

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΕΤΗΡΙΔΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

APPLIED RESEARCH REVIEW

Περιοδική Επιστημονική Έκδοση
του Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Journal of the Technological Education
Institute of Piraeus

Έκδοση Τεχνολογία και Επιστήμη

Technology & Science Edition

VOL. XIV	No 1	2010	ISSN - 1106 - 4110
Δ. ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΣ, Ν. ΑΛΑΦΟΔΗΜΟΣ, Κ. ΑΛΑΦΟΔΗΜΟΣ: Εκπαιδευτική Αξιολόγηση του λογισμικού Mathematica στη διδασκαλία Μαθήματος Μαθηματικών			5
A. ΚΟΚΚΟΣΙΣ: Mathematical modeling of Electromagnetic Field profiles in the microwave oven			27
I. PARASKEVAS, M. RANGOUSI: Pattern recognition of environmental sounds using time-frequency distributions			47
M. VOSKOGLOU: Measuring the efficiency of a CBR System			59
C. ΔΕΜΑΚΟΣ, C. ΡΕΡΑΠΙΣ, D. ΔΡΙΒΑΣ: Experimental and numerical investigation of structural response of reinforced concrete beams strengthened with anchored FRPS			69
Κ. ΤΡΙΠΟΛΙΤΣΙΩΤΗΣ: Παράγοντες που επηρεάζουν την διαμόρφωση της ένδυσης			85
A. ΚΑΒΑΤΖΙΚΛΗΣ: Το Λήμμα του Fejér και Εφαρμογές			103
M. ΠΑΝΤΑ, Β. ΒΡΥΣΑΓΩΤΗΣ, Χ. ΚΑΡΑΦΩΤΙΑ: Η σχέση της εκπαίδευσης προσωπικού και της διαχείρισης κινδύνων εργατικών ατυχημάτων σε αποθηκευτικούς χώρους. Η περίπτωση βιομηχανίας εμφιάλωσης στην περιοχή της Βοιωτίας			115
M. ROUSIAS: An Approach to the Employee of the Greek Construction Sector			131
Π.Α. ΜΑΚΡΥΓΙΑΝΝΗΣ, Π.Σ. ΜΑΚΡΥΓΙΑΝΝΗΣ: Τρεις κόσμοι διδασκαλίας των μαθηματικών: ένα νέο πλαίσιο για τη διδακτική των μαθηματικών.....			145
I. PARASKEVAS, M. RANGOUSI: Development of natural soundscapes – a pattern recognition approach			157
Γ. ΒΛΑΧΟΣ, Χ. ΚΟΥΤΣΟΓΕΩΡΓΗΣ, Δ. ΤΣΕΛΕΣ, Κ. ΓΛΥΣΤΡΑΣ, Θ. ΒΛΑΧΟΣ, Γ. ΠΟΛΙΤΗΣ, Ι. ΛΙΒΕΡΗΣ, Ι. ΣΑΛΜΟΝ, Γ. ΠΟΛΛΑΛΗΣ: Προσδιορισμός των βασικών παραμέτρων ενός ενδεικνυόμενου κύκλου έργου στους παλινδρομικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης.....			165

Copyright© ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ 2010
Π. Ράλλη και Θηβών 250
122 44 Αιγάλεω
Τηλ.: 210.53.81.100

ISSN - 1106 - 4110

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΕΤΗΡΙΔΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Περιοδική Επιστημονική Έκδοση του ΤΕΙ Πειραιά, Έκδοση Τεχνολογία και Επιστήμη
Οδός Π. Ράλλη & Θηβών 250, 122 44 Αιγάλεω

Διευθυντής Έκδοσης: Π. Κικίλιας
Αναπληρωτής Διευθυντής: Κ. Αλαφοδήμος

Συντακτική Επιτροπή

Λάζαρος Βουζίδης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Αντώνης Αντωνίου	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Μιχαήλ Κοντέσης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Κων/νος Γούδας	Παν/μιο Πατρών
Παναγιώτης Καζαντζής	Παν/μιο Πατρών
Δημήτριος Τσελές	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Μαρία Ραγκούση	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Απόστολος Κοκκόσης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Αθανάσιος Παλιατσός	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Στέφανος Τσιτομενάς	Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Επιστημονική Επιτροπή

Σ. Αλατσαθιανός	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Π. Μαλατέστας	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Γ. Αλέξης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Στ. Μαλικούτη	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Γ. Βαρελίδης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Σ. Μανωλάς	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Κ. Βαρελίδου	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Γ. Μεταξάς	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Σ. Βασιλείδης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Φρ. Μπατζιάς	Παν/μιο Πειραιά
Ε. Βόγκλης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Α. Μπουρμπάχακη	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Γ. Γιαννόπουλος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Κ. Νίκας	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Ε. Γράβας	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Γ. Νικολαΐδης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Δ. Δημογιαννόπουλος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Α. Πέππας	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Γ. Έλληνας	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Γ. Πρεξεράκος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Γ. Ιωαννίδης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Ν. Πρεξεράκος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Γ. Καλδέλης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Α. Προμέντας	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Δ. Καλλιγερόπουλος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Γ. Πρινιωτάκης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Σ. Καλογεροπούλου	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Α. Ρούτουλας	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Γ. Κόγιας	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Σ. Σαββαΐδης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Α. Κονδύλη	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Α. Σπυριδάκος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Π. Κορωνάκης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Σ. Σταθόπουλος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Α. Κοσσιδάς	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Κ. Στεργίου	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Γ. Λεκάκης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Ι. Ψαρομίληγρος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά

APPLIED RESEARCH REVIEW

Journal of the Technological Education Institute of Piraeus, Technology and Science Edition
250, Thivon & P. Ralli str. 122 44 Egaleo, Greece

Editor: P. Kililias

Associate Editor: K. Alafodimos

Editorial Committee

Lazaros Vrizidis	T.E.I. of Piraeus
Antonis Antoniou	T.E.I. of Piraeus
Michael Kontesis	T.E.I. of Piraeus
Konstantinos Goudas	University of Patras
Panagiotis Kazantzis	University of Patras
Dimitris Tseles	T.E.I. of Piraeus
Maria Rangousi	T.E.I. of Piraeus
Apostolos Kokkosis	T.E.I. of Piraeus
Athanasios Paliatsos	T.E.I. of Piraeus
Stefanos Tsitomeneas	T.E.I. of Piraeus

Advisory Board

S. Alatsathianos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	S. Manolas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
G. Alexis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	G. Metaxas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
Fr. Batzias	<i>Univ. of Piraeus</i>	K. Nikas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
A. Bourbahaki	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	G. Nicolaidis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
D. Dimogianopoulos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	A. Peppas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
G. Ellinas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	G. Prezerakos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
G. Giannopoulos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	N. Prezerakos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
E. Gravas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	A. Primentas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
G. Ioannidis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	G. Priniotakis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
G. Kaldelis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	J. Psaromiligkos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
D. Kalligeropoulos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	A. Routoulas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
S. Kalogeropoulou	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	S. Savaidis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
G. Kogias	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	A. Spyridakos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
A. Kondili	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	S. Stathopoulos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
P. Koronakis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	K. Stergiou	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
A. Kossidas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	G. Varelidis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
G. Lekakis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	K. Varelidou	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
P. Malatestas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	S. Vasiliadis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
St. Malikouti	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	E. Voglis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>

Εκπαιδευτική Αξιολόγηση του λογισμικού Mathematica στη διδασκαλία Μαθήματος Μαθηματικών

Δ. Παπαχρήστος
Τμήμα Αυτοματισμού
Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Ν. Αλαφοδήμος
Τμήμα Αυτοματισμού
Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Κ. Αλαφοδήμος
Τμήμα Αυτοματισμού
Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Περίληψη

Το υπολογιστικό περιβάλλον Mathematica χρησιμοποιείται ευρέως διεθνώς, στη ανώτατη εκπαίδευση με συνεχείς βελτιώσεις και δυνατότητες που αντανακλούν τα πρόσφατα ευρήματα από την παραγόμενη σύγχρονη επιστημονική & τεχνολογική έρευνα. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει την εκπαιδευτική αξιολόγηση του υπολογιστικού περιβάλλοντος Mathematica όπως αυτό χρησιμοποιείται στην εκπαιδευτική διαδικασία της ανώτατης εκπαίδευσης στον κλάδο μηχανικών/τεχνολόγων και στο επιστημονικό πεδίο των Μαθηματικών. Η μεθοδολογία αξιολόγησης αφορά στους εκπαιδευόμενους και μελετά τα παρακάτω πέντε βασικά σημεία κλειδιά: (α) οργάνωση μαθήματος, (β) αξιολόγηση εκπαιδευτικών, (γ) τη χρηστικότητα του συστήματος, (δ) το διδακτικό σχεδιασμό, (ε) την αξιολόγηση των εκπαιδευόμενων και (στ) στην υποδομή. Η έρευνα διενεργήθηκε με τη χρήση δομημένων ανώνυμων ερωτηματολογίων στο Γενικό τμήμα Μαθηματικών και Πληροφορικής του ΤΕΙ Πειραιά την ακαδημαϊκή περίοδο 2009-2010.

Abstract

The computing environment Mathematica is widely used internationally, in the higher Education with constant improvements and potential that reflect recent findings of modern scientific & technological research. This paper presents the educational evaluation of the computer environment Mathematica, as it is used in the educational process of Higher Education in the sector of engineers/technologists and in the scientific field of Mathematics. The evaluation methodology involves the learners and studies the following five key-points: (a) course organization, (b) tutors evaluation, (c) the usability of the system, (d) instructional design, (e) the learners' assessment and (f) infrastructure. The survey was conducted using structured anonymous questionnaires in the department of Mathematics and Computing in TEI of Piraeus during the academic period 2009-10.

Λέξεις Κλειδιά: *Αξιολόγηση, Mathematica, Μαθηματικά, ποιοτική έρευνα*

1. Εισαγωγή

Το εκπαιδευτικό λογισμικό μπορεί να ταξινομηθεί με διαφόρους τρόπους. Ένας τρόπος ταξινόμησης κάνει λόγο για διάκριση του λογισμικού ανάλογα με τον τρόπο μάθησης και το βαθμό ελέγχου που ο μαθητής ασκεί σε αυτό. Διακρίνει τον τρόπο μάθησης με χρήση λογισμικού: (α) σε *διδασκτικό* (επίδειξη, ασκήσεις πρακτικών εφαρμογών), (β) *μέσω ανακαλύψεων* (διδασκτικά παιχνίδια, μελέτη περιπτώσεων, εξομοίωση), (γ) *ερευνητικό* (λύση προβλημάτων) και (δ) *χρηστικό* (μαθηματικά πακέτα, βάσεις δεδομένων). Ένας άλλος τρόπος ταξινόμησης είναι εκείνος που διακρίνει το εκπαιδευτικό λογισμικό σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με τους επιμέρους στόχους που επιδιώκουν: *λογισμικό εξάσκησης, διδασκαλίας και εξομοιώσεων*. Άλλος τρόπος διακρίνει από το υπάρχον εκπαιδευτικό λογισμικό τα *νοητικά ή γνωστικά εργαλεία* (mindtools), τα οποία τα ορίζει ότι προάγουν την *κριτική και δημιουργική σκέψη* του μαθητή (βάσεις δεδομένων, πολυμέσα, έμπειρα συστήματα κ.α.). Άλλος τρόπος ταξινόμησης των εκπαιδευτικών τεχνολογιών και του αντίστοιχου εκπαιδευτικού λογισμικού είναι αυτός που επιτρέπει την αξιοποίησή τους, σε σύνολα μέσω των οποίων διακρίνει, ανάλογα με αυτό που επιδιώκουν. Ειδικότερα επιδιώκουν: την έρευνα ή διερεύνηση, την επικοινωνία με άλλα άτομα, τη δημιουργία, σύνθεση ή κατασκευή αντικειμένων ή την έκφραση ιδεών και συναισθημάτων. Τέλος ένας άλλος τρόπος κατατάσσει το λογισμικό ανάλογα με το *βαθμό αλληλεπίδρασης* που επιτρέπει να υπάρχει ανάμεσα στο μαθητή και τον υπολογιστή, παραθέτοντας παραδείγματα λογισμικού που αντιστοιχούν σε κάθε τύπου *αλληλεπίδραση, ενεργό, αμοιβαία ή διαπροσωπική* (Ανθουλιάς, 1989, Bruce & Levin, 1997, Lebrun, 1999, Παπάς, 1989).

Ακολουθούν τα κυριότερα είδη εκπαιδευτικού λογισμικού που χρησιμοποιούνται στη διδακτική πράξη (Bruce & Levin, 1997, Lebrun, 1999, Μικρόπουλος & Λαδιάς, 1998, Mucchielli, 1987, Παππάς, 1989, Papachristos et al., 2004a, 2004b, Poole, 1997, Ράπτης & Ραπτη, 2002, Σολομωνίδου, 2001):

- Ηλεκτρονικά Βιβλία (*electronic books*).
- Προγράμματα εξάσκησης (*drill and practice*).
- Διδακτικά παιχνίδια (*electronic games*).
- Προγράμματα εξατομικευμένης διδασκαλίας (*tutorials*).
- Προγράμματα εξομοίωσης-προσομοίωσης (*simulation*).
- Αλληλεπιδραστικές εξομοιώσεις στις φυσικές επιστήμες.
- Προγράμματα δημιουργίας και έκφρασης
- Γλώσσες προγραμματισμού για παιδιά – LOGO.
- Ειδικά εκπαιδευτικά προγράμματα για την ειδική αγωγή.

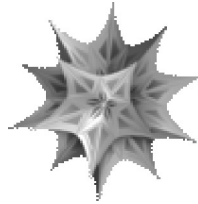
Βεβαίως εκτός από τις παραπάνω κατηγορίες εκπαιδευτικού λογισμικού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκπαίδευση και άλλα προγράμματα που δεν έχουν αναπτυχθεί με στόχο να βοηθήσουν στην εκμάθηση κάποιου θέματος, αλλά είναι μεγάλα πακέτα ή ανοικτά περιβάλλοντα που προσφέρονται για την πραγματοποίηση εργασιών, την αναζήτηση και επεξεργασία πληροφοριών, την παρουσίαση δεδομένων κλπ. Τέτοια πακέτα είναι οι επεξεργαστές κειμένου, τα λογιστικά φύλλα, οι βάσεις δεδομένων, τα προγράμματα παρουσίασης, τα προγράμματα υποβοήθησης της μετάφρασης, τα προγράμματα καλλιτεχνικής εκπαίδευσης, τηλεεκπαίδευσης και οι γλώσσες προγραμματισμού (Papachristos et al., 2004a, 2004b, Σολομωνίδου, 2001).

Το *Mathematica* είναι ένα λογισμικό περιβάλλον με πολλές δυνατότητες σε σχεδόν όλους τους τομείς των μαθηματικών (Άλγεβρα, Θεωρία συνόλων, Ανάλυση, Διαφορικές Εξισώσεις, Στατιστική κλπ.) (Εικ.1). Ο πυρήνας (*kernel*) του *Mathematica* είναι η υπολογιστική μηχανή του, ενώ η σύνδεση μεταξύ του χρήστη και του πυρήνα γίνεται μέσω του *front end* (περιβάλλον εργασίας) και του *Mathematica notebook*. Ο πυρήνας αφορά τις μαθηματικές πράξεις ενώ το *Front-End* αποτελεί την διεπαφή (*interface*) και χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των δεδομένων και παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Επίσης περιλαμβάνει την *Mathematica* που είναι μια συμβολική γλώσσα με την οποία μπορούν να εκτελεστούν υπολογισμοί χωρίς να γίνουν αριθμητικές πράξεις (Wolfram, 2003).

Ο δημιουργός του λογισμικού Mathematica είναι ο S. Wolfram. Το 1979 δημιούργησε το SMP το πρώτο μοντέρνο υπολογιστικό σύστημα άλγεβρας το οποίο κυκλοφόρησε εμπορικά το 1981. Το 1986 ίδρυσε την εταιρεία Wolfram η οποία διέθεσε εμπορικά την πρώτη έκδοση του Mathematica στις 23 Ιουνίου του 1988, η οποία σημείωσε σημαντική επιτυχία και την καθιέρωσε ως μια από τις πρώτες εταιρείες σε παγκόσμια κλίμακα στην παραγωγή λογισμικού. Το 1991, κυκλοφόρησε η 2η έκδοση του

Mathematica, ενώ ακολούθησαν οι εκδόσεις 3, 4 και 5 τις χρονιές 1996, 1999 και 2003 αντίστοιχα (σήμερα είναι στην έκδοση 8.0). Σύμφωνα με υπολογισμούς, ξεπερνούν τα 2.000.000 οι χρήστες του Mathematica παγκοσμίως, οι οποίοι ανήκουν σε κλάδους όπου τα μαθηματικά είναι ένα απαραίτητο εργαλείο όπως μαθηματικοί, μηχανολόγοι, οικονομολόγοι και άλλες επιστήμες (Wolfram, 2003).

Mathematica



<u>Developer(s)</u>	<u>Wolfram Research</u>
<u>Initial release</u>	June 23, 1988 ^[1]
<u>Stable release</u>	<u>8.0.0</u> (November 15, 2010) ^[+/-]
<u>Preview release</u>	^[+/-]
<u>Written in</u>	Mathematica, C
<u>Platform</u>	<u>Cross-platform</u> (list)
<u>Available in</u>	English, Chinese and Japanese.
<u>Type</u>	<u>Computer algebra</u> , <u>numerical computations</u> , <u>Information visualization</u> , <u>statistics</u> , <u>user interface creation</u>
<u>License</u>	<u>Proprietary</u>
<u>Website</u>	<u>www.wolfram.com/products/mathematica</u>

Εικόνα 1. Η ταυτότητα του Mathematica (Wikipedia, 2011).

2. Μεθοδολογία Έρευνας

Η έρευνα αυτή αφορά την εκπαιδευτική αξιολόγηση από πλευράς εκπαιδευόμενων του λογισμικού *Mathematica* κατά την χρήση του στην εργαστηριακή διδασκαλία των εφαρμοσμένων μαθηματικών. Υλοποιήθηκε με την χρήση ερωτηματολογίου, το οποίο διακρίνεται σε δύο βασικά μέρη: το εκπαιδευτικό και τεχνικό μέρος. Εξετάστηκαν ειδικότερα τα εξής θέματα:

- αξιολόγηση μαθήματος, εκπαιδευτικών και ιδίων των εκπαιδευόμενων και
- αξιολόγηση τεχνικών στοιχείων του λογισμικού (χρήση εργαλείων, πολυμέσων, εγχειριδίων, διδακτικού σχεδιασμού κλπ.).

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο τέλος του χειμερινού εξαμήνου του ακαδημαϊκού έτους 2009-10 στους εκπαιδευόμενους του εργαστηρίου Υπολογιστικών Μαθηματικών του γενικού τμήματος Μαθηματικών και Πληροφορικής, του ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ σε ευκαιριακό δείγμα 41 σπουδαστών (ανδρών και γυναικών). Η διεξαγωγή της έρευνας πραγματοποιήθηκε στο χώρο του εργαστηρίου υπολογιστικών Μαθηματικών και ακολουθήθηκε η διαδικασία της συμπλήρωσης ερωτηματολογίου ανώνυμα. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων της έρευνας έγινε με χρήση υπολογιστή (Ms Excel).

Ειδικότερα η έρευνα περιλαμβάνει τις εξής μεταβλητές όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα (Πιν.1):

Πίνακας 1. Μεθοδολογικό πλαίσιο (Μεταβλητές έρευνας).

Ανεξάρτητες μεταβλητές	Εξαρτημένες Μεταβλητές
1. Φύλο εκπαιδευόμενου	1. Αξιολόγηση μαθήματος (4 υπο-μεταβλητές)
2. Γνώση Η/Υ (κατά δήλωση του)	2. Αξιολόγηση εκπαιδευτικών (4 υπο-μεταβλητές)
	3. Αξιολόγηση εκπαιδευόμενων (3 υπο-μεταβλητές)
	4. Χρήση πολυμέσων
	5. Εργαλεία εκπαιδευόμενων
	6. Φιλικότητα χρήστη – εκπαιδευόμενου (2 υπο-μεταβλητές)
	7. Διδακτικός σχεδιασμός (3 υπο-μεταβλητές)
	8. Διορθώσεις σφαλμάτων από πλευράς εκπαιδευόμενου
	9. Αξιολόγηση εκπαιδευόμενων στο εξομοιωτή
	10. Εγχειρίδια και βοήθεια (3 υπο-μεταβλητές)
	11. Υποδομή (3 υπο-μεταβλητές)

Οι εξαρτημένες μεταβλητές που αποτελούν τα κριτήρια αξιολόγησης αφορούν την γενική θεώρηση της χρήσης του λογισμικού Mathematica στην συγκεκριμένη εκπαιδευτική διαδικασία (εργαστηριακή διδασκαλία εφαρμοσμένων μαθηματικών). Ελέγχονται ο διδακτικός σχεδιασμός, ο τρόπος παρουσίασης, το περιεχόμενο, η δομή, η δυναμική και οι δυνατότητες αλληλεπίδρασης. Η αξιολόγηση έλαβε υπόψη τους ακόλουθους παράγοντες (με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά): διδακτικοί στόχοι (διδακτικός σχεδιασμός, αξιολόγηση μαθήματος), το χρησιμοποιούμενο μέσο (χρήση πολυμέσων, εργαλεία, αξιολόγηση από το μέσο, φιλικότητα χρήστη, εγχειρίδια και βοήθεια, διορθώσεις σφαλμάτων, υποδομή) και μαθησιακά αποτελέσματα (αξιολόγηση εκπαιδευόμενων, εκπαιδευτικών) (Hennessy 1995a, 1995b, Μικρόπουλος, 2000, Papachristos et al., 2010).

Η φόρμα των ερωτήσεων που περιλαμβάνει το ερωτηματολόγιο αξιολόγησης με την αντίστοιχη κλίμακα είναι η ακόλουθη (Σχ.1):

Ερώτηση	Πολύ	Αρκετά	Μέτρια	Λίγο	Καθόλου
Αναλύει και παρουσιάζει τις έννοιες με απλό και ενδιαφέροντα τρόπο;					

Σχήμα 1. Φόρμα ερώτησης με την κλίμακα αξιολόγησης.

Η επεξεργασία & ερμηνεία των απαντήσεων θα γίνει ποιοτικά βάση των απαντήσεων που υπερέχουν (αριθμητικά & κατά ποσοστό) ανά χαρακτηρισμό (βάση της κλίμακας αξιολόγησης) σε σχέση με το σύνολο των απαντήσεων. Σκοπός είναι ο σαφής προσδιορισμός της τάσης του δείγματος προς ένα χαρακτηρισμό βάσης της κλίμακας αξιολόγησης και η ανάλογη ερμηνεία του (ποιοτική ανάλυση). Στην περίπτωση που υπάρχει ισοδυναμία σε περισσότερους από δύο χαρακτηρισμούς (π.χ. σε σύνολο 6 απαντήσεων υπάρχουν 2 «καλά», 2 «αρκετά» και 2 «λίγο») τότε αποδίδεται ο χαρακτηρισμός «Δεν υπάρχει υπεροχή Απάντησης» επειδή δεν μπορεί να αξιολογηθεί με σαφήνεια η τάση του δείγματος. Η μεθοδολογία διεξαγωγής της έρευνας περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

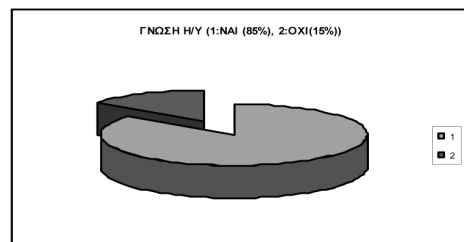
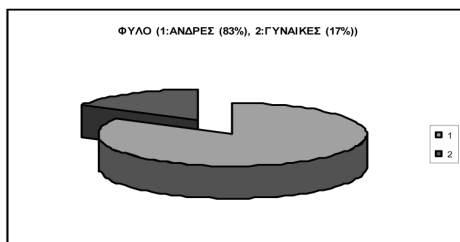
- γενική ενημέρωση για το σκοπό της έρευνας στους εκπαιδευόμενους,
- συμπλήρωση του ερωτηματολογίου (διάρκεια 20-25 min) και
- αποχώρηση από το χώρο διεξαγωγής της έρευνας.

Όσο αφορά το δείγμα η ταυτότητα του σε σχέση με τις ανεξάρτητες μεταβλητές φαίνεται στον επόμενο πίνακα (Πιν.2):

Πίνακας 2. Ταυτότητα Δείγματος (41 άτομα).

ΦΥΛΟ	ΓΝΩΣΗ Η/Υ		
	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΣΥΝΟΛΟ
ΑΝΔΡΕΣ	29	5	34
ΓΥΝΑΙΚΕΣ	6	1	7
ΣΥΝΟΛΟ	35	6	41

Στα γραφήματα που ακολουθούν απεικονίζεται η δομή του δείγματος (Φύλο, Γνώση Η/Υ).



(α) αναπαράσταση φύλου

(β) αναπαράσταση γνώσης Η/Υ

Γράφημα 1. Γραφική αναπαράσταση της δομής του δείγματος αξιολόγησης.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα κυριότερα αποτελέσματα της έρευνας και ειδικότερα αυτά που αφορούν το εκπαιδευτικό μέρος της αξιολόγησης.

3. Αποτελέσματα Έρευνας

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που ακολουθεί έγινε βάση των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών: Φύλο (Α/Γ) και Γνώσεις Η/Υ (Ν/Ο). Στους πίνακες που ακολουθούν απεικονίζονται οι επιλογές απαντήσεων του ερωτηματολογίου & οι αντίστοιχες συχνότητες (που υπερέχουν) για την ανεξάρτητη μεταβλητή σε σχέση με τις εξαρτημένες μεταβλητές & υπο-μεταβλητές της έρευνας όσο αφορά τις ερωτήσεις του εκπαιδευτικού μέρους του ερωτηματολογίου:

- *Αξιολόγηση Μαθήματος*: αφορά 4 ερωτήσεις (υπο-μεταβλητές) σχετικά με την εκπαιδευτική αξιολόγηση του μαθήματος (ύλη, υλικό κλπ.).

Πίνακας 3. Απαντήσεις με την μεγαλύτερη συχνότητα στην Αξιολόγηση Μαθήματος (4 υπο-μεταβλητές) σε σχέση με το Φύλο και τη γνώση Η/Υ.

Ερώτηση	ΦΥΛΟ		ΓΝΩΣΗ Η/Υ	
	ΑΝΔΡΕΣ (34)	ΓΥΝΑΙΚΕΣ (7)	ΝΑΙ (35)	ΟΧΙ (6)
Η ύλη που καλύφθηκε με την βοήθεια του Mathematica ανταποκρινόταν στους στόχους του μαθήματος;	«αρκετά» (15) 44%	«αρκετά» (4) 57%	«αρκετά» (18) 51%	«πολύ» (3) 50%
Το εκπαιδευτικό υλικό που δόθηκε βοήθησε στην καλύτερη κατανόηση του αντικειμένου;	«αρκετά» (18) 53%	«αρκετά» (6) 85%	«αρκετά» (20) 57%	«αρκετά» (4) 66.6%
Γίνεται χρήση γνώσεων από άλλα μαθήματα;	«αρκετά» (12) 35%	«καθόλου» (5) 71%	«αρκετά» (13) (37%)	«λίγο» & «καθόλου» (2) 33.3%
Πως κρίνεται το επίπεδο δυσκολίας του μαθήματος με την βοήθεια του Mathematica για το έτος του;	«μέτριο» (16) 47%	«μέτριο» (4)	«μέτριο» (16) 46%	«μέτριο» (4) 66.6%

- *Αξιολόγηση Εκπαιδευτικών*: αφορά 4 ερωτήσεις (υπο-μεταβλητές) σχετικά με την αξιολόγηση των εκπαιδευτικών κατά την διδακτική πράξη από τους εκπαιδευόμενους.

Πίνακας 4. Απαντήσεις με την μεγαλύτερη συχνότητα στην Αξιολόγηση Εκπαιδευτικών (4 υπο-μεταβλητές) σε σχέση με το Φύλο και την Γνώση Η/Υ.

Ερώτηση	ΦΥΛΟ		ΓΝΩΣΗ Η/Υ	
	ΑΝΔΡΕΣ (34)	ΓΥΝΑΙΚΕΣ (7)	ΝΑΙ (35)	ΟΧΙ (6)
Πώς κρίνετε την οργάνωση και παρουσίαση της ύλης;	«καλή» (19) 56%	«καλή» (5) 71%	«καλή» (21) 60%	«καλή» (3) 50%
Πετυχαίνει να διεγείρει το ενδιαφέρον για το αντικείμενο του μαθήματος;	«αρκετά» (19) 56%	«αρκετά» (3) 43%	«αρκετά» (19) 54%	«αρκετά» (3) 50%
Αναλύει και παρουσιάζει τις έννοιες με απλό και ενδιαφέροντα τρόπο;	«αρκετά» (14) 41%	«αρκετά» (4) 57%	«αρκετά» (17) 48.5%	«δεν υπάρχει υπεροχή απάντησης»
Ενθαρρύνει τους σπουδαστές να διατυπώνουν απορίες και ερωτήσεις για να αναπτύξουν την κρίση τους;	«αρκετά» (17) 50%	«αρκετά» (4) 57%	«αρκετά» (19) 54%	«δεν υπάρχει υπεροχή απάντησης»

- *Αξιολόγηση Εκπαιδευόμενου*: αφορά 3 ερωτήσεις (υπο-μεταβλητές) σχετικά με την αυτό-αξιολόγηση των εκπαιδευόμενων σχετικά με την χρήση του λογισμικού για την κατανόηση του γνωστικού αντικειμένου (μαθηματικά).

Πίνακας 5. Απαντήσεις με την μεγαλύτερη συχνότητα στην Αξιολόγηση Εκπαιδευόμενων (3 υπο-μεταβλητές) σε σχέση με το Φύλο και την Γνώση Η/Υ.

Ερώτηση	ΦΥΛΟ		ΓΝΩΣΗ Η/Υ	
	ΑΝΔΡΕΣ (34)	ΓΥΝΑΙΚΕΣ (7)	ΝΑΙ (35)	ΟΧΙ (6)
Μελετώ συστηματικά την ύλη του μαθήματος	«μέτρια» (14) 41%	«μέτρια» (4) 57%	«μέτρια» (16) 46%	«αρκετά» & «μέτρια» (2) 33.3%

Πίνακας 5 (συνέχεια)

Ερώτηση	ΦΥΛΟ		ΓΝΩΣΗ Η/Υ	
	ΑΝΔΡΕΣ (34)	ΓΥΝΑΙΚΕΣ (7)	ΝΑΙ (35)	ΟΧΙ (6)
Ανταποκρίνομαι συστηματικά στις ασκήσεις/εργασίες	«αρκετά» (14) 41%	«αρκετά» (3) 43%	«αρκετά» (16) 46%	«λίγο» (2) 33.3%
Αφιερώνω εβδομαδιαία χρόνο για τη μελέτη του μαθήματος με την βοήθεια του Mathematica	«0-2 ώρες» (22) 65%	«0-2 ώρες» (4) 57%	«0-2 ώρες» (21) 60%	«0-2 ώρες» (4) 66.6%

Αντίστοιχα, ακολουθούν οι επιλογές απαντήσεων σε σχέση με τις κυριότερες εξαρτημένες μεταβλητές & υπο-μεταβλητές της έρευνας όσο αφορά τις ερωτήσεις του τεχνικού μέρους του ερωτηματολογίου:

- *Χρήση Πολυμέσων*: αφορά την αξιολόγηση της εκπαιδευτικής χρήσης των πολυμέσων στο περιβάλλον Mathematica (εφόσον υπάρχει).

Πίνακας 6. Απαντήσεις με την μεγαλύτερη συχνότητα στην Χρήση Πολυμέσων σε σχέση με το Φύλο και Γνώση Η/Υ.

