



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα **ΠΠ**

ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ
ΕΝΟΤΗΤΑ: **ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ
ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ**

ΟΝΟΜΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

ΤΜΗΜΑ: Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και
Φυσικών Πόρων

ΑΓΡΙΝΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

Λέκτορας

του Τμήματος Διαχείρισης
Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων

 2641074156

 afotiadi@upatras.gr

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

▪ Όξινη Εναπόθεση:

Μεταφορά, μέσω της ατμόσφαιρας, όξινων συστατικών σε μεγάλες αποστάσεις στην επιφάνεια της Γης

○ Ξηρά Εναπόθεση

- SO_2
- NO_2
- HNO_3
- Θειικά (S) άλατα
- H_2SO_4

○ Υγρή Εναπόθεση – Όξινη Βροχή

- Βροχή
- Χιόνι
- Χαλάζι
- Ομίχλη
- Πάχνη

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

■ Όξινη Βροχή:

Ασυνήθιστα ή αφύσικα υψηλό όξινο περιεχόμενο της βροχής

ο Αναφέρεται σε **ρύπους** οι οποίοι διαλυόμενοι στις **υδροσταγόνες** της βροχής δίνουν **ισχυρά όξινα** και **οξειδωτικά διαλύματα**

ο Τέτοιοι ρύποι είναι: **οξείδια του αζώτου (N)** και **του θείου (S)**

ο Η όξινη βροχή επιφέρει επιβλαβή αποτελέσματα σε:

- Οικοσυστήματα (χερσαία & Υδάτινα)
- Καλλιέργειες
- Πολιτιστικά μνημεία
- Περιουσιακά στοιχεία (π.χ. Κτίρια, αυτοκίνητα)

■ Όξινη Εναπόθεση:

- **Συνέπειες όξινης βροχής:** μεταβάλλει
 - την κατανομή των φυτικών οργανισμών
 - την κατανομή των υδρόβιων ειδών
 - την σύνθεση του εδάφους
 - το pH του νερού
 - το θρεπτικό περιεχόμενο του εδάφους & του νερού

- **Οι επιπτώσεις της όξινης εναπόθεσης** εξαρτώνται:
 - από την ποσότητα των όξινων συστατικών που δέχεται
 - από τα είδη που απαρτίζουν το οικοσύστημα (π.χ. δάσος)
 - τη σύσταση του εδάφους

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

▪ Όξινη Βροχή:

ο Μέτρο της οξύτητας: **pH**

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

ή

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

ο Η **φυσική** (καθαρή) **βροχή** χαρακτηρίζεται από: **pH = 5.6**
δηλ. έχει **όξινο χαρακτήρα** λόγω της διάλυσης σε αυτή συστατικών
της ατμόσφαιρας με όξινη συμπεριφορά π.χ. **CO₂**



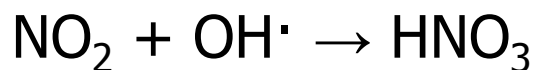
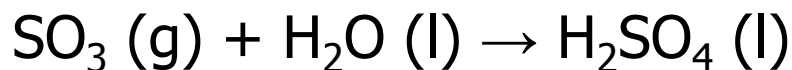
ο Το αποσταγμένο νερό έχει **pH = 7**

ο Η **όξινη βροχή** μπορεί να ποικίλει σε οξύτητα με τιμές του **pH**
που κυμαίνονται από **5.6** ως **~0**

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

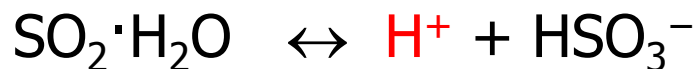
■ Όξινη Βροχή:

- ο Το pH της **φυσικής βροχής** αλλάζει κυρίως λόγω των οξέων: **H₂SO₄** & **HNO₃** που έχουν διαλυθεί στις υδροσταγόνες



