρασης χωρητικότητας 500 mL, 2. γυάλινος κύλινδρος όπου εισάγεται η λάμπα, 3. λαμπτήρας, 4. μαγνητικός αναδευτήρας.



Σχήμα 2. Σχηματική αναπαράσταση συστήματος φωτοκαταλυτικής αδρανοποίησης ΕΙΥΑ: Α. δεξαμενή εισόδου ΕΙΥΑ, Β: φωτοκαταλυτικός αντιδραστήρας, Γ: δεξαμενή εξόδου και Δ: ηλεκτρολογικός πίνακας ελέγχου/σύστημα δοσομετρικών αντλιών προθήκης αντιδραστηρίων.

### Υλικά και μέθοδοι

#### • Υλικά

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης μελετήθηκαν οχτώ διαφορετικά δείγματα πραγματικών ιατρικών υγρών αποβλήτων τοξικού ή/και μολυσματικού χαρακτήρα, από τέσσερις διαφορετικές πηγές υγειονομικού ενδιαφέροντος. Παράλληλα μελετήθηκε η χρώση Παπανικολάου ως αντιπροσωπευτικό προσομοιωμένο ιατρικό απόβλητο, η οποία είναι μια πολυχρωμική χρώση, παγκοσμίως αποδεκτή ως βασική για την εξέταση κυτταρολογικών επιχρισμάτων.

#### • Φωτοκαταλυτικά πειράματα

Τα πειράματα της φωτοκαταλυτικής οξειδωσης πραγματοποιήθηκαν:

- ο σε γυάλινο κυλινδρικό αντιδραστήρα κλειστού τύπου, χωρητικότητας 0.5 L, ο οποίος φέρει στο κέντρο προσαρμοσμένο μικρότερο κύλινδρο από βορο-πυριτικό γυαλί, όπου τοποθετείται η πηγή φωτισμού (Εικόνα 1), και
- στο σύστημα φωτοκαταλυτικής αδρανοποίησης (ΣΦΑ), χωρητικότητας 170 L, το οποίο αποτελείται από τη δεξαμενή εισόδου η οποία περιέχει τα προς επεξεργασία ΕΙΥΑ, τον φωτοκαταλυτικό αντιδραστήρα στον οποίο πραγματοποιείται η επεξεργασία τους παρουσία της κατάλληλης φωτοκαταλυτικής μεθόδου και τη δεξαμενή εξόδου, η οποία φέρει τα επεξεργασμένα/αδρανοποιημένα απόβλητα.

