

# Το δίκτυο αποχέτευσης ως βιολογικός αντιδραστήρας

Καθηγητής Π. Μελίδης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών  
Αποβλήτων

# Διατύπωση Προβλήματος

Με βάση την ισχύουσα νομοθεσία για την επεξεργασία και διάθεση των αστικών λυμάτων (Κ.Υ.Α. 5673/400/1997 Φ.Ε.Κ. 192Β/14-3-97), οικισμοί με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο των 2.000 θα πρέπει να διαθέτουν δίκτυα αποχέτευσης αστικών λυμάτων

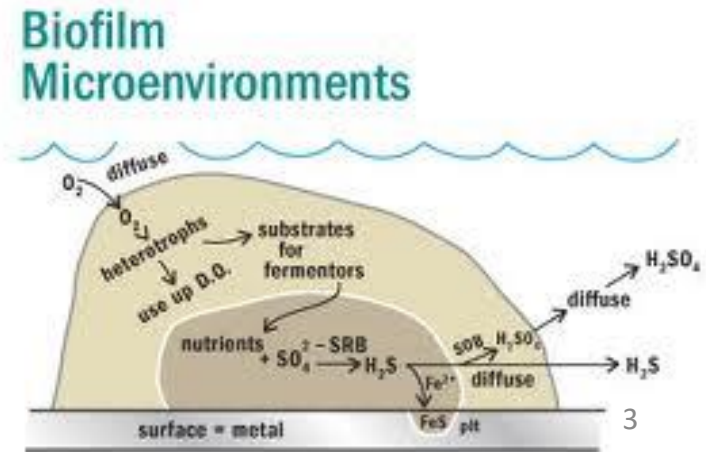
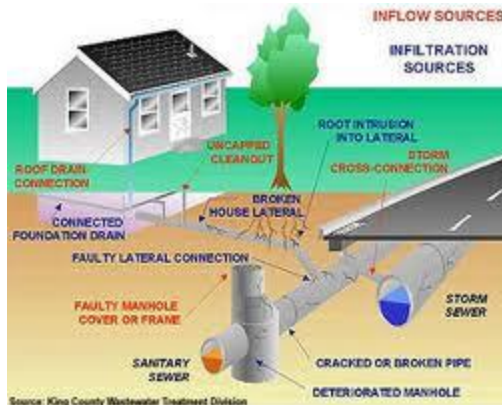
Ως δίκτυο αποχέτευσης, στην ίδια Κ.Υ.Α., ορίζεται το σύστημα αγωγών που συλλέγει και διοχετεύει αστικά λύματα

Ο σχεδιασμός, όμως, του δικτύου αποχέτευσης με βάση αποκλειστικά υδραυλικά δεδομένα αποτέλεσε το αίτιο για σημαντικό αριθμό λειτουργικών προβλημάτων που εμφανίστηκαν από τα μέσα του περασμένου αιώνα

# Διατύπωση Προβλήματος

Με αφετηρία την δεκαετία του '70, έγινε κατανοητό ότι το δίκτυο δεν είναι απλά ένα υδραυλικό σύστημα αλλά και ένας αντιδραστήρας που πραγματοποιούνται χημικές και βιολογικές μετατροπές, οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται, και αυτές υπόψη, κατά τον σχεδιασμό του.

Ακόμα και σήμερα, όμως, οικονομικοί παράγοντες ή έλλειψη γνώσεων και εμπειρίας στον σχεδιασμό οδηγούν στην κατασκευή δικτύων που ευνοούν βιολογικές μετατροπές με αρνητικές επιπτώσεις στο δίκτυο, στην Μ.Ε.Υ.Α. ή ακόμα και στο αστικό περιβάλλον



# Διατύπωση Προβλήματος

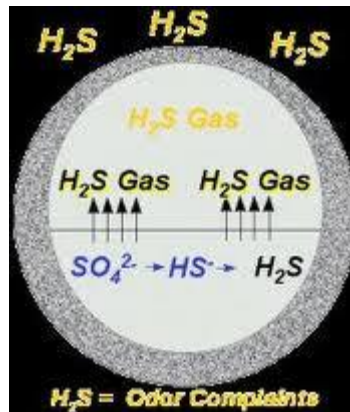
Κυριότερο παράδειγμα αποτελεί η βιολογική παραγωγή υδρόθειου, ως αποτέλεσμα της επικράτησης αναερόβιων συνθηκών.

Η παραγωγή υδρόθειου στο δίκτυο

→ μειώνει το χρόνο ζωής του έργου λόγω της διάβρωσης που προκαλεί η οξείδωση του στις επιφάνειες των αγωγών,

→ οδηγεί σε λειτουργικά προβλήματα της Μ.Ε.Υ.Α. και

→ γενικότερα έχει αρνητικές επιπτώσεις σε σημαντικό αριθμό αστικών δραστηριοτήτων λόγω εμφάνισης προβλημάτων δυσσομίας.



# Διατύπωση Προβλήματος

Για την επίλυση των προβλημάτων δυσσομίας, κατά την φάση λειτουργίας ενός δικτύου, έχουν χρησιμοποιηθεί, και χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα, ένας μεγάλος αριθμός χημικών και βιολογικών μεθόδων.

Ένας αριθμός μεθόδων στοχεύει στην παρεμπόδιση της βιολογικής δραστηριότητας και επομένως και της θειοαναγωγής.

Άλλες μέθοδοι στοχεύουν στην χημική οξείδωση ή κατακρήμνιση του παραγόμενου θειούχου ενώ μέθοδοι αέριας επεξεργασίας στοχεύουν στην επεξεργασία του υδρόθειου μέσω προσρόφησης, χημικής ή βιολογικής οξείδωσης.

# Διατύπωση Προβλήματος

Οι μόνες μέθοδοι που αποσκοπούν στην παρεμπόδιση των αναερόβιων συνθηκών, που αποτελούν και το αίτιο της παραγωγής του υδρόθειου, είναι η προσθήκη **οξυγόνου και η προθήκη νιτρικού**.

Με την προσθήκη ενός προτιμητέου **ηλεκτρονιακού δέκτη** (οξυγόνο, νιτρικό) έναντι του θειικού **παρεμποδίζεται** η βιολογική παραγωγή υδρόθειου και λαμβάνει χώρα **ετερότροφη αερόβια οξείδωση ή ετερότροφη απονιτροποίηση**, αντίστοιχα.

Και οι δύο μέθοδοι έχουν, επίσης, την δυνατότητα να οξειδώσουν μικροβιακά το υδρόθειο.

Για την περίπτωση της προσθήκης **νιτρικού, λαμβάνει χώρα αυτότροφη απονιτροποίηση με ηλεκτρονιακό δότη το υδρόθειο**. Υποχρεωτικά ή προαιρετικά αναερόβια βακτήρια οξειδώνουν το διαλυτό υδρόθειο (θειούχο) σε πιο οξειδωμένες, μη οσμηρές μορφές θείου με ταυτόχρονη αναγωγή του νιτρικού.

# Διατύπωση Προβλήματος

Συγκρίνοντας, όμως, τις δύο παραπάνω μεθόδους, **το οξυγόνο παρουσιάζεται να μειονεκτεί, έναντι του νιτρικού**, για την χρήση του σε δίκτυα αστικών λυμάτων.

Η **χαμηλή διαλυτότητα** του, ο **υψηλός ρυθμός κατανάλωσης** του και η **αδυναμία εισχώρησης του στα βαθύτερα στρώματα** του βιοφίλμ, όπου και το υδρόθειο παράγεται, έχει οδηγήσει σε περιορισμό της χρήσης του για τον έλεγχο οσμών σε δίκτυα.

Αντίθετα, το **νιτρικό** χαρακτηρίζεται από **πολύ υψηλή διαλυτότητα**, ελαφρώς **χαμηλότερο ρυθμό κατανάλωσης** και **υψηλότερη ικανότητα διάχυσης** στο βιοφίλμ.

Μειονέκτημα της χρήσης του, ωστόσο, αποτελεί η απαίτηση για ελεγχόμενη προσθήκη του, αφού υπέρμετρη δοσομέτρηση του οδηγεί σε αύξηση του φορτίου αζώτου στην Μ.Ε.Υ.Α.

# Διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της προσθήκης νιτρικού

Η διερεύνηση αυτή επιδιώκει:

- Την παραλαβή **κινητικών δεδομένων** που χαρακτηρίζουν την ανάπτυξη μίας **μικτής καλλιέργειας θειοξειδωτικών απονιτροποιητικών** βακτηρίων με ηλεκτρονικό δότη θειούχο ( $S^{2-}$ ).
- Την εργαστηριακή μελέτη της **κινητικής των ανοξικών μετατροπών** στην υγρή φάση του αστικού λύματος δικτύου και την διερεύνηση της **επίδρασης της θερμοκρασίας**.
- Την εργαστηριακή μελέτη της **κινητικής των ανοξικών μετατροπών** στο βιοφίλμ ενός **αγωγού πίεσης** και την διερεύνηση της **επίδρασης της θερμοκρασίας**.
- Την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου, σε πλήρη κλίμακα, ώστε να επαληθευθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου



# Σύγχρονα δίκτυα αποχετεύσεως

Δίκτυο αποχετεύσεως ονομάζεται το **σύνολο των τεχνικών έργων** που απαιτούνται για την συλλογή και τη διοχέτευση αστικών λυμάτων και επιφανειακών αστικών απορροών, σε προκαθορισμένους χώρους για περαιτέρω διεργασίες χημικής ή βιολογικής επεξεργασίας, πριν την τελική τους διάθεση.

Το δίκτυο αποχετεύσεως αποτελείται από **αγωγούς (βαρυτικούς ή υπό πίεση), αντλιοστάσια και έναν αριθμό λοιπών κατασκευών (π.χ. φρεάτια)** που στόχο έχουν να βοηθήσουν στην συλλογή και στην μεταφορά των υδραυλικών φορτίων.

Τα υδραυλικά φορτία που πρέπει να διαχειριστεί ένα δίκτυο αποχετεύσεως χαρακτηρίζονται από μεγάλη διακύμανση.

Υπό ξηρές συνθήκες (dry weather conditions), η **διακύμανση** της υδραυλικής παροχής μεταξύ ημέρας και νύχτας φθάνει ως και **μία τάξη μεγέθους**.

Σε γεγονότα βροχής, η αντίστοιχη διακύμανση κυμαίνεται μεταξύ δύο και τριών τάξεων μεγέθους

# Σύγχρονα δίκτυα αποχετεύσεως

Τα τελευταία 20-30 χρόνια έχει δοθεί έμφαση από τους ερευνητές, κυρίως, στην **κατανόηση και πρόβλεψη των υδραυλικών φαινομένων** που λαμβάνουν χώρα στα δίκτυα αποχετεύσεως, σε επεισόδια βροχής, με στόχο τον σχεδιασμό και την κατασκευή δικτύων χαμηλού κόστους που παράλληλα προστατεύουν στο έπακρο την δημόσια υγεία και το περιβάλλον.

Σε **συνθήκες βροχής**, οι διεργασίες που παίζουν καθοριστικό ρόλο σχετίζονται με **φαινόμενα μεταφοράς υδραυλικών φορτίων και στερεών**, ενώ οι χημικές και βιολογικές μετατροπές που λαμβάνουν χώρα είναι μικρής σημασίας.

Ωστόσο, σε **ξηρές συνθήκες**, οι μετατροπές αυτές **επιδρούν σημαντικά στην λειτουργία του δικτύου**, στο αστικό περιβάλλον καθώς και στις ακόλουθες διεργασίες επεξεργασίας στην Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων (Μ.Ε.Υ.Α.)

# Σύγχρονα δίκτυα αποχετεύσεως

## Είδη σύγχρονου δικτύου αποχετεύσεως

### Δίκτυα αστικών λυμάτων (ακαθάρτων)

Τα δίκτυα αστικών λυμάτων σχεδιάζονται με στόχο την συλλογή και μεταφορά των αστικών λυμάτων στην Μ.Ε.Υ.Α..

Η ροή πραγματοποιείται μέσω βαρυτικών αγωγών και/ή μέσω αγωγών υπό πίεση.

Οι υπό πίεση αγωγοί αποτελούν υδραυλικές κατασκευές που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά των αστικών λυμάτων σε μεγαλύτερα υδραυλικά ύψη.

Αποτελούνται από ένα αντλιοστάσιο στο οποίο συλλέγονται τα λύματα, ώστε ακολούθως με τη βοήθεια αντλιών, να μεταφερθούν τμηματικά σε ανάντη σημεία, από όπου είτε μεταφέρονται μέσω βαρυτικών αγωγών είτε οδηγούνται σε επόμενο αντλιοστάσιο.

# Σύγχρονα δίκτυα αποχετεύσεως

## Είδη σύγχρονου δικτύου αποχετεύσεως

### Δίκτυα ομβρίων

Σχεδιάζονται για την συλλογή και μεταφορά των επιφανειακών απορροών. Τα νερά εισέρχονται στο δίκτυο από φρεάτια ή υδατορεύματα, με τελικό προορισμό την διάθεση τους σε κάποιο αποδέκτη, με περιορισμένη ή καμία επεξεργασία.



# Σύγχρονα δίκτυα αποχετεύσεως

## Είδη σύγχρονου δικτύου αποχετεύσεως

### Παντοροϊκά δίκτυα

Αστικά λύματα και αστικές επιφανειακές απορροές συλλέγονται και μεταφέρονται μαζί.

Σε ξηρές συνθήκες, τα παντοροϊκά δίκτυα λειτουργούν ως δίκτυα ακαθάρτων.

Ωστόσο ο σχεδιασμός τους, που εξαρτάται από τα υδραυλικά φορτία σε γεγονότα βροχής, επηρεάζει σημαντικά τις βιολογικές και χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα υπό ξηρές συνθήκες.

Η ροή πραγματοποιείται μέσω βαρυτικών αγωγών ή/και αγωγών υπό πίεση.



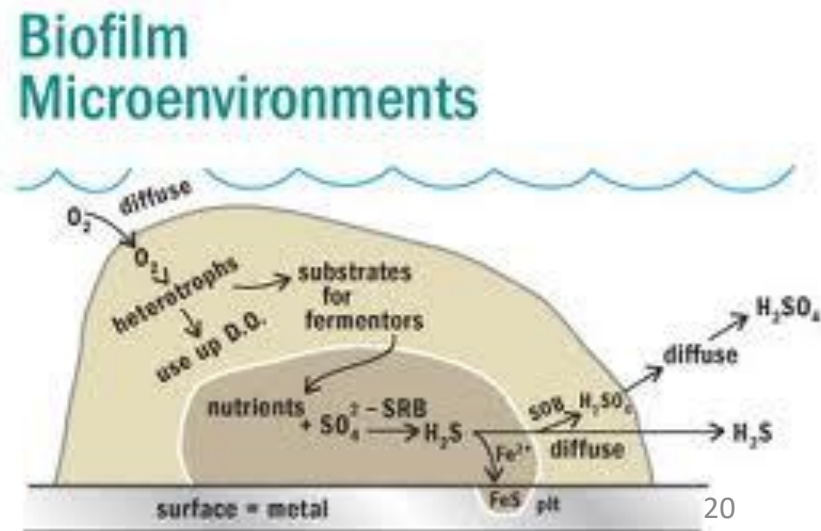
# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Το δίκτυο δεν είναι μόνο ένα σύστημα συλλογής και μεταφοράς αλλά, ταυτόχρονα, και ένα πολύπλοκο σύστημα όπου λαμβάνουν χώρα χημικές και βιολογικές μετατροπές.