- ο Τα **οξέα** διίστανται κατά τη διάλυσή τους στις υδροσταγόνες \Rightarrow

αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε **H⁺** \Rightarrow **μειώνοντας τις τιμές του pH**



- ο Στην τελική τιμή της οξύτητας (pH) συμμετέχουν και άλλοι παράγοντες
- ο Αν στις υδροσταγόνες περιέχονται ιόντα όπως: **Ca²⁺**, **Mg²⁺** & **NH₄⁺** τείνουν να εξουδετερώσουν τη δράση των οξέων **αυξάνοντας** το **pH** προς τις βασικές (αλκαλικές) τιμές

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

▪ Όξινη Βροχή - Επιπτώσεις:

▣ *Υδάτινα Οικοσυστήματα*

ο **Μείωση** των τιμών του **pH** των επιφανειακών υδάτων & αύξηση της συγκέντρωσης του αλουμινίου

ο Τιμές **pH < 5** ⇒

- Αυγά των ψαριών δεν μπορούν να εκκολαφθούν
- Νεογνά ψάρια είναι ευαίσθητα & μπορεί να εξαλειφθούν
- Σε ακόμη μικρές τιμές pH μπορεί να πεθάνουν & ενήλικα ψάρια
- Περιορίζεται η βιοποικιλότητα σε λίμνες & ποταμούς
- **pH < 4.8** ψάρια δεν μπορούν να αναπνεύσουν O_2 και ασφυκτιούν

ο Στις ΗΠΑ εκτιμάται ότι η όξινη βροχή συμβάλλει κατά 75% στην αύξηση της οξύτητας των λιμνών & κατά 50% στα τρεχούμενα ύδατα (ποταμοί)

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

■ Όξινη Βροχή - Επιπτώσεις:

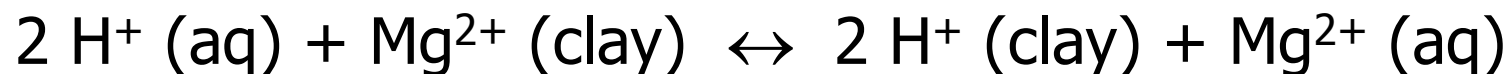
□ Έδαφος

- Η όξινη βροχή επηρεάζει την χημεία & τη βιολογία του εδάφους
- Αρκετά μικρόβια του εδάφους δεν μπορούν να αντεπεξέλθουν στη μείωση του pH και εξολοθρεύονται. Τα ένζυμά τους μεταβάλλονται λόγω της οξύτητας & δεν μπορούν πλέον να λειτουργήσουν
- Μεταβολή της τιμής του pH του εδάφους μπορεί να επιδράσει στην **κίνηση** & την **διηθητικότητα** σε αυτό σημαντικών μεταλλικών στοιχείων που εμπλέκονται στον κύκλο διατροφής των φυτών (π.χ. το έδαφος χάνει τη δυνατότητα παροχής ιχνοστοιχείων, **Ca²⁺**, **Mg²⁺** μεταβάλλοντας έτσι την ανθεκτικότητα των δέντρων)

■ Όξινη Βροχή - Επιπτώσεις:

□ Έδαφος

ο Τα ιόντα H^+ και H_3O^+ ενεργοποιούν τοξίνες όπως το αλουμίνιο (Al) και απομακρύνουν από το έδαφος λόγω διήθησης θρεπτικά συστατικά όπως τα: **Ca^{2+}** & **Mg^{2+}**



ο Η χημεία του εδάφους αλλάζει επίσης δραματικά λόγω της απομάκρυνσης των κατιόντων **Ca^{2+}** & **Mg^{2+}** επηρεάζοντας κυρίως ευαίσθητα είδη

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

■ Όξινη Βροχή - Επιπτώσεις:

