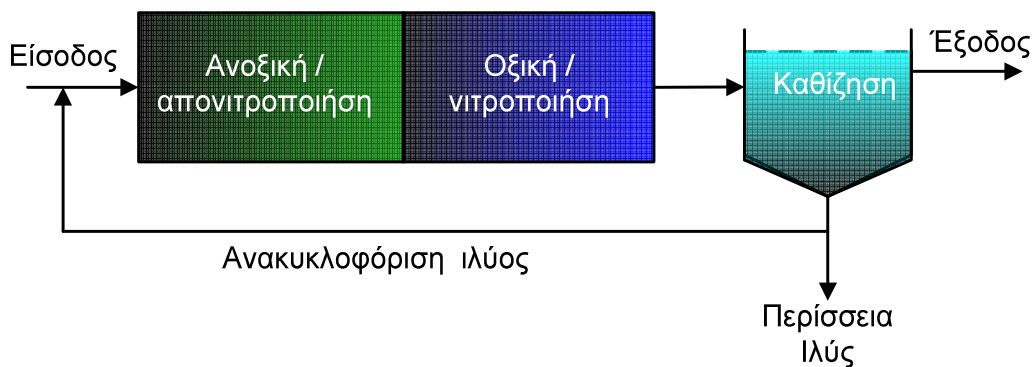


### 2.3 Συνοπτική εξέταση των συστημάτων απονιτροποίησης

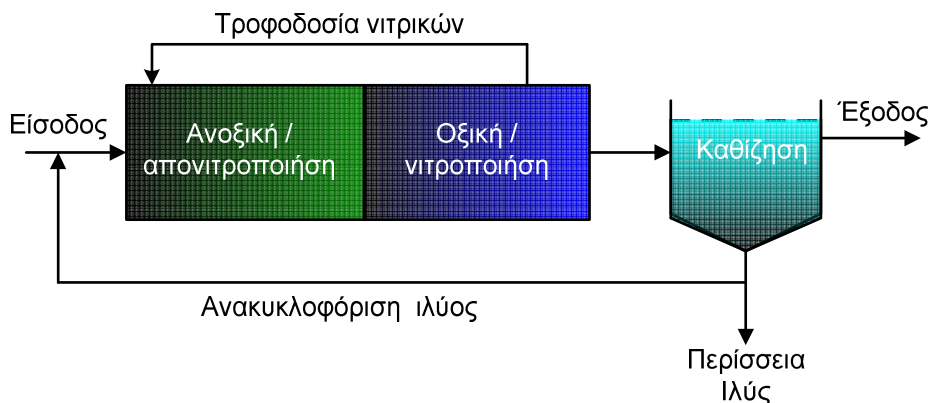
#### Αρχική προτεταμένη απονιτροποίηση

Η πρώτη λύση για μία μονάδα προτεταμένης απονιτροποίησης προτάθηκε από τους Ludzack και Ettinger (1962). Το εισερχόμενο απόβλητο τροφοδοτούνταν στην ανοξική ζώνη, την οποία ακολουθούσε μια αερόβια ζώνη. Η μέθοδος βασιζόταν στα νιτρικά τα οποία σχηματίζονταν στην αερόβια ζώνη και ανακυκλοφορούσαν μέσω της επιστρεφόμενης ενεργού ιλύος στην ανοξική ζώνη. Ακριβώς όμως για αυτόν τον λόγο ο βαθμός απονιτροποίησης περιοριζόταν σημαντικά από τον ρυθμό ανακυκλοφορίας της ενεργού ιλύος (RAS)



Σχήμα 2-2. Αρχή λειτουργίας προτεταμένη απονιτροποίησης κατά Ludzack και Ettinger

