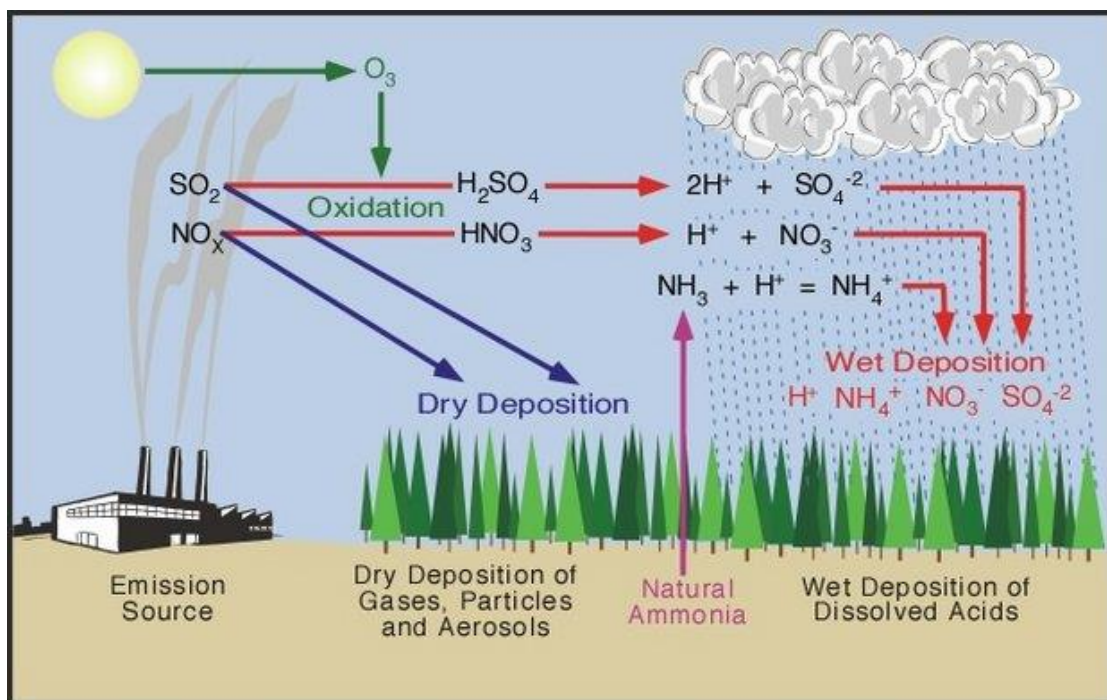


Μαθητές: Πρωτογεράκης Βασίλειος-Πέρος Ιωάννης-Γιαλίζης Νικόλαος-Σαζώνης Παύλος

## «Όξινη βροχή. Επιπτώσεις στα Χερσαία και Υδατικά Οικοσυστήματα. Μέτρα αντιμετώπισης»



Επιβλέπων Καθηγητής

Αθανασάκης Κωνσταντίνος

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ I.....</b>	<b>4</b>
▪ Εισαγωγή	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ II.....</b>	<b>5</b>
▪ Ορισμός της όξινης βροχής	
▪ Παράγοντες ρύπανσης	
▪ Σχηματισμός- Εμφάνιση	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ III.....</b>	<b>7</b>
▪ Επιπτώσεις όξινης βροχής	
▪ Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό	
▪ Επιπτώσεις στο περιβάλλον	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV.....</b>	<b>12</b>
▪ Προτεινόμενη Αντιμετώπιση	

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι**

### **Εισαγωγή**

Εδώ και μερικές δεκαετίες η βιομηχανική δραστηριότητα εξαπλώνεται ραγδαία σε όλο και περισσότερα σημεία στον πλανήτη. Καθημερινά απελευθερώνονται χιλιάδες τόνοι αποβλήτων σε αέρα, στεριά και θάλασσα, μολύνοντας το περιβάλλον και κατά συνέπεια την ίδια μας την ζωή. Αυτή είναι η εποχή, που εξαιτίας μας, αποφάσισε η φύση να μας κηρύξει έναν πόλεμο, χρησιμοποιώντας εναντίον μας τα ίδια μας τα όπλα προκαλώντας όλο και περισσότερα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Μια μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αποτελεί το φαινόμενο της «όξινης βροχής». Με τον όρο αυτό εννοούμε την απόθεση μέσω κατακρμνησμάτων (της βροχής, του χιονιού ή της υγρασίας), οξέων στην επιφάνεια του πλανήτη προκαλώντας έτσι φοβερές καταστροφές στο περιβάλλον.

Επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία λόγω αυτού του φαινομένου έχουν παρουσιαστεί στις περισσότερες βιομηχανικές χώρες, ενώ επεκτείνεται στις μέρες μας σε όλες τις αναπτυσσόμενες περιοχές. Οι επιπτώσεις που φέρει το φαινόμενο αυτό, εντοπίζονται στα δασικά, εδαφικά και υδάτινα συστήματα, καθώς καταγράφονται επιδράσεις και στην υγεία του ανθρώπινου σώματος. Επιπλέον, επιταχύνει το χρόνο φθοράς των οικοδομικών υλικών και χρωμάτων. και ιστορικής σημασίας πολιτιστικών μνημείων (γυψοποίηση). Τέλος, η δημιουργία πλεονάσματος θρεπτικού αζώτου, υπό μορφή αμμωνίας και οξειδίων του αζώτου, μπορεί να προκαλέσει ευτροφισμό και να διαταράξει την ισορροπία των υδάτινων συστημάτων και να οδηγήσει σε μείωση βιοποικιλότητας.

