

## Χημεία και Καθημερινή Ζωή



### Τι είναι η όξινη βροχή

Η όξινη βροχή είναι οτιδήποτε πέφτει από τον ουρανό πάνω στον πλανήτη μας, η βροχή, το χιόνι, η υγρασία κλπ, και που είναι αφύσικα όξινα. Να μη την συγχέουμε με τη μη ρυπασμένη βροχή που πέφτει, γιατί εκείνη η βροχή είναι φυσικώς ελαφρώς όξινη.



Προκαλείται κυρίως από τη σημερινή βιομηχανία που χρησιμοποιεί πολλές χημικές ουσίες για να κατασκευάζει διάφορα προϊόντα. Εντούτοις, λόγω της δυσκολίας και του κόστους των προϊόντων εκπέμπονται συχνά στην ατμόσφαιρα, με ελάχιστη ή καμία επεξεργασία, πολλές χημικές ουσίες.

Τά κύρια αίτια της όξινης βροχής είναι το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), τα οποία είτε **αιωρούνται** στην ατμόσφαιρα και παρασύρονται από τις κατακρημνίσεις (βροχή, χιόνι, χαλάζι, κ.λ.π.) αυξάνοντας την οξύτητα αυτών των νερών (**υγρή απόθεση**), είτε **επικάθονται** πάνω σε διάφορες επιφάνειες με τη μορφή σκόνης (έδαφος, δέντρα, κτίρια, αυτοκίνητα, κατασκευές, μνημεία τέχνης, κ.λ.π.) και με τη βοήθεια των κατακρημνίσεων αυξάνουν την οξύτητα αυτών των επιφανειών (**ξηρή απόθεση**).

### Αποτελέσματα της όξινης βροχής στα υδάτινα οικοσυστήματα και τους υδρόβιους οργανισμούς

Ο όρος «όξινη βροχή» πρωτοαναφέρθηκε περίπου 20 χρόνια πριν, όταν οι επιστήμονες στη Σουηδία και τη Νορβηγία θεώρησαν αρχικά ότι η όξινη βροχή μπορεί να προκαλέσει μεγάλη οικολογική ζημιά στον πλανήτη. Το πρόβλημα όμως ήταν, ότι ώσπου να καταλάβουν τις επιπτώσεις της όξινης βροχής, το πρόβλημα ήδη είχε γίνει πολύ μεγάλο. Η ανίχνευση μιας όξινης λίμνης είναι συχνά αρκετά δύσκολη. Μια λίμνη δεν γίνεται όξινη κατά τη διάρκεια μιας νύχτας. Συμβαίνει μέσα σε μία περίοδο πολλών ετών, ακόμη και μερικών δεκαετιών.

Στην αρχή του 20ού αιώνα οι περισσότεροι ποταμοί και λίμνες, όπως ο ποταμός Tonadal στη Νορβηγία, δεν είχαν αρχίσει ακόμα να πεθαίνουν. Εντούτοις μέχρι το 1926 οι τοπικοί επιθεωρητές παρατηρούσαν ότι πολλές από τις λίμνες άρχιζαν να παρουσιάζουν σημάδια θανάτου. Ψάρια βρίσκονταν νεκρά στις όχθες πολλών

ποταμών. Και καθώς ο χειμερινός πάγος άρχιζε να λειώνει βρίσκονταν ολοένα και περισσότερα ψάρια νεκρά, πέστροφες κατά κύριο λόγο. Τότε άρχισαν και οι επιστήμονες να ψάχνουν για την αιτία του θανάτου.

Καθώς οι επιστήμονες συνέχισαν να εργάζονται, βρήκαν πολλούς σωρούς νεκρών ψαριών, μέχρι και 5000 νεκρά ψάρια σε έναν σωρό, κοντά σε ποταμούς. Τότε αποφασίστηκε να σταλούν δύτες για να εξετάσουν το κατώτατο σημείο των ποταμών. Η έκπληξή τους μεγάλωσε όταν βρήκαν ότι στους πυθμένες τους υπήρχαν πολύ περισσότερα νεκρά ψάρια. Λήφθηκαν τότε πολλά ζωντανά και νεκρά δείγματα από όλη τη Νορβηγία και στάλθηκαν στα εργαστήρια.