Μια από τις πιο συχνά εφαρμοζόμενες μεθόδους βιολογικής αφαίρεσης αζώτου είναι η εξελιγμένη μέθοδος κατά Ludzack και Ettinger, η MEL (Modified Ludzack & Ettinger). Η εξέλιξη προήλθε από την ιδέα να αυξηθεί η παροχή των νιτρικών στην ανοξική ζώνη με την επιπρόσθετη ανακυκλοφορία της ενεργού ιλύος από την έξοδο της αερόβιας ζώνης, πριν την καθίζηση. Κατά αυτό τον τρόπο αυξήθηκε ο βαθμός απονιτροποίησης και γενικά αφαίρεσης του αζώτου. Ο λόγος εσωτερικής ανακυκλοφορίας (παροχή εσωτερικής ανακυκλοφορίας προς παροχή εισόδου) τυπικά κυμαίνεται μεταξύ 2 και 4. Με επαρκές εισερχόμενο οργανικό φορτίο (BOD) και χρόνο επαφής στην ανοξική ζώνη καταλήγουμε στην κατά μέσω όρο συγκέντρωση εξόδου  $\text{NO}_3\text{-N}$  4-7 mg/L για αστικά υγρά απόβλητα. Η MEL μέθοδος είναι εύκολα προσαρμόσιμη σε υφιστάμενες μονάδες με την μέθοδο της ενεργού ιλύος για την μείωση του ανθρακούχου οργανικού φορτίου, πετυχαίνοντας σχετικά εύκολα το απαιτούμενο όριο των <math><10\text{mg/L}</math> σε ολικό άζωτο.

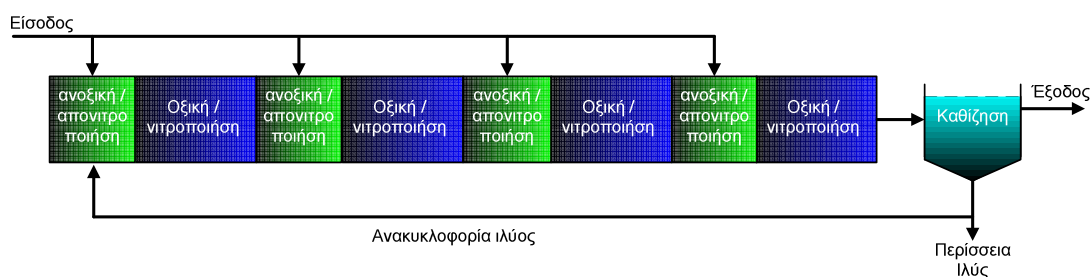


Σχήμα 2-2. Αρχή λειτουργίας προτεταμένη απονιτροποίησης κατά MLE

Ένας λόγος BOD/TKN = 4/1 στο εισερχόμενο υγρό απόβλητο είναι συνήθως επαρκής για την ουσιαστική αναγωγή των νιτρικών στα συστήματα προτεταμένης απονιτροποίησης. Τυπικοί χρόνοι παραμονής στην ανοξική ζώνη (δεξαμενή) για το MLE κυμαίνονται μεταξύ 2-4 h, αλλά όταν η ανοξική ζώνη διαιρείται σε 3 ή 4 τμήματα εν σειρά, οι κινητικές βιοσταθερές της απονιτροποίησης αυξάνονται και ο ολικός χρόνος παραμονής μειώνεται από 50-70% ενός απλού συστήματος. Μία ακόμα εναλλαγή του συστήματος αυτού είναι η eMLE (enhance MEL) η οποία χρησιμοποιεί μία ακόμη διάταξη ανοξικής/ οξικής δεξαμενής για αυξημένη μείωση των θρεπτικών.

### Προτεταμένη απονιτροποίηση βαθμιδωτής τροφοδοσίας

Οι προανοξικές ζώνες μπορούν επίσης να εφαρμοσθούν σε βαθμιδωτή τροφοδοσία βιολογικής αφαίρεσης αζώτου. Λόγο της προσαρμογής της μεθόδου σε υφιστάμενες μονάδες πολλαπλών βαθμίδων, εφαρμόστηκαν καταρχήν σε ομοιόμορφου όγκου ανοξικές / οξικές δεξαμενές. Βέβαια σε κάθε περίπτωση η χρήση μη συμμετρικών δεξαμενών με μικρότερου όγκου ανοξική/αερόβια δεξαμενή στην αρχή της διάταξης προσφέρει πλεονεκτήματα της υψηλότερης συγκέντρωσης MLSS στα αρχικά στάδια, λόγω της μικρότερης αραίωσης της ανακυκλοφορίας της ενεργού ιλύος (RAS) καταλήγοντας σε υψηλότερη ικανότητα αφαίρεσης αζώτου. Μια δυνατή ποσοστιαία βαθμίδωση της τροφοδοσίας εισόδου για ένα τεσσάρων βαθμίδων σύστημα είναι 15:35:30:20. Το τελευταίο τμήμα της τροφοδοσίας στην ανοξική /οξική είναι σημαντικό διότι, η συγκέντρωση των νιτρικών σε αυτήν, θα καθορίσει την τελική συγκέντρωση εξόδου της εγκατάστασης. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνονται συγκεντρώσεις  $<NO_3-N$  8mg/L.