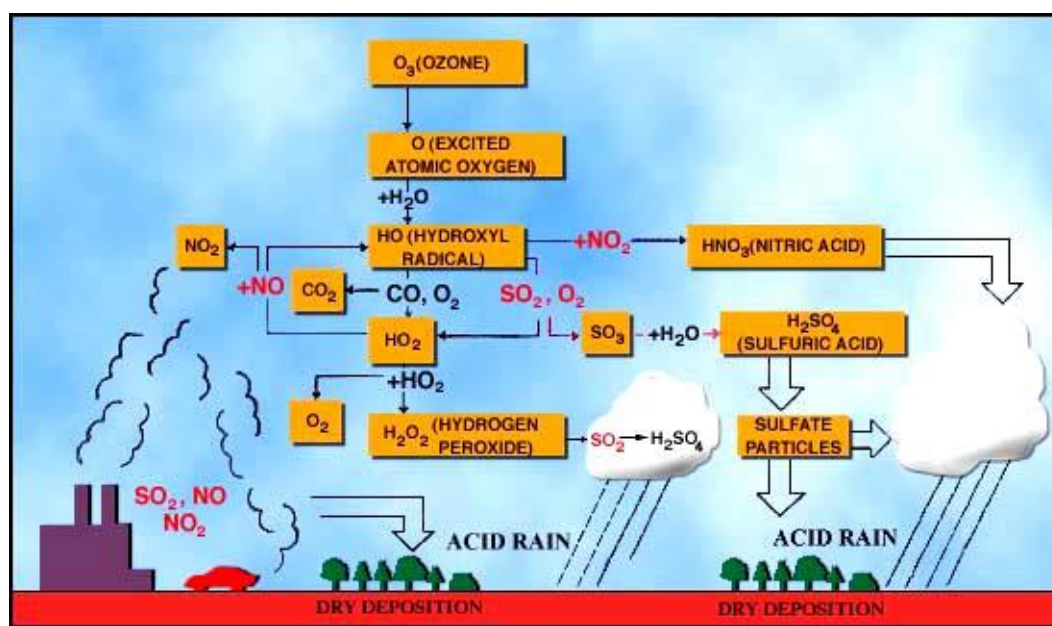
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

### Ορισμός της όξινης βροχής

Το φαινόμενο της όξινης βροχής οφείλεται στη ρύπανση της ατμόσφαιρας. Στο φαινόμενο αυτό ποσότητες κυρίως θειικού και νιτρικού οξέος φτάνουν στο έδαφος σε υγρή μορφή, μεταφερόμενες με τη βροχή, το χιόνι, την ομίχλη, το χαλάζι κ.ά, με καταστρεπτικές επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πανίδα, καθώς και σε κτίρια. Δεν πρέπει, ωστόσο, να τη συγχέουμε με τη μη μολυσμένη βροχή που πέφτει, η οποία είναι φυσικώς ελαφρώς όξινη.

Η όξινη βροχή είναι ένα μεγάλο οικολογικό πρόβλημα πάνω στη Γη. Λόγω της οξύνισης των λιμνών και των ποταμών πεθαίνουν οι υδρόβιοι οργανισμοί οι οποίοι δεν μπορούν να ζήσουν σε αυτό το όξινο περιβάλλον, καταστρέφει την χλωρίδα και μολύνει το πόσιμο νερό.

Ο όρος "όξινη βροχή" χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για να περιγράψει τη ρυπαίνουσα βροχή στο Μάντσεστερ της Βρετανίας στη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης τον 19ο αιώνα και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται, παρά το ότι θεωρείται περισσότερο δόκιμος ο όρος "όξινη κατακρήμνιση"



Εικόνα 1. Σχηματισμός όξινης βροχής

### Παράγοντες ρύπανσης

Το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και τα οξείδια του αζώτου, που προέρχονται από την αλόγιστη καύση διαφόρων αποθεμάτων, όπως είναι το πετρέλαιο και το κάρβουνο, αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες ρύπανσης του περιβάλλοντος. Πηγές απελευθέρωσης θεωρούνται οι καμινάδες βιομηχανιών και σπιτιών καθώς και οι εξατμίσεις των αυτοκινήτων, των αεροπλάνων και σε γενικές γραμμές όλων των μέσων μεταφοράς.

Όξινη βροχή. Επιπτώσεις στα Χερσαία και Υδατικά Οικοσυστήματα. Μέτρα αντιμετώπισης

Για την παραγωγή του διοξειδίου του θείου υπεύθυνος είναι ο άνθρωπος, καθώς χρησιμοποιεί καύσιμα τα οποία με την καύση τους απελευθερώνουν το θείο (S) που περιέχουν. Ένα, παραδείγματος χάρι τέτοιο καύσιμο, είναι η βενζίνη που χρησιμοποιούμε στα αυτοκίνητά μας. Το διοξείδιο του θείου μετατρέπεται στην ατμόσφαιρα σε θειικό οξύ ( $H_2SO_4$ ) το οποίο καταλήγει στο έδαφος χρησιμοποιώντας ως μέσω την βροχή, προκαλώντας έτσι φοβερές καταστροφές.

Βασικά θύματα του  $SO_2$  είναι τα φυτά, τα οποία "καίγονται" και καταστρέφονται. Επιπλέον, προκαλεί σημαντική καταστροφή στα μνημεία. Αντιλαμβανόμεστε, λοιπόν, πόσο σημαντικό είναι αυτού του είδους ρύπανσης για μια χώρα σαν την Ελλάδα, όπου υπάρχουν χιλιάδες αρχαίων μνημείων.

### **Σχηματισμός- Εμφάνιση**

Οι κυριότερες αιτίες του φαινομένου της όξινης βροχής είναι κυρίως οι ενώσεις του θείου ( $SO_2$ ) και του αζώτου ( $NO_x$ ), καθώς και των προϊόντων οξειδώσεώς τους. Ταυτόχρονα βέβαια, υπάρχουν και άλλοι αέριοι ρύποι που συμμετέχουν σε μικρότερο βαθμό σε αυτό το επικίνδυνο φαινόμενο. Πιο συγκεκριμένα, οι ουσίες στις οποίες οφείλεται η απόθεση οξέων είναι το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου.

Το διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ), που εκλύεται από βιομηχανίες που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα. Το  $SO_2$  είναι χημικά πολύ ενεργό γιατί στην ατμόσφαιρα σχηματίζει  $SO_3$  που είναι διαλυόμενο στη βροχή και τους ποταμούς και μετατρέπεται σε  $H_2SO_4$  ή σε όξινα θειικά άλατα, όταν η εξουδετέρωση του οξέος δεν είναι πλήρης. Τα προϊόντα αυτά μπορούν να υπάρχουν στην ατμόσφαιρα ως σωματίδια ή σταγονίδια και να καταλήξουν στη ξηρά ή στις λίμνες σαν όξινη βροχή, η οποία μειώνει το pH των νερών των λιμνών και των ποταμών .

Επιπλέον, στη σύσταση της όξινης βροχής πέρα από τα θειικά οξέα, συμμετέχουν και τα νιτρικά οξέα, που δημιουργούνται από αποβαλλόμενα στην ατμόσφαιρα οξείδια του αζώτου ,τα οποία αποπλυνόμενα με τις βροχοπτώσεις και δημιουργούν και αυτά όξινη βροχή.

