

## Πρόταση εφαρμογής διδακτικού μοντέλου κατά το σχεδιασμό και την ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού και λογισμικού προσομοίωσης περιβαλλοντικής εκπαίδευσης. Η περίπτωση της όξινης βροχής.

Στούμπα Α., Παρκοσίδης Ι., Σκορδούλης Κ.

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Παν/μιο Αθηνών  
artemis.stoumpa@gmail.com, iparkosidis@gmail.com, kostas4skordoulis@gmail.com

Σε έναν κόσμο που διαρκώς μεταβάλλεται η περιβαλλοντική εκπαίδευση των μαθητών και φοιτητών-υποψηφίων δασκάλων δεν θα πρέπει να αρκείται μόνο στην ευαισθητοποίηση ή τη μηχανιστική αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων αλλά κυρίως να τους παρέχει την δυνατότητα να κατανοούν τον τρόπο που η σύγχρονη οικονομία, κοινωνία, επιστήμη και τεχνολογία δημιουργούν, εξηγούν και αντιμετωπίζουν τα προβλήματα αυτά. Με γνώμονα την παραπάνω θεμελιώδη διαπίστωση η παρούσα εργασία προτείνει τη μελέτη του περιβαλλοντικού προβλήματος της όξινης βροχής με βάση ένα διδακτικό μοντέλο, το οποίο εστιάζει αφενός στη σύνδεση των γεγονότων που πραγματοποιούνται στις διαφορετικού επιπέδου κλίμακες ανάλυσης, αφετέρου στο ιστορικο-κοινωνικό πλαίσιο που διαμορφώνεται από τον ανθρώπινο παράγοντα. Για την ανάπτυξη του εκπαιδευτικού σεναρίου που σχεδιάστηκε με βάση το παραπάνω διδακτικό μοντέλο αξιοποιήθηκαν οι δυνατότητες που προσφέρει η σύγχρονη υπολογιστική τεχνολογία των προσομοιώσεων.

### Εισαγωγή

Η εκπαίδευση των μαθητών και φοιτητών σε θέματα που αφορούν το περιβάλλον θα πρέπει να έχει ως βασικό προσανατολισμό τη δημιουργία πολιτών με οικολογική σκέψη (Gough, 2002) που θα είναι σε θέση όχι μόνο να αναγνωρίζουν και να αξιολογούν ως τέτοια τα περιβαλλοντικά προβλήματα, αλλά και να κρίνουν επιστημονικά επιχειρήματα, να κατανοούν το νόημα και την εμβέλεια επιστημονικών υποθέσεων και δεδομένων, να αναζητούν και να καταλήγουν στην επιστημονική γνώση της εποχής τους, να μετέχουν στον κοινωνικό διάλογο για την λήψη μέτρων φιλικών προς το περιβάλλον και, τέλος, να υποστηρίζουν ως εργαζόμενοι ή/και καταναλωτές ανάλογα μέτρα και πρακτικές (Anderson et al., 2006).

Άρα χρειάζεται να δημιουργηθεί μια νέα γενιά επιστημονικά και πολιτικά εγγράμματων φοιτητών – υποψήφιων δασκάλων που θα συμμετέχουν ενεργά στις κοινωνικές διεργασίες (Hodson, 2003) για τον επιπλέον λόγο ότι τα περιβαλλοντικά προβλήματα, όντας πολύπλοκα και πολυσύνθετα, δεν είναι δυνατό να κατανοηθούν και να αντιμετωπιστούν αποκλειστικά και μόνο με το εννοιολογικό πλαίσιο μιας φυσικής επιστήμης χωρίς τη διεπιστημονικότητα από πλευράς κοινωνικών επιστημών.

Γι' αυτό ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην αναζήτηση καινοτόμων διδακτικών πρακτικών που θα πρέπει να στοχεύουν στην πολυπρισματική μελέτη των περιβαλλοντικών φαινομένων και στις τρεις κλίμακες ανάλυσης, την μικροσκοπική, την μακροσκοπική και τη πολύ μεγάλη (large scale) κλίμακα (Anderson, 2007), χωρίς να παραγνωρίζουν τον ιστορικο-κοινωνικό παράγοντα δημιουργίας και διαμόρφωσής τους. Έτσι, για παράδειγμα, το περιβαλλοντικό πρόβλημα της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου λόγω της καύσης μεγάλων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων ερμηνεύεται μεν μέσω της χρήσης οντοτήτων και διεργασιών που συμβαίνουν τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε μοριακό, ιοντικό επίπεδο, κατανοείται δε εντός του πλαισίου οργάνωσης της παραγωγής των βιομηχανικών κοινωνιών.



Σύμφωνα με τις παραπάνω προκείμενες, η παρούσα εργασία προτείνει τη μελέτη περιβαλλοντικών προβλημάτων με βάση ένα διδακτικό μοντέλο το οποίο επιχειρεί τη σύνδεση των γεγονότων που πραγματοποιούνται στις διαφορετικού επιπέδου κλίμακες ανάλυσης, αναδεικνύοντας παράλληλα το διαμορφωτικό και ρυθμιστικό ρόλο του ανθρώπινου παράγοντα, κυρίως στο επίπεδο της μεγάλης κλίμακας. Το μοντέλο αυτό αποτέλεσε την πλατφόρμα ανάπτυξης του περιβαλλοντικού εκπαιδευτικού σεναρίου «Οξίνη Βροχή», το οποίο έχει ως βασικό στόχο να ενισχύσει τις προσπάθειες των φοιτητών - υποψήφιων δασκάλων να κατανοήσουν το φαινόμενο της όξινης βροχής, την αλληλεπίδρασή του με το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον και την εξέλιξη του προβλήματος σε Ελλάδα και Ευρώπη.