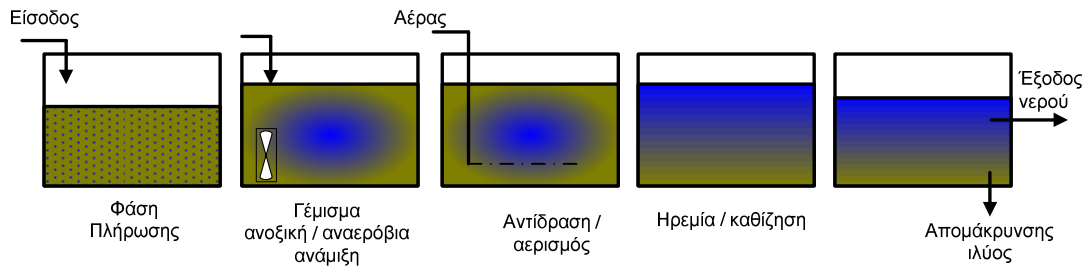


**Σχήμα 2-3.** Αρχή λειτουργίας βαθμιδωτής τροφοδοσίας για την αφαίρεση αζώτου

### Προτεταμένη απονιτροποίηση σε συστήματα διαλείπουσας λειτουργίας

Το σύστημα SBR χρησιμοποιεί προανοξική απονιτροποίηση χρησιμοποιώντας το BOD της εισροής των υγρών αποβλήτων. Ανάμιξη χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια της περιόδου γεμίσματος για την επαφή του μικτού υγρού με την εισροή των υγρών αποβλήτων. Για πολλές οικιακές εφαρμογές, βάσει της ισχύος των υγρών αποβλήτων, είναι διαθέσιμο επαρκές BOD και ο χρόνος γεμίσματος για την απομάκρυνση σχεδόν όλων των νιτρικών που παραμένουν στο μικτό υγρό μετά τα βήματα της καθίζησης και του αδειάσματος. Κάποια απομάκρυνση νιτρικών συμβαίνει επίσης κατά την διάρκεια της μη αεριζόμενης καθίζησης και της περιόδου αδειάσματος. Η ξεχωριστή ανάμιξη παρέχει λειτουργική ευελιξία και είναι χρήσιμη για την ανοξική λειτουργία κατά την διάρκεια του αερισμού, καθώς και ο αερισμός κατά την διάρκεια του γεμίσματος είναι αποτελεσματικός στην βελτίωση των ιδιοτήτων καθίζησης της ιλύος επιπρόσθετα με την απομάκρυνση του αζώτου.