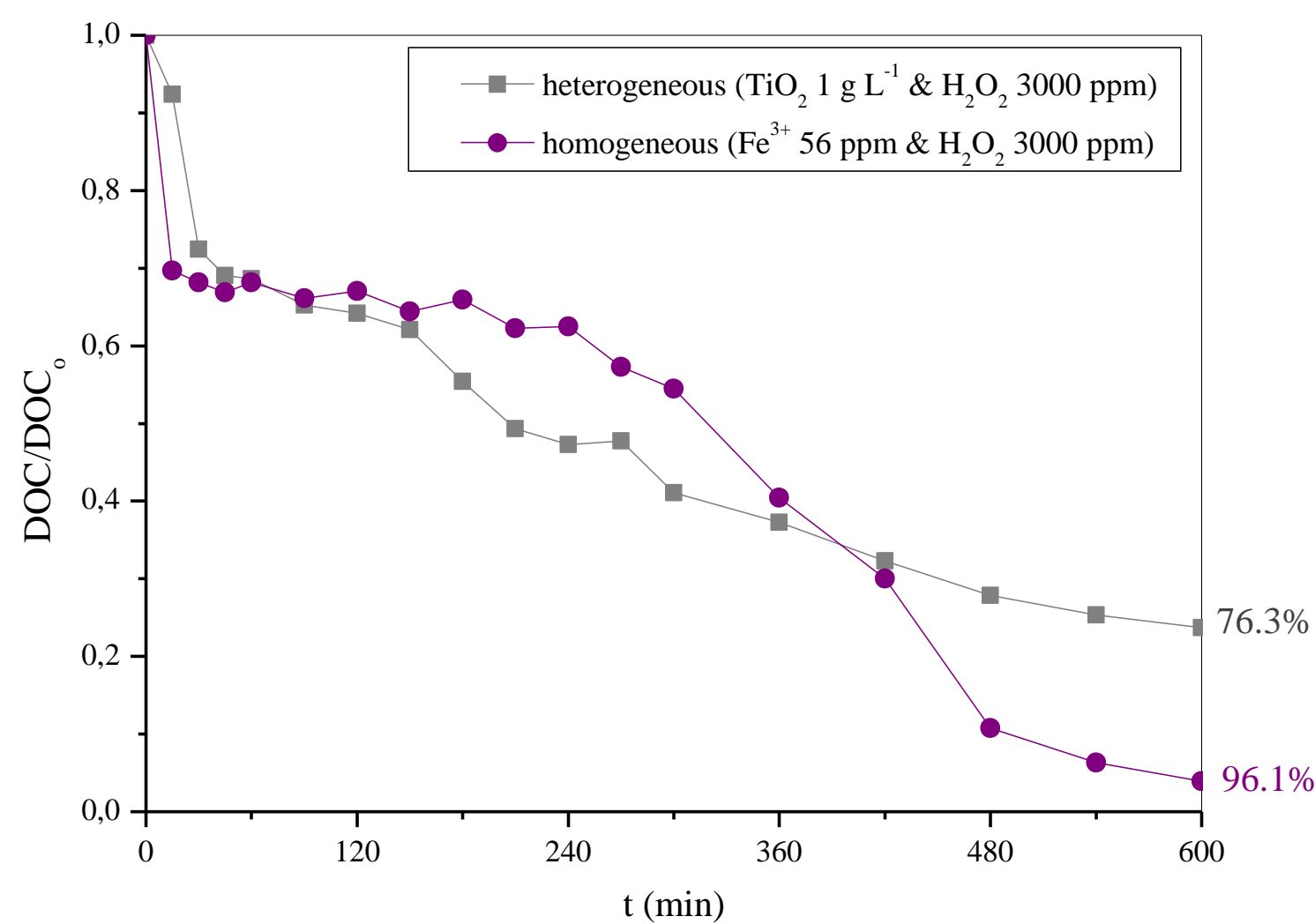
#### • Αναλυτικές μέθοδοι

Για την εκτίμηση του βαθμού ανοργανοποίησης των αποβλήτων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του διαλυμένου οργανικού άνθρακα σε αναλυτή TOC (TOC Vcsh, Shimadzu) με απευθείας έγχυση των δειγμάτων.