Τα υδάτινα οικοσυστήματα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις μεταβολές της οξύτητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η λίμνη Barkevatn στη Νορβηγία, όπου άλλοτε ζούσαν μεγάλοι πληθυσμοί από πέστροφες και πέρκες. Η αύξηση της οξύτητας είχε σαν αποτέλεσμα την πλήρη εξαφάνιση των πληθυσμών αυτών στα τέλη της δεκαετίας του '70.

Όταν εξετάστηκαν τα ζωντανά δείγματα βρέθηκαν να έχουν πολύ λίγο νάτριο στο αίμα τους. Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό σύμπτωμα της όξινης δηλητηρίασης. Το οξύ εισέρχεται στα βράγχια των ψαριών και τα δηλητηριάζει έτσι ώστε να γίνουν ανίκανα να εξαγάγουν το αλάτι από το νερό για να διατηρήσουν στον οργανισμό τους τα επίπεδα του νατρίου.

Πολλοί επιστήμονες έλεγαν ότι η αύξηση αυτή της οξύτητας στα νερά των υδάτινων οικοσυστημάτων οφειλόταν στο γεγονός ότι βρέθηκε αμέσως μετά από το χειμώνα, όταν το χιόνι και ο πάγος έρεαν κατευθείαν στα ποτάμια και τις λίμνες. Θεώρησαν ότι το χιόνι είχε εκτεθεί σε πολλά φυσικά φαινόμενα, κάτι που έδωσε σε αυτό, υψηλή οξύτητα.

Άλλοι επιστήμονες δεν ήταν βέβαιοι ότι αυτή η άποψη ήταν σωστή, επειδή η αλλαγή στο PH που παρατηρήθηκε ήταν σε κάποιες υδάτινες περιοχές από περίπου, 5,2 PH

σε 4,6 PH . Θεώρησαν ότι μία τέτοια πτώση δεν θα μπορούσε να αποδοθεί σε φυσικά αίτια. Έτσι πίστεψαν ότι οφειλόταν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Και αυτό ήταν το σωστό. Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης στην Αγγλία η ρύπανση είχε επιπτώσεις σε όλα τα δέντρα, το χώμα και τους ποταμούς τόσο στην Ευρώπη όσο και στη Βόρεια Αμερική λόγω των ευνοϊκών αέριων ρευμάτων που μετακίνησαν την αέρια ρύπανση.

Έτσι, λόγω της συνεχόμενης έντονης όξινης βροχής, οι λίμνες και τα ποτάμια άρχισαν να χάνουν την ικανότητά τους να αντιμετωπίζουν την επίδρασή της. Ένα μεγάλο μέρος των αλκαλικών στοιχείων, όπως το ασβέστιο και ο ασβεστόλιθος, είχαν εκλείψει από το χώμα.

Η όξινη βροχή προκαλεί δυσκολίες στο αναπαραγωγικό σύστημα των ψαριών. Συχνά τα ψάρια που γεννιούνται στις όξινες λίμνες δεν επιζούν γιατί γεννιούνται με ελαττώματα όπως παραμορφωμένες σπονδυλικές στήλες. Αυτό είναι ένα σημάδι ότι αδυνατούν να απορροφήσουν αρκετό ασβέστιο από το νερό για να αναπτύξουν πλήρως τα οστά τους.

Επίσης στα υδάτινα οικοσυστήματα δημιουργείται πρόβλημα στις τροφικές αλυσίδες. Γενικά, τα μικρά ψάρια των περισσότερων ειδών είναι πιο ευαίσθητα στις όξινες περιβαλλοντικές συνθήκες απ' ό,τι τα ενήλικα ψάρια. Σε pH 5 τα περισσότερα αυγά ψαριών δεν μπορούν να εκκολαφθούν. Σε χαμηλότερα επίπεδα pH μερικά ενήλικα ψάρια πεθαίνουν. Μερικές όξινες λίμνες δεν έχουν κανένα ψάρι.