- **Δάση - Βλάστηση:** εξαρτώνται από
 - την ποσότητα όξινων συστατικών που λαμβάνει το δάσος
 - τα είδη που απαρτίζουν το δασικό οικοσύστημα
 - την σύσταση του εδάφους

○ **Επιπτώσεις:**

- Άμεσες (εναπόθεση σταγόνων στο φύλλωμα)
- Έμμεσα λόγω όξυνσης του εδάφους



- Τα δάση μεγάλου υψομέτρου είναι ιδιαίτερα τρωτά καθώς περιβάλλονται συχνά από όξινη ομίχλη που είναι πιο όξινη από τη βροχή

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

▪ Όξινη Βροχή - Επιπτώσεις:

▣ Δάση - Βλάστηση

○ Όταν ένα **Δάσος** υπόκειται σε όξινη εναπόθεση, το φύλλωμα του αρχικά μπορεί να του παράσχει ικανοποιητική προστασία. Αυτό δεν είναι εφικτό όταν η ποσότητα των όξινων ουσιών είναι μεγάλη



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/da/Lobaria_pulmonaria_010108c.jpg

○ Οι επιπτώσεις της όξινης βροχής στις καλλιέργειες αντιμετωπίζονται με τη χρήση λιπασμάτων που αναπληρώνουν τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους ή εξουδετερώνουν τα οξέα του

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

▪ Όξινη Βροχή - Επιπτώσεις:

❑ *Δάση - Βλάστηση*

○ Όταν οι όξινες ουσίες φτάσουν στο έδαφος η επίδραση τους καθορίζεται από τη σύσταση του εδάφους (π.χ. εξουδετέρωση όξινων συστατικών)

○ Επίδραση των όξινων συστατικών στο σύστημα **έδαφος – δέντρο** & ο μη εφοδιασμός των δέντρων με θρεπτικά συστατικά μεταβάλλει την ικανότητα τους να αντιμετωπίσουν άλλες περιβαλλοντικές καταπονήσεις όπως:

- ξηρασία
- κρύο
- έντομα
- ρύποι (O₃)

○ **Αποτέλεσμα:** μερική ή συνολική καταστροφή των δέντρων

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

▪ Όξινη Βροχή - Επιπτώσεις:

□ Δάση - Βλάστηση

□ *Περιοχές που επηρεάστηκαν από την Όξινη Εναπόθεση:*

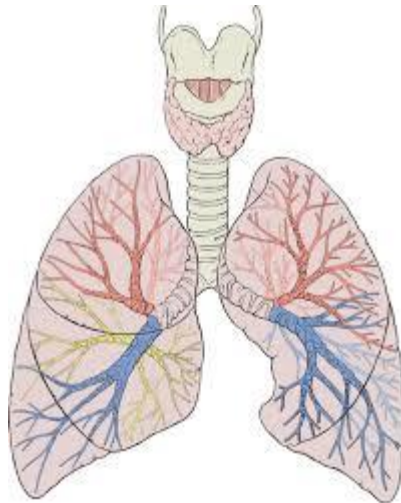
- Ανατολική περιφέρεια Νοτίου Αμερικής
- Περιοχές Βορείου Ευρώπης (κυρίως Σκανδιναβία)
- Ανατολικές περιοχές των ΗΠΑ

■ Όξινη Εναπόθεση - Επιπτώσεις:

□ *Ανθρώπινη Υγεία*

ο Οι επιστήμονες έχουν επιβεβαιώσει και άμεσες βλάβες στην ανθρώπινη υγεία:

ο Ειδικά η **ξηρά απόθεση** σωματιδίων (**aerosols** ειδικά τα **fine particles**) αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης ορισμένων μορφών **καρκίνου** (π.χ. **Πνευμόνων**) & επιβαρύνει την **αναπνευστική λειτουργία** με προδιάθεση **άσθματος**