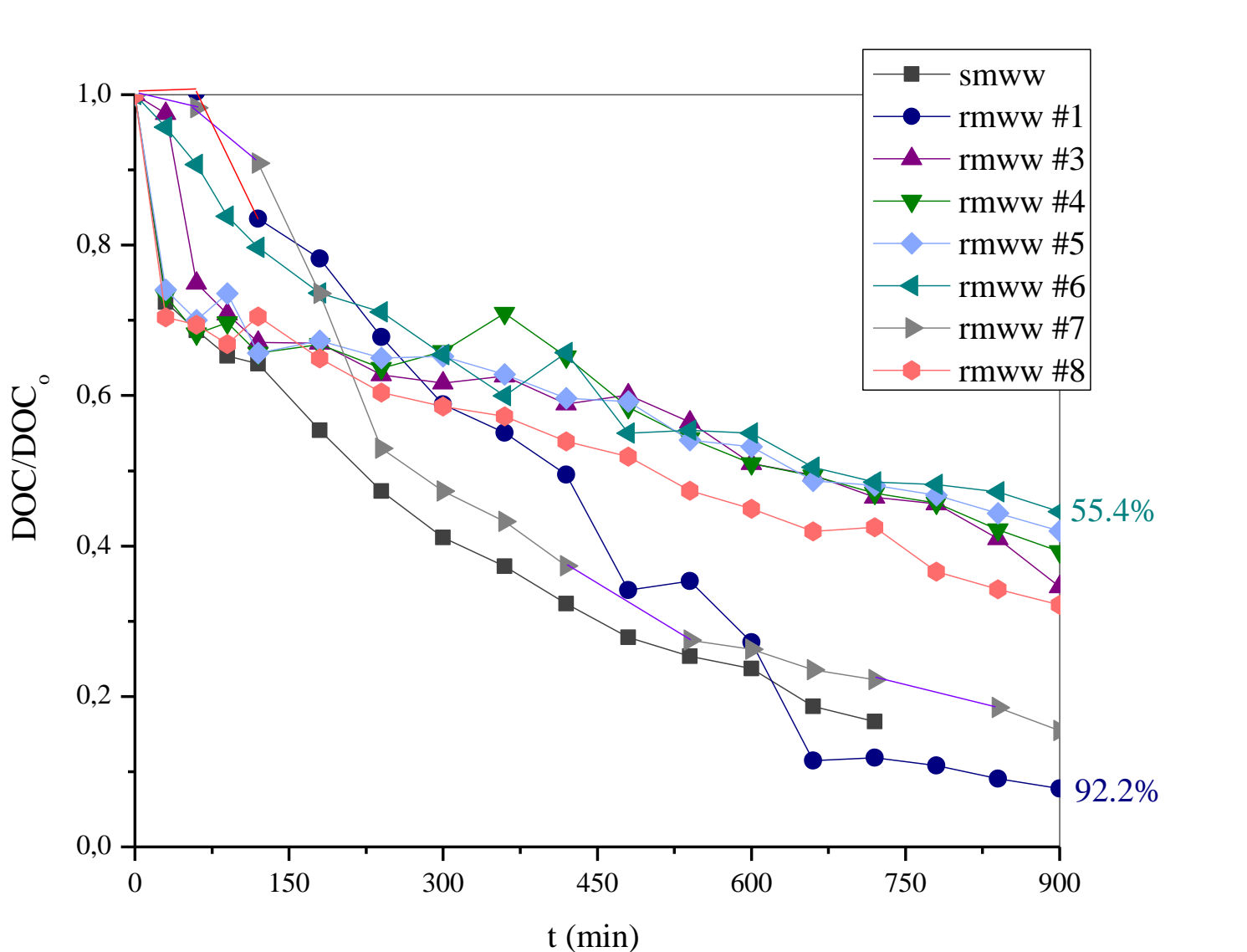
Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις φυτοτοξικότητας με το μικροβιακό τεστ βλάστησης και πρώιμης ανάπτυξης Phytotoxkit. Η διαδικασία διαρκεί 72 ώρες και περιλαμβάνει τρία είδη φυτών (α) το μονοκυτλήδονο *Sorghum saccharatum*, (β) το δικοκυτλήδονο σπόρο καρδάμου *Lepidium sativum* και (γ) το δικοκυτλήδονο σιναπόσπορο *Sinapis alba*. Η οξεία οικοτοξικότητα των επεξεργασμένων δειγμάτων που ελήφθησαν σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα κατά την εκάστοτε διεργασία, προσδιορίστηκε με βάση την αναστολή της βιοφωταύγειας του θαλάσσιου βακτηρίου *Vibrio fischeri* (δοκιμή Microtox®).

