

ΜΕΛΕΤΗ ΑΛΚΟΟΛΙΚΗΣ ΖΥΜΩΣΗΣ

Μακρυνίτης Γεώργιος
Χημικός, υπεύθυνος Ε.Κ.Φ.Ε. Σύρου
ekfe@dide.kyk.sch.gr

Βαμβακούσης Χριστόφορος
Φυσικός, υπεύθυνος Ε.Κ.Φ.Ε. Θήρας
ecoxenia@san.forthnet.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία προτείνεται η χρήση του Συστήματος Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης (Σ.Σ.Λ.Α), Vernier LabPro, για τη μελέτη της επίδρασης της συγκέντρωσης του υποστρώματος στην ταχύτητα έναρξης της αλκοολικής ζύμωσης σε σταθερή θερμοκρασία.

Η ζύμωση πραγματοποιείται σε κοινική φιάλη βυθισμένη σε υδατόλουτρο. Χρησιμοποιούνται:

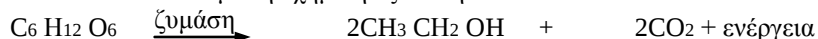
α) Ο αισθητήρας θερμοκρασίας, για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και β) Ο αισθητήρας πίεσης, για την καταγραφή των παραγόμενων ποσοτήτων CO₂. Σαν υπόστρωμα χρησιμοποιείται διάλυμα γλυκόζης 2-64 % w/v στο οποίο προστίθεται 1gr ξηράς ζύμης.

Το πείραμα πραγματοποιείται διαδοχικά με διαφορετικές συγκεντρώσεις υποστρώματος σε σταθερή θερμοκρασία και καταγράφονται οι παραγόμενες ποσότητες CO₂ σε χρόνο 600 sec. Η δυνατότητα λήψης μετρήσεων της πίεσης του CO₂ και της συγχρονικής απεικόνισής τους σε διαγράμματα πίεσης-χρόνου, που προσφέρει το σύστημα, επιτρέπει με την χρήση του ενσωματωμένου λογισμικού, τον γρήγορο υπολογισμό της ταχύτητας στα πρώτα στάδια της ζύμωσης, από την κλίση των αντίστοιχων γραφικών παραστάσεων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Σύστημα Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης, Αλκοολική Ζύμωση, Αισθητήρας Πίεσης, Θερμοκρασία, συγκέντρωση υποστρώματος, παραγωγή CO₂, Ταχύτητα Αντίδρασης, Ένζυμα, MBL

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Αλκοολική Ζύμωση είναι ένα περίπλοκο φαινόμενο με πολλά ενδιάμεσα στάδια που μπορεί συνοπτικά να αποδοθεί με την χημική εξίσωση:



Πρόκειται δηλαδή για την αναερόβια διάσπαση από το ένζυμο ζυμάση, απλών σακχάρων του τύπου C₆H₁₂O₆ (γλυκόζη, φρουκτόζη, γαλακτόζη) προς αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα κυρίως. (Σε μικρότερα ποσά μπορούν να παραχθούν: γλυκερίνη, ακεταλδεύδη, ηλεκτρικό οξύ και ανώτερες αλκοόλες).

Η ζυμάση είναι μίγμα πολλών ενζύμων και παράγεται από ζυμομύκητες ή σακχαρομύκητες του είδους *Sacharomyces cerevisiae*, κοινώς ζύμη ή μαγιά μύρας. Η ζύμη, εκτός της ζυμάσης, περιέχει και τα ένζυμα ιμπερτάση και μαλτάση. Η ιμπερτάση καταλύει το δισακχαρίτη καλαμοσάκχαρο (ζάχαρη) προς ισομοριακό μίγμα γλυκόζης και φρουκτόζης (Μητσιάδης Σ. 1994). Έτσι το προτεινόμενο πείραμα μπορεί να πραγματοποιηθεί και με διάλυμα ζάχαρης.

Αναφορές στην αλκοολική ζύμωση συναντώνται στα σχολικά εγχειρίδια Χημείας και Βιολογίας όλων σχεδόν των βαθμίδων της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στα κεφάλαια των αλκοολών, της χημικής κινητικής, της αναερόβιας αναπνοής και της δράσης των ενζύμων.