Οι μετατροπές αυτές λαμβάνουν χώρα σε τέσσερα διαφορετικά υποσυστήματα, τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Τα υποσυστήματα αυτά είναι:

- Το αστικό λύμα (υγρή φάση)
- Το υμένιο καθηλωμένης βιομάζας (βιοφίλμ)
- Οι αποθέσεις στερεών
- Η ατμόσφαιρα του δικτύου (αέρια φάση).

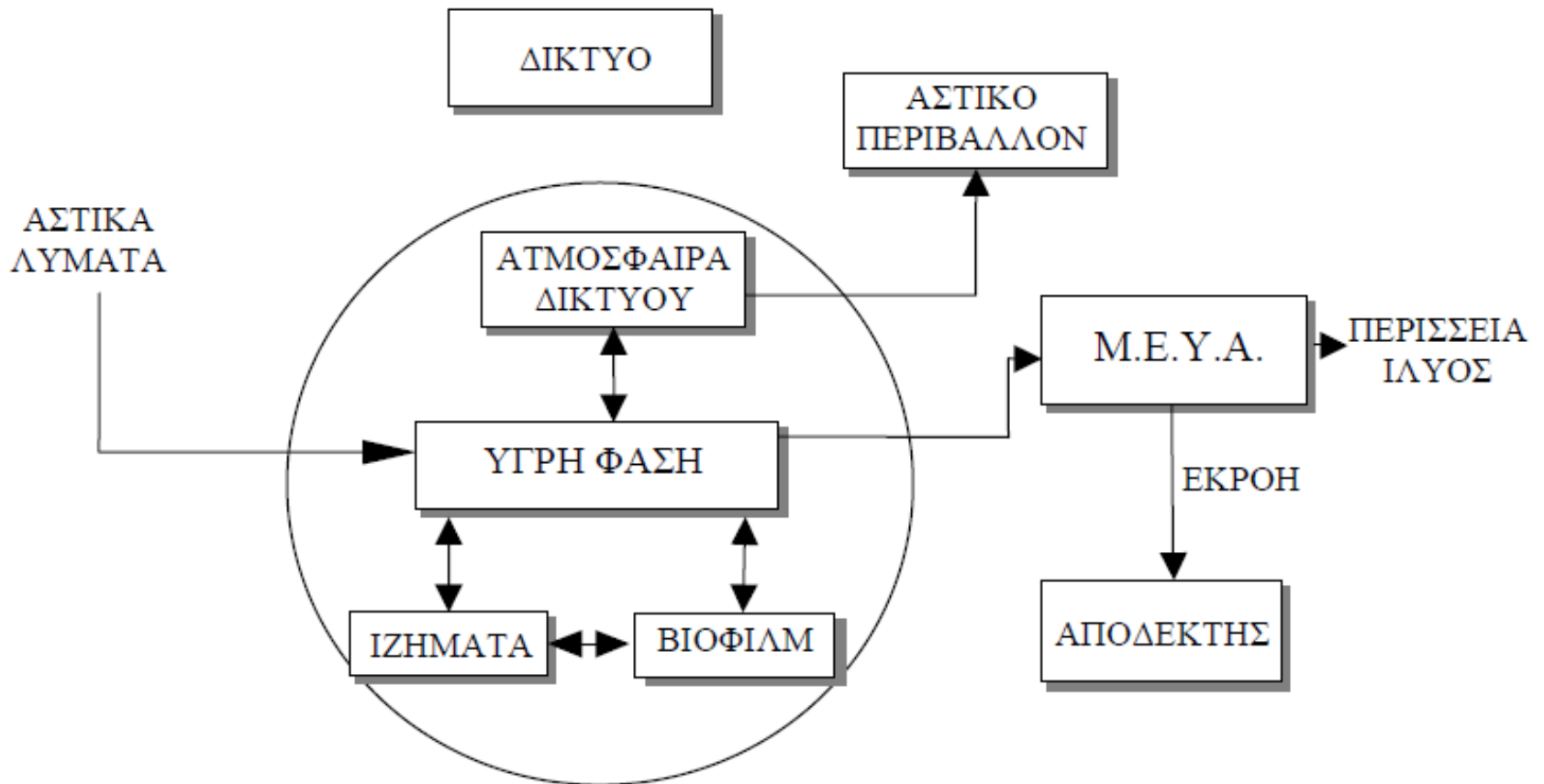


# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Παράδειγμα της σημαντικής επίδρασης των χημικών και βιολογικών μετατροπών στα δίκτυα αποχετεύσεων και, γενικότερα, σε άλλα τμήματα του αστικού ιστού, στο οποίο και τα δίκτυα εντάσσονται, αποτελεί η παραγωγή υδρόθειου. Η παραγωγή του συνδέεται με υγειονομικούς κινδύνους λόγω της τοξικότητας του, με φαινόμενα διάβρωσης των υδραυλικών κατασκευών, λειτουργικά προβλήματα της Μ.Ε.Υ.Α. καθώς και με προβλήματα δυσοσμίας στο αστικό περιβάλλον.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Τα υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων (Μαθιουδάκης 2009)





# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Ο σχεδιασμός των δικτύων επηρεάζει το είδος των χημικών και βιολογικών μετατροπών που επικρατούν σε αυτό.

Οι επικρατούσες μετατροπές σε ένα δίκτυο καθορίζονται από την διαθεσιμότητα των ηλεκτρονιακών δεκτών.

**Πίνακας 2.1** Συσχέτιση συνθηκών και ηλεκτρονιακών δεκτών σε δίκτυα αστικών λυμάτων.

Συνθήκες	Ηλεκτρονιακός δέκτης	Είδη δικτύου που τυπικά παρουσιάζονται
Αερόβιες	$O_2$	Μερικώς πληρωμένοι βαρυτικοί αγωγοί Προσθήκη αέρα/οξυγόνου σε αγωγούς πίεσης
Ανοξικές	$NO_3^-/NO_2^-$	Προσθήκη νιτρικού/νιτρώδους σε δίκτυα
Αναερόβιες	$SO_4^{2-}$ Οργανικό υλικό	Πληρωμένοι βαρυτικοί αγωγοί Αγωγοί πίεσης

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Σε μερικώς πληρωμένους βαρυτικούς αγωγούς, είναι δυνατή η μεταφορά οξυγόνου από την αέρια φάση στην υγρή φάση (επαναερισμός), με αποτέλεσμα να λαμβάνουν χώρα **αερόβιες μετατροπές**.

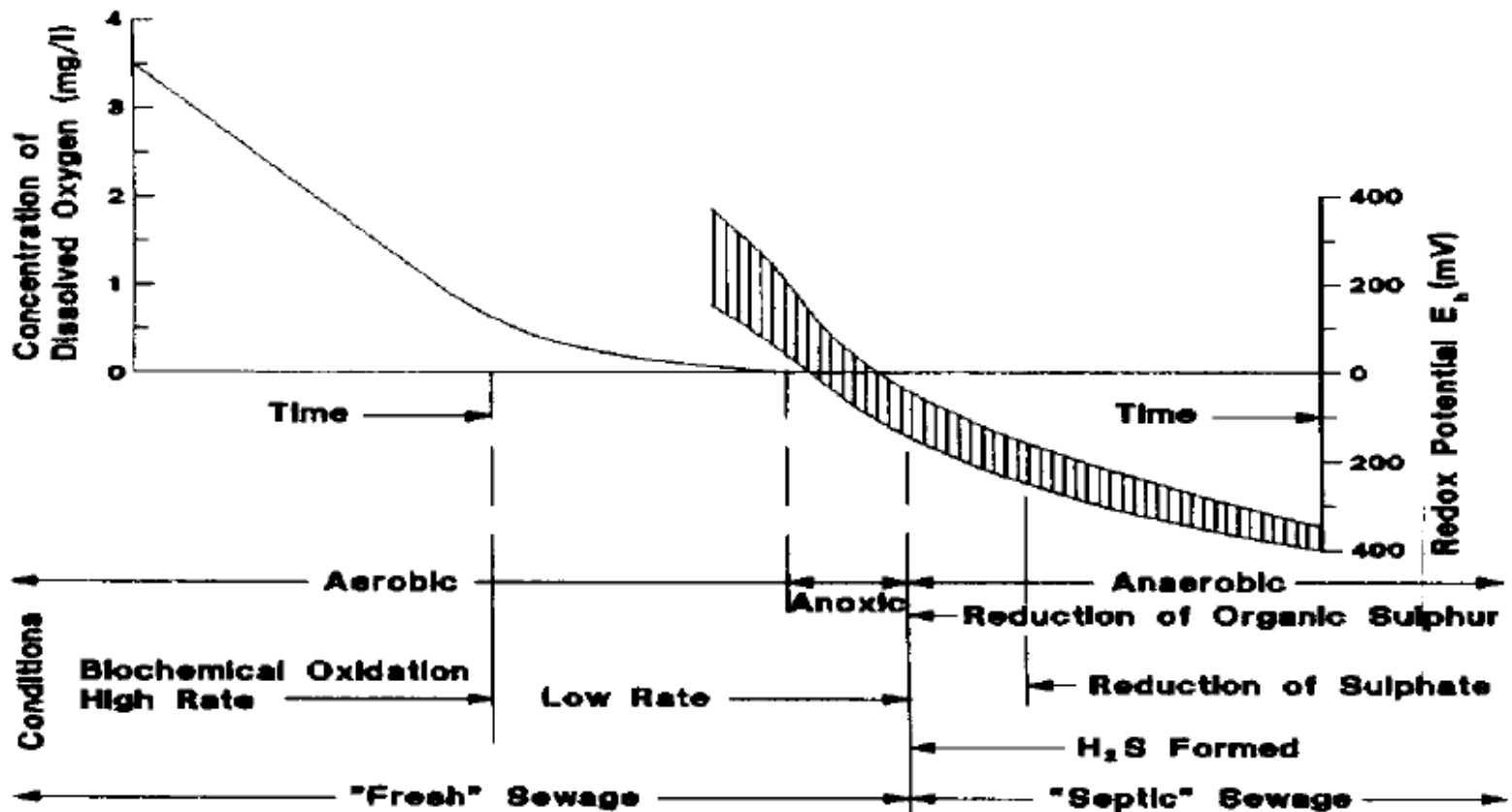
Αντίθετα, οι αγωγοί υπό πίεση είναι πληρωμένοι και ο επαναερισμός είναι αδύνατος. Συνεπώς, κάτω από αυτές τις συνθήκες, θα λάβουν χώρα **αναερόβιες μετατροπές**, όπου το θειικό και το οργανικό υλικό λειτουργούν ως ηλεκτρονιακοί δέκτες.

Η διαθεσιμότητα των ηλεκτρονιακών δεκτών επηρεάζεται από τα **υδραυλικά χαρακτηριστικά** του εκάστοτε δικτύου, αφού τα χαρακτηριστικά αυτά **επηρεάζουν** τον **ρυθμό κατανάλωσης** των διαθέσιμων ηλεκτρονιακών δεκτών.

Ενδεικτικά αναφέρονται η τυρβώδης ροή κατά την μεταφορά λυμάτων, η υδραυλική ακτίνα, η ταχύτητα ροής και οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στα τοιχώματα.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - αστικό λύμα

Μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στο αστικό λύμα σε σχέση με την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου και το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Μαθιουδάκης 2009)



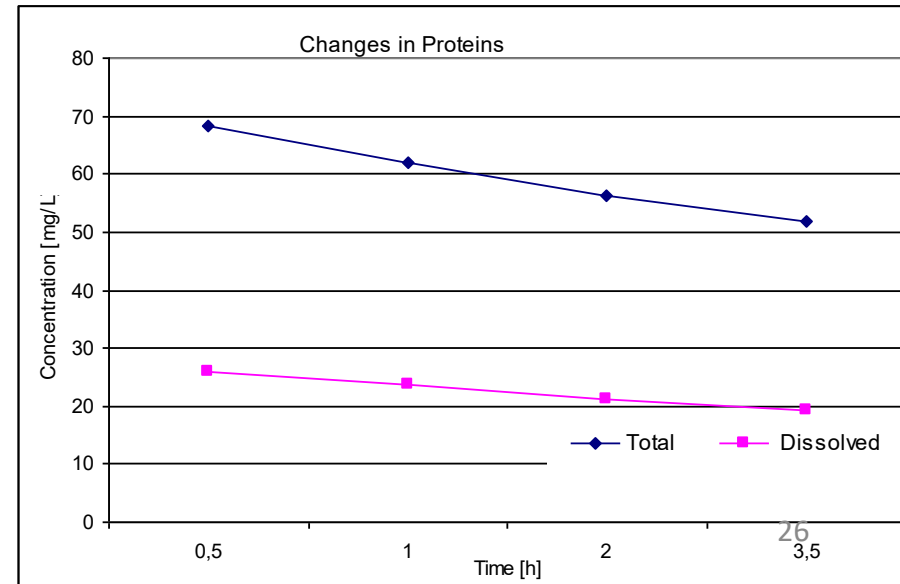
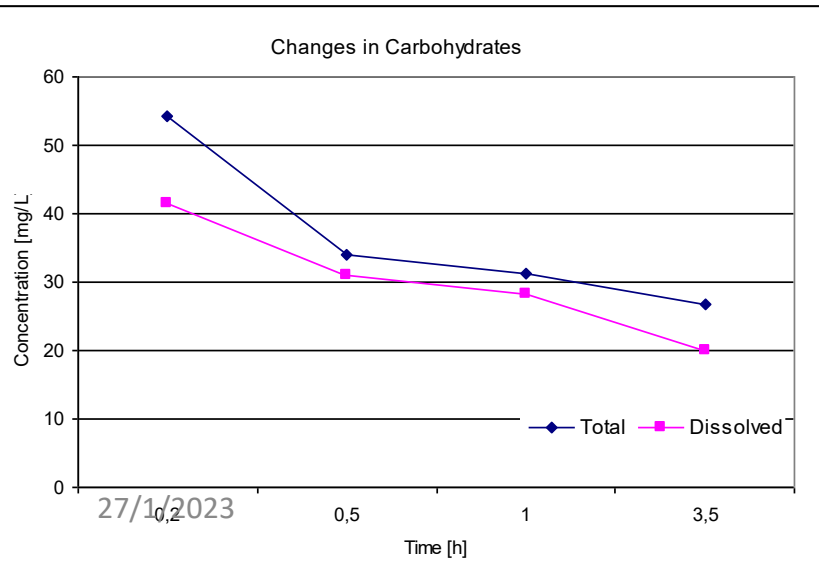
# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - αστικό λύμα

## Αστικό λύμα (Υγρή φάση)

Τα αστικά λύματα, όπως κάθε υγρό απόβλητο, χαρακτηρίζονται από την φυσική, χημική και βιολογική τους σύσταση.