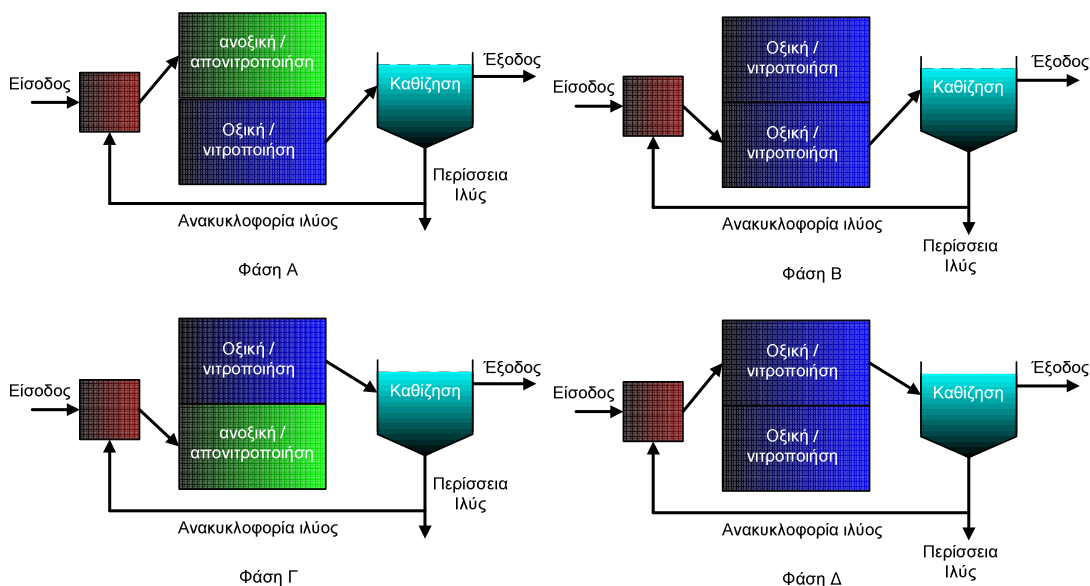
Πολλές εγκαταστάσεις έχουν καταγράψει συγκεντρώσεις εκροής NO<sub>3</sub>-N μικρότερες από 5 mg/L.



Σχήμα 2-4 Σύστημα SBR

### Bio-Denitro Τεχνολογία οξειδωτικής τάφρου ανεξάρτητων φάσεων (Phased-isolation oxidation ditch)

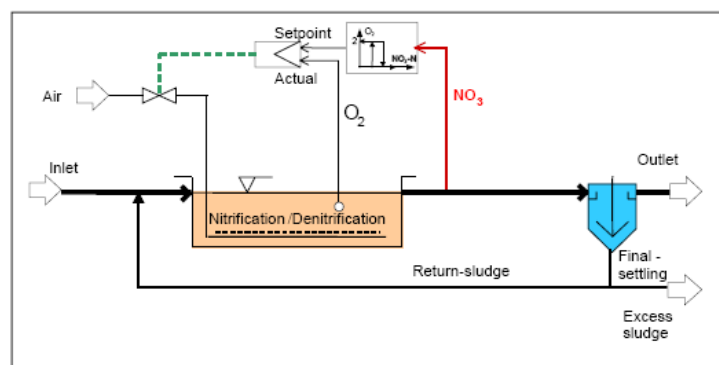
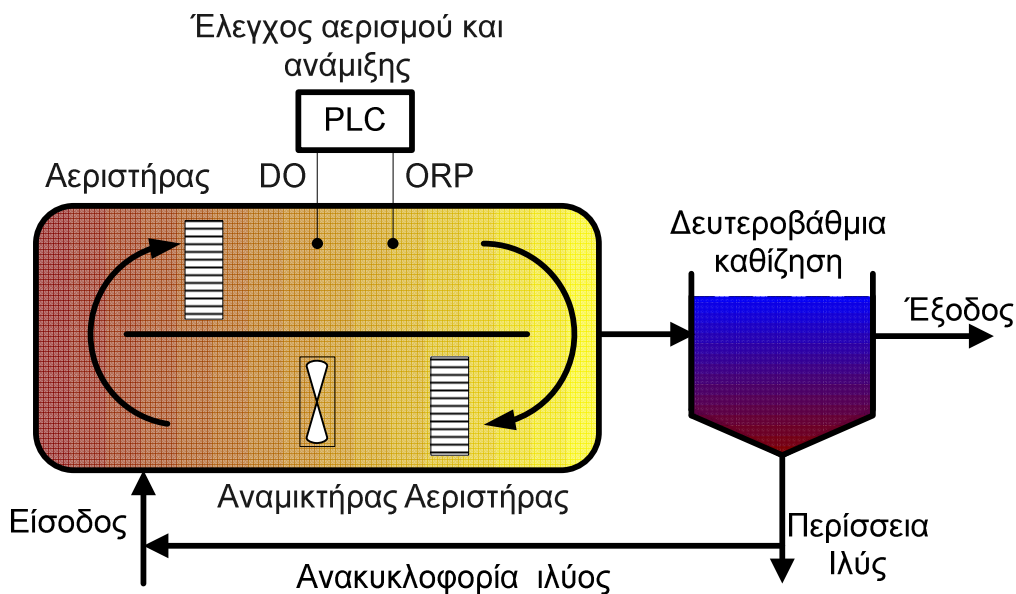
Η διεργασία αναπτύχθηκε στην Δανία για την απομάκρυνση του αζώτου και έχει εγκατασταθεί σε πάνω από 75 μονάδες πλήρους κλίμακας, που παράγουν συγκεντρώσεις τελικής εκροής αζώτου μικρότερες από 8 mg/L. Η τεχνολογία χρησιμοποιεί τουλάχιστον δύο οξειδωτικές τάφρους σε σειρά στην οποία η λειτουργική αλληλουχία των τάφρων και η λειτουργία του αερισμού και των ανοξικών ζωνών ποικίλλουν. Στις τάφρους έχουν εγκατασταθεί βυθισμένοι αναδευτήρες έτσι ώστε για κάποιες λειτουργικές φάσεις, η δεξαμενή να αναμιγνύεται μόνον και να μην αερίζεται. Η δεξαμενή συνεχίζει να λαμβάνει την εισροή των υγρών αποβλήτων και λειτουργεί ως μια προανοξική ζώνη. Όπως και με την λειτουργία του SBR, τα νιτρικά είναι διαθέσιμα από μια προηγούμενη λειτουργία αερόβιας νιτροποίησης. Εκτός από την απονιτροποίηση στις προανοξικές ζώνες, η αναγωγή των νιτρικών είναι επίσης δυνατή κατά την διάρκεια της αερόβιας λειτουργίας βάσει του επιπέδου συγκέντρωσης του DO. Μια τυπική διάρκεια για τις φάσεις Α, Β, Γ, και Δ είναι 1,5, 0,5, 1,5 και 0,5 h αντίστοιχα.



