

Εισαγωγή στις εργαστηριακές πρακτικές  
στην Διαχείριση και Τεχνολογία πόσιμου νερού και  
υγρών αποβλήτων

**Μέτρηση διαλυμένου οξυγόνου**

Καθηγητής Π. Μελίδης  
ΥΔ Α. Μακρή

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας  
Υγρών Αποβλήτων

# Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Ο ρόλος του διαλυμένου οξυγόνου κατά την αερόβια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι ζωτικής σημασίας

- Η αερόβια βιοδιάσπαση των οργανικών ενώσεων του άνθρακα,
- Η νιτροποίηση (οξειδωση της αμμωνίας προς νιτρικά) και
- Η βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

στηρίζονται στην παρουσία διαλυμένου οξυγόνου.

Ο ρυθμός των βιοχημικών αντιδράσεων που χρησιμοποιούν οξυγόνο αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, ως συνέπεια :

- Τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου τείνουν να πέφτουν σε κρίσιμα επίπεδα κατά τους θερινούς μήνες
- Η κατάσταση γίνεται χειρότερη κατά τους θερινούς μήνες επειδή η ροές των υδάτων μειώνονται και αντίστοιχα μειώνετε η διαθέσιμη ποσότητα οξυγόνου
- Η παρουσία του οξυγόνου στα υγρά απόβλητα είναι σημαντική διότι εμποδίζονται οι αναερόβιες συνθήκες και η παραγωγή δύσοσμων ουσιών

# Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Το διαλυμένο οξυγόνο είναι απαραίτητο για την αναπνοή των αερόβιων μικροοργανισμών

Το οξυγόνο είναι ελάχιστα διαλυτό στο νερό

Η πραγματική ποσότητα οξυγόνου (όπως και άλλων αερίων) που μπορεί να βρίσκεται σε ένα διάλυμα εξαρτάται από:

- Τη διαλυτότητα του αερίου
- Τη μερική πίεση του αερίου στην ατμόσφαιρα
- Τη θερμοκρασία
- Τη συγκέντρωση άλλων συστατικών στο νερό πχ αλατότητα, αιωρούμενα στερεά

# Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Θα πρέπει να διαχωρίσουμε τους όρους:

- **διαλυτότητα οξυγόνου**, (ορίζεται ως η μέγιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου σε κατάσταση ισορροπίας σε καθορισμένη T και P)

και

- **συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO)** (δεν είναι συγκέντρωση ισορροπίας και εξαρτάται από την ταχύτητα διάλυσης του οξυγόνου στο νερό και παράγοντες όπως η ροή, η παρουσία οργανισμών και οργανικής ύλης)

# Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

- Υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου σε επίπεδο κορεσμού δείχνουν νερά καθαρά.
- Μέση συγκέντρωση DO μη ρυπασμένων νερών = 9-10 mg/L  
DO όρια συντήρησης ζωής = 5-6 mg/L
- Με DO < 4 mg/L αρχίζουν ανοξικές συνθήκες
- Χαμηλές τιμές DO δείχνουν ρύπανση των νερών με βιοαποδομήσιμες οργανικές ενώσεις γιατί το διαλυμένο οξυγόνο καταναλώνεται για την οξείδωση οργανικής ύλης σε απλούστερες ενώσεις.
- Οργανική ύλη + O<sub>2</sub> + μικροοργανισμοί → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + νέα κυτταρική ύλη + NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>
- Το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε NH<sub>4</sub><sup>+</sup> → NO<sub>2</sub><sup>-</sup> → NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (νιτροποίηση)

# Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Οι αξιόπιστες και συνεχείς μετρήσεις του διαλυμένου οξυγόνου έχουν γίνει ζωτικής σημασίας σε πολλά αντικείμενα της επεξεργασίας του νερού και των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (ΜΕΥΑ).

Η διαθεσιμότητα ακριβών και έγκαιρων μετρήσεων συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου αποτελεί πλέον απόλυτη ανάγκη για την σωστή παρακολούθηση των διεργασιών διεργασιών και δυναμικό έλεγχο διεργασιών για την εξασφάλιση αποτελεσματικής λειτουργίας της μονάδας.

# Γαλβανικοί αισθητήρες διαλυμένου οξυγόνου(DO)

Οι βάσεις για τον ηλεκτροχημικό προσδιορισμό της συγκέντρωσης οξυγόνου είναι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες καλυμμένοι με μεμβράνη.