Βλάβες προκαλεί στη χλωρίδα, στην πανίδα, στην υγεία στο έδαφος και στη σύσταση των επιφανειακών και υπογείων υδάτων . Πέρα από τις σοβαρές υγειονομικές, οικολογικές και οικονομικές επιπτώσεις της, η όξινη βροχή επιδράει στα δομικά υλικά και στα μάρμαρα, προκαλώντας έτσι σοβαρότατη φθορά στο μνημειακό και πολιτιστικό περιβάλλον . Έτσι λοιπόν, το  $CaCO_3$  ως συστατικό των μαρμάρων προσβάλλεται από το  $SO_2$  και το βρόχινο νερό και μετατρέπεται σε γύψο.

Ο σχηματιζόμενος γύψος στην επιφάνεια του μαρμάρου απομακρύνεται με τη βροχή , ενώ μία νέα επιφάνεια υγιούς μαρμάρου δέχεται με τη σειρά της νέα επίδραση από τα καυσαέρια που περιέχουν  $SO_2$  καθώς και τα οξείδια του αζώτου ( $NO_x$ ), που περιέχονται κυρίως στα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Οι ενώσεις αυτές, αντιδρούν με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και το οξυγόνο σχηματίζοντας θειικό ( $H_2SO_4$ ) και νιτρικό οξύ ( $HNO_3$ ) αντίστοιχα. Στη συνέχεια, διαλύονται στο νερό της βροχής ή στα σταγονίδια της ομίχλης, προσβάλλοντας το έδαφος, το νερό, τα φυτά, τα ζώα και τα κτίσματα. Με τη βοήθεια των ανέμων, το  $SO_2$  και τα  $NO_x$  μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις και να δημιουργήσουν όξινη βροχή χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο εκπομπής τους.

Όξινη βροχή. Επιπτώσεις στα Χερσαία και Υδατικά Οικοσυστήματα. Μέτρα αντιμετώπισης

Το νερό της βροχής φυσιολογικά έχει pH 5,6 έως 6,5. Με τον όρο pH εννοούμε το μέγεθος που δηλώνει αν ένα διάλυμα είναι ουδέτερο (pH=7), όξινο (pH μικρότερο του 7) ή αλκαλικό (pH μεγαλύτερο του 7). Σε περίπτωση όξινης βροχής το pH κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 4 και 4,6, ενώ κατά καιρούς μετρούνται και πιο ακραίες τιμές του pH (έως και 2,4).

Σύμφωνα με έρευνες, κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1980, αποδείχτηκε ότι η ομίχλη, λόγω των πολλών μικρών σταγονιδίων από τα οποία αποτελείται, προσφέρει τελικά μεγαλύτερη επιφάνεια προσρόφησης στα SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> και γι' αυτό περιέχει συνήθως πολλαπλάσιες ποσότητες θειικού και νιτρικού οξέος από ότι άλλες μορφές όξινης κατακρήμνισης.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ**

#### **Επιπτώσεις όξινης βροχής**

Η όξινη βροχή είναι ένα φαινόμενο, το οποίο προκαλεί πολλά προβλήματα στον άνθρωπο αλλά και στο περιβάλλον. Κάποια από αυτά είναι η όξυνση στα ύδατα όπως σε λίμνες και ποτάμια, η καταστροφή δέντρων σε μεγάλα ύψη (π. χ. κόκκινα έλατα, πάνω τα 650 μέτρα) και πολλών ευαίσθητων εδαφών στα δάση και η επιτάχυνση της φθοράς των οικοδομικών υλικών και χρωμάτων. Ακόμη μπορεί να αποβεί μοιραία για τον άνθρωπο, ο οποίος τρέφεται ή πίνει νερό από μολυσμένα ποτάμια και λίμνες.

Το πρόβλημα της όξινης βροχής άρχισε να γίνεται ιδιαίτερα έντονο από τη δεκαετία του 1970 και μετά. Η επίδρασή της όξινης βροχής είναι ιδιαίτερα καταστρεπτική στα φυτά και ειδικότερα στα δέντρα, που λόγω της μεγάλης

διάρκειας ζωής τους, εκτίθενται μακροχρόνια σε αυτήν. Τα φύλλα ή οι βελόνες των δέντρων κιτρινίζουν και πέφτουν, ο μεταβολισμός τους διαταράσσεται και το ριζικό σύστημα υφίσταται βλάβες, με αποτέλεσμα να προσλαμβάνονται μικρότερες ποσότητες θρεπτικών αλάτων και νερού. Επιπλέον, το ίδιο το έδαφος υποβαθμίζεται, γιατί τα οξέα που φτάνουν σ' αυτό σε μεγάλη ποσότητα καταστρέφουν τους ωφέλιμους μικροοργανισμούς, διαλύουν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών αλάτων που κατόπιν απομακρύνονται με το νερό της βροχής και απελευθερώνουν τοξικά για τα φυτά βάρεα μέταλλα (κυρίως ιόντα αργιλίου και μαγγανίου).

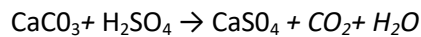
Συνέπεια όλων αυτών είναι η εξασθένηση των δέντρων, τα οποία γίνονται πλέον ευάλωτα σε βακτήρια, ασθένειες κ.ά και τελικά πεθαίνουν. Σύμφωνα με έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, το 1991 το 22% των δασών στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είχε προσβληθεί από την όξινη βροχή, ενώ αν υπολογιστούν και οι ανατολικοευρωπαϊκές χώρες, το ποσοστό αυξάνεται σε 30%. Οι χώρες, στις οποίες διαπιστώθηκαν οι σοβαρότερες επιπτώσεις είναι η Πολωνία, η Βρετανία και η Τσεχία. Παράλληλα, έντονο είναι το πρόβλημα και σε δάση των βορειοανατολικών Η.Π. Α. και του ανατολικού Καναδά.

Οι επιδράσεις της όξινης βροχής είναι καταστρεπτικές και στα επιφανειακά νερά, κυρίως σε λίμνες και στα μικρά ποτάμια, καθώς η αυξημένη συγκέντρωση οξέων καταστρέφει το πλαγκτόν, την υδάτινη χλωρίδα και τα αβγά αμφιβίων και ψαριών. Κατά καιρούς η όξινη βροχή έχει θεωρηθεί υπεύθυνη και για μαζικούς θανάτους ψαριών, όπως συνέβη σε σκανδιναβικές λίμνες στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και σε μικρά ποτάμια της

Όξινη βροχή. Επιπτώσεις στα Χερσαία και Υδατικά Οικοσυστήματα. Μέτρα αντιμετώπισης

Γερμανίας στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Επίσης, ιδιαίτερα αυξημένη ποσότητα όξινης βροχής δέχονται λίμνες και ποταμάκια κατά την άνοιξη με την τήξη των πάγων.