Μέχρι την δεκαετία του '70 πολλοί επιστήμονες άρχισαν να υποψιάζονται ότι δεν ήταν μόνο η αυξημένη οξύτητα στο νερό που προκαλούσε τους θανάτους. Είχαν αποδείξει ότι τα περισσότερα ψάρια θα μπορούσαν να επιζήσουν σε ένα υδάτινο περιβάλλον που είχε ακόμη και διαφορά κατά 1 μονάδα στο PH. Μετά από πολλά πειράματα και έρευνα διαπίστωσαν ότι το στοιχείο που συνέβαλε στους θανάτους των υδρόβιων οργανισμών ήταν το αργίλιο.

Το αργίλιο είναι ένα από τα πιο γνωστά μέταλλα στη Γη. Βρίσκεται με τη μορφή χημικών ενώσεων με άλλα στοιχεία. Με την παραπάνω μορφή δεν μπορεί να διαλυθεί στο νερό και να βλάψει τα ψάρια και τα φυτά. Όμως η όξινη βροχή μπορεί εύκολα να διαπάσει το δεσμό μεταξύ αυτών των στοιχείων και να απελευθερώσει το αργίλιο. Και άλλα μέταλλα όπως ο χαλκός (Cu), ο σίδηρος (Fe) κλπ, μπορούν να προκαλέσουν παρόμοια αποτελέσματα στα ψάρια και στα φυτά. Εντούτοις το αργίλιο είναι το πιο γνωστό.

Παραδείγματος χάριν:  $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

Το άλας το οποίο σχηματίζεται διαλύεται στο νερό. Όταν τα ιόντα του αντίστοιχου μετάλλου (π.χ.  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  κ.λ.π) έρχονται σε επαφή με τα ψάρια προκαλούν ενόχληση στα βράγχια. Τότε το ψάρι αντιδρά και δημιουργεί μια βλέννα στα βράγχια για να σταματήσει αυτήν την ενόχληση έως ότου περάσει ο ερεθισμός. Όμως τα ιόντα αργιλίου απομακρύνονται δύσκολα με αποτέλεσμα το ψάρι να συνεχίζει να βγάζει όλο και περισσότερη βλέννα για να αντιδράσει. Τελικά υπάρχει τόσο πολλή βλέννα που φράζει τα βράγχια. Όταν αυτό συμβεί, τα ψάρια δεν

μπορούν πλέον να πάρουν αναπνοή. Πεθαίνουν και βυθίζονται στο κατώτατο σημείο της λίμνης. Οι επιστήμονες θεωρούν σήμερα την αυξημένη οξύτητα, το αργίλιο και τις ελλείψεις του ασβεστίου ως τους τρεις καθοριστικούς παράγοντες για την εξαφάνιση των ψαριών.

**Οι όξινες λίμνες σε ξεγελούν γιατί έχουν μια ειδική ομορφιά. Είναι καθαρές σαν κρύσταλλο και έχουν ένα όμορφο πυθμένα από πράσινα άλγη.** Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι πολλοί από τους μικροοργανισμούς που ανοργανοποιούν τη νεκρή οργανική ύλη είναι νεκροί. Δεν μπορούν να αποσυνθέσουν υλικό όπως τα φύλλα και τα νεκρά ζώα. Αυτά τα υλικά βυθίζονται τελικά στο κατώτατο σημείο αντί να περάσουν από τη φυσική διαδικασία της αποσύνθεσης. Στις όξινες λίμνες η αποσύνθεση είναι πολύ αργή. Ολόκληρος ο μεταβολισμός της λίμνης επιβραδύνεται.