Ερώτηση	ΦΥΛΟ		ΓΝΩΣΗ Η/Υ	
	ΑΝΔΡΕΣ (34)	ΓΥΝΑΙΚΕΣ (7)	ΝΑΙ (35)	ΟΧΙ (6)
Πως κρίνετε συνολικά την χρήση των πολυμέσων (κείμενο, εικόνα, ήχο, animation). Σας βοηθά στην κατανόηση του μαθήματος;	«καλή» (18) 53%	«καλή» (4) 57%	«καλή» (19) 54%	«καλή» (3) 50%

- *Εργαλεία Εκπαιδευόμενων*: αφορά την αξιολόγηση της χρήσης των βοηθητικών εργαλείων του λογισμικού Mathematica.

Πίνακας 7. Απαντήσεις με την μεγαλύτερη συχνότητα στην *Εργαλεία Εκπαιδευόμενων* για το Φύλο και Γνώσεις Η/Υ.

Ερώτηση	ΦΥΛΟ		ΓΝΩΣΗ Η/Υ	
	ΑΝΔΡΕΣ (34)	ΓΥΝΑΙΚΕΣ (7)	ΝΑΙ (35)	ΟΧΙ (6)
Πως κρίνετε συνολικά τη χρήση των βοηθητικών εργαλείων (γραφικά, υπολογιστικά κ.α.) από μέρους του λογισμικού. Σας βοηθά στην κατανόηση του μαθήματος;	«καλή» (16) 47%	«καλή» (3) & «μέτρια» (3) 43%	«καλή» (16) 46%	«καλή» (4) 66.6%

- *Φιλικότητα Χρήστη-Εκπαιδευόμενου*: αφορά την αξιολόγηση της διεπαφής (interface) & της πλοήγησης που παρέχεται από τον εξομοιωτή.

Πίνακας 8. Απαντήσεις με την μεγαλύτερη συχνότητα στην *Φιλικότητα Χρήστη-Εκπαιδευόμενου* (2 υπο-μεταβλητές) σε σχέση με το Φύλο και Γνώση Η/Υ.

Ερώτηση	ΦΥΛΟ		ΓΝΩΣΗ Η/Υ	
	ΑΝΔΡΕΣ (34)	ΓΥΝΑΙΚΕΣ (7)	ΝΑΙ (35)	ΟΧΙ (6)
Πώς κρίνετε συνολικά την εικόνα της διεπαφής (interface) του λογισμικού. Σας διευκολύνει στην χρήση;	«αρκετά» (17) 50%	«αρκετά» (3) 43%	«αρκετά» (16) 46%	«αρκετά» (4) 66.6%
Πως κρίνετε τα βοηθήματα πλοήγησης;	«καλά» (13) 38%	«καλά» (5) 71%	«καλά» (15) 43%	«καλά» (3) 50%

- *Διδακτικός Σχεδιασμός*: αφορά τον *Διδακτικό Σχεδιασμό* σε σχέση με τη βοήθεια του Mathematica που παρέχεται στην διδασκαλία υπολογιστικών μαθηματικών (εκπαιδευτική χρήση, επίλυση προβλημάτων).

Πίνακας 9. Απαντήσεις με την μεγαλύτερη συχνότητα στον Διδακτικό Σχεδιασμό (3 υπο-μεταβλητές) σε σχέση με το Φύλο και την Γνώση Η/Υ.

Ερώτηση	ΦΥΛΟ		ΓΝΩΣΗ Η/Υ	
	ΑΝΔΡΕΣ (34)	ΓΥΝΑΙΚΕΣ (7)	ΝΑΙ (35)	ΟΧΙ (6)
Αξιολογήστε το Mathematica ως προς την προώθηση της επίλυσης προβλημάτων (σχετικά με τις τεχνικές δυνατότητες που προσφέρει);	«καλή» (13) 38%	«καλή» (3) 43%	«καλή» (12) 34%	«καλή» (4) 66.6%
Η εκπαιδευτική δραστηριότητα στο Mathematica βοηθά στην κατανόηση του γνωστικού αντικειμένου (μαθηματικά);	«αρκετά» (14) 41%	«αρκετά» (5) 71%	«αρκετά» (15) 43%	«λίγο» (3) 50%
Πώς κρίνετε συνολικά την διαδικασία εκπαιδευτικής χρήσης του Mathematica στα μαθηματικά;	«καλή» (18) 53%	«καλή» (3) 43%	«καλή» (18) 51%	«καλή» (3) 50%

- *Διόρθωση Σφαλμάτων από μέρος των εκπαιδευόμενων:* αφορά τις δυνατότητες που προσφέρει το Mathematica στην διόρθωση σφαλμάτων από την πλευρά των χρηστών (χρήση εργαλείων, μηνύματα σφαλμάτων).

Πίνακας 10. Απαντήσεις με την μεγαλύτερη συχνότητα στον Διόρθωση Σφαλμάτων από μέρος των εκπαιδευόμενων σε σχέση με το Φύλο και την Γνώση Η/Υ.

Ερώτηση	ΦΥΛΟ		ΓΝΩΣΗ Η/Υ	
	ΑΝΔΡΕΣ (34)	ΓΥΝΑΙΚΕΣ (7)	ΝΑΙ (35)	ΟΧΙ (6)
Πώς κρίνετε συνολικά την διαδικασία διόρθωσης σφαλμάτων του εκπαιδευόμενου στο Mathematica;	«καλά» (15) 44%	«καλά» (4) 57%	«καλά» (16) 46%	«καλά» (3) 50%

- *Εγχειρίδια και Βοήθεια*: αφορά τις δυνατότητες που προσφέρει το Mathematica στην υποστήριξη των χρηστών (εγχειρίδια, help menu).

Πίνακας 11. Απαντήσεις με την μεγαλύτερη συχνότητα στον *Εγχειρίδια και Βοήθεια* σε σχέση με το Φύλο και την Γνώση Η/Υ.

Ερώτηση	ΦΥΛΟ		ΓΝΩΣΗ Η/Υ	
	ΑΝΔΡΕΣ (34)	ΓΥΝΑΙΚΕΣ (7)	ΝΑΙ (35)	ΟΧΙ (6)
Πως κρίνετε την εκμάθηση βασικών λειτουργιών στο Mathematica από τα εγχειρίδια;	«μέτρια» (12) 35%	«καλή» & «μάλλον κακή» (2) 28.6%	«καλή» (12) 34%	«μέτρια» (2) 33.3%
Πως κρίνετε την εκμάθηση προχωρημένων λειτουργιών στο Mathematica από τα εγχειρίδια;	«καλή» & «μέτρια» (11) 32.3%	«καλή» (3) 43%	«καλή» (14) 40%	«μέτρια» (2) 33.3%
Πως κρίνετε συνολικά την δυνατότητα βοήθειας χρήσης από το λογισμικό Mathematica προς τους εκπαιδευόμενους;	«καλή» (14) 41%	«καλή» (4) 57%	«καλή» (17) 48.6%	«καλή» & «μάλλον κακή» (2) 33.3%

- *Υποδομή*: αφορά τον εξοπλισμό, ώρες εκπαίδευσης και χώρους (υπο-μεταβλητές) που προσφέρει το ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ για την χρήση του Mathematica στην διδασκαλία των υπολογιστικών μαθηματικών.

Πίνακας 12. Απαντήσεις με την μεγαλύτερη συχνότητα στον *Υποδομή* σε σχέση με το Φύλο και την Γνώση Η/Υ.

Ερώτηση	ΦΥΛΟ		ΓΝΩΣΗ Η/Υ	
	ΑΝΔΡΕΣ (34)	ΓΥΝΑΙΚΕΣ (7)	ΝΑΙ (35)	ΟΧΙ (6)
Είναι επαρκής ο εξοπλισμός του εργαστηρίου για την καλύτερη διεξαγωγή του μαθήματος;	«αρκετά» (16) 47%	«αρκετά» (3) 43%	«αρκετά» (17) 48.5%	«πολύ» (3) 50%

Πίνακας 12. (συνέχεια)

Ερώτηση	ΦΥΛΟ		ΓΝΩΣΗ Η/Υ	
	ΑΝΔΡΕΣ (34)	ΓΥΝΑΙΚΕΣ (7)	ΝΑΙ (35)	ΟΧΙ (6)
Είναι επαρκής οι ώρες του εργαστηριακού μαθήματος για την καλύτερη διεξαγωγή του;	«αρκετά» (18) 53%	«αρκετά» (4) 57%	«αρκετά» (19) 54%	«αρκετά» (3) 50%
Είναι επαρκής ο χώρος εργαστηρίου του μαθήματος για την καλύτερη διεξαγωγή του;	«αρκετά» (18) 53%	«αρκετά» (3) 43%	«αρκετά» (19) 54%	«αρκετά» (3) 50%

4. Συζήτηση

Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) στην διδακτική πράξη βασίστηκε κυρίως σε θετικιστικές μεθόδους, οι οποίες δέχονται ότι η γνώση μπορεί να αποδοθεί μόνο σε ότι αφορά στην αντικειμενική πραγματικότητα, η οποία υφίσταται ανεξάρτητα από τα πιστεύω και τις αξίες αυτών που επιδιώκουν να την ανακαλύψουν. Στην διεθνή βιβλιογραφία, φαίνεται ότι η χρήση πολλαπλών μεθόδων αξιολόγησης είναι περισσότερη αποτελεσματική και ότι η συνδυαστική χρήση ποσοτικών και ποιοτικών προσεγγίσεων περιορίζει τις όποιες αδυναμίες καθεμίας από αυτές. Η γνώση είναι ο πυρήνας γύρω από τον οποίο θα πρέπει να στραφεί η διαδικασία αξιολόγησης και επίσης το αποτέλεσμα της ανθρώπινης δράσης που καθορίζεται από φυσικές ανάγκες και ενδιαφέροντα, τα οποία οδηγούν και συνάμα μορφοποιούν τον τρόπο που δομείται η γνώση στις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες. Είναι προφανές ότι από όλα αυτά συνάγεται ότι οι στόχοι της αξιολόγησης όσο και το ενδιαφέρον για τη γνώση προσδιορίζουν τον τρόπο αξιολόγησης και τα αποτελέσματα της (Brannen, 1995, Bryman, 1995, Carr and Kemmis, 1997, Miles and Huberman, 1994, Patton, 1990, Ρετάλης και άλλοι, 2005).

Από την εμφάνιση ενός μεγάλου αριθμού προϊόντων εκπαιδευτικού λογισμικού, δημιουργήθηκε η ανάγκη διαμόρφωσης ορισμένων κριτηρίων, με βάση τα οποία οι ειδικοί κριτές θα αξιολογούσαν τα εκπαιδευτικά αυτά προϊόντα και οι εκπαιδευτικοί θα μπορούσαν να επιλέξουν ανάμεσά τους τα πιο κατάλληλα. Οι Squires και McDougall στο βιβλίο τους με το τίτλο «Επιλογή και Χρήση του Εκπαιδευτικού Λογισμικού» (Ράπτης & Ραπτη, 2002) επισημαίνουν, ότι οι ίδιοι οι παραγωγοί του εκπαιδευτικού λογισμικού κατά την παρουσίαση των προϊόντων τους συνήθως αναφέρονταν σε συγκε-

κρινόμενους στόχους, ερωτήματα, κριτήρια και χαρακτηριστικά, τα οποία διέφεραν αρκετά μεταξύ τους. Μάλιστα η έλλειψη κατηγοριοποιήσεων στα χαρακτηριστικά του λογισμικού είχε προκαλέσει αρχικά μία σχετική σύγχυση στους ενδιαφερόμενους εκπαιδευτικούς. Με το χρόνο όμως, διαμορφώθηκε ένας προβληματισμός και μία αρκετά εκτεταμένη βιβλιογραφία, από την οποία φαίνεται ότι τα κριτήρια με τα οποία αξιολογούνταν τα πακέτα εκπαιδευτικού λογισμικού εντάσσονταν σε δύο ομάδες (Ράπτης & Ραπτη, 2002):

- I. Στην πρώτη ομάδα ανήκαν γενικά κριτήρια παιδαγωγικού περιεχομένου, όπως αυτά, με τα οποία κρίνουν οι εκπαιδευτικοί κάθε μέσο και υλικό που χρησιμοποιείται στην τάξη για την επίτευξη επιθυμητών διδακτικών στόχων. Τα κριτήρια αυτά έχουν σχέση με ερωτήματα, όπως:
 - *Καλύπτεται η διδακτέα ύλη επαρκώς;*
 - *Ο χρόνος που απαιτείται είναι διαθέσιμος;*
 - *Ανταποκρίνεται το διδακτικό υλικό στο επίπεδο των μαθητών;*
 - *Είναι οι δραστηριότητες ενδιαφέρουσες ή η παρουσίαση ελκυστική;*
 - *Είναι προσεγμένο από παιδαγωγική άποψη, χωρίς ανεπιθύμητες παρενέργειες (π.χ. ενίσχυση προκαταλήψεων ή στερεότυπων, φανατισμού, επιθετικότητας κ.α.);*
 - *Προσφέρεται για συνεργατικές ή σύνθετες δραστηριότητες;*
 - *Τι είδους δεξιότητες, στάσεις και αξίες καλλιεργεί;*
 - *Συνοδεύεται από επαρκείς οδηγίες και υλικό στήριξης του εκπαιδευτικού;*
- II. Η δεύτερη ομάδα κριτηρίων περιλάμβανε τεχνολογικά θέματα που είχαν σχέση περισσότερο με τον υπολογιστή και τη χρήση του ως εκπαιδευτικού εργαλείου. Τα κριτήρια αυτά απαντούσαν σε ερωτήματα, όπως:
 - *Έχουν αξιοποιηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό οι αλληλεπιδραστικές δυνατότητες του υπολογιστή;*
 - *Αφήνει το λογισμικό περιθώρια για έλεγχο της μαθησιακής διαδικασίας από μέρους του μαθητή και του εκπαιδευτικού;*
 - *Είναι σε θέση το πρόγραμμα να χειριστεί σωστά τα εισερχόμενα που εισάγονται από τους μαθητές, ώστε να αποφεύγονται άσχημα διαδικαστικά φαινόμενα από τεχνική άποψη;*
 - *Προσφέρονται ορισμένα χαρακτηριστικά του λογισμικού (όπως γραφικά, ήχο, κίνηση κ.α.) για εποικοδομητική μάθηση ή μήπως λειτουργούν απλά για εντυπωσιασμό;*
 - *Η διόρθωση των λαθών γίνεται με παιδαγωγικά προσεγμένο τρόπο ή βασίζεται σε παραδοσιακές νοοτροπίες;*
 - *Η ενίσχυση των αντιδράσεων και της απόδοσης του μαθητή είναι αποτελεσματική και γίνεται με κατάλληλο τρόπο;*

- Είναι το πρόγραμμα φιλικό και εύκολο στη χρήση του;
- Αξίζει τις απαιτούμενες δαπάνες;
- Κάνει χρήση το λογισμικό των νέων τεχνολογικών εξελίξεων;

Ασφαλώς τα ερωτήματα, που θα μπορούσαν να τεθούν για να βοηθηθεί ο εκπαιδευτικός στην επιλογή του εκπαιδευτικού λογισμικού δεν εξαντλούνται στα παραπάνω ερωτήματα και η κατηγοριοποίησή τους γίνεται με πολλούς τρόπους.

Η πιο συνηθισμένη πρακτική προκειμένου να αξιολογηθούν από κριτές και εκπαιδευτικούς ορισμένα χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου εκπαιδευτικού λογισμικού, είναι η κατασκευή και διανομή ερωτηματολογίων με τη μορφή *καταλόγων ή πινάκων επιλογής* (checklists). Πρόκειται για ένα κατάλογο σημαντικών *στοιχείων ή δηλώσεων* (items) για το περιεχόμενο των οποίων καλείται ο αξιολογητής να απαντήσει αν συμφωνεί, διαφωνεί ή δεν γνωρίζει, σημειώνοντας δίπλα σε κάθε δήλωση ποια από τις απαντήσεις επιλέγει (γι' αυτό η μέθοδος αυτή ονομάζεται *κατάλογος επιλογής*) ή, καθώς πολλοί από τους καταλόγους διαθέτουν κλίμακες αξιολόγησης των δηλώσεων, καλείται, συχνά να σημειώσει σε πιο βαθμό νομίζει ότι ισχύει η αξιολογική της θέση (Ράπτης & Ράπτη, 2002).

Τα κριτήρια και οι κατηγοριοποιήσεις που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των πακέτων λογισμικού από τους μελετητές και όσους προσπαθούν να κατασκευάσουν εργαλεία αξιολόγησης, ποικίλλουν από περίπτωση σε περίπτωση. Οι ερωτήσεις αυτές στην πλειονότητα τους αναφέρονται σε τεχνικά μάλλον χαρακτηριστικά, παρά σε μαθησιακά αποτελέσματα. Τα χαρακτηριστικά αυτά ομαδοποιήθηκαν στις εξής κατηγορίες (Papachristos et al., 2004a, 2004b, Ράπτης & Ράπτη, 2002):

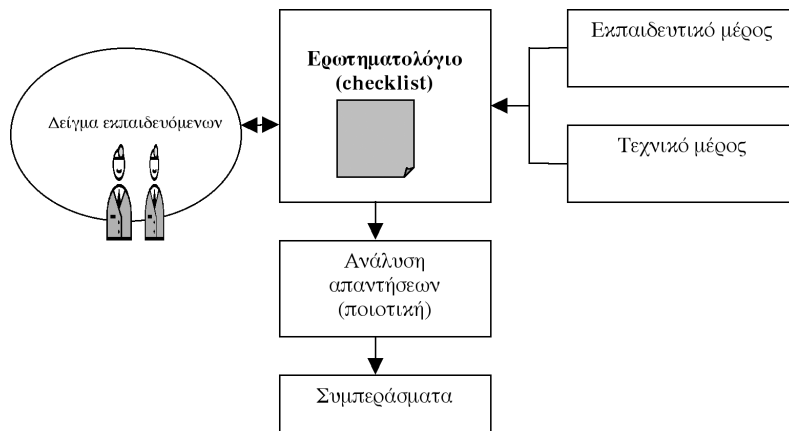
- Ποιότητα της διδασκαλίας
- Δυνατότητες παρέμβασης του εκπαιδευτικού
- Αξιολόγηση και παρακολούθηση της προόδου του μαθητή
- Υλικό στήριξης
- Τεχνολογική ποιότητα
- Θέματα αναφερόμενα στο υπολογιστικό υλικό (*hardware*) και το *μάρκετινγκ*

Για καθέναν από τους παραπάνω τίτλους έχουν αναπτυχθεί και άλλες υποκατηγορίες. Πρέπει να σημειώσουμε, ότι τα εργαλεία αξιολόγησης έχουν και μειονεκτήματα, αφού συνήθως μπορούν να εντοπίσουν επιφανειακά ή δευτερεύουσας σημασίας χαρακτηριστικά ή εκείνα που μπορούν πιο εύκολα να τυποποιηθούν και να μετρηθούν, αλλά ν' αποτύχουν, όπως συχνά συμβαίνει, στο ν' αγγίξουν στην ουσία. Μάλιστα οι *Squires* και *McDougall* με πολλή έμφαση επισημαίνουν ότι με το να χρησιμοποιούνται οι πίνακες επιλογών ως αξιολογικά εργαλεία, υποτιμούνται σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε προγράμματα ενώ συγχρόνως υπεραπλουστεύονται άλλα, πιο σύνθετα ζητήματα, που έχουν σχέση με την επιλογή και τη χρήση των προγραμμάτων (Ράπτης & Ράπτη, 2002).

Στην έρευνα αξιολόγησης που πραγματοποιήσαμε σχετικά με το *Mathematica* ακολουθήσαμε την διαδικασία χρήσης ερωτηματολογίων (στην μορφή checklists) προς τους εκπαιδευόμενους όπου εξετάστηκαν (Σχ.3):

- Εκπαιδευτικά θέματα (αξιολόγηση μαθήματος, εκπαιδευτικών, αυτό-αξιολόγησης εκπαιδευόμενων) και
- Τεχνικά θέματα (τεχνικά στοιχεία περιβάλλοντος *Mathematica*, διδακτικός σχεδιασμός, βοήθεια & εγχειρίδια, υποδομή).

Η ποιοτική επεξεργασία & ανάλυση των αποτελεσμάτων θα πραγματοποιηθεί βάση των συχνοτήτων των επιλεγμένων απαντήσεων (ποιες απαντήσεις υπερέχουν- συγκεντρώνουν το μεγαλύτερη συχνότητα/ποσοστό επί του δείγματος).



Σχήμα 1. Διαδικασία διεξαγωγής έρευνας αξιολόγησης του *Mathematica*.

Από τα αποτελέσματα της έρευνας όπως παρουσιάστηκαν σχετικά με την εκπαιδευτική αξιολόγηση του *Mathematica* το οποίο είναι ένα χρηστικό-εξάσκησης διδασκαλίας λογισμικό καταλήγουμε στις εξής παρατηρήσεις:

- Υπάρχει καθολική ικανοποίηση από πλευράς εκπαιδευόμενων (ανεξάρτητα από Φύλο και Γνώση Η/Υ) όσο αφορά την *Αξιολόγηση Μαθήματος*, με εξαίρεση τις υπο-μεταβλητές «γίνεται χρήση γνώσεων από άλλα μαθήματα» & «επίπεδο δυσκολίας του μαθήματος» όπου υπάρχουν μη ικανοποιητικές απαντήσεις που υπερέχουν («λίγο», «μέτριο», «καθόλου») ανεξάρτητα Γνώσεων Η/Υ. Εν αντιθέσει με το Φύλο όπου στις αντίστοιχες υπο-μεταβλητές διαπιστώνουμε ότι οι Άντρες δίνουν σχετικά ικανοποιητικές απαντήσεις («αρκετά», «μέτριο»).
- Η *αξιολόγηση των εκπαιδευτικών* κρίνεται ικανοποιητική με τους εκπαιδευόμενους με μη Γνώση Η/Υ να μοιράζονται οι απαντήσεις τους μεταξύ σχετικά ικανοποιητικών απαντήσεων («πολύ», «αρκετά», «μέτριο», «λίγο») όσο αφορά την οργάνωση και παρουσίαση της ύλης, που σημαίνει ότι πιθανόν να συνα-

ντούν προβλήματα κατανόησης του λογισμικού αλλά όχι σε σημαντικό ποσοστό.

- Στην *αξιολόγηση των εκπαιδευόμενων (αυτό-αξιολόγηση)* διαπιστώνουμε ως προς το Φύλο: στην υπο-μεταβλητή «συστηματική μελέτη» μέτρια ικανοποίηση (Ανδρες & Γυναίκες) που συμφωνεί με την τρίτη υπο-μεταβλητή «χρόνο μελέτης» που υπερισχύει η επιλογή «0-2» ώρες, ενώ στην δεύτερη υπο-μεταβλητή «ανταπόκριση στις ασκήσεις» υπερισχύει η επιλογή «αρκετά» που σημαίνει ότι εκτιμά η πλειοψηφία των εκπαιδευόμενων ότι μπορεί να ανταποκριθεί στις ασκήσεις του εργαστηρίου μαθηματικών με την βοήθεια του Mathematica (υπάρχει μία αντίφαση). Ως προς την Γνώση Η/Υ διαπιστώνουμε ότι: οι γνώστες έχουν παρόμοιες επιλογές με το Φύλο ενώ οι μη γνώστες Η/Υ δηλώνουν ότι μελετούν μεταξύ «αρκετά» και «μέτρια» και διαθέτουν «0-2 ώρες» για μελέτη αλλά δεν ανταποκρίνονται τελικά ικανοποιητικά στις ασκήσεις του εργαστηρίου. Θα πρέπει όμως οι υπεύθυνοι του μαθήματος με κατάλληλη σχεδίαση (χρήση κινήτρων, εργασίες κλπ.) να αυξήσουν το χρόνο μελέτης των σπουδαστών και επιπλέον με αύξηση των ωρών εκπαίδευσης με την μορφή ελεύθερου εργαστηρίου με στοχεύσουν να είναι πιο επαρκής η εκπαίδευση στο συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο και να βοηθήσουν κυρίως τους σπουδαστές που δεν έχουν γνώση Η/Υ να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις.
- Στα τεχνικά χαρακτηριστικά: *χρήση Πολυμέσων, εργαλεία εκπαιδευόμενων, διόρθωση σφαλμάτων από πλευράς εκπαιδευόμενων και στη Φιλικότητα Χρήστη-Εκπαιδευόμενου* διαπιστώνουμε ικανοποιητική απάντηση ανεξάρτητα Φύλου και Γνώσης Η/Υ (ομοιομορφία υπεροχής απαντήσεων).
- Ο *Διδακτικός Σχεδιασμός* αξιολογείται από όλους τους εκπαιδευόμενους θετικά ως προς την επίλυση προβλημάτων, στην κατανόηση του γνωστικού αντικείμενου (μαθηματικά) και συνολικά η εκπαιδευτική του χρήση. Εξαιρέση οι μη έχοντες Γνώση Η/Υ οι οποίοι θεωρούν ότι υπάρχει κάποια δυσκολία στην κατανόηση του γνωστικού αντικείμενου με την χρήση του Mathematica. Γεγονός που θα πρέπει να απασχολήσει τους εκπαιδευτικούς ώστε να διερευνηθούν περαιτέρω οι αιτίες (όχι καλή εξοικείωση με το περιβάλλον του λογισμικού, δυσκολία χρήσης εντολών & εργαλείων του λογισμικού) και να βελτιωθεί η εκπαιδευτική χρήση σε σχέση με τους εκπαιδευόμενους που δεν διαθέτουν ικανοποιητικό επίπεδο χειρισμού Η/Υ.
- Στο *Εγχειρίδια και Βοήθεια*, διαπιστώνουμε όσο αφορά το Φύλο: (α) δυσκολία στην κατανόηση των λειτουργιών του Mathematica από τα εγχειρίδια (οι απαντήσεις ποικίλουν μεταξύ «μέτρια», «καλή» & «μάλλον κακή») και (β) ικανοποίηση συνολικά σχετικά με την βοήθεια χρήσης στο Mathematica προς τους εκπαιδευόμενους. Όσο αφορά την Γνώση Η/Υ: (α) οι έχοντες Γνώση Η/Υ είναι ικανοποιημένοι από βοήθεια σε σχέση με την χρήση του λογισμικού από τα εγχειρίδια

και το περιβάλλον του και (β) δυσκολία στην κατανόηση των λειτουργιών του Mathematica από τα εγχειρίδια και το περιβάλλον χρήσης του.

- Τέλος, στην Υποδομή, διαπιστώνουμε καθολική ικανοποίηση από πλευράς εκπαιδευόμενων (ανεξάρτητα από Φύλο και Γνώση Η/Υ) όσο αφορά τον εξοπλισμό, τις ώρες διδασκαλίας και το χώρο του εργαστηρίου που παρέχεται από το ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ.

5. Συμπεράσματα

Συνολικά η εκπαιδευτική αξιολόγηση από πλευράς των εκπαιδευόμενων-χρηστών έδειξε ενδιαφέροντα στοιχεία όπως:

- Το φύλο (άνδρες, Γυναίκες) δεν επηρεάζει τις αξιολογήσεις των χρηστών.
- Η Γνώση Η/Υ αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην αξιολόγηση όπου παρατηρούμε ότι οι μη έχοντες Γνώση Η/Υ επιλέγουν αρνητική αξιολόγηση όσο αφορά την κατανόηση του γνωστικού αντικείμενου, την οργάνωση και παρουσίαση της εκπαιδευτικής ύλης, τα εγχειρίδια και την βοήθεια από το λογισμικό Mathematica.
- Υπάρχει μία αντίφαση σχετικά με την θετική ανταπόκριση στο εργαστηριακό μάθημα (ασκήσεις) και στον χρόνο μελέτης (που είναι πολύ μικρός: 0-2 ώρες).
- Στις περισσότερες μεταβλητές υπήρχαν θετικές απαντήσεις.
- Στην μεταβλητή Υποδομή που αφορά τον εξοπλισμό, χώρους και οργάνωση του εργαστηρίου οι απαντήσεις είναι συνολικά θετικές, γεγονός που δείχνει ότι το ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ παρέχει ικανοποιητικά standards εκπαίδευσης για τους εκπαιδευόμενους του.

Τα παραπάνω συμπεράσματα σε σχέση με πρόσφατη αντίστοιχη έρευνα αξιολόγησης (πραγματοποιήθηκε σε σπουδαστές του τμήματος Αυτοματισμού, ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ) του μαθηματικού πακέτου εξομοίωσης Matlab συμφωνούν στα ακόλουθα όσο αφορά το εκπαιδευτικό μέρος (Papachristos et al., 2008, 2010):

- Υπάρχει καθολική ικανοποίηση από πλευράς εκπαιδευόμενων όσο αφορά την αξιολόγηση του εκπαιδευτικού υλικού, και γενικότερα την λειτουργία του μαθήματος.
- Η αυτοαξιολόγηση των εκπαιδευόμενων κατά μέσο όρο δείχνει ότι ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στις απαιτήσεις του μαθήματος. Υπάρχει όμως επίσης μία αντίφαση γιατί όσο αφορά στην τελευταία ερώτηση σχετικά με τις ώρες μελέτης με εξαίρεση τους εκπαιδευόμενους που ανήκουν στο έτος σπουδών του μαθήματος όλοι οι άλλοι απαντούν με την επιλογή 0-2 ώρες, γεγονός που δείχνει ότι δεν προετοιμάζονται ικανοποιητικά.

Τα παραπάνω στοιχεία δείχνουν ότι πρέπει οι υπεύθυνοι του μαθήματος (Matlab, Mathematica) με κατάλληλη εκπαιδευτική σχεδίαση να αυξήσουν το χρόνο μελέτης των σπουδαστών και να στοχεύουν να είναι πιο επαρκής η εκπαίδευση στο συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο που αποτελεί βασικό αντικείμενο ειδίκευσης. Επιπρόσθετα από την αξιολόγηση του Mathematica διαφαίνεται η απαίτηση από πλευράς εκπαιδευόμενων για καλύτερη σχεδίαση των εργαστηριακών ασκήσεων (διεξαγωγή τους, εκπαιδευτικό υλικό), των εγχειριδίων που να βοηθά τους εκπαιδευόμενους με μη Γνώση Η/Υ στην εξοικείωση των δυνατοτήτων του Mathematica έτσι ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν καλύτερα στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Αυτό που πρέπει στο τέλος να σημειωθεί είναι ότι το εκπαιδευτικό λογισμικό ανεξαρτήτου τύπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εκπαιδευτική διαδικασία αποδοτικά φτάνει ο διδάσκοντας να σχεδιάσει με παιδαγωγικό τρόπο τις αντίστοιχες δραστηριότητες δίνοντας βαρύτητα στην σταδιακή πρόσκτηση γνώσης εκμεταλλευόμενος στο μέγιστο τις δυνατότητες που παρέχει το εκάστοτε λογισμικό.