Τα κύρια στοιχεία του αισθητήρα είναι

- η διαπερατή από οξυγόνο μεμβράνη,
- το ηλεκτρόδιο εργασίας,
- το αντίθετο ηλεκτρόδιο,
- το διάλυμα ηλεκτρολύτη και ενδεχομένως ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς



Εικ. 1 Διατομή μέσω ενός γαλβανικού αισθητήρα διαλυμένου οξυγόνου

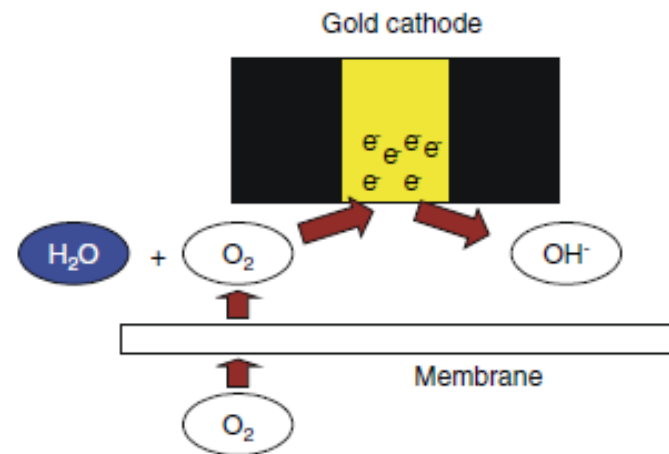
# Γαλβανικοί αισθητήρες διαλυμένου οξυγόνου(DO)

Μεταξύ της καθόδου χρυσού και της ανόδου, η οποία είναι κατασκευασμένη από μόλυβδο ή άργυρο, υπάρχει μια τάση που προκαλεί την αντίδραση του οξυγόνου ηλεκτροχημικά.

Το ρεύμα που προκύπτει είναι τόσο υψηλότερο, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του οξυγόνου.

Η μετρούμενη παράμετρος είναι το ρεύμα στον αισθητήρα, το οποίο μπορεί να μετατραπεί στη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μετά από μια βαθμονόμηση.

Εάν η άνοδος είναι κατασκευασμένη από άργυρο, ο μετρητής παρέχει την απαιτούμενη τάση (αμπερομετρικός αισθητήρας).



*Βασική αρχή των αντιδράσεων στα ηλεκτρόδια*





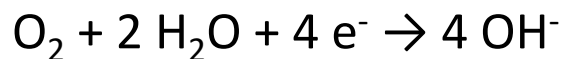
# Γαλβανικοί αισθητήρες διαλυμένου οξυγόνου(DO)

Εάν η άνοδος είναι κατασκευασμένη από μόλυβδο, είναι ένας αυτο-πολωτικός αισθητήρας, δηλαδή η τάση δημιουργείται από τα δύο ηλεκτρόδια στον ίδιο τον αισθητήρα με τον ίδιο τρόπο όπως μια μπαταρία (γαλβανικός αισθητήρας).

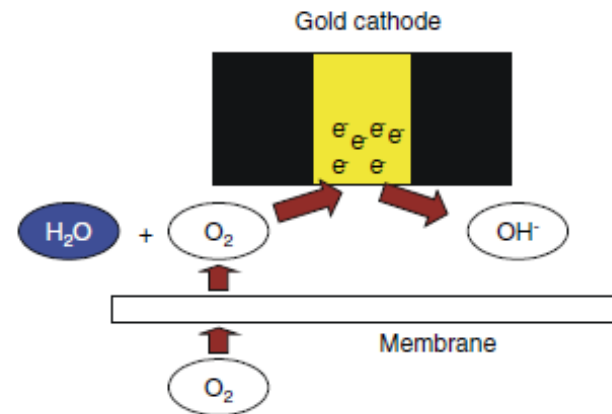
Ο μετρητής αξιολογεί μόνο το ρεύμα.

Στην περίπτωση του ηλεκτροχημικού προσδιορισμού του οξυγόνου το λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες αντιδράσεις ηλεκτροδίων (Εικ. 4).

Το οξυγόνο μειώνεται στην κάθοδο:



Εδώ «η κάθοδος παρέχει ηλεκτρόνια» και το οξυγόνο που έχει διαχέεται μέσω της μεμβράνης αντιδρά με το υδροξείδιο του νερού ιόντων.



*Βασική αρχή των αντιδράσεων στα ηλεκτρόδια*



# Γαλβανικοί αισθητήρες διαλυμένου οξυγόνου(DO)

Το μέταλλο του ηλεκτροδίου οξειδώνεται στην άνοδο, οπότε τα ηλεκτρόνια που απαιτούνται για την αντίδραση της καθόδου απελευθερώνονται.

Οι αντιδράσεις που γίνονται είναι είτε



Οι εξισώσεις των αντιδράσεων ανόδου υπογραμμίζουν την επίδραση του διαλύματος ηλεκτρολύτη.