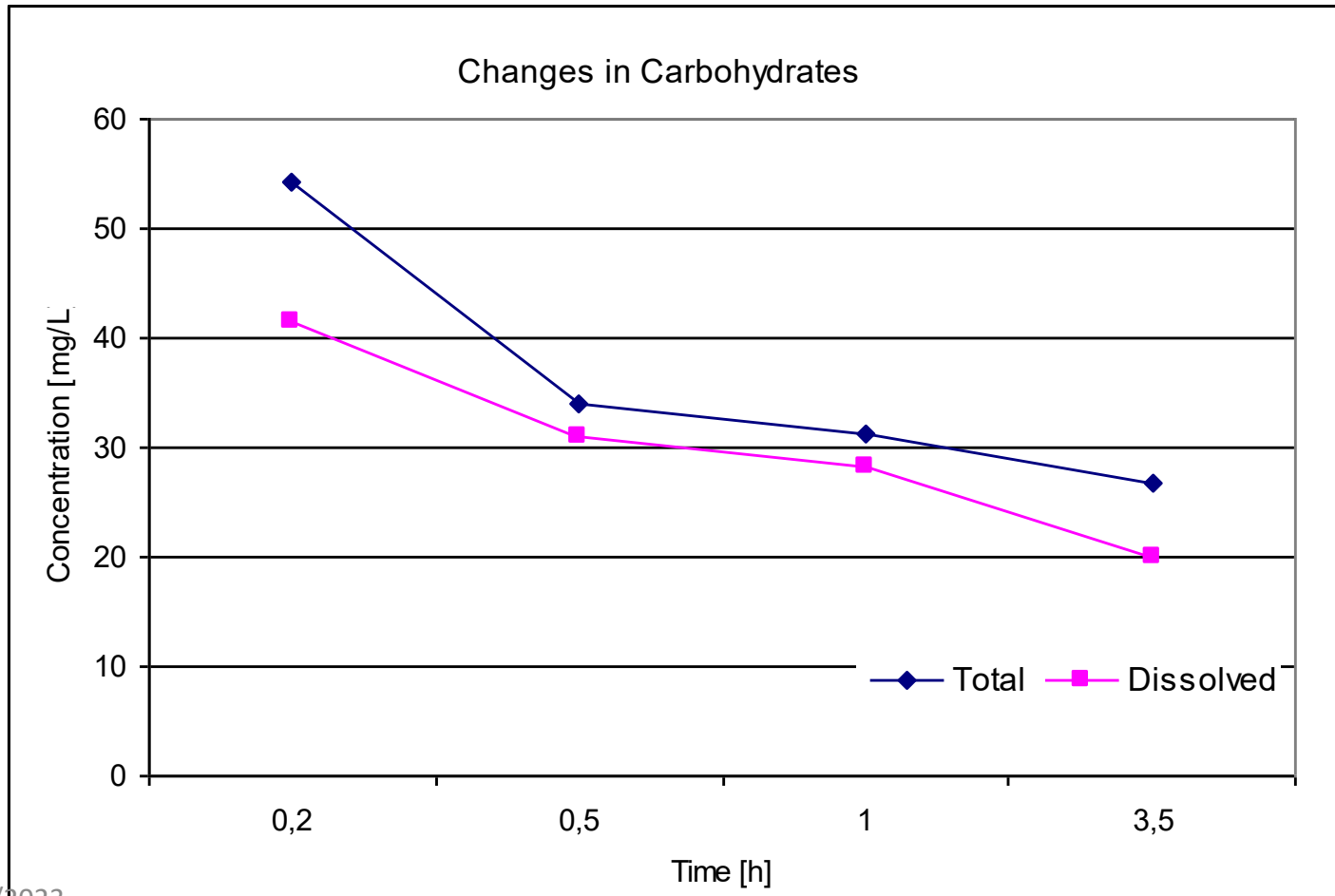
Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες για τα χαρακτηριστικά του αστικού λύματος δικτύου και ειδικότερα για συγκεκριμένες ομάδες οργανικών ενώσεων.

Οι ομάδες αυτές συμπεριλαμβάνουν τους υδρογονάνθρακες, τις πρωτεΐνες, τα λίπη και τα λιπαρά οξέα.



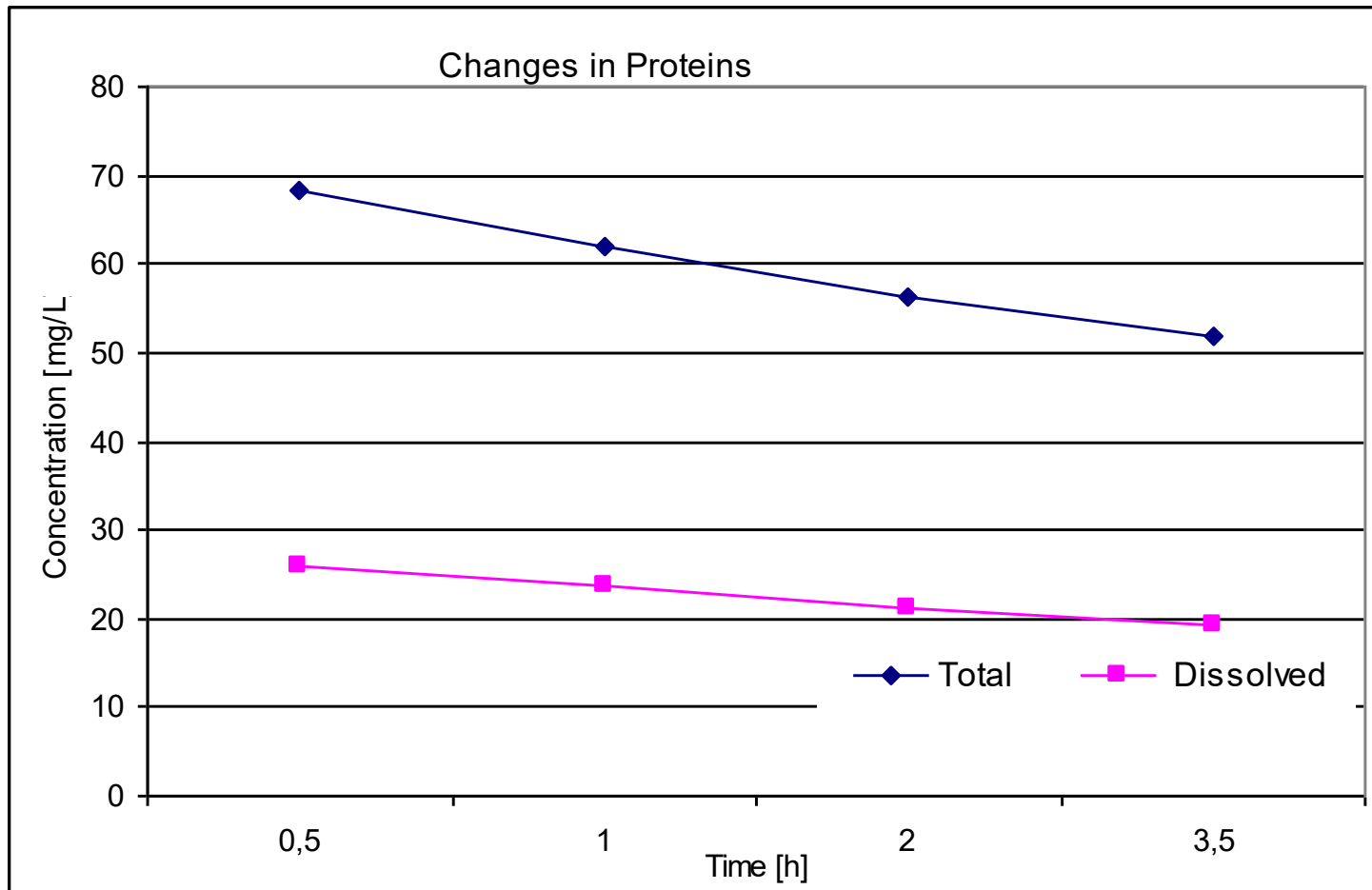
# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Αστικό λύμα (Υγρή φάση)



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - αστικό λύμα

Αστικό λύμα (Υγρή φάση)



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - αστικό λύμα

**Αστικό λύμα (Υγρή φάση)** - Οι τυπικές τιμές των φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων του αστικού λύματος

Συστατικά	Συγκεντρώσεις (g/m <sup>3</sup> )		
	Ισχυρό	Μέσο	Ασθενές
ΟΛΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ	1200	720	350
ΟΛΙΚΑ ΔΙΗΘΗΣΙΜΑ	850	500	250
Ανόργανα	525	300	145
Οργανικά	325	200	105
ΟΛΙΚΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ	350	220	100
ανόργανα	75	55	20
Οργανικά	275	165	80
Καθιζάνοντα στερεά (ml/l)	20	10	5
COD	1000	500	250
BOD <sub>5</sub>	400	220	110
Ολικό άζωτο (ως N)	85	40	20
Οργανικό	35	15	8
Ελεύθερη αμμωνία	50	25	12
Νιτρώδη	0	0	0
Νιτρικά	0	0	0
Ολικός φόσφωρος (ως P)	15	8	4
Οργανικός	5	3	1
Ανόργανος	10	5	3
SO <sup>-2</sup> <sub>4</sub>	50	30	20
Αλκαλικότητα	200	100	50
Πτητικές οργανικές ενώσεις	>400	100-400	<100

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - αστικό λύμα

**Αστικό λύμα (Υγρή φάση)** - Τυπικές συγκεντρώσεις χαρακτηριστικών μικροοργανισμών και μικροβιακών ομάδων υγειονομικού ενδιαφέροντος στο αστικό λύμα. (Αϊβαζίδης 2003).

	Αποικίες/100ml		Αποικίες/100ml
Ολικά κολοβακτηρίδια	$10^7-10^8$	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	$10^3-10^4$
Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια	$10^6-10^7$	<i>Clostridium perfringens</i>	$10^3-10^5$
Κοπρανώδη στρεπτόκοκκοι	$10^5-10^6$	Protozoan cysts	$10^3-10^5$
Εντερόκοκκοι	$10^4-10^5$	Giardia cysts	$10-10^4$
Εντερικοί ιοί	$10^3-10^4$	Cryptosporidium cysts	$10-10^3$
Salmonella	$10^2-10^4$	Helminth ova	$0-10^3$



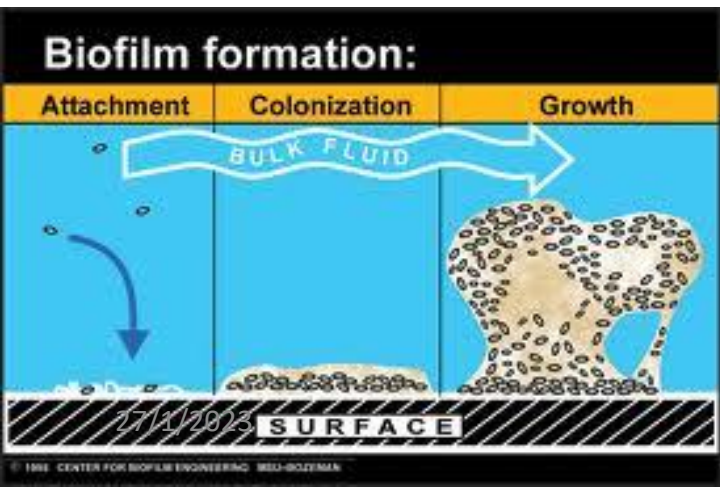
# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιοφίλμ

## Υμένιο καθηλωμένης βιομάζας (Βιοφίλμ)

Το βιοφίλμ αποτελείται από μικροοργανισμούς οι οποίοι έχουν ενσωματωθεί σε μία επιφάνεια εξωκυτταρικών πολυμερών ενώσεων (EPS), κυρίως πολυσακχαρίτες

***Το βιοφίλμ που αναπτύσσεται σε δίκτυα αστικών λυμάτων περιέχει σε μεγάλο ποσοστό ανόργανα υλικά και λίπη (Bouwer 1987).***

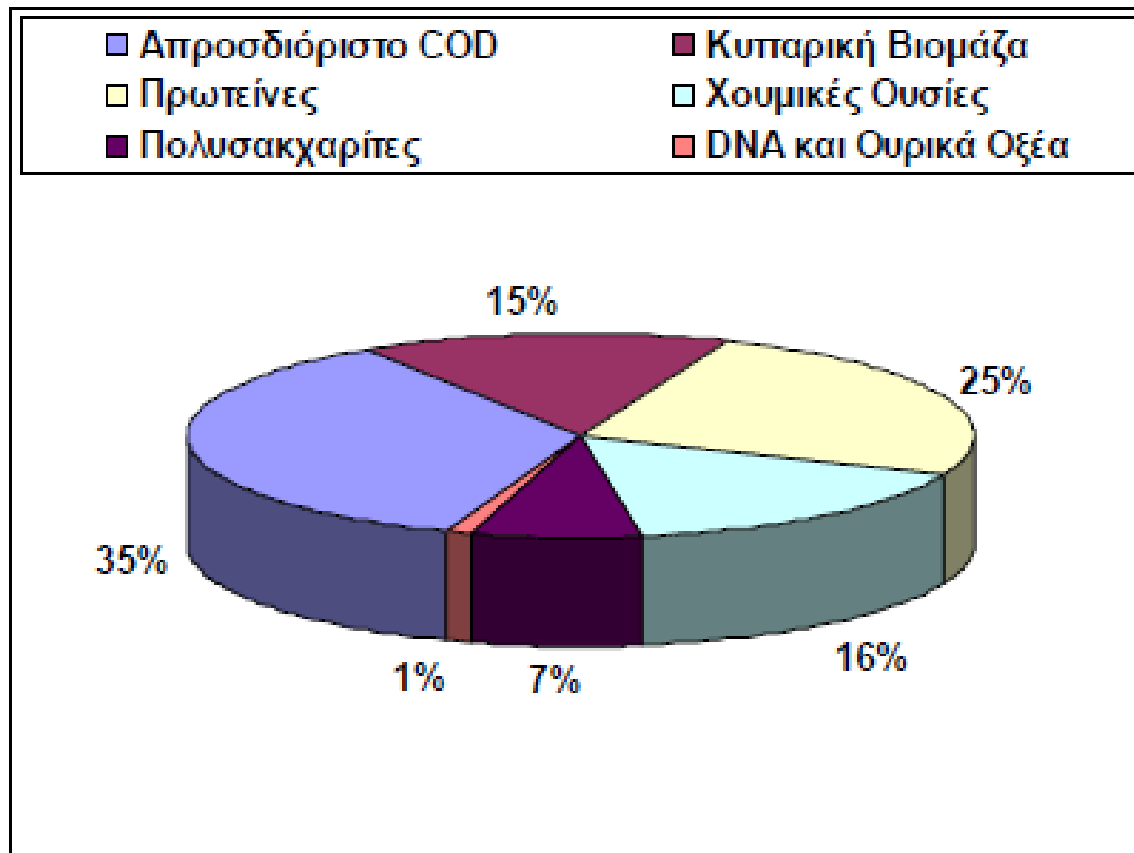
Επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τους ρυθμούς των βιολογικών μετατροπών, που λαμβάνουν χώρα στους αγωγούς των δικτύων, αφού οι συγκεντρώσεις των μικροοργανισμών σε αυτό είναι πάρα πολύ υψηλές, σε σχέση με την συγκέντρωση της μικροβιακής συγκέντρωσης στην υγρή φάση.



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιοφίλμ

## Υμένιο καθηλωμένης βιομάζας (Βιοφίλμ)

Τυπική σύσταση υμενίου καθηλωμένης βιομάζας (βιοφίλμ) σε βαρυτικό αγωγό ακαθάρτων (Jahn and Nielsen 1998).



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιοφίλμ

## Υμένιο καθηλωμένης βιομάζας (Βιοφίλμ)

Ένα βιοφίλμ σε ένα σύστημα φορτίσεων, όπως στις συνθήκες ενός δικτύου αστικών λυμάτων, είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο αναφορικά με την μικροβιολογία του και τα μικροπεριβάλλοντα που αναπτύσσονται σε αυτό (Zhang and Bishop 1994).

Η κοινώς αποδεκτή άποψη για την μορφολογία ενός βιοφίλμ είναι ότι αποτελείται από μία σχετικά σταθερή βάση και από μία επιφάνεια λιγότερη σταθερή με έντονη τοπογραφία.

Η επιφάνεια του χαρακτηρίζεται από μικροπόρους, οι οποίοι επιτρέπουν την μεταφορά μάζας μέσα στο βιοφίλμ (**De Beer *et al.* 1996**).