Η όξινη βροχή έχει επιπτώσεις ακόμη και στα κτίρια. Μπορεί να καταστρέψει τα μνημεία και στα αγάλματα κατασκευασμένα από ορυκτό υλικό, που είναι συνήθως ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ), όπως ασβεστόλιθος, μάρμαρο κ. ά. Το θειικό οξύ που περιέχεται στην όξινη βροχή ενώνεται με το ασβέστιο και δίνει γύψο ( $\text{CaSO}_4$ ), σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



Έτσι λοιπόν, το ανθρακικό ασβέστιο μετατρέπεται σε γύψο, ο οποίος στη συνέχεια ενώνεται με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας ή το νερό της βροχής, φουσκώνει και σκάει, με αποτέλεσμα τη διάβρωση ή την αποσάθρωση του υλικού.

Το θειικό οξύ επιδρά επίσης και στις εξωτερικές υαλογραφίες των κτιρίων, διότι αποχρωματίζει και θαμπώνει το γυαλί. Καταστροφές μνημείων εξαιτίας της όξινης βροχής έχουν σημειωθεί σε αρκετές χώρες σε όλο τον κόσμο.

Τέλος, για την αντιμετώπιση της όξινης βροχής, καθίσταται αναγκαίος ο περιορισμός του διοξειδίου του θείου και των οξειδίων του αζώτου. Τα σημαντικότερα μέτρα προς την κατεύθυνση αυτή περιλαμβάνουν την αποθείωση των καυσαερίων των εργοστασίων και την εφαρμογή καταλύτη καυσαερίων στα αυτοκίνητα.

### **Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό**

Όταν ο άνθρωπος εκτεθεί σε οξείδια  $\text{SO}_2$  και  $\text{NO}_x$ , τότε δημιουργούνται σοβαρά δερματικά, οφθαλμολογικά και αναπνευστικά προβλήματα.

Η όξινη βροχή, έχει την ίδια αίσθηση και την ίδια γεύση με την κανονική βροχή. Οι βλάβες που μπορεί να προκαλέσει όμως στον άνθρωπο δεν είναι τόσο άμεσες. Το να περπατάει κάποιος στην όξινη βροχή ή ακόμη και να κολυμπάει σε κάποια όξινη λίμνη, δεν είναι παραπάνω επικίνδυνο από το να περπατάει ή να κολυμπάει μέσα σε καθαρό νερό. Ωστόσο, οι ρύποι που προκαλούν την όξινη βροχή (διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου), μπορούν ακόμη να βλάψουν την υγεία του ανθρώπου.

Τα αέρια αυτά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αντιδρούν στην ατμόσφαιρα σχηματίζοντας διάφορα μόρια από ενώσεις αζώτου και θείου και μπορούν να ταξιδέψουν σε μεγάλες αποστάσεις με την βοήθεια ανέμων, μέσα σε κατοικημένες περιοχές όπου καθένας μπορεί να τα εισπνεύσει. Οι καθαρές ενώσεις μπορούν ακόμη να διεισδύσουν και μέσα σε κλειστούς χώρους. Πολλές επιστημονικές έρευνες έχουν αναγνωρίσει μια σχέση μεταξύ υψηλού επιπέδου καθαρών ενώσεων και αυξημένης παρουσίας ασθενειών και πρόωρων θανάτων από καρδιακές και πνευμονικές δυσλειτουργίες, όπως το άσθμα και η βρογχίτιδα. Έρευνες υποστηρίζουν ότι η όξινη βροχή έχει άμεση σχέση με τα αναπνευστικά προβλήματα στις ευαίσθητες ηλικίες, όπως τα παιδιά και τα άτομα της τρίτης ηλικίας.

Όξινη βροχή. Επιπτώσεις στα Χερσαία και Υδατικά Οικοσυστήματα. Μέτρα αντιμετώπισης

### **Επιπτώσεις στο περιβάλλον**

#### *α) Στα υδατικά οικοσυστήματα*

Τα νερά στα ποτάμια και στις λίμνες, εμφανίζουν υψηλή οξύτητα λόγω της όξινης βροχής. Όσο το pH του νερού μειώνεται, τόσο μειώνεται η πιθανότητα για κατάλληλες συνθήκες επιβίωσης των υδρόβιων οργανισμών, που συνεπάγεται και την κατακόρυφη μείωση αριθμού τους. Εάν ο πληθυσμός ενός είδους μειωθεί σαν αποτέλεσμα της όξινης βροχής ή της οξύτητας του νερού, τότε το οικοσύστημα ολόκληρης της θάλασσας επηρεάζεται λόγω της σχέσης κυνηγού - θηράματος της τροφικής αλυσίδας. Στην αρχή μπορεί τα αποτελέσματα να είναι ανεπαίσθητα, αλλά όσο το pH του θαλάσσιου νερού μειώνεται έχουμε τα παρακάτω αρνητικές συνέπειες:

Στην τιμή pH 5.00, μεγάλες αλλαγές γίνονται στην δομή του πληθυσμού του πλαγκτόν με επικράτηση των λιγότερο χρησιμών μορφών. Σε pH μικρότερο του 6, δεν μπορούν να επιβιώσουν οι οστρακοφόροι οργανισμοί και τα μικρά ψάρια. Σε pH μικρότερο του 5, δεν επιβιώνουν μεγάλα ψάρια όπως είναι ο σολομός και η πέστροφα. Σε pH μικρότερο του 4 δεν μπορεί πλέον να επιβιώσει κανένας υδρόβιος οργανισμός.