Πιο συγκεκριμένα η αλκοολική ζύμωση αναφέρεται:

Στη Βιολογία Α΄ Γυμνασίου (Α. Καστορίνης κ.ά 1998) στο κεφάλαιο: Αναπνοή στους μύκητες.

Στη Χημεία Γ΄ Γυμνασίου (Γεωργιάδου Τ. κ.ά 1998) στο κεφάλαιο: Αιθανόλη – Ζυμώσεις.

Στη Βιολογία Γ΄ Γυμνασίου (Ανδριώτης Μ. κ.ά 2000) στο κεφάλαιο: Οι μύκητες.

Στη Χημεία Β' Λυκείου Γενικής Παιδείας (Λιοδάκης Σ. κ.ά 2000) στο κεφάλαιο: Αλκοόλες – Φαινόλες.

Στη Χημεία Β' Λυκείου Θετικής Κατεύθυνσης (Λιοδάκης Σ. κ.ά 2000) στο κεφάλαιο: Χημική Κινητική.

Στη Χημεία Β' Τάξης 1^{ου} Κύκλου των Τ.Ε.Ε. (Πεπόνης Γ. κ.ά 2000) στο κεφάλαιο: Αλκοόλες – Οξέα.

Στη Βιολογία Γενικής Παιδείας Β' Τάξης Ε.Λ. (Καψάλης Α. κ.ά 2000) στα κεφάλαια: Κυτταρική Αναπνοή – Ένζυμα – Βιολογικοί Καταλύτες.

Στη Βιολογία Θετικής Κατεύθυνσης Γ' Τάξης Ε.Λ. (Αλεπόρου - Μαρίνου Β. κ.ά 2000) στα κεφάλαια: Εφαρμογές στη Βιομηχανία – Αρχές και Μεθοδολογία της Βιοτεχνολογίας.

Παρατηρούμε ότι η αλκοολική ζύμωση, πέραν της ιδιαίτερης βιολογικής, χημικής και χρηστικής σημασίας που παρουσιάζει, προσφέρει, με την εισαγωγή της στην διδασκαλία, πολλαπλές ευκαιρίες για την πειραματική εξάσκηση των μαθητών σε θέματα που αφορούν: α) Τη χημική κινητική της και τους παράγοντες που την επηρεάζουν (συγκέντρωση υποστρώματος, θερμοκρασία, Ρh, ποσότητα καταλύτη). β) Τη βιοκαταλυτική δράση των ενζύμων. γ) Την παραγωγή και ταυτοποίηση των προϊόντων της.

Η πειραματική προσέγγιση της αλκοολικής ζύμωσης προτείνεται σε ορισμένους εργαστηριακούς οδηγούς οι οποίοι συνοδεύουν τα σχολικά εγχειρίδια με τους παρακάτω τρόπους:

α) Στον Εργαστηριακό Οδηγό Χημείας Γ' Γυμνασίου (Γεωργιάδου Τ. κ.ά 2000, 7^η Εργαστηριακή άσκηση –Πείραμα 1^ο) προτείνεται η παρασκευή αιθανόλης από σταφίδες με ζύμωση σε θερμοκρασία 20°C - 30°C.

β) Στον Εργαστηριακό Οδηγό Βιολογίας Γ' Γυμνασίου (Ανδριώτης Μ. κ.ά 1999 – Άσκηση 10) προτείνεται η παρασκευή ψωμιού με ζύμωση στους 40°C.

γ) Στον Εργαστηριακό Οδηγό Χημείας Β' Λυκείου Γενικής Παιδείας (Λιοδάκης Σ. κ.ά. 2001- Εργαστηριακή Άσκηση 1) καθώς και στον Εργαστηριακό Οδηγό Βιολογίας Β' Λυκείου Γενικής Παιδείας (Καψάλης Α. κ.ά. 2001 - Άσκηση 10), προτείνεται η παραγωγή αιθανόλης από ζύμωση διαλύματος ζάχαρης ή γλυκόζης σε ζεστό δωμάτιο και έλεγχος της προόδου της ζύμωσης με διάλυμα Ca(OH)₂.