Σχήμα 2-5 Σύστημα Bio-Denitro

## Nitrox, Η τεχνολογία οξειδωτικής τάφρου με διακοπτόμενο αερισμό (Intermittent denitrification in oxidation ditch)

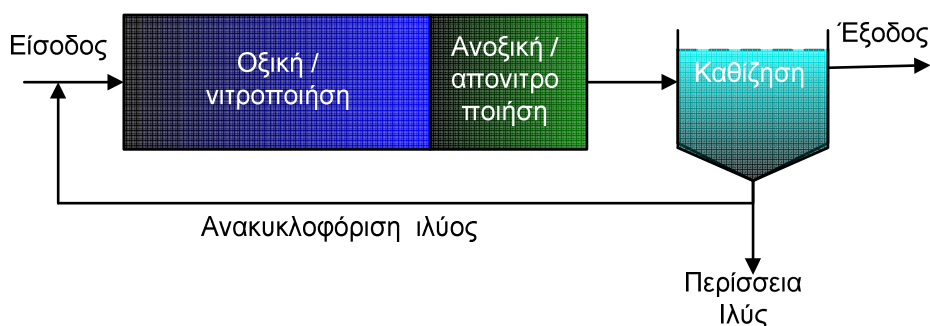
Στην διεργασία Nitrox η λειτουργία της οξειδωτικής τάφρου διακόπτεται από αερόβια σε ανοξική συνθήκη λειτουργίας με την παύση του αερισμού και τη λειτουργία ενός υπόγειου αναδευτήρα για τη διατήρηση της ταχύτητας του καναλιού. Η διεργασία εξαρτάται από τη χρήση του ελέγχου του δυναμικού οξειδοαναγωγής (ORP) για (1) να προσδιορισθεί πότε θα εξαντληθούν τα νιτρικά κατά την διάρκεια της ανοξικής λειτουργίας και (2) να γίνει επανέναρξη του αερισμού. Σε επιλεγμένες σταματούν οι αεριστήρες και λειτουργούν οι αναδευτήρες. Όταν τα νιτρικά εξαντλούνται κατά την διάρκεια της παύσης του αερισμού, το ORP πέφτει δραματικά. Τα δεδομένα ORP ερμηνεύονται με ένα PC που δίνει εντολή να ξεκινήσει ο αερισμός. Μια συνήθης λειτουργική συνθήκη για την διεργασία Nitrox είναι η παύση των αεριστήρων για τουλάχιστον δύο φορές ανά ημέρα, συνήθως το πρωί όταν το φορτίο αυξάνει και στις πρώτες βραδινές ώρες. Ο χρόνος παύσης για την εξάντληση των νιτρικών συνήθως διαρκεί 3-5 h, εξαρτάται από το φορτίο της μονάδας και το ποσό των νιτρικών στην οξειδωτική τάφρο. Έχουν καταγραφεί συγκεντρώσεις εκροής  $\text{NO}_3\text{-N}$  μικρότερες από 8 mg/L και συγκεντρώσεις  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  με εύρος από 1,0 έως 1,5 mg/L.