Οι οικολογικές επιδράσεις της όξινης βροχής μπορούν να φανούν καθαρά σε οικοσυστήματα που είναι εξαρτημένα από το νερό, όπως ποτάμια, λίμνες και βάλτους. Αρκετές από τις λίμνες και τα ποτάμια έχουν pH μεταξύ 6 και 8, αν και μερικές λίμνες είναι όξινες από τη φύση τους, ακόμη και χωρίς το φαινόμενο της όξινης βροχής. Η όξινη βροχή αρχικά επηρεάζει τις ευαίσθητες περιοχές του νερού, που βρίσκονται σε μέρη των οποίων το έδαφος έχει περιορισμένη ικανότητα να εξουδετερώνει τις όξινες ενώσεις (ονομάζεται «χωρητικότητα αφομοίωσης»). Οι λίμνες και τα ποτάμια γίνονται όξινα στην περίπτωση που το νερό και το έδαφος που το περιβάλλουν δεν μπορεί να αφομοιώσει αρκετά την όξινη βροχή ώστε να την εξουδετερώσει.

Καθώς το νερό της όξινης βροχής ρέει μέσα στο έδαφος, στις λίμνες και τα ποτάμια μια περιοχή, απελευθερώνεται άργιλος. Σε περιοχές όπου η χωρητικότητα αφομοίωσης είναι χαμηλή, η όξινη βροχή απελευθερώνει άργιλο από το έδαφος μέσα στις λίμνες και τα ποτάμια. Ο άργιλος είναι αρκετά τοξικός για πολλά είδη υδρόβιων οργανισμών.

Έτσι, καθώς το pH σε μια λίμνη μειώνεται, οι ποσότητες του αργίλου αυξάνονται. Το χαμηλό pH μαζί μετά αυξημένα επίπεδα αργίλου είναι πολύ τοξικά για τα ψάρια. Παράλληλα, μπορεί να μην σκοτώσει απευθείας κάποια είδη ψαριών, όμως οδηγούν σε μικρότερο μέγεθος σώματος και μειωμένο βάρος, κάνοντας τα έτσι λιγότερο ικανά στο να ανταγωνιστούν για την τροφή και την παρουσία τους σε ένα μέρος. Κάποια από τα είδη των φυτών και ζώων έχουν την ικανότητα να επιβιώνουν σε όξινες συνθήκες νερού. Όμως, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα και είναι σχεδόν βέβαιο πως θα εξαφανιστούν καθώς το pH όλο και μειώνεται. Σε pH 5, τα περισσότερα αυγά των ψαριών δεν μπορούν να εκκολαφτούν. Σε ακόμη χαμηλότερα επίπεδα pH, κάποια ενήλικα ψάρια δεν αντέχουν και πεθαίνουν. Μερικές όξινες λίμνες δεν έχουν καθόλου ψάρια.

Η επίδραση του αζώτου στην επιφάνεια του νερού είναι επίσης κρίσιμη. Επιπλέον, η αρνητική επίδραση της απόθεσης του ατμοσφαιρικού αζώτου σε εκβολές ποταμών και παράκτιες περιοχές είναι επίσης σημαντική.

Όξινη βροχή. Επιπτώσεις στα Χερσαία και Υδατικά Οικοσυστήματα. Μέτρα αντιμετώπισης



Οι επιστήμονες υπολόγισαν ότι το 10-45% του παραγόμενου αζώτου από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, μεταφέρεται και αποτίθεται μέσω της ατμόσφαιρας στις εκβολές και τα παράκτια οικοσυστήματα. Το άζωτο είναι ένας σημαντικός παράγοντας που προκαλεί ευτροφισμό (εξάντληση οξυγόνου) στις φυσικές δεξαμενές νερού.

Τα συμπτώματα του ευτροφισμού περιλαμβάνουν την άνθιση των θαλάσσιων φυκιών (τοξικά και μη-τοξικά), μείωση στην υγεία των ψαριών και οστρακόδερμων, μείωση του θαλάσσιας χλωρίδας και των κοραλλιογενών υφάλων, και αλλαγές στις τροφικές αλλαγές. Όταν η βροχή πέφτει, αποθέτει ενώσεις αζώτου ( $\text{NO}_x$  και  $\text{NH}_3$ ) στο έδαφος, βλάπτοντας τις χερσαίες πηγές οικοσυστημάτων. Όσο η ποσότητα αζώτου στο έδαφος αυξάνεται, τόσο τα είδη των φυτών κι ο τρόπος που μεγαλώνουν τα δέντρα αλλάζει.

### *β) Επίδραση στα δάση και στις καλλιέργειες*

Οι ερευνητές πλέον, γνωρίζουν ότι η όξινη βροχή προκαλεί μείωση της ταχύτητας της ανάπτυξης, τραυματισμό και θάνατο των δασών. Αυτό συμβαίνει διότι η όξινη βροχή προκαλεί βλάβη στα στομάτια των φύλλων και φυλλόπτωση, με αποτέλεσμα η ζωτικότητα των δένδρων να ελαττώνεται αισθητά. Ελαττώνεται επίσης η ανάπτυξη τους και τελικά έχουμε νέκρωση των δένδρων.

Ακόμη η ρύπανση του εδάφους προκαλεί έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους και σε συνδυασμό με ξηρές χρονιές, φυλλόπτωση των δένδρων. Μάλιστα βρέθηκε ότι σε χρονιές με μεγάλη ρύπανση και σε συνθήκες έλλειψης νερού, τα δένδρα, κυρίως το κατώτερο τμήμα του δένδρου, παύουν να δημιουργούν ετήσιους δακτυλίους.

Από την όξινη βροχή επηρεάζονται τόσο η βλάστηση όσο και οι καρποί της. Καταστρέφεται το προστατευτικό περίβλημα των φύλλων καθώς και το σύστημα αναπαραγωγής του. Παράλληλα, συμβάλλει στην απομάκρυνση των θρεπτικών στοιχείων που χρειάζονται τα φυτά. Οι ενώσεις του θείου και του αζώτου που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τις εκπομπές διοξειδίου του θείου και νιτρικών οξέων προκαλούν μείωση της ορατότητας.

Υπάρχουν διάφορες θεωρίες σχετικά με το πώς προκαλείται η καταστροφή των φυτών. Η θεωρία των βλαστών υποστηρίζει ότι αρχικά τα φύλλα των φυτών υφίστανται βλάβες από το όζον και ότι οι βλάβες αυτές επιταχύνουν την απόπλυση θρεπτικών συστατικών. Η απόπλυση θρεπτικών συστατικών από τα φύλλα ενισχύεται από την οξύτητα της βροχής. Τα οξείδια του αζώτου παίζουν διπλό καταστροφικό ρόλο συμβάλλοντας στο σχηματισμό του όζοντος και συμμετέχοντας στην ελάττωση του pH της βροχής.