Αναφορές

- Ανθούλιας, Τ. (1989). *Πληροφορική και Εκπαίδευση*. Αθήνα: Gutenberg.
- Brannen, J. (1995.) Combining qualitative and quantitative approaches: An overview, Brannen, J. (ed.), *Mixing Methods: Qualitative and Quantitative Research*. UK: Avebury, 3-38.
- A. Bryman. A. (1995). Quantitative and qualitative research: further reflections on their integration, *Mixing Methods: Qualitative and Quantitative Research*. UK: Avebury, 57-80.
- Bruce, C. B., Levin, A. J. (1997). *Educational technology: media for inquiry, communication, construction and expression*. Journal of Educational Computing Research, 17(1), pages 79-102.
- Carr, W. and Kemmis, W. (1997). *Για μια κριτική εκπαιδευτική θεωρία*. Αθήνα: Κώδικας.
- Hennessy S. Twigger D. Driver R. O'Shea T. O' Milley C.E. Byard M. Drapper S. Hartley R. Mohamed R. and Scanlon E. (1995a). Design of computer – augmented curriculum for mechanics, *International Journal of Scientific Education*, 17(1), pp.75-92.
- Hennessy S. Twigger D. Driver R. O'Shea T. O' Milley C.E. Byard M. Drapper S. Hartley R. Mohamed R. and Scanlon E. (1995b). A classroom intervention using a computer– augmented curriculum for mechanics, *International Journal of Scientific Education*, 17(2), pp.189-206.
- Lebrun, M. (1999). *Des technologies pour enseigner at apprendre*. Bruxelles : De Boeck&Larcier.
- Μικρόπουλος, Τ. 2000, *Εκπαιδευτικό Λογισμικό. Θέματα Σχεδίασης και Αξιολόγησης Λογισμικού Υπερμέσων*. Αθήνα: Κλειδάριθμος.
- Μικρόπουλος, Τ., Λαδιάς, Τ. (1998). *Η LOGO στην εκπαιδευτική διαδικασία*. Ιωάννινα: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Miles, M. B. and Huberman, A. M. (1994). *Qualitative Research Methods: Social Epistemology and Practical Inquiry*. NY: Peter Lang.
- Mucchielli, A. (1987). *L' enseignement par ordinateur*. Paris: P.U.F.
- Παπάς, Γ. (1989). *Η Πληροφορική στο σχολείο. Υλικό, Λογισμικό, Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών*. Αθήνα: Συμεών.
- Poole, B.J. (1997). *Education for an information age. Teaching in the computerized classroom*. USA: McGraw-Hill.
- Papachristos, D.A. (2004a). Pedagogical Evaluation Model for the Educational

- Software, 1st WOCP, University of Athens, Athens - Spetses, Greece June 27 – July 4.
- Papachristos, D.A., Patelis, G., Mosialos, St., Tsiantis, C. (2004b). Qualitative Pedagogic criteria for the design of educational software, 1st *International Conference Information Technology and Quality*, TEI of Piraeus – University of Paisley, Athens, Greece, June.
- Papachristos, D., Tsiantis, K., Nikolaou, G., (2008). Educational Evaluation in simulation environment. The example of Matlab simulation environment, 20th National Conference of Greek Operational Research Society Proceedings, Spetses, TEI Piraeus, 19-20 June, 2008.
- Papachristos, D., Alafodimos, N., Zafeiri, E., Sigalas, I. , (2010). Educational evaluation of Matlab simulation environment in teaching technological courses: The example of Digital Control Systems, *Proceedings of the Hsci2010 - 7th International Conference on Hands-on Science*, The University of Crete campus at Rethymno, July 25-31, 2010, pp.168-174, <http://www.clab.edc.uoc.gr/HSci2010/>.
- Patton, M. Q. (1990). *Qualitative Evaluation and Research Methods*. CA:Sage Publications.
- Ράπτης, Α. & Ράπτη, Α. (2002). *Μάθηση και Διδασκαλία στην Εποχή της Πληροφορικής*. Αθήνα: Έκδοση ιδίων.
- Ρετάλης, Σ. επιμέλεια. (2005). *Εκπαιδευτική Τεχνολογία. Οι προηγμένες τεχνολογίες διαδικτύου στην υπηρεσία της μάθησης*, Αθήνα:Εκδόσεις Καστανιώτη.
- Σολομωνίδου, Χ. (2001). *Σύγχρονη Εκπαιδευτική Τεχνολογία*. Θεσ/νίκη:Κώδικας.
- Wikipedia, 2011, <http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematica> [access 15/2/2011].
- Wolfram, S., (2003). *The Mathematica Book*, 5th edition, Wolfram Media, 2003.

Mathematical modeling of Electromagnetic Field profiles in the microwave oven

*Apostolos Kokkosis
Department of Electronics
T.E.I. of Piraeus*

Abstract

The Mathematical modeling is widely used for representing transport phenomena using numerical equations. The solutions for these equations, when solved properly, would be in close agreement with the behaviour of the material. In microwave heating, modelling can be a design tool to understand and develop optimum heating procedure for food. In the modelling process, the food system is broken down into many small elements. Simulation of the source of microwave is possible and solution to the electric field equations can be obtained. In the present study, a mathematical modelling technique, based on the finite element method was employed to analyze the heating behaviour.

Περίληψη

Η μαθηματική μοντελοποίηση χρησιμοποιείται ευρύτατα στην απεικόνιση φαινομένων μεταφοράς με τη χρήση αριθμητικών εξισώσεων. Η σωστή επίλυση αυτών των εξισώσεων, είναι σύμφωνη με τη συμπεριφορά των υλικών. Στη μικροκυματική θέρμανση, η μοντελοποίηση μπορεί να γίνει ένα εργαλείο σχεδίασης για την κατανόηση και την ανάπτυξη βέλτιστων διαδικασιών θέρμανσης των τροφίμων. Στη διαδικασία μοντελοποίησης, το σύστημα των τροφίμων διασπάται σε πολλά μικρά στοιχεία. Είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση της πηγής των μικροκυμάτων και έτσι μπορεί να αποκτηθεί μια λύση στις εξισώσεις του ηλεκτρικού πεδίου. Στην παρούσα μελέτη, αναπτύσσεται μια τεχνική μαθηματικής μοντελοποίησης, που βασίζεται στη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων για την ανάλυση της συμπεριφοράς θέρμανσης.

Key words: *Cavity Resonator, TM Modes, Quality Factor.*

1. Introduction

The system for generating and utilizing the microwaves at 2,45 GHz is presented in Fig.1. The geometrical dimensions of the oven, offers us the possibility to heat medium size bodies, till 40 cm long. In Fig.2, can be seen the microwave oven with the sample.

The study of the electromagnetic field in a microwave oven and the following of the distribution and the values of the field, gives us some very important information about the heating process itself.

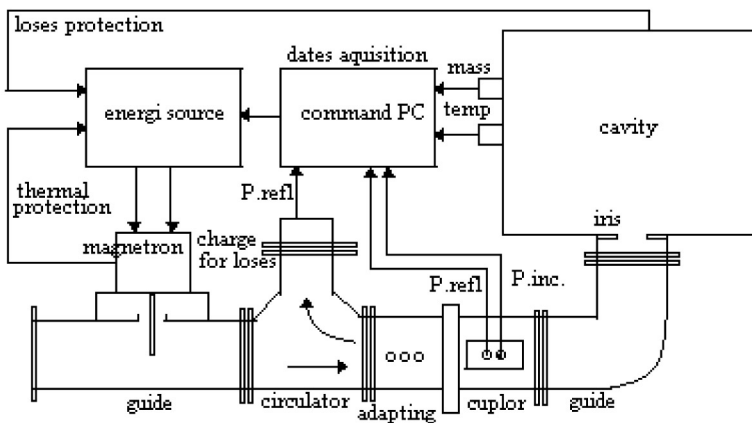


Figure 1

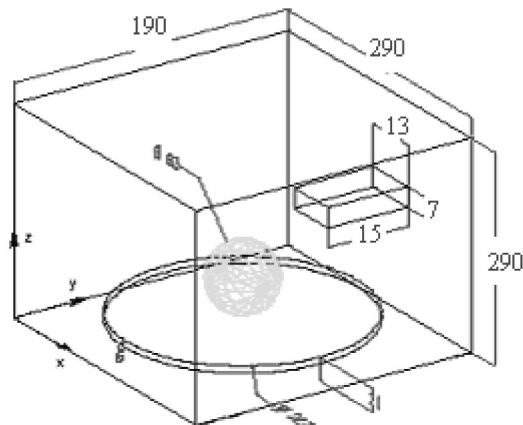


Figure 2

2. The cavity resonator

The cavity present in a microwave oven, is the cavity resonator that we will study. Cavity resonators may be thought of as rectangular waveguides of finite length having conducting plates at each end, that is, a rectangular box.

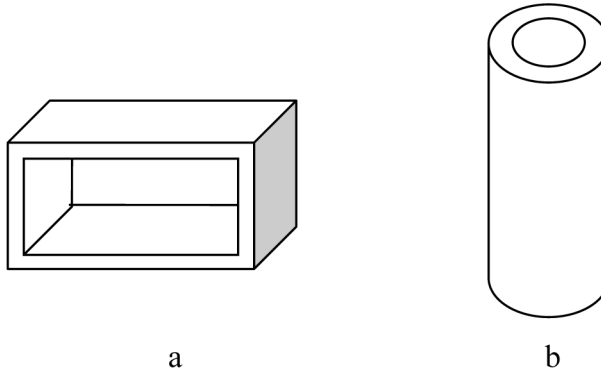


Figure 3

The waveguide structures in Fig 3a and 3b also used in the microwave oven, do not support the TEM mode (Transversal Electromagnetic Mode). They do support higher-order modes or field structures where the magnetic field is transverse to the line axis-the TM or transverse magnetic mode, $H_z = 0$ or the electric field is transverse to the line axis-the TE or transverse electric mode, $E_z = 0$.

The cavity is excited by one magnetron (frequency 2.45 GHz, average power 1 kW) through the waveguide feeder where the dominant (TE_{10}) mode is generated; the walls are of perfect electric conductivity. A waveguide can be designed to support only the TE_{10} mode by selecting the guide dimensions such that the operating frequency (2,45 GHz) is greater than cutoff frequency for the mode TM_{11} and it's less than the cutoff frequency of the higher mode.

The cutoff frequency of the TM_{mn} mode is:

$$f_{c,mn} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

we have: $\begin{cases} a = 7 \cdot 10^{-2} \text{ m} \\ b = 13.5 \cdot 10^{-2} \text{ m} \end{cases}$

The cutoff frequency for our dimensions of the microwave oven waveguide feeder is:

$$f_{c,11} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{\left(\frac{1}{7 \cdot 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{1}{13.5 \cdot 10^{-2}}\right)^2} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{204 + 54} = 1.5 \cdot 10^8 \cdot 16 = 2.4 \text{ GHz}$$

$$f_{c,12} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{\left(\frac{1}{7 \cdot 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{2}{13.5 \cdot 10^{-2}}\right)^2} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{204 + 4 \cdot 54} =$$

$$= 1.5 \cdot 10^8 \cdot 20.49 = 3.07 \text{ GHz}$$

$$f_{c,11} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{\left(\frac{2}{7 \cdot 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{1}{13.5 \cdot 10^{-2}}\right)^2} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{4 \cdot 204 + 54} =$$

$$= 1.5 \cdot 10^8 \cdot 29.49 = 4.42 \text{ GHz}$$

$$f_{c,11} < f_{c,12} < f_{c,21} \Rightarrow \text{TE mode for the waveguide feeder}$$

$$f_{c,10} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \frac{\pi}{a} = \frac{1}{2a\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{u}{2a}$$

$$f_{c,10} = 1.5 \cdot 10^8 \cdot 7 \cdot 10^{-2} = 2.14 \text{ GHz}$$

The possibility of simultaneous existence of both forward and backward travelling waves suggests the possibility of standing waves and resonant behaviour. Suppose we insert conducting plates at $z = 0$ and $z = d$, as shown in Fig. 4. These conducting plates give rise to reflections at the waveguide fields, resulting in standing waves. In this section we will investigate the resulting fields and the resonant frequencies of this cavity.

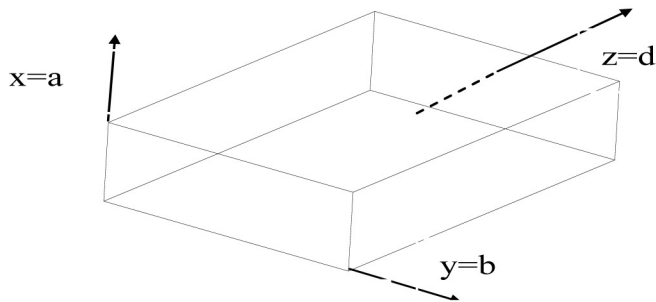


Figure 4

3. TM modes

The total field in these sum of these forward- and backward-traveling waves are:

$$\hat{E}_z = \hat{E}_z^+ + \hat{E}_z^- = \sin\beta_x x \sin\beta_y y (C^+ e^{-\gamma z} + C^- e^{-\gamma z}) \quad (1)$$

Substituting these field individually into the solutions for other field components of the wave equation of the guide and remembering that γ is to be replaced with $-\gamma$ in these

equations for the backward-traveling waves yields, from the results for the TM modes for rectangular waveguides we obtain:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{E}_x = \frac{\beta_x}{\beta_x^2 + \beta_y^2} \cos\beta_x x \sin\beta_y y (-\gamma C^+ e^{-\gamma z} + \gamma C^- e^{\gamma z}) \\ \hat{E}_y = \frac{\beta_y}{\beta_x^2 + \beta_y^2} \sin\beta_x x \cos\beta_y y (-\gamma C^+ e^{-\gamma z} + \gamma C^- e^{\gamma z}) \\ \hat{H}_x = \frac{j\omega\epsilon\beta_y}{\beta_x^2 + \beta_y^2} \sin\beta_x x \cos\beta_y y (C^+ e^{-\gamma z} + C^- e^{\gamma z}) \\ \hat{H}_y = \frac{-j\omega\epsilon\beta_x}{\beta_x^2 + \beta_y^2} \cos\beta_x x \sin\beta_y y (C^+ e^{-\gamma z} + C^- e^{\gamma z}) \end{array} \right. \quad (2)$$

where:

$$\begin{aligned} \beta_x &= \frac{m\pi}{a} \\ \beta_y &= \frac{n\pi}{b} \end{aligned} \quad (3)$$

The boundary conditions imposed by the plates at $z = 0$ and $z = d$ require:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{E}_y = 0 \\ \hat{E}_x = 0 \end{array} \right. \quad \text{at } z = 0, z = d \quad (4)$$

From (2) we see that this requires:

$$-\hat{C}^+ e^{-\gamma z} + \hat{C}^- e^{\gamma z} = 0$$

at $z = 0$ and $z = d$. Thus,

$$\hat{C}^+ = \hat{C}^- = \hat{C} \quad \text{and} \quad \lambda = j \frac{p\pi}{d} \hat{=} j\beta_z \quad (5)$$

where $p = 1, 2, \dots$, and we define:

$$\beta_z = \frac{p\pi}{d} \quad (6)$$

Substituting (5) into (2) gives:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{E}_x = -\frac{2\beta_x\beta_z\hat{C}}{\beta_x^2 + \beta_y^2} \cos\beta_x x \sin\beta_y y \sin\beta_z z \\ \hat{E}_y = -\frac{2\beta_y\beta_z\hat{C}}{\beta_x^2 + \beta_y^2} \sin\beta_x x \cos\beta_y y \sin\beta_z z \end{array} \right. \quad (7)$$

Using these results in (2) yields:

$$\begin{cases} \hat{E}_z = 2\hat{C}\sin\beta_x x \sin\beta_y y \cos\beta_z z \\ \hat{H}_x = \frac{2j\omega\epsilon\beta_y \hat{C}}{\beta_x^2 + \beta_y^2} \sin\beta_x x \cos\beta_y y \cos\beta_z z \\ \hat{H}_y = \frac{2j\omega\epsilon\beta_x \hat{C}}{\beta_x^2 + \beta_y^2} \cos\beta_x x \sin\beta_y y \cos\beta_z z \end{cases} \quad (8)$$

The time-domain forms of the fields can easily be obtained by multiplying each phasor by $e^{j\omega t}$ and taking the real part of the result. Since these phasors do not contain isolated, complex exponentials, the time-domain fields will vary with time as $\sin(\omega t)$ or $\cos(\omega t)$. Thus the fields are oscillatory.

Each set of integers m , n , and p is said to be associated with a TM_{mnp} mode. The resonant frequency of each mode is calculated by substituting (5) into $(\gamma^2 + \omega^2 \mu \epsilon) = \beta_x^2 + \beta_y^2$

$$f_{c,mnp} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{d}\right)^2} = \frac{u}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2} \quad (9)$$

Equations (8) show that neither m or n can be zero; otherwise, all field components vanish. However, p can be zero. Thus, the lowest-order TM mode is the TM_{110} mode.

4. TE modes

A similar development can be obtained for the TE modes. The total fields are:

$$\hat{H}_z = \hat{H}_z^+ + \hat{H}_z^- = \cos\beta_x x \cos\beta_y y (C^+ e^{-\gamma z} + C^- e^{-\gamma z}) \quad (10)$$

$$\begin{cases} \hat{H}_x = \frac{\beta_x}{\beta_x^2 + \beta_y^2} \sin\beta_x x \cos\beta_y y (\gamma C^+ e^{-\gamma z} - \gamma C^- e^{-\gamma z}) \\ \hat{H}_y = \frac{\beta_y}{\beta_x^2 + \beta_y^2} \cos\beta_x x \sin\beta_y y (\gamma C^+ e^{-\gamma z} - \gamma C^- e^{-\gamma z}) \\ \hat{E}_x = \frac{j\omega\epsilon\beta_y}{\beta_x^2 + \beta_y^2} \cos\beta_x x \sin\beta_y y (C^+ e^{-\gamma z} + C^- e^{-\gamma z}) \\ \hat{E}_y = \frac{-j\omega\epsilon\beta_x}{\beta_x^2 + \beta_y^2} \sin\beta_x x \cos\beta_y y (C^+ e^{-\gamma z} + C^- e^{-\gamma z}) \end{cases} \quad (11)$$

The boundary conditions imposed by the conductors at $z = 0$ and $z = d$ are given by (4), once again yielding (5) and (6). Substituting it to (11) yields:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{H}_z = j2\hat{C}\cos\beta_x x \cos\beta_y y \sin\beta_z z \\ \hat{H}_x = -j\frac{2\beta_x\beta_z}{\beta_x^2 + \beta_y^2}\hat{C}\sin\beta_x x \cos\beta_y y \cos\beta_z z \\ \hat{H}_y = -j\frac{2\beta_y\beta_z}{\beta_x^2 + \beta_y^2}\hat{C}\cos\beta_x x \sin\beta_y y \cos\beta_z z \\ \hat{E}_x = -\frac{2\omega\mu\beta_y}{\beta_x^2 + \beta_y^2}\hat{C}\cos\beta_x x \sin\beta_y y \sin\beta_z z \\ \hat{E}_y = -\frac{\omega\mu\beta_x}{\beta_x^2 + \beta_y^2}\hat{C}\sin\beta_x x \cos\beta_y y \sin\beta_z z \end{array} \right. \quad (12)$$

The resonant frequency is the same as in the TM modes. Equations (12) show that either m or n (but not both) can be zero and that p cannot be zero. Hence, two lowest-order modes are the TE_{011} and TE_{101} modes.

The fields of the TE_{101} mode have the lowest resonant frequency if we assume $\alpha \geq d \geq b$. For the TE_{101} mode the fields become:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{H}_z = j2\hat{C}\cos\frac{\pi x}{\alpha}\sin\frac{\pi z}{d} \\ \hat{H}_x = -j2\frac{\alpha}{d}\hat{C}\sin\frac{\pi x}{\alpha}\cos\frac{\pi z}{d} \\ \hat{E}_y = \frac{2\omega\mu\alpha}{\pi}\hat{C}\sin\frac{\pi x}{\alpha}\sin\frac{\pi z}{d} \end{array} \right. \quad (13)$$

The electric field is y -directed and has a maximum at $x = a/2$ and $z = d/2$. Thus, in order to excite this mode efficiently, an electric field probe (say, coaxial cable with the center conductor exposed) could be inserted at the center of the side of largest area.

We will calculate the resonant frequency for the TM_{110} , TE_{101} and TE_{011} modes using the dimensions that are shown in Figure 2 in concordance with Figure 4.

$$\text{which are: } \left\{ \begin{array}{l} a = 29 \cdot 10^{-2} \text{ m} \\ b = 29 \cdot 10^{-2} \text{ m} \\ d = 19 \cdot 10^{-2} \text{ m} \end{array} \right.$$

We will use (9) and we must consider that a , b and c are in mm in Fig 2, so we have to transform them in meters to use in our equation and that u is the speed of light.

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{c,mnp} = \frac{u}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2} \\ f_{c,110} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{\left(\frac{1}{29 \cdot 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{1}{29 \cdot 10^{-2}}\right)^2} \\ f_{c,110} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{11.89 + 11.89} \\ f_{c,110} = 0.731 \text{ GHz} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{c,101} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{\left(\frac{1}{29 \cdot 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{1}{19 \cdot 10^{-2}}\right)^2} \\ f_{c,110} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{11.89 + 5.26} \\ f_{c,110} = 0.621 \text{ GHz} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{c,011} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{\left(\frac{1}{29 \cdot 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{1}{19 \cdot 10^{-2}}\right)^2} \\ f_{c,011} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{11.89 + 5.26} \\ f_{c,011} = 0.621 \text{ GHz} \end{array} \right.$$

From the values we obtained we can conclude that the lowest frequency we can obtain for our microwave oven is more than 0.815 GHz. Next we try to find a relation between m, n and p for our dimensions we chose in Fig 2. and for the 2.45 GHz resonant frequency.

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{c,mnp} = \frac{u}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2} \\ f_{c,110} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{\left(\frac{m}{18.8 \cdot 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{n}{25.1 \cdot 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{p}{27 \cdot 10^{-2}}\right)^2} \\ f_{c,110} = 1.5 \cdot 10^8 \sqrt{28.29 \cdot m^2 + 15.87 \cdot n^2 + 13.71 \cdot p^2} \\ 16.3 = \sqrt{28.29 \cdot m^2 + 15.87 \cdot n^2 + 13.71 \cdot p^2} \end{array} \right.$$

where m,n,p = 1,2,3,4.....

5. Standing waves in microwave ovens

The solution of the three-dimensional wave equation with boundary conditions (see e.g. [1]) gives standing waves in the three dimensions x, y and z, which altogether obey the equation:

$$\frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda_x^2} + \frac{1}{\lambda_y^2} + \frac{1}{\lambda_z^2} \tag{14}$$

The wavelengths λ_x , λ_y and λ_z are determined by the linear dimensions L_x , L_y and L_z of the chamber:

$$L_x = l \frac{\lambda_x}{2} \quad L_y = m \frac{\lambda_y}{2} \quad L_z = n \frac{\lambda_z}{2} \tag{15}$$

where l, m, n are natural numbers. The solutions for given (l, m, n) are denoted as modes of **Table 1**. All modes of a microwave oven of dimensions 29 cm × 29 cm × 19 cm, which lead to a wavelength in the interval 12.0 cm < λ_0 < 12.5 cm. Four modes are quite close to the magnetron wavelength of 12.25 cm.

λ_0 (cm)	l	m	n
12.103	1	1	3
12.274	2	4	1
12.274	4	2	1
12.277	2	3	2
12.277	3	2	2
12.375	0	1	3

of the resonator. Obviously equation (2) allows more than one possibility to satisfy the same given value of λ . In commercial microwave ovens, the dimensions L_x , L_y and L_z scatter appreciably; e.g. a survey of about 20 different ovens gave values of $L_x = 28\text{--}35$ cm, $L_y = 27\text{--}33$ cm and $L_z = 17\text{--}21$ cm. In the following an example with $L_x = 29$ cm, $L_y = 29$ cm and $L_z = 19$ cm will be discussed. Equations (14) and (15) allow a number of resonator frequencies which lie close to the emitted magnetron frequency. Table 1 demonstrates that there are six possible solutions in the wavelength range between

12 cm and 12.5 cm.

6. Quality factor

The quality factor Q [1, 7] is a measure of the energy losses and, hence, also the frequency width $\Delta\omega$ of the modes. Q gives the ratio of the energy stored in the resonator and the energy loss per cycle:

$$Q = \omega E / (dE/dt) \tag{16}$$

For $Q \gg 1$ this may be written as:

$$Q \approx \omega / \Delta\omega \tag{17}$$

The energy losses are due to four factors. First, microwaves may exit through the

housing of the microwave oven. Safety regulations ensure that this contribution is negligibly small. Second, losses occur due to absorption in the walls, third due to absorption in the food within in the cooking chamber (the desired mechanism), and fourth, there is the chance that microwaves are coupled back into the magnetron. The latter mechanism may play a role if the oven is used empty, and it should be avoided in order to ensure a long lifetime of the magnetron. The overall quality factor can be calculated from

$$1/Q = 1/Q_1 + 1/Q_2 + \dots \quad (18)$$

If the oven is used empty, wall losses are most important. They can be estimated from the penetration depth δ [1, 7]:

$$Q_{\text{empty}} \approx V/S\delta \quad (19)$$

where V is the volume and S the inner surface area of the chamber. Typically, with air-filled volumes of about $29 \times 29 \times 19 \text{ cm}^3$ and $\delta \approx 1 \text{ }\mu\text{m}$ one finds Q -values of the order of 10^4 . For frequencies of 2.45 GHz, this leads to frequency widths of only 0.25 MHz, i.e.

3. How Q varies

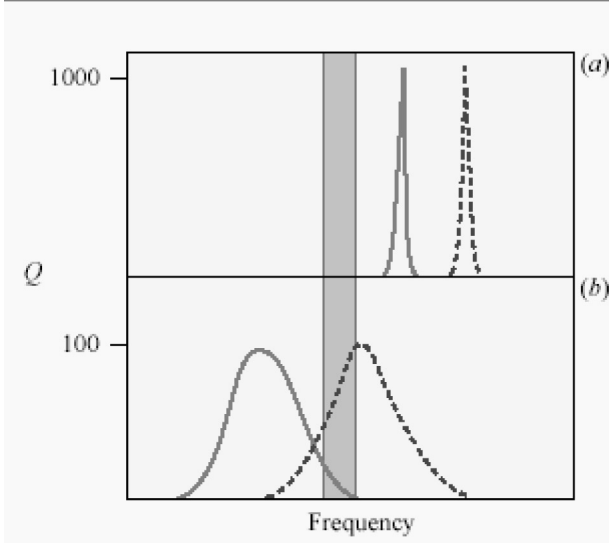


Figure 5: Schematic diagram showing how Q varies with frequency for two different modes of resonance in a microwave oven (not to scale): (a) with oven empty, (b) with food. The shaded band shows the frequency of the magnetron. If drawn to scale the widths of the modes in (b) would be about 100 times those in (a).

the resonance modes are very narrow compared with the magnetron frequency width.

Figure 5 depicts schematically a frequency spectrum of the modes of a cooking chamber. If some water containing food is placed in the chamber, i.e. a dielectric is inserted, the additional losses—being much larger than the wall losses—lead to a shift of the resonances to lower frequencies as well as an appreciable broadening of the modes. Due to the shifts and broadening, described by a quality factor that may well be of the order of 10^2 , more than one resonator mode may be excited. The larger the oven and the more losses are present, the more modes may be excited simultaneously.

These multimode cavities have a more homogeneous field distribution, which is desirable for many applications, including cooking.

7. Quality factor

Food products release their moisture as steam during microwave cooking. When the food is cooked in a closed container, steam will accumulate in the headspace and this increases cooking efficiency. The model to be developed will take into account both the heat and mass (moisture) transfer during microwave cooking. To simplify the model following assumptions are considered.

- (1) The food product in the container was modeled as axisymmetric cylinder geometry (Figure 6).
- (2) Initial temperature and moisture distribution in the sample were assumed uniform.
- (3) Shrinkage of food product during microwave cooking was neglected.
- (4) Surface cooling is considered only due to evaporation and natural convection.
- (5) Bottom of the bowl receives negligible amount of energy due to reflection from the floor of the microwave oven during microwave heating.

Conduction heat transfer with heat generation with in the food is the primary mode of heat transfer during microwave heating.

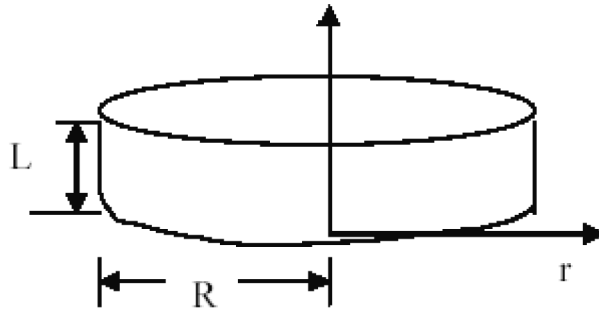


Figure 6: Axisymmetric Model of the Food System

Axisymmetric transient heat transfer problem in cylindrical co-ordinates is governed by the partial differential equation:

$$K_{rr} \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{K_{rr}}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + K_{zz} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + Q = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (20)$$

Assuming the thermal conductivity (k) as constant,

$$K \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{K}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + Q = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (21)$$

$$\text{With initial condition:} \quad T(r, z) = T_0 \text{ at } t = 0 \quad (22)$$

and the boundary conditions are:

$$-KA \frac{\partial T}{\partial r} = h_r A(T_s - T_a) + \lambda_v \frac{\partial m}{\partial t} \quad \text{at } r = R \quad (22)$$

$$-KA \frac{\partial T}{\partial z} = h_l A(T_s - T_a) + \lambda_v \frac{\partial m}{\partial t} \quad \text{at } z = L \quad (23)$$

The increase in temperature in the head space because of the steam release from the food during microwave heating can be calculated by heat balance:

$$V_h Q_a C_{pa} \frac{\partial T_a}{\partial t} = h_r A(T_s - T_a) \quad (24)$$

and mass transfer is given by,

$$\frac{\partial m}{\partial t} = h_m A(P_s - P_a) + \frac{QVC_p}{\lambda_v} \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) \quad (25)$$

Microwave energy entering the food from radial direction (r) and from longitudinal direction (z) must be considered in calculating the heat generation term (Q). Q is given by,

$$Q = Q_r \exp\left(-\frac{(R-r)}{\delta_p}\right) + Q_z \exp\left(-\frac{(L-z)}{\delta_p}\right) \quad (26)$$

The finite element method was used and the equations were solved over time by commercial software, FEMLAB.. Linear triangle elements were used and the number of elements was 1634 and the number of nodes was 878 (Figure 7).

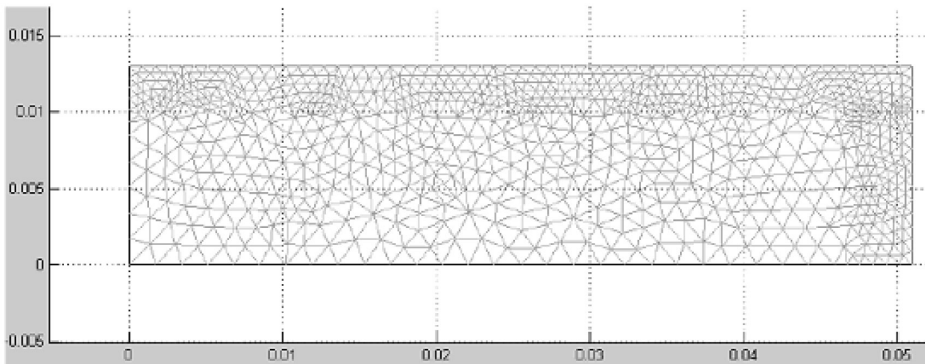


Figure 7: Finite Element Mesh

8. Model parameters

Thermal properties such as thermal conductivity, specific heat, density, and latent heat of vaporization are obtained from Polley et al., (1980) and Sanz et al., (1987) and used in

the modeling. The effect of latent heat of vaporization will be considered only during heating and not during holding or cooling. Specific heat of steam was used as the specific heat of food at temperatures greater than 106°C. The surface heat transfer coefficient was calculated by (Toledo, 1991).

$$h_t = 1.3196 \left(\frac{|T_s - T_a|}{D} \right)^{0.25} \quad (27)$$

The surface mass transfer coefficient is given by (Serenio and Medeiros, 1990)

$$\frac{h_1}{h_m \lambda_v} = 64.7 P_a / K \quad (28)$$

The penetration depth is given by (Nelson et al., 1994),

$$\delta_p = \frac{\delta_0}{2\pi(2\epsilon')^{0.5}} \left[\left(1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 \right)^{0.5} - 1 \right]^{-0.5} \quad (29)$$

The dielectric properties ϵ' and ϵ'' were calculated for ground beef patties using predictive equations given by Gunasekaran et al., (2002a)

$$\epsilon' = 50.69 - 0.08T + 0.0005T^2 - 1.23F + 0.03F^2 \quad (30)$$

$$\epsilon'' = 16.70 - 0.05T + 0.0007T^2 + 0.22F \quad (31)$$

For frozen broccoli, ϵ' and ϵ'' were calculated using equations given in Gunasekaran et al., (2002b). The average of coefficients for florets and stem parts were used to obtain coefficients for ϵ' and ϵ'' ,

$$\epsilon' = 73.55 - 0.25T + 0.001T^2 \quad (32)$$

$$\epsilon'' = 18.85 - 0.165T + 0.00145T^2 \quad (33)$$

The saturated vapour pressure of air with respect to temperature is given by Weiss (1977):

$$P_x = 614.97 \exp \left[17.2694 \left(\frac{T - 273}{T - 35.7} \right) \right] \quad (34)$$

Partial vapour pressure will be calculated by multiplying the saturated vapour pressure by relative humidity of air or by water activity of food.