Η επιλογή για τη μελέτη και διδακτική προσέγγιση του προβλήματος της όξινης βροχής κρίνεται ενδεδειγμένη, καθώς το συγκεκριμένο πρόβλημα:

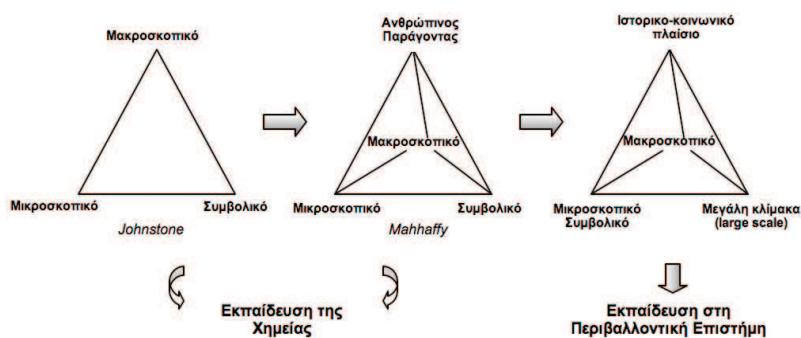
1. παρουσιάζει τοπικό ενδιαφέρον, καθώς προκάλεσε την υποβάθμιση μερικών, από τα σημαντικότερα σε παγκόσμιο επίπεδο, ελληνικών έργων τέχνης
2. αναδεικνύει τη δυνατότητα της επιστήμης και της τεχνολογίας να ερμηνεύει και να επιλύει αντίστοιχα προβλήματα, αλλά και τη σημασία της συνεργασίας των λαών πέρα από τα στενά κρατικά πλαίσια (Semb, 2001)
3. παραμένει ένα πρόβλημα αιχμής για χώρες με αναπτυσσόμενες οικονομίες δείχνοντας την ανάγκη μεταφοράς τεχνογνωσίας από τις ανεπτυγμένες προς τις αναπτυσσόμενες χώρες, προκειμένου να μην υποβαθμιστεί το φυσικό και πολιτισμικό περιβάλλον των περιοχών αυτών (Zhiling & Degang 2005, Larssen et al. 2006)
4. αποτελεί βασικό επιχείρημα τοπικών φορέων στον ελλαδικό και ευρωπαϊκό χώρο που αντιδρούν στα αναπτυξιακά σχέδια μεγάλων επιχειρήσεων με ρυπογόνα ενεργειακή πολιτική και αντι-οικολογικές πρακτικές.

### **Το διδακτικό μοντέλο**

Επειδή το πρόβλημα της όξινης βροχής, όπως τα περισσότερα περιβαλλοντικά προβλήματα, διαμορφώνεται και εξελίσσεται στη διάρκεια πολλών δεκαετιών, η διδακτική του προσέγγιση δεν μπορεί να μη συμπεριλάβει την ιστορική του διάσταση. Επίσης, με δεδομένο ότι το πρόβλημα εξελίσσεται σε μεγάλες αποστάσεις από την ατμόσφαιρα μέχρι τους πυθμένες των επιφανειακών υδάτων, γίνεται αντιληπτό ότι εξίσου σημαντική είναι και η ευρεία φυσική διάσταση. Βέβαια από το διδακτικό σχεδιασμό δεν μπορεί να απουσιάζει η ενδιάμεση κλίμακα, αυτή που αναφέρεται σε ό,τι είναι δυνατόν να παρατηρηθεί άμεσα από το φαινόμενο και που συνήθως αποκαλείται μακρο-κλίμακα. Όμως η εξήγηση της δημιουργίας της όξινης βροχής όσο και της αλληλεπίδρασης με το φυσικό αλλά και πολιτισμικό περιβάλλον ερμηνεύεται κυρίως σε μικρο-κλίμακα με τη βοήθεια της Χημείας.

Έτσι, σε φυσικό επίπεδο το φαινόμενο της όξινης βροχής μπορεί να μελετηθεί σε τρία (3) επίπεδα ανάλυσης: (α) Την πολύ μεγάλη διάσταση, από τα νέφη μέχρι τους πυθμένες των υδάτινων οικοσυστημάτων, το έδαφος των χερσαίων οικοσυστημάτων και το είδος του υπεδάφους που παίζει καθοριστικό ρόλο για την επίδραση της όξινης βροχής στο φυσικό περιβάλλον, (β) τη μεσαία κλίμακα, μακρο-κλίμακα, όπου παρατηρούνται μεταβολές στην οξύτητα και αλληλεπίδραση του όξινου νερού με φυτά, ζώα και ανθρώπινες κατασκευές και (γ) τη μικρο-κλίμακα, όπου η οξύτητα και η δράση των οξέων εξηγείται με χημικές αντιδράσεις σε μοριακό – ιοντικό επίπεδο. Σε αυτό το επίπεδο εξηγείται τόσο η έννοια της οξύτητας, όσο και η διαφορετική αλληλεπίδραση των οξέων με τα διαφορετικά υλικά αλλά και η καθοριστική σημασία της φύσης του υπεδάφους για την προστασία των οικοσυστημάτων. Σε ιστορικό και κοινωνικό επίπεδο η εξέλιξη του προβλήματος, στενά συνυφασμένη με την ιστορία της βιομηχανικής και οικονομικής ανάπτυξης, μπορεί να γίνει κατανοητή μόνο κατόπιν επαρκούς μελέτης των τριών φυσικών κλιμάκων.