### Αποτελέσματα

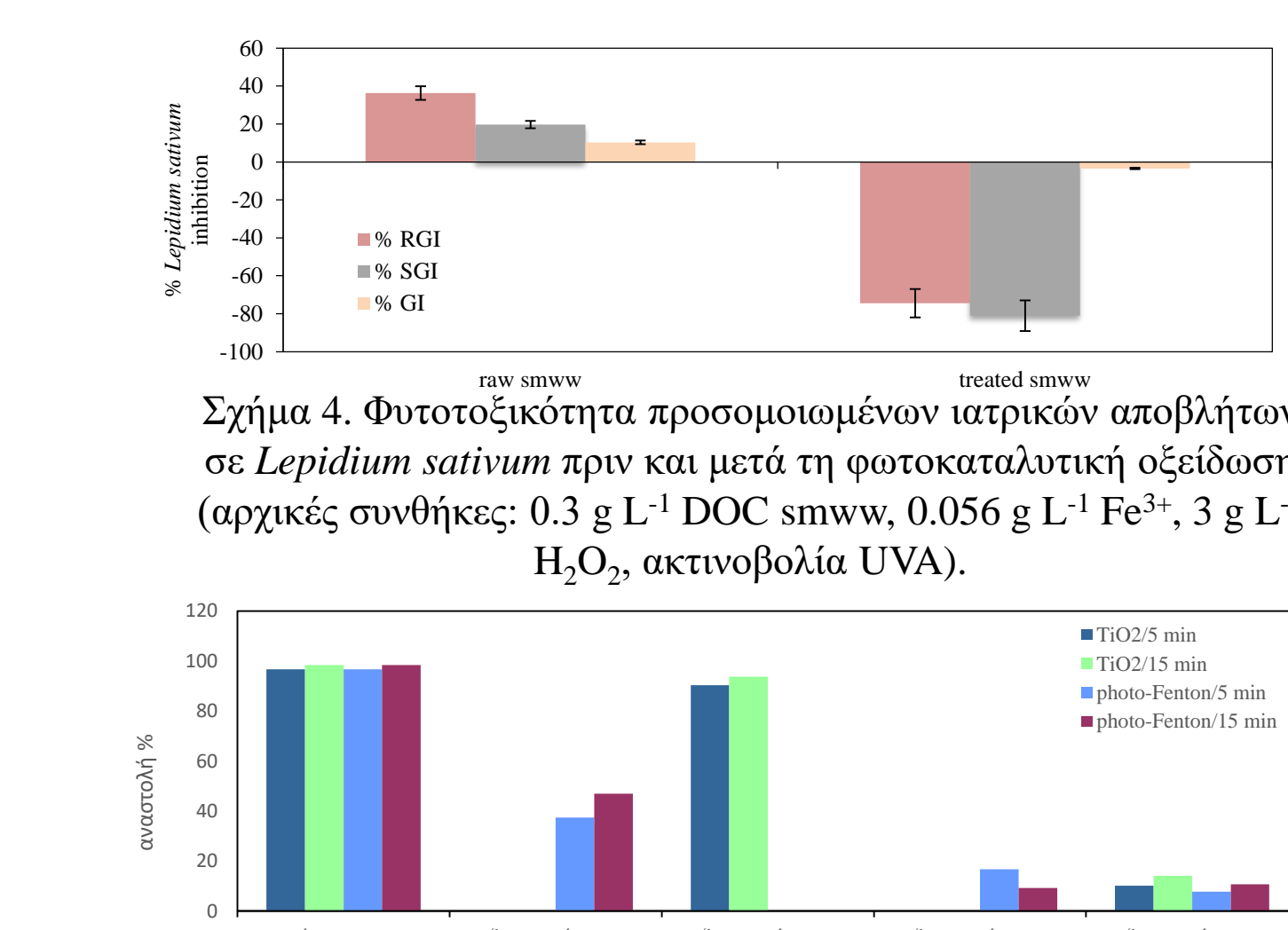
#### εργαστηριακή κλίμακα



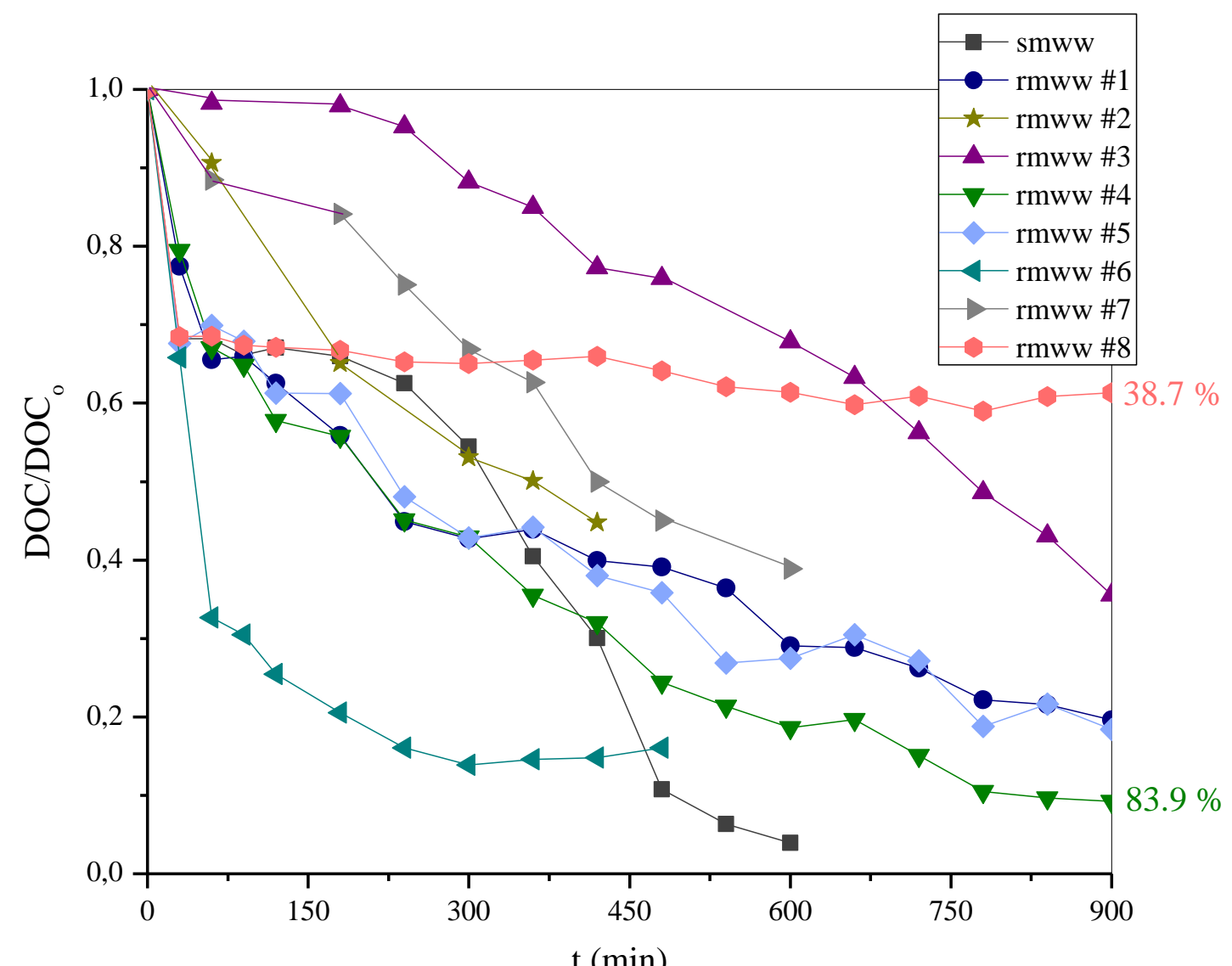
Σχήμα 3. Ετερογενής και ομογενής φωτοκαταλυτική ανοργανοποίηση προσομοιωμένων ΕΙΥΑ στον εργαστηριακό αντιδραστήρα (αρχικές συνθήκες: smww 300 ppm DOC).



Σχήμα 6. Ετερογενής φωτοκαταλυτική ανοργανοποίηση πραγματικών ΕΙΥΑ στον εργαστηριακό αντιδραστήρα (αρχικές συνθήκες: smww 400 ppm DOC, TiO<sub>2</sub> 1 g L<sup>-1</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 2500 ppm).