Καναδοί επιστήμονες επί οκτώ χρόνια έριχναν θειικό οξύ  $H_2SO_4$  σε μια λίμνη του Οντάριο για να δουν τα αποτελέσματα της μείωσης στο pH. Στο pH 5,9 άρχισαν να εξαφανίζονται οι πρώτοι οργανισμοί. Ήταν οι γαρίδες. Άρχισαν με έναν πληθυσμό περίπου επτά εκατομμυρίων, αλλά στο pH 5,9 πέθαναν όλες. Μέσα σε ένα χρόνο ένα μικρό ψαράκι για δόλωμα πέθανε επειδή δεν μπόρεσε πλέον να αναπαραχθεί.

Τη στιγμή που το pH ήταν 5,8, επηρεάστηκε η αναπαραγωγή στις πέστροφες επειδή πολλοί μικρότεροι οργανισμοί που χρησίμευαν ως τροφή τους είχαν εξαφανιστεί. Χωρίς τροφή τα ψάρια των ανώτερων τροφικών επιπέδων δεν είχαν την ενέργεια για αναπαραγωγή. Όταν το pH έγινε 5,1 διαπιστώθηκε ότι η πέστροφα έγινε κανίβαλος.

Σε pH 5,6 οι εξωτερικοί σκελετοί των αστακών μαλάκωσαν και μολύνθηκαν σύντομα με παράσιτα, ενώ τα αυγά τους καταστράφηκαν από μύκητες. Όταν το pH κατέβηκε σε 5,1 σχεδόν εξαφανίστηκαν. Μέχρι το τέλος του πειράματος κανένα από τα σημαντικότερα είδη δεν είχε επιζήσει των δοκιμών με το θειικό οξύ.

Το επόμενο πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τους επιστήμονες ήταν να γίνει προσπάθεια να γυρίσει πίσω στη λίμνη η ζωή. Μείωσαν στο μισό τη ποσότητα του οξέος και σύντομα άρχισαν να αναπαράγονται πάλι τα ψάρια. Η ζωή τελικά επέστρεψε μέχρι ενός σημείου πίσω στη λίμνη.

Επίσης, ο αντίκτυπος των οξειδίων αζώτου στα ύδατα οικοσυστήματα είναι σημαντικός. Το άζωτο διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στην αύξηση της οξύτητας των νερών. Οι επιστήμονες υπολογίζουν ότι 10 έως 45% του αζώτου που παράγεται από τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες (γεωργικές καλλιέργειες, λειτουργία μηχανών εσωτερικής καύσης, βιομηχανικές μονάδες κ.λ.π) που φθάνει στις εκβολές και τα παράκτια οικοσυστήματα, μεταφέρονται και κατατίθενται μέσω της ατμόσφαιρας.

Το άζωτο είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην πρόκληση του ευτροφισμού (μείωση οξυγόνου) στα υδάτινα οικοσυστήματα. Τα συμπτώματα του ευτροφισμού περιλαμβάνουν:

- την υπερβολική ανάπτυξη των υδρόβιων φυτικών οργανισμών στο υδάτινο οικοσύστημα π.χ. των αλγών, των καλαμιών κ.λ.π.

- την απώλεια της υγείας των υδρόβιων οργανισμών
- την απώλεια των κοραλλιογενών υφάλων,
- και τις οικολογικές αλλαγές στις τροφικές αλυσίδες.

Αυτές οι οικολογικές αλλαγές έχουν επιπτώσεις και στους ανθρώπινους πληθυσμούς λόγω:

- της αλλαγής στη διαθεσιμότητα των ειδών των υδρόβιων οργανισμών
- των κινδύνων κατανάλωσης μολυσμένων ψαριών ή οστρακόδερμων
- της μείωσης της δυνατότητας του ανθρώπου να χρησιμοποιήσει και να απολαύσει τα παράκτια οικοσυστήματα
- του οικονομικού αντίκτυπου που έχει στους ανθρώπους, που στηρίζονται στα υγιή παράκτια οικοσυστήματα, όπως στους ψαράδες και σε εκείνους που ασχολούνται με τον τουρισμό.

