



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Παιδαγωγική Σχολή Φλώρινας**  
**Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης**

**Σημειώσεις για το μάθημα: Υ304 – “Περιβαλλοντική Εκπαίδευση”**

**Θέμα: ‘Όξινη βροχή’**

**Διδάσκων: Γεώργιος Μαλανδράκης**

*Οι συγκεκριμένες σημειώσεις αποτελούν διασκευασμένο και εμπλουτισμένο μέρος σχετικής εργασίας του φοιτητή Γιαννάκαρου Γεωργίου (ΑΕΜ: 2619)*

### **Εισαγωγή**

Τον όρο όξινη βροχή χρησιμοποίησε για πρώτη φορά το 1852 ο Άγγλος χημικός Robert Angus Smith όταν παρατήρησε την σχέση μεταξύ της ρυπασμένης ατμόσφαιρας του Λονδίνου και του όξινου χαρακτήρα των βροχοπτώσεων, κατά την διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης. Το 1982 η όξινη βροχή αναγνωρίστηκε από τα Ηνωμένα Έθνη ως ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα διασυννοριακής ρύπανσης.

Η όξινη βροχή αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα παγκοσμίως. Γενικά, βροχή σημαίνει το νερό που πέφτει από την ατμόσφαιρα με μορφή υδροσταγόνων που προέρχονται από την υγροποίηση των υδρατμών που σχηματίζουν τα σύννεφα. Κάθε βροχή είναι έτσι κι αλλιώς όξινη. Το pH της βροχής σε φυσιολογικές συνθήκες είναι γύρω στο 5,6. Όμως, στα μεγάλα αστικά κέντρα η τιμή του pH της βροχής κυμαίνεται από 3,5-4,5. Παρουσιάζεται δηλαδή το φαινόμενο της όξινης βροχής.

Όξινη βροχή ονομάζεται το φαινόμενο των αφύσικα όξινων μετεωρολογικών κατακρημνισμάτων όπως π.χ. βροχή, χιόνι, ομίχλη, πάχνη ως και ξηρή σκόνη. Για αυτό και θεωρείται ορθότερος ο όρος όξινη κατακρήμνιση, αφού το φαινόμενο της όξινης βροχής αναφέρεται στην ουσία σε όλα τα μετεωρολογικά κατακρημνίσματα. Χρησιμοποιούμε το επίθετο αφύσικα όξινα γιατί και η φυσιολογική βροχή έχει όξινες ιδιότητες λόγω της διάλυσης σε αυτήν του διοξειδίου του άνθρακα σχηματίζοντας ένα ελαφρύ οξύ, το ανθρακικό οξύ ( $H_2CO_3$ ). Το οξύ αυτό είναι χρήσιμο γιατί βοηθά στην διάλυση των ορυκτών στο έδαφος και έτσι κάνει πιο εύκολη την αφομοίωση τους από τα φυτά και τα ζώα. Η όξινη βροχή συνεπώς έχει αυξημένες όξινες ιδιότητες όπως προείπαμε με pH 5 ή και μικρότερο. Με δύο φράσεις όξινη βροχή ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η βροχή έχει χαμηλότερο pH του φυσιολογικού.

### **Σχηματισμός όξινης βροχής**

Οι κύριοι ρύποι που συντελούν στον σχηματισμό της όξινης βροχής είναι:

- α) το διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ) και

β) τα οξείδια του αζώτου ( $N_xO_x$ ).

Τα οξείδια αυτά στην ατμόσφαιρα υφίστανται διάφορες μετατροπές και γίνονται οξέα. Τότε ξαναγυρίζουν στην γη και κατακάθονται είτε σε στερεά κατάσταση σαν



Σχήμα 1. Σχηματισμός όξινης βροχής στην ατμόσφαιρα.