6. Simulation results and discussions

The cavity is excited by one magnetron (frequency 2.45 GHz, average power 1 kW) through the waveguide feeder where the dominant (TE_{10}) mode is generated; the walls are of perfect electric conductivity. The electric field in the oven simulated by EMC2000-VF and visualized by HyperMesh is shown in Figure 8a.

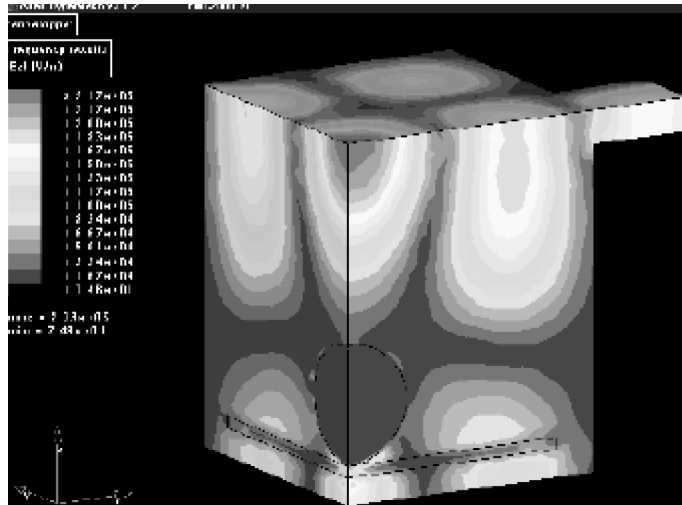


Figure 8a

In Figure 8b is shown SAR in the horizontal cut (QuickWave-3D) Fig 8a.

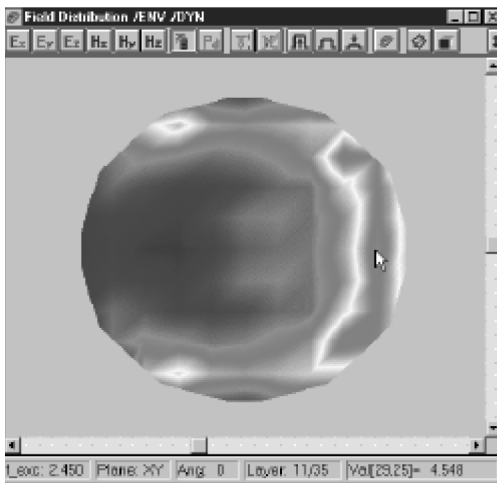


Figure 8b

The structure turns out to be highly resonant; at the operating frequency, the level of reflections is equal to -6.6 dB, i.e., about 22% of energy is reflected back to the magnetron. The patterns of dissipated power suggest that the food sample is very non-uniformly heated.

The patterns of dissipated power within a food sample in a thin-wall package placed in a MW oven have been also obtained with the use of QuickWave-3D. The scenario designed for the Daewoo 800 W domestic oven (internal size $320 \times 330 \times 214$ mm) includes the cylindrical product placed in

the rectangular paper box consisting of two equivalent bottom and top parts with 1mm gap between them.

The box is centered on the bottom of the oven (Figure 9). The QuickWave's model has been built on the basis of this scenario. Computation was performed on the mesh of the cubic cells of $4 \times 4 \times 4$ mm size; the total number of the cells in the model was about 570,000.

The Figure 9 shows the computed heat release within the absorbing materials, i.e., the packaging box and the food sample. It includes the SAR patterns in the three 6mm

horizontal layers. It is seen that the chosen product in the given oven will be heated extremely nonuniformly.

Each cross-section possesses a significant «hot spot» placed between the center and the left surface of the cylinder facing the open end of the exciting waveguide. The maximum value of dissipated energy in these areas varies with the height and appears to be largest at the level about 1/4 of the height of the sample from the bottom. The only cross-section with relatively uniform energy distribution (the top of the cylinder, the max/min ratio in the pattern is about 3.5) is associated with the smallest value of the dissipated power.

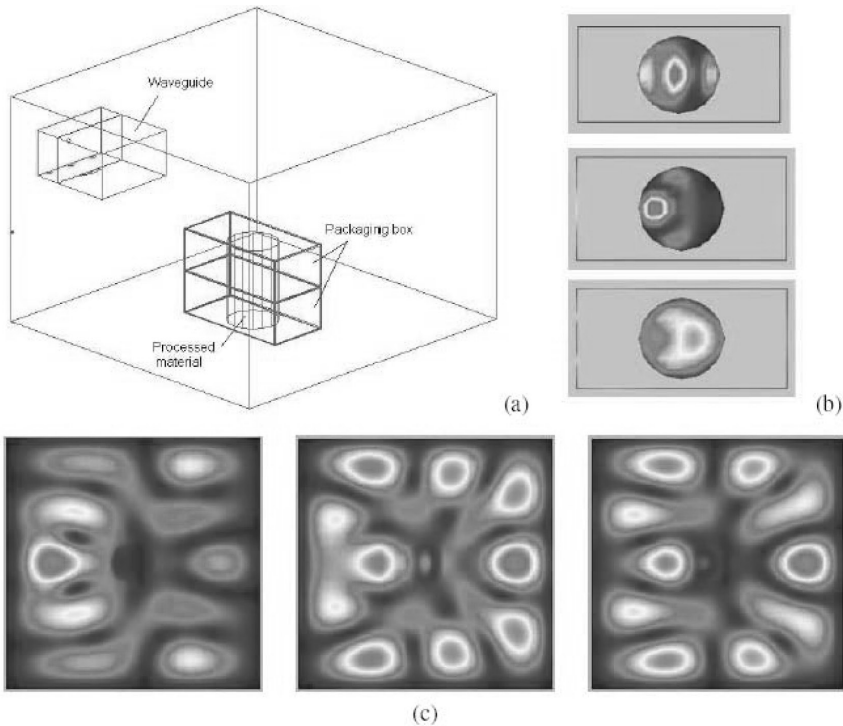


Figure 9: A standard 2.45 GHz oven with the cylindrical food sample (diameter 50 mm, height 74 mm, $\epsilon = 10.6 - i3.5$, conductivity $\sigma = 0.47$ S/m, density $\delta = 0.48$ g/cm³) in the paper box (120 × 60 × 80 mm, thickness 1 mm, $\epsilon = 2.6 - i0.9$, $\sigma = 0.122$ S/m, $\delta = 1.2$ g/cm³) (a): SAR patterns in the sample's top (72.5 mm from the oven's bottom), center (38 mm) and bottom (3.5 mm) horizontal 6 mm layers (b): dominating (vertical) component of the electric field in the horizontal cuts at the same heights respectively (c).

It turns out that the bottom wall of the package is strongly overheated. In the «hot spot», the value of dissipated energy is even larger than the maximal energy released in the processed material. This happens in spite of the fact that the sample product is characterized

by larger values of complex permittivity than the box material and the thickness of the package wall is only 1 mm. The long vertical walls encounter insignificant heating.

The central parts of the short walls are overheated with the ratios about 100 and 30 for the wall in front of the waveguide and for the opposite one respectively. The maximum values of energy released in these box walls are comparable with the maximal values of energy in the «hot spots» of many cross-sections of the food sample.

Computational experiment conducted for the same cavity and the load but in the absence of the package box shows practically no difference in the SAR patterns of the food sample. This observation suggests that packages made from typical paper-based materials can sustain overheating even if the thickness of the walls is very small. However, such packages are unable to really change the heat pattern of the processed product contained within. This point resulted from the computer simulation appears to be consistent with the reasoning derived from the analytical approach estimated characteristics of the efficient controlling materials.

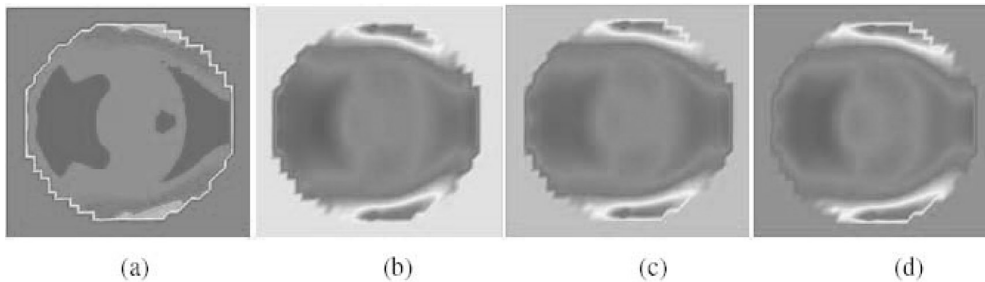


Figure 10: Temperature distributions in the top horizontal 2 mm layer of the 1-liter water cylinder in 1 (a), 2 (b), 3 (c), and 6 (d) minutes starting from the initial temperature of $T = 5^{\circ}\text{C}$ constant throughout the layer. Max/min values of temperature in the patterns are 18/6, 28/7, 34/8, and 40/10 $^{\circ}\text{C}$ respectively.

In Figure 10 is shown the analysis of the temperature patterns suggests that heating of the top layer of 1 liter of water load is characterized by strong «hot spots» along the cylinder's edges. Air around the load possesses constant temperature (20 $^{\circ}\text{C}$), but since the patterns reproduce the relative temperature distributions, the air area appears in different colours from purple (a) through yellow (b) to green (d). The rate of heating of the water cylinder is slightly decreased, but (at least within the present time interval) the trend of the pattern is not changed.

10. The rotating turntable

Once the microwaves have been coupled into the cooking chamber, they are effectively reflected by the metallic walls. The waves resonate in the cavity and form

standing waves. The analysis of these standing waves is simplified by the fact that the wavelength of the microwaves is roughly the same as the linear dimensions of the chamber.

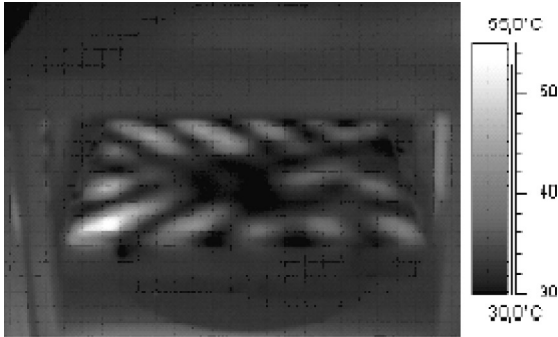


Figure 11: Visualization of the horizontal mode structure in a microwave oven using infrared thermal imaging. A glass plate with a thin water film was placed at a height of 8 cm and heated for 15 s with a microwave power of 800 W without using the turntable.

An ideal microwave oven cooks all food evenly but the nodes and antinodes of the standing waves can cause the food to burn in some places but to remain cool in others. The homogeneity of the field distribution may be estimated theoretically from the number of modes that may be excited within a narrow frequency range close to the magnetron frequency (see below) or studied experimentally. Figure 11 shows the intensity distribution within an oven of $29 \times 29 \times 19 \text{ cm}^3$ at height of about 8 cm.

A horizontal glass plate covered with a thin film of water was placed in a microwave (without its rotating turntable) on full power (800 W) for about 15 s. The false colour image was obtained with a thermal infrared camera. With only a small amount of water present, the image shows the microwave intensity distribution in a nearly empty chamber. There is a pronounced horizontal mode structure, which would lead to uneven heating of food.

This is the reason for having a rotating turntable: the rotation will move the food in and out of the hot spots. Some ovens have a mode stirrer, i.e. a rotating reflector at the top to get a more homogeneous field distribution, and there are investigations into how geometrical changes of the wall structure may improve the situation.

11. The average microwave power

Quantitatively, the average microwave power absorbed by a dielectric may be written as:

$$P = \omega \epsilon_0 \epsilon_2 E_{\text{eff}}^2 V \quad (35)$$

where V is the volume of the dielectric and E_{eff} the square of the average electric field within this volume. ϵ_0 is the imaginary part of the dielectric constant $\epsilon = \epsilon_1 + i\epsilon_2$. For pure liquid water, the changes of $\epsilon_1(\omega)$ and $\epsilon_2(\omega)$ are displayed schematically in figure 12 for various temperatures. These curves are considered to be typical for most kinds of food containing water.

Since food is usually heated from about room temperature to, say, 100 °C, figure 12 suggests that choosing a frequency between 10 and 100 GHz will produce optimum power absorption according to equation (35). As a matter of fact, a different physical criterion decides which frequency to choose.

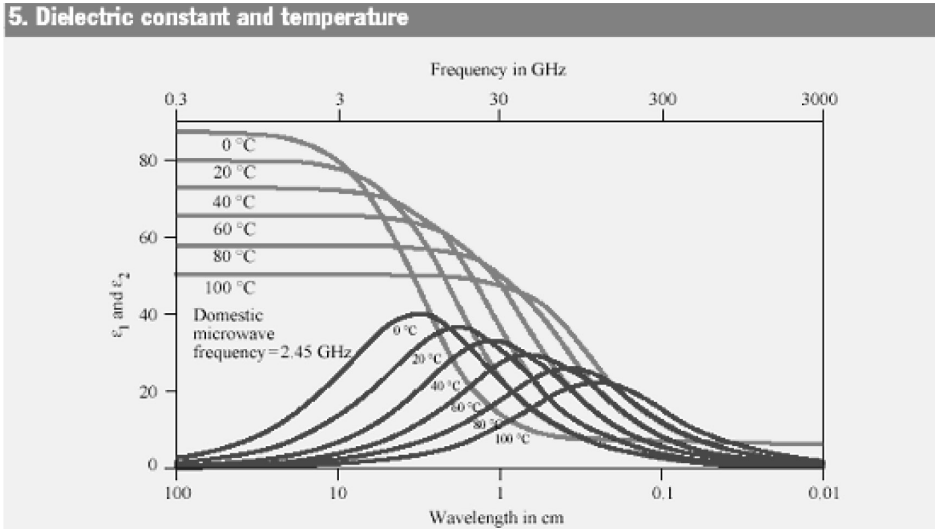


Figure 12: Real and imaginary parts of the dielectric constant $\epsilon(\omega)$ for microwaves and various temperatures between 0 °C and 100 °C.

12. Penetration depths of microwave in water

Using $\epsilon = n_2$ one may calculate the imaginary part of the refractive index and from this the absorption coefficient α , which is related to the penetration depth δ of the electromagnetic waves (equation $\delta = \lambda/4 \cdot \pi \cdot n_2$) by $\alpha = 1/\delta$. Figure 13 gives a crude overview in the form of a double logarithmic plot of the absorption coefficient of water from the microwave region (0.1 GHz) to the UV region (10^{16} Hz). Obviously water shows a very pronounced increase of the absorption coefficient with frequencies extending into the IR region. This may even lead to $\alpha > 10^3 \text{ cm}^{-1}$, which corresponds to penetration depths δ of less than 10 μm . Between the vibrational excitations in the IR and the electronic excitations in the UV, there is the well known minimum of $\alpha \leq 10^3 \text{ cm}^{-1}$ in the visible, which leads to δ well above 10 m for clear water, i.e. the high transmission of water experienced every day.

Figure 13 also explains why microwave ovens use a frequency of about 2.45 GHz rather than 20 to 1000 GHz, as may have been guessed from Figure 13. With increasing frequency, α increases rapidly, i.e. the penetration depth $\delta = 1/\alpha$ decreases rapidly. The

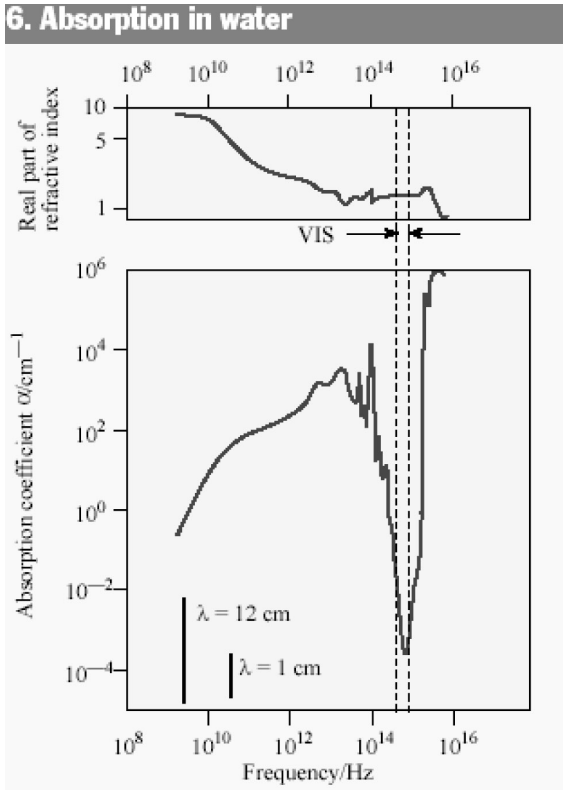


Figure 13: Absorption coefficient for water from microwaves to the UV.

food in microwave ovens has typical dimensions of the order of cm, and hence the penetration depth should be in this range. With a frequency of 20 GHz, the penetration depth would be much smaller, i.e. the energy would be absorbed in a thin surface layer of the food (toasting the food) while the interior would remain cold. The lower frequency chosen results in absorption of the microwaves everywhere in the food. Therefore the surface will only get a brown crust if additional grilling facilities are available.

13. Conclusions

By analysing the results obtained by the program that computed the resonance frequency, it can be seen that in the first stage, when we had the air as dielectric, for the initial sizes we did not obtain the desirable resonance frequency in any of the studied propagation mode, so that is necessary to modify one of the dimensions of the applicator in order to obtain the resonance frequency $f = 2.45$ GHz.

References

1. A. Breccia, A. Fini, A. Feroci, G. Grassi, B. Dellonte, S. Mongiorgi, Coupled Systems Dielectric microwave to improve Thermal Effects. *J Microwave Power and Elm.* 30,1,1995.
2. F. Gardiol, *Hyperfrequencies* Ed. Georgi, Lausanne, 1981.
3. W. J. L. Jansen, B. J. C. Wekken, Modelling of Dielectrically Assisted Drying *J. Microwave Power and Elm. Energy* vol 26, p. 119, 1991.
4. C. W. Townbridge, Computing Electromagnetic Fields for Research and Industry, major achievements and future trends, *IEEE Trans on Mag.*, 32(3), 1996.
5. Peter A. Rizzi, *Microwave engineering passive circuits*, Prentice Hall, 1st edition (December 1, 1987).
6. Clayton R. Paul, Keith W. Whites, Syed A. Nasar, *Introduction to Electromagnetic Fields*, The McGraw-Hill, McGraw-Hill College, 3rd edition (December 9, 1997).
7. Paul Reitz, Frederick J. Milford, Robert W. Christy, *Foundations of Electromagnetic Theory*, Addison Wesley; 4th edition (October 31, 1992).
8. S.R. Pennock, P.R. Shepherd, *Microwave Engineering with wireless applications*, McGraw-Hill Professional Publishing (May 1, 1998).
9. A. Kokkosis Determining the sensibility of the power magnetron with the WTh cathode with direct heating, depending on the accuracy of execution of the anode and cathode 4th International Conference on Renewable Sources and Environmental Electro -Technologies, June 6 – 8, 2002, Stana de Vale – Spa – Romania, pp. 152 – 157, 2002.
10. David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Wiley; 3 edition (February 5, 2004).
11. C. Kokkonis, A. Kokkosis, *Microwave Heating Electromagnetic Field Profiles*, Scientific Review of Applied Research of TEI Piraeus, Volume XII, No 1, 2007 pp. 39-47.
12. M. Tomse, S. Pasca, A. Kokkosis, Comparison Between Results of Numerical Simulation of Electromagnetic Forming Applied on Metallic Workpieces Using Different Software, 7th International Conference on Renewable Sources and Environmental Electro-Technologies, RSEE 2008, 29-30 May 2008, Oradea Romania, pp. 144 – 148, 2008.

Pattern recognition of environmental sounds using time-frequency distributions

*Ioannis Paraskevas
Department of Electronics
Engineering
T.E.I. of Piraeus*

*Maria Rangoussi
Department of Electronics
Engineering
T.E.I. of Piraeus*

Abstract

Environmental sounds are signals recorded in areas of environmental or ecological interest, that convey information as to the status, the inhabitation and the use / human activities of the area. An increasing research interest in this field has recently produced an increasing number of databases that contain environmental sounds. The need for automatic event classification within the recordings of such databases has accordingly grown in importance. In this paper, a novel method for the automatic recognition of environmental sounds is presented. The signals tested are echolocation calls produced by different species of bats. In the proposed method, each signal is processed to yield a time-frequency distribution, as the basis for the feature extraction. Time-frequency distributions are then compressed by extracting appropriate features. The feature vectors formed are introduced to an Artificial Neural Network classifier, in order to obtain classification decisions for each sound / event. Experimental results obtained from the classification of the bats' echolocation calls verify that the proposed method is capable to discriminate the aforementioned family of environmental sounds. The potential of the proposed method to perform well for other classes of environmental sounds is based on its generic, signal independent nature.

Keywords: *Signal processing, feature extraction, pattern recognition of environmental sounds, time-frequency distributions.*

Περίληψη

Οι περιβαλλοντικοί ήχοι είναι σήματα που καταγράφονται σε περιοχές οικολογικού ενδιαφέροντος και φέρουν πληροφορία για την κατάσταση, την ενδημικότητα και τη χρήση μιας περιοχής. Το αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον για αυτό το επιστημονικό πεδίο έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία βάσεων δεδομένων περιβαλλοντικών ήχων. Συνεπώς, η αυτόματη ταξινόμηση των περιβαλλοντικών ήχων που έχουν αποθηκευτεί σε αυτές τις βάσεις δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντική. Σε αυτή τη δημοσίευση παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος για την αυτόματη αναγνώριση περιβαλλοντικών ήχων. Τα σήματα που ταξινομούνται ανήκουν στην κατηγορία των ηχοεντοπιστικών (echolocation calls) και παράγονται από διαφορετικά είδη νυχτερίδων. Συγκεκριμένα, στην προτεινόμενη μέθοδο οι χρονοσυχνοτικές κατανομές που προκύπτουν από τα σήματα συμπίεζονται, ώστε να εξαχθούν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά από αυτές. Τα διανύσματα χαρακτηριστικών που προκύπτουν με αυτόν τον τρόπο από τα σήματα, εισάγονται σε ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο προκειμένου να ταξινομηθούν. Τα πειραματικά αποτελέσματα ταξινόμησης των ηχοεντοπιστικών σημάτων επιβεβαιώνουν ότι η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να διαχωρίσει επιτυχώς την προαναφερόμενη οικογένεια περιβαλλοντικών ήχων (ηχοεντοπιστικά σήματα). Η προτεινόμενη μέθοδος δύναται να εφαρμοστεί για την ταξινόμηση και άλλων τάξεων περιβαλλοντικών ήχων επειδή είναι ανεξάρτητη από τη φύση των ήχων που χρειάζεται να ταξινομηθούν.

Λέξεις κλειδιά: *Επεξεργασία σήματος, εξαγωγή χαρακτηριστικών, αναγνώριση προτύπων για περιβαλλοντικούς ήχους, χρονοσυχνοτικές κατανομές.*

1. Introduction

The role of content-based classification has become increasingly important due to the increasing number of audio-visual databases (Wold et al., 1996). In most cases classification is based on features derived from the visual content of the database. However, although this approach seems successful, the rate of correct classification is increased when audio cues are also employed (Paraskevas and Chilton, 2004; Paraskevas et al., 2006). Moreover, there exist problem cases where visual information is not available and hence, sound is the only information source for event classification. In this paper, a new method is presented for the classification of environmental sounds. The proposed method is based on features extracted from the time-frequency distributions of the signals (Paraskevas and Chilton, 2003).

In generally, the application of pattern recognition is divided into two stages, namely: i) feature extraction and ii) classification. The (correct) classification rate depends on how efficiently the feature vectors introduced to the classifier encapsulate the information content of the signals (Webb, 2002).

Features commonly used for the application of audio pattern recognition are:

- the audio signal energy function,
- the average zero-crossing rate,
- the fundamental frequency,
- the spectral peak track,
- the brightness,
- the bandwidth pitch frequency and
- the cepstral / Mel-cepstral coefficients

(Zhang and Kuo, 2001; Wold et al., 1996).

Subsets of the aforementioned features, typically used for speech / speaker recognition, have been applied ad hoc to sound classification problems / applications. The features, though, that are employed for speech / speaker recognition use apriori information, related to the human speech production model and hence, they are not appropriate or suitable for classes of sounds other than speech. Moreover, in existing research (Zhang and Kuo, 2001; Wold et al., 1996), the features employed are either temporal or frequency related; features extracted from time-frequency distributions of the signal are rarely utilized. Time-frequency distributions present the signal's frequency evolution in time. In the proposed method, the feature vectors are formed from statistical features extracted from time-frequency distributions of the signal.

There exist two types of sound pattern recognition: the «coarse» and the «fine» one. The first aims to classify sounds that do not belong to the same family, so as to identify different sports, environmental events etc. based on their sound content, whereas the second aims to classify sounds that belong to the same family, so as to identify different species of bats, birds or different kinds of string instruments etc. based on the sounds they produce. Consequently, «fine» classification is more demanding compared to «coarse» classification as the features that have to be extracted need to accurately represent the characteristics of each class to the classifier.

In this work, experiments are carried out using a database of echolocation calls recorded from fourteen (14) species of bats that exist in the United Kingdom (UK). In the feature extraction part of the pattern recognition process, the statistical measurements extracted from the Fourier Magnitude Spectrogram and the Choi-Williams Distribution form the feature vectors. In the classification part these feature vectors are introduced to an Artificial Neural Network classifier. The novelty of the

proposed method is the use of statistical features that encapsulate the evolution of the spectral content of the signal with time, for the application of pattern recognition of environmental sounds.

The remaining part of this paper is structured as follows: In Sections 2 and 3 the feature extraction and the classification parts of the pattern recognition process for this application are described and in Sections 4 and 5 are presented the results of the proposed method and the conclusions, respectively.

2. Time-Frequency Distributions and Statistical Feature Vectors

2.1 Time-Frequency Distributions

Probably the most popular time-frequency distribution is the Fourier Magnitude Spectrogram (FMS). The FMS evaluates the Fourier Transform of the signal using a sliding window and describes the evolution of the signal magnitude content in time (Proakis and Manolakis, 1992; Rabiner and Schafer, 1978). Figures 1a, 2a and 3a present the Time Domain signals and figures 1b, 2b and 3b the corresponding FMS of the echolocation call signals produced by three of the bat species examined in this work (see Section 4 for details).

The other time-frequency signal representation employed in the proposed method is the Choi-Williams Distribution (CWD). The CWD is a relative of the Wigner-Ville Distribution in that they both belong to the Cohen's general class of time-frequency distributions (Cohen, 1989). Specifically, the Cohen's general class of time-frequency distributions is defined as:

$$P_{\text{GEN}}(t,f) = \frac{1}{4\pi^2} \iiint e^{-j\theta t - j2\pi f\tau + j\theta u} \varphi(\theta,\tau) \times^* \left(u - \frac{\tau}{2}\right) \times \left(u + \frac{\tau}{2}\right) du d\tau d\theta \quad (1)$$

where: $\varphi(\theta,\tau) = 1$ for the Wigner-Ville Distribution

or $\varphi(\theta,\tau) = e^{-\frac{\theta^2\tau^2}{\sigma^2}}$ for the CWD.

Note that the complex-conjugate operator (*) is used, as the signals may be in their analytic form, i.e. complex-valued.

The CWD is preferred, for our application, to the Wigner-Ville Distribution due to its cross-term reduction property (Nikias and Petropulu, 1993).

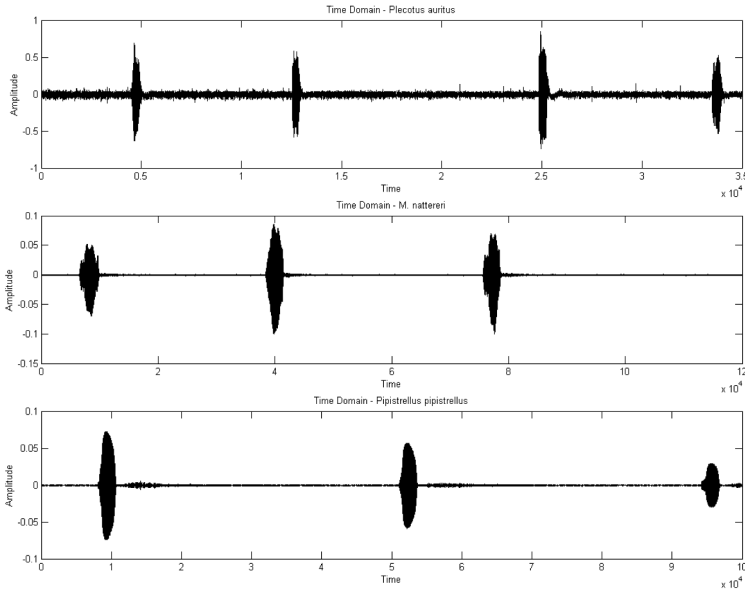


Figure 1a: Time Domain – Echolocation call of *Plecotus auritus* bat

Figure 2a: Time Domain – Echolocation call of *M. nattereri* bat

Figure 3a: Time Domain – Echolocation call of *Pipistrellus pipistrellus* bat

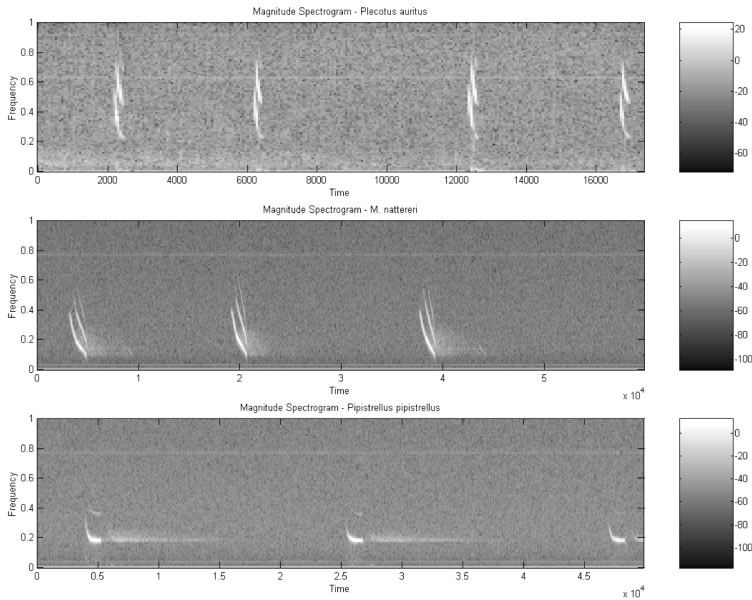


Figure 1b: Fourier Magnitude Spectrogram – Echolocation call of *Plecotus auritus* bat

Figure 2b: Fourier Magnitude Spectrogram – Echolocation call of *M. nattereri* bat

Figure 3b: Fourier Magnitude Spectrogram – Echolocation call of *Pipistrellus pipistrellus* bat

2.2 Statistical Feature Vectors

The information content of each time-frequency distribution has to be expressed in a more compact form - via feature vectors – in order to be introduced to the ANN in an efficient manner. Hence, after the time-frequency distributions are computed for each recording, a group of statistical features (Mood et al., 1974) is calculated from each distribution. Namely, the eight statistical measurements which form the feature vector for this application are:

i) Variance:

$$\text{Variance} = \varepsilon |x_i - \bar{x}|^2 \quad (2)$$

where, \bar{x} represents the sample mean.

ii) Skewness:

$$\text{Skewness} = \frac{\varepsilon(x_i - \bar{x})^3}{\sigma^3} \quad (3)$$

where, σ represents the sample standard deviation.

iii) Kurtosis:

$$\text{Kurtosis} = \frac{\varepsilon(x_i - \bar{x})^4}{\sigma^4} \quad (4)$$

where, σ again, represents the sample standard deviation.

iv) Inter-Quartile Range (I.Q.R.):

$$\text{I.Q.R.} = Q_{75} - Q_{25} \quad (5)$$

i.e. the I.Q.R. is the difference between the 75th and 25th data percentile.

v) Median is defined as the central value of the ordered data set.

vi) Mean Absolute Deviation (M.A.D.):

$$\text{M.A.D.} = \varepsilon |x_i - \bar{x}| \quad (6)$$

where \bar{x} represents the sample mean.

vii) Range is the difference between the maximum and minimum values in the data set:

$$P = \max_i(x_i) - \min_i(x_i) \quad (7)$$

viii) Log-Entropy:

$$E(x) = \sum_{i=1}^N \log(x_i^2) \quad (8)$$

where \log represents the logarithm and x_i represents the signal samples.