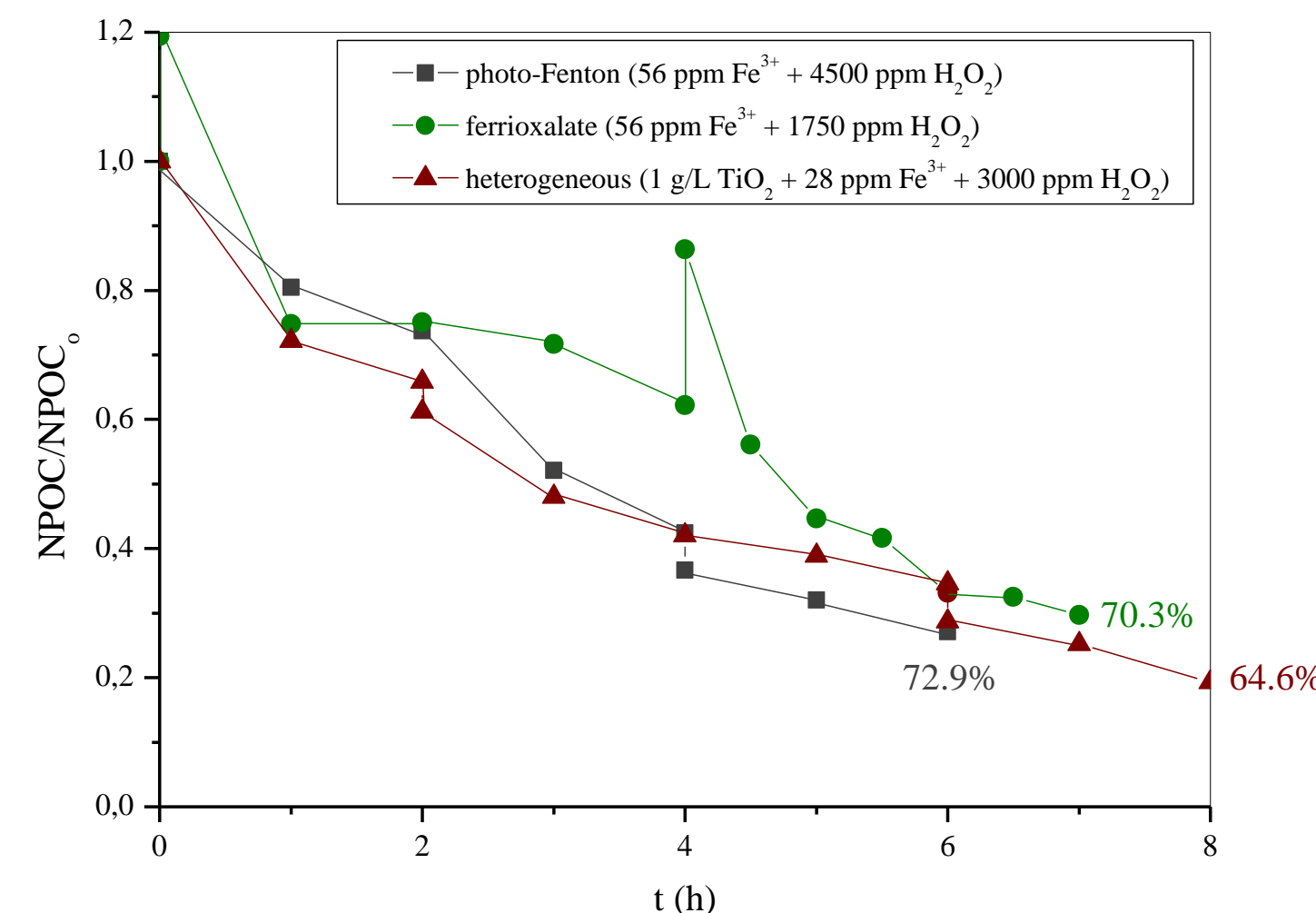


Σχήμα 4. Φυτοτοξικότητα προσομοιωμένων ιατρικών αποβλήτων σε *Lepidium sativum* πριν και μετά τη φωτοκαταλυτική οξειδωση (αρχικές συνθήκες: 0.3 g L<sup>-1</sup> DOC smww, 0.056 g L<sup>-1</sup> Fe<sup>3+</sup>, 3 g L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ακτινοβολία UVA).