Στην παρούσα εργασία, προκειμένου να μελετηθεί το πρόβλημα της όξινης βροχής συνδυαστικά και να αναλυθεί στη μικρο-, μακρο- και την πολύ μεγάλη κλίμακα, αλλά και να αναλυθεί το ιστορικό και κοινωνικό πλαίσιο δημιουργίας και διαμόρφωσης του φαινομένου, προτείνεται η αξιοποίηση από την «Εκπαίδευση στην Περιβαλλοντική Επιστήμη» των διδακτικών μοντέλων της «Εκπαίδευσης στη Χημεία» με τις αναγκαίες τροποποιήσεις. Κατ' αρχήν, από το μοντέλο του «επίπεδου τριγώνου» (Johnstone, 1993) που αναλύει με συνδυαστικό τρόπο το μακροσκοπικό, το μικροσκοπικό και το συμβολικό επίπεδο σκέψης προκύπτει το μοντέλο του «τετραέδρου» (Mahaffy, 2004) που, εκτός των παραπάνω, περιλαμβάνει και τον ανθρώπινο παράγοντα, στο πλαίσιο του οποίου η Χημεία βρίσκει το νόημα και την εφαρμογή της. Στη συνέχεια και προκειμένου να συμπεριληφθεί και η πολύ μεγάλη κλίμακα ανάλυσης (Anderson, 2007), το συμβολικό επίπεδο, στο τετράεδρο του Mahaffy, ενσωματώνεται στο μικροσκοπικό και ο ανθρώπινος παράγοντας εξειδικεύεται στην ιστορική και κοινωνική διάσταση του περιβαλλοντικού προβλήματος της όξινης βροχής (εικ. 1). Η ενσωμάτωση της συμβολικής με τη μικροσκοπική συνιστώσα θεωρείται απαραίτητη προκειμένου να εξυπηρετήσει και να διευκολύνει την εξήγηση και σύνδεση των όσων συμβαίνουν στις διαφορετικές κλίμακες, καθώς η συμβολική γλώσσα χρησιμοποιείται για τη μελέτη και ανάλυση των εξελίξεων στη μακροσκοπική και ευρεία κλίμακα και απαντάται συχνά σε κείμενα, διαγράμματα και άλλες πρωτότυπες πηγές που μαρτυρούν την ιστορική, κοινωνική και πολιτισμική ταυτότητα των περιβαλλοντικών προβλημάτων.



Εικ. 1: Από την εκπαίδευση στη Χημεία (σχ. Johnstone και Mahaffy) στην Εκπαίδευση στην Περιβαλλοντική Επιστήμη

Σε κάθε κορυφή του τελικού «τετραέδρου» αναλύονται τα παρακάτω:

- **Μακρο-επίπεδο:** Η χημική σύσταση της όξινης βροχής, η οξύτητά της και η αλληλεπίδραση οξέος/πετρώματος τόσο στην περίπτωση των ανθρώπινων κατασκευών, όσο και στην περίπτωση της αλληλεπίδρασης αποσαθρωμένου πετρώματος/οξέος μέσα στο έδαφος<sup>1</sup>.
- **Μικρο-επίπεδο:** Αναπαράσταση και ερμηνεία του μακρο-επιπέδου με μοριακά χημικά μοντέλα και δυναμικές διεργασίες - αντιδράσεις.

<sup>1</sup> Αυτή η αντίδραση, κατά την οποία το ασβεστολιθικό πέτρωμα αντιδρά με την όξινη βροχή εξουδετερώνοντας την οξύτητα της ενώ το πυριτικό έχει μικρή ρυθμιστική ικανότητα με αποτέλεσμα την οξίνιση των επιφανειακών υδάτων και τη μείωση του pH του εδάφους, έπαιξε σημαντικό ρόλο στην υποβάθμιση των αρχαίων μνημείων αλλά και στην προστασία οικοσυστημάτων στη χώρα μας και τον υπόλοιπο κόσμο. Με βάση αυτή την αντίδραση θεμελιώθηκε η έννοια «των κρίσιμων φορτίων», χάρη στην οποία ερμηνεύτηκε η δράση της όξινης βροχής σε ευαίσθητα οικοσυστήματα και η Ευρώπη χαρτογραφήθηκε σε ζώνες οικολογικά ευαίσθητες και λιγότερο ευαίσθητες στην όξινη ρύπανση. Τα όρια εκπομπών καθορίστηκαν με βάση α) την παραπάνω χαρτογράφηση και β) τα δεδομένα ανάπτυξης των διαφορετικών κρατών της Ευρώπης και βάσει αυτών θεμελιώθηκαν οι διεθνείς συμφωνίες και συνθήκες.



- Πολύ μεγάλο επίπεδο: Η διαφορετική αλληλεπίδραση της όξινης βροχής με διαφορετικά φυσικά και ανθρωπογενή περιβάλλοντα.
- Κοινωνικο-ιστορικό πλαίσιο: Η εξέλιξη του προβλήματος στην Αθήνα και την υπόλοιπη Ευρώπη. Συνιστώσες της ευρωπαϊκής κουλτούρας που επηρέασαν και επηρεάστηκαν από το πρόβλημα.

### Σχεδιασμός και ανάπτυξη εκπαιδευτικού σεναρίου

Το εκπαιδευτικό σενάριο «Οξίνη Βροχή» σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε υιοθετώντας τις βασικές αρχές που προτείνει ο Edelson (2007) για το σχεδιασμό περιβαλλοντικών προγραμμάτων. Έτσι, συνδυάζοντας τη διερευνητική μάθηση με ένα φάσμα παραδοσιακών και καινοτόμων, τεχνολογικά σύγχρονων, δραστηριοτήτων θέτει τους εκπαιδευόμενους στο ρόλο των επιστημόνων προκειμένου να μελετήσουν την περίπτωση του πραγματικού προβλήματος της όξινης βροχής.

Αρχικά διερευνάται η αλληλεπίδραση της όξινης βροχής με τα διαφορετικά πετρώματα και η σημασία της τόσο σε επίπεδο φυσικού όσο και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Η ανάλυση γίνεται στο, άμεσα προσεγγίσιμο από τους εκπαιδευόμενους, μακροσκοπικό επίπεδο με κλασικό πείραμα, τεχνική που θεωρείται η πιο κατάλληλη, αφού προσφέρει την αμεσότητα της εμπειρίας σε αυτό το επίπεδο ανάλυσης.