In all the statistical features defined above, the expected value operator $\varepsilon(\cdot)$ is in

practice estimated as time average along the N signal samples of a single recording, i.e.,

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (.)$$

samples.

These eight statistical measurements form the feature vector of each time-frequency distribution, calculated for each signal recording.

3. Artificial Neural Network Classifier

In this application, for the classification part of the pattern recognition process an Artificial Neural Network (ANN) is employed. The type of ANN selected is a Self-Organizing Map (SOM). Self-organizing networks detect regularities and correlations and adjust their future responses according to previous inputs (Kohonen, 2001). The neurons of the self-organizing networks recognize groups of similar vectors. Neurons that are physically close in the neuron layer tend to respond to input vectors that are similar to each other. These networks classify the input vectors into classes based on a competitive layer so as (a) to form subclasses of input vectors and then (b) to combine subclasses into final output classes (Kohonen, 1988).

4. Experiments and Results

In this Section, the experimental procedure and the results are presented for the pattern recognition of fourteen (14) species of bats, which exist in the UK, based on the echolocation calls they produce. These fourteen bat species namely are:

- *Barbastella barbastellus*,
- *Eptesicus serotinus*,
- *Myotis bechsteinii*,
- *M. brandtii*,
- *M. daubentonii*,
- *M. mystacinus*,
- *M. nattereri*,
- *Nyctalus leisleri*,
- *N. noctula*,
- *Pipistrellus pipistrellus*,

- *P. pygmaeus*,
- *Plecotus auritus*,
- *Rhinolophus ferrumequinum* and
- *R. hipposideros*.

The recordings of the echolocation calls employed for the experiments, are provided by (see Acknowledgement).

The proposed method is divided in two stages. The aim of the first stage is to classify the aforementioned fourteen species in four groups and the aim of the second stage is to classify each one of the species within its group. Analytically, for the first stage, the feature vectors introduced to the ANN are formed from the statistical features (Subsection 2.2) extracted from the FMS of the signals (Parsons and Jones, 2000). Thus, the feature vectors introduced to the ANN classify the fourteen species in four groups:

1. Group A consists of the following five bat species:
Barbastella barbastellus, *Plecotus auritus*, *Eptesicus serotinus*, *Nyctalus leisleri* and *N. noctula*,
2. Group B consists of the following five bat species:
Myotis bechsteinii, *M. brandtii*, *M. daubentonii*, *M. mystacinus* and *M. nattereri*,
3. Group C consists of the following two bat species:
P. pygmaeus and *Pipistrellus pipistrellus*,
4. Group D consists of the following two bat species:
Rhinolophus ferrumequinum and *R. hipposideros*.

After the fourteen echolocation calls have been classified in these four groups based on their magnitude spectral characteristics, the same process is repeated for the second stage, using the CWD in order to classify each bat's echolocation call within its group. Consequently, for the second stage, the feature vectors introduced to the ANN, formed from the statistical features (Subsection 2.2) extracted from the CWD rather than the FMS, classify each bat's echolocation call within its group (figures 4a, 4b, 4c and 4d).

Summarizing, the feature vectors formed by the feature extraction and classification method previously described, are distributed as shown in figures 4a, 4b, 4c and 4d. For the experiments, ten samples are employed of each species. Of each species within each group, only the central «point» is shown in figures 4a, 4b, 4c and 4d, for simplicity. These central points are projected to a 1×2 – dimensional space for presentation purposes, although they are 1×8 – dimensional feature vectors, originally (Subsection 2.2). Hence, one can observe that the feature vectors employed are appropriate to discriminate the aforementioned classes as none of the central points coincide or appear to be close to each other.

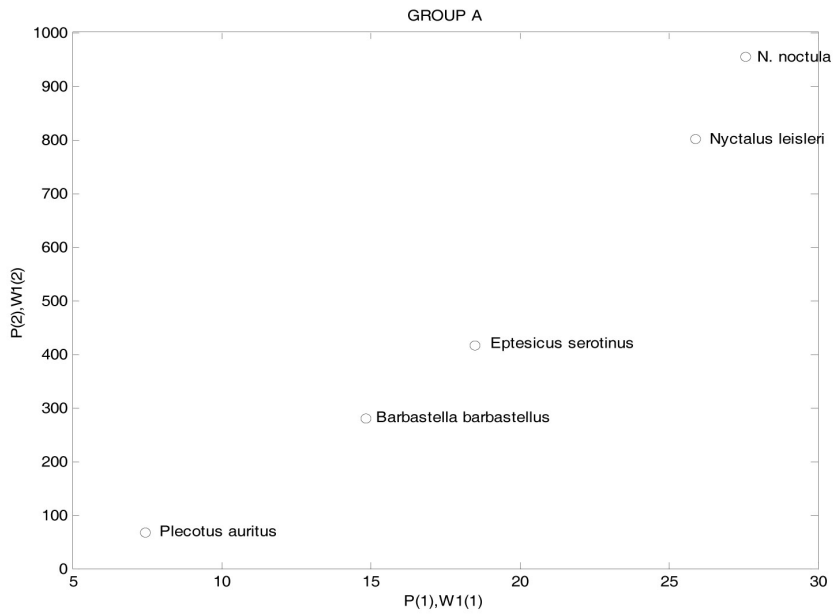


Figure 4a: Classification of Group A of bats

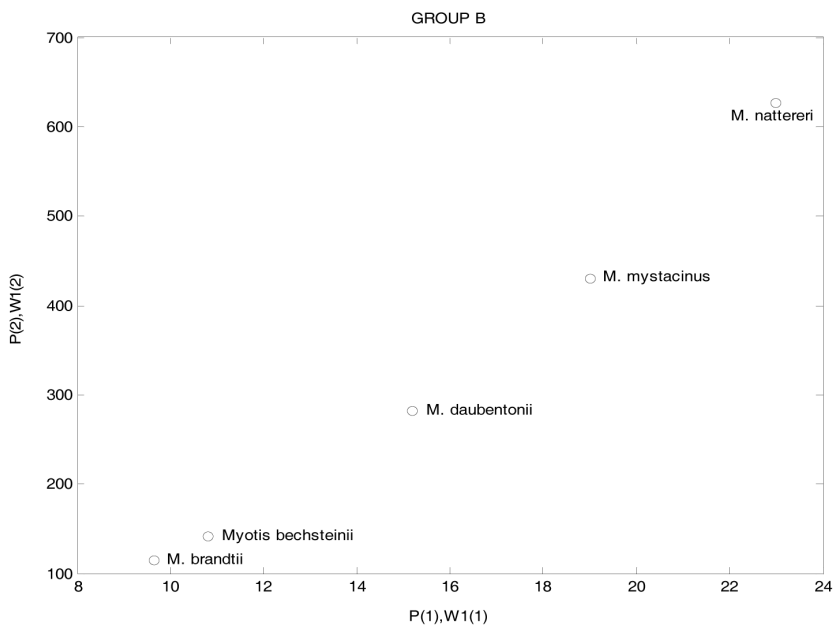


Figure 4b: Classification of Group B of bats

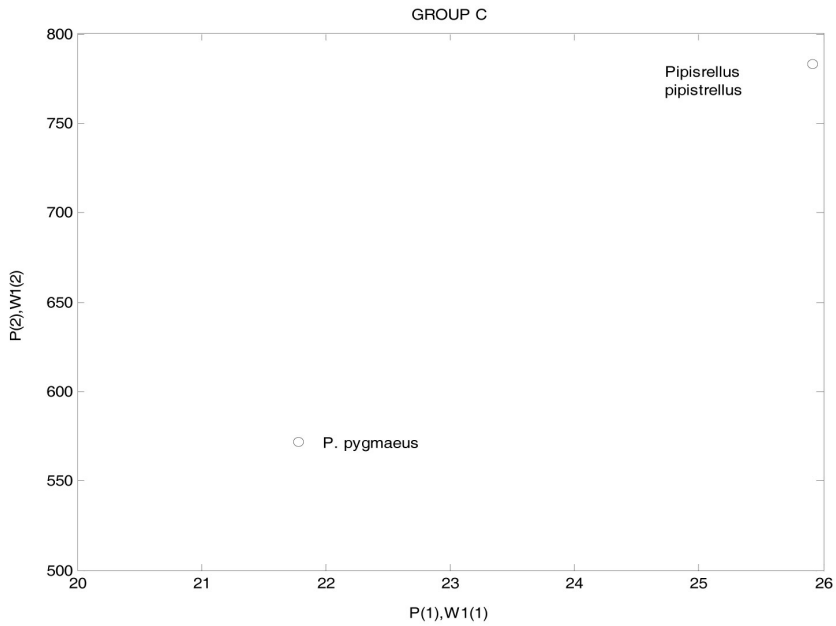


Figure 4c: Classification of Group C of bats

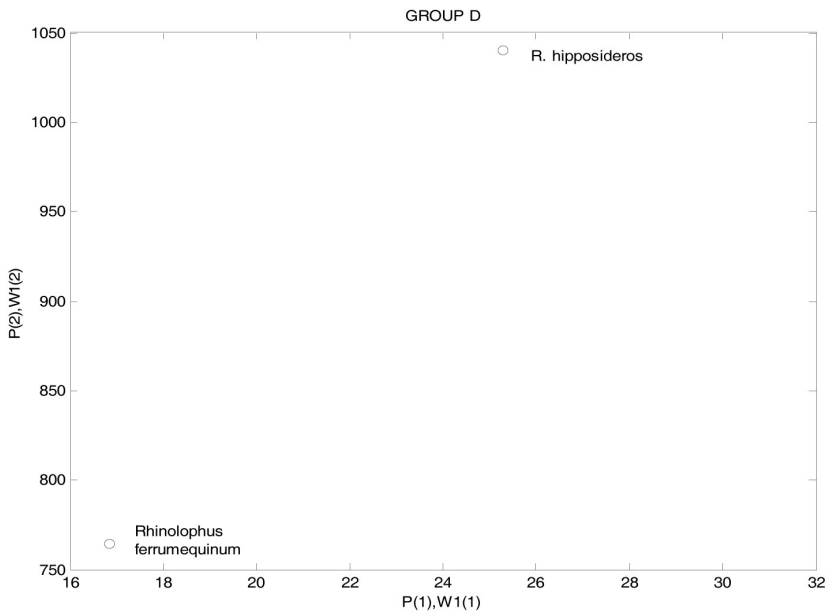


Figure 4d: Classification of Group D of bats

5. Conclusions and Future Research

The aim of this research is to apply pattern recognition methods for the classification of environmental events based on their sound content. The database tested for this research consisted of the echolocation calls that produce fourteen species of bats that exist in the UK. These fourteen classes of sounds belong to the same family and consequently, the pattern recognition task is demanding due to the similarity among them. The experimental results showed that the novel method proposed, which employs statistical features extracted from time-frequency distributions, is appropriate for the classification of environmental events.

A relatively new research area where the classification of environmental sounds is applied, is the development of soundscapes (Krause, 2002). Soundscapes are maps which contain sound rather than morphological information. They are an important tool for the monitoring of certain areas of interest, such as NATURA 2000 areas (European Union's network of nature protection areas). The periodic comparison of the soundscapes of a certain area can provide useful ecological related observations.

Acknowledgements

We gratefully acknowledge the assistance of S. Parsons and G. Jones of School of Biological Sciences, University of Bristol for providing the echolocation call recordings employed in this research.

References

- Cohen L. (1989). Time-frequency distributions - A review. *Proceedings of the IEEE*, 77(7): 941-980.
- Kohonen T. (1988). Self-organization and Associative Memory. 2nd Edition Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York.
- Kohonen T. (2001). Self-organizing maps. 3rd Edition Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York.
- Krause B. (2002). Wild soundscapes: Discovering the voice of the natural world. Berkeley, California: Wilderness Press.
- Mood, A.M., Graybill, F.A., and Boes, D.C. (1974). Introduction to the theory of statistics, McGraw-Hill International, New York, chapter V.5.
- Nikias C.L., and Petropulu A.P. (1993). Higher-order spectra analysis a nonlinear signal processing framework. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- Paraskevas, I., and Chilton, E. (2003). Audio classification for retrieval from multimedia databases. *Proceedings of the EC-VIP-MC, 4th EURASIP Conference focused on Video/Image Processing and Multimedia Communications*, Zagreb, Croatia, pp.187–192.
- Paraskevas, I., and Chilton, E. (2004). Combination of Magnitude and Phase Statistical Features for Audio Classification. *Acoustics Research Letters Online*, 5 (3), 111–117.
- Paraskevas, I., Chilton, E., and Rangoussi, M. (2006). Audio classification using features derived from the Hartley transform. *Proceedings of the 13th Intl. Workshop on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP'2006)*, Budapest, Hungary, pp.309–312.
- Parsons S., and Jones G. (2000). Acoustic Identification of twelve species of echolocation bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *The Journal of Experimental Biology*, 203, 2641-2656.
- Proakis J.G., and Manolakis D.G. (1992). Digital Signal Processing Principles, Algorithms, and Applications. Macmillan Publishing Company.
- Rabiner L., and Schafer R.W. (1978). Digital processing of speech signals. Prentice-Hall.
- Webb A.R. (2002). Statistical Pattern Recognition. 2nd edition John Wiley & Sons.
- Wold E., Blum T., Keislar D., and Wheaton J. (1996). Content-Based classification, search and retrieval of audio. *IEEE Multimedia Fall 1996*, pp. 27-36.
- Zhang T., and Kuo C.C.J. (2001). Audio content analysis for online audiovisual data segmentation and classification. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, vol. 9, no. 4.

Measuring the efficiency of a CBR System

Michael Gr. Voskoglou
Professor of Mathematical Sciences
School of Technological Applications
T.E.I. of Patras

Περίληψη

Κατασκευάζουμε ένα Μαρκοβιανό πρότυπο για τη διαδικασία του Συλλογισμού δια της Μελέτης Περιπτώσεων (ΣΜΠ). Επιτυγχάνουμε με τον τρόπο αυτό να υπολογίσουμε τις πιθανότητες να βρίσκεται η διαδικασία του ΣΜΠ σε κάποιο από τα κύρια στάδια της (ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση, διόρθωση, διατήρηση) σε μια συγκεκριμένη φάση της επίλυσης του αντίστοιχου προβλήματος. Επίσης δημιουργούμε ένα μέτρο για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας ενός συστήματος ΣΜΠ και δίδουμε παραδείγματα, που απεικονίζουν τα αποτελέσματα μας.

Abstract

We build a Markov model for the Case-Based Reasoning (CBR) process. In this way we succeed to calculate the probabilities for the CBR process to be in a certain of its major steps (retrieval, reuse, revision, retaining) at a certain phase of the solution of the corresponding problem. We also obtain a measure for the efficiency of a CBR system and we give examples to illustrate our results.

Key words: *Finite Markov chains, Case-Based Reasoning, Intelligent systems.*

1. CBR: Foundational issues and applications

The Case-Based Reasoning (CBR) process is a recent theory for problem-solving and learning in computers and people (Aamodt and Plaza, 2004; Voskoglou, 2008). Broadly construed it is the process of solving new problems based on the solutions of similar past problems. The term problem-solving is used here in a wide sense, which means that it is not necessarily the finding of a concrete solution to an application problem, it may be any problem put forth by the user. For example to justify or criticize a proposed solution, to interpret a problem situation, to generate a set of possible solutions or generate explanations in observable data, are also problem solving situations.

Its coupling to learning occurs as a natural by-product of problem solving. When a problem is successfully solved, the experience is retained in order to solve similar problems in future. When an attempt to solve a problem fails, the reason for the failure is identified and remembered in order to avoid the same mistake in future. Thus CBR is a cyclic and integrated process of solving a problem, learning from this experience, solving a new problem, etc.

CBR traces its roots in Artificial Intelligence to the work of Roger Schank and his students at Yale University – U.S.A. in early 1980's. Schank's model of dynamic memory (Schank, 1982) was the basis of the earliest CBR system that might be called a case-based reasoner, the CYRUS system (Kolodner, 1983).

The CBR systems expertise is embodied in a collection (*library*) of past cases rather, than being encoded in classical rules. Each case typically contains a description of the problem plus a solution and/or the outcomes. The knowledge and reasoning process used by an expert to solve the problem is not recorded, but is implicit in the solution.

For a better understanding of the present work the reader would be familiar with the basic concepts and methodology of the CBR process (Aamodt and Plaza, 2004).

As an intelligent-systems method CBR has got a lot of attention over the last few years, because it enables the information managers to increase efficiency and reduce cost by substantially automating processes. CBR first appeared in commercial systems in the early 1990's and since then has been used to create numerous applications in a wide range of domains including *diagnosis, help-desk, assessment, decision support, design*, etc.

More explicitly:

- CBR diagnostic systems try to retrieve past cases, whose symptom lists are similar in nature to that of the new case and suggest diagnoses based on the best matching retrieved cases.
- CBR diagnostic systems are also used in the customer service area dealing with handling problems with a product or service (help-desk applications).
- In the assessment processes CBR systems are used to determine values for variables by comparing it to the known value of something similar. Assessment tasks are quite common in the finance and marketing domains.

- In decision making, when faced with a complex problem, people often look for analogous problems for possible solutions. CBR systems have been developed to supporting this problem retrieval process to find relevant similar problems.
- Systems to support human designers in architectural and industrial design have been developed. These systems assist the user in only one part of the design process, that of retrieving past cases, and would need to be combined with other forms of reasoning to support the full design process.

Organizations as diverse as IBM, VISA International, Volkswagen, British Airways and NASA have already made use of CBR in applications such as customer support, quality assurance, aircraft maintenance, process planning and decision support, and many more applications that are easily imaginable.

2. A descriptive framework for the CBR process

CBR has been formalized for purposes of computer and human reasoning as a four steps process. These steps involve:

R₁: Retrieve the most similar to the new problem past case.

R₂: Reuse the information and knowledge of the retrieved case for the solution of the new problem.

R₃: Revise the proposed solution.

R₄: Retain the part of this experience likely to be useful for future problem-solving.

More specifically, the retrieve task starts with the description of the new problem, and ends when a best matching previous case has been found. The reuse of the solution of the retrieved case in the context of the new problem focuses on two aspects: (i) The differences between the past and the current case, and (ii) what part of the retrieved case can be transferred to the new case. Usually in non trivial situations part of the solution of the retrieved case cannot be directly transferred to the new case, but requires an adaptation process that takes into account the above differences. Through the revision the solution generated by reuse is tested for success – e.g. by being applied to the real world environment, or to a simulation of it, or evaluated by a specialist – and repaired, if failed. When a failure is encountered, the system can then get a reminding of a previous similar failure and use the failure case in order to improve its understanding of the present failure, and correct it. In other words, there is a transfer from R₃ to R₁ in this case, and the same circle is repeated again. The revised task can then be retained directly (if the R₃ task assures its correctness), or it can be evaluated and repaired again. In the latter case the CBR process remains in fact in step R₃ for two successive phases. The final step R₄ involves selecting which information from the

new case to retain, in what form to retain it, how to index the case for better retrieval in future for similar problems, and how to integrate the new case in the memory structure.

According to the above description one can design the «flow-diagram» of the CBR process shown in Figure 1.

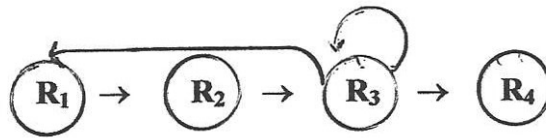


Figure 1: CBR flow-diagram

Notice that Riesbeck and Bain (1987), Slade (1991), Lei et al. (2001), Aamodt and Plaza (2004) have already presented detailed flowcharts illustrating the basic steps of the CBR process. However our brief flow-diagram of Figure 1 will help us to build a stochastic (Markov chain) model that enables a mathematical representation of the CBR process.

3. The Markov model

Roughly speaking a Markov chain is a stochastic process that moves in a sequence of phases through a set of states and has «no memory». This means that the probability of entering a certain state in a certain phase, although it is not necessarily independent of previous phases, depends at most on the state occupied in the previous phase. This property is known as the *Markov property*.

When its set of states is a finite set, then we speak about a *finite Markov chain*. For a detailed exposition of the relevant mathematical theory of such type of chains see Kemeny and Snell, 1976, to which we refer freely below.

In this paper we present a Markov chain model for the mathematical description of the CBR process. For this, assuming that the CBR process has the Markov property, we introduce a finite Markov chain having as states the four steps of the CBR process described in the previous section. The above assumption is a simplification (not far away from the truth) made to the real system in order to transfer from it to the «assumed real system». This is a standard technique applied during the mathematical modelling process of a real world problem, which enables the formulation of the problem in a form ready for mathematical treatment (see Voskoglou, 2007, section 1).

Denote by p_{ij} the transition probability from state R_i to R_j , for $i, j = 1, 2, 3, 4$, then the matrix $A = [p_{ij}]$ is said to be the *transition matrix* of the chain.

According to the flow-diagram of the CBR process shown in Figure 1 we find that

$$A = \begin{matrix} & R1 & R2 & R3 & R4 \\ \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ p_{31} & 0 & p_{33} & p_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

where we obviously have that $p_{31} + p_{33} + p_{34} = 1$.

Further let us denote by $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots$ the successive phases of the above chain, and also denote by

$$P_i = [p_1^{(i)} p_2^{(i)} p_3^{(i)} p_4^{(i)}]$$

the row - matrix giving the probabilities $p_j^{(i)}$ for the chain to be in each of the states R_j , $j = 1,2,3,4$, in the phase φ_i , $i = 1,2,\dots$ of the chain, where we obviously have that

$$\sum_{j=1}^4 p_j^{(i)} = 1.$$

The above row-matrix is called the *probability vector* of the chain at phase φ_i .

From the transition matrix A and the flow diagram of Figure 1 we obtain the «tree of correspondence» among the several phases of the chain and its states shown in Figure 2 . From this tree becomes evident that

$$P_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0], P_1 = [0 \ 1 \ 0 \ 0], P_2 = [0 \ 0 \ 1 \ 0], \text{ and } P_3 = [p_{31} \ 0 \ p_{33} \ p_{34}].$$

Further it is well known that

$$P_{i+1} = P_i A, \quad i = 0,1,2,\dots$$

Therefore we find that

$$P_4 = P_3 A = [p_{33} p_{31} \ p_{31} \ p_{33}^2 \ p_{34} (p_{33} + 1)]$$

$$P_5 = P_4 A = [p_{33}^2 p_{31} \ p_{33} p_{31} \ p_{31} + p_{33}^3 \ p_{34} (p_{33}^2 + p_{33} + 1)]$$

and so on.

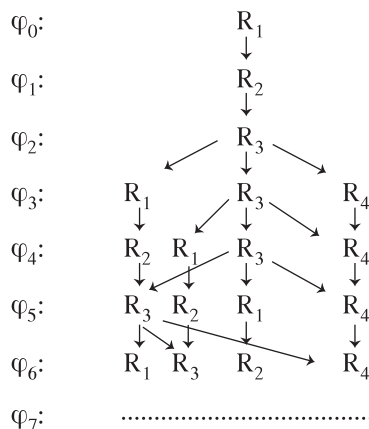


Figure 2

Observe now that, when the chain reaches state R_4 , it is impossible to leave it, because the solution process of the new problem via the CBR approach finishes there. Thus we have an *absorbing Markov chain* with R_4 its unique absorbing state. Applying standard techniques from the theory of absorbing chains we bring the transition matrix A to its *canonical (or standard) form* A^* by listing the absorbing state first and then partition it as follows:

$$A^* = \begin{array}{c} R_4 \\ R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{array} \left[\begin{array}{c|ccc} R_4 & & & \\ \hline & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline & 0 & 0 & 1 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 1 \\ & p_{34} & p_{31} & 0 & p_{33} \end{array} \right].$$

Symbolically we can write

$$A^* = \left[\begin{array}{c|c} I & 0 \\ \hline R & Q \end{array} \right],$$

where Q stands for the transition matrix of the non absorbing states. Then the *fundamental matrix* of the chain is given by

$$N = (I_3 - Q)^{-1} = \frac{\text{adj}(I_3 - Q)}{D(I_3 - Q)},$$

where I_3 denotes the 3X3 unitary matrix, $\text{adj}(I_3 - Q)$ denotes the adjoint matrix and $D(I_3 - Q)$ denotes the determinant of $I_3 - Q$. A straightforward calculation gives that

$$N = \frac{1}{1 - p_{31} - p_{33}} \left[\begin{array}{ccc} 1 - p_{33} & 1 - p_{33} & 1 \\ -p_{31} & -p_{33} & 1 \\ p_{31} & p_{31} & 1 \end{array} \right] = [n_{ij}]$$

It is well known that the entry n_{ij} of N gives the mean number of times in state R_j when the chain is started in state R_i . Therefore, since the present chain is always starting from R_1 , the sum

$$t = n_{11} + n_{12} + n_{13} = \frac{3 - 2p_{33}}{1 - p_{31} - p_{33}}$$

gives the mean number of phases of the chain before absorption, in other words the mean number of steps for the completion of the CBR process is $t+1$. It becomes therefore evident that, the bigger is the value of t , the greater is the difficulty encountered for the solution of the given problem via the CBR process. The ideal case is when the CBR process is completed straightforwardly, i.e. without «backwards» from R_3 to R_1 , or «stays» to R_3 (see Figure 1). In this case we have that $p_{31} = p_{33} = 0$ and $p_{34} = 1$, therefore $t = 3$. Thus in general we have that $t \geq 3$.

The following simple example illustrates our results:

EXAMPLE: Consider the case of a physician, who takes into account the diagnosis and treatment of a previous patient having similar symptoms in order to determine the disease and treatment for the patient in front of him. Obviously the physician is using CBR. If the initial treatment fails to improve the health of the patient, then the physician either revises the treatment (stay to R_3 for two successive phases), or, in more difficult cases, gets a reminding of a previous similar failure and uses the failure case to improve its understanding of the present failure and correct it (transfer from R_3 to R_1). The process is completed, when the physician succeeds to cure his patient.

Assume that the recorded statistical data show that the probabilities of a straightforward cure of the patient and of each of the above two reactions of the physician in case of failure are equal to each other. This means that $p_{13} = p_{33} = p_{34} = \frac{1}{3}$ and therefore $t = 7$, i.e. the mean number of steps for the cure of the patient is 8.

Further, one finds that

$$P_3 = \left[\frac{1}{3} \quad 0 \quad \frac{1}{3} \quad \frac{1}{3} \right], P_4 = \left[\frac{1}{9} \quad \frac{1}{3} \quad \frac{1}{9} \quad \frac{4}{9} \right], P_5 = \left[\frac{1}{27} \quad \frac{1}{9} \quad \frac{4}{9} \quad \frac{13}{27} \right]$$

and so on. Observing for example the probability vector P_5 one finds that the probability for the CBR process to be at the step of revision (R_3) in the 6th phase after its starting is $\frac{4}{9}$,

or approximately 44.44%, the corresponding probability to be at the step of retaining the acquired experience (R_4) is $\frac{13}{27}$, or approximately 48.15% (in this case it is possible that the CBR process has arrived to the absorbing state R_4 in an earlier phase), etc.

Note: Knowing the exact «movements» during the CBR process one can calculate the number of steps needed for the absorption of the chain directly from the flow-diagram of Figure 1. For example, considering the above case of the physician, assume that the initial treatment given to the patient failed to cure him and the physician got a reminding of a similar failure in the past in order to correct it. Assume further that the new treatment didn't give the expected results and the physician revised it again succeeding in this way to cure the patient. According to the assumptions mentioned above it is easy to come to the conclusion that the number of steps needed for the absorption is exactly 8.

4. Measuring the efficiency of a CBR system

The challenge in CBR is to come up with methods that are suited for problem-solving

and learning in particular subject domains and for particular application environments. In line with the process model described in section 3, core problems addressed by CBR research can be grouped into five areas: Representation of cases, and methods for retrieval, reuse, revision and retaining the acquired experience. A CBR system should support the problems appearing in the above five areas. A good CBR system should support a variety of retrieval mechanisms and allow them to be mixed when necessary. In addition, the system should be able to handle large case libraries with the retrieval time increasing linearly (at worst) with the number of cases.

Let us consider a CBR system including a library of n recorded past cases and let t_i , as it has been calculated in the previous section, be the mean number of steps for the completion of the CBR process for case c_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Each t_i could be stored in the system's library together with the corresponding case c_i . We define then the system's *efficiency*, say t , to be the mean value of the t_i 's of its stored cases, i.e. we have that

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} .$$

The more problems are solved in future applications through the given system, the bigger becomes the number n of the stored cases in the system's library and therefore the value of t is changing. As n increases it is normally expected that t will decrease, because the values of the t_i 's of the new stored cases would be decreasing. In fact, the bigger is n , the better would be the chance of a new case to «fit» well (i.e. to have minor differences) with a known past case, and therefore the less would be the difficulty of solving the corresponding problem via the CBR process. Thus we could say that a CBR system «behaves well» if, when n tends to infinity, then its efficiency t tends to 3.

EXAMPLE: Consider a CBR system that has been designed in terms of *Schank's model of dynamic memory* for the representation of cases (Schank, 1982). The basic idea of this model is to organize specific cases, which share similar properties, under a more general structure called a *generalized episode* (GE). During storing of a new case, when a feature of it matches a feature of an existing past case, a new GE is created. Hence the memory structure of the system is in fact dynamic, in the sense that similar parts of two case descriptions are dynamically generalized in to a new GE and the cases are indexed under this GE by their different features.

In order to calculate the efficiency of a system of this type we need first to calculate the efficiencies of the GE's contained in it. For example, assume that the given system contains a GE including three cases, say c_1 , c_2 and c_3 . Assume further that c_1 corresponds to a straightforward successful application of the CBR process, that c_2 is the case described in the example of section 3, and that c_3 includes one «return» from R_3 to R_1 and two «stays» to R_3 . Then $t_1 = 3$ and $t_2 = 7$, while for the calculation of t_3 observe that

$p_{31} = p_{34} = \frac{1}{4}$ and $p_{33} = \frac{1}{2}$, therefore $t_3 = 8$. Thus the efficiency of this GE is equal to $t = \frac{3 + 7 + 8}{3} = 6$. Notice that a complex GE may contain some more specific GE's

(e.g. see Figure 3 in page 12 of Aamodt and Plaza, 2004). In this case we only need to calculate the efficiency of the complex GE by considering all its cases, regardless if they belong or not to one or more of the specific GE's contained in it. Finally the efficiency of the system is the mean value of the efficiencies of its GE's.