Τα συστατικά του διαλύματος ηλεκτρολύτη δεσμεύουν τα μεταλλικά ιόντα που προκύπτουν από τις αντιδράσεις της ανόδου



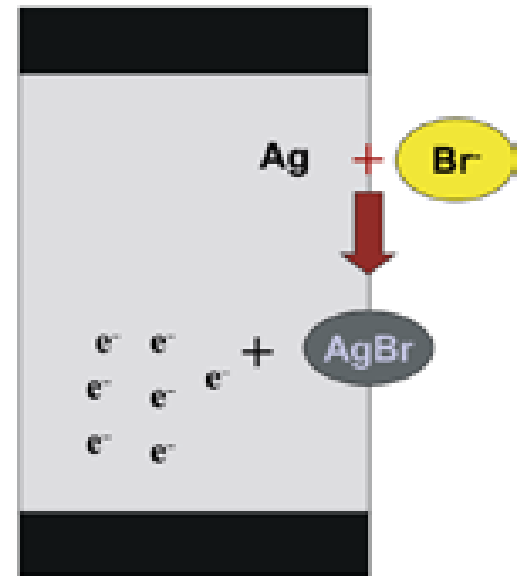
Τα διαλύματα ηλεκτρολυτών πρέπει να είναι κατάλληλα για τον τύπο του ηλεκτροδίου.

# Γαλβανικοί αισθητήρες διαλυμένου οξυγόνου(DO)

Αυτό αναπαρίσταται οπτικά παρακάτω για το ηλεκτρόδιο αργύρου.

Οι προκύπτουσες, ελάχιστα διαλυτές ουσίες εμποδίζουν επίσης την επίστρωση μολύβδου ή αργύρου.

Το βιοφίλμ (ρύπανση) είναι μια βιολογική επικάλυψη της καθόδου χρυσού που θα λάμβανε χώρα εάν τα ιόντα δεν δεσμεύονταν.



Αντιδράσεις ανόδου για το ηλεκτρόδιο αργύρου

# Γαλβανικοί αισθητήρες διαλυμένου οξυγόνου(DO)

Οι αμπερομετρικοί αισθητήρες μπορούν να λειτουργήσουν ως κυψέλη τριών ηλεκτροδίων με ένα επιπλέον ηλεκτρόδιο αργύρου/βρωμιούχου αργύρου.

Δεν έχουν πλέον καμία άνοδο με την παραδοσιακή έννοια.

Το ένα από τα ηλεκτρόδια αργύρου/βρωμιούχου αργύρου αναλαμβάνει το έργο του αντίθετου ηλεκτροδίου (διαρροή ρεύματος) και το άλλο το έργο ενός ανεξάρτητου ηλεκτροδίου αναφοράς.

Αυτό είναι χωρίς ρεύμα και δείχνει μια θεμελιωδώς καλύτερη σταθερότητα δυναμικού από ένα συμβατικό ηλεκτρόδιο.

Το δυναμικό του ηλεκτροδίου αναφοράς προσδιορίζεται από τη συγκέντρωση των ιόντων βρωμιδίου και αντίστοιχα αντιπροσωπεύει ένα επιλεκτικό ηλεκτρόδιο ιόντων.

Ως αποτέλεσμα, η συγκέντρωση του διαλύματος ηλεκτρολύτη μπορεί να παρακολουθείται, κάτι που είναι ένα επιπλέον χαρακτηριστικό αυτού του τύπου αισθητήρα.

# Γαλβανικοί αισθητήρες διαλυμένου οξυγόνου(DO)

Οι χρόνοι πόλωσης των αισθητήρων είναι επίσης διαφορετικοί και πρέπει να διατηρούνται σύμφωνα με τις οδηγίες λειτουργίας.

Ο χρόνος πόλωσης είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της σύνδεσης του αισθητήρα και της έναρξης της μέτρησης.

Αντιστοιχεί στην περίοδο εκτέλεσης που απαιτείται για να αποκτηθεί μια σταθερή μετρούμενη τιμή.

Μετά από επαναπλήρωση και αλλαγή της κεφαλής του αισθητήρα (αναγέννηση αισθητήρων), τα νέα εξαρτήματα περιέχουν ένα απροσδιόριστο ποσοστό οξυγόνου το οποίο πρέπει πρώτα να αντιδράσει ηλεκτροχημικά.

Επιπλέον, ρέει ρεύμα ως αποτέλεσμα της πόλωσης των ηλεκτροδίων.

Αυτό το ρεύμα είναι συγκρίσιμο με το φορτίο ενός συμπυκνωτή.

Ωστόσο, ο χρόνος πόλωσης δεν παίζει μόνο ρόλο μετά την αναγέννηση του αισθητήρα.

# Γαλβανικοί αισθητήρες διαλυμένου οξυγόνου(DO)

Ο γαλβανικός αισθητήρας είναι αυτο-πολούμενος, δηλαδή η πόλωση συνεχίζεται ακόμα και μετά την αποσύνδεση του αισθητήρα από το μετρητή.

Ως αποτέλεσμα, δεν απαιτείται χρόνος αναμονής κατά την επανασύνδεση.