Τα βασικά ερωτήματα που καλούνται να διερευνήσουν οι εκπαιδευόμενοι είναι τα ακόλουθα:

1. Η φύση του πετρώματος αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αντοχή των πέτρινων κατασκευών στην όξινη ρύπανση;
2. Η φύση του πετρώματος σε ένα οικοσύστημα μπορεί να επηρεάσει την αλληλεπίδραση του οικοσυστήματος με την όξινη βροχή και με ποιο τρόπο;

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιούνται ασβεστολιθικά και πυριτικά υλικά που μπορούν εύκολα να βρεθούν, όπως κιμωλία, μαρμαρόσκονη, κοχύλια (από τη θάλασσα), πυριτική άμμος (υλικό για την κατασκευή κονιαμάτων) και γυαλί. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται οξύ (λευκό ξύδι 7 βαθμών), βάση (καθαριστικό τζαμιών), νερό (από τη βρύση και απεσταγμένο ή απιονισμένο) καθώς και λωρίδες πεχαμετρικού χαρτιού. Πριν την έναρξη του πειράματος διανέμονται φύλλα εργασίας για το σχεδιασμό του και την καταγραφή των υποθέσεων, των μετρήσεων και των συμπερασμάτων που προκύπτουν.

Αντίθετα, η διερεύνηση του φαινομένου στην πολύ μεγάλη κλίμακα δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί σε κλασικό εργαστήριο δεδομένου ότι το πρόβλημα εξελίσσεται σε οριζόντα δεκαετιών, και σε τεράστιες χωρικές διαστάσεις. Το ίδιο πρόβλημα προκύπτει και στην περίπτωση της ανάλυσης του φαινομένου σε μικροσκοπικό επίπεδο. Για το λόγο αυτό αξιοποιείται το εκπαιδευτικό λογισμικό «Οξίνη Βροχή» που κατασκευάστηκε ειδικά για να προσομοιώσει την δημιουργία και εξέλιξη του προβλήματος σε ημι-φυσικό (*semi-natural*) περιβάλλον, αρχικά χωρίς συνθήκες ρύπανσης και κατόπιν υπό την επίδραση της όξινης βροχής. Το περιβάλλον είναι ένα τοπίο - μοντέλο που περιλαμβάνει δασικό και υδάτινο οικοσύστημα (λίμνη), ένα εργοστάσιο και ένα άγαλμα. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να καθορίσει το υλικό κατασκευής του αγάλματος και να επιλέξει το βασικό πέτρωμα του υπεδάφους του τοπίου. Μετά τις παραπάνω επιλογές το τοπίο σχηματίζεται και εξελίσσεται υπό την επίδραση διαφορετικών καιρικών συνθηκών.

Αρχικά το εργοστάσιο δεν λειτουργεί, οπότε ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει την υγιή κατάσταση του καθαρού τοπίου – μοντέλου υπό διαφορετικές καιρικές συνθήκες, αλλά και να μελετήσει τις μακροσκοπικές ιδιότητες στα διάφορα συστατικά του μοντέλου. Μπορεί δηλαδή να μετράει την οξύτητα του χώματος, των νεφών, της λίμνης και της βροχής, το διοξείδιο του άνθρακα και τους ρύπους στον αέρα, να παρατηρεί το άγαλμα και τα φύλλα των δέντρων. Παράλληλα μπορεί να εστιάζει σε μοριακό επίπεδο παρατηρώντας δυναμικά μοριακά μοντέλα.

Κατόπιν το εργοστάσιο αρχίζει να λειτουργεί καίγοντας άνθρακα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο. Δεδομένου ότι ο αέρας της καύσης είναι πλούσιος σε άζωτο, τα καυσαέρια, εκτός από διοξείδιο του άνθρακα, είναι πλούσια σε οξείδια του θείου και του αζώτου. Έτσι, αυτά τα οξείδια ανιχνεύονται στην ατμόσφαιρα ενώ στα σύννεφα, τη βροχή και την ομίχλη μετριέται αυξημένη οξύτητα και ανιχνεύονται θειικά και νιτρικά ιόντα. Η οξύτητα του νερού που ρέει μέσα στο χώμα μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος του υπεδάφους και το ίδιο συμβαίνει και με το νερό της λίμνης. Η μεταβολή αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την σταδιακή καταστροφή του δάσους και του υδάτινου οικοσυστήματος όταν το μητρικό πέτρωμα είναι πυριτικό, ενώ εξισορροπείται γρήγορα με ελάχιστες μεταβολές στο οικοσύστημα όταν το μοντέλο έχει ασβεστολιθικό υπέδαφος. Σε μικροσκοπικό επίπεδο ο χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει με δυναμικές μοριακές αναπαραστάσεις τη σύσταση της όξινης βροχής και των όξινων νεφών, το σχηματισμό της όξινης βροχής, την αντίδραση οξέος – αποσαθρωμένου πετρώματος μέσα στο χώμα και την αλληλεπίδραση οξέος – πετρώματος στο άγαλμα.

Δίπλα από την κύρια οθόνη που υλοποιεί το τοπίο – μοντέλο, ένα βοηθητικό μενού δίνει στους φοιτητές τη δυνατότητα να ανατρέχουν σε οπτικοποιημένα βοηθήματα που περιλαμβάνουν βασικές και σχετικές με το πρόβλημα έννοιες από τη Χημεία και την Περιβαλλοντική Επιστήμη.

Αρχικά, με κατάλληλα φύλλα εργασίας, οι εκπαιδευόμενοι παροτρύνονται να δημιουργήσουν το δικό τους μοντέλο και να κάνουν τις παρατηρήσεις τους. Όταν ολοκληρώσουν τις παρατηρήσεις τους για το πώς εξελίσσεται το μοντέλο τους στην πολύ μεγάλη κλίμακα αλλά και για τη μεταβολή των φυσικοχημικών και βιολογικών δεικτών και ιδιοτήτων σε μακροσκοπική κλίμακα, καλούνται να συζητήσουν τα ευρήματά τους, να συγκρίνουν τις πορείες των τοπίων και να κάνουν υποθέσεις για τους λόγους που επηρέασαν την εξέλιξή τους. Στη συνέχεια οι εκπαιδευόμενοι καλούνται να εστιάσουν στον μικρόκοσμο και να προσπαθήσουν με τη βοήθεια εννοιών από αυτό το επίπεδο ανάλυσης να προσδιορίσουν το νόημα της οξύτητας, τη διαφορά στις οξύτητες της καθαρής και της όξινης βροχής και τον τρόπο που το οξύ αντιδρά με το ασβεστολιθικό πέτρωμα. Επίσης καλούνται να κάνουν υποθέσεις και να ερμηνεύσουν το ρόλο της παραπάνω αντίδρασης για το φυσικό και τεχνητό περιβάλλον. Τελικά συζητούν τις απόψεις τους και προχωρούν σε συγκρίσεις με τα συμπεράσματα που είχαν καταλήξει κατά τη διεξαγωγή του πειράματος (μακροσκοπική κλίμακα).