### **Αποτελέσματα της όξινης βροχής στα δάση και τις γεωργικές εγκαταστάσεις**

Κατά τη διάρκεια των ετών, οι επιστήμονες έχουν σημειώσει μια επιβραδυνόμενη αύξηση μερικών δασών. Τα φύλλα και οι βελόνες γίνονται καφετιά και πέφτουν όταν πρέπει να είναι πράσινα και υγιή. Σε ακραίες περιπτώσεις, τα μεμονωμένα δέντρα ή ολόκληρες περιοχές του δάσους πεθαίνουν χωρίς έναν προφανή λόγο.



Μετά από πολλές έρευνες διαπιστώθηκε ότι η όξινη βροχή προκαλεί την αργοπορία στην αύξηση, τον τραυματισμό, ή το θάνατο των δασών. Η όξινη βροχή έχει εμπλακεί στην

υποβάθμιση των δασών και του χώματος σε πολλές περιοχές. Φυσικά, η όξινη βροχή δεν είναι η μόνη αιτία τέτοιων φαινομένων. Άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στην υποβάθμιση αυτών των περιοχών, είναι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, τα έντομα, οι ασθένειες, η ξηρασία, ή το πολύ κρύο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, στην πραγματικότητα, οι επιδράσεις της όξινης βροχής στα δέντρα οφείλονται στα συνδυασμένα αποτελέσματα της όξινης βροχής και αυτών των άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων. Μετά από πολλά έτη συλλογής πληροφοριών για τη χημεία και τη βιολογία των δασών, οι ερευνητές αρχίζουν να καταλαβαίνουν πώς η όξινη βροχή λειτουργεί στο δασικό χώμα, τα δέντρα, και άλλες εγκαταστάσεις.

Η δυνατή βροχή της άνοιξης στο δάσος, πλένει τα φύλλα και πέφτει μέσω των δέντρων στο δασικό έδαφος. Το χώμα αυτού του εδάφους μπορεί να εξουδετερώσει μερικώς ή ολικώς την οξύτητα των όξινων ομβρίων υδάτων ανάλογα με τη σύστασή του και το πάχος του. Χωρίς αυτή τη δυνατότητα εξουδετέρωσης της οξύτητας τα

χώματα γίνονται πιο όξινα. Οι διαφορές στην εδαφολογική σύσταση και το πάχος του εδάφους, είναι οι πιο σημαντικοί λόγοι για τους οποίους μερικές περιοχές που λαμβάνουν την όξινη βροχή παρουσιάζουν πολλή ζημιά, ενώ άλλες περιοχές που λαμβάνουν σχεδόν ίδιο ποσό όξινης βροχής δεν βλάπτονται σχεδόν καθόλου. Η δυνατότητα των δασικών χωμάτων να αντιστέκεται ή να εξουδετερώνει την οξύτητα, εξαρτάται από το πάχος και τη σύνθεση του χώματος, καθώς επίσης και τον τύπο στρώματος βράχου κάτω από το δασικό έδαφος.



Η όξινη βροχή δεν σκοτώνει συνήθως τα δέντρα άμεσα. Το πιθανότερο είναι ότι αποδυναμώνονται τα δέντρα με την καταστροφή των φύλλων τους, περιορίζονται οι διαθέσιμες θρεπτικές ουσίες, ή αυξάνεται η έκθεσή τους στις τοξικές ουσίες που απελευθερώνονται αργά από το χώμα. Αρκετά συχνά, η ζημιά ή ο θάνατος των δέντρων είναι ένα αποτέλεσμα αυτών των

αποτελεσμάτων της όξινης βροχής σε σχέση με μία ή περισσότερες πρόσθετες απειλές.

Οι επιστήμονες ξέρουν ότι το όξινο νερό διαλύει τις θρεπτικές ουσίες και τα χρήσιμα μέταλλα στο χώμα και τα ξεπλένει μακριά, πριν τα συστατικά αυτά να φτάσουν με το νερό στα δέντρα των δασών ώστε να μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν για να αυξηθούν. Συγχρόνως, η όξινη βροχή προκαλεί την απελευθέρωση των ουσιών που είναι τοξικές για τα δέντρα, όπως το αργίλιο, στο χώμα. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι αυτός ο συνδυασμός απώλειας εδαφολογικών θρεπτικών ουσιών και αύξησης του τοξικού αργιλίου μπορεί να είναι ο βασικός μηχανισμός καταστροφής των δασών.