Για τους αμπερομετρικούς αισθητήρες η πόλωση πρέπει να εκτελείται για ορισμένο χρόνο μετά από κάθε αποσύνδεση.

Αυτή η μόνιμη κατάσταση αναμονής, ωστόσο, συνδέεται με ένα ελαφρύ μειονέκτημα.

Καθώς η πόλωση λαμβάνει χώρα συνεχώς, το διάλυμα ηλεκτρολύτη καταναλώνεται επίσης όταν ο αισθητήρας δεν είναι συνδεδεμένος στο μετρητή μέτρησης κατά τη διάρκεια των χρόνων ανάπαυσης.

Μπορεί επομένως να απαιτείται αναγέννηση ακόμη και όταν δεν έχει πραγματοποιηθεί μέτρηση.

# Γαλβανικοί αισθητήρες διαλυμένου οξυγόνου(DO)

Ο ρόλος της θερμοκρασίας του δείγματος για τη μέτρηση του οξυγόνου πηγάζει από την εξάρτηση από τη θερμοκρασία των διαφορετικών μεταβλητών (π.χ. συντελεστής απορρόφησης Bunsen).

Επιπλέον, η διαπερατότητα του οξυγόνου της μεμβράνης εξαρτάται επίσης από τη θερμοκρασία.

Για το λόγο αυτό, εκτός από τον εξωτερικό αισθητήρα θερμοκρασίας (θερμοκρασία δείγματος!) απαιτείται ένας ακόμη και αυτός βρίσκεται στην κεφαλή του αισθητήρα.

Με αυτές τις δύο τιμές θερμοκρασίας ο μετρητής μπορεί να αντισταθμίσει είσοδο της θερμοκρασίας στη διαπερατότητα οξυγόνου της μεμβράνης (Ισοθερμική αντιστάθμιση θερμοκρασίας μεμβράνης IMT).

# Βαθμονόμηση γαλβανικών αισθητήρων

Ανάλογα με τη μέτρηση του pH, πρέπει να πραγματοποιείται βαθμονόμηση για τη μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου σε ορισμένα χρονικά διαστήματα.

Ο λόγος για αυτό είναι η κατανάλωση του διαλύματος ηλεκτρολύτη στην κεφαλή του αισθητήρα μέσω των μετρήσεων, (προηγούμενες αντιδράσεις ηλεκτροδίων).

Τα ιόντα του διαλύματος ηλεκτρολύτη συνδέουν τα μεταλλικά ιόντα που προκύπτουν, με αποτέλεσμα να αλλάζει η σύνθεση του διαλύματος.

Το συνιστώμενο διάστημα βαθμονόμησης εξαρτάται από τον χρησιμοποιούμενο αισθητήρα διαλυμένου οξυγόνου.

Δύο εβδομάδες είναι επαρκείς για φορητούς μετρητές και έως 2-3 μήνες για σταθερούς αισθητήρες διαλυμένου οξυγόνου WTW®.



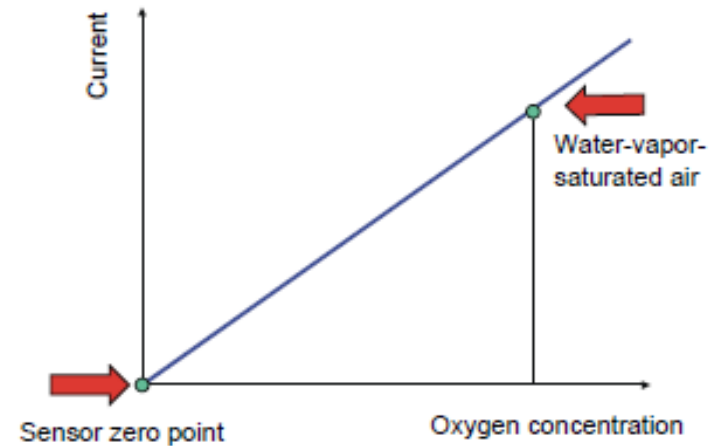
# Βαθμονόμηση γαλβανικών αισθητήρων

Κάθε συνάρτηση γραμμικής βαθμονόμησης ρυθμίζεται σε τουλάχιστον δύο σημεία.

Σε πολλές περιπτώσεις ένα σημείο είναι η ευθεία γραμμή του σημείου μηδέν του αισθητήρα.

Σε περίπτωση απουσίας οξυγόνου, το σήμα του αισθητήρα στο σημείο μηδέν του αισθητήρα είναι μικρότερο από την ανάλυση του αισθητήρα.

Αυτός περιγράφεται ως αισθητήρας ελεύθερου μηδενικού ρεύματος.