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιοφίλμ

## Υμένιο καθηλωμένης βιομάζας (Βιοφίλμ)

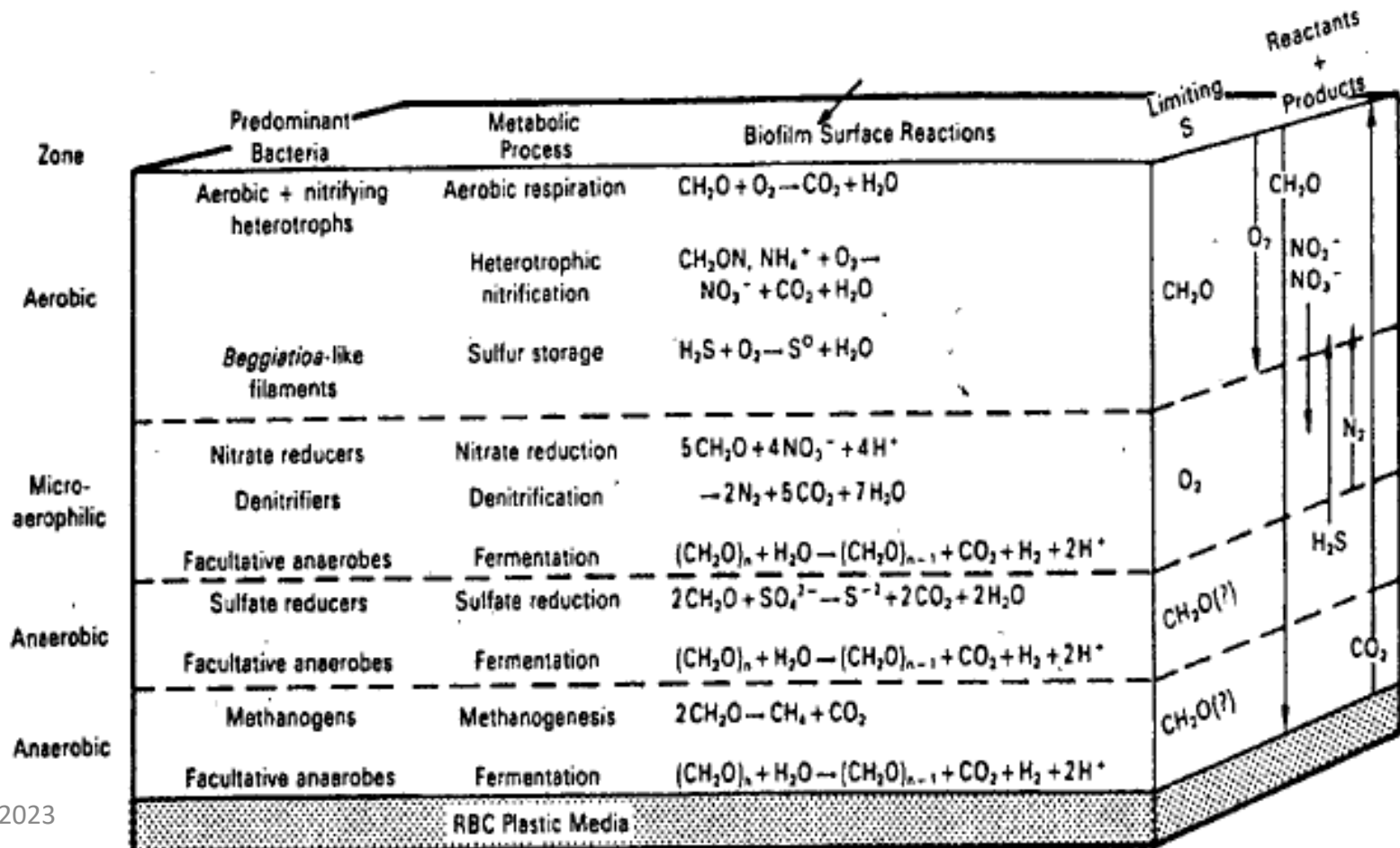
Σε αγωγούς **βαρύτητας**, το βιοφίλμ έχει **πάχος μερικών χιλιοστών** και χαρακτηρίζονται από την ικανότητα του να **αναπτύσσεται σε υψηλές ταχύτητες ροής** και υψηλές οργανικές φορτίσεις (**Norsker 1995**) μάζας σε σχέση με συμπαγή βιοφίλμ. Παρουσιάζει **νηματοειδή υφή**, η οποία **επιτρέπει υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς**

Στους **αγωγούς πίεσης**, όπου επικρατούν αναερόβιες συνθήκες, το βιοφίλμ έχει **λεία υφή** και το **πάχος** του είναι **μικρότερο** σε σχέση με το αντίστοιχο των βαρυτικών αγωγών λόγω του **μικρότερου ρυθμού ανάπτυξης** των αναερόβιων βακτηρίων και της **υψηλότερης ταχύτητας ροής**, κατά την διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος άντλησης (**Hvitved-Jacobsen 2002**).

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιοφίλμ

## Υμένιο καθηλωμένης βιομάζας (Βιοφίλμ)

Οι ζώνες των διαφορετικών μικροβιακών μονάδων σε ένα βιοφίλμ υψηλής φόρτισης.

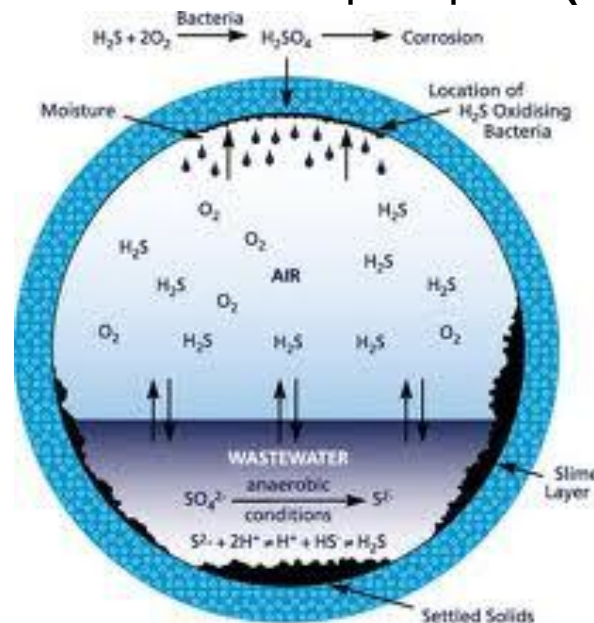


# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιοφίλμ

## Υμένιο καθηλωμένης βιομάζας (Βιοφίλμ)

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι βιοφίλμ δεν αναπτύσσονται μόνο στα τοιχώματα των αγωγών που βρίσκονται βυθισμένα στην υγρή φάση αλλά και στα τοιχώματα που βρίσκονται στην αέρια φάση.

Οι μικροοργανισμοί συντηρούνται από τον κορεσμένο με υγρασία αέρα και την κατανάλωση θρεπτικών από τα αερολύματα (**Muller and Bartocha 1978**).



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Αποθέσεις στερεών

## Αποθέσεις στερεών

Οι αποθέσεις στερεών στο δίκτυο καθορίζονται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του λύματος και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του δικτύου.

Ιδανικά, τα δίκτυα θα πρέπει να σχεδιάζονται και να λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτρέπουν τις μόνιμες αποθέσεις.

Η βιβλιογραφία περιέχει ελάχιστες αναφορές σχετικά με την επίδραση των ιζημάτων στις χημικές και φυσικές διεργασίες στα αποχετευτικά δίκτυα.

Οι αποθέσεις στερεών συνδέονται με την επικράτηση αναερόβιων συνθηκών και την αύξηση της παραγωγής υδρόθειου.

Η αύξηση οφείλεται στην βιολογική αναγωγή θειικού στα βαθύτερα στρώματα των αποθέσεων.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Αποθέσεις στερεών

## Αποθέσεις στερεών

Τυπικές τιμές χαρακτηριστικών στερεών απόθεσης (Hvitved-Jacobsen 2002).

Παράμετρος	Μέση τιμή	Ελάχιστο - Μέγιστο
Ολικά στερεά (g/Kg)	550 - 800	350 - 820
Πτητικά στερεά (%)	4,5 - 10	1 - 19
COD (g/Kg)	25 - 70	6 - 270
BOD <sub>5</sub> (g/Kg)	4 - 14	1 - 90
Οργανικό άζωτο (mg/Kg)	800	200 - 1500
Αμμωνία (mg NH <sub>4</sub> -N/Kg)	100	10 - 300



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Ατμόσφαιρα

## Ατμόσφαιρα δικτύου αστικών λυμάτων

Τμήμα των δικτύων αστικών λυμάτων αποτελείται από βαρυτικούς αγωγούς.

Στους βαρυτικούς αγωγούς υπάρχει δυνατότητα μεταφοράς μάζας από την υγρή φάση στην ατμόσφαιρα του δικτύου, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η ατμόσφαιρα του δικτύου από το είδος των μετατροπών που λαμβάνουν χώρα.

Οι μελέτες για την σύσταση της ατμόσφαιρας των δικτύων εστιάζουν στην ανίχνευση πτητικών οσμηρών ενώσεων



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Ατμόσφαιρα

## Ατμόσφαιρα δικτύου αστικών λυμάτων

Τυπική σύσταση της αέριας φάσης σε βαρυτικό αγωγό όπου έχουν επικρατήσει αναερόβιες συνθήκες.

Συστατικά ατμόσφαιρας αγωγού δικτύου αστικών λυμάτων	Τάξη εύρους συγκεντρώσεως
Διοξείδιο του άνθρακα, CO <sub>2</sub>	0,2 - 1,2% κ.ο.
Υδρογονάνθρακες και χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες	
A. Υδρογονάνθρακες, κυρίως αλειφατικοί με 6 έως 14 άτομα άνθρακα	μέχρι 500 ppmv
B. Χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες	10 - 100 ppmv
Υδρόθειο, H <sub>2</sub> S	0,2 - 10 ppmv
Οργανικές ενώσεις θείου	10 - 50 ppbv
Αμίνες (τριμέθυλο και διμέθυλοαμίνες)	10 - 50 ppbv
Αλδεύδες (Βουτύραλδεύδες)	10 - 100 ppbv

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Βιολογικές μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Το δίκτυο αστικών λυμάτων κυριαρχείται από μικροοργανισμούς, κυρίως ετερότροφους, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τις βιολογικές μετατροπές που λαμβάνουν χώρα.

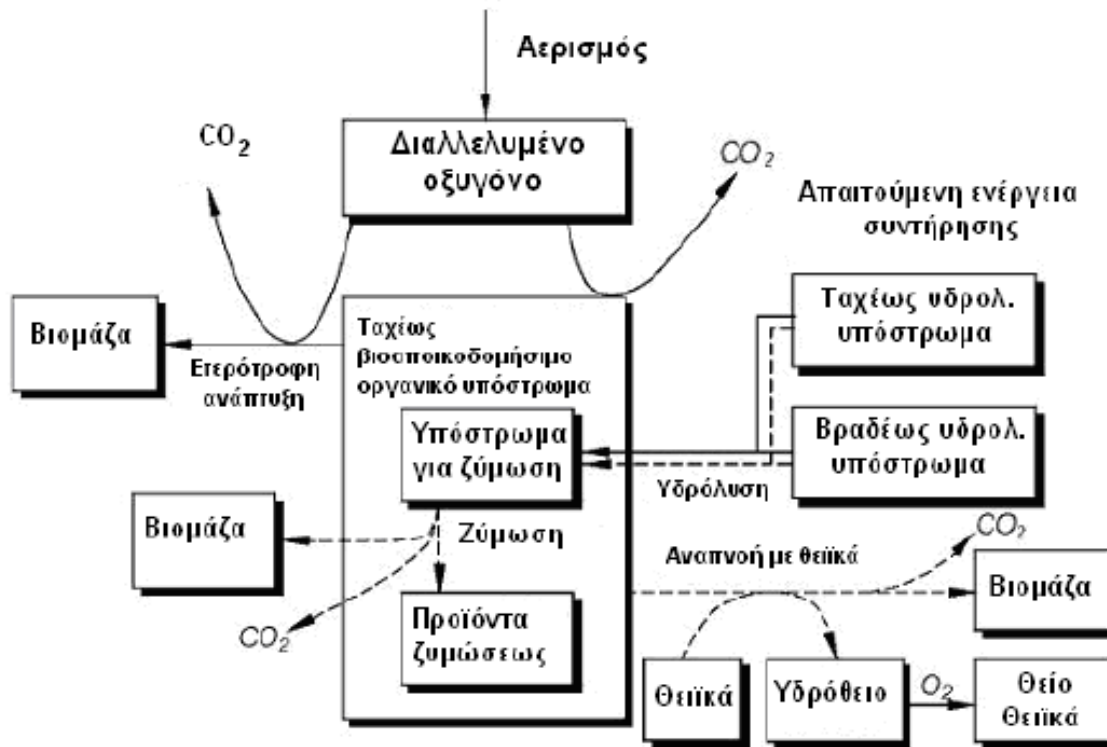
Οι βιολογικές μετατροπές λαμβάνουν χώρα κάτω από αερόβιες, ανοξικές ή αναερόβιες συνθήκες, ανάλογα με την διαθεσιμότητα των ηλεκτρονιακών δεκτών στο σύστημα.

Οι ηλεκτρονιακοί δέκτες χρησιμοποιούνται σε σταθερή ακολουθία: οξυγόνο για αερόβια αναπνοή, νιτρικό ή νιτρώδες για απονιτροποίηση, θειικό για αναερόβια αναπνοή με θειικό και οργανικό υλικό για μεθανιογέννεση.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Βιολογικές μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Αερόβιες και αναερόβιες μετατροπές οργανικού υλικού στο δίκτυο αστικών λυμάτων (Hvitved-Jacobsen 2002).

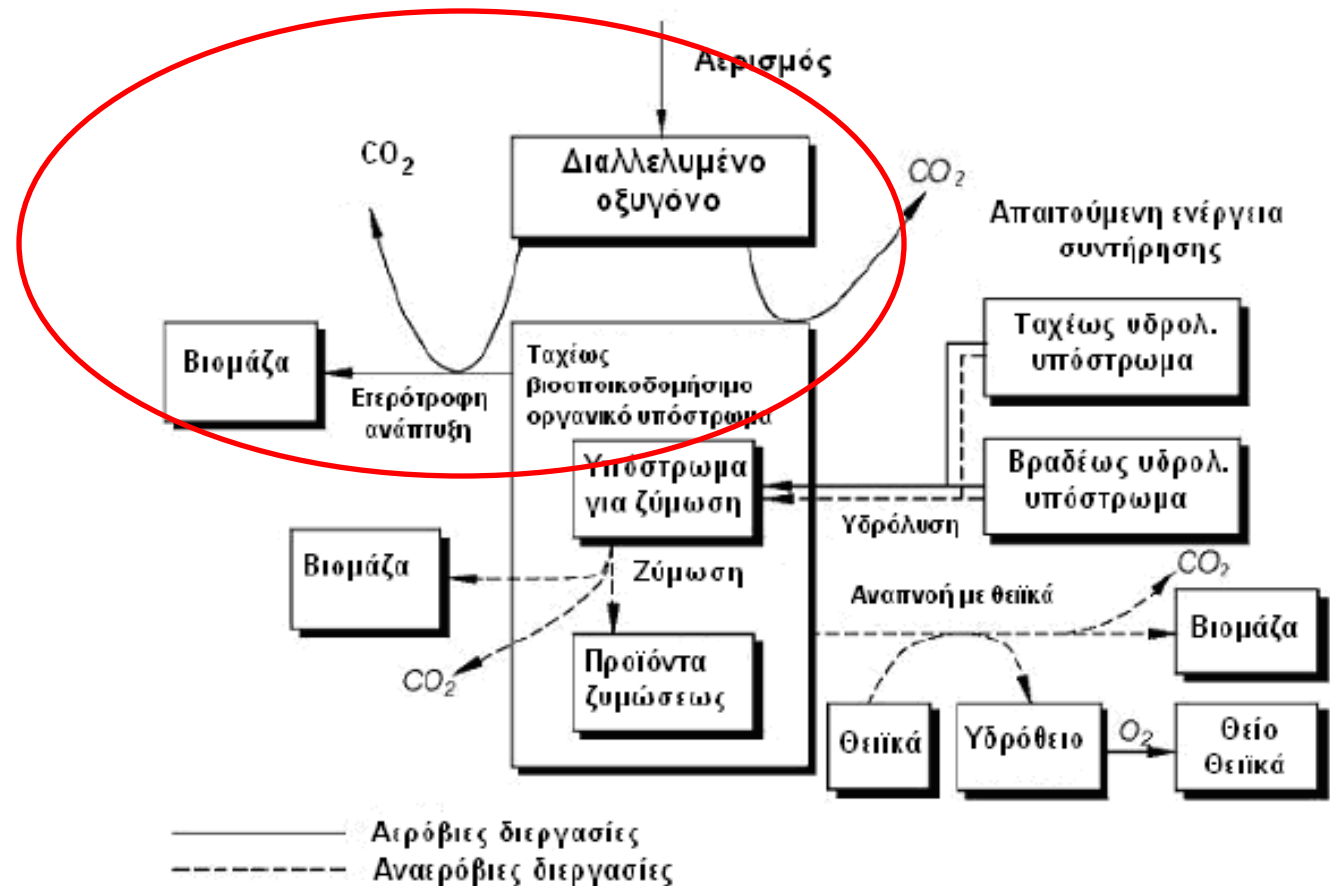


— Αερόβιες διεργασίες  
- - - - - Αναερόβιες διεργασίες

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Βιολογικές μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Κάτω από **αερόβιες συνθήκες**, το ευκόλως βιοαποικοδομήσιμο οργανικό υπόστρωμα καταναλώνεται μικροβιακά.