Εντούτοις, τα δέντρα μπορούν να υποστούν βλάβη από την όξινη βροχή ακόμα κι αν το χώμα είναι υγιές. Τα δάση στις υψηλές περιοχές βουνών, συχνά εκτίθενται στα μεγάλα ποσά οξέων από άλλα δάση επειδή περιβάλλονται από τα όξινα σύννεφα και την ομίχλη που είναι πιο όξινα από τις βροχοπτώσεις. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι όταν λούζονται συχνά τα φύλλα με αυτήν την όξινη ομίχλη, οι ουσιαστικές θρεπτικές ουσίες στα φύλλα και τις βελόνες τους καταστρέφονται. Αυτή η απώλεια θρεπτικών ουσιών στο φύλλωμά τους, καθιστά τα δέντρα πιο ευαίσθητα στους άλλους ζημιογόνους περιβαλλοντικούς παράγοντες, ιδιαίτερα την εποχή του κρύου χειμώνα.



Η όξινη βροχή μπορεί να βλάψει και τις γεωργικές εγκαταστάσεις με τον ίδιο τρόπο που βλάπτει τα δέντρα. Οι αγρότες προσθέτουν συχνά λιπάσματα στο χώμα για να αντικαταστήσουν τις θρεπτικές ουσίες που έχουν χαθεί λόγω της έκπλυσης που

προκαλεί η όξινη βροχή. Μπορούν επίσης να προσθέσουν ασβεστοπολτό στο χώμα. Ο ασβεστοπολτός είναι ένα αλκαλικό υλικό και αυξάνει τη δυνατότητα του χώματος να εξουδετερώσει την οξύτητα. Η προσθήκη όμως λιπασμάτων, έχει μετέπειτα επιπτώσεις στα υδάτινα οικοσυστήματα λόγω των συστατικών των λιπασμάτων που καταλήγουν σε αυτά, με τα νερά της βροχής (ευτροφισμός).

### **Αποτελέσματα της όξινης βροχής στα επιστρώματα των αυτοκινήτων**

Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δύο δεκαετιών, έχουν παρατηρηθεί πολυάριθμες ζημιές στα επιστρώματα χρώματος των αυτοκινήτων. Οι ζημιές αυτές εμφανίζονται κυρίως στις οριζόντιες επιφάνειες με τη μορφή χαραγμένων ραγάδων στο επίστρωμα του χρώματος. Οι ζημιές αυτές μπορούν καλύτερα να ανιχνευθούν κάτω από τους λαμπτήρες φθορισμού, και είναι πολύ πιο έντονες στα σκουρόχρωμα χρωματισμένα οχήματα. Εμφανίζονται αμέσως μετά από την εξάτμιση ενός όξινου σταγονιδίου υγρασίας. Επιπλέον, αποδείχθηκε ότι οι ζημιές αυτές, εμφανίζονται πολύ συχνά στα πρόσφατα χρωματισμένα οχήματα, είναι μόνιμες και η μόνη λύση είναι το βάψιμο των οχημάτων εκ νέου.

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών πειραμάτων στο τομέα αυτό, έχουν καταδείξει ότι η όξινη βροχή μπορεί να καταστρέψει τα χρωματισμένα επιστρώματα των αυτοκινήτων, ιδιαίτερα μετά την έκθεσή τους στα αποσυντιθέμενα έντομα, τα περιττώματα των πουλιών, τη γύρη των λουλουδιών και άλλους αέριους ρύπους που επικάθονται πάνω σε αυτές τις επιφάνειες.