Στην περίπτωση διερεύνησης του ιστορικού και κοινωνικού πλαισίου θεωρήθηκε ως καταλληλότερη μέθοδος η χρήση αυθεντικών κειμένων, διαγραμμάτων και δυναμικών χαρτών που υπάρχουν σε επίσημες σελίδες φορέων και οργανισμών στο διαδίκτυο. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η εγκυρότητα της γνώσης συγκριτικά με τα παραδοσιακά σχολικά εγχειρίδια (Osborne & Hennessy, 2004), επιτυγχάνεται η διαθεματική προσέγγιση περιβαλλοντικών θεμάτων και προβάλλονται οι θέσεις και οι απόψεις της Εκπαίδευσης στην Περιβαλλοντική Επιστήμη. Εδώ οι εκπαιδευόμενοι καλούνται να ανατρέξουν και να μελετήσουν αποσπάσματα από δυο επίσημα κείμενα - εκθέσεις σχετικά με την πορεία της περιβαλλοντικής ρύπανσης (Semb 2001, Αδαμόπουλος 2006), που βρίσκονται στον ιστότοπο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Περιβάλλοντος το πρώτο και στον ιστότοπο του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας το δεύτερο, καθώς και ένα σχετικό βίντεο (AAE Movie) από την ιστοσελίδα του Εθνικού Ινστιτούτου για τη Δημόσια Υγεία και το Περιβάλλον της Ολλανδίας (RIVM)<sup>2</sup>.

Μέσα από τα κείμενα και το βίντεο οι εκπαιδευόμενοι - φοιτητές μελετούν τη διαχρονική εξέλιξη του προβλήματος της όξινης ρύπανσης και διερευνούν τους παράγοντες που οδήγησαν στην όξυνση του, το ρόλο που η επιστήμη έπαιξε στην ερμηνεία και επίλυση του προβλήματος αλλά και τον ρόλο που το ίδιο το πρόβλημα έπαιξε στην ανάπτυξη της επιστημονικής έρευνας και συνεργασίας.

2 Τα αποσπάσματα των κειμένων δίνονται στους φοιτητές και σε τυπωμένη μορφή και το αγγλικό κείμενο σε μετάφραση.



Το εκπαιδευτικό σενάριο που περιγράφεται παραπάνω υλοποιείται στο Εργαστήριο Διδακτικής και Επιστημολογίας Φυσικών Επιστημών και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών σε φοιτητές - υποψηφίους δασκάλους που παρακολουθούν το μάθημα «Φυσικές και Περιβαλλοντικές Επιστήμες: Μια Εργαστηριακή Προσέγγιση». Πριν την έναρξη της υλοποίησης οι φοιτητές συμπληρώνουν ένα ερωτηματολόγιο που ανιχνεύει προϋπάρχουσες ιδέες και γνώσεις σε σχέση με το προς μελέτη φαινόμενο. Η διδακτική πρόταση ολοκληρώνεται σε δυο τρίωρες συναντήσεις και ένα μήνα μετά οι φοιτητές συμπληρώνουν ένα επιπλέον ερωτηματολόγιο καθώς και ένα φύλλο εργασίας που ελέγχει τον περιβαλλοντικό γραμματισμό και την αποτελεσματικότητα της διδακτικής παρέμβασης. Όλα τα παραπάνω (φύλλα εργασίας και ερωτηματολόγια) αποτελούν τα ερευνητικά δεδομένα, προκειμένου να μελετηθεί πώς εξελίσσεται η μαθησιακή πορεία των φοιτητών καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης του εκπαιδευτικού σεναρίου.

### Διαμορφωτική αξιολόγηση

Η διδακτική πρόταση που περιγράφεται στην παρούσα εργασία αποτελεί το τελικό προϊόν τριών σταδίων διαμορφωτικής αξιολόγησης ενός εκπαιδευτικού υλικού που αρχικά προέβλεπε την προσέγγιση του προβλήματος της όξινης βροχής μόνο μέσω του εκπαιδευτικού λογισμικού «Όξινη Βροχή», το οποίο στις πρώτες φάσεις ανάπτυξης του αναπαρίστανε τη σταδιακή εξέλιξη ενός αστικού τοπίου – μοντέλου με ένα δάσος, μια λίμνη, ένα άγαλμα και ένα εργοστάσιο υπό την επίδραση της όξινης βροχής. Οι φοιτητές μπορούσαν να παρατηρούν αλλαγές που συμβαίνουν σε πολύ μεγάλη, χωρική και χρονική, κλίμακα και να κάνουν μετρήσεις φυσικοχημικών ιδιοτήτων, όπως η περιεκτικότητα του αέρα σε όξινους ρύπους και διοξείδιο του άνθρακα, το pH του νερού της λίμνης, η σύσταση του νερού της βροχής και των νεφών, η σύσταση των αερίων της καμινάδας. Επίσης τους δινόταν η ευκαιρία, μέσω μιας ειδικής οθόνης, να εστιάσουν στις διαδικασίες σχηματισμού της όξινης βροχής και της υποβάθμισης της πολιτισμικής κληρονομιάς σε μοριακή κλίμακα. Τέλος, μια σειρά βοηθητικών εργαλείων που παρείχε το πρόγραμμα έδινε στους φοιτητές την ευκαιρία να θυμηθούν έννοιες της επιστήμης που σχετίζονται με την ερμηνεία του φαινομένου, όπως οξύ, οξύτητα, pH (Στούμπα κ.ά., 2007).