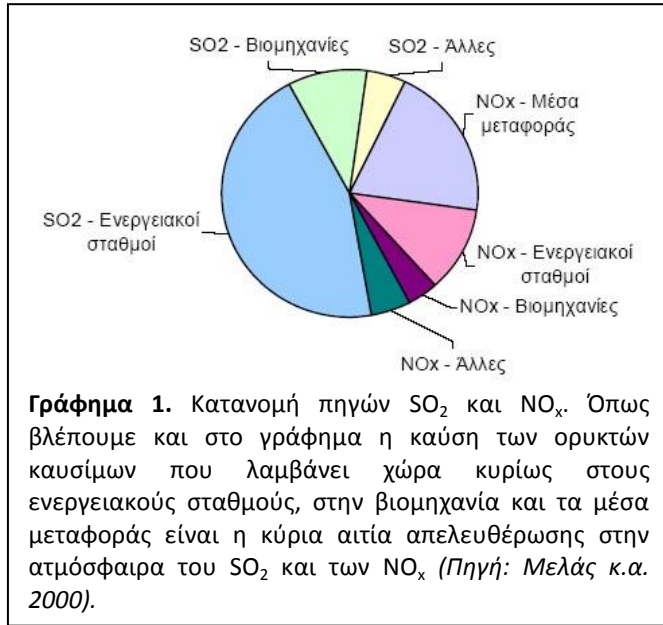
ιζήματα είτε σε υγρή κατάσταση. Όταν όμως τα αέρια αυτά αντιδράσουν με νερό, οξυγόνο και άλλες χημικές ενώσεις σχηματίζοντας διάφορες όξινες ενώσεις τότε δημιουργείται η όξινη βροχή. Πιο συγκεκριμένα, το διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ) και τα οξείδια του αζώτου ( $N_xO_x$ ) αντιδρούν με το οξυγόνο και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και σχηματίζουν αντίστοιχα θειικό οξύ ( $H_2SO_4$ ) και νιτρικό

οξύ ( $HNO_3$ ), τα οποία στην συνέχεια διαλύονται στο νερό της βροχής ή στα σταγονίδια της ομίχλης κτλ. και προξενούν την όξινη βροχή. Με ένα ισχυρό άνεμο τα οξείδια αυτά μπορούν να μεταφερθούν πολλές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά ξεπερνώντας συχνά τα σύνορα μιας χώρας. Επομένως, η όξινη βροχή αποτελεί ένα διακρατικό περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Όπως προείπαμε τα πιο σημαντικά αέρια που οδηγούν στον σχηματισμό της όξινης βροχής είναι το διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ) και τα οξείδια του αζώτου ( $N_xO_x$ ). Τα αέρια αυτά προέρχονται από τις ακόλουθες πηγές:

- Την καύση των ορυκτών καυσίμων (κυρίως πετρέλαιο, λιγνίτη, κάρβουνο). Όταν τα καύσιμα καίγονται για να παράγουν ενέργεια ταυτόχρονα γίνονται και άλλα δύο πράγματα: το θείο ( $S_2$ ) που βρίσκεται μέσα στο καύσιμο ενώνεται με το οξυγόνο ( $O_2$ ) και σχηματίζει διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ), ενώ ένα μέρος από το άζωτο του αέρα ( $N_2$ ) και του ίδιου του καυσίμου μετατρέπεται σε οξείδιο του αζώτου ( $NO$ ).
- Την ηφαιστειακή δραστηριότητα
- Τις πυρκαγιές
- Τις βιολογικές δραστηριότητες: Μια σειρά βιοχημικών διεργασιών παράγει διμεθυλοσουλφίδιο ( $CH_3SCH_3$ ) που τελικά οξειδώνεται σε  $SO_2$  και  $CO_2$ .
- Την τήξη του όξινου πάγου. Μέρος των παγοκαλυμμάτων που τήκονται λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου περιέχουν διαλυμένα όξινα αέρια, τα οποία συμμετέχουν στον σχηματισμό της όξινης βροχής. Βλέπουμε, λοιπόν, ότι τα περιβαλλοντικά προβλήματα συνδέονται μεταξύ τους.
- Την αποικοδόμηση οργανικών ουσιών.

Από τις παραπάνω αιτίες σχηματισμού της όξινης βροχής, κυριότερη θεωρείται η καύση των ορυκτών καυσίμων. Σήμερα, μόνο το μισό διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ) της ατμόσφαιρας είναι φυσικό (Γράφημα 1). Το υπόλοιπο μισό το «φτιάχνει» ο άνθρωπος.