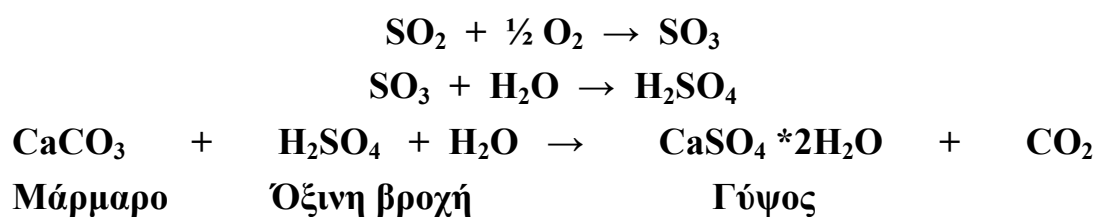
Οι αυτοκινητοβιομηχανίες και οι βιομηχανίες επιστρωμάτων γνωρίζουν πολύ καλά τις επιπτώσεις των παραγόντων αυτών στα επιστρώματα των αυτοκινήτων και ερευνούν την παραγωγή κατάλληλων επιστρωμάτων που είναι ανθεκτικότερα στους ζημιογόνους περιβαλλοντικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης και της όξινης βροχής.

### **Αποτελέσματα της όξινης βροχής στα υλικά**

Η όξινη βροχή και η ξηρά απόθεση των όξινων μορίων, συμβάλλουν στη διάβρωση των μετάλλων (κυρίως του σιδήρου, του χάλυβα, του ψευδαργύρου και του χαλκού) και στην επιδείνωση του χρώματος και της σύστασης της πέτρας (όπως στα μάρμαρα). Αυτά τα αποτελέσματα μειώνουν σημαντικά την κοινωνική αξία των κτιρίων, των γεφυρών, των πολιτιστικών αντικειμένων (όπως τα αγάλματα, τα μνημεία κ.λ.π).

Οι επιπτώσεις αυτές ανεβάζουν σημαντικά τις δαπάνες συντήρησης των παραπάνω αντικειμένων.

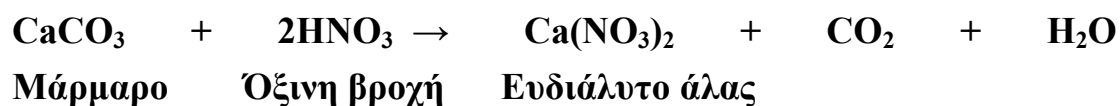
Η δράση των οξειδίων του θείου της όξινης βροχής στα μαρμάρινα μνημεία είναι γνωστή ως «**γυψοποίηση των μαρμάρων**». Τα ισχυρά οξέα που δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα με το νερό της βροχής, αντιδρούν με το υλικό των μαρμάρινων μνημείων σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Γλυπτό στην πόλη Βεστφαλία της Γερμανίας. Η αριστερή εικόνα δείχνει την κατάσταση του γλυπτού το 1908 και η δεξιά εικόνα δείχνει τη σημερινή του κατάσταση που μοιάζει με μια άμορφη μάζα.

Επειδή το  $\text{CaSO}_4$  έχει περίπου διπλάσιο όγκο από το  $\text{CaCO}_3$ , επέρχεται διόγκωση και θρυμματισμός του μαρμάρου.

Η δράση των οξειδίων του αζώτου της όξινης βροχής στα μαρμάρινα μνημεία είναι γνωστή ως «**νιτροποίηση των μαρμάρων**». Τα ισχυρά οξέα που δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα με το νερό της βροχής, αντιδρούν με το υλικό των μαρμάρινων μνημείων σύμφωνα με την αντίδραση:



Επειδή το  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  είναι ευδιάλυτο, απομακρύνεται με το νερό της βροχής από τις επιφάνειες των μαρμάρινων μνημείων και έτσι προκαλείται σημαντική καταστροφή.



### Αποτελέσματα της όξινης βροχής στην ανθρώπινη υγεία

Ο άνθρωπος εκτίθεται τόσο στους αέριους ρύπους που προκαλούν την όξινη βροχή όσο και στην ίδια την όξινη βροχή. Οι αέριοι ρύποι που προκαλούν την όξινη βροχή, το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), βλάπτουν την ανθρώπινη υγεία. Αυτοί οι αέριοι ρύποι αλληλεπιδρούν στην ατμόσφαιρα σχηματίζοντας μόρια θειικού και νιτρικού οξέος. Επίσης μπορούν να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις με τους ανέμους.