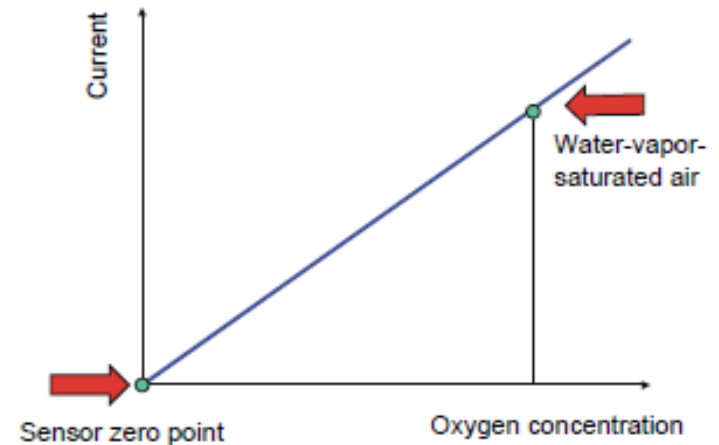
Εικ. Αναπαράσταση γραμμικής βαθμονόμησης μέσω δύο σημείων

# Βαθμονόμηση γαλβανικών αισθητήρων

Για τον αναλυτή, η βαθμονόμηση με το σημείο μηδέν του αισθητήρα είναι πρακτικά μια βαθμονόμηση ενός σημείου.

Το δεύτερο σημείο της καμπύλης βαθμονόμησης μπορεί να προσδιοριστεί με διαφορετικούς τρόπους.

Ο λόγος για αυτό είναι ότι σε κατάσταση ισορροπίας η μερική πίεση του οξυγόνου είναι η ίδια στο ρευστό και στον αέρα.



Εικ. Αναπαράσταση γραμμικής βαθμονόμησης μέσω δύο σημείων

# Βαθμονόμηση γαλβανικών αισθητήρων

## Βαθμονόμηση σε αέρα κορεσμένο με υδρατμούς

Αυτή η προϋπόθεση πληρούται σε μια μεγάλη επιφάνεια νερού, όπως μια λίμνη ή ακόμα και η δεξαμενή αερισμού μιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων.

Η μερική πίεση οξυγόνου του αέρα υπολογίζεται από τη βαρομετρική πίεση χρησιμοποιώντας τον τύπο

$$p_{O_2}(T) = 0,2095 \cdot (P_{air} - p_w(T))$$

Σύμφωνα με αυτή τη σχέση, η τρέχουσα βαρομετρική πίεση πρέπει να μετράται στη θέση μέτρησης .

Οι σύγχρονοι μετρητές καθορίζουν αυτόματα την τρέχουσα πίεση με έναν ενσωματωμένο αισθητήρα πίεσης.

*Ειδικό δοχεία βαθμονόμησης αέρα για  
εργαστηριακές μετρήσεις*



# Βαθμονόμηση γαλβανικών αισθητήρων

## **Βαθμονόμηση σε αέρα κορεσμένο με υδρατμούς**

Η μερική πίεση υδρατμών είναι επίσης συνάρτηση της θερμοκρασίας, όταν η υγρασία του αέρα είναι στο 100%.

Για να προσδιοριστεί αυτή η τιμή, ο αισθητήρας είναι επιπλέον εξοπλισμένος με αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας.

Είναι σημαντικό ο χρήστης να διασφαλίζει ότι δεν υπάρχουν σταγονίδια νερού στη μεμβράνη.

Η βαθμονόμηση θα γινόταν τότε εν μέρει στο νερό.

Επομένως, συνιστάται ιδιαίτερη προσοχή εάν ο αισθητήρας έχει αποθηκευτεί στο δοχείο βαθμονόμησης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και ενδέχεται να έχουν σχηματιστεί ή πέσει πάνω στη μεμβράνη σταγονίδια συμπύκνωσης.

Σε κάθε περίπτωση, η μεμβράνη πρέπει να ελεγχθεί πριν από τη βαθμονόμηση και, εάν είναι απαραίτητο, να στεγνωθεί με ένα μαλακό πανί

# Βαθμονόμηση γαλβανικών αισθητήρων

## Βαθμονόμηση σε κορεσμένο με αέρα νερό

Το νερό τροφοδοτείται με αέρα έως ότου η μερική πίεση οξυγόνου στο νερό και στον αέρα είναι η ίδια.

Ωστόσο, αυτή η μέθοδος κρύβει ορισμένους κινδύνους:

- Η βαρομετρική πίεση στον εύκαμπτο σωλήνα αερισμού είναι πάντα λίγο μεγαλύτερη από την κανονική βαρομετρική πίεση και έτσι το νερό είναι πάντα λίγο υπερβολικά κορεσμένο μετά τον αερισμό.
- Η θερμοκρασία στο νερό μειώνεται ως αποτέλεσμα του εξαερισμού (ψύξη με εξάτμιση).
- Εάν περιμένουμε εξισορρόπηση της θερμοκρασίας, το νερό θα είναι στο τέλος λίγο παραπάνω κορεσμένο.
- Το σημείο πλήρους κορεσμού είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Υπάρχει ο κίνδυνος υποκορεσμού.
- Οι ουσίες που καταναλώνουν οξυγόνο οδηγούν σε υποκορεσμό

# Οπτική μέτρηση οξυγόνου

Στην τεχνολογία αυτή το οξυγόνο δεν μετράται πλέον ηλεκτροχημικά αλλά οπτικά.