Τα αποτελέσματα από την 1<sup>η</sup> πιλοτική εφαρμογή του λογισμικού στην πρώιμη αυτή φάση ανάπτυξης του σε ομάδα εξήντα (60) φοιτητών του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημ/κής Εκπ/σης του Παν/μίου Αθηνών έδειξαν μια σχετική δυσκολία των φοιτητών να περιγράψουν τις διεργασίες του μικρόκοσμου με τη συμβολική γλώσσα της Χημείας. Ακόμη ένα σημαντικό ποσοστό δεν μπορούσε να αναγνωρίσει τις ουσίες που ευθύνονται για το χαμηλό pH της όξινης βροχής από τη «χημική ανάλυση» της. Έτσι αποφασίστηκε το λογισμικό να βελτιωθεί ώστε να δίνεται η δυνατότητα στους φοιτητές να παρατηρούν τη μικροσκοπική δομή σημαντικών στοιχείων του τοπίου, όπως τα καθαρά και όξινα σύννεφα, την καθαρή και όξινη βροχή και τις ανθρώπινες κατασκευές. Επίσης, τα φύλλα εργασίας τροποποιήθηκαν ώστε να βοηθούν τους φοιτητές στην περιγραφή των χημικών φαινομένων, είτε με τη χρήση της γλώσσας της επιστήμης - χημικών τύπων και συμβόλων - είτε με τη χρήση της καθημερινής τους γλώσσας (Στούμπα & Σκορδούλης, 2008).

Στην β' φάση το εκπαιδευτικό υλικό εμπλουτίστηκε και με πείραμα. Έτσι δημιουργήθηκε μια νέα διδακτική προσέγγιση που αποτελούνταν από δύο βασικές δραστηριότητες: (α) δραστηριότητα διερεύνησης του φαινομένου της όξινης βροχής με τεχνικές κλασικού εργαστηρίου Χημείας και (β) δραστηριότητα διερεύνησης του προβλήματος μέσω εκπαιδευτικού λογισμικού. Ο βασικός σκοπός ήταν οι δυο δραστηριότητες να δράσουν συμπληρωματικά ως εξής:

- Διαδικασίες που περιλαμβάνονταν στο λογισμικό και ήταν δυνατό να αναπαραχθούν στο εργαστήριο να προσεγγιστούν διπλά: και μέσω του κλασικού πειράματος, ώστε οι φοιτητές να έχουν μια άμεση εμπειρία – αντίληψη, και μέσω του λογισμικού, ώστε οι φοιτητές να έχουν μια ολοκληρωμένη αντίληψη για το πώς οι διεργασίες αυτές εξελίσσονται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα και σε πολύ μεγάλες κλίμακες χώρου, όπως είναι το φυσικό περιβάλλον, αλλά και σε μικροσκοπική κλίμακα που ερμηνεύει τις διαδικασίες αυτές με τη γλώσσα της επιστήμης. Παράδειγμα τέτοιας διαδικασίας αποτελεί ο σχηματισμός του θεικού οξέος.
- Διαδικασίες που δεν είναι δυνατό να αναπαραχθούν στο εργαστήριο να μελετηθούν μέσω του λογισμικού, όπως για παράδειγμα η παραγωγή νιτρικού οξέος.
- Πτυχές του προβλήματος που δεν περιλαμβάνονταν στο λογισμικό και ήταν δυνατό να δοκιμαστούν στο κλασικό εργαστήριο να εισαχθούν στη διδακτική παρέμβαση μέσω κλασικού πειράματος. Η σημαντικότερη εξ αυτών είναι ο ρόλος του πετρώματος για την προστασία των χερσαίων οικοσυστημάτων και των επιφανειακών υδάτων από την οξίνιση (Στούμπα & Σκορδούλης, 2008).

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της 2<sup>ης</sup> πιλοτικής εφαρμογής φάνηκε ότι η διπλή διδακτική προσέγγιση διαδικασιών σημαντικών για την κατανόηση του φαινομένου είναι πιο αποδοτική, ενώ παράλληλα προέκυψε η ανάγκη βελτίωσης του λογισμικού ώστε να οπτικοποιεί, τόσο σε μικροσκοπική όσο και σε πολύ μεγάλη κλίμακα, το ρυθμιστικό ρόλο του πετρώματος για την προστασία του οικοσυστήματος (Στούμπα & Σκορδούλης, 2008).

Παράλληλα σε αυτή τη β' φάση διαμορφωτικής αξιολόγησης προέκυψε η αναγκαιότητα προσέγγισης του προβλήματος από την ιστορικό-κοινωνική σκοπιά, με αποτέλεσμα το λογισμικό, στην 3<sup>η</sup> φάση ανάπτυξής του, να εμπλουτιστεί με χάρτες και γραφήματα που αναπαριστούν την εξέλιξη της εκπομπής όξινων ρύπων στην ανεπτυγμένη Ευρώπη και την αναπτυσσόμενη Ασία. Επιπλέον προστέθηκαν χάρτες που παρουσιάζουν τα κρίσιμα φορτία οξύτητας των διαφορετικών περιοχών της Ευρώπης, τις υπερβάσεις των ορίων αυτών αλλά και των μεγαλύτερων πηγών όξινης ρύπανσης. Έτσι οι φοιτητές είχαν την ευκαιρία, μέσω αυτών των χαρτών, να μελετήσουν την ιστορική εξέλιξη του προβλήματος, να προβληματιστούν για τον τρόπο που η ρύπανση επηρεάζει οικοσυστήματα ευρύτερων περιοχών, αλλά και να παρατηρήσουν τον επιτυχή τρόπο που η οικονομικά ανεπτυγμένη Ευρώπη αντιμετώπισε την περιβαλλοντική υποβάθμιση κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών.