Note: An alternative approach for the representation of cases in a CBR system is the *category and exemplar model* applied first to the PROTOS system (Porter and Bareiss, 1986). In this model the case memory is embedded in a network of categories, cases and index pointers. Each case is associated with a category. Finding a case in the case library that matches an input description is done by combining the features of the new problem case into a pointer to the category that shares most of these features. A new case is stored in a category by searching for a matching case and by establishing the appropriate feature indices. The process of calculating the efficiency of a system of such type is analogous to the process described in the above example, the only difference being that you have to work with categories instead of GE's. In a similar way one may calculate the efficiency of systems corresponding to other case memory models including Rissland (1983) and Ashley's HYPO system in which cases are grouped under a set of domain-specific dimensions, the MBR model of Stanfill and Waltz (1988), designed for parallel computation rather than knowledge-based matching, etc.

5. Final conclusions

CBR is a general paradigm for reasoning from expertise, which is not only a psychological theory of human cognition, but it also provides a foundation for a new technology of intelligent computer systems that can solve problems and adapt to new situations.

In the present paper we built a stochastic model for the CBR process by introducing a finite, absorbing Markov chain having as states the major steps of the process, i.e. the actions retrieve, reuse, revise and retain. Thus, by applying standard results of the theory of finite Markov chains, we succeeded to calculate the probabilities for the CBR process to be at a certain of its major steps at any phase of the solution of the corresponding problem, and we also obtained a measure for the efficiency of a given CBR system.

The above results could be useful to the case-based reasoner in several ways according to each special situation, but this, although we gave some simple examples illustrating our results, is a subject of further research, which is out of the scope of the present paper.

References

- Aamodt, A. and Plaza, E. (1994), Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *Artificial Intelligence Communications*, **7**/1, 39-52.
- Kemeny, J. and Snell, J. I. (1976), *Finite Markov Chains*, Springer-Verlag, New York.
- Kolodner, J.L. (1983), Reconstructive Memory: A Computer Model, *Cognitive Science*, **7**, 281-328.
- Lei, Y., Peng, Y., Ruan, X. (2001), Applying case-based reasoning to cold forcing process planning, *Journal of Materials Processing Technology*, **112**, 12-16.
- Porter, B. and Bareiss, B. (1986), PROTOS: An experiment in knowledge acquisition for heuristic classification tasks. In *Proceedings of the First International Meeting on Advances in Learning (IMAL)*, 159-174, Les Arcs, France.
- Riesbeck, C. and Bain, W. (1987), A Methodology for Implementing Case-Based Reasoning Systems. Technical Report, Lockheed.
- Rissland, E. (1983), Examples in legal reasoning: Legal hypotheticals, In: *Proceedings of the Eight International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, Karlsruhe.
- Schank, R. (1982), *Dynamic memory: A theory of reminding and learning in computers and people*, Cambridge Univ. Press.
- Slade, S. (1991), Case-Based Reasoning: A Research Paradigm, *Artificial Intelligence Magazine*, **12**/1, 42-55.
- Stanfill, C. and Waltz, D. (1988), The memory-based reasoning paradigm, In: *Case-based reasoning, Proceedings from a workshop*, 414-424, Morgan Kaufmann Publ., Clearwater Beach, Florida.
- Voskoglou, M. Gr. (2007), A stochastic model for the modelling process, In: *Mathematical Modelling: Education, Engineering and Economics*, Horwood Publishing, Chichester, Chaines, Chr., Galbraith, P., Blum W. and Khan, S. (Eds), Proceedings of ICTMA 12, London, UK, July 10-14, 2005, 149-157.
- Voskoglou, M. Gr. (2008), Case-Based Reasoning: A Recent Theory for Problem-Solving and Learning in Computers and People. In: *The Open Knowledge Society. A Computer Science and Information Systems Manifesto, Communications in Computer and Information Science*, **19**, 314-319, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.

Experimental and numerical investigation of structural response of reinforced concrete beams strengthened with anchored FRPS

*C. Demakos
Professor, MEng PhD,
Reinforced Concrete Lab,
Department of Civil Engineering
T.E.I. of Piraeus*

*C. Repapis
Research Engineer, MEng PhD,
Research Fellow, Department
of Civil Engineering
T.E.I. of Piraeus*

*D. Drivas
Research Engineer, MEng,
Research Fellow, Reinforced
Concrete Lab, Department
of Civil Engineering
T.E.I. of Piraeus*

Abstract

The response of simply supported lightly reinforced concrete (RC) beams under monotonic loading is experimentally and numerically investigated. The beams are loaded in four-point bending with two external vertical concentrated loads. They are reinforced with longitudinal and transverse reinforcement and strengthened with carbon (CFRP) or glass (GFRP) fabrics. While experimental methods of investigation are extremely useful in obtaining information about the behaviour of reinforced concrete, the use of

numerical models helps in developing a good understanding of the behaviour at lower cost.

In this study ANSYS finite element program is used to numerically verify the response of the RC beams obtained experimentally. ANSYS Solid65 nonlinear concrete solid elements are used to model the concrete, while LINK180 elements are used to model longitudinal and transverse steel reinforcement and Shell43 elements for the FRPs. The material characteristics used in the nonlinear analyses are obtained experimentally. The numerical results obtained are in good agreement with the experimental. The load capacity of the beams is within 10% of the experimental values and the failure modes and crack patterns are in good agreement with the experimental.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετάται η συμπεριφορά σε κάμψη αμφιέρειστων δοκών οπλισμένου σκυροδέματος με ελαφρύ καμπτικό εφελκνόμενο οπλισμό. Οι δοκοί αυτές υποβάλλονται σε μονοτονικό καμπτικό φορτίο και διερευνάται πειραματικά η συμπεριφορά τους, η οποία επιβεβαιώνεται επίσης θεωρητικά. Οι εξεταζόμενες δοκοί υποβάλλονται σε κάμψη με δύο εξωτερικά κατακόρυφα συγκεντρωμένα φορτία. Αυτές οπλίζονται με διαμήκη οπλισμό κάμψης και εγκάρσιο οπλισμό διάτμησης, ενώ κάποιες απ' αυτές ενισχύονται με ανθρακο-, (CFRP), ή υαλο-, (GFRP), υφάσματα. Απο την πειραματική έρευνα, χαράχθηκαν κυρίως τα διαγράμματα μεταβολής φορτίου- βέλους κάμψης των δοκών και προέκυψαν χρήσιμες πληροφορίες για την αντοχή, την πλαστιμότητα και την ακαμψία των ελαφρά οπλισμένων δοκών οπλισμένου σκυροδέματος, όπως επίσης και των ενισχυμένων με τα σύνθετα υλικά. Καθ' όσον όμως είναι γνωστόν, ότι οι πειραματικές μέθοδοι έρευνας είναι απολύτως απαραίτητες για την διερεύνηση της συμπεριφοράς των δοκών οπλισμένου σκυροδέματος, πρέπει να τονισθεί από την άλλη ότι η χρήση των αριθμητικών μοντέλων βοηθά στην κατανόηση της συμπεριφοράς παραμορφούμενης δοκού με μικρότερο κόστος.

Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιείται ο κώδικας πεπερασμένων στοιχείων ANSYS για να προσομοιωθεί η δοκός και να εκτιμηθεί θεωρητικά η απόκριση της δοκού σε κάμψη. Στην αριθμητική ανάλυση, που έγινε με το ANSYS, χρησιμοποιήθηκαν το στοιχείο Solid65 για να μοντελοποιηθεί η μη γραμμική συμπεριφορά του σκυροδέματος, το στοιχείο LINK180 για να μοντελοποιηθεί ο διαμήκης και ο εγκάρσιος χαλύβδινος οπλισμός και τέλος το στοιχείο Shell43 για τα υφάσματα ενίσχυσης της δοκού. Οι χρησιμοποιηθείσες μηχανικές ιδιότητες των υλικών στην αριθμητική ανάλυση προσδιορίζονται πειραματικά. Απο την διεξαχθείσα έρευνα, προκύπτει ότι τα αριθμητικά αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με τις πειραματικές μετρήσεις. Η θεωρητική αντοχή της δοκού προέκυψε ότι διαφέρει το πολύ, κατά 10%, από την αντίστοιχη πειραμα-

τική τιμή, ενώ οι μορφές αστοχίας και οι διαδόσεις ρωγμών στη δοκό μοιάζουν με τις αντίστοιχες πειραματικές.

Keywords: Reinforced concrete, FRP, finite element model, ANSYS.

1. Introduction

The need to strengthen RC structures is encountered in cases of load increase or damage induced to the structural members by a seismic or other action and in cases of design and construction faults. Various techniques can be applied to overcome such a structural deficiency resulting to a partial repair or complete replacement of the structure damaged. The use of FRP materials for structural repairing presents several advantages such as the high strength to weight ratio of FRP, the ease of FRPs application on site due to little equipment needed and finally the improved durability and corrosion resistance in strengthened structures. Externally bonded FRP laminates and fabrics can be used to increase shear and flexural strength of reinforced beams and columns. In order to increase flexural strength of beams, a continuous sheet of FRP can be bonded at its bottom face.

The behaviour of reinforced concrete elements is observed mainly from experiments. However, experiments take considerably time, labour and great cost and consequently, the studies are limited. A large number of finite element analysis programs have been developed over the past years in order to investigate the behaviour of reinforced concrete (RC) elements. Many of the FEA packages have difficulties in modelling the nonlinear behaviour of concrete structures adequately. The applicability of the FE models of different packages has been investigated by a great number of researchers (Cotsovos *et al.*, 2009).

In this study ANSYS (2006) is chosen for the numerical evaluation of RC beams strengthened with FRP composites. The use of ANSYS for the modelling of RC beams has been reported to be satisfactory by many researchers in the past (Barbosa and Ribeiro, 1998; Kachlakev *et al.*, 2001; Fanning, 2001; Elyasian *et al.*, 2006; Ameli *et al.*, 2007; Santhakumar *et al.*, 2007; Sandarraja and Rajamohan, 2008; Ibrahim and Mahmood, 2009; Cotsovos *et al.*, 2009; Buyukkaragoz, 2010).

The aim of the present study was the numerical evaluation and verification of structural behavior of tested reinforced concrete beams and strengthened with FRP composites. The experimental study was on the whole executed in the Laboratory of Reinforced Concrete at Piraeus TEI (Demakos, 2008). The numerical models applied in this study provide results close to the experimental results (Demakos, 2008) obtained from five simply supported beams. The load-deflection curves obtained from numerical

analyses, were compared with the reported experimental load-deflection plots in order to validate the model. The crack patterns in the beams at different loadings are also plotted. After the calibration of the model, it can then be used to extend the experimental results and study the behaviour of other beams at much lower effort, cost and much quicker, without having to conduct many experimental tests.

2. Numerical modelling with ANSYS

ANSYS (version 11) (2006) finite element program was chosen for the numerical evaluation of RC beams strengthened with FRP composites. Concrete is a material presenting nonlinear behaviour during loading and it was modelled with ANSYS to show similar behaviour.

2.1 Concrete

Solid65 element was used to model the concrete. This element is used for the 3-D modelling of solids with or without reinforcing bars (rebar). The solid is capable of cracking in tension and crushing in compression. The William and Warnke (1975) failure criterion is used for both cracking and crushing failure modes through a smeared model.

The element is defined by eight nodes and the isotropic material properties. Each node has three degrees of freedom, translations in the nodal x, y, and z directions. Up to three different rebar specifications may be defined. In our study reinforcement was modelled as another element.

Shear transfer coefficient represents conditions of the crack face. This coefficient represents a shear strength reduction factor for those subsequent loads, which induce sliding (shear) across the crack face. A value β_t for an open crack and β_c for a closed crack are given. The value of shear transfer coefficient ranges from 0.0 to 1.0. A value of 0.0 represents a smooth crack with complete loss of shear transfer, while 1.0 represents a rough crack with no loss of shear transfer. The values used in many studies varied. Santhakumar *et al.* (2007) for beams under pure bending used a value of 0.2 for open crack and 0.22 for closed crack, as proposed by Kachlakev *et al.* (2001), while for beams under combined bending and torsion used values of 0.1 and 0.12. Cotsovos *et al.* (2009) studied the effect of this parameter and concluded that adopting relatively high values, the FEA model yield realistic predictions of the response of the ductile beam investigated in their study, while adopting the same parameters to a brittle beam the FEA model overestimated the load carrying capacity and the maximum deflection. In this study a range of values for these coefficients were tested and finally an open shear transfer coefficient of 0.25 and a closed shear transfer coefficient of 0.65 were chosen. Another

parameter is the tensile crack factor, which is a multiplier for amount of tensile stress relaxation, and a value of 0.6 was adopted. The crushing capability was suppressed in this study and material cracked whenever a principal stress component exceeded the tensile stress, which was taken 1.9 MPa.

2.2 Reinforcing Steel

Barbosa and Riberio (1998) modelled the same beam using Solid65 element for concrete, once adopting truss bars as discrete reinforcement connecting solid elements nodes and once composed uniquely of solid elements, some of which containing a smeared reinforcement. The results of load-deflection curves were similar. In the current study a Link180 element was used to model steel reinforcement. This 3-D spar element is a uniaxial tension-compression element with three degrees of freedom at each node, translations in the nodal x, y, and z directions. Reinforcement bars were modelled connecting the nodes of concrete solid elements. As concrete and reinforcement bars used the same nodes, a perfect bond was considered between these two materials. This assumption is made from other researchers too (Kachlakev *et al.*, 2001; Fanning, 2001; Santhakumar *et al.*, 2007).

2.3 Steel Plates

Steel plates were present at the supports and loading locations in order to avoid stress concentration problems. Steel plates were assumed to be of linear elastic material. An eight-node solid element, Solid45, was used to model the steel plates. The element is defined with eight nodes having three degrees of freedom at each node, translations in the nodal x, y, and z directions.

2.4 FRP Laminates

FRP materials consist of a large number of small, continuous, directionalized, organic (composite) fibers with advanced characteristics, embedded in a resin matrix. Depending on the type of fiber they are referred to as AFRP (aramid fiber based), CFRP (carbon fiber based) or GFRP (glass fiber based). In this study the beams were strengthened with GFRPs and CFRPs at their bottom face.

A Shell43 element was used to model the FRP composites. The element has six degrees of freedom at each node. The bond between the FRP composites and concrete was considered also to be perfect. Pham *et al.* (2006) studied the bond characteristic between CFRP and concrete. Numerical analyses without perfect bonding should be also checked in future research.

3. Numerical Analysis

Experimental results from tests made in the Laboratory (Demakos, 2008) were compared with the numerical results from ANSYS in order to validate the numerical representation of reinforced concrete beams strengthened with FRP composites.

3.1 Geometry and materials properties of beams tested

Five 1100 mm long RC beams, with an effective span of 900 mm, were designed, constructed in the Laboratory and tested under monotonic four-point bending loading (**Fig. 1**). These beams are part of a group of specimens tested in the Laboratory (Demakos, 2008). The loading was applied stepwise through a 200 kN capacity servo-hydraulic machine in a force-controlled mode at the center of a stiffened spreader trapezoidal beam, which in turn distributed the load equally on a couple of identical bearing pads placed on the top of the beams (**Fig.2**). The beams consist of one control beam, and four beams strengthened with glass or carbon FRP bonded fabrics at their bottom face. In two of the strengthened beams the FRP composites were anchored in their end (**Fig. 3**).

The control beams (BV1) were designed to fail in flexure. Beams B1/GFRP and B1/CFRP were strengthened with a glass and a carbon fabric bonded at the bottom face of the beam, respectively. In beams B1/GFRP/CMAS and B1/CFRP/CMAS one U-shaped strip of the same FRP as the strengthening fabric was bonded at each end of the FRP. Through these strips, a tuft of glass fibers, the (CMAS), saturated in the epoxy resin mixture was inserted in drilled holes at every face of the beam and the (CMAS)' protruding tips were then splayed circularly over the U-strip. Finally, the anchored U-strip was covered by a 100x100 mm patch of the same FRP. More details about the experiments and the specimens are presented by Demakos (2008).

In **Tab. 1** all beams evaluated in this study are shown. The cross section of the beams was 100 mm width and 150 mm depth, and the length of the beam tested was 1100 mm. The control beam (BV1) dimensions along with the reinforcement details are shown in **Fig. 1**. The longitudinal reinforcement was two rebars of 8 mm diameter at the bottom and two at the top of the beams. Closed stirrups of 8 mm diameter were used, spaced every 50 mm at shear spans and 150 mm at the center of the beams. Transverse reinforcement of stirrups was designed in that way to avoid brittle shear failure of beams. The position of the FRPs in the strengthened beams is shown in **Fig. 3**.

The stress-strain relation shown in **Fig. 4a** is used for concrete. Young's modulus of elasticity is taken 27.6 GPa and Poisson's ratio 0.2. Maximum stress value is assumed to be 24 MPa, near the mean value of the test results. In the ascending part of the curve, values are calculated from the formula presented by EC2. The strain corresponding to the

maximum stress is assumed to be 0.002. After the peak-stress value there is a descending (strain-softening) branch until the ultimate strain of 0.0035. Beyond this value, the stress values decrease linearly until a small residual value is attained and remains constant thereafter. The maximum tensile stress of concrete is set to a value of 1.9 MPa.

The stress-strain curve for steel rebars is shown in **Fig. 4b**, and it is identical in tension and compression. Young's modulus is taken 200 GPa and Poisson's ratio 0.3. Yield stress of the rebars is 550 MPa, and ultimate stress 610 MPa, as they were obtained from the experimental results. Steel plates for supports and loading locations have a Young's modulus of 200 GPa and Poisson's ratio of 0.3.

In the present study linear elastic properties of FRP composites are assumed, as shown in **Fig. 4**. The material properties for FRP composites used in analysis of the strengthened beams are shown in **Tab. 2**. Ultimate tensile strength in primary fiber direction was taken as 550 MPa and 1100 MPa for GFRP and CFRP, respectively. Elongation at break is 2% and 1.5%, tensile modulus is 27.5 and 75 GPa for GFRP and CFRP, respectively. Laminate thickness is 1.3 mm for GFRP and 0.45 mm for CFRP. The stress-strain curves for GFRP and CFRP are shown in **Fig. 4c** and **Fig. 4d**, respectively.

The beams were analyzed using ANSYS finite element model and compared with the test results of the above specimens. In the experimental analysis (Demakos 2008) it was shown that U-strip and (CMAS) anchorage improved the load capacity and ductility of RC specimens. In the numerical analysis the U-strip was modelled for one beam but the results were similar with the beam without the (CMAS) anchorage. This was expected since perfect bonding was assumed in analyses. Hence, only beams with a FRP fabric at the bottom face were finally analyzed, and the results were compared to the experimental for beams with and without (CMAS) anchorage.

In analysis only one quarter of each beam was modelled due to transversal and longitudinal symmetry of the concrete beam and symmetry of the applied loading. With this approach the computational time and computer disk space requirements was reduced significantly. The finite element mesh and loading regions of the beams are shown in **Fig. 5**. FRP composites are modelled in the bottom face of the beam. The boundary conditions are shown in **Fig. 6**. Steel reinforcement and stirrups modelling of beams is shown in **Fig. 7**.

4. Results

4.1 Load deflection curves and failure load

The experimental and numerical load-deflection curves obtained for the beams are shown in **Fig. 8** to **Fig. 10**. In general, the load-deflection curves and the failure load from analyses are in acceptable agreement with the experimental.

The experimental and numerical load-deflection curves obtained for the, BV1, control

beam are shown in **Fig. 8**. The finite element model is stiffer than the actual beam. This difference could have several explanations. The bond between steel reinforcement and concrete is assumed perfect, although in the actual beam slip of the reinforcement may occur. Microcracks are present to the concrete to some degree due to shrinkage and handling. Also, the real material properties may be slightly different during tests than the ones assumed in analyses. The failure load of the control beam is smaller than the experimental load by 6%.

In **Fig. 9** the experimental and numerical load-deflection curves for the beam strengthened with glass FRP composites are shown. Both experimental beams, with and without the U-strip are compared with the analyzed beam, which has only a FRP fabric at its bottom face, since bonding is assumed perfect in analyses. From the test results it can be seen that (CMAS) anchorage increase significantly the strength of the beam and the beam exhibit a more ductile failure mode (Demakos, 2008). The numerical results are closer to the test results of the beam with the (CMAS) anchorage. The load- deflection curve is in good agreement and the numerical failure load is larger than the experimental by 1%.

In **Fig. 10** the experimental and numerical load-deflection curves for the beam strengthened with a carbon FRP composite are shown. In this case the curve is in a good agreement and the failure load is 10% smaller than the beam with the CMAS anchorage.

In **Fig. 11** the numerical load-deflection curves obtained for the beams B1/GFRP & B1/CFRP strengthened with glass and carbon FRP are compared. The numerical curves concerning the ultimate loading are very close, unlike the experimental results. This can be explained because the FRP composites were chosen to have similar axial stiffness. The stiffness of each strengthened beam was affected by the normalized axial stiffness of FRPs, which was expressed by the product of $t_f \cdot E_f$, where t_f and E_f denotes the thickness and tensile elastic modulus of the fabric used. The stiffness of strengthened beams at their linear elastic deformation state was almost similar for both types of strengthened beams during analyses and experiments. This is theoretically verified by evaluating the axial stiffness of both fabrics used, which was found to be about the same and equal to 35 MN/m:

$$\text{Glass FRP:} \quad t_1 \cdot E_1 = 1.30 \text{ mm} \cdot 27.5 \text{ GPa} = 35.75 \text{ MN/m} \quad (1)$$

$$\text{Carbon FRP:} \quad t_2 \cdot E_2 = 0.45 \text{ mm} \cdot 75.0 \text{ GPa} = 33.75 \text{ MN/m} \quad (2)$$

4.2 Crack pattern

The crack pattern at each applied load step is monitored by ANSYS. In **Fig. 12** the crack pattern developed for the control beam BV1 at the last loading step is shown. Cracking is shown with a circle outline in the plane of the crack. Only the first crack at an intergration point is shown. In **Fig. 13** the evolution of the crack pattern developed for

the strengthened beam B1/GFRP is shown. Finally, in **Fig. 14** the crack pattern for, BV1 and B1/GFRP/CMAS. tested beams are also shown, respectively. The crack patterns of the finite element models are similar with the experimental. Flexural cracks occurred in the mid span and were followed by diagonal shear cracks near the support. The failure modes of the finite element models show good agreement with the experimental.

5. Conclusions

A numerical study was carried out for beams strengthened with FRP laminates, using finite elements adopted by ANSYS. The numerical results were in good agreement with the experimental values. The agreement between the experimental and numerical load-deflection curves as well as the failure modes and crack patterns, suggest that satisfactory prediction can be obtained with these models.

A parametric study of models with different coefficients for concrete behaviour did not increase significantly the accuracy of the results. The observed discrepancy may occur due to slight variations in the material properties taken in analysis and those attained in experiments. If more appropriate material properties are assigned in the model, the numerical study can be used to predict more precisely the behaviour of strengthened beams with FRP laminates. Bonding between rebars and concrete or FRPs and concrete may be modelled to get better results and this is part of future research of the authors.

Numerical analyses can be used to simulate the behaviour of reinforced concrete at lower cost and predict the failure process as the experimental results reveal. Nevertheless, experiments will always be necessary in obtaining information about the real behaviour of reinforced concrete and essential in order to verify the numerical models.

This study has been achieved with the financial support of the research project granted by Technological Education Institution of Piraeus. This support is gratefully acknowledged.

References

- [1] Ameli M., Ronagh H.R., Dux P.F.(2007), Behavior of FRP strengthened reinforced concrete beams under torsion. *Journal of Composites for Construction*, **11(2)**, 192-200.
- [2] ANSYS Inc., ANSYS Release 11, User's Manual, 2006.
- [3] Barbosa A.F., Ribeiro G.O.(1998), Analysis of Reinforced Concrete Structures Using Ansys Nonlinear Concrete Model, *Computational Mechanics*, Barcelona, Spain.
- [4] Büyükkaragöz A.(2010): Finite element analysis of the beam strengthened with pre-fabricated reinforced concrete plate. *Scientific Research and Essays*, **5 (6)**: 533-544.
- [5] Cotsovos D.M. Zeris C.A. and Abbas A.A. (2009): Finite element modelling of structural concrete. *COMPADYN 2009, Proceedings of ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Rhodes, Greece.
- [6] Demakos C.B. (2008): Investigating the Influence of FRP Sheet Anchorage to Structural Response of Reinforced Concrete Beams, *International Scientific Conference SynEnergy Forum*, Spetses, Greece.
- [7] Elyasian I., Abdoli N., Ronagh H. (2006): Evaluation of parameters effective in FRP shear strengthening of RC beams using FE method, *Asian Journal of Civil Engineering (building and housing)*, **7 (3)**, 249-257.
- [8] EN 1992-1-1. Eurocode 2 (2004): *Design of concrete structures*. Part 1: General rules and rules for buildings.
- [9] Fanning P. (2001): Nonlinear Models of Reinforced and Post-tensioned concrete beams, *Electronic Journal of Structural Engineering*, **2**,122-132.
- [10] Ibrahim A.M., Mahmood M.Sh. (2009): Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Beams Strengthened with FRP Laminates. *Europ. Journal. of Scientific Research*, **30 (4)**, 526-541.
- [11] Kachlakev D., Miller T., Yim S., Chansawat K. and Potisuk T. (2001): Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures Strengthened with FRP Laminates. *Report for Oregon Department of Transportation*, Salem.
- [12] Pham H., Al-Mahaidi R., Sauma V. (2006): Modelling of CFRP concrete bond using smeared and discrete cracks, *Composite Structures*, **75**, 145-150.
- [13] Santhakumar R., Dhanaraj R., Chandrasekaran E. (2007): Behaviour of retrofitted reinforced concrete beams under combined bending and torsion: A numerical study. *Electronic Journal of Structural Engineering*, **7**, 34-45.
- [14] Sundarraja M.C., Rajamohan S. (2008): Flexural Strengthening Effect on RC Beams

by Bonded Composite Fabrics. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **27(14)**, 1497-1513.

- [15] Willam K. J. and Warnke E. D. (1975): Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete, *Proceedings of International Association for Bridge and Structural Engineering*, **19**, ISMES, Bergamo, Italy: 174-186.

FIGURES AND TABLES

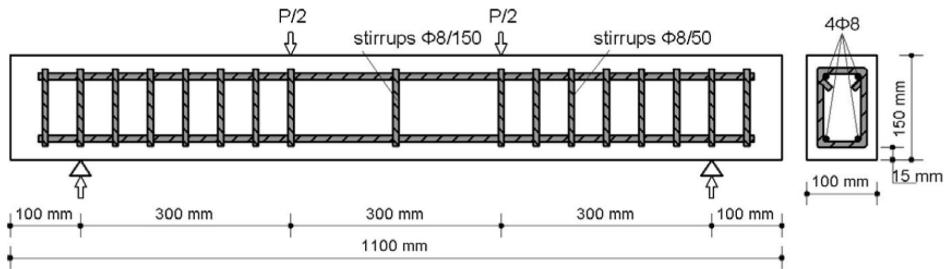


Figure 1: Loading and geometrical properties of analysed beams (control beam BV1)

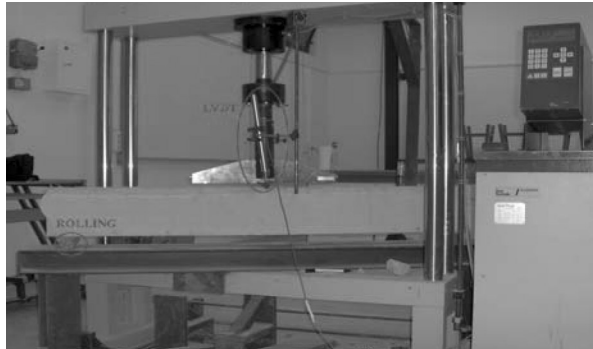


Figure 2: Bending apparatus

Table 1: Summary of tested beams evaluated in the present study

Beam	# of rebars	Stirrups (at shear spans)	External reinforcement	FRP thickness [mm]	FRP end-anchorage
BV1	4	8mm at 50mm centers	–		
B1/GFRP	4	8mm at 50mm centers	One GFRP sheet	1.30 mm	
B1/CFRP	4	8mm at 50mm centers	One CFRP sheet	0.45 mm	
B1/GFRP/CMAS	4	8mm at 50mm centers	One GFRP sheet	1.30 mm	GFRP U-strips (400mm long, extended to compression region)
B1/CFRP/CMAS	4	8mm at 50mm centers	One CFRP sheet	0.45 mm	CFRP U-strips (400mm long, extended to compression region)

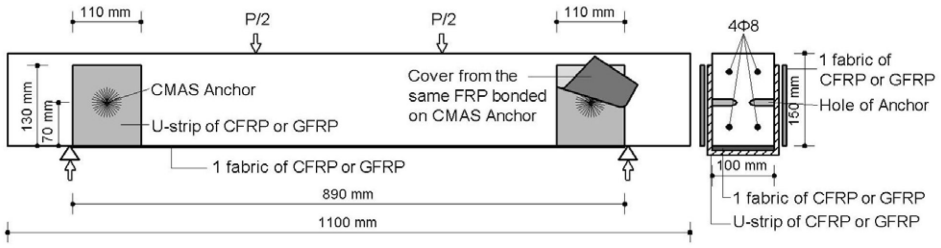
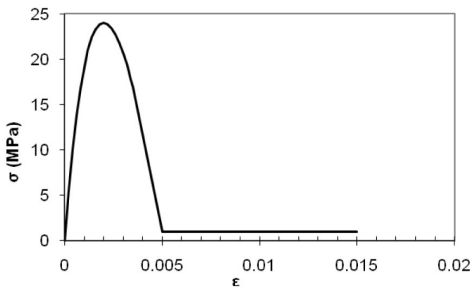
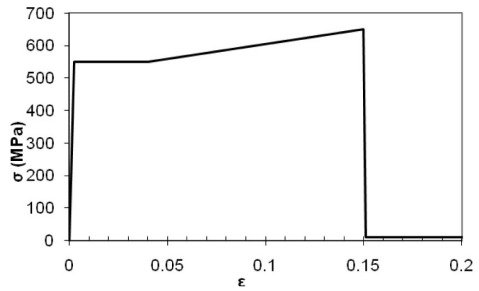


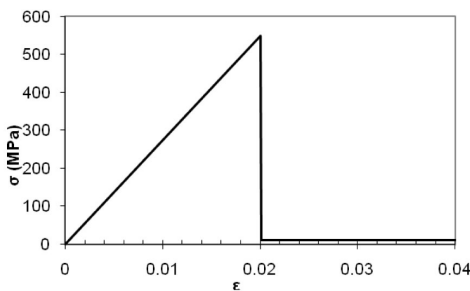
Figure 3: Details of the composite material anchorage system (CMAS) used with FRPs in strengthened RC beam



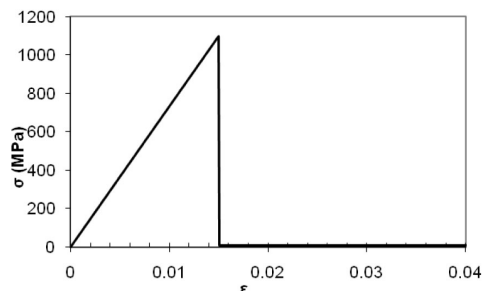
(a) Typical uniaxial compression stress-strain curve of concrete



(b) Typical uniaxial stress-strain curve of steel



(c) Typical uniaxial tension stress-strain curve of GFRP in the direction of the fibers