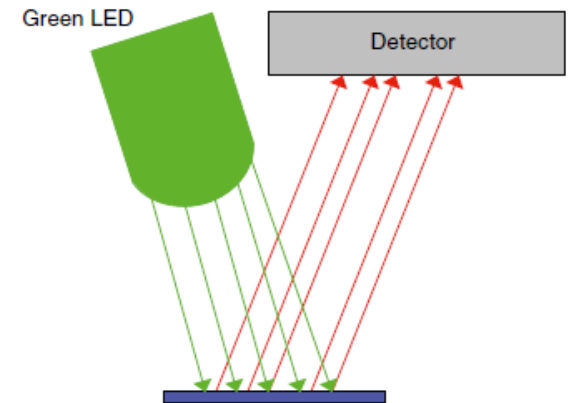
Η αρχή της οπτικής μέτρησης

Ένας αισθητήρας για οπτική μέτρηση περιγράφεται επίσης ως οπτόδιο.

Οπτόδια εξοπλισμένα με ειδικές βαφές εμφανίζουν οπτικά μετρήσιμες αντιδράσεις όταν έρχονται σε επαφή με τα συγκεκριμένα μόρια.

Δεν πραγματοποιείται μετατροπή μάζας και ενέργειας όπως για παράδειγμα με τα κύτταρα Clark.

Πρόκειται για μια μετατροπή ενέργειας, επειδή μια προσπίπτουσα δέσμη φωτός συγκεκριμένου μήκους κύματος μετατρέπεται σε φως μεγαλύτερου μήκους κύματος και κατέχει άλλες ιδιότητες από το αρχικό φως (φθορισμός)



Διέγερση φωταύγειας με χρήση φωτός μικρού μήκους κύματος (πράσινο), εκπομπή μιας κόκκινης και χαμηλής ενέργειας δέσμης φθορισμού.



# Οπτική μέτρηση οξυγόνου

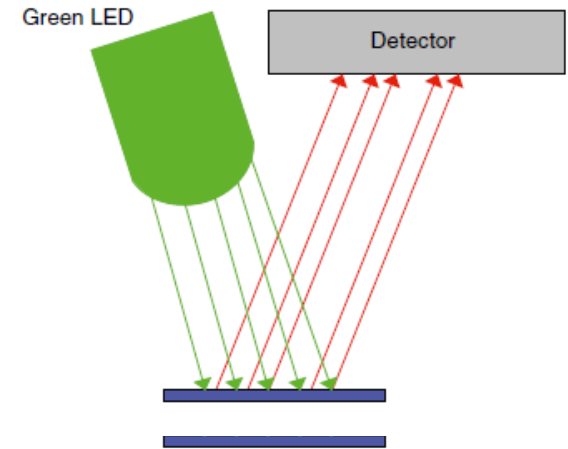
Ως μέρος αυτού, τα μόρια της χρωστικής ουσίας διεγείρονται από το φως.

Με την επιστροφή στη θεμελιώδη κατάσταση η απορροφούμενη ενέργεια εκπέμπεται με τη μορφή φωτός με μεταβαλλόμενα (μεγαλύτερα) μήκη κύματος.

Υπάρχουν ουσίες που επηρεάζουν μετρήσιμα αυτόν τον μηχανισμό ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους (quenchers).

Αυτό σημαίνει ότι αυτά τα υλικά αυτά (quenchers) απορροφούν την ενέργεια της διεγερμένης κατάστασης, έτσι ώστε η χρωστική να μην μπορεί πλέον να εκπέμπει φως φθορισμού και έτσι να «σβήνει».

Η ένταση του φωτός φθορισμού γίνεται μικρότερη όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του μορίου σβέσης.



Διέγερση φωταύγειας με χρήση φωτός μικρού μήκους κύματος (πράσινο), εκπομπή μιας κόκκινης και χαμηλής ενέργειας δέσμης φθορισμού.