δ) Στον Εργαστηριακό Οδηγό Βιολογίας Θετικής Κατεύθυνσης Γ' Τάξης Ε.Λ. (Αλεπόρου - Μαρίνου Β. κ.ά 2000, Εργαστηριακή Άσκηση 5) εξετάζεται η ανάπτυξη ζυμομυκήτων στην μαγιά σε θερμοκρασίες 0°C, περιβάλλοντος, 35°C, 45°C, 70°C με μέτρηση της μεταβολής του όγκου της ζύμης.

ε) Στο εγχειρίδιο Χρήσης MultiLog (1999), προτείνεται μελέτη της επίδρασης των μεταβολών του pH στην παραγωγή του CO₂ στα πρώτα στάδια της ζύμωσης.

Η παρούσα πειραματική προσέγγιση αξιοποιεί τις δυνατότητες του MBL (Microcomputer Based Labs), Vernier LabPro, με το οποίο πρόσφατα εφοδιάστηκαν 14 εργαστήρια Φ.Ε. στις Κυκλάδες, για τη μελέτη της επίδρασης της συγκέντρωσης του υποστρώματος στην ταχύτητα έναρξης της αλκοολικής ζύμωσης.

Τα MBL επιτρέπουν την πραγματοποίηση ποσοτικών πειραμάτων με δυνατότητα μέτρησης και απεικόνισης, σε πραγματικό χρόνο, διαφορετικών και γρήγορα μεταβαλλόμενων παραμέτρων. Επιπλέον η μαθηματική επεξεργασία μπορεί να γίνει σε πολύ μικρό χρόνο, χάρις στο ενσωματωμένο λογισμικό.

Η χρήση των MBL έχει προταθεί για την πραγματοποίηση πειραμάτων χημικής κινητικής (Ρούμελης Ν. 2003), για την εκτέλεση πειραμάτων στα οποία παράγονται αέρια (Καλογερόπουλος Ν. κ.α. 2004) και σε πλήθος άλλων πειραμάτων, με σαφή παιδαγωγικά πλεονεκτήματα έναντι των

κλασσικών διατάξεων και τη χρήση λογισμικών προσομοίωσης. (Καλογερόπουλος Ν. κ.α. 2002), (Δημητρακοπούλου Α. 1999), (Βαμβακούσης Χ. κ.α. 2003), (Καλκάνης Θ. 2003).

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΟΡΓΑΝΑ-ΣΥΣΚΕΥΕΣ - ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

- Σύστημα συγχρονικής λήψης και απεικόνισης με αισθητήρες πίεσης και θερμοκρασίας (Χρησιμοποιήθηκε το σύστημα της Vernier το οποίο διαθέτουν 14 σύγχρονα εργαστήρια στα Λύκεια του νομού Κυκλάδων, τα οποία εξοπλίστηκαν από το ΠΕΠ Νοτίου Αιγαίου).
- Υδατόλουτρο
- Ζυγός
- Κωνική φιάλη κενού με ανθεκτικά τοιχώματα των 250 ml
- Ελαστικός σωλήνας εσωτερικής διαμέτρου 4-5 mm (2 τεμάχια μήκους 6 cm)
- Τρίοδη βάνα ιατρικών μεταγίσεων
- Διάλυμα γλυκόζης 64%
- Ξηρή μαγιά

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

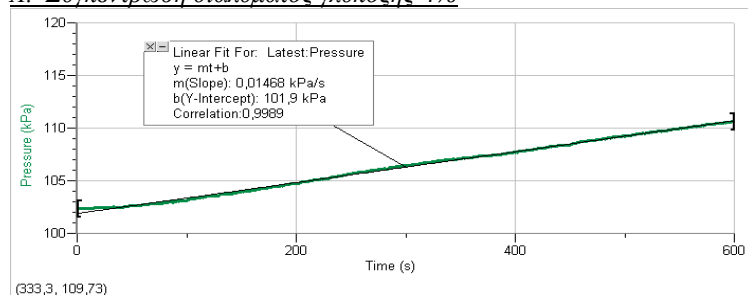
Στο σωλήνα (ακροφύσιο) της φιάλης κενού συνδέουμε με ελαστικούς σωλήνες την τρίοδη βάνα και τον αισθητήρα πίεσης, ενώ στο ελαστικό πώμα της φιάλης προσαρμόζουμε τον αισθητήρα της θερμοκρασίας. Συνδέουμε το Σ.Σ.Λ.Α με τον υπολογιστή και ρυθμίζουμε ρυθμό δειγματοληψίας (rate): 1/sec και αριθμό μετρήσεων (samples): 600.