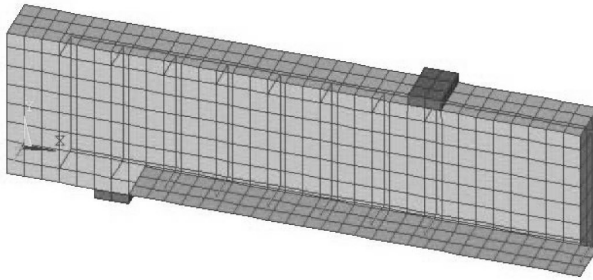
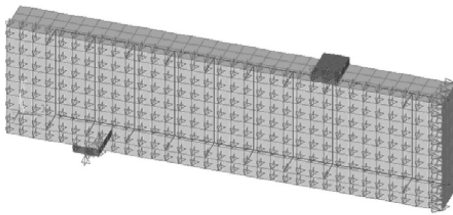
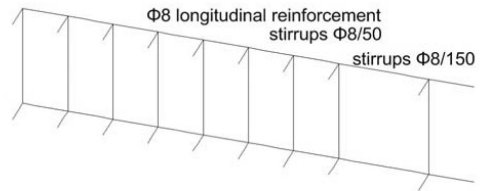
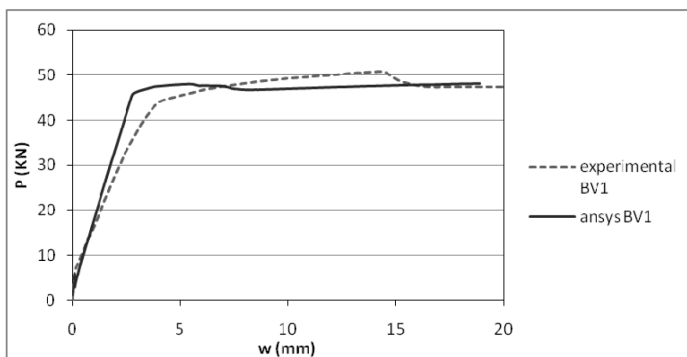


(d) Typical uniaxial tension stress-strain curve of CFRP in the direction of the fibers

Figure 4: Material modelling behaviour with ANSYS (2006)

Table 2: Mechanical properties of fabrics

Property	GFRP Composite	CFRP Composite
Ultimate tensile strength in primary fiber direction (MPa)	550	1100
Elongation at break (%)	2	1.5
Tensile modulus (GPa)	27.5	75
Laminate thickness (mm)	1.3	0.45

**Figure 5:** Finite element mesh and loading regions for a quarter beam model**Figure 6:** Finite element mesh, boundary condition and loading regions for a quarter beam model**Figure 7:** Steel reinforcement and stirrups modelling of beams**Figure 8:** Load - deflection curve for, BV1, control beam

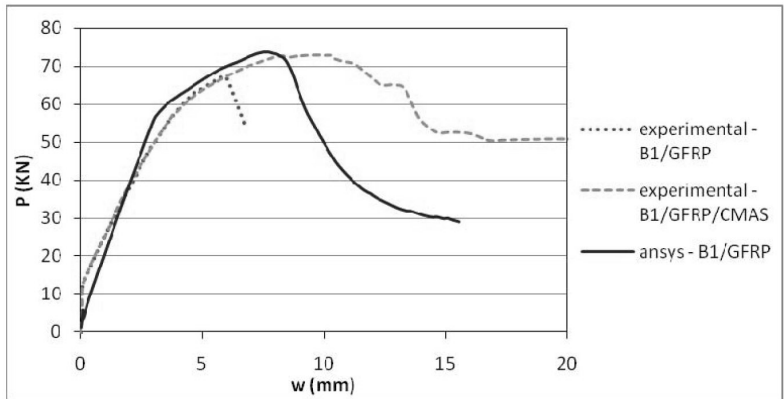


Figure 9: Load - deflection curve for, B1/GFRP/CMAS, strengthened beam

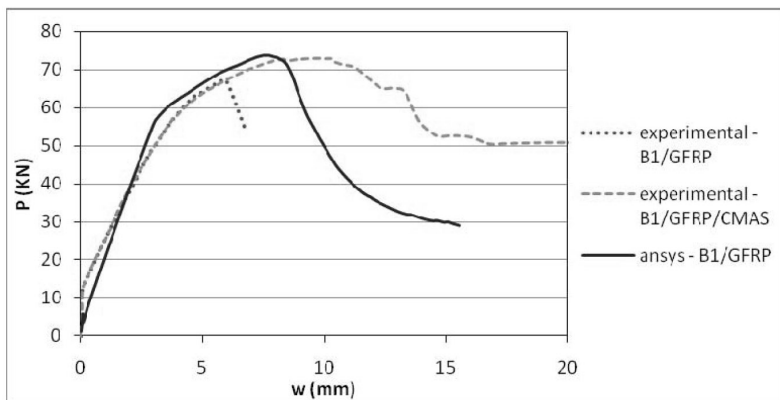


Figure 10: Load - deflection curve for, B1/CFRP/CMAS, strengthened beam

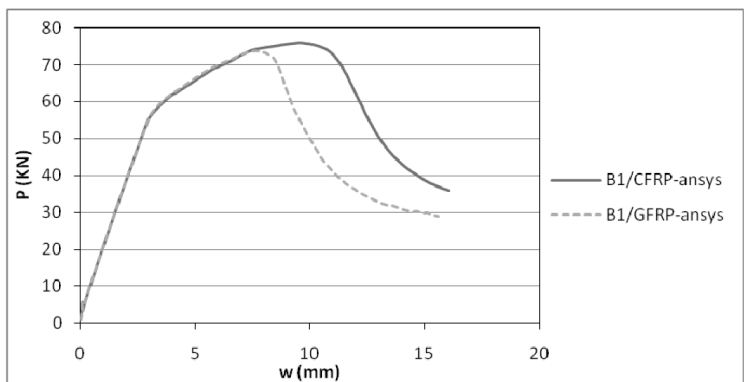


Figure 11: Load - deflection curve for beams B1/GFRP & B1/CFRP

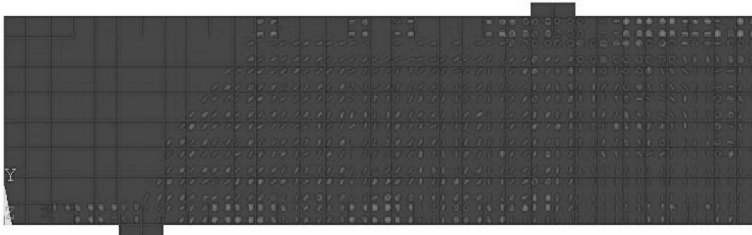


Figure 12: Numerical crack pattern for, BV1, control beam

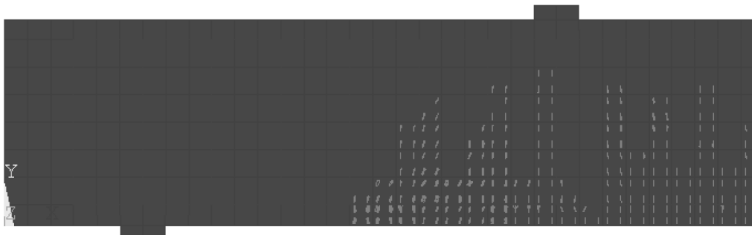
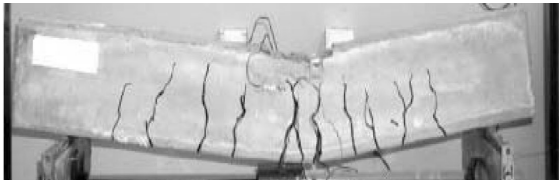
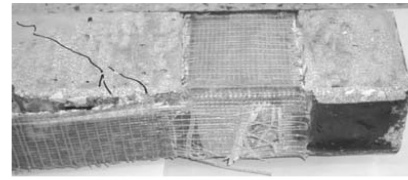


Figure 13: Numerical evolution of crack pattern for, B1/GFRP, strengthened beam



(a) BV1



(b) B1/GFRP/CMAS

Figure 14: Crack pattern of experimentally tested (a) control and (b) strengthened beams with an anchored GFRP

Παράγοντες που επηρεάζουν την διαμόρφωση της ένδυσης

Κυριάκος Τριπολιτσιώτης
Σχεδιαστής μόδας- Ενδυματολόγος
MSc E-Commerce Kingston
University UK
Υποψήφιος Διδάκτορας
Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Abstract

In the present article an effort is made to localize and analyze the factors that affect and determine the modulation of the clothing in the modern societies. Initially, it is approached as a man's basic need in order to protect himself from the climatologic reverses of his environment. In continuation, as a product of applied decorative art: the fashion, is designed with aesthetic perspective and also with effectiveness. In conclusion it functions as the mirror of the society reflecting its modulation and evolution on the cultural trend of a specific time period.

Περίληψη

Στο παρόν άρθρο καταβάλλεται προσπάθεια να εντοπιστούν και να αναλυθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν και διαμορφώνουν την μορφοποίηση του ενδύματος στις σύγχρονες κοινωνίες. Αρχικά, προσεγγίζεται ως η βασική ανάγκη του ανθρώπου, ώστε να προστατευτεί από τις κλιματολογικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, προσεγγίζεται ως ένα προϊόν των εφαρμοσμένων διακοσμητικών τεχνών: η μόδα, σχεδιάζεται με αισθητική προοπτική και επίσης με αποτελεσματικότητα. Συμπερασματικά, λειτουργεί ως το κάτοπτρο της κοινωνίας, αντανακλώντας την διαμόρφωση και εξέλιξη της πολιτισμικής τάσης σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Λέξεις κλειδιά: Ενδυμα, μόδα, κουλτούρες μόδας, στυλ.

Εισαγωγή

Η ένδυση έχει άμεση σχέση με την ιστορία, είναι τμήμα της ιστορίας του ανθρώπου και συνδέεται άρρηκτα με την φυσιολογία, κοινωνιολογία, ανθρωπολογία και την αισθητική.

Μέσα από την παρατήρηση εντοπίζονται και συμπεραίνονται οι σκοποί που εξυπηρετήσε η ένδυση σε διάφορες περιόδους και σε διαφορετικές κουλτούρες.

Η ανάλυση της εξέλιξης της ένδυσης και της φυσιολογίας του ενδύματος επικεντρώνεται στον εντοπισμό των τάσεων που επηρεάζουν τον σχεδιασμό της.

1. Ιστορικό υπόβαθρο

Οι κλιματολογικές αντιξοότητες στην αρχή και το ξύπνημα της αιδούς αργότερα είναι οι αιτίες της εμφάνισης του ενδύματος. Πολύ νωρίς η αισθητική άποψη πρέπει να παραβλήθηκε στην ανάγκη για ένδυση και έτσι η λειτουργικότητα και η αισθητική του ενδύματος θα πρέπει να υπαγόρευαν την μορφή του.

Το ένδυμα είναι τμήμα της ιστορίας του ανθρώπου και έχει σχέση με την φυσιολογία, κοινωνιολογία, ανθρωπολογία, και την αισθητική. Αποτελεί επίσης αντικείμενο μελέτης της ενδυματολογίας.

Στη Ρωσία εντοπίζεται η πρώτη μαρτυρία ενδύματος και υπολογίζεται ότι είναι 25.000 ετών. Βόρεια της Μόσχας ανακαλύφθηκαν τάφοι όπου οι σκελετοί είναι σκεπασμένοι με χιλιάδες χάντρες και ελεφαντόδοντα σχηματίζοντας μοτίβο που φανέρωνε ότι το σώμα ήταν ντυμένο με ενδύματα που είχαν σκέλη και μανίκια. Οι χάντρες ήταν κεντημένες πάνω στα ενδύματα που πιθανά ήταν από δέρματα ζώων. Τα δέρματα αποσυντέθηκαν αλλά οι χάντρες παρέμειναν στο χόμα διαγράφοντας έτσι το ένδυμα.

Σε σπήλαια της Γαλλίας ανακαλύφθηκαν κοκάλινες βελόνες της ίδιας εποχής. Τα ενδύματα πιθανώς να γίνονταν από δέρματα ζώων ή νήματα που κάτω από κανονικές συνθήκες αποσυντίθενται.

Ο άνθρωπος στα εύκρατα τροπικά και ημιτροπικά κλίματα ήταν από την αρχή περισσότερο στολισμένος παρά ντυμένος και κάλυπτε με κοσμήματα τα γυμνά μέρη του σώματός του και το πρόσωπό του με μακιγιάζ (Αιγύπτιοι κ.α.) εν αντιθέσει με τον κάτοικο των ψυχρών περιοχών που αντί για το σώμα του προσπάθησε να στολίσει τα βαριά ενδύματα του (Γαλάτες κ.α.).

1.1 Ένδυμα και δυτικός πολιτισμός

Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι οι πρώτοι άνθρωποι εξελίχθηκαν στη Βορειοανατολική Αφρική και ότι ο Δυτικός πολιτισμός ξεκίνησε από τη Μεσοποταμία πριν 5.000

με 6.000 χρόνια. Η ενδυμασία του, έχει να παρουσιάσει μία μεγάλη ποικιλία σχημάτων, υλικών και λεπτομερειών.

Πολύ λίγα ενδύματα προ του 18^{ου} αιώνα έχουν σωθεί. Πληροφορίες αντλούμε μόνο από την εικόνα της ανθρωπίνης φιγούρας όπως παραστάθηκε από τους καλλιτέχνες της κάθε εποχής πάνω σε βάζα, σε τοιχογραφίες, σε ψηφιδωτά, σε κεντήματα ή χαλιά, σε αγάλματα ή ανάγλυφα και ζωγραφικούς πίνακες.

Δεν είναι δυνατόν να μάθουμε πως και πότε οι άνθρωποι άρχισαν να αναπτύσσουν την ένδυση, τα παρελκόμενα και άλλα μέσα για να αλλάξουν την εμφάνισή τους.

1.2 Σκοποί της ένδυσης

Μέσα από παρατήρηση μπορούμε να εντοπίσουμε και να συμπεράνουμε τους σκοπούς που εξυπηρέτησε η ένδυση σε διάφορες περιόδους και σε διαφορετικές κουλτούρες.

Κάποιοι σκοποί είναι καθαρά πρακτικοί (προστασία), ενώ κάποιοι άλλοι συμβολικοί.

Η ένδυση προστατεύει από τον ήλιο, το κρύο, τη βροχή τον άνεμο, τα έντομα και από άλλους κινδύνους του περιβάλλοντος.

Τα ενδύματα και τα αξεσουάρ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μεταφέρουν αντικείμενα. Π.χ. οι στρατιωτικές ενδυμασίες και τα αξεσουάρ όπως οι ζώνες σχεδιάστηκαν για να μεταφέρουν όπλα και άλλα βασικά αντικείμενα στο πεδίο της μάχης. Πολλές κοινωνίες χρησιμοποιούσαν διάφορα είδη εξοπλισμού ή μιάντες για να μεταφέρουν τα βρέφη. Οι τσέπες και τα πορτοφόλια, συμπληρώνουν τα σύγχρονα ενδύματα.

Ο ανθρωπολόγος Franz Boaz υποστηρίζει ότι «η επιθυμία καλλιτεχνικής έκφρασης είναι παγκόσμια».

Τα κοσμήματα επινοήθηκαν πολύ νωρίς. Ο λόγος δεν είναι μόνο η αγάπη για την ομορφιά, αλλά πολλές φορές μια πολύτιμη χάντρα ή πετράδι είναι ένα φυλαχτό με θρησκευτική σημασία ή μαγικές δυνάμεις.

Πολλοί λαοί αισθάνονται μια έντονη και μυστηριώδη σχέση με κάποια πουλιά ή ζώα. Οι τοιχογραφίες σε ευρωπαϊκά σπήλαια μας πληροφορούν ότι αυτό συνέβαινε σε πολλούς προϊστορικούς λαούς. Η ποδιά του χορού και η κουβέρτα των Ινδιάνων (Chilkat), ως κομμάτια ενδύματος βασισμένα σε χαρακτηριστικά μοτίβα ζώων, δραματοποιούσαν και δημοσιοποιούσαν το έμβλημα της οικογένειας. Ο Ρωμαϊκός στρατός είχε σύμβολο του τον αετό, ενώ σήμερα οι ΗΠΑ έχουν έμβλημά τους τον λευκοκέφαλο αετό.

Η ανάγκη του ανθρώπου να αναγνωρίζεται ή μοναδικότητά του καθώς επίσης ότι είναι μέλος μιας ή περισσότερων συγκεκριμένων ομάδων, είναι μια από τις κυριότερες λειτουργίες του ενδύματος των λαών σε κάθε τόπο και εποχή.

Τα ενδύματα, τα κοσμήματα, η κόμμωση, το μακιγιάζ και ο ακρωτηριασμός του σώματος χρησιμοποιούνται για να δείξουν την επιτυχία σε διάφορες προσπάθειες, όπως είναι το κυνήγι και οι εχθροπραξίες, η ενηλικίωση, η οικογενειακή κατάσταση, ο πλούτος ή η υψηλή κοινωνική ή πολιτική θέση.

Η ενδυμασία μπορεί να μεγαλώνει ή να επεκτείνει το σώμα ή ακόμα και να παραμορφώνει το σχήμα του. Ο ήχος των υφασμάτων που κυματίζουν πάνω στο σώμα, μπορεί να αφυπνίσει το πνεύμα, να αυξήσει την αυτοπεποίθηση του ατόμου και να εντυπωσιάσει τους παθητικούς θεατές.

Το να κρύβουμε ή να εμφανίζουμε κάποια μέρη του σώματός μας, για να προσεγγίσουμε άτομα του άλλου φύλου, είναι κίνητρα για ανάλογα ενδύματα και αξεσουάρ. Είναι πολύ δύσκολο να διακρίνουμε ένα σαφές πρότυπο ενδυμάτων που χρησιμοποιούνται για αυτούς τους σκοπούς. Αυτό που μας μεροδεύει είναι το γεγονός ότι η σεξουαλική έλξη επιτυγχάνεται άλλοτε με αποκάλυψη μερών του σώματος και άλλοτε με επικάλυψή τους.

Ένα σύγχρονο άτομο ντρέπεται να το δουν να φορά μόνο τα εσώρουχά του, και δεν ντρέπεται όταν κυκλοφορεί με αποκαλυπτικό μαγιό στη θάλασσα.

Κατά καιρούς σε διαφορετικές κουλτούρες καλύπτονται ή αποκαλύπτονται διάφορα μέρη του σώματος. Αυτό που μπορεί να θεωρείται σεξουαλικό σε μία περίοδο ενδέχεται να θεωρείται εντελώς άχαρο σε μια άλλη. Η ανδρική και γυναικεία ενδυμασία ενδέχεται να διαφέρει πλήρως από την μια εποχή στην άλλη και από τοποθεσία σε τοποθεσία.

1.3 Τα είδη της ένδυσης

Οι Ευρωπαίοι την εποχή των παγετώνων κατοικούσαν σε σπηλιές. Σχεδίαζαν ρεαλιστικά, αλλά βρέθηκαν ελάχιστες αναπαραστάσεις με στοιχεία ένδυσης ανθρώπων γιατί στα σχέδια τους αποτυπώνονται κυρίως μορφές ζώων. Από την ταφή κυρίως, συμπεραίνουμε ότι οι άνθρωποι την εποχή αυτή φορούσαν ενδύματα.

Η ανατομία του ανθρώπινου σώματος και ο τρόπος που κινούνται οι αρθρώσεις και οι μύες επέτρεψαν την ανάπτυξη των βασικών ειδών (κατηγοριών) ένδυσης.

Σύμφωνα με τον ιστορικό ενδυματολογίας Francois Boucher, όλα τα ενδύματα μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε βασικές κατηγορίες. Οι δύο από αυτές δημιουργήθηκαν από επίπεδα δισδιάστατα τεμάχια υφάσματος που τοποθετούνταν πάνω στο σώμα. Οι υπόλοιπες τρεις κατηγορίες περιλάμβαναν ενδύματα που ήταν σωληνοειδή ή τρισδιάστατα και διατηρούσαν το σχήμα τους όταν ήταν αφόρετα.

1. Επίπεδο τεμάχιο από δέρμα, γούνα ή ύφασμα χωρίς τρύπες ή σχισίματα που σκεπάζει ή τυλίγεται στο σώμα. Μπορεί να ήταν κροφτισωμένο ή δεμένο με κόμπους ή ζώνη. Δεν ήταν όμως ραμμένο. Παράδειγμα το ελληνικό μιάτιο, η τήβεννος των Ρωμαίων, το Ινδικό σάρι.
2. Επίπεδο τεμάχιο από δέρμα, γούνα ή ύφασμα με τρύπα ή σχισίμο για να περνάει από το κεφάλι. Τυλίγονταν γύρω από τους ώμους. Παραδείγματα: Το πόντσο που φορούσαν λαοί της κεντρικής και νότιας Αμερικής, ο χιτώννας των Ρωμαίων, ένα είδος κάπας που αργότερα υιοθέτησε ο Ρωμαιοκαθολικός κλήρος με ή χωρίς μανίκια σαν άμφιο.

3. Σωληνοειδές ένδυμα κλειστό στα πλάγια με ή χωρίς μανίκια. Φοριέται από το κεφάλι. Μοιάζει με φανελάκι, πουλόβερ ή ένα μακρύ χιτώνιο. Παράδειγμα η Δαλματική.
4. Σωληνοειδές ένδυμα κλειστό στις πλευρές με ή χωρίς μανίκια που ανοίγει συνήθως από μπροστά μέχρι κάτω. Παράδειγμα τα παραδοσιακά γιαπωνέζικα κιμονό.
5. Διακλαδούμενο (δύο σκελών) ένδυμα, ένα είδος βράκας ή πανταλονιού. Έπρεπε να κοπεί και να ραφτεί. Παράδειγμα τα πανταλόνια που βλέπουμε στα περσικά ανάγλυφα γλυπτά και ή ρωμαϊκή φεμινάλια.

2. Το ένδυμα ως προϊόν εφαρμοσμένων τεχνών

Εξ' ορισμού *Εφαρμοσμένες Τέχνες* είναι κατ' αρχήν εκείνες που παράγουν αντικείμενα, που έχουν άμεση λειτουργική (πρακτική) εφαρμογή στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου. Η ένδυση ή κεραμική, η επιπλοποιία, η υφαντουργία, και πολλές άλλες ανήκουν σε αυτές, αφού το ύφασμα, το κεραμικό, το έπιπλο, το ένδυμα ή το χαλί εξυπηρετούν καθημερινές ανάγκες του ανθρώπου.

Οι Διακοσμητικές Τέχνες είναι εκείνες που ανεβάζουν την ποιότητα ζωής του ανθρώπου, ικανοποιώντας μια από τις ουσσιωδέστερες και πανάρχαιες ροπές του: *την αισθητική* (η τοιχογραφία, το ψηφιδωτό, η σκηνογραφία, η χρυσοχοεία, η τυπογραφία - με την έννοια των Γραφικών Τεχνών) και άλλες.

Έτσι, όταν τα προϊόντα των Εφαρμοσμένων Τεχνών, εκτός από τη λειτουργικότητά τους, εκφράζουν και μία αισθητική αναζήτηση στη φόρμα, στο χρώμα, και στη διακόσμηση, αποτελούν προϊόντα «*Εφαρμοσμένων Διακοσμητικών Τεχνών*» και μπορούν, κάτω από τα χέρια ενός δημιουργικού καλλιτέχνη, να αγγίξουν τη σφαίρα της Τέχνης. Όπως π.χ. τα ενδύματα της Madeleine Vionnet, τα κεραμικά του Picasso, τα υφάσματα του Dufy και οι tapisseries του Lurcat.

Η λειτουργικότητα των αντικειμένων των εφαρμοσμένων-διακοσμητικών τεχνών είναι η αιτία ή, η αφορμή της δημιουργίας τους. Η αισθητική τους αναζήτηση έχει στόχο ένα «αισθητικά άρτιο σύνολο», μια ωραιοποίηση. Αυτή η αναζήτηση, αυτή η ωραιοποίηση είναι πάντα άμεσα εξαρτημένη από τη λειτουργικότητα και το υλικό βάσης των αντικειμένων (πηλός, νήμα, ξύλο, κ.ά.). Μόνο η απόλυτη σύζευξη λειτουργικότητας και αισθητικής μπορούν να δώσουν «ωραία αντικείμενα». Όταν όμως το κυνήγι της αισθητικής γίνει αυτοσκοπός και αποβεί εις βάρος της λειτουργικότητας, το παραγόμενο αντικείμενο μπορεί να είναι εκκεντρικό και δήθεν μοντέρνο, αλλά αποδεικνύει έλλειψη γνώσης και ευρηματικότητας του δημιουργού.

3. Ένδυση και Τέχνη

Για τις Τέχνες επικρατεί η εντύπωση (αυθόρμητη ή καλλιεργούμενη) ότι αυτές, δεν έχουν καμιά σχέση με τις άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες και ακολουθούν την δική τους ανεξάρτητη και «μυστηριώδη» πορεία. Η εντύπωση αυτή για τις Τέχνες γενικά επεκτείνεται για κάθε Τέχνη έτσι που τελικά να πιστεύεται ότι η ζωγραφική δεν έχει σχέση με την μουσική, ότι η Αρχιτεκτονική τραβά ένα ξεχωριστό δρόμο από την διακοσμητική, και ότι η ποίηση είναι «κάτι άλλο». Η μελέτη της Ιστορίας και των Πολιτισμών θα μας αποδείξει τον νόμο της αλληλεξάρτησης των Τεχνών και θα πάρει το όνομα *ρυθμός, στυλ*. Θα αγκαλιάσει όλες τις καλλιτεχνικές εκφράσεις από την αρχιτεκτονική μέχρι τη μουσική και από τη ζωγραφική μέχρι την ποίηση. Αν θελήσουμε να δώσουμε τον ορισμό του *στυλ*, θα πούμε ότι είναι «ο τρόπος εργασίας καλλιτεχνών που έχουν μια κοινή αντίληψη πραγμάτων».

Ένα *στυλ* μπορεί να περάσει μέσα σε δύο ή περισσότερες ιστορικές χρονικές περιόδους (ο Νεοκλασικισμός άρχισε στη διάρκεια της βασιλείας του Λουδοβίκου XV πέρασε στη βασιλεία του Λουδοβίκου XVI, στη Γαλλική επανάσταση, στην Πρώτη Δημοκρατία και τελείωσε τον κύκλο του με την πτώση του Ναπολέοντα) ή ακόμα σε μία και μόνη περίοδο ένα *στυλ* μπορεί να διαδεχθεί ένα άλλο (όπως το Μπαρόκ και ο Ακαδημαϊσμός στη διάρκεια της βασιλείας του Λουδοβίκου XIV). Τέλος την ίδια χρονική περίοδο μπορεί να υπάρχουν δύο διαφορετικά *στυλ* αλλά σε άλλους χώρους. Για το λόγο αυτό είναι σωστότερο να αναφερόμαστε σε διάφορα *στυλ* σε σχέση με τις αντίστοιχες ιστορικές περιόδους.

3.1 Οι φάσεις του στυλ

Μέσα από την παρατήρηση διαπιστώνουμε, όπως αναφέρει ο Θ. Πάντος στο βιβλίο του «το Κουστόύμι», ότι κάθε *στυλ* περνά από τρεις φάσεις: της αναζήτησης, της ακμής και της παρακμής. Στη σύγχρονη πραγματικότητα η χρονική διάρκεια των *στυλ* ένδυσης περιορίζεται και χάνει τα όριά της μέσα στους κύκλους μόδας. Αυτό οφείλεται στις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις, στη αύξηση του ρυθμού των κοινωνικών και πολιτικών ανακατατάξεων, στην ευκολότερη επικοινωνία μεταξύ των λαών που δίνει τη δυνατότητα της ανταλλαγής απόψεων, ιδεών και τεχνικών κατακτήσεων. Έτσι στον Κλασικισμό, στο Μπαρόκ στο Ροκοκό ή στον Ρομαντισμό η μουσική, ζωγραφική, αρχιτεκτονική, ποίηση και η ένδυση, αντιλαμβάνονται τα πράγματα με τον ίδιο τρόπο και τα εκφράζουν η καθεμία με τα δικά τους εκφραστικά μέσα, στις δικές τους μορφές. Δεχόμενοι αυτή την πραγματικότητα μπορούμε να κατανοήσουμε την εξέλιξη του κουστουμιού αφού λάβουμε επί πλέον υπ' όψιν την προσπάθεια του ανθρώπου να προσαρμοστεί στο φυσικό ή στο κατασκευασμένο περιβάλλον του.

Οι Πέρσες δεν θα φορούσαν παπούτσια με γυριστές μύτες για να αποφύγουν τις πέ-

τρεις στο περπάτημά τους αν δεν ήταν ορεσίβιοι. Τα ψηλά τακούνια δεν θα εμφανίζονταν στη Δ. Ευρώπη αν δεν ήταν ένα μέτρο προφύλαξης από τη λάσπη των δρόμων των πρώτων αστικών κέντρων. Οι σχεδιαστές κουστουμιών θεάτρου υπακούουν στο σκηνικό, στο ύφος του έργου, στις κινήσεις και τη φυσική σωματική διάπλαση των ηθοποιών, για να αποτελούν τα κοστούμια τους μέρος του συνόλου και όχι κραυγαλέα, αναρχικά και επιδεικτικά κατασκευάσματα.

Η Coco Chanel έλεγε : «Το κοστούμι είναι ο καθρέφτης μιας εποχής».

4. Ένδυμα και σιλουέτα

Το ένδυμα που ως προϊόν επηρεάζεται, μεταξύ πολλών άλλων, από την εφαρμοσμένη – διακοσμητική τέχνη και την μόδα, πρέπει να είναι λειτουργικό, κατάλληλο να πτυχωθεί (ντραπαριστεί), να ραφτεί, να φορεθεί, να ζεστάνει ή να δροσίσει και να έχει αισθητική για να αναδείξει το ανθρώπινο σώμα και να ομορφύνει τον άνθρωπο. Η διαμόρφωση και η εξέλιξη του ενδύματος, είναι στενά δεμένες με το στυλ της κάθε εποχής και περισσότερο με υπόλοιπες εφαρμοσμένες διακοσμητικές τέχνες αυτού του στυλ. Προσαρμόζεται σε αυτές ή τις επηρεάζει. Το γυναικείο κοστούμι στυλ Ροκοκό, π.χ. φορτώθηκε με ένα σωρό περιττά στολίσματα για να προσαρμοστεί στην εσωτερική διακόσμηση και τα έπιπλα αυτής της εποχής. Στη βασιλεία του Λουδοβίκου XV εμφανίστηκαν τα τεράστια μισοφόρια με μεταλλικούς σκελετούς (κρινολίνα) που έφθασαν σε 2,5μ. πλάτος, αναγκάστηκαν να τους προσθέσουν «μεντεσέδες» για να μπορούν οι γυναίκες αναδιπλώνοντάς τα να κάθονται ή να ανεβαίνουν στις στενές πολυστολισμένες άμαξες. Με τα κρινολίνα του 18^{ου} αιώνα καταργήθηκαν τα μπράτσα από τις πολυθρόνες του στυλ της εποχής κτλ.

Τη μορφή που στην εξέλιξή του θα πάρει το κοστούμι ονομάζουμε «σιλουέτα».

4.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαμόρφωση της σιλουέτας

Την διαμόρφωση της σιλουέτας επηρεάζουν οι παρακάτω παράγοντες:

1. Φύλο
2. Χώρος και κλίμα
3. Εργασία και ασχολία
4. Εγχώρια παραγωγή πρώτων υλών
5. Θρησκεία, επίπεδο πολιτισμού και στυλ
6. Κοινωνικά συστήματα κοινωνικές τάξεις
7. Ιστορικά γεγονότα
8. Τεχνολογικές κατακτήσεις, νέες συνθήκες ζωής

Σήμερα πολλοί από τους παράγοντες που καθορίζουν την διαμόρφωση της μορφής του κουστουμιού έχουν αυτοκαταργηθεί, άλλοι έχουν ατονήσει, κάποιιοι άλλοι ίσως ατονήσουν στο μέλλον και εμφανιστούν νέοι που δεν μπορούμε να προβλέψουμε. Ένα είναι σίγουρο: Η μόδα έχει διεθνοποιηθεί στο μεγαλύτερο τμήμα του πλανήτη μας, και μόνο το φύλο και το κλίμα καθορίζουν ακόμα τη σιλουέτα. Εξαίρεση αποτελούν οι τοπικές φοκλορικές ενδυμασίες κάθε χώρας που κρατούν τα παραδοσιακά τους στοιχεία, δικαιολογημένα από τη λειτουργικότητα και την αισθητική τους αναζήτηση κάτω από παλιότερες ιστορικές και κοινωνικές συνθήκες, που σήμερα όμως δεν είναι παρά ρομαντική υπενθύμιση.