Σχήμα 2-5 Σύστημα Nitrox

### Μετα - ανοξικές μονάδες απονιτροποίησης Nitrox

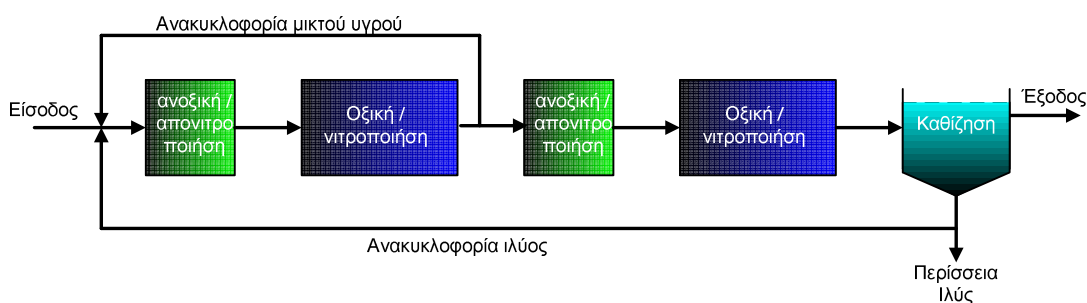
Στην μονοβάθμια διεργασία ενεργού ιλύος που αναπτύχθηκε από τον Wuhrmann, η απομάκρυνση του αζώτου επιτεύχθηκε στη διεργασία ενεργού ιλύος με την προσθήκη μιας ανοξικής δεξαμενής με ανάμιξη μετά την αερόβια νιτροποίηση. Για να επιτευχθεί υψηλή απόδοση απομάκρυνσης νιτρικών απαιτείται υψηλός χρόνος παραμονής στη μετα-ανοξική δεξαμενή επειδή ο ρυθμός απονιτροποίησης είναι ανάλογος με το ρυθμός της ενδογενούς αναπνοής στο μικτό υγρό.



Σχήμα 2-5. Αρχή λειτουργίας μετα-απονιτροποίησης

### Διεργασία Bardenpho

Και η προ-ανοξική απονιτροποίηση και η μετά-ανοξική απονιτροποίηση περιλαμβάνονται στην διεργασία Bardenpho που αναπτύχθηκε στην νότιο Αφρική από το 1970. Ο χρόνος παραμονής του μετα-ανοξικού σταδίου είναι περίπου ο ίδιος ή μεγαλύτερος από αυτόν που χρησιμοποιείται στην προ-ανοξική ζώνη. Στην μετα-ανοξική ζώνη, η συγκέντρωση του  $\text{NO}_3\text{-N}$  που αφήνει τη ζώνη αερισμού συνήθως μειώνεται από περίπου 5-7 mg/L σε λιγότερο από 3 mg/L. Κατά την μέθοδο αυτή λαμβάνει χώρα επίσης και βιολογική αποφωσφόριση.