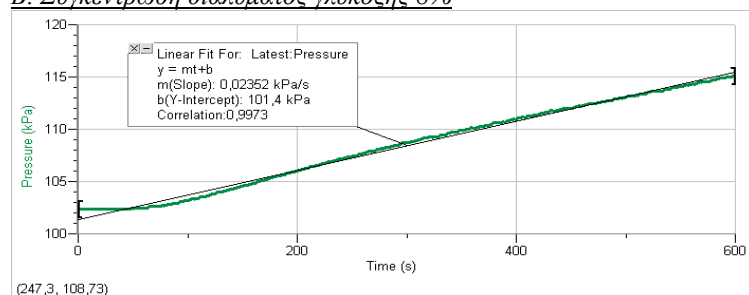
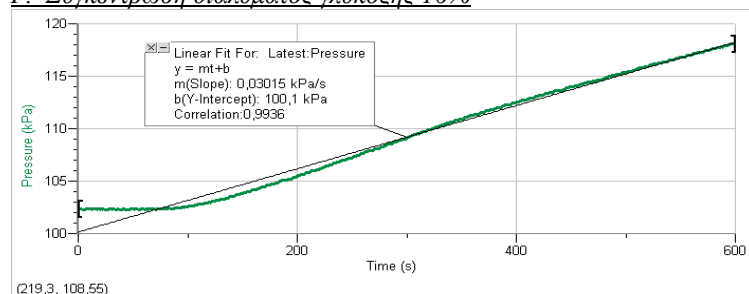
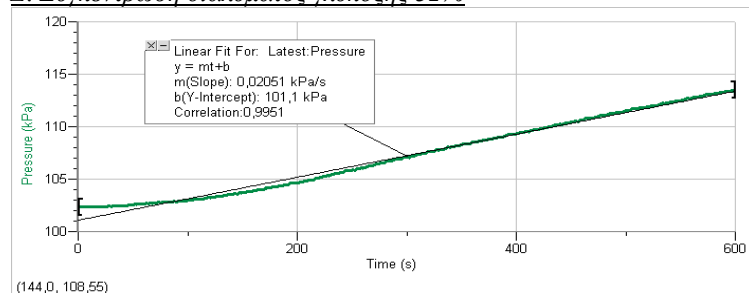
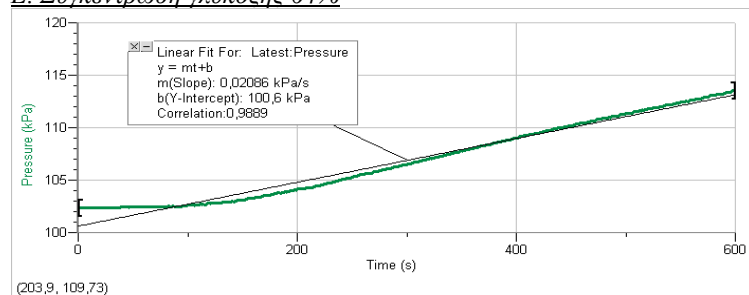
Ρυθμίζουμε το υδατόλουτρο στους 40° C. Στη φιάλη κενού προσθέτουμε 200 ml διαλύματος γλυκόζης 4% (αραιώνοντας το αρχικό διάλυμα) και την τοποθετούμε στο υδατόλουτρο. Όταν η θερμοκρασία του διαλύματος εξισορροπηθεί με αυτή του υδατόλουτρου και σταθεροποιηθεί προσθέτουμε 1 gr ξηρής μαγιάς, τοποθετούμε το πώμα με τον αισθητήρα της θερμοκρασίας, ανακατεύουμε το μίγμα ώστε να γίνει ομογενές και ενεργοποιούμε το σύστημα. Μόλις ολοκληρωθούν οι μετρήσεις αποθηκεύουμε τα διαγράμματα θερμοκρασίας-χρόνου και πίεσης-χρόνου. Επαναλαμβάνουμε το πείραμα με διαφορετικές συγκεντρώσεις γλυκόζης 4- 64%.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑ

Παρατίθενται τα διαγράμματα πέντε πειραμάτων με διαφορετικές συγκεντρώσεις υποστρώματος γλυκόζης (4%, 8%, 16%, 32% και 64%) σε θερμοκρασία 40° C.

Α. Συγκέντρωση διαλύματος γλυκόζης 4%



Β. Συγκέντρωση διαλύματος γλυκόζης 8%**Γ. Συγκέντρωση διαλύματος γλυκόζης 16%****Δ. Συγκέντρωση διαλύματος γλυκόζης 32%****Ε. Συγκέντρωση γλυκόζης 64%**

Από τα παραπάνω πειραματικά αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι η αντίδραση εξελίσσεται με μεγαλύτερη ταχύτητα σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υποστρώματος σε σταθερή θερμοκρασία.

(για συγκεντρώσεις από 4% έως 16%) ενώ για πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις η ταχύτητα δεν αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος της γλυκόζης.

Συμπεράσματα

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων με το λογισμικό του Vernier LabPro έδωσε τις εξής “ταχύτητες αντίδρασης” για τα πρώτα 600 sec ζύμωσης:

1. Διάλυμα γλυκόζης 4% : ταχύτητα αντίδρασης $14,68 \cdot 10^{-3}$ kPa/sec
2. Διάλυμα γλυκόζης 8% : ταχύτητα αντίδρασης $23,52 \cdot 10^{-3}$ kPa/sec
3. Διάλυμα γλυκόζης 16% : ταχύτητα αντίδρασης $31,15 \cdot 10^{-3}$ kPa/sec
4. Διάλυμα γλυκόζης 32% : ταχύτητα αντίδρασης $20,51 \cdot 10^{-3}$ kPa/sec
5. Διάλυμα γλυκόζης 64% : ταχύτητα αντίδρασης $20,86 \cdot 10^{-3}$ kPa/sec

Οι μετρήσεις επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι «η αύξηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος οδηγεί συνήθως σε αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης» καθώς και ότι, «από ένα σημείο και πέρα όμως, περισσότερα μόρια υποστρώματος δεν οδηγούν σε μεγαλύτερη ταχύτητα αντίδρασης. Αυτό οφείλεται στην πλήρη κάλυψη από το υπόστρωμα του ενεργού κέντρου των διαθέσιμων μορίων του ενζύμου.» [Καψάλης Α. κ.ά. (2004), Βιολογία γενικής παιδείας Β΄ τάξης ενιαίου λυκείου, σελ. 85].

Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι η ιδιαιτερότητα της αλκοολικής ζύμωσης έγκειται στο γεγονός ότι καταλύεται από ένζυμα, τα οποία παράγονται από τους σακχαρομύκητες κατά την διάρκεια της πέψης των σακχάρων στο εσωτερικό των κυττάρων τους. Οι σακχαρομύκητες, σαν ζωντανοί οργανισμοί, αναπαράγονται (διαιρούνται) με μέσο χρόνο διπλασιασμού 2h. Αν σκεφτούμε ότι 1gr μαγιάς περιέχει περίπου $2 \cdot 10^{10}$ κύτταρα ζυμομύκητα, αντιλαμβανόμαστε ότι στην περίπτωση της “αντίδρασης” της αλκοολικής ζύμωσης, τα “αντιδρώντα” αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου σε αντίθεση με τις συνήθεις αντιδράσεις. Στην ουσία τα αποτελέσματα του ρυθμού παραγωγής του CO₂ που μετρώνται καταγράφουν την μεταβολική και αναπαραγωγική δραστηριότητα των σακχαρομυκήτων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το σύστημα Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης αποδεικνύεται χρήσιμη διάταξη για την πειραματική προσέγγιση πολυπαραμετρικών φαινομένων όπως οι ζυμώσεις. Με την ίδια διάταξη θα μπορούσε να μελετηθεί η επίδραση πλήθους άλλων παραγόντων στην εξέλιξη της διαδικασίας της ζύμωσης, όπως αυτών της θερμοκρασίας, του pH και της ποσότητας ζύμης.