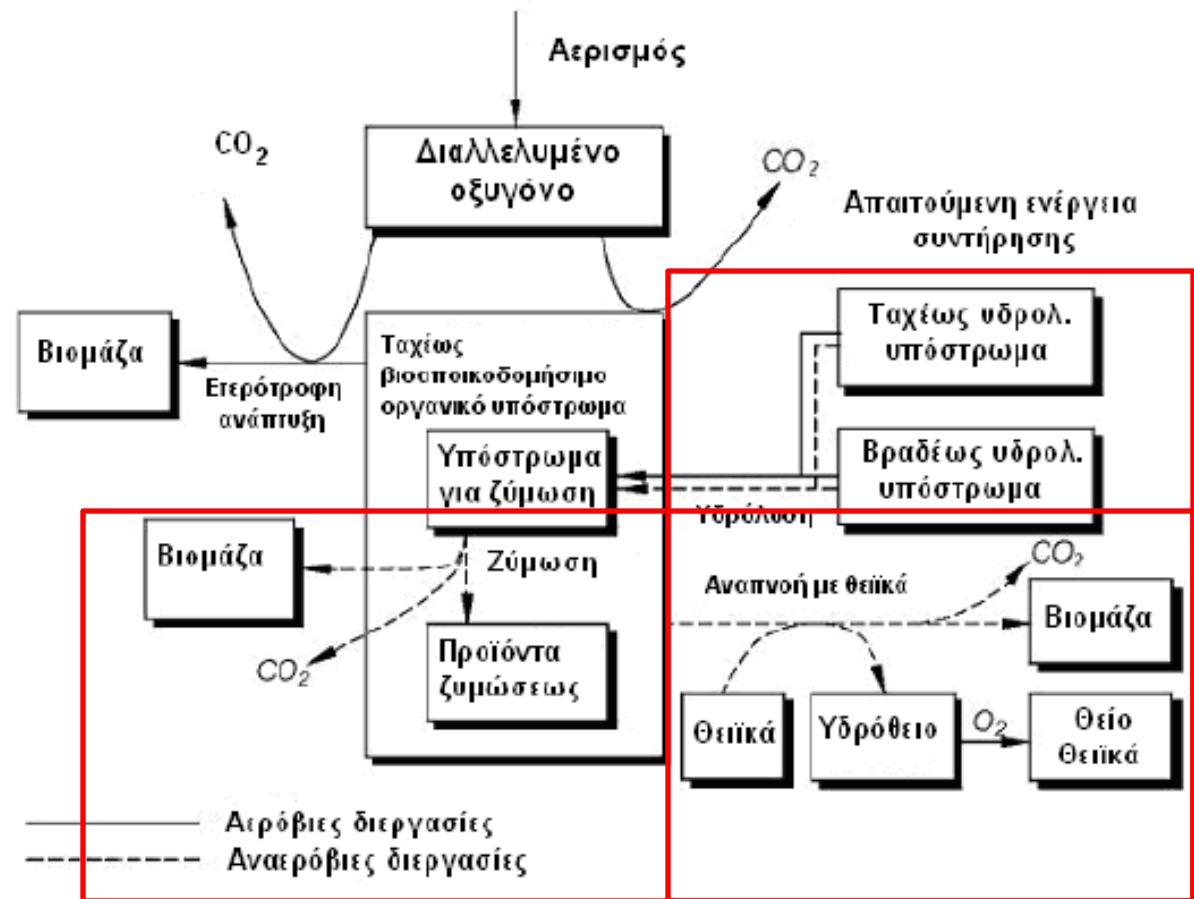


# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Βιολογικές μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Κάτω από **αναερόβιες συνθήκες** το ευκόλως βιοαποικοδομήσιμο οργανικό υπόστρωμα **όχι μόνο διατηρείται αλλά αυξάνεται**, λόγω του υψηλού ρυθμού **της αναερόβιας υδrolύσεως οργανικών μορίων** σε σχέση με τον χαμηλότερο ρυθμό αναερόβιας κατανάλωσης του οργανικού υποστρώματος.

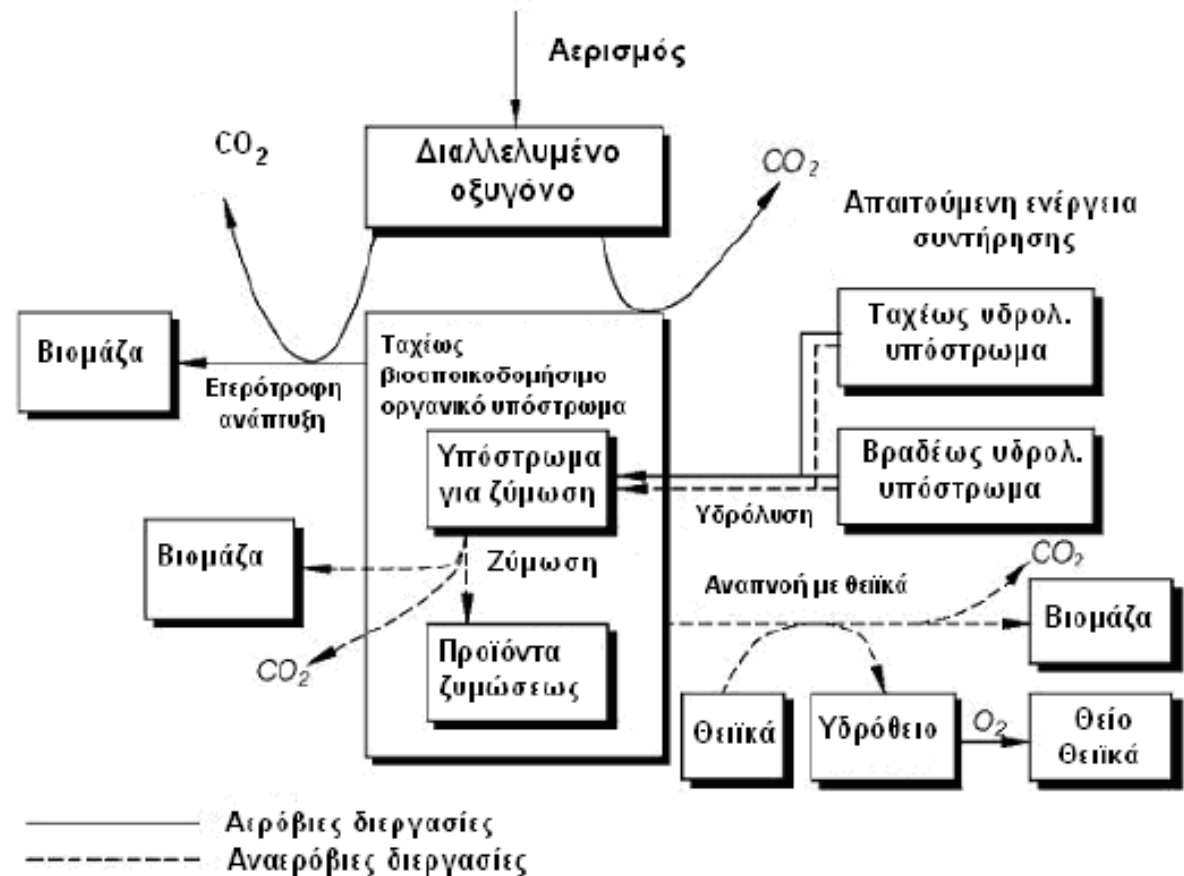
27/1/2023



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Βιολογικές μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Κάτω από **ανοξικές συνθήκες** παρατηρείται **κατανάλωση ευκόλως βιοαποικοδομήσιμου οργανικού υποστρώματος**, με **ρυθμό ελαφρώς χαμηλότερο** σε σχέση με τον αντίστοιχο **αερόβιο** ρυθμό



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Αερόβιες μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Υπό αερόβιες συνθήκες, οι ρυθμοί μετατροπής του οργανικού υποστρώματος μπορεί να είναι ιδιαίτερα υψηλοί.

Σε συνδυασμό με έναν υψηλό μέσο υδραυλικό χρόνο παραμονής, οι αερόβιες συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση του βιοαποικοδομήσιμου οργανικού υποστρώματος.

Το οργανικό υπόστρωμα, σε ρόλο ηλεκτρονιακού δότη, οξειδώνεται μικροβιακά σε διοξείδιο του άνθρακα από αερόβιους ετερότροφους μικροοργανισμούς, μεταφέροντας ηλεκτρόνια στο μοριακό οξυγόνο (ηλεκτρονιακός δέκτης), το οποίο ταυτοχρόνως ανάγεται.



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Αερόβιες μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Η έκταση των αερόβιων μετατροπών του οργανικού υποστρώματος που λαμβάνουν χώρα στο δίκτυο, όπως σε κάθε βιολογικό σύστημα, εξαρτάται από την **παρουσία της ετερότροφης βιομάζας** και την **διαθεσιμότητα του ηλεκτρονιακού δέκτη και δότη**.

Σε τυπικές συνθήκες δικτύου, η συγκέντρωση της ετερότροφης βιομάζας και της συγκέντρωσης του οργανικού υποστρώματος δεν αποτελούν τους περιοριστικούς παράγοντες.

Οι αερόβιες διεργασίες **περιορίζονται από την διαθεσιμότητα του ηλεκτρονιακού δέκτη, δηλαδή του οξυγόνου**.

Συνεπώς, η κατανόηση του ισοζυγίου μάζας του οξυγόνου είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη των αερόβιων μετατροπών.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Αερόβιες μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Το **ισοζύγιο μάζας του διαλυμένου οξυγόνου** μπορεί σε μία γενική μορφή να εκφραστεί ως:

$$\frac{dD.O.}{dt} = D.O._{(IN)} - D.O._{(OUT)} + K_L a (D.O._{sat} - D.O.) - (r_w + r_f)$$

$dDO/dt$ : Μεταβολή διαλυμένου οξυγόνου

$DO_{(IN)}$ : Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην εισροή

$DO_{(OUT)}$ : Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην εκροή

$K_L a$ : Σταθερά επαναερισμού

$DO_{sat}$ : Συγκέντρωση κορεσμού διαλυμένου οξυγόνου

$DO$ : Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην υγρή φάση

$r_w$ : Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου στην υγρή φάση

$r_f$ : Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου στο βιοφίλμ

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Αερόβιες μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου σε δίκτυα αστικών λυμάτων κυμαίνεται σημαντικά, αφού έχουν μετρηθεί ογκομετρικοί ρυθμοί που κυμαίνονται μεταξύ  $2-20 \text{ gO}_2/\text{m}^3\text{_h}$

Η διακύμανση οφείλεται στη

→διαφορετική συγκέντρωση

→στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του οργανικού υποστρώματος αλλά και

→στις διεργασίες που επηρεάζουν το ισοζύγιο μάζας του οξυγόνου στο δίκτυο,

όπως → ο επαναερισμός,

→η συγκέντρωση ανηγμένων ενώσεων θείου ή

→ο ρυθμός χημικής και βιολογικής κατανάλωσης οξυγόνου στην υγρή φάση και στο βιοφίλμ.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

Αερόβιες μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων - *Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου στην υγρή φάση*

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στην υγρή φάση είναι θεμελιώδης για την διατήρηση των αερόβιων μετατροπών.

Πειραματικά προσδιορισμένες τιμές του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου στην υγρή φάση  $r_w$  παρουσιάζονται στον Πίνακα

Πηγή	Είδος/Προέλευση λύματος	$r_w$ (gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> .h)
Boon and Lister (1975)	Σηπτικό λύμα (20 <sup>0</sup> C)	11-16
USEPA (1985)	Φρέσκο λύμα (20 <sup>0</sup> C)	2-3
Matos and de Sousa (1991)	Φρέσκο λύμα (20 <sup>0</sup> C)	0,1-0,3
Huisman et al. (1999)	Φρέσκο λύμα (15 <sup>0</sup> C)	0,5-3

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

Αερόβιες μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων - *Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου στην υγρή φάση*

Η χαμηλή διαλυτότητα ,  
η σχετικά υψηλή αντίσταση στην διεπιφάνεια αέρα-υγρού και  
ο υψηλός ρυθμός κατανάλωσης

αποτελούν τα κύρια αίτια για το γεγονός ότι το οξυγόνο αποτελεί τον **περιοριστικό παράγοντα** για τις αερόβιες μετατροπές σε δίκτυα.  
Το γεγονός αυτό καθιστά το φαινόμενο του επαναερισμού σημαντικότερο φαινόμενο για τις αερόβιες μετατροπές

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

Αερόβιες μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων - *Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου στο βιοφίλμ*

Για την περιγραφή του ρυθμού κατανάλωσης διαλυμένου οξυγόνου στο βιοφίλμ ενός βαρυτικού αγωγού προτείνεται (Parkhurst and Pomeroy 1972) μία απλή μαθηματική εξίσωση :

$$r_f = 5,3 D.O. (su)^{-0.5} R^{-1}$$

Όπου:

$r_f$ : επιφανειακός ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου στο βιοφίλμ ( $gO_2/m^3.h$ )

$s$ : κλίση αγωγού (m/m)

$u$ : μέση ταχύτητα ροής (m/s)

$R$ : υδραυλική ακτίνα (m)

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Αναερόβιες μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Με την κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου, και λόγω της απουσίας νιτρικού ή νιτρώδους στο αστικό λύμα, επικρατούν αναερόβιες συνθήκες.

**Κάτω από αναερόβιες συνθήκες, λαμβάνουν χώρα ζυμώσεις και αναερόβια αναπνοή με θειικό.**

Οι ζυμώσεις, σε αντίθεση με την αναερόβια αναπνοή, δεν απαιτούν εξωτερικό ηλεκτρονιακό δέκτη αφού το οργανικό υλικό συμμετέχει σε διαδοχικές αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής.