Σχήμα 2-6. Αρχή λειτουργίας Bardenpho

### Ταυτόχρονη νιτροποίηση / απονιτροποίηση

#### Α. Οξειδωτική τάφρος χαμηλού DO

Σε εξάρτηση από τον σχεδιασμό αερισμού και το μήκος του καναλιού της οξειδωτικής τάφρου, μπορούν να δημιουργηθούν ανοξικές ζώνες απονιτροποίησης σε για την διεκπεραίωση της αφαίρεσης αζώτου σε μία και μόνον δεξαμενή. Μια αερόβια ζώνη δημιουργείται λίγο μετά τον αεριστήρα, και μόλις το ανάμικτο υγρό απομακρυνθεί από τον αεριστήρα η συγκέντρωση του DO μειώνεται λόγω της κατανάλωσης του από τους μ/ο. Στο σημείο ακριβώς όπου μηδενίζεται το DO

σχηματίζεται μία ανοξική ζώνη και τα νιτρικά χρησιμοποιούνται για την ενδογενή αναπνοή του ανάμικτου υγρού. Το μεγαλύτερο μέρος των ευκολαδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων έχουν καταναλωθεί πρωτίστως στην ζώνη αερισμού. Λόγο του μεγάλου όγκου των δεξαμενών και του μεγάλου SRT που εφαρμόζεται στις διεργασίες με οξειδωτικές τάφρους υπάρχει επαρκής δυναμικότητα για την δημιουργία ζωνών νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Παρόλα αυτά ο έλεγχος του DO είναι αναγκαίος για την επίτευξη των ανοξικών ζωνών.

#### **Σχήμα 2-7.** Αρχή λειτουργίας απονιτροποίησης σε οξειδωτική τάφρο

Μια μέθοδος που ήταν πολύ δημοφιλής το 1970 και σήμερα χρησιμοποιείται περιστασιακά είναι ο μετα-ανοξικός σχεδιασμός με προσθήκη εξωτερικής πηγής άνθρακα, συνήθως μεθανόλης. Η ανοξική ζώνη ενεργού ιλύος (1-3h) αναμιγνύεται και ακολουθεί ένας σύντομος χρόνος αερισμού (< 30 min) για τη διάσπαση των φυσαλίδων του αερίου αζώτου από τα συσσωματώματα και για να παρέχει αερόβιες συνθήκες για την βελτίωση του διαχωρισμού του υγρού - στερεών στη δεξαμενή καθίζησης. Η μεθανόλη είναι ένα συνηθισμένο χρησιμοποιούμενο υπόστρωμα επειδή είναι πιο αποτελεσματική από άλλα υποστρώματα για την απονιτροποίηση σε όρους κόστους ανά μονάδα απομάκρυνσης νιτρικών. Αν και το απόλυτο κόστος της είναι μπορεί να είναι υψηλότερο από τη γλυκόζη ή τα οξικά άλατα, η μεθανόλη είναι λιγότερο ακριβή συνολικά, επειδή έχει μια σχετικά χαμηλή παραγωγή βιομάζας. Η χαμηλότερη παραγωγή βιομάζας σημαίνει ότι μια μεγαλύτερη ποσότητα μεθανόλης θα οξειδωθεί με αποτέλεσμα υψηλότερους λόγους νιτρικών που θα χρησιμοποιηθούν ανά g υποστρώματος που παρέχεται. Οι τυπικοί λόγοι μεθανόλης με απομάκρυνση νιτρικών είναι 3,0 – 4,0 g/g και εξαρτώνται από την συγκέντρωση του DO στην εισροή των υγρών αποβλήτων και το SRT του ανοξικού συστήματος. Μεγαλύτεροι SRT σχεδιασμού έχουν μεγαλύτερα ποσά οξείδωσης βιομάζας από την ενδογενή αναπνοή, που καταναλώνει νιτρικά και συνεπώς η εισροή της μεθανόλης στο λόγο των νιτρικών μπορεί να είναι χαμηλότερη. Σήμερα συχνά γίνεται χρήση της μεθανόλης για την μετα-ανοξική απομάκρυνση αζώτου σε αντιδραστήρες προσκολλημένης βιομάζας.

#### **Σχήμα 2-8.** Αρχή λειτουργίας μετα – ανοξικής απονιτροποίησης με την χρήση εξωτερικής πηγής άνθρακα