Η προτεινόμενη πειραματική διαδικασία θα μπορούσε να προστεθεί στο υποστηρικτικό υλικό, για την αξιοποίηση των Σ.Σ.Λ.Α. τα οποία ήδη υπάρχουν στα εργαστήρια των Ενιαίων Λυκείων, με χαμηλό όμως ποσοστό χρήσης, όπως διαπιστώθηκε σε προηγούμενη έρευνα (Βαμβακούσης Χ. κ.ά. 2003).

Τέλος, το φαινόμενο των ζυμώσεων προσφέρεται για διαθεματικές δραστηριότητες μια και σε αυτό τίγονται θέματα Χημείας (χημική κινητική), Βιολογίας (ένζυμα, αναερόβια αναπνοή), Οικιακής οικονομίας (παρασκευή κρασιού, μπύρας, γιαουρτιού, ψωμιού).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αλεπόρου – Μαρίνου Β., Αργυροκαστρίτης Α., Κομητοπούλου Α., Πιαλόγλου Π., (2000), Εργαστηριακός Οδηγός Βιολογίας Θετικής Κατεύθυνσης Γ΄ Τάξης Ε.Λ., Βιβλίο ΟΕΔΒ, Αθήνα.

2. Αλεπόρου – Μαρίνου Β., Αργυροκαστρίτης Α., Κομητοπούλου Α., Πιαλόγλου Π., Σγουρίτσα Β., (2002), Βιολογία Θετικής Κατεύθυνσης Γ' Τάξης Ε.Λ., Βιβλίο ΟΕΔΒ, Αθήνα.
3. Ανδριώτης Μ., Γεωργούλη – Μαρκάκη Λ., Γκουβρά Μ., Κατσώρχης Θ., Παυλίδης Γ. (1999), Εργαστηριακός Οδηγός Βιολογίας Γ' Γυμνασίου, Βιβλίο ΟΕΔΒ, Αθήνα.
4. Ανδριώτης Μ., Γεωργούλη – Μαρκάκη Λ., Γκουβρά Μ., Κατσώρχης Θ., Παυλίδης Γ. (2000), Βιολογία Γ' Γυμνασίου, Βιβλίο ΟΕΔΒ, Αθήνα.
5. Βαμβακούσης Χ., Μακρυωνίτης Γ. (2003). Σύστημα συγχρονικής λήψης και απεικόνισης. Ένας χρόνος παρουσίας στα εργαστήρια Φ.Ε. των Ενιαίων Λυκείων. 2ο Πανελ. Συνέδριο για την Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στη Διδακτική Πράξη, Ερμούπολη, Τόμος Α', σελ 529-538.
6. Γεωργιάδου Τ., Καφετζόπουλος Κ., Προβής Ν., Σπυρέλλης Ν., Χηνιάδης Δ. (1998), Χημεία Γ' Γυμνασίου, Βιβλίο ΟΕΔΒ, Αθήνα.
7. Γεωργιάδου Τ., Καφετζόπουλος Κ., Προβής Ν., Σπυρέλλης Ν., Χηνιάδης Δ. (2000), Εργαστηριακός Οδηγός Χημείας Γ' Γυμνασίου, Βιβλίο ΟΕΔΒ, Αθήνα.
8. Δημητράκοπούλου Α. (1999). Οι εκπαιδευτικές εφαρμογές των τεχνολογιών της πληροφορίας στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών: Τι προσφέρουν και πως τις αξιοποιούμε. Επιθεώρηση Φυσικής, Τόμος Η', Νο 30, σελ. 48-58.
9. Εγχειρίδιο Χρήσης MultiLog (1999), Οδηγίες χρήσης και πειράματα MultiLog – Σύστημα Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης, σελ 163-167, *α-LAB Αμαξοτεχνική ΑΕΒΕ*, Θεσσαλονίκη.