# Οπτική μέτρηση οξυγόνου

Αυτό το πλαίσιο περιγράφεται βασικά στην εξίσωση Stern-Volmer:

$$\frac{I_0}{I} = 1 + k_{SV} \cdot c_Q$$

$I_0$  είναι η ένταση του φωτός χωρίς την «απορρόφηση»,

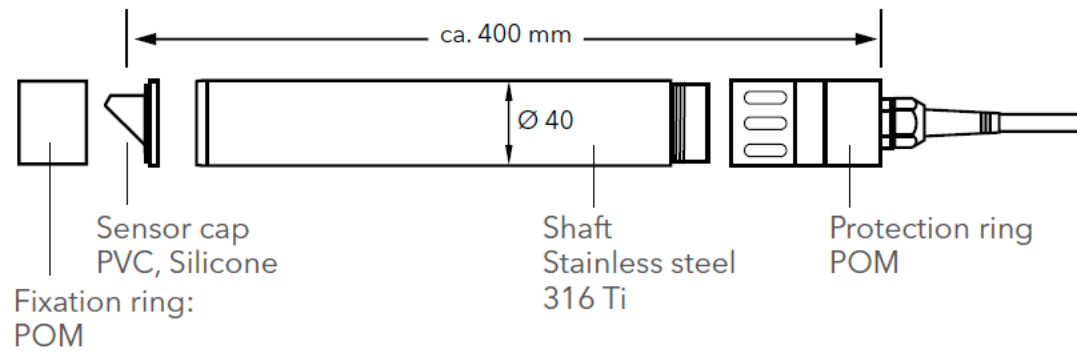
$I$  η ένταση με την χρωστική απόσβεσης σε αντίστοιχη συγκέντρωση,

$k_{SV}$  η σταθερά Stern-Volmer και

$c_Q$  η συγκέντρωση της ουσίας απορρόφησης

## Dimensions FDO® 700

700/701 IQ





# Οπτική μέτρηση οξυγόνου

Τι σημαίνει αυτό για τη μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου:

Υπάρχουν χρωστικές ουσίες που διεγείρονται από το ορατό φως και αντιδρούν με το οξυγόνο με υψηλή εκλεκτικότητα.

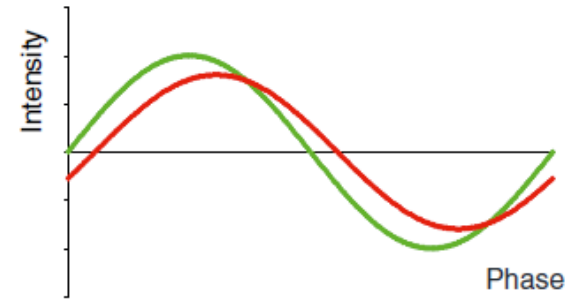
Τα μόρια οξυγόνου χρησιμεύουν ως απορροφητικές ουσίες σε εξάρτηση από τη μερική πίεση του οξυγόνου.

Μέσω αυτής της χρωστικής μπορούν να παραχθούν κατάλληλες μεμβράνες για τη μέτρηση του οξυγόνου σε υγρά ή αέρια.

Τα LED χρησιμεύουν ως πηγή φωτός.

Η διέγερση του φθορισμού λαμβάνει χώρα με διαμορφωμένο τρόπο.

Το φως που εκπέμπεται από τη βαφή στη μεμβράνη ανιχνεύεται, μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα και μετατρέπεται σε σήμα οξυγόνου..



Απλοποιημένη αναπαράσταση διαμορφωμένου ερεθίσματος και εκπεμπόμενης δέσμης φθορισμού.

**Πράσινο γράφημα:** φως που εκπέμπεται περιοδικά,  
**Κόκκινο γράφημα:** φως που εκπέμπεται από τη χρωστική σε μετατοπισμένη φάση που προκύπτει από τη μεταβολή της αναλογίας διάσπασης

# Οπτική μέτρηση οξυγόνου

## Χαρακτηριστικά των οπτικών αισθητήρων διαλυμένου οξυγόνου

- Η σημαντική διαφορά από τους κλασικούς αισθητήρες διαλυμένου οξυγόνου είναι ότι οι οπτικοί αισθητήρες δεν καταναλώνουν οξυγόνο.
- Δεν υπάρχουν ηλεκτροχημικές αντιδράσεις.
- Ο οπτικός αισθητήρας δεν απαιτείται καμία ροή για την αντικατάσταση του «καταναλωμένου» οξυγόνου. Τα συστήματα ανάδευσης είναι τότε περιττά.
- Δεν υπάρχει ανάγκη για αλλαγή ηλεκτρολύτη ή καθαρισμό του συστήματος ηλεκτροδίων.
- Η διάρκεια ζωής των καλυμμάτων οπτικού αισθητήρα με τη μεμβράνη που περιέχει βαφή είναι συνήθως τουλάχιστον ένα έτος.
- Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες σχηματίζουν στο νερό ένα στρώμα μορίων νερού πάχους 10 μm που δεν μπορεί να αναδευτεί.
- Κατά συνέπεια, αυτό το στρώμα χρησιμεύει ως πρόσθετο φράγμα διάχυσης.