Οι αντιδράσεις αυτές, μέσω της μερικής αποικοδόμησης του οργανικού υλικού, παράγουν οργανικές ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους (πτητικά λιπαρά οξέα) και διοξείδιο του άνθρακα.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Αναερόβιες μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Τόσο τα **προϊόντα** όσο και τα **αντιδρώντα ζυμώσεως** μπορούν να χρησιμοποιηθούν από θειοαναγωγικά βακτήρια, τα οποία χρησιμοποιούν θειικό ως ηλεκτρονιακό δέκτη.

Παράλληλα, μεθανιογόνα βακτήρια χρησιμοποιούν τα προϊόντα ζυμώσεως παράγοντας μεθάνιο.

Οι **ζυμώσεις λαμβάνουν χώρα στα τρία κυριότερα υποσυστήματα** του δικτύου αστικών λυμάτων (υγρή φάση, βιοφίλμ, αποθέσεις).

Αντίθετα, **θειοαναγωγή και μεθανιογένεση** λαμβάνει μόνο στο **βιοφίλμ** και στις **αποθέσεις**, αφού τα βραδέως αναπτυσσόμενα θειοαναγωγικά και μεθανιογόνα βακτήρια δεν μπορούν να διατηρηθούν στην υγρή φάση.



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Αναερόβιες μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων

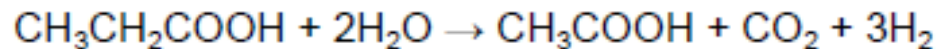
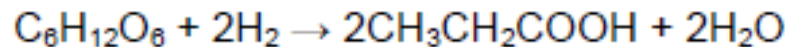
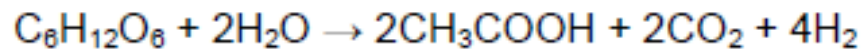
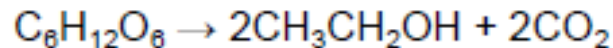
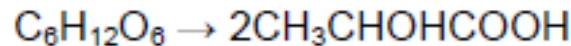
Υπό κανονικές συνθήκες, η μεθανογέννεση απαιτεί απουσία ή περιορισμένη διαθεσιμότητα θειικού, συνεπώς λαμβάνει χώρα μόνο στα βαθύτερα στρώματα των αποθέσεων αφού το θειικό εισχωρεί πλήρως σε ένα τυπικό βιοφίλμ δικτύου, περιορίζοντας σημαντικά την μεθανιογέννεση στο βιοφίλμ.

Ωστόσο, έρευνες αναφέρουν ότι ως και 70% του διαλυτού COD που καταναλώνεται σε εργαστηριακούς αγωγούς πίεσης οδηγεί σε σχηματισμό μεθανίου ενώ σε πειράματα πεδίου η παραγωγή μεθανίου έφτασε ως και 100 g/m<sup>3</sup> εκφρασμένο ως COD (Guisasola *et al.*, 2008), .

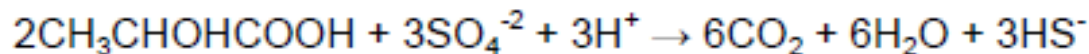
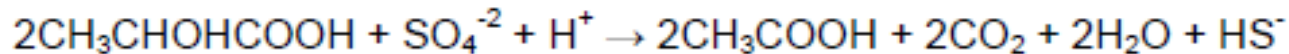
# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

Αναερόβιες μετατροπές στο δίκτυο αστικών λυμάτων -βιοαποικοδόμησης οργανικού υλικού.

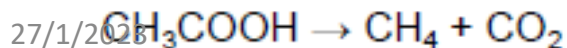
## Ζυμώσεις



## Αναερόβια αναπνοή με θειικό



## Μεθανιογένεση



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Αναερόβια παραγωγή ενώσεων που συμβάλουν στην εμφάνιση δυσοσμίας

Η κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου στο δίκτυο αστικών λυμάτων επιτρέπει την επικράτηση αναερόβιων συνθηκών.

Οι αναερόβιες συνθήκες, γνωστές και ως **σηπτικές**, συνδέονται με τον σχηματισμό ενώσεων που, τυπικά, σχετίζονται με φαινόμενα **δυσοσμίας**, υγιεινής και διάβρωσης.

Οι αναερόβιες μετατροπές είναι **υπεύθυνες** για τον σχηματισμό **οσμηρών ανόργανων και οργανικών πτητικών ενώσεων**.

Η **αμμωνία**, προϊόν υδρόλυσης αζωτούχων οργανικών ενώσεων και το **υδρόθειο**, προϊόν της αναερόβιας αναπνοής με θειικό, αποτελούν τις κυριότερες ανόργανες οσμηρές πτητικές ενώσεις.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

Οργανικές πτητικές ενώσεις που συνδέονται με προβλήματα δυσοσμίας στα αστικά λύματα. (Dague 1972, Vincent and Hobson 1998).

Κατηγορία	Ένωση	Κατώφλι όσφρησης (ppb)
Πτητικές θειοργανικές ενώσεις	Μεθυλική μερκαπτάνη	1
	Αιθυλική μερκαπτάνη	0,2
	Αλλυλ-μερκαπτάνη	0,05
	Βενζυλ-μερκαπτάνη	0,2
	Διμέθυλο-σουλφίδιο	1
	Διμέθυλο-δισουλφίδιο	0,3 - 10
	Θειοκρεσόλη	0,1
Οργανικές αζωτούχες ενώσεις	Μεθυλαμίνη	1 - 50
	Αιθυλαμίνη	2400
	Διμεθυλαμίνη	20 - 80
	Πυριδίνη	4
	Ινδόλη	1,5
	Σκατόλη	0,002 - 1
Οξέα	Οξικό	15
	Βουτυρικό	0,1 - 20
	Βαλερικό	2-2600
Αλδεύδες και Κετόνες	Φορμαλδευδη	370
	Ακεταλδεύδη	0,005-2
	Βουτυραλδεύδη	5
	Ακετόνη	4600
	Βουτανόνη	270

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Παραγωγή υδρόθειου στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Η επικράτηση αναερόβιων συνθηκών αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα στην διαχείριση αστικών λυμάτων, λόγω της παραγωγή υδρόθειου και των επακόλουθων φαινομένων που σχετίζονται με την παραγωγή του.

Οι πρώτες αναφορές σχετικά με προβλήματα που συνδέονται με το υδρόθειο, σε δίκτυα, εμφανίζονται τον προηγούμενο αιώνα (**Parker 1945a,b, Pomeroy και Bowlus 1946**).

Την δεκαετία του 1950, εμφανίζονται προβλήματα που σχετίζονται με την βιολογική παραγωγή του και απαιτούν άμεση αντιμετώπιση από τις εταιρείες διαχείρισης αποχετευτικών δικτύων.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Παραγωγή υδρόθειου στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Αρκετές έρευνες διεξήχθησαν σε αρκετές χώρες για να γίνουν κατανοητά τα φαινόμενα που οδηγούν στην παραγωγή υδρόθειου, στην διάβρωση των δικτύων και να βρεθούν μέθοδοι για την αντιμετώπιση των προβλημάτων.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών αποτελούν τα διάφορα μοντέλα πρόβλεψης του σχηματισμού υδρόθειου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των προβλημάτων σηπτικότητας, κατά τη φάση σχεδιασμού των δικτύων.

Οι έρευνες διεξήχθησαν σε χώρες με εκτεταμένα δίκτυα αστικών λυμάτων που χαρακτηρίζονται από υψηλές μέσες θερμοκρασίες, όπως οι Η.Π.Α., η Αυστραλία και η Νότια Αφρική.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Παραγωγή υδρόθειου στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Ωστόσο, προβλήματα που σχετίζονται με το υδρόθειο δεν παρουσιάζονται μόνο σε χώρες με υψηλές θερμοκρασίες αλλά και σε χώρες με ψυχρό κλίμα όπως η Δανία, όπου προβλήματα δυσσομίας και διάβρωσης παρουσιάζονταν ως τα μέσα του 1980.

Η απόφαση να κατασκευαστούν κεντρικά συστήματα επεξεργασίας αστικών λυμάτων συντέλεσε στην ευρεία χρήση αγωγών πίεσης.

Τα πρώτα αποτελέσματα, από την επικράτηση αναερόβιων συνθηκών, παρουσιάστηκαν μέσα σε πέντε χρόνια.

Κατάντη αντλιοστάσια και βαρυτικοί αγωγοί από τους αγωγούς πίεσης **διαβρώθηκαν πλήρως** από τον σχηματισμό θειικού οξέος.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Παραγωγή υδρόθειου στο δίκτυο αστικών λυμάτων

- Πρόσφατες έρευνες στην Δανία, αποδεικνύουν ότι, ακόμα και σε **θερμοκρασίες 5-8°C**, η παραγωγή υδρόθειου είναι σημαντική (Nielsen et al. 1998).
- Επιπλέον, οι έρευνες αυτές αναφέρουν την **αρνητική επίδραση του θείουχου**, το οποίο παράγεται κατά την μεταφορά των λυμάτων στην Μ.Ε.Υ.Α., στην **σταθερότητα των νιφάδων** σε συστήματα ενεργού ιλύος (Nielsen and Keiding 1998) και στην **διαδικασία της νιτροποίησης** σε συστήματα **καθηλωμένης βιομάζας** (Æsoy et al. 1998), κατά την επεξεργασία των αστικών λυμάτων
- Στην Πορτογαλία, προβλήματα σηπτικότητας άρχιζαν να εμφανίζονται την δεκαετία του 1960.
- Η κατασκευή παράκτιων παντοροϊκών δικτύων μεγάλου μήκους, για την αποφυγή ρύπανσης των ακτών, αύξησε τα προβλήματα σηπτικότητας, με αποτέλεσμα την ολική διάβρωση των αντλιοστασίων σε 6-8 χρόνια.
- Σήμερα τα υπό πίεση συστήματα κατασκευάζονται με εγκαταστάσεις προσθήκης αέρα στην υγρή φάση, για την διατήρηση αερόβιων συνθηκών



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Ο κύκλος του θείου σε δίκτυα αστικών λυμάτων

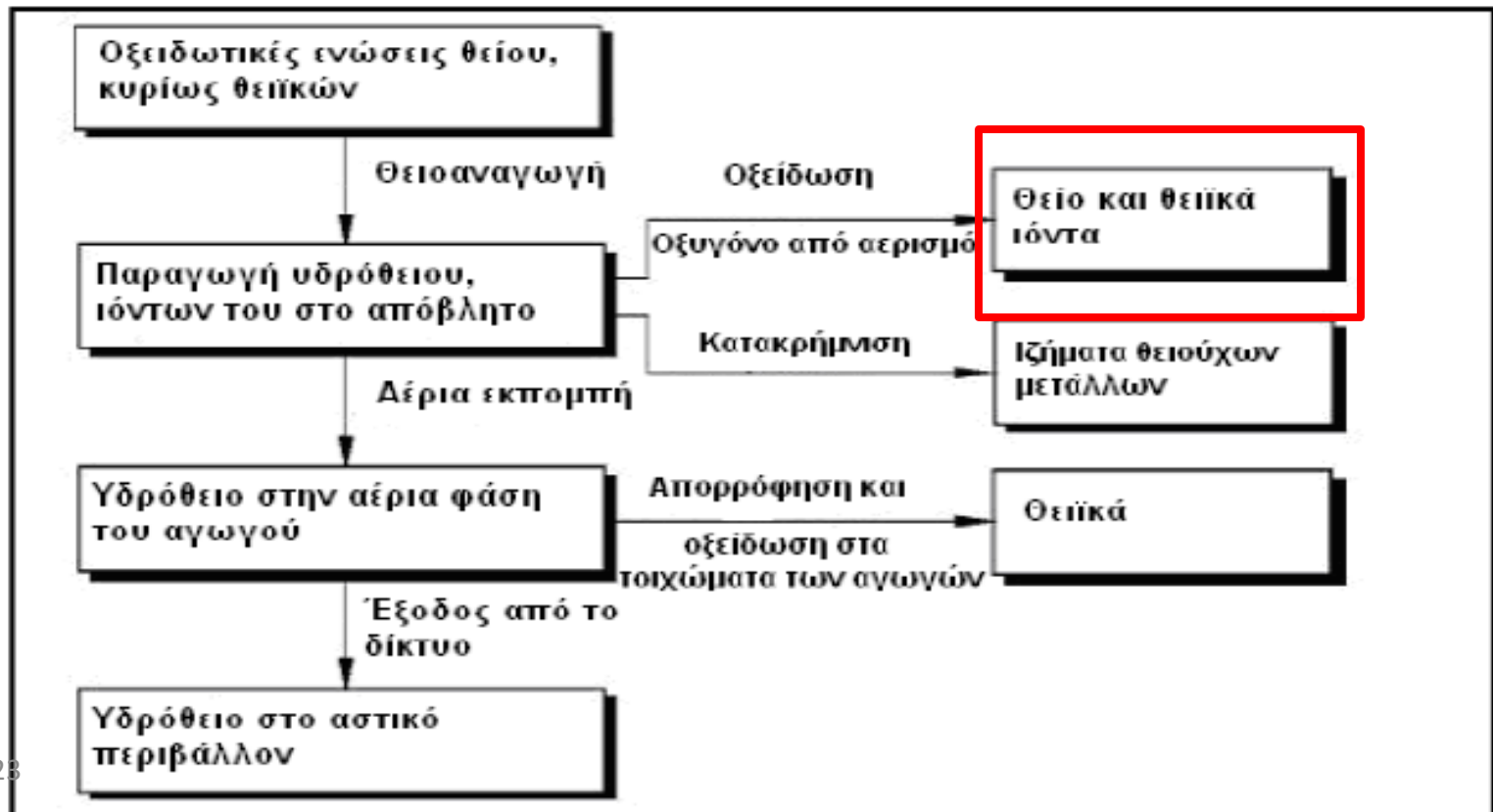
Κάτω από αναερόβιες συνθήκες, θειοαναγωγικά βακτήρια, κυρίως του γένους *Desulfohalobus* και *Desulfonivibrio*, ανάγουν το θειικό ή οργανικές ενώσεις θείου σε υδρόθειο



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Ο κύκλος του θείου σε δίκτυα αστικών λυμάτων

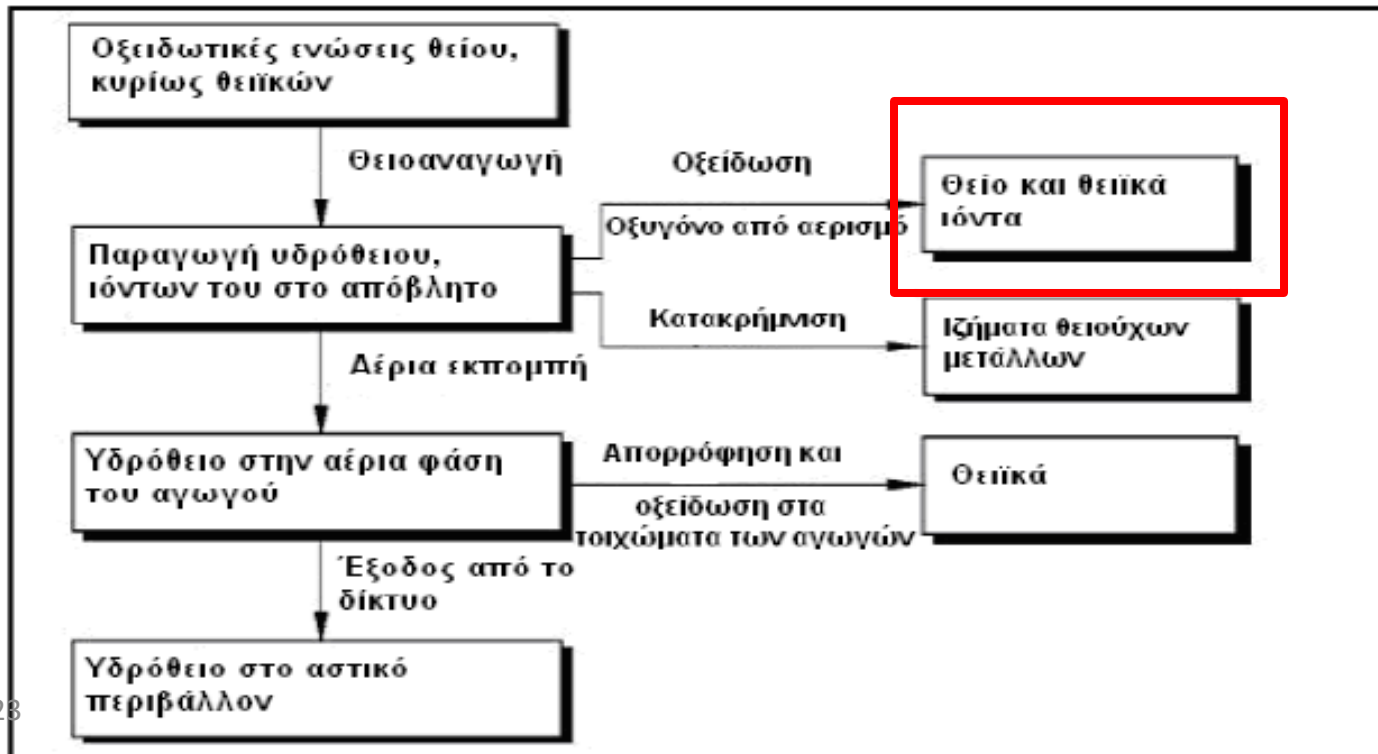
Το παραγόμενο διαλυτό υδρόθειο οξειδώνεται είτε στα ανώτερα αερόβια στρώματα του βιοφίλμ είτε στην υγρή φάση, όταν διαλυμένο οξυγόνο είναι διαθέσιμο.