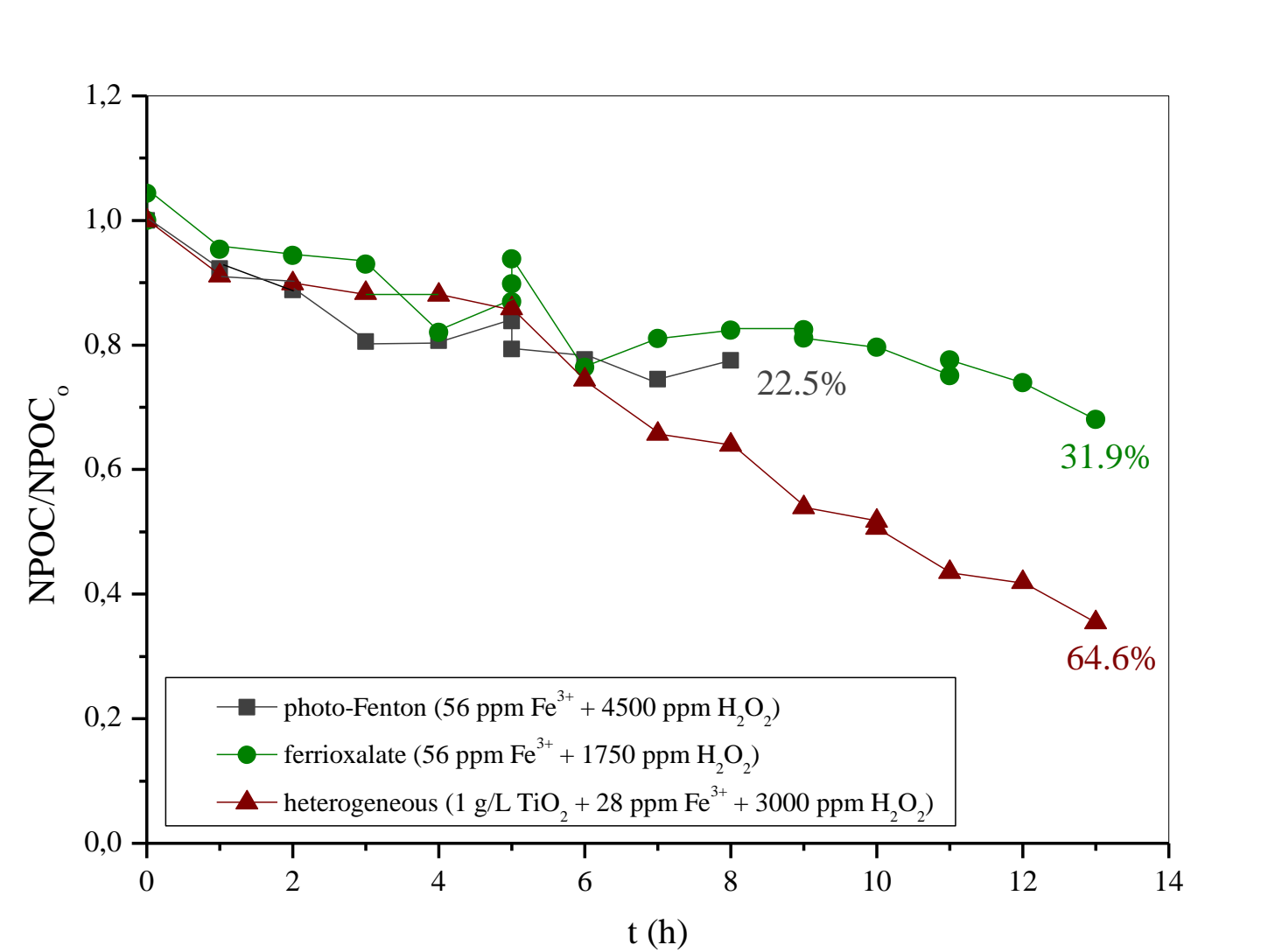


Σχήμα 7. Ομογενής φωτοκαταλυτική ανοργανοποίηση πραγματικών ΕΙΥΑ στον εργαστηριακό αντιδραστήρα (αρχικές συνθήκες: smww 400 ppm DOC, Fe<sup>3+</sup> 56 ppm, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3000 ppm).

#### πilotική κλίμακα



Σχήμα 8. Ετερογενής και ομογενής φωτοκαταλυτική ανοργανοποίηση προσομοιωμένων ΕΙΥΑ στο σύστημα φωτοκαταλυτικής αδρανοποίησης (αρχικές συνθήκες: χρώση Παπανικολάου 100 ppm DOC).



Σχήμα 9. Ετερογενής και ομογενής φωτοκαταλυτική ανοργανοποίηση προσομοιωμένων ΕΙΥΑ στο σύστημα φωτοκαταλυτικής αδρανοποίησης (αρχικές συνθήκες: χρώση Παπανικολάου 500 ppm DOC).

### Συμπεράσματα

- Στην περίπτωση του εργαστηριακού αντιδραστήρα, κατά την επεξεργασία των προσομοιωμένων ΕΙΥΑ, παρατηρήθηκε σχεδόν πλήρης ανοργανοποίηση μετά από 10 ώρες ετερογενούς φωτοκαταλυτικής οξειδωσης, ενώ στο ίδιο χρονικό διάστημα η ομογενής μέθοδος επέφερε ανοργανοποίηση 76.3% (Σχήμα 3).
- Στην περίπτωση της ετερογενούς φωτοκαταλυτικής οξειδωσης πραγματικών ΕΙΥΑ σε εργαστηριακή κλίμακα (Σχήματα 6 και 7) παρουσία TiO<sub>2</sub> P25 1 g L<sup>-1</sup> και H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 2.5 g L<sup>-1</sup>, παρατηρείται μείωση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου σε σχέση με εκείνη που είχε επιτευχθεί στα προσομοιωμένα απόβλητα. Εντούτοις, παρά τη διαφορετική φύση και πηγή των δειγμάτων, τόσο η πορεία της αντίδρασης όσο και το τελικό ποσοστό ανοργανοποίησης μετά από 900 λεπτά επεξεργασίας, έχουν παρόμοια εικόνα (Σχήμα 6). Στην περίπτωση της ομογενούς φωτοκαταλυτικής οξειδωσης με Fe<sup>3+</sup> 0.056 g L<sup>-1</sup> και H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3 g L<sup>-1</sup>, παρουσιάστηκαν πιο έντονες διαφοροποιήσεις, τόσο μεταξύ της ανοργανοποίησης των πραγματικών αποβλήτων και του προσομοιωμένου, όσο και μεταξύ των οχτώ διαφορετικών πραγματικών δειγμάτων, που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν έργο.
- Στα Σχήματα 8 και 9 φαίνονται τα αποτελέσματα της φωτοκαταλυτικής ανοργανοποίησης της χρώσης Παπανικολάου σε pilotική κλίμακα στο ΣΦΑ, με το μεγαλύτερο ποσοστό ανοργανοποίησης να παρατηρείται κατά την ετερογενή φωτοκαταλυτική οξειδωση παρουσία Fe<sup>3+</sup> και H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

### Ευχαριστίες

Η έρευνα συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία, στα πλαίσια της δράσης ΕΡΕΥΝΩ - ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ - ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ (κωδικός έργου: Τ1ΕΔΚ-02678).