# Οπτική μέτρηση οξυγόνου

## Χαρακτηριστικά των οπτικών αισθητήρων διαλυμένου οξυγόνου

- Στον αέρα αυτοί οι αισθητήρες δείχνουν σήμα κορεσμού περίπου 102%.
- Ο οπτικός αισθητήρας μετρά 100% κορεσμό αέρα καθώς αυτό το φράγμα δεν υπάρχει εδώ.
- Ωστόσο, μπορεί να είναι λογικό να εφαρμοστεί ροή σε έναν οπτικό αισθητήρα.
- Όπως συμβαίνει με όλα τα συστήματα με διεπαφές, ακόμη και όταν χρησιμοποιείται ο οπτικός αισθητήρας διαλυμένου οξυγόνου, υπάρχει διάχυση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό ανάλογα με τη συγκέντρωση μέσα ή έξω από τη μεμβράνη.
- Αυτή η διαδικασία εκτελείται φυσικά πιο γρήγορα όσο καλύτερα γίνεται η ανταλλαγή στη διεπαφή.
- Μια ανάδευση υποστηρίζει αυτή την ανταλλαγή.
- Δεν υπάρχει χρόνος πόλωσης για τους οπτικούς αισθητήρες καθώς δεν έχει ηλεκτρόδια που πρέπει να φτάσουν σε μια κατάσταση λειτουργίας.

# Οπτική μέτρηση οξυγόνου

## Χαρακτηριστικά των οπτικών αισθητήρων διαλυμένου οξυγόνου

- Οι αισθητήρες οπτικού διαλυμένου οξυγόνου είναι αισθητήρες που έχουν ενεργά συστατικά (LED, ανιχνευτής, επεξεργαστής).
- Σε αντίθεση με τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες, καταναλώνουν περισσότερο ρεύμα, γεγονός που οδηγεί σε σημαντικά μειωμένο χρόνο λειτουργίας στην περίπτωση φορητών συστημάτων.
- Επιπλέον, οι οπτικοί αισθητήρες χρειάζονται διαφορετικούς μετρητές.
- Το εύρος μέτρησης είναι αισθητά περιορισμένο σε σύγκριση με τους παραπάνω ηλεκτροχημικούς αισθητήρες.
- Ο λόγος για αυτό είναι η απορρόφηση.

## Απλοποιημένα:

- απουσία οξυγόνου οδηγεί σε ισχυρό σήμα,
- μεγάλη ποσότητα οξυγόνου οδηγεί σε ασθενές σήμα.

Γενικά το εύρος μέτρησης δεν υπερβαίνει περίπου τα 200% κορεσμός αέρα ή αντίστοιχα 20 mg/l.

# Οπτική μέτρηση οξυγόνου

## Βαθμονόμηση οπτικών αισθητήρων διαλυμένου οξυγόνου

- Ένα πλεονέκτημα των οπτικών αισθητήρων διαλυμένου οξυγόνου είναι αυτή η πολύ σταθερή συμπεριφορά μετατόπισης (very stable drift behaviour).
- Οι αλλαγές στη μεμβράνη προκαλούνται κυρίως μέσω του ακτινοβολούμενου φωτός.
- Προκύπτει μείωση της ευαισθησίας, που προκαλείται από τη λεγόμενη λεύκανση σε μείωση της έντασης και αλλαγή της μετατόπισης φάσης.
- Αυτές οι αλλαγές είναι γενικά πολύ μικρότερες από το 5% της αρχικής τιμής κατά τη διάρκεια ενός έτους.
- Αν αυτή η ανοχή μπορεί να γίνει αποδεκτή, ο αισθητήρας δεν χρειάζεται να βαθμονομηθεί.
- Εφαρμόζουμε τη βαφή στα καπάκια αλλαγής που απλώς βάζει ο χρήστης στον αισθητήρα.

# Οπτική μέτρηση οξυγόνου

## Βαθμονόμηση οπτικών αισθητήρων διαλυμένου οξυγόνου

Αυτά τα πώματα ανταλλαγής περιέχουν ένα τσιπ με τις προδιαγραφές της μεμονωμένης μεμβράνης που καθορίζονται στη διαδικασία παραγωγής («εργοστασιακή βαθμονόμηση»).

Τα δεδομένα μεταφέρονται αυτόματα στον αισθητήρα και χρησιμοποιούνται για τον σωστό υπολογισμό της συγκέντρωσης οξυγόνου.

Επίσης είναι δυνατή μια βαθμονόμηση που πραγματοποιείται από τον χρήστη. Εφαρμόζεται ανάλογα με τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες σε αέρα κορεσμένο με υδρατμούς στο δοχείο βαθμονόμησης.

Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, η προκύπτουσα συγκέντρωση κορεσμού είναι στο 100%.



# Οπτική μέτρηση οξυγόνου

## Βιβλιογραφία

- Oxygen Handbook, MEASUREMENT TECHNOLOGY THEORY AND TIPS FOR PRACTICAL APPLICATION, WTW