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Ο κύκλος του θείου σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Το κύριο προϊόν της **βιολογικής οξείδωσης**, μέσω θειοξειδωτικών βακτηρίων του γένους *Thiobacillus*, του διαλυτού υδρόθειου είναι θείο ενώ η χημική οξείδωση του οδηγεί σε παραγωγή θειοθειικού και θειικού.



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων - Βιολογικές μετατροπές

## Ο κύκλος του θείου σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Με βάση την τιμή του pH, το είδος της ροής και την θερμοκρασία, ένα ποσοστό του υδρόθειου μεταφέρεται στην αέρια φάση, όπου είτε διαφεύγει στην αστική ατμόσφαιρα, είτε προσροφάτε και οξειδώνεται στις επιφάνειες των τοιχωμάτων του δικτύου.

Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον ότι, παρά την ταχύτατη μεταφορά του υδρόθειου στην αέρια φάση, η συγκέντρωση του στην αέρια φάση αντιστοιχεί μόλις στο 2-20% της θεωρητικής συγκέντρωσης, με βάση την χημική ισορροπία, λόγω της προσρόφησης του στα τοιχώματα (Pomeroy and Bowlus 1946, Matos 1992).

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

**Συνέπειες επικράτησης αναερόβιων συνθηκών στο δίκτυο αστικών λυμάτων**

Η επικράτηση αναερόβιων συνθηκών στο δίκτυο αστικών λυμάτων οδηγεί σε αρνητικές συνέπειες που σχετίζονται με :

- Προβλήματα οσμών
- Την εργασιακή υγεία
- Την διάβρωση κατασκευών από μέταλλα και τσιμέντο
- Την λειτουργία της Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων (Μ.Ε.Υ.Α.)

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

**Συνέπειες επικράτησης αναερόβιων συνθηκών στο δίκτυο αστικών λυμάτων**

## **Προβλήματα οσμών**

Σχετίζονται με την εκπομπή υδρόθειου και λοιπών πτητικών ενώσεων και αποτελούν σημαντικότατο πρόβλημα για τις εταιρείες αποχετεύσεως.

Οδηγούν σε έντονη δυσαρέσκεια του πληθυσμού και, αν τα προβλήματα είναι έντονα, μπορούν ακόμα και να επηρεάσουν ακόμα και τις αστικές οικονομικές δραστηριότητες (Αξία χρήσης γης, τουριστικές δραστηριότητες).

Ενώ πολυπληθείς ενώσεις συμβάλουν στην εμφάνιση δυσοσμίας ουσία-δείκτης, η οποία σχετίζεται άμεσα με τις αναερόβιες μετατροπές και τα προβλήματα σηπτικότητας αποτελεί το υδρόθειο (αν και οι συγκεντρώσεις υδρόθειου από μόνες τους δεν αποτελούν επαρκή απόδειξη για την πιθανή εμφάνιση προβλημάτων δυσοσμίας)

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Συνέπειες επικράτησης αναερόβιων συνθηκών στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Συσχέτιση συγκέντρωσης ολικού υδρόθειου στο αστικό λύμα και μεγέθους προβλημάτων σηπτικότητας. (Hvitved-Jacobsen 2002).

Συγκέντρωση ολικού υδρόθειου ( $\text{gS}^{-2}/\text{m}^3$ )	Προβλήματα σηπτικότητας
<0.5	Περιορισμένα
>2	Σημαντικά

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

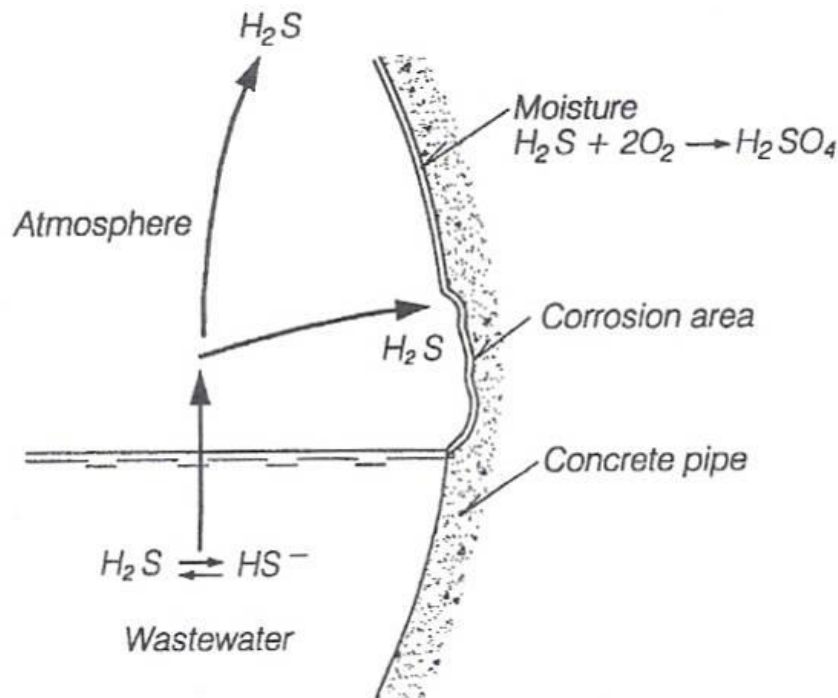
## Διάβρωση σκυροδέματος και μετάλλων

Η επίδραση του θειικού οξέος είναι καταστροφική.

pH αρχικού σκυροδέματος μεταξύ 11-12 ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) καμία ανάπτυξη βακτηρίου.

Μείωση με το χρόνο του pH λόγω του  $\text{CO}_2$  ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) και  $\text{H}_2\text{S}$  ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Ο χρόνος ελάττωσης του pH κυμαίνεται από μερικούς μήνες ως αρκετά χρόνια.





# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Διάβρωση σκυροδέματος και μετάλλων

Υπεύθυνα βακτήρια για την οξείδωση του υδρόθειου σε θειικό οξύ, ανήκουν κυρίως στα αερόβια χημειο-αυτότροφα βακτήρια του γένους *Thiobacillus*. Το κύριο προϊόν της διάβρωσης είναι το θειικό ασβέστιο. Ραγδαία απώλεια σκυροδέματος. Προστατεύει το σκυρόδεμα από το θειικό οξύ, ενώ όταν ο γύψος ξεπλένεται από το δίκτυο, νέες επιφάνειες εκτίθενται σε επίθεση των οξέων επιταχύνοντας την διάβρωση. Επίσης τα περισσότερα μέταλλα, μεταξύ αυτών και ο ανοξειδωτός χάλυβας, μπορούν να δεχτούν επίθεση και να καταστραφούν από την έκθεση τους σε ισχυρά οξέα. Γίνεται είτε με αποσύνθεση από οξέα που παράγονται από το γένος *Thiobacillus*, είτε με άμεση μοριακή επίθεση. Τα μέταλλα μετατρέπουν τους ισχυρούς μεταλλικούς δεσμούς τους σε λιγότερο ισχυρούς δεσμούς μετάλλου-θειούχου.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Διάβρωση σκυροδέματος και μετάλλων



Είναι μία λευκή μάζα σε επιφάνειες σκυροδέματος, πάνω από την επιφάνεια των λυμάτων.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Διάβρωση σκυροδέματος και μετάλλων



Διάβρωση  
ανθρωποθυρίδας

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Επίδραση στις Μ.Ε.Υ.Α.

1. Μειώνει την αποτελεσματικότητα της βιολογικής επεξεργασίας λόγω επικράτησης θειο-οξειδωτικών νηματοειδών που οδηγούν σε φαινόμενα διόγκωσης ιλύος
2. Παρατηρείται παρεμπόδιση της νιτροποίησης, λόγω της επικράτησης των ετερότροφων έναντι των αυτότροφων βακτηρίων στην διαδικασία της νιτροποίησης, λόγω της αυξημένης παρουσίας ευκόλως βιοαποικοδομήσιμου οργανικού υλικού που δημιουργούν οι αναερόβιες συνθήκες.
3. *Η νιτροποιητική δραστηριότητα μειώνεται, ως και 80%, σε μονάδες ενεργού ιλύος μειώνεται κατά 28%, 67%, 76% σε συγκεντρώσεις θειούχων 1, 5, 10 g/m<sup>3</sup>, αντίστοιχα.*
4. Συγκέντρωση 0,5 gS-2/m<sup>3</sup> προκαλεί σημαντική μείωση της νιτροποίησης δραστηριότητας
5. Η παρουσία θειούχου οδηγεί σε μεταβολή των νιφάδων ιλύος λόγω της αναγωγής του εσωτερικά δεσμευμένου τρισθενούς σιδήρου σε θειούχο σίδηρο, μειώνει την συνοχή των νιφάδων και τις οδηγεί στην αποσύνθεση.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Έλεγχος σηπτικότητας στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Οι αρχές, κατά την φάση σχεδιασμού, και οι μέθοδοι, κατά την φάση λειτουργίας, για έλεγχο προβλημάτων σηπτικότητας μπορούν να διαχωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- 1. Ενεργητικές αρχές σχεδιασμού.** Οι αρχές αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, κατά την φάση σχεδιασμού, ώστε να περιορίζονται ή να αποφεύγονται οι αναερόβιες συνθήκες.
- 2. Παθητικές αρχές σχεδιασμού.** Οι αρχές αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, κατά την φάση σχεδιασμού, ώστε να περιορίζονται οι συνέπειες της επικράτησης αναερόβιων συνθηκών, όπου αυτές προβλέπονται, χωρίς να περιορίζουν, υποχρεωτικά, τα αίτια της εμφάνισης των προβλημάτων σηπτικότητας.
- 3. Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας.** Οι προαναφερόμενες μέθοδοι στοχεύουν στην αντιμετώπιση των προβλημάτων σηπτικότητας και των συνεπειών τους, κατά την φάση λειτουργίας ενός δικτύου.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Ενεργητικές αρχές σχεδιασμού

Στόχο έχουν τον σχεδιασμό ενός δικτύου αστικών λυμάτων ώστε:

1. Ο ρυθμός επαναερισμού να επαρκεί για διατήρηση των αερόβιων συνθηκών.
2. Η τυρβώδης ροή να περιορίζεται σε σημεία όπου το λύμα είναι σηπτικό.
3. Η συσσώρευση στερεών στο δίκτυο να είναι περιορισμένη.
4. Το πάχος του σχηματισμένου βιοφίλμ στους αγωγούς να είναι όσο το δυνατόν λεπτότερο.

Κατά τον σχεδιασμό βαρυτικών αγωγών, το **φαινόμενο του επαναερισμού** είναι μείζονος σημασίας στον περιορισμό της επικράτησης αναερόβιων συνθηκών. Διάφορα **υδραυλικά χαρακτηριστικά** ενός δικτύου, όπως το **μέσο υδραυλικό ύψος**, η **υδραυλική ακτίνα**, η **ταχύτητα ροής** και η **κλίση των αγωγών**, μπορούν να σχεδιαστούν κατάλληλα ώστε να αποφευχθεί η επικράτηση των αναερόβιων συνθηκών.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Ενεργητικές αρχές σχεδιασμού

### Προσοχή

Αν και η τυρβώδης ροή είναι επιθυμητή κάτω από αερόβιες συνθήκες, αφού αυξάνει τον επαναερισμό, έχει αντίθετο αποτέλεσμα αν το αστικό λύμα έχει καταστεί σηπτικό, αφού τότε ευνοείται η μεταφορά οσμηρών ενώσεων στην αέρια φάση.

Το πάχος του βιοφίλμ σε έναν βαρυτικό αγωγό επηρεάζει τους ρυθμούς των βιολογικών μετατροπών και συνεπώς και την παραγωγή υδρόθειου.

Το πάχος ενός βιοφίλμ αποτελεί συνάρτηση της διατμητικής τάσης στο τοίχωμα ενός αγωγού που προκαλείται από την κίνηση του αστικού λύματος.

Μείωση του πάχους του, μέσω αύξησης της ταχύτητας ροής

Προτείνεται μία διατμητική τάση μεταξύ 3-4 N/m<sup>2</sup> για την αποφυγή σχηματισμού ενός παχύ βιοφίλμ

Αποφυγή συσσωρεύσεων στερεών στο δίκτυο διότι οδηγεί σε αυξημένη αναερόβια βιολογική δραστηριότητα (συνεπώς υψηλό ρυθμό παραγωγής υδρόθειου)

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Παθητικές αρχές σχεδιασμού

Αποσκοπούν να περιορίσουν την διάβρωση με τη χρήση υλικών με αντοχή στην διάβρωση και ο σχεδιασμός ενός συστήματος εξαερισμού στα σημεία του δικτύου, όπου η μεταφορά του υδρόθειου στην αέρια φάση είναι σημαντική.

Μία αύξηση του τσιμέντου Portland στο μείγμα του σκυροδέματος ή η χρήση αλκαλικών υλικών μειώνει το ρυθμό διάβρωσης του, λόγω της αύξησης της αλκαλικότητας

Ειδικοί τύποι σκυροδέματος, με υψηλή αντοχή στην διάβρωση επίσης υπάρχουν, αλλά το κόστος τους είναι σχετικά υψηλό.

Εναλλακτικά, η επιφάνεια του σκυροδέματος μπορεί να καλυφθεί με ειδικά αντιδιαβρωτικά καλύμματα ή διαφορετικά μπορεί να γίνει χρήση πλαστικών υλικών.



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας

Οι μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην λειτουργία των δικτύων αστικών λυμάτων, τα τελευταία σαράντα με πενήντα χρόνια, λόγω της αδυναμίας πρόβλεψης των προβλημάτων σηπτικότητας κατά την φάση σχεδιασμού.

Συνήθως απαιτούν την προσθήκη ενός χημικού και θα πρέπει να εξετάζονται ιδιαίτερα προσεκτικά οι πιθανές αρνητικές συνέπειες στην μετέπειτα επεξεργασία των αστικών λυμάτων.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Πίνακας 2.14 Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας σε δίκτυα αστικών λυμάτων.