Πρέπει να παρατηρήσουμε ότι συχνά μια εποχή δημιουργεί μαζί με την μόδα και το περί κάλλους πρότυπο που είναι αντικειμενικό αποτέλεσμα του κοινωνικού τρόπου ζωής της εποχής, αλλά και μιας εμμονής σε ιδεαλιστικές απόψεις που πολλές φορές αποβαίνουν σε βάρος της αισθητικής του ενδύματος και της υγείας εκείνου που το φορά. Άντρες και γυναίκες τότε με διάφορους τρόπους (δίαιτα, μακιγιάζ, κορσέδες, βάτες κ.α.) προσπαθούν να το πλησιάσουν. Στην Ιταλική αναγέννηση π.χ. η ιδεώδης γυναικεία σιλουέτα ήταν η φουσκωτή κοιλιά, στην εποχή του Ερρίκου του III άντρες και γυναίκες έπρεπε να έχουν φουσκωτό στομάχι ενώ στην εποχή Empire πρότυπο της γυναικείας ομορφιάς ήταν τα αρχαία κλασσικά αγάλματα. Στο 1900 η γυναίκα έπρεπε να έχει πλούσιο στήθος, λεπτή μέση και τεράστιους πεταχτούς γλουτούς, ενώ οι άντρες έσφιγγαν την μέση τους με οδονηρούς κορσέδες, και έπρεπε να έχουν μουστάκι.

Στον 20^ο αιώνα ο κινηματογράφος άλλαζε ταχύτατα το «πρότυπο ένδυσης».

5. Οι πρακτικές λειτουργίες της ένδυσης

Η ένδυση είναι μια ειδική μορφή σωματικού στολισμού. Οι πρώτοι που παρατήρησαν και τεκμηρίωσαν τον σωματικό στολισμό και το στυλ ένδυσης, που συνάντησαν στον κόσμο, ήταν οι πρώτοι εξερευνητές και ταξιδιώτες.

Κάποιοι επέστρεψαν από τα ταξίδια τους με καλλιτεχνήματα και δείγματα ενδυμάτων, με επιθυμία όχι μόνο προσωπικής τους χρήσης αλλά και διάθεση κατανόησης τους. Η μελέτη των ενδυμάτων σήμερα κατέληξε να είναι ένα αποδεκτό τμήμα της εθνολογίας, της ανθρωπολογίας, της κοινωνιολογίας και της λαογραφίας.

Οι θεωρητικοί της κουλτούρας και οι αναλυτές της ένδυσης εστίαστηκαν κατά κύριο λόγο σε τέσσερις πρακτικές λειτουργίες της ένδυσης: χρησιμότητα, σεμνότητα, έλλειψη σεμνότητας (για σεξουαλικό θέλημα) και στολισμό. Ο George Sproles στο βιβλίο του η «Συμπεριφορά των καταναλωτών απέναντι στην ένδυση» (1979), προτείνει τέσσερις επιπρόσθετες λειτουργίες: τη συμβολική διαφοροποίηση, την κοινωνική ένταξη, την ψυχολογική αυτοεκτίμηση, και τον μοντερνισμό. Οι οχτώ αυτές λειτουργίες αναλύονται παρακάτω ενδεικτικά.

5.1 Χρησιμότητα

Η ένδυση εξελίχθηκε έτσι ώστε να εξυπηρετήσει πολλούς πρακτικούς και προστατευτικούς σκοπούς. Το περιβάλλον είναι επικίνδυνο και το σώμα χρειάζεται να μένει σε σταθερή θερμοκρασία. Ο Βουσμάνος χρειάζεται να κρατιέται δροσερός, ο ψαράς πρέπει να μένει στεγνός, ο πυροσβέστης χρειάζεται προστασία από τις φλόγες και ο εργάτης ενός ορυχείου να προστατεύεται από επιβλαβή αέρια. Οι αναμορφωτές των ενδυμάτων θέτουν τυπικά την χρησιμότητα πάνω από κάθε αισθητική άποψη. Η ιδέα της χρησιμότητας δεν πρέπει ποτέ να υποτιμηθεί. Οι καταναλωτές επιλέγουν ενδύματα με το σκεπτικό της άνεσης, της ανθεκτικότητας ή της εύκολης φροντίδας. Σήμερα είναι της μόδας τα αθλητικά ενδύματα ως δείκτες υγείας, άνεσης και αντοχής και φοριούνται ευρέως.

5.2 Σεμνότητα

Η ένδυση είναι απαραίτητη για να καλύψει ο άνθρωπος τη γύμνια του. Η κοινωνία απαιτεί ευπρέπεια και συχνά ψήφισε συγκεντρωτικούς νόμους (ένδυσης) για να τιθασεύουν την κατάχρηση και να κρατήσουν την κοσμιότητα. Οι περισσότεροι άνθρωποι αισθάνονται ανασφαλείς όταν πρόκειται να αποκαλύψουν τις φυσικές ατέλειες τους, ειδικά καθώς μεγαλώνουν: η ένδυση καλύπτει και κρύβει τις ατέλειες μας, είτε πραγματικές, είτε φανταστικές. Η σεμνότητα είναι κοινωνικά και γεωγραφικά προσδιορισίμη και διαφέρει ανάμεσα σε ανθρώπους, ομάδες, κοινωνίες όπως επίσης και μέσα στο χρόνο.

5.3 Έλλειψη σεμνότητας (σεξουαλική έλξη)

Η ένδυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τονίσει την σεξουαλική έλξη και διάθεση. Η παραδοσιακή προσέγγιση των γυναικών ως ένα παθητικό σεξουαλικό αντικείμενο δημιούργησε τον μεγαλύτερο ερωτισμό του γυναικείου ενδύματος. Το βραδινό ένδυμα και τα εσώρουχα είναι φτιαγμένα από υλικά που έχουν την λεπτότητα και υφή του δέρματος. Αξεσουάρ και καλλυντικά χρησιμεύουν επίσης για να προσδώσουν γοητεία. Χρησιμοποιήθηκε συχνά μια ψυχαναλυτική προσέγγιση, βασισμένη σε μελέτες του Sigmund Freud και του Carl Jung για να εξηγηθούν οι ασυνείδητες διαδικασίες που υπάρχουν και δημιουργούν τις αλλαγές της μόδας.

5.4 Στολισμός

Ο στολισμός μας επιτρέπει να απεικονίσουμε τις προσωπικές μας επιθυμίες αποτυπώνοντας την δημιουργικότητα και ατομικότητα μας και μας κατατάσσουν σε μια

ομάδα ή κουλτούρα. Ο στολισμός μπορεί να πάει ενάντια στις ανάγκες της άνεσης, της κίνησης και της υγείας, όπως π.χ. το δέσιμο των ποδιών, η χρήση του κορσέ κ.α. Οι άνθρωποι γενικά και περισσότερο οι νεαρές γυναίκες προσπαθούν να δημιουργήσουν το επικρατόν ιδεώδες της ομορφιάς. Οι σωματικές αναδιαμορφώσεις και οι ανασχηματισμοί μέσα από παραδοσιακά ενδύματα, βάτες και δεσίματα άλλαξαν την σιλουέτα της μόδας μέσα στο χρόνο.

5.5 Συμβολική διαφοροποίηση

Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν το ένδυμα για να διαφοροποιήσουν το επάγγελμα, την θρησκευτική ένταξη, την κοινωνική θέση ή το lifestyle. Η επαγγελματική ένδυση π.χ. .είναι μια έκφραση εξουσίας και βοηθάει στο να ξεχωρίζουμε στο πλήθος. Η σεμνή ένδυση της μοναχής δείχνει τα πιστεύω της. Σε κάποιες χώρες οι δικαστικοί λειτουργοί καλύπτουν την καθημερινή τους ενδυμασία με μεταξωτά ενδύματα και φορούν περουνίγια για να ενισχύσουν την νομική ιεροτελεστία. Η επιλογή επωνύμων ενδυμάτων, ακριβών αξεσουάρ και κοσμημάτων μπορεί να ξεκινά σαν αντικείμενο κοινωνικής διάκρισης, αλλά συχνά εισρέει μέσα στα κατώτερα κοινωνικά στρώματα με αποτέλεσμα, αυτά να χάσουν την αξία τους ως σύμβολα διαφοροποίησης.

5.6 Κοινωνική ένταξη

Οι άνθρωποι ντύνονται ανάλογα με την επιθυμία τους για ένταξη σε κάποια κοινωνική ομάδα. Αυτοί που δεν περιλαμβάνονται στα αποδεκτά στυλ, υποτίθεται ότι έχουν αποκλίνουσες ιδέες και τελικά αποκλίνουν από το κοινωνικό σύνολο και περιθωριοποιούνται. Αντιστρόφως τα θύματα της μόδας που ακολουθούν χωρίς αντιστάσεις στους κανόνες ενός συγκεκριμένου στυλ αισθάνονται απεγνωσμένα να ανήκουν στο χάσμα της προσωπικότητας και του γούστου. Σε κάποιες περιπτώσεις η ένδυση είναι ένδειξη επανάστασης εναντίον της κοινωνίας ή και της ίδιας της μόδας. Παρόλα αυτά οι Punks δεν έχουν μια συγκεκριμένη στολή, μπορούν να αναγνωριστούν από μια πλειάδα χαρακτηριστικών: σχισμένα ενδύματα, δραματικά χτενίσματα, καρφιά παραμάνες, κλπ.

5.7 Ψυχολογική αυτοεκτίμηση

Παρά την κοινωνική τάση για ένταξη σε μια ομάδα με πολλά ταυτόσημα ενδύματα και στυλ που πωλούνται απο μεγάλες αλυσίδες καταστημάτων, σπάνια συναντάμε δύο ανθρώπους ντυμένους παρόμοια από την κορφή ως τα νύχια. Ενώ πολλοί νέοι άνθρωποι ψωνίζουν με φίλους για να βοηθούν ο ένας τον άλλο, δεν αγοράζουν την ίδια εξωτερική εμφάνιση. Κάθε άνθρωπος υποστηρίζει την δική του μοναδικότητα

(ταυτότητα) μέσα από επιλογές ενδυμάτων, αξεσουάρ, χρήση του μακιγιάζ και κόμμωσης.

5.8 Μοντερνισμός

Σε πολλές πρωτεύουσες του κόσμου, όπως αναφέρει η συγγραφέας Sue Jenkyn-Jones, τα modάτα ενδύματα είναι ευρέως διαθέσιμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσον έκφρασης μοντερνισμού, ως μέσο έκφρασης του νέου. Το μεσοαστικό κοινό των πρωτευουσών, – έχει παρατηρηθεί – ότι ενημερώνεται πρώτο για τις καινούργιες τάσεις, παρακολουθεί τις εξελίξεις και έχει την δυνατότητα ενημέρωσης από την αυξανόμενη ανταγωνιστική αγορά. Το ένδυμα είναι σωστά επιλεγμένο αν είναι ανάλογο με τον τόπο, το χρόνο και το κοινωνικό επίπεδο των ανθρώπων που θα συναναστραφούμε και τότε μόνο μπορεί να εγγυηθεί επιτυχία. Η επιτυχία του ενδύματος εξαρτάται από την κουλτούρα του κοινού που απευθύνεται.

6. Ένδυμα και Μόδα

Η εμφάνιση της μόδας συνδέεται με την εμφάνιση της εμπορικής κεφαλαιοκρατίας προς το τέλος της μεσαιωνικής περιόδου στην Ευρώπη. συνδέεται με το μοντερνισμό: τη ρήξη με την παράδοση και την ακατάπαυστη προσπάθεια για την επίτευξη «του νέου». Η μόδα, γράφει ο Walter Benjamin, είναι «η αιώνια επανάληψη του νέου».

«Μόδα υπάρχει μόνο όταν επιδιώκεται η αλλαγή για την αλλαγή και πραγματοποιείται σχετικά συχνά».

Στην Αγγλική γλώσσα η λέξη «fashion» προέρχεται από το λατινικό «facere», ενώ σε πολλές Ευρωπαϊκές γλώσσες απορρέει από το «modus». Η βασική αρχή της μόδας αποκαλύπτεται από την σχέση μεταξύ των παραγώγων του «modus» και του όρου «modern», με την αρχική σημασία του «τώρα για το αύριο». Ακόμα κι αν υποστηρίζεται ότι η μόδα άρχισε περίπου 1350, θα ήταν σωστότερο να ειπωθεί ότι υπό τη σύγχρονη έννοια της όπως γράφει ο Δ. Δαβέτας, «Η μόδα γεννήθηκε από τη στιγμή που η εμφάνιση, το ένδυμα παύει να φανερώνει την οποιαδήποτε οικονομική ή ταξική προέλευση, παύει να είναι κοινωνική εικόνα αυτού που το φορά... Όταν ο ντυμένος γίνεται αντιληπτός όχι από την ηλικία και την κοινωνική ταξινόμηση του ρούχου αλλά από την εξατομίκευση του από την προσωπικότητα του. Είναι πια η στιγμή που ο τρόπος (το «modus») ντυσίματος υπηρετεί την ελευθερία της ατομικότητας, είναι από τη στιγμή που το ρούχο απελευθερώνεται από τις κοινωνικές ομάδες και ανήκει στην ατομική σύνθεση και δημιουργικότητα του υποκειμένου και τότε αρχίζει να υπάρχει Μόδα. Αυτό, χρονολογείται από την εποχή της εμφάνισης του μοντέρνου ανθρώπου της μοντέρνας σκέψης και της μοντέρνας τέχνης. Ξεκινά δηλαδή ιστορικά λίγο μετά το ήμι-

συ του 19^{ου} αιώνα, δρα ουσιαστικά στο 20^ο και συνεχίζεται μέχρι σήμερα». Σήμερα η μόδα έχει διεθνοποιηθεί. Ο σχεδιασμός ένδυσης απαιτεί συστηματική έρευνα, πειραματισμό, έμπνευση και ικανότητα σωστής ανάγνωσης των πολιτιστικών τάσεων. Οι αλλαγές της ένδυσης συμπίπτουν συνήθως με σημαντικά γεγονότα όπως κοινωνικά, οικονομικά και πολιτικά κ.α. Η ανάλυση μας αποκαλύπτει ότι μέσω των γεγονότων ενδέχεται να γίνουν ευκολότερα αποδεκτές οι καινοτομίες. Επιπλέον το στυλ της ένδυσης μπορεί να αλλάξει και χωρίς εμφανή «αιτία».

6.1 Ανιχνεύοντας τις τάσεις της μόδας

Από τις οκτώ χρήσεις-κίνητρα ένδυσης που ήδη περιγράψαμε, η ψυχολογική αυτοβελτίωση και η συμμόρφωση με τις τρέχουσες τάσεις είναι τα δύο στοιχεία που μετατρέπουν το ρουχισμό σε μόδα. Πολλοί επιθυμούμε να φαινόμαστε νεότεροι και να ταιριάζουμε στο πολιτιστικό κλίμα των καιρών που διαρκώς αλλάζει. Η διαφήμιση και τα άρθρα των περιοδικών μπορούν να μας κάνουν να αισθανθούμε ανασφαλείς και ακατάλληλοι αν δεν κάνουμε χρήση ενός συγκεκριμένου προϊόντος ή τρόπου ζωής. Η μόδα είναι ένα φαινόμενο που φτάνει – πέρα από την ενδυμασία – στον τρόπο που επιλέγουμε να διαθέτουμε τον ελεύθερο χρόνο μας, το πώς επικοινωνούμε, ταξιδεύουμε, διακοσμούμε τα σπίτια μας, τρώμε και γενικότερα ζούμε.

Οι ασχολούμενοι με το σχεδιασμό προϊόντων μόδας πρέπει απαραίτητως να είναι ενήμεροι για το τι συμβαίνει παγκοσμίως και ιδιαιτέρως για το τι συμβαίνει στο μικρόκοσμο της αγοράς για την οποία σχεδιάζουν.

Το να ανιχνεύει κανείς τις τάσεις δεν είναι πάντα μια εντελώς συνειδητή λειτουργία, αλλά ένας συντονισμός με το «πνεύμα των καιρών» (Zeitgeist), μέσα από μια δημιουργική ευαισθησία σχεδιασμού σύμφωνα με τις αλλαγές των επιθυμιών (γούστο) της κοινωνίας. Αυτή η ικανότητα εξελίσσεται-χτίζεται μέσα στο χρόνο και σχετίζεται άμεσα με την δυνατότητα που έχει ο κάθε άνθρωπος μέσω της εμπειρίας του παρελθόντος να συγκρίνει και να συμπεραίνει.

6.2 Σύγχρονες τάσεις διαμόρφωσης της ένδυσης

Σήμερα οι τάσεις που διαμορφώνουν το στυλ της ένδυσης, θεωρείται ότι γεννιούνται από τρεις κύριες πηγές:

Την **υψηλή κουλτούρα** (λογοτεχνία, κλασική μουσική, θέατρο κτλ).

Τη **δημοφιλή κουλτούρα** (τηλεόραση, δημοφιλής μουσική, κινηματογράφος και κουλτούρα διασημοτήτων).

Τη **χαμηλή κουλτούρα** (δραστηριότητες που γίνονται από ομάδες ειδικών ενδιαφερόντων εκτός του κύριου ρεύματος, όπως για παράδειγμα skateboarding). Καμιά από

αυτές τις τρεις κουλτούρες δε λειτουργεί σε απομόνωση, και κάθε μια μπορεί να επηρεάσει την εξέλιξη της άλλης.

Στο βιβλίο του, «The theory of the Leisure class», ο κοινωνιολόγος Thorstein Veblen παρατήρησε πως οι «χαμηλότερες» επιταγές της κοινωνίας προσομοιώνουν το στιλ ένδυσης των ανωτέρων τους, στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό. Αυτή η διασταυρούμενη προσομοίωση κουλτούρας είναι γνωστή ως «αποτέλεσμα καθοδικής ροής» (trickle-down effect), ένα φαινόμενο που τόσο οι έμποροι όσο και οι σχεδιαστές πρέπει να παρατηρούν προσεκτικά, για να γνωρίζουν τις επιθυμίες των καταναλωτών αλλά και τι είναι ξεπερασμένο. Σημαντικό είναι επίσης και το αντίθετο φαινόμενο, το «αποτέλεσμα ανοδικής ροής» (bubble-up effect) όπως αυτό περιγράφεται από τον Ted Polhemus στο βιβλίο του, *Street style: From sidewalk to catwalk (1994)*. Εδώ, τα στιλ και οι δραστηριότητες από χώρους εκτός μόδας, από ομάδες ειδικών ενδιαφερόντων ή εντελώς ξεχωριστών ομάδων ατόμων, εισβάλλουν στο ρεύμα της εποχής (mainstream) και καταλήγουν να χαρακτηρίζονται ως νέα και «μοδάτα». Τα μέσα μαζικής ενημέρωσης όπως η μουσική και η τηλεόραση είναι υπεύθυνα σε μεγάλο βαθμό για την ταχύτατη διάδοση ορισμένων δημοφιλών στιλ.

Τα πολιτιστικά επίπεδα μπορεί να είναι κυμαινόμενου ενδιαφέροντος ανάλογα για ποια αγορά και για ποια επίπεδα τιμών δημιουργεί ο σχεδιαστής. Η ανίχνευση των τάσεων (trend tracking) δεν περιορίζεται μόνο στο να βλέπουμε το ρουχισμό μέσα στις πηγές αυτές, αλλά σχετίζεται με δημογραφικές αλλαγές, την συμπεριφορά και τον τρόπο που ζει ο κόσμος. Αυτή η καταναλωτική ανάλυση μπορεί να μας βοηθήσει ώστε να κατανοήσουμε το στιλ των ενδυμάτων και παρελκομένων που οι καταναλωτές θα έχουν ανάγκη στο μέλλον.

7. Συμπεράσματα

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαμόρφωση της ένδυσης:

1. Έχουν άμεση σχέση με τις κλιματολογικές συνθήκες και την περί αιδούς άποψη της κάθε κοινωνίας.
2. Με την ανατομία του ανθρώπινου σώματος και τον τρόπο που κινούνται οι αρθρώσεις και οι μύες.
3. Ο σχεδιασμός της από την εμφάνιση της ως σήμερα εξακολουθεί να βασίζεται στα πέντε βασικά είδη ενδύματος.
4. Πρέπει να ικανοποιεί την αισθητική άποψη του ανθρώπου, να αναδεικνύει το σώμα και να ομορφαίνει τον άνθρωπο μέσα από τις πρακτικές λειτουργίες της. Η ψυχολογική αυτό-βελτίωση και η διάθεση μοντερνισμού είναι οι βασικές σταθερές που μετατρέπουν την ένδυση σε μόδα.

5. Μόδα είναι η αιώνια επανάληψη του νέου» και υπάρχει μόνο όταν επιδιώκεται η αλλαγή για την αλλαγή και πραγματοποιείται σχετικά συχνά.
6. Σήμερα έχει διεθνοποιηθεί στο μεγαλύτερο τμήμα του πλανήτη και μόνο το φύλλο και το κλίμα καθορίζουν ακόμα τη σιλουέτα της. Πολλοί από τους παράγοντες που καθορίζουν την διαμόρφωση της έχουν αυτοκαταργηθεί, άλλοι έχουν ατονήσει, κάποιοι άλλοι ίσως ατονήσουν στο μέλλον και εμφανιστούν νέοι που δεν μπορούμε να προβλέψουμε.
7. Το στυλ της δεν διαμορφώνεται πια από την άρχουσα τάξη, αλλά γεννιέται μέσα από τον εντοπισμό και την ανάγνωση των πολιτιστικών τάσεων της κοινωνίας: υψηλή κουλτούρα, δημοφιλής κουλτούρα, χαμηλή κουλτούρα καθώς και από τα αποτελέσματα «ανοδικής ροής» (bubble-up effect) καθοδικής ροής» (trickle-down effect).
8. Τα προϊόντα της ανήκουν στα προϊόντα της εφαρμοσμένης – διακοσμητικής τέχνης της μόδας, με την προϋπόθεση ότι η ωραιοποίησή τους δεν πρέπει να αποβαίνει σε βάρος της λειτουργικότητάς τους.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Βρελλή-Ζάχου, Μαρίνα. Η ενδυμασία στη Ζάκυνθο μετά την Ένωση (1864-1910). Ίδρυμα Αγγελικής Χατζημιγάλη. 2003.
- Γκιζέλης, Γρηγόριος. Η ρητορική του ενδύματος. Αθήνα, 1974.
- Δαβέτας, Δημοσθένης. Μόδα και Μοντέρνα Τέχνη. Εκδόσεις Ευρασία. Αθήνα, 2008.
- Μερακλή, Μ. Γ. «Ελληνική Λαογραφία». Γ' τ.: «Λαϊκή Τέχνη». Κεφ. 4: «Ενδυμασία». Αθήνα, 1992.
- Μπάδα, Κωνσταντίνα. Η γλώσσα του ρούχου και της ατομικής εμφάνισης στην παραδοσιακή κοινωνία. Αθήνα: Δωδώνη, 1992.
- Παπαντωνίου, Ιωάννα. Η ελληνική ενδυμασία από την αρχαιότητα ως τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Αθήνα, 2000.
- Παπαντωνίου, Ιωάννα. Συμβολή στη μελέτη της γυναικείας ελληνικής παραδοσιακής φορεσιάς. Αθήνα, 1978.
- Σκουζέ-Πετρίδη, Λίζα. Η μόδα κοινωνικό φαινόμενο. Ζυγός. Τεύχος 15-17 (Ιούλιος – Δεκέμβριος). Αθήνα, 1975.

Ξένη Βιβλιογραφία

- Agins, T. The End of Fashion. New York: William Morrow, 1999.
- Barthes, R. The Fashion System. New York: Hill and Wang; Far-rar, Straus, and Giroux, 1983.
- Baudot, F. Fashion, The Twentieth Century. New York: Universe, 1999.
- Beaulieu, M. Le costume antique et médiéval. Paris, 1951.
- Benedict, R. «Dress.» Encyclopedia of the Social Sciences. New York: Macmillan, 1931.
- Blumer, H. «Fashion: From Class Differentiation to Collective Selection.» The Sociological Quarterly Volume 10, no. 3 (1969): pages 275-291.
- Brannon, E. Fashion Forecasting. New York: Fairchild Publications, 2000.
- Breward, C. The Culture of Fashion. Manchester, U.K.: Manchester University Press, 1995.
- Carter, M. Fashion Classics: From Carlyle to Barthes. Oxford: Berg, 2003.
- Coates, Joseph F. From my perspective: The future of clothing. «Technological forecasting and social change. Vol 72, Issue 1 (January 2005), pages 101-110. Available online at www.sciencedirect.com.
- A concise history of costume. London: Thames and Hudson, 1969.

- Craik, J. *The Face of Fashion*. New York: Routledge, 1994.
- Davis, Fred. *Fashion, Culture, and Identity*. Chicago: University of Chicago Press, 1992.
- DeLong, M. *The Way We Look, Dress and Aesthetics*. 2nd ed. New York: Fairchild Publications, 1998.
- Doran, J. *Habits and men*. New York, 1855.
- Entwistle, J. *The Fashioned Body, Fashion, Dress and Modern Social Theory*. Cambridge, Mass.: Polity Press, 2000.
- Fashion, a history from the 18th to the 20th century*. Taschen, c.2002.
- Flügel, J. *The Psychology of Clothes*. London: Hogarth Press, 1930.
- Geum, K., DeLong M. «Korean Traditional Dress as an Expression of Heritage.» *Dress* 19 (1992): 57-68.
- Gibbs, C. H. *The fashion lady in the 19th century*. London, 1960.
- Jenkyn-Jones, Sue. *Fashion design*. Laurence King Publishing, 2002.
- Johnson, K., Tortore S., and Eicher J. *Fashion Foundations: Early Writings on Fashion and Dress*. Oxford: Berg, 2003.
- Kidwell, C., Christman M. *Suiting Everyone: The Democratization of Clothing in America*. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1974.
- King, C. «Fashion Adoption: A Rebuttal to the ‘Trickle Down’ Theory.» In *Toward Scientific Marketing*. Edited by S. Greyser. Chicago: American Marketing Association, 1963.
- Laver, J. *The Concise History of Costume and Fashion*. New York: Harry N. Abrams, 1969.
- Lehmann, U. *Tigersprung: Fashion in Modernity*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2000.
- Levoire, M. *Histoire de costume*. Paris, 1933.
- Lipovetsky, G. *The Empire of Fashion*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1994.
- Lurise, Alison. *The language of clothes*. New York: Random House, 1983.
- McCracken, G. «Meaning Manufacture and Movement in the World of Goods.» In *Culture and Consumption*. Bloomington: Indiana University Press, 1988.
- Methods of Ethnographic research into material culture*. Paris: Tokarev, 1974.
- Nystrom, P. *Economics of Fashion*. New York: Ronald Press, 1928.
- Plekhanov, G. V. *L’art et la vie social*. Paris : Editions Sociales, 1975.
- Polhemus, T. *Streetstyle: From Sidewalk to Catwalk*. London: Thames and Hudson, Inc., 1994.
- Pour comprendre les tissus d’art*. Paris : Hachette, 1930.
- Roach-Higgins, M. E. «Awareness: Requisite to Fashion.» In *Dress and Identity*. Edited by M. E. Roach-Higgins, J. Eicher, and K. Johnson. New York: Fairchild Publications, 1995.
- Robinson, D. «The Rules of Fashion Cycles». *Harvard Business Review* (November-December 1958).
- Roche, D. *The Culture of Clothing*. Translated by J. Birrell. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1994.

- Rogers, E. Diffusion of Innovations. 4th ed. New York: Free Press, 1995.
- Rubinstein, Ruth P. Dress Codes: Meanings and Messages in American Culture. Boulder, Colo.: Westview Press, 1995.
- Ruppert, J. Le costume. Paris: Flammarion, 1931.
- Simmel, G. «Fashion.» International Quarterly 10 (1904): 130-155.
- Sproles, G., Burns L. Changing Appearances. New York: Fairchild Publications. 1994.
- Steele, V. Paris Fashion: A Cultural History. Rev. ed. Oxford: Berg, 1998.
- Tortore, P., Eubank K. Survey of Historic Costume. 3rd ed. New York: Fairchild Publications, 1998.
- Veblen, T. The Theory of the Leisure Class. New York: Macmillan, 1899.
- Wilson, E. Adorned in Dreams: Fashion and Modernity. London: Virago Press, 1985.

Το Λήμμα του Fejér και Εφαρμογές

Ανδρέας Καβατζικλής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών
& Φυσικών Επιστημών
Τομέας Μαθηματικών

Περίληψη

Επεχειρούμε μια γενίκευση του Λήμματος του Fejér, βλέπε [2, 4], και αποδεικνύουμε ως πόρισμα το κλασσικό Λήμμα των Riemann-Lebesgue. Επίσης δίνουμε μερικές ενδιαφέρουσες εφαρμογές. Τέλος εξετάζουμε την ισχύ του αντιστρόφου του Λήμματος των Riemann-Lebesgue.

Abstract

We discuss a generalization of Fejér's Lemma, see [2, 4], and we prove Riemann-Lebesgue's Lemma as a Corollary. We also give some interesting applications and finally we examine the validity of Riemann-Lebesgue's Lemma opposite.

Keywords: *Fejér's lemma, applications of Fejér's lemma, Dirichlet's kernel.*

1. Εισαγωγή

Έστω η συνάρτηση f είναι Riemann ολοκληρώσιμη σε κάθε κλειστό και φραγμένο διάστημα του \mathbb{R} και το γενικευμένο ολοκλήρωμα $\int_{-\infty}^{\infty} |f(x)| dx$ υπάρχει. Χρησιμοποιώντας τη θεωρία ολοκλήρωσης Riemann, παραπέμπουμε στο [5, Chapter 3, Pt II,

Problem 118], μπορεί εύκολα να αποδειχθεί ότι

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \sin nx \, dx = 0, \quad (1)$$

ενώ

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) |\sin nx| \, dx = \frac{2}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \, dx. \quad (2)$$

Επειδή η $f \in L_1(\mathbb{R})$, η (1) είναι άμεση συνέπεια του λήμματος των Riemann-Lebesgue. Η (2) είναι ειδική περίπτωση ενός πιο γενικού αποτελέσματος γνωστού και σαν *λήμμα του Fejér* [2, 4]. Στην επόμενη παράγραφο θα διατυπώσουμε και θα αποδείξουμε αυτά τα κλασσικά αποτελέσματα της Αρμονικής Ανάλυσης. Μάλιστα, θα αποδείξουμε ότι το *λήμμα των Riemann-Lebesgue* είναι ένα *πόρισμα του λήμματος Fejér*.

Για τη συνέχεια χρειαζόμαστε μερικούς ορισμούς και συμβολισμούς. Έστω \mathbb{T} είναι ο μοναδιαίος κύκλος στο μιγαδικό επίπεδο, δηλαδή $\mathbb{T} = \{z \in \mathbb{C} : |z| = 1\}$. Η συναρτησιμότητα $t \mapsto e^{it}$ απεικονίζει το \mathbb{R} επί του \mathbb{T} . Αν $F: \mathbb{T} \rightarrow \mathbb{C}$, τότε η $f(t) := F(e^{it})$ είναι 2π-περιοδική συνάρτηση.

Αντίστροφα, αν η $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$ είναι περιοδική, με περίοδο 2π, τότε υπάρχει $F: \mathbb{T} \rightarrow \mathbb{C}$ τέτοια ώστε $F(e^{it}) = f(t)$. Επομένως, μπορούμε να ταυτίσουμε συναρτήσεις που ορίζονται στον \mathbb{T} με 2π-περιοδικές συναρτήσεις στον \mathbb{R} . Ο χώρος $L_p(\mathbb{T})$, $1 \leq p \leq \infty$, είναι η κλάση όλων των μιγαδικών, Lebesgue μετρήσιμων, 2π-περιοδικών συναρτήσεων $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$ με νόρμα

$$\|f\|_p = \left(\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |f(t