Τα αποτελέσματα της 3<sup>ης</sup> πιλοτικής εφαρμογής ήταν ενθαρρυντικά ως προς: (α) τον τρόπο με τον οποίο η διπλή - με κλασικό πείραμα και οπτικοποίηση – διδακτική προσέγγιση βοήθησε τους φοιτητές στην κατανόηση του τρόπου που παρόμοια οικοσυστήματα αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο στην όξινη ρύπανση και (β) την προσθήκη επιπλέον υλικού για την ενίσχυση της ιστορικο-κοινωνικής συνιστώσας στη μελέτη του προβλήματος της όξινης βροχής. Συγκεκριμένα από τους 47 φοιτητές που συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο πριν τη διδακτική παρέμβαση η πλειοψηφία θεωρεί ότι οικοσυστήματα με ασβεστολιθικό πέτρωμα είναι πιο ευαίσθητα στην όξινη προσβολή. Οι φοιτητές καταλήγουν σε αυτό το συμπέρασμα εκκινώντας από προϋπάρχουσα σχολική γνώση σχετικά με την αλληλεπίδραση του οξέος με τα ασβεστολιθικά πετρώματα, χωρίς όμως να είναι σε θέση να αξιολογήσουν τα πραγματικά αποτελέσματα αυτής της αλληλεπίδρασης στο φυσικό περιβάλλον (Stoumpa et al., 2008). Μετά τη διδακτική παρέμβαση, στην οποία έλαβαν μέρος τριάντα (30) φοιτητές, η συντριπτική πλειοψηφία από αυτούς (29 φοιτητές) γνώριζαν το πλεονέκτημα που το ασβεστολιθικό υπέδαφος προσφέρει για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος από την οξίνιση και το 50% (16 φοιτητές) ήταν σε θέση να περιγράψουν τον ευεργετικό ρόλο της αντίδρασης. Επιπλέον, οι φοιτητές στο σύνολό τους αναγνώρισαν στα φύλλα εργασίας τη θετική εξέλιξη του φαινομένου στην Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες, εν αντιθέσει με τις απόψεις που είχαν



εκφράσει τα ίδια υποκείμενα στα ερωτηματολόγια που συμπλήρωσαν πριν τη διδακτική παρέμβαση (Stoumpa et al., 2008). Ακόμα, οι φοιτητές έκαναν διάφορες υποθέσεις για τον τρόπο που η οικονομία, η τεχνολογική πρόοδος και η νομοθεσία επηρέασε την εξελικτική πορεία του φαινομένου της όξινης βροχής τόσο στην ανεπτυγμένη Ευρώπη όσο και στην αναπτυσσόμενη Ασία.

Λαμβάνοντας υπόψη τη θετική ανταπόκριση των φοιτητών για τη διερεύνηση του τρόπου εξέλιξης του προβλήματος της όξινης ρύπανσης και των αιτίων του, αποφασίστηκε ο περαιτέρω εμπλουτισμός του εκπαιδευτικού υλικού με κείμενα στο πλαίσιο μιας δραστηριότητας περιβαλλοντικού γραμματισμού, έτσι ώστε οι φοιτητές να προσεγγίσουν το περιβαλλοντικό πρόβλημα μέσα από πρωτότυπες πηγές κι όχι μόνο μέσω χαρτών και γραφημάτων στο περιβάλλον του λογισμικού. Παράλληλα, αποφασίστηκε το λογισμικό, στην τελική του έκδοση, να εστιάσει στην αλληλεπίδραση των πετρωμάτων με τα οξέα, αφενός γιατί η κατανόηση αυτής της αλληλεπίδρασης στάθηκε κρίσιμη, ιστορικά, για την εξέλιξη του προβλήματος, αφετέρου γιατί πρόκειται για διαδικασίες που μπορούν να αναπαραχθούν και στο κλασικό εργαστήριο, δίνοντας στους εκπαιδευόμενους την ευκαιρία διερεύνησης και μέσω πειράματος και μέσω λογισμικού.

Έτσι προέκυψε το τελικό εκπαιδευτικό υλικό, όπως περιγράφεται στην παρούσα εργασία.

### **Συμπεράσματα**

Σύμφωνα με τα πορίσματα της πρόσφατης διεθνούς εμπειρίας η Περιβαλλοντική Εκπαίδευση μαθητών και φοιτητών χρειάζεται να ειδωθεί ως «επιστημονικός γραμματισμός» ή καλύτερα «περιβαλλοντικός γραμματισμός». Η θεώρηση αυτή δεν μπορεί να επιτευχθεί με αποσπασματικές προσεγγίσεις στο πλαίσιο επιμέρους επιστημονικών πεδίων, όπως η Χημεία, η Φυσική ή/και η Βιολογία, αλλά με διεπιστημονικές συνδέσεις εννοιών και μοντέλων από τους παραπάνω επιστημονικούς κλάδους για την ερμηνεία, πρόβλεψη και εξήγηση πολύπλοκων φυσικών συστημάτων. Με τον τρόπο αυτό οι έννοιες πλαισιώνονται με καινούριο νόημα δημιουργώντας συνθήκες που καθιστούν την επιστήμη πιο ελκυστική (Gough 2002, Anderson et al. 2006, Edelson 2007).

Επιπλέον, τα περιβαλλοντικά προβλήματα αφορούν συστήματα, στα οποία σημαντικό ρόλο παίζει η ανθρώπινη παρέμβαση. Γι' αυτό, όταν μιλάμε για περιβαλλοντικό γραμματισμό ή Εκπαίδευση στην Περιβαλλοντική Επιστήμη εννοούμε απαραίτητα τη μελέτη της ανθρώπινης συνιστώσας στη διαμόρφωση του φυσικού περιβάλλοντος, όπως αυτή αποτυπώνεται διαχρονικά σε παγκόσμιο επίπεδο. Στην προσπάθεια να γίνει δυνατή μια τέτοια προσέγγιση, αξιοποιήθηκαν σχήματα από τη Διδακτική της επιστήμης της Χημείας αλλά και της Περιβαλλοντικής Επιστήμης και με τις κατάλληλες τροποποιήσεις προέκυψε ένα διδακτικό μοντέλο, στο οποίο το περιβαλλοντικό πρόβλημα της όξινης βροχής προσεγγίζεται εντός του ιστορικο-κοινωνικού πλαισίου δημιουργίας και εξέλιξης του μέσα από τη σύνδεση των γεγονότων που λαμβάνουν χώρα στις τρεις κλίμακες ανάλυσης, τη μικροσκοπική, τη μακροσκοπική και την πολύ μεγάλη κλίμακα. Με βάση αυτό το διδακτικό μοντέλο σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένα εκπαιδευτικό σενάριο, στο οποίο η μικροσκοπική και η πολύ μεγάλη διάσταση του φαινομένου της όξινης βροχής μελετώνται μέσω προσομοίωσης του φυσικού συστήματος σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, ενώ η ιστορικο-κοινωνική συνιστώσα δίνεται μέσω έγκυρων και επίκαιρων πηγών και αναπαραστάσεων στο διαδίκτυο.