	Μέθοδος
Περιορισμός βιολογικής δραστηριότητας	Προσθήκη βάσεων Χλωρίωση
Χημική οξείδωση/κατακρήμνιση υδρόθειου	Προσθήκη αλάτων σιδήρου Προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου Οζόνωση Προσθήκη υπερμαγγανικού καλίου
Μέθοδοι επεξεργασίας της αέριας φάσης	Χημικές Βιολογικές
Μηχανικές μέθοδοι	Πλύση δικτύου για απομάκρυνση των αποθέσεων Χρήση υδραυλικών μηχανισμών για την αποκόλληση του βιοφίλμ
Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής	Προσθήκη ατμοσφαιρικού οξυγόνου Προσθήκη καθαρού οξυγόνου Προσθήκη νιτρικού/νιτρώδους

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας

### Περιορισμός βιολογικής δραστηριότητας

Προσθήκη βάσεων

Χλωρίωση

### Χημική οξείδωση/κατακρήμνιση διαλυτού υδρόθειου

Προσθήκη αλάτων σιδήρου

Προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου

Οζόνωση

Προσθήκη υπερμαγγανικού καλίου

### Μέθοδοι επεξεργασίας της αέριας φάσης

Προσρόφησης σε βασικά ή οξειδωτικά διαλύματα,

Βιόφιλτρα (ο επιβαρυμένος αέρας διέρχεται μέσα από φίλτρο (οξειδία τρισθενούς σιδήρου) όπου έχει αναπτυχθεί βιοφίλμ,

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων



27/1/2023

Προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου



Προσθήκη υπερμαγγανικού καλίου

105

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων



27/1/2023

Μονάδα επεξεργασίας αέρα για απομάκρυνση υδρόθειου.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας

### Μηχανικές μέθοδοι

Η επανααιώρηση των στερεών αποθέσεων μέσω ελεγχόμενης πλύσης του δικτύου και η αποκόλληση του βιοφίλμ με χρήση μηχανικής σφαίρας αποτελούν τα κυριότερα παραδείγματα μηχανικών μεθόδων για τον έλεγχο των προβλημάτων σηπτικότητας.



Σφαίρες αποκόλλησης βιοφίλμ για δίκτυα αστικών λυμάτων.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας

### Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής

Οι μέθοδοι αυτές στοχεύουν στο να αυξήσουν το δυναμικό οξειδοαναγωγής του αστικού λύματος, ώστε να αποτρέψουν τις αναερόβιες συνθήκες και επομένως και τις συνέπειές τους.

Κατά την εφαρμογή τους, εισάγεται στο αστικό λύμα ένας εναλλακτικός ηλεκτρονιακός δέκτης (οξυγόνο για αερόβιες συνθήκες, νιτρικό ή νιτρώδες για ανοξικές συνθήκες) ώστε να παρεμποδιστεί η θειοαναγωγική δραστηριότητα και, συνεπώς, η παραγωγή υδρόθειου

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας

### Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής

#### Προσθήκη ατμοσφαιρικού ή καθαρού οξυγόνου

Με την προσθήκη οξυγόνου στην υγρή φάση, επιδιώκεται η διατήρηση των αερόβιων συνθηκών.

Δημιουργείται μία αερόβια ζώνη στο ανώτερο στρώμα του βιοφίλμ και παράλληλα περιορίζεται η αναερόβια φάση στο βαθύτερο στρώμα του βιοφίλμ.

Δρα οξειδωτικά όταν αναερόβιες συνθήκες συνεχίσουν να διατηρούνται σε βαθύτερα στρώματα του βιοφίλμ ή σε αποθέσεις.

Η **μικρή διαλυτότητά του στο νερό**, σε συνδυασμό με την **υψηλή βιολογική και χημική κατανάλωση του**, καθιστούν απαραίτητη την χρήση πολλαπλών δοσομετρικών σταθμών σε εκτεταμένα δίκτυα αστικών λυμάτων,

→ Αυξάνεται το επενδυτικό κόστος και οι απαιτήσεις παρακολούθησης και συντήρησης των εγκαταστάσεων.



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας

### Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής

Προσθήκη ατμοσφαιρικού ή καθαρού οξυγόνου (0,2-1,0 g/m<sup>3</sup>)

Το καθαρό οξυγόνο έχει 4-5 φορές μεγαλύτερη διαλυτότητα από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, οι δοσομετρικοί σταθμοί περιορίζονται αλλά απαιτούνται πρόσθετες πιο εξειδικευμένες εγκαταστάσεις αποθήκευσης του.

Ο ιδιαίτερα υψηλός ρυθμός κατανάλωσης του οξυγόνου στο βιοφίλμ έχει ως αποτέλεσμα να έχουν αναφερθεί περιπτώσεις στις οποίες συνεχίζουν να εμφανίζονται προβλήματα σηπτικότητας παρά την προσθήκη οξυγόνου, που αποδίδονται στην αδυναμία περιορισμού της αναερόβιας ζώνης του βιοφίλμ.

Επίσης, η προσθήκη οξυγόνου οδηγεί σε κατανάλωση του ευκόλως βιοαποικοδομήσιμου οργανικού υποστρώματος.

Η κατανάλωση αυτή έχει αρνητική επίδραση στην μετέπειτα τριτοβάθμια επεξεργασία του αστικού λύματος,

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας

### Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής

#### Προσθήκη νιτρικού

Με την προσθήκη νιτρικού εισάγεται στο δίκτυο αστικών λυμάτων ένας εναλλακτικός ηλεκτρονιακός δέκτης έναντι του θειικού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται αναγωγή νιτρικού (απονιτροποίηση) και να παρεμποδίζεται η αναερόβια αναπνοή με θειικό.

Η επικράτηση ανοξικών συνθηκών απαιτεί διαθεσιμότητα νιτρικού ή νιτρώδους κάτω από μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές συγκεντρώσεις διαλελυμένου οξυγόνου. ανοξικές συνθήκες μπορούν τεχνητά να επικρατήσουν με την προσθήκη νιτρικού.

Με την προσθήκη νιτρικού παρέχεται στα βακτήρια, που έχουν την ικανότητα να ανάγουν το νιτρικό, ένας εναλλακτικός ηλεκτρονιακός δέκτης έναντι του διαθέσιμου θειικού.

Έτσι παρεμποδίζεται η αναερόβια αναπνοή των θειοαναγωγικών βακτηρίων αφού, θερμοδυναμικά, η αναγωγή νιτρικού υπερτερεί έναντι της χρήσης του θειικού.

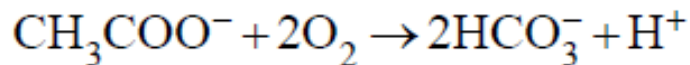
# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής  
Προσθήκη νιτρικού

Πίνακας 2.15 Η επίδραση του ηλεκτρονιακού δέκτη στην παραλαβή ενέργειας μέσω ετερότροφου μεταβολισμού.

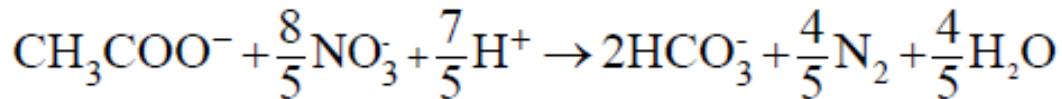
---

Αερόβια αναπνοή



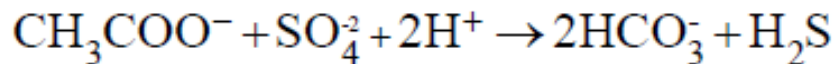
$$\Delta G_0' = -201,3 \text{ Kcal/αντίδραση}$$

Αναερόβια αναπνοή με νιτρικό



$$\Delta G_0' = -189,0 \text{ Kcal/αντίδραση}$$

Αναερόβια αναπνοή με θειικό



$$\Delta G_0' = -11,3 \text{ Kcal/αντίδραση}$$

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας

### Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής

#### Προσθήκη νιτρικού

**Αυξάνει το δυναμικό οξειδοαναγωγής** αποτρέποντας την επικράτηση των αναερόβιων συνθηκών (αποφυγή σχηματισμού οσμηρών προϊόντων αναερόβιων μετατροπών)

Λαμβάνει ταυτόχρονα χώρα, εφόσον υπάρχουν συγκεντρώσεις διαλυτού υδρόθειου, **αυτότροφη απονιτροποίηση**. Το νιτρικό ανάγεται σε μοριακό άζωτο, μέσω οξείδωσης του υδρόθειου σε θείο ή/και θειικό, από θειο-οξειδωτικά απονιτροποιητικά βακτήρια.

Με την πλήρη οξείδωση του διαθέσιμου υδρόθειου, το νιτρικό συνεχίζει να ανάγεται μέσω **ετερότροφης απονιτροποίησης**, όπου το οργανικό υπόστρωμα χρησιμοποιείται ως ηλεκτρονιακός δότης.

Ως την πλήρη αναγωγή του νιτρικού αναστέλλεται πλήρως η αναερόβια αναπνοή με θειικό και επομένως ο σχηματισμός υδρόθειου.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας - Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής

Η προσθήκη νιτρικού παρουσιάζεται ως μία από τις βέλτιστες μεθόδους για την αντιμετώπιση προβλημάτων σηπτικότητας σε δίκτυα αστικών λυμάτων σε σχέση με τις διαθέσιμες μεθόδους.

Μαζί με την προσθήκη οξυγόνου, είναι οι μόνες μέθοδοι που στοχεύουν στην πρόληψη εμφάνισης των αναερόβιων συνθηκών, του αιτίου των προβλημάτων σηπτικότητας.

Αντίθετα οι υπόλοιπες είτε δρουν με στόχο την οξείδωση ή κατακρήμνιση του θείου που έχει ήδη παραχθεί είτε επιδιώκουν να παρεμποδίσουν ανεξαιρέτως όλες τις βιολογικές μετατροπές με πιθανές αρνητικές συνέπειες στην βιολογική επεξεργασία στην Μ.Ε.Υ.Α..

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας - Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής

Και οι δύο μέθοδοι έχουν την δυνατότητα να αποτρέψουν τις αναερόβιες συνθήκες, εισάγοντας στο δίκτυο έναν εναλλακτικό ηλεκτρονιακό δέκτη που θερμοδυναμικά είναι προτιμητέος έναντι του θειικού αλλά και να οξειδώσουν το ολικό υδρόθειο, αν αυτό έχει παραχθεί ανάντη του σημείου προσθήκης του νιτρικού ή του οξυγόνου.

**Ωστόσο, το οξυγόνο χαρακτηρίζεται από μικρή διαλυτότητα στο νερό, σε αντίθεση με το νιτρικό, το οποίο ουσιαστικά έχει απεριόριστη διαλυτότητα.**

Η μικρή διαλυτότητα του οξυγόνου σε συνδυασμό με τον υψηλό ρυθμό κατανάλωσης του, οδηγεί στην απαίτηση πολλαπλών σταθμών εισαγωγής οξυγόνου.

Αντίθετα η προσθήκη νιτρικού απαιτεί έναν απλό δοσομετρικό σταθμό, χαμηλού κόστους, που συνήθως αποτελείται από μία δεξαμενή για την αποθήκευση του υδατικού διαλύματος νιτρικού και μία αντλία δοσομέτρησης

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας - Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής

Ο χαμηλότερος ρυθμός κατανάλωσης του νιτρικού, έναντι του οξυγόνου, αντιστοιχεί και σε μειωμένη κατανάλωση του οργανικού υποστρώματος, περιορίζοντας έτσι την μείωση του οργανικού υποστρώματος που απαιτείται στην περίπτωση τριτοβάθμιας επεξεργασίας στην μετέπειτα βιολογική επεξεργασία των αστικών λυμάτων στην Μ.Ε.Υ.Α..

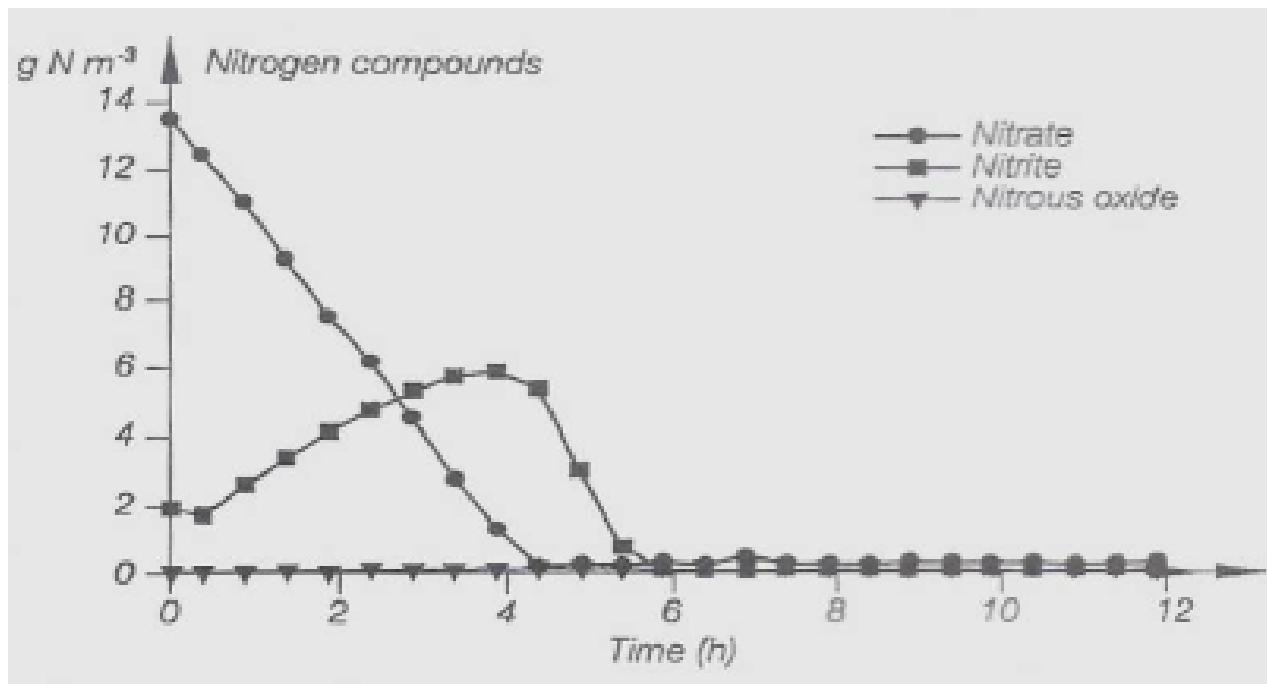
Επιπλέον, πλεονέκτημα της προσθήκης νιτρικού είναι η μη απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού για την λειτουργία του, σε αντίθεση με τις μεθόδους όπου χρησιμοποιούνται ισχυρά οξειδωτικά, απολυμαντικά μέσα ή μέθοδοι επεξεργασίας της αέριας φάσης.

Επίσης το νιτρικό δεν έχει τοξική δράση στο μικροβιακό πληθυσμό ενός συστήματος ενεργού ιλύος, σε περίπτωση υπέρμετρης δοσομέτρησης.

Οι συγκεντρώσεις νιτρικού δεν αναστέλλουν την βιολογική λειτουργία της μονάδας όπως στην περίπτωση υπέρμετρης δοσομέτρησης βάσεων, χλωρίου και λοιπών χημικών.

# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας - Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής



Εικόνα 2.20 Τυπικό προφίλ αναγωγής νιτρικού σε αστικό λύμα δικτύου στους  $20^{\circ}\text{C}$  (Abdul-Talib *et al.* 2002).



# Υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων

Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας - Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής



Εικόνα 3.17 Η δεξαμενή του διαλύματος νιτρικής αμμωνίας και η δοσομετρική αντλία.