Σύμφωνα με μια άλλη θεωρία, τη θεωρία των ριζών, το λεπτό ριζικό σύστημα καταστρέφεται από το χαμηλό pH του νερού, το οποίο διαποτίζει το χώμα. Έτσι, η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών δε γίνεται σε βαθμό ικανοποιητικό. Κυρίως υπεύθυνα για αυτό είναι τα θειικά, ενώ σημαντική θεωρείται κι η συμβολή των νιτρικών.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, είναι ο ρόλος του αργιλίου. Έχει επισημανθεί ότι η απομάκρυνση ασβεστίου και μαγνησίου από το έδαφος, με ελάττωση του pH γύρω στο 4.0, μπορεί να προκαλέσει σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου Al και Mn. Τα ιόντα προκαλούν βλάβη στο λεπτό ριζικό σύστημα, με αποτέλεσμα τη νέκρωση του δέντρου. Παρόλα αυτά υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες υγιή δέντρα αναπτύσσονται σε συγκεντρώσεις  $\text{Al} > 2 \text{ppm}$ , ενώ αντίθετα βλάβες μπορούν να εμφανιστούν ακόμα και σε ασβεστούχα εδάφη.

Όξινη βροχή. Επιπτώσεις στα Χερσαία και Υδατικά Οικοσυστήματα. Μέτρα αντιμετώπισης

Μια ευρύτερη θεώρηση του φαινομένου της φθοράς των δασών αποτελεί η θεωρία της πολλαπλής έντασης. Σύμφωνα με αυτή, η συνολική επίδραση των αέριων ρύπων κατά τις προηγούμενες δεκαετίες και ο συνδυασμός με διάφορα άλλα φαινόμενα, οδηγεί σε σημαντική ελάττωση της παραγωγής των υδατανθράκων στα δασικά δέντρα. Τα φυτά χάνουν το σφρίγος τους, οι ρίζες κι οι βλαστοί δεν αναπτύσσονται κανονικά και παρατηρείται μια αυξημένη προδιάθεση για προσβολή από έντομα και μύκητες, καθώς και για καταστροφή από παγετό ή ξηρασία.

Εδώ και αρκετά χρόνια, επιστήμονες, δασολόγοι και άλλοι διαφορετικών κλάδων, έχουν παρατηρήσει πως η ανάπτυξη κάποιων δασών γίνεται με μειωμένο ρυθμό, χωρίς να γνωρίζουν ποια είναι η αιτία. Τα δέντρα σ' αυτά τα δάση δεν μεγαλώνουν τόσο γρήγορα όσο στην υγιή τους κατάσταση. Τα φύλλα και τα αγκάθια παίρνουν χρώμα καφέ και στη συνέχεια πέφτουν, ενώ κανονικά θα έπρεπε να είναι πράσινα και υγιή. Σε μερικές περιπτώσεις, συγκεκριμένα δέντρα μέσα σε ολόκληρες περιοχές του δάσους, απλά πεθαίνουν χωρίς καμία άλλη προφανή αιτία.

Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι δεν είναι μόνο η όξινη βροχή που τα προκαλεί αυτά. Η μόλυνση του αέρα, τα έντομα, οι ασθένειες, η ξηρασία ή ο πολύ κρύος καιρός μπορούν επίσης να βλάψουν τα δέντρα και τα φυτά. Στην πραγματικότητα, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι επιπτώσεις της όξινης βροχής στα δέντρα συμβαίνουν λόγω της συνδυασμένης δράσης της όξινης βροχής μαζί με τους υπόλοιπους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Μετά από μια μακρόχρονη συλλογή στοιχείων για την χημεία και βιολογία των δασών, οι ερευνητές καταλαβαίνουν πως η όξινη βροχή επιδρά στο έδαφος του δάσους, στα δέντρα και στα άλλα φυτά.

#### *γ) Επιπτώσεις στα υλικά*

Η όξινη βροχή και ξηρή απόθεση των όξινων σωματιδίων φέρουν σοβαρές επιπτώσεις και σε μάρμαρα, ασβεστόλιθους και άλλα πετρώματα, καθώς προκαλούν φθορές στα μέταλλα (όπως τον μπρούντζο) και ελάττωση της αξίας των χρωμάτων και πετρωμάτων (όπως το μάρμαρο και τον ασβεστόλιθο). Αυτό με την σειρά του επιφέρει μείωση της αξίας των κτισμάτων, των γεφυρών, των πολιτισμικών αντικειμένων (όπως αγάλματα, μνημεία και τάφοι) και των αυτοκινήτων.

Η ξηρή απόθεση των όξινων ενώσεων μπορεί επίσης να λερώσει τα κτήρια, οδηγώντας σε αυξημένο κόστος συντήρησης. Για να μειωθεί η ζημιά στο χρώμα των αυτοκινήτων, κάποιοι κατασκευαστές χρησιμοποιούν χρώματα τα οποία είναι ανθεκτικά στο όξινο περιβάλλον, αυξάνοντας λίγο το μέσο κόστος κατασκευής.

Ο Παρθενώνας επιβίωσε περισσότερο από 2000 χρόνια. Υπέστη σεισμούς και βομβαρδισμούς. Από πάνω του πέρασαν κατακτητές και ο άνεμος και η βροχή τον χτύπησαν επανειλημμένα. Δεν υπέστη όμως διάβρωση ούτε μεγάλες κακώσεις. Μέσα στις τελευταίες δεκαετίες έγιναν πολύ περισσότερα από ό,τι σε δύο χιλιετίες. Η όξινη βροχή του αλλοίωσε τα μάρμαρα. Οι Καρυάτιδες ήδη είναι στο μουσείο για να προστατευτούν. Σε μερικά χρόνια, εκτιμάται, ο Παρθενώνας θα έχει γίνει άμορφος και τα μάρμαρά του θα γίνονται σκόνη.

Όξινη βροχή. Επιπτώσεις στα Χερσαία και Υδατικά Οικοσυστήματα. Μέτρα αντιμετώπισης

Αρκετά μέταλλα, όπως ο σίδηρος και ο χάλυβας, διαβρώνονται από τα οξέα. Μεταλλικά μέρη από τα αυτοκίνητα ή από τις γραμμές των τρένων καταστρέφονται. Επίσης τα ανθρακικά άλατα διασπώνται από τα οξέα ώστε τα πετρώματα και τα δομικά συστατικά να καταστρέφονται.