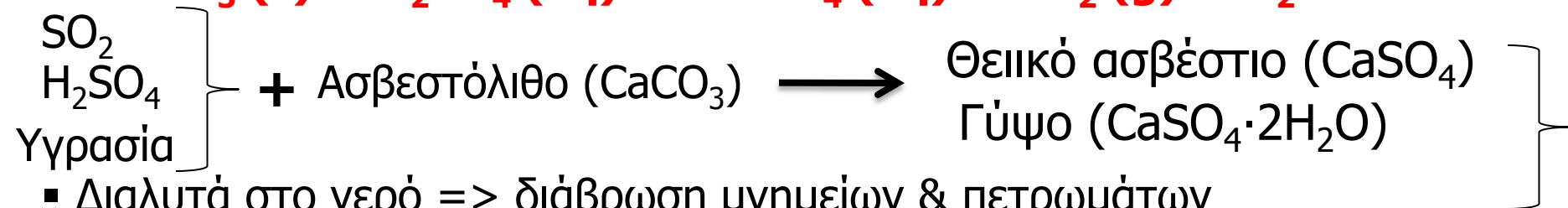


ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

□ Υλικά

○ Η όξινη βροχή προκαλεί επίσης ζημία σε ορισμένα οικοδομικά υλικά και ιδιαίτερα σε ιστορικά μνημεία, ειδικά τα πετρώματα ασβεστόλιθου & το μάρμαρο υψηλής περιεκτικότητας σε ασβέστιο

○ Αυτό συμβαίνει όταν το H_2SO_4 & SO_2 της όξινης βροχής αντιδρά χημικά με τις ενώσεις ασβεστίου στις πέτρες (ασβεστόλιθος, ψαμμίτης, μάρμαρο και γρανίτης) για να δημιουργήσει ευδιάλυτο και εύθρυπτο γύψο



- Διαλυτά στο νερό => διάβρωση μνημείων & πετρωμάτων
- CaSO_4 εισχωρεί στους πόρους του ασβεστόλιθου => στερεοποιείται & διογκώνεται => φθορές με τη μορφή ρωγμών & μηχανικής συνοχής του αντικειμένου

- Όξινη Βροχή - Επιπτώσεις:

- **Υλικά**

- Οι ενώσεις του άνθρακα (CO₂) με τη σειρά τους:



- Το ανθρακικό οξύ (H₂CO₃) μετατρέπει τον ασβεστόλιθο σε όξινο ανθρακικό άλας, το οποίο είναι υδατοδιαλυτό και μπορεί να απομακρυνθεί με τη βροχή προκαλώντας φθορά κυρίως σε μαρμάρινα έργα τέχνης
 - Η όξινη βροχή όμως διαβρώνει, οξειδώνει και τρυπά και μέταλλα (π.χ. οχήματα), ιδιαίτερα τον χαλκό & τον μπρούτζο, στα χρώματα (π.χ. το CaSO₄ καταστρέφει το χρώμα των αυτοκινήτων και υφάσματα
 - Το H₂S αντιδρά με χρωστικές ουσίες που έχουν μόλυβδο και τις καταστρέφει μέσω της αντίδρασης



ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

❑ *Επίδραση στην Πανίδα*

○ Τα ζώα γίνονται αποδέκτες των ατμοσφαιρικών ρύπων κυρίως μέσω της τροφικής αλυσίδας και δευτερευόντως με την εισπνοή

○ **Βαρέα Μέταλλα**

○ **Αρσενικό (As):** διάρροια, κωλικούς, αίμα στα κόπρανα, δυσάρεστη οσμή στην αναπνοή, κύρωση ήπατος & σπλίνδας, παρενέργειες στην αναπνοή (συγκέντρωση As_2O_3 10 mg/kg του ζώου)

○ **Υδράργυρος (Hg):** σημαντικά προβλήματα στα ψάρια και μέσω της τροφικής αλυσίδας περνάει στον άνθρωπο. ΗΠΑ: όριο Hg στα τρόφιμα: 0.5 mg Hg / kg