10. Καλκάνης Θ. (2003). Επιστημονικό Συμπόσιο: Αναδραστική λειτουργία προσομοιώσεων και εργαστηριακών πειραμάτων με διασύνδεση ηλεκτρονικού υπολογιστή, στην εκπαιδευτική διαδικασία των Φ.Ε Προτάσεις και αξιολόγηση εφαρμογών. 8^ο Κοινό Συνέδριο Ε.Ε.Φ. - Ε.Κ.Φ. Καλαμάτα.
11. Καλογερόπουλος Ν., Γάτσιος Γ. (2004). Διάταξη για την μελέτη χημικών αντιδράσεων στις οποίες παράγονται αέρια. Ημερίδα: «Διδασκαλία των φυσικών Επιστημών. Η χρήση των νέων τεχνολογιών στην Εκπαίδευση», Νίκαια, 24/4/2004 και <http://www.e-yliko.gr/epimorf/EKFE/EKFE.HTM>
12. Καλογερόπουλος Ν. & Καρατζάς Χ. (2002), Πραγματικό ή Εικονικό Εργαστήριο; Η περίπτωση της ογκομετρικής ανάλυσης στη Χημεία, 2η Διημερίδα για την Ενδοσχολική Επιμόρφωση στις Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας, που διοργάνωσε το ΥΠΕΠΘ στη Θεσσαλονίκη, 25-26/4/2002 και <http://www.e-yliko.gr/physArt.htm> - Εκπαιδευτική Πύλη ΥΠΕΠΘ-Άρθρα, Αθήνα
13. Καστορίνης Α., Κατσώρχης Θ., Μουντζούρη Μανούσου Ε., Παυλίδης Γ., Περάκη Β., Σπαναδέλη – Κολόκα Αικ. (1998) Βιολογία Α' Γυμνασίου, ΟΕΔΒ, Αθήνα.
14. Καψάλης Α., Μπουρμπουχάκης Ι.Ε., Περάκη Β., Σαλαμαστράκης Σ. (2000), Βιολογία Γενικής Παιδείας Β' Τάξης Ε.Λ., Βιβλίο ΟΕΔΒ, Αθήνα.
15. Καψάλης Α., Μπουρμπουχάκης Ι.Ε., Περάκη Β., Σαλαμαστράκης Σ. (2001) Οδηγός Εργαστηριακών Ασκήσεων Βιολογίας Γενικής Παιδείας Β' Τάξης Ε.Λ., ΟΕΔΒ, Αθήνα.
16. Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Π., Κάλλης Α. (1999), Χημεία Β' Λυκείου Γενικής Παιδείας, Βιβλίο ΟΕΔΒ, Αθήνα.
17. Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Π., Θεοδωρόπουλος Δ., Κάλλης Α. (1999), Χημεία Β' Λυκείου Θετικής Κατεύθυνσης, Βιβλίο ΟΕΔΒ, Αθήνα.
18. Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., (2001) Εργαστηριακός Οδηγός Χημείας Γενικής Παιδείας Β' Τάξης Ε.Λ., ΟΕΔΒ, Αθήνα.
19. Μητσιάδης Σ. (1994) Οδηγός Πειραμάτων Χημείας.
20. Πεπόνης Γ., Συμρνωτοπούλου Α., Χιονίδου Θ. (2000), Χημεία Β' Τάξη 1^{ου} Κύκλου Τ.Ε.Ε. Βιβλίο ΟΕΔΒ, Αθήνα.
21. Ρούμελης Ν. (2003). Δράση καταλυτών - Μελέτη ταχύτητας διάσπασης H₂O₂ παρουσία καταλύτη MnO₂, με τη χρήση του MultiLog – DbLab. 2ο Πανελ. Συνέδριο για την Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στη Διδακτική Πράξη, Ερμούπολη, Τόμος Α', σελ 612-617 και <http://www.epyna.gr>, Εκπαιδευτικό Υλικό, Φυσικές Επιστήμες, Φυσική, Με λογισμικά.