**Εικόνα 2. Η εναπόθεση οξέων επιταχύνει την διάβρωση των μνημείων.**

Τα μαρμάρινα μνημεία και τα αγάλματα αποτελούνται από ανθρακικά άλατα ( $\text{CaCO}_3$ ), τα οποία διασπώνται από τα οξέα(εικ.2). Αρχαιολογικοί θησαυροί ανεκτίμητης ιστορικής και πολιτισμικής αξίας, όπως η *Ακρόπολη*, καταστρέφονται από την όξινη βροχή. Το θειικό οξύ αντιδρά με το ανθρακικό άλας και παράγεται ένα άλλο άλας αρκετά εύθραυστο, ο γύψος. Το φαινόμενο ονομάζεται γυψοποίηση του μαρμάρου και η αντίδραση είναι η εξής:



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV**

### **Προτεινόμενη Αντιμετώπιση**

Η όξινη βροχή είναι ένα μετεωρολογικό φαινόμενο με σημαντικές οικολογικές επιπτώσεις. Είναι ένα σχετικά καινούριο φαινόμενο το οποίο συνδέεται με την ρύπανση της ατμόσφαιρας. Είναι η επιστροφή των ρύπων από την ατμόσφαιρα στη γη με μορφή κατακρμνήσματος.

Το φαινόμενο έχει πάρει διεθνείς διαστάσεις επειδή η ατμοσφαιρική ρύπανση και η όξινη βροχή δε γνωρίζουν σύνορα και οι μετεωρολογικές συνθήκες διευκολύνουν τη μετακίνηση των ρύπων από τη μια περιοχή στην άλλη .

Για την επίλυση του προβλήματος θα πρέπει να περιοριστούν οι εκπομπές των αερίων που την δημιουργούν καθώς και γενικότερα να μειωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση για περίπου 100 χρόνια τουλάχιστον. Το πρόβλημα αυτό θα απασχολεί τους επιστήμονες και όχι μόνο και για τις επόμενες δεκαετίες.

Για καλύτερη κατανόηση των αιτιών για τις αλλαγές που γίνονται στο περιβάλλον, επιστήμονες από όλα τα κράτη που εμφανίζουν παρόμοια προβλήματα, όπως και ακαδημαϊκοί ερευνητές, μελετούν τις διαδικασίες οξύνισης. Δηλαδή, πραγματοποιούν δειγματοληψίες του αέρα και του νερού και μετράνε διάφορα χαρακτηριστικά τους, όπως το pH και η χημική τους σύσταση. Στη συνέχεια εξετάζουν τα αποτελέσματα που έχουν σε υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο, όπως το μάρμαρο και ο μπρούντζος. Τελικά, οι επιστήμονες εργάζονται για την κατανόηση των επιπτώσεων του διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) - τους ρύπους που προκαλούν απόθεση οξέων και μορίων - στη ανθρώπινη υγεία.

Όξινη βροχή. Επιπτώσεις στα Χερσαία και Υδατικά Οικοσυστήματα. Μέτρα αντιμετώπισης

Για την επίλυση του προβλήματος της όξινης βροχής, οι άνθρωποι πρέπει να κατανοήσουν με ποιον τρόπο αυτή καταστρέφει το περιβάλλον. Θα πρέπει επίσης να καταλάβουν τι αλλαγές πρέπει να κάνουν στις εστίες μόλυνσης που προκαλούν το πρόβλημα. Η απάντηση σε αυτά τα ερωτήματα θα βοηθήσει να παρθούν καλύτερες αποφάσεις σχετικά με το πώς να ελέγχουν την μόλυνση του αέρα με αποτέλεσμα να μειώσουν, ή ακόμη και να εξαλείψουν την όξινη βροχή. Υπάρχουν αρκετοί εναλλακτικοί τρόποι αντιμετώπισης των επιπτώσεων της όξινης βροχής. Έτσι, πρέπει να ακολουθηθεί μια σειρά από βήματα, που τελικά θα τους οδηγήσουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ο περισσότερος ηλεκτρισμός που δίνει ενέργεια στις μέρες μας προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (όπως ο άνθρακας) το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Όπως έχουμε αναφέρει οι όξινες αποθέσεις προκαλούνται από δυο ρύπους που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ή εκπέμπονται όταν καίγονται τα καύσιμα: το διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ) και τα οξειδία του αζώτου ( $NO_x$ ).

Το θείο βρίσκεται μέσα στον άνθρακα σαν ακαθαρσία και αντιδρά με τον αέρα όταν ο άνθρακας καίγεται, σχηματίζοντας διοξείδιο του θείου. Αντίθετα, οξειδία του αζώτου σχηματίζονται κατά την καύση οποιουδήποτε ορυκτού καυσίμου.

Υπάρχουν πολλές επιλογές για την μείωση της εκπομπής του διοξειδίου του θείου, όπως χρησιμοποιώντας άνθρακα που περιέχει λιγότερο θείο, ξεπλένοντας τον άνθρακα και κάνοντας χρήση φίλτρων τα οποία απομακρύνουν χημικά το διοξείδιο του θείου από τα αέρια που βγαίνουν από τις καπνοδόχους των εργοστασίων. Επίσης, τα βιομηχανικά συγκροτήματα θα μπορούσαν να αλλάξουν καύσιμο, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα, φυσικό αέριο, που δημιουργεί πολύ λιγότερο διοξείδιο του θείου, αντί για άνθρακα.

Κάποιες επιπλέον προτάσεις θα μπορούσαν να φέρουν καλύτερη απόδοση στην μείωση κάποιων άλλων ρύπων, όπως ο υδράργυρος και το διοξείδιο του άνθρακα. Η κατανόηση αυτών των προτάσεων είναι σημαντική για μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μειωθεί η μόλυνση, οι οποίες θα είναι τόσο οικονομικές όσο και αποτελεσματικές. Μια άλλη λύση είναι η βιομηχανίες να χρησιμοποιήσουν μηχανήματα, τα οποία εργάζονται με την καύση ορυκτών καυσίμων. Κάθε μια από αυτές τις λύσεις έχει το δικό της κόστος και τα δικά της οφέλη. Ωστόσο, δεν υπάρχει μια και μοναδική παγκόσμια λύση.

Παρόμοιοι με τα φίλτρα των εργοστασίων, είναι οι καταλυτικοί μετατροπείς των αυτοκινήτων, οι οποίοι μειώνουν τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου. Η χρήση αυτών των συσκευών είναι απαραίτητη σε κάποιες χώρες για περισσότερα από είκοσι χρόνια. Είναι σημαντικό να δουλεύουν σωστά οι καταλύτες. Επίσης μερικές εταιρίες προσπαθούν να κάνουν μετατροπές στην βενζίνη ώστε να ελαττώσουν το άκαυστο προϊόν.