Έτσι, χωρίς διόλου να παραγνωρίζεται η σημασία του κλασικού εργαστηρίου στην Περιβαλλοντική Εκπαίδευση των φοιτητών, γίνεται αντιληπτό ότι η εισαγωγή του εργαστηρίου με υπολογιστή είναι απαραίτητη προκειμένου οι εκπαιδευόμενοι να αποκτήσουν αναπαραστάσεις και εμπειρίες σε κλίμακες πέραν της άμεσα προσεγγίσιμης μακροσκοπικής, καθώς και δυνατότητα άμεσης, επίκαιρης και έγκυρης ενημέρωσης.



Η κύρια ερευνητική εφαρμογή του προτεινόμενου εκπαιδευτικού σεναρίου σε μεγαλύτερο δείγμα και με συγκριτικά δεδομένα από τα pre & post ερωτηματολόγια και τα φύλλα εργασίας θα αναδείξουν σημαντικά στοιχεία σχετικά με την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας του σε συνάρτηση με τα προσδοκώμενα μαθησιακά οφέλη.

### Βιβλιογραφία

Αδαμόπουλος Α., (2006), Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα, [http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/treatise/Ypexode\\_Adamopoulos.pdf](http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/treatise/Ypexode_Adamopoulos.pdf) (τελευταία προσπέλαση 23-03-2009)

Στούμπα Α., Χαλκίδης Α., Σκορδούλης Α. (2007). Σχεδιασμός εκπαιδευτικού λογισμικού για την όξινη βροχή, *Πρακτικά του 5ου πανελλήνιου συνεδρίου «Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση»*, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 15-18 Μαρτίου

Στούμπα Α., Σκορδούλης Κ. (2008). Μια Ολοκληρωμένη Διδακτική Προσέγγιση της Όξινης Βροχής, 4<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Π.Ε.ΕΚ.Π.Ε., Ναύπλιο, 12-14 Δεκεμβρίου

AAE Movie  
[http://www.mnp.nl/en/themasites/cce/data/critical\\_thresholds\\_and\\_their\\_exceedances/index.html](http://www.mnp.nl/en/themasites/cce/data/critical_thresholds_and_their_exceedances/index.html)  
(τελευταία προσπέλαση 23-03-2009)

Anderson C.W., (2007). Environmental literacy learning progressions available at <http://edr1.educ.msu.edu/EnvironmentalLit/publicsite/files/2007KSI/plenary/707KSIPlenaryEnvLit.pdf> (τελευταία προσπέλαση 23-03-2009)

Anderson C.W., Abdel-Kareem H., Chen J., Carolan A., Cho I.-Y., Covitt B., Foster A., Gallagher J., Gunckel K., Hawkins L. M., Jin H., Sharma A., Tsurusaki B., Wilson C., Zesaguli J. & Piety P., (2006). *Environmental literacy blueprint*, University of Michigan, available at <http://edr1.educ.msu.edu/EnvironmentalLit/publicsite/files/EstesParkMeeting/906EnvtFramework.doc> (τελευταία προσπέλαση 23-03-2009)

Edelson D., (2007). Environmental Science for All? Considering Environmental Science for Inclusion in the High School Core Curriculum Science Educator, 16 (1)

Gough A., (2002). Mutualism: A different agenda for environmental and science education, *International Journal of Science Education*, 24 (11), 1201-1215

Hodson D., (2003). Time for Action: Science Education for an Alternative Future, *International Journal of Science Education*, 25 (6), 645-670

Johnstone A. (1993). The Development of Chemistry Teaching, *Journal of Chemical Education*, 70 (9), 701-705

Larssen T., Lydersen E., Tang D., He Y., Gao J., Liu H., Duan L., Seip H., Vogt R., MuLder J., Shao M., Wang Y., Shang H., Zhang X., Solberg S., Aas W., Økland T., EiLerTsen O., Angel V., Liu Q., Zhao D., Xiang R., Xiao J., Luo J., (2006). Acid rain in China, *Environmental Science & Technology*, 40, 418-425

Mahaffy P., (2004). The future shape of chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 5 (3), 229-245

Menz F., Seip H., (2004). Acid rain in Europe and the United States: An update, *Environmental Science & Policy*, 7, 253-265

Osborne J., Hennessy S., (2004). FUTURELAB SERIES REPORT 6: Literature Review in Science Education and the Role of ICT: Promise, Problems and Future Directions.

Semb A., (2001). Sulphur dioxide: from protection of human lungs to remote lake restoration στο Environmental issue report No 22 [http://reports.eea.europa.eu/environmental\\_issue\\_report\\_2001\\_22/en](http://reports.eea.europa.eu/environmental_issue_report_2001_22/en) (τελευταία προσπέλαση 23-03-2009)



Zhiling H. & Degang Z., (2005). Acid rain damages statue (China Daily 04/19/2005 page3) available at [http://www.chinadaily.com.cn/english/doc/2005-04/19/content\\_435272.htm](http://www.chinadaily.com.cn/english/doc/2005-04/19/content_435272.htm) (τελευταία προσπέλαση 23-03-2009)