Το NO<sub>2</sub> που είναι τοξικό αέριο (τέσσερις φορές πιο τοξικό από το NO), προσβάλλει τους πνεύμονες και σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί πνευμονικό οίδημα. Η έκθεση του ανθρώπου σε συγκεντρώσεις 50-10 ppm σε NO<sub>2</sub>, για ορισμένα λεπτά μέχρι μία ώρα, προκαλεί έντονο ερεθισμό στους πνεύμονες, που διαρκεί 6-8 εβδομάδες, ενώ η έκθεσή του σε συγκεντρώσεις 150-200 ppm σε NO<sub>2</sub>, προκαλεί συνήθως το θάνατο.

Το SO<sub>2</sub> προσβάλλει την όραση, το δέρμα και το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου.

### Συμπεράσματα

Η όξινη βροχή είναι ένα μεγάλο πρόβλημα. Προκαλεί το θάνατο των λιμνών μας, των ποταμών μας, των δασών, της άγριας ζωής και επιπλέον βλάπτει τους ανθρώπους, τα μεταλλικά και τα μαρμάρινα αντικείμενα. Επίσης προκαλεί άλλα προβλήματα που είναι πολύ σοβαρά, όπως η ελευθέρωση του αργιλίου και του μολύβδου στις παροχές του νερού μας.

Ελπίζουμε η όξινη βροχή στο μέλλον να μειωθεί με τα κατάλληλα μέτρα που πρέπει να ληφθούν. Τα μέτρα αυτά πρέπει να αφορούν τον επαναπροσδιορισμό των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων (βιομηχανικές μονάδες, κεντρική θέρμανση, λειτουργία μηχανών εσωτερικής καύσης) που οδηγούν στην απελευθέρωση των αερίων ρύπων που ευθύνονται για το σχηματισμό της όξινης βροχής.

Ήδη η επιστημονική κοινότητα παγκοσμίως, έχει προβληματιστεί, γεγονός που φαίνεται από την έρευνα στην προώθηση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας, στη χρήση του φυσικού αερίου, στη χρήση του υδρογόνου ως καυσίμου, στη χρήση των υβριδικών αυτοκινήτων, κ.ά.

Κάθε άτομο επίσης, μπορεί με τις ενέργειές του, να συμβάλλει στη μείωση του προβλήματος. Κάθε άνθρωπος μπορεί να μειώσει την κατανάλωση σε ενέργεια, δεδομένου ότι η ενεργειακή παραγωγή έχει τη μεγαλύτερη συμβολή στο σχηματισμό και τα προβλήματα που προκαλεί η όξινη βροχή.

**Για παράδειγμα μπορείτε να:**

- Κλείνετε τα φώτα, τους υπολογιστές, και άλλες συσκευές όταν δεν τις χρησιμοποιείτε.
- Χρησιμοποιείτε τις ηλεκτρικές συσκευές όταν τις χρειάζεστε.
- Κρατάτε το θερμοστάτη σας λίγο χαμηλότερα το χειμώνα, από τη θερμοκρασία που έχετε συνηθίσει μέχρι τώρα.
- Ελαχιστοποιείτε τις απώλειες του σπιτιού σας εξασφαλίζοντας καλή μόνωση.
- Χρησιμοποιείτε δημόσια μέσα μαζικής μεταφοράς, ποδήλατο ή το περπάτημα, όποτε είναι δυνατόν, για τις μετακινήσεις σας.
- Επιλέγετε υβριδικά αυτοκίνητα.
- Συντηρείτε τις εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης.
- Συντηρείτε τα οχήματά σας ώστε να μειώσετε τις εκπομπές αερίων ρύπων στο ελάχιστο.
- Ενημερώνεστε καλά.