○ **Μόλυβδος (Pb):** παρενέργειες στο μυϊκό σύστημα των βοοειδών, άφρισμα στο στόμα, απώλεια δοντιών, παράλυση του λάρυγγα σε ποσότητες 25-50 mg / kg

τροφής
○ **Μολυβδαίνιο (Mo):** αδυναμία, διάρροια, αναιμία, ακαμψία & μεταβολή στο χρώμα του τριχώματος σε ποσότητες 230 mg / kg τροφής

○ Ενώσεις **φθορίου (F):** προσβάλλει τα βοοειδή (τα πουλερικά είναι πιο ανθεκτικά) με συμπτώματα στα δόντια και στα οστά του ζώου => δυσκαμψία & αναπηρία. Για να μειωθεί η δράση του F, εμπλουτίζονται οι τροφές με άλατα Al & Ca, τα οποία μειώνουν την τοξικότητα του F

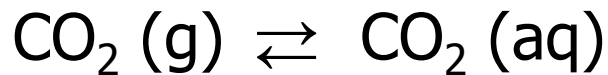
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

■ Φυσική όξινιση υδάτων

- Κάτω από φυσικές συνθήκες το pH των υδάτων καθορίζεται από την περιεκτικότητα τους σε CO₂ => συνεπώς η ισορροπία των ανθρακικών ενώσεων στο νερό (**ανθρακικό σύστημα**) καθορίζει το pH
- Υποθέτουμε ότι όλες οι καταστάσεις που θα θεωρήσουμε στη συνέχεια αναφέρονται στους **25°C**

A. Διάλυση του CO₂ στο νερό

(1)



- Σύμφωνα με τον νόμο του Henry η ισορροπία της αντίδρασης (1) καθορίζεται από τη σταθερά του Henry για το CO₂ K_{H,CO_2} και τη μερική πίεση του CO₂ στην ατμόσφαιρα p_{CO_2} :

$$[\text{CO}_2]_{\text{aq}} = K_{H,\text{CO}_2} \cdot p_{\text{CO}_2}$$

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΟΞΙΝΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

Β. Ιονισμός του διαλυμένου στο νερό CO_2 :



ο Η σταθερά ισορροπίας είναι:

$$K_{eq,1} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2(\text{aq})]} = 4.47 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$$

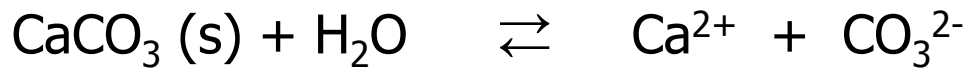
Γ. Περαιτέρω Ιονισμός του HCO_3^- :



ο Με σταθερά ισορροπίας:

$$K_{eq,2} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = 4.68 \times 10^{-11} \text{ mol/L}$$

Δ. Πιθανή επαφή του νερού με ασβεστολιθικά πετρώματα CaCO_3 :



ο Με σταθερά διάστασης του $\text{CaCO}_3(\text{s})$ ίση με:

$$K_s = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}] = 4.57 \times 10^{-9} \text{ mol} / \text{L}$$

* Ειδικά για την περίπτωση της όξινης βροχής θεωρούμε:

ο Δεν υπάρχει κάποια πηγή $\text{CaCO}_3(\text{s})$

ο Απουσία επαφής του νερού με το CO_2 της ατμόσφαιρας

ο Με βάση τις προηγούμενες εξισώσεις του «ανθρακικού συστήματος» έχουμε:

$$\frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = \frac{K_{eq,2}}{[\text{H}^+]} = \frac{4.68 \times 10^{-11}}{10^{-\text{pH}}} = 4,68 \times 10^{(\text{pH}-11)}$$

«Το υλικό της παρουσίασης προέρχεται από τις πανεπιστημιακές παραδόσεις της καθηγήτριας

Α. Φωτιάδη».