Η βιομηχανία και οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούν άνθρακα και πετρέλαιο για να λειτουργήσουν. Έτσι, για παράδειγμα, το να αφήνουμε το φως του δωματίου μας ανοιχτό, όταν δεν το χρειαζόμαστε, επιτείνει το φαινόμενο της όξινης βροχής. Επίσης, εμείς οι ίδιοι χρησιμοποιούμε πετρέλαιο, άνθρακα και φυσικό αέριο για την θέρμανση των σπιτιών και βενζίνη για να μετακινηθούμε με το αυτοκίνητο, κ.α.

Συνεπώς, υπεύθυνες για τη δημιουργία της όξινης βροχής είναι κυρίως οι ανθρώπινες δραστηριότητες (βιομηχανία, μεταφορές, θέρμανση, κτλ.).

## Επιπτώσεις

### A) Στα δάση

Τα δάση είναι ένας από τους πολυτιμότερους φυσικούς πόρους της γης. Ρυθμίζουν το κλίμα της περιοχής τους, απελευθερώνουν οξυγόνο, αποθηκεύουν και διανέμουν το νερό, προστατεύουν το έδαφος. Η όξινη βροχή, όμως, έχει σοβαρές επιπτώσεις στα δάση, αφού απορροφά τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους, ενώ ελευθερώνει αργίλιο, το οποίο δυσκολεύει τα δέντρα να απορροφούν το νερό, με αποτέλεσμα η ζωτικότητα των δένδρων να χάνεται και τελικά να έχουμε νέκρωσή τους. Ακόμα, προκαλείται έκπλυση των θρεπτικών συστατικών στοιχείων του εδάφους και φυλλόπτωση των δένδρων. Λόγω της όξινης βροχής τα φύλλα των δένδρων κιτρινίζουν και πέφτουν, ο μεταβολισμός τους διαταράσσεται και το ριζικό τους σύστημα υφίσταται βλάβες, πράγμα που σημαίνει ότι προσλαμβάνονται μικρότερες ποσότητες θρεπτικών συστατικών. Ειδικότερα, η επίδραση της θεωρείται καταστρεπτική στα δένδρα που εκτίθενται μακροχρόνια σε αυτήν.

### B) Στο έδαφος

Η όξινη βροχή απομακρύνει από το έδαφος πολύτιμα μέταλλα όπως το μαγνήσιο, το ασβέστιο, το κάλιο μετατρέποντας το έδαφος φτωχό σε θρεπτικά συστατικά



**Εικόνα 1.** Επιπτώσεις της όξινης σε δάσος.

που είναι απαραίτητα για την σωστή ανάπτυξη των φυτών. Επιπλέον, το όξινο pH θανατώνει τους αποικοδομητές και διαφόρους μικροοργανισμούς που ζουν στο έδαφος. Όσο περισσότερο όξινο είναι το pH της βροχής, τόσο περισσότερα τοξικά μέταλλα απελευθερώνονται από το έδαφος (π.χ., ψευδάργυρος, χαλκός, μόλυβδος). Τα μέταλλα αυτά μπορούν να φθάσουν στα υπόγεια νερά, τους ποταμούς, τις λίμνες, ακόμη και στα ρεύματα που χρησιμοποιούνται για την προμήθεια πόσιμου νερού και έτσι να μπουν στην τροφική αλυσίδα και να καταλήξουν ακόμα και στον άνθρωπο. Ακόμα, όταν η όξινη βροχή πέφτει, εναποθέτει διάφορες ενώσεις αζώτου ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ) βλάπτοντας τις χερσαίες πηγές οικοσυστημάτων. Όσο, μάλιστα, αυξάνεται το άζωτο στο έδαφος, τόσο αλλάζει ο τρόπος ανάπτυξης των φυτών, ενώ οι παραπάνω ρύποι ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ) όταν αντιδράσουν με το νερό στην επιφάνεια του εδάφους οδηγούν στο φαινόμενο του ευτροφισμού.

### Γ) Στα υδάτινα οικοσυστήματα.

Η όξινη βροχή έχει πολύ σοβαρές επιπτώσεις στα υδάτινα οικοσυστήματα. Συγκεκριμένα, λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων οξέος στα ποτάμια, τις θάλασσες και τις λίμνες μειώνεται η γονιμότητα των ψαριών και το ποσοστό εκκόλαψης των αυγών, με αποτέλεσμα να μειώνεται δραματικά ο πληθυσμός των ψαριών. Επίσης, ενεργοποιείται το αργίλιο στον πυθμένα του νερού με αποτέλεσμα οι οργανισμοί που ζουν στον βυθό να έχουν πρόβλημα στο αναπνευστικό σύστημα και να οδηγούνται μοιραία στον θάνατο. Επίσης, το αργίλιο συντελεί στην καθίζηση του φωσφόρου και μειώνει τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά καθώς και την συγκέντρωση του φυτοπλαγκτόν. Ολόκληρες λίμνες έχουν νεκρωθεί στην Κεντρική Ευρώπη και την Σκανδιναβία διότι η όξυνση του νερού κατέστρεψε τους πληθυσμούς των ψαριών. Η μείωση των ψαριών έχει συνέπειες και στην υπόλοιπη τροφική αλυσίδα αφού τα θηλαστικά και τα πτηνά τρέφονται με αυτά.

### Δ) Στα μνημεία

Η ιστορία μιας χώρας φανερώνεται σε μεγάλο βαθμό από τον χρόνο και τον τόπο που έλαβαν χώρα τα διάφορα γεγονότα (πολεμικά, καλλιτεχνικά, κοινωνικά κλπ.), τα οποία αποδεικνύονται από χειροπιαστά ανθρώπινα δημιουργήματα (μνημεία, έργα τέχνης). Τα μνημεία, λοιπόν, αποτελούν αποδεικτικά στοιχεία της ιστορίας ενός πολιτισμού. Για αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε πόσο σημαντική είναι η



**Εικόνα 2.** Ένα γλυπτό στον πύργο Χέρτεν στη Βεστφαλία της Γερμανίας μοιάζει μ' ένα κομμάτι πέτρα χωρίς σχήμα. Μια φωτογραφία από το 1908 δείχνει ένα περίτεχνο άγαλμα κοριτσιού.

προστασία των μνημείων για ένα λαό. Η όξινη βροχή όμως δεν καταλαβαίνει από μνημεία και έτσι διαβρώνει και αυτά στο πέρασμα της. Και αυτό γιατί το μάρμαρο από το οποίο κατασκευάζονται συνήθως τα μνημεία αυτά, αποτελούνται από ανθρακικά άλατα, τα οποία διασπώνται από τα οξέα. Συγκεκριμένα, το θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) και τα οξειδία του αζώτου ( $\text{N}_x\text{O}_x$ ) που έχουν διαλυθεί στην βροχή,



αντιδρούν με το ανθρακικό άλας, που συνήθως είναι ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) και παράγεται ένα άλλο άλας αρκετά εύθραυστο, ο γύψος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται γυψοποίηση του μαρμάρου ( $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_4$ ).

Όταν το στρώμα αυτό του γύψου που σχηματίζεται βρεθεί εκτεθειμένο στο όξινο βρόχινο νερό τότε διαλύεται από αυτό με τα γνωστά αποτελέσματα της διάβρωσης των μνημείων. Ονομαστά μνημεία όπως ο Παρθενώνας, το Άγαλμα της Ελευθερίας στην Νέα Υόρκη, ο καθεδρικός ναός του Αγίου Παύλου στο Λονδίνο, το Ταζ Μαχάλ στην Ινδία και πολλά άλλα έχουν διαβρωθεί από την όξινη βροχή.

### Ε) Στον άνθρωπο

Όταν ο άνθρωπος εκτεθεί σε οξειδία του αζώτου ( $\text{N}_x\text{O}_x$ ) και διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) τότε δημιουργούνται σοβαρά δερματολογικά, οφθαλμολογικά και αναπνευστικά προβλήματα. Οι ρυπαντές που αναφέραμε, το διοξείδιο του θείου και τα οξειδία του αζώτου ανακατεύονται με την σκόνη και την ομίχλη. Έτσι, δημιουργείται η καπνομίχλη (*smog*), που μπορεί να βλάψει τα παιδιά και τους ηλικιωμένους, καθώς και όσους έχουν αναπνευστικά προβλήματα ή αδύνατη καρδιά. Το 1952 στο Λονδίνο πέθαναν 4.000 άνθρωποι σε 4 μέρες από τον τοξικό συνδυασμό της καπνομίχλης και του διοξειδίου του θείου.

### ΣΤ) Όξινη Σκόνη

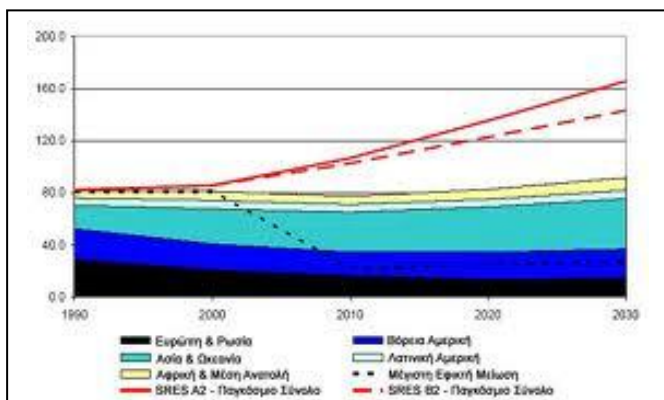
Ένα μεγάλο μέρος από την κάπνα των βιομηχανιών, τα καυσαέρια των αυτοκινήτων και την θέρμανση των σπιτιών δεν ανεβαίνουν πολύ ψηλά στην ατμόσφαιρα και ξαναπέφτουν σχεδόν αμέσως στην γη. Κατακάθονται στο έδαφος ή στα κτίρια, μειώνοντας την διάρκεια ζωής των μετάλλων και των χρωμάτων. Μπορούν, επίσης, να καταστρέψουν δέρματα, χαρτιά και υφάσματα.

### Χτες και σήμερα

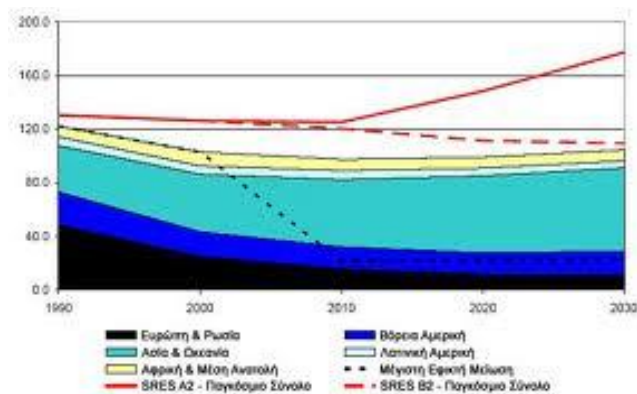
Η όξινη βροχή αποτελεί ένα διακρατικό πρόβλημα αφού η κίνηση του αέρα δεν αναγνωρίζει τα σύνορα μεταξύ των κρατών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα οι Η.Π.Α., οι οποίες «εξήγαγαν» όξινη βροχή στον Καναδά αλλά «εισήγαγαν» από το Μεξικό. Γεγονός, πάντως, είναι ότι ενώ τα δάση της Σκανδιναβίας και της Δυτικής Γερμανίας είχαν «χτυπηθεί» παλιότερα από την όξινη βροχή σήμερα η κατάσταση στην Ευρώπη έχει αρχίσει να βελτιώνεται μετά την προσπάθεια προσαρμογής των χωρών-μελών της Ε.Ε. στις οδηγίες για την μείωση των εκπομπών των αερίων ρύπων.



**Εικόνα 3.** Ο Παρθενώνας επιβίωσε πάνω από 2000 χρόνια. Από πάνω του πέρασαν κατακτητές, υπέστη σεισμούς και όμως δεν έπαθε διάβρωση. Οι ειδικοί λένε ότι η όξινη βροχή και η ρύπανση της ατμόσφαιρας από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων και των εργοστασίων έχουν προκαλέσει στον Παρθενώνα τα τελευταία χρόνια μεγαλύτερες ζημιές από ότι υπέστη σε 2400 χρόνια. Οι Καρυάτιδες βρίσκονται ήδη στο μουσείο για να προστατευτούν από την ατμοσφαιρική ρύπανση



**Γράφημα 3.** Εκτιμώμενη ανάπτυξη ανθρωπογενών εκπομπών  $\text{NO}_x$  σε παγκόσμιο επίπεδο (εκατ. τόνοι  $\text{NO}_2$ ).



**Γράφημα 4.** Εκτιμώμενη ανάπτυξη ανθρωπογενών εκπομπών  $\text{SO}_2$  σε παγκόσμιο επίπεδο (εκατ. τόνοι  $\text{SO}_2$ ). Δεν συμπεριλαμβάνονται οι εκπομπές από την καύση βιομάζας και τις διεθνείς μεταφορές (Cofala et al. 2005).

Σήμερα το μεγαλύτερο πρόβλημα από την όξινη βροχή το αντιμετωπίζει η ήπειρος της Ασίας και ειδικότερα η Κίνα. Η Κίνα και ιδιαίτερα η βορειοδυτική πλευρά της, αντιμετωπίζει πρόβλημα καθώς δάση και καλλιεργούμενες εκτάσεις έχουν καταστραφεί από την όξινη βροχή.

Όπως φαίνεται και στα Γραφήματα 3 και 4 που απεικονίζουν τις εκπομπές του διοξειδίου του θείου και των οξειδίων του αζώτου σε παγκόσμια κλίμακα δείχνει ότι από το 2005 και μετά και με βάση τις εκτιμώμενες προβλέψεις για το 2010-2030, παρατηρείται μείωση στις εκπομπές της Ευρώπης και αύξηση στις ηπείρους της Ασίας και της Αφρικής, της Ωκεανίας και της Λατινικής Αμερικής. Αυτό, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οφείλεται στα μέτρα που έχει πάρει η Ε.Ε. για να περιορίσει τις εκπομπές

διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου και στην ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση της βιομηχανικής παραγωγής στις ηπείρους της Ασίας και της Αφρικής.

### Τρόποι αντιμετώπισης

- Τοποθέτηση ειδικών φίλτρων στις καμινάδες των εργοστασίων για να δεσμεύονται οι ρύποι, όπως το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου πριν απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα.
- Εξοικονόμηση ενέργειας κλείνοντας π.χ. τα φώτα όταν δεν τα χρειαζόμαστε.
- Περιορισμός των άσκοπων μετακινήσεων και χρήση μεταφορικών μέσων φιλικών προς το περιβάλλον.
- Χρησιμοποίηση καταλυτικών αυτοκινήτων.
- Η αποθείωση, δηλαδή η απομάκρυνση του θείου από καύσιμα που το περιέχουν.
- Προσθήκη βάσης, όπως το υδροξείδιο του ασβεστίου για να εξουδετερωθούν τα οξέα που βρίσκονται σε λίμνες, ποτάμια και εδάφη.
- Ο καθαρισμός του άνθρακα πριν την καύση του. Μπορεί να κονιορτοποιηθεί και να ρευστοποιηθεί. Στην συνέχεια πλένεται με νερό ή με ηλεκτροστατική διαδικασία για να απομακρυνθεί το θειάφι.

## Αναφορές

- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2012, Μάρτιος 25). Acid Rain. Available to <http://www.epa.gov/acidrain>.
- Όξινη βροχή. (2012, Μάρτιος 25). Διαθέσιμο στο [http://el.wikipedia.org/wiki/Όξινη\\_βροχή](http://el.wikipedia.org/wiki/Όξινη_βροχή).
- Η όξινη βροχή και τα προβλήματά της. (2012, Μάρτιος 25). Διαθέσιμο στο <http://www.e-telescope.gr/el/energy-and-environment/238-acid-rain>.
- Η δράση της όξινης βροχής. (2012, Μάρτιος 25). Διαθέσιμο στο [http://oikologiasos.blogspot.com/2009/10/blog-post\\_5739.html](http://oikologiasos.blogspot.com/2009/10/blog-post_5739.html) και <http://www.ecocrete.gr/index.php?option=content&task=view&id=1858>
- Παραδεισανός, Α. (2004). Το pH ως δείκτης ρύπανσης του περιβάλλοντος. Εργαστηριακές ασκήσεις για τις επιπτώσεις της όξινης βροχής. 2<sup>ο</sup> Πανελλήνιο συνέδριο ΠΕΕΚΠΕ, Ουρανούπολη, 15-17 Οκτωβρίου. Διαθέσιμο στο [http://kpe-kastor.kas.sch.gr/peekpe/text/sinedrio/l\\_sin\\_posters/14\\_Paradisanos.pdf](http://kpe-kastor.kas.sch.gr/peekpe/text/sinedrio/l_sin_posters/14_Paradisanos.pdf).