Υπάρχουν κάποιες άλλες μορφές ενέργειας από τις οποίες μπορούμε να παράγουμε ηλεκτρισμό, εκτός από τα ορυκτά καύσιμα. Αυτές είναι: η πυρηνική, η υδροηλεκτρική, η αιολική, η γεωθερμική και η ηλιακή ενέργεια. Από αυτές, η πυρηνική και η υδροηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιούνται περισσότερο σε σχέση με τις υπόλοιπες, οι τεχνολογίες των οποίων δεν έχουν αναπτυχθεί σημαντικά.

Υπάρχουν επίσης εναλλακτικές μορφές ενέργειας για τα αυτοκίνητα, όπως τα αυτοκίνητα που κινούνται με αέριο, με μπαταρίες, με κυψέλες καυσίμων και με συνδυασμό εναλλακτικής μορφής ενέργειας και βενζίνης.

Όξινη βροχή. Επιπτώσεις στα Χερσαία και Υδατικά Οικοσυστήματα. Μέτρα αντιμετώπισης

Όλες οι μορφές ενέργειας έχουν κάποιο κόστος για το περιβάλλον, όπως και οφέλη. Κάποιες μορφές της είναι πιο ακριβές στην παραγωγή από άλλες, το οποίο σημαίνει πως δεν θα έχουν όλοι την οικονομική άνεση να τις αποκτήσουν. Η πυρηνική, η υδροηλεκτρική ενέργεια και ο άνθρακας είναι τα φθηνότερα στην σημερινή εποχή. Ωστόσο, αλλαγές στην τεχνολογία και στους περιβαλλοντικούς κανονισμούς μπορεί να το αλλάξει αυτό στο μέλλον. Όλοι αυτοί οι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν παίρνονται αποφάσεις για το ποια ενέργεια πρέπει να χρησιμοποιηθεί στο παρόν και ποια πρέπει να αποτελέσει επένδυση για το μέλλον.

Η απόθεση οξέων προκαλεί πολλά προβλήματα σε ένα οικοσύστημα, αλλάζοντας την σύσταση του εδάφους, όπως και την σύσταση των ποταμών περιορίζοντας τον χώρο όπου κάποια ήδη φυτών και ζώων επιβιώνουν. Επειδή είναι πολλές οι αλλαγές που γίνονται, χρειάζονται πολλά χρόνια για ένα οικοσύστημα για να επανέλθει στην φυσιολογική του κατάσταση. Για παράδειγμα, ενώ η ορατότητα μπορεί να βελτιωθεί μέσα σε μερικές μέρες, και οι μικρές ή επεισοδιακές χημικές αλλαγές σε ποτάμια παρουσιάζουν βελτίωση σε μερικούς μήνες, η χρόνια οξύνιση των λιμνών, των ποταμών, των δασών και του εδάφους μπορεί να πάρει από χρόνια, μέχρι και δεκαετίες (ακόμη και αιώνες στην περίπτωση του εδάφους) για να θεραπευτεί.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποιες λύσεις που μπορούν να βρουν οι άνθρωποι για να επαναφέρουν τις λίμνες και τα ποτάμια πιο γρήγορα. Μπορεί να προστεθεί ασβεστόλιθος σε όξινες λίμνες για να μειωθεί η οξύνιση. Αυτή η διαδικασία έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην Νορβηγία και την Σουηδία. Μια διαδικασία ιδιαίτερα δαπανηρή, η οποία πρέπει να γίνεται επαναλαμβανόμενα για να αποτρέψει το νερό να ξαναγυρίσει στην όξινη κατάσταση. Θεωρείται σαν βραχυπρόθεσμη επιδιόρθωση σε συγκεκριμένες περιοχές και όχι σαν μια προσπάθεια μείωσης ή εξάλειψης της μόλυνσης. Επιπλέον, δεν λύνει ευρύτερα προβλήματα, όπως την αλλαγή της σύστασης του εδάφους, την μείωση της ορατότητας, την καταστροφή των υλικών και τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, συχνά επιτρέπει στα ψάρια να παραμείνουν σε μια λίμνη, έτσι ώστε ο ενδογενής πληθυσμός να επιζήσει σ αυτό το μέρος έως ότου να μειωθεί η εκπομπή ρύπων και η απόθεση οξέων στην περιοχή.

Φαίνεται ότι δεν είναι πολλά αυτά που μπορούμε να κάνουμε έτσι ώστε να σταματήσουμε την απόθεση οξέων. Όμως, όπως πολλά άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα, επιλύονται από ενέργειες εκατομμυρίων ξεχωριστών ανθρώπων. Για αυτό καθένας από μας πρέπει να αντιληφθεί την σοβαρότητα του προβλήματος και να γίνει μέρος της λύσης. Ένα πρώτο βήμα είναι η κατανόηση του προβλήματος και της λύσης του.

Καλό θα ήταν, ο καθένας να συνεισφέρει απευθείας με το να εξοικονομεί την ενέργεια, μιας και στην παραγωγή της ανήκει το μεγαλύτερο ποσοστό του προβλήματος της απόθεσης οξέων. Για παράδειγμα, αυτά που μπορεί ο καθένας να κάνει είναι:

- Να κλείνει τα φώτα, τον υπολογιστή ή άλλες συσκευές όταν δεν είναι απαραίτητο να λειτουργούν
- Να χρησιμοποιεί ηλεκτρικές συσκευές μόνο όταν τις χρειάζεται
- Να έχει τον θερμοστάτη στους 20 °C το καλοκαίρι και στους 23 °C το χειμώνα.
- Να μονώσει το σπίτι του όσο καλύτερα μπορεί.
- Να χρησιμοποιεί τα μέσα μαζικής μεταφοράς όσο πιο συχνά μπορεί ή ακόμη καλύτερα να περπατάει ή να χρησιμοποιεί ποδήλατο.
- Να αγοράσει αυτοκίνητο με χαμηλές εκπομπές οξειδίων του αζώτου και να το διατηρεί σε καλή κατάσταση.

Όξινη βροχή. Επιπτώσεις στα Χερσαία και Υδατικά Οικοσυστήματα. Μέτρα αντιμετώπισης

- Να είναι καλά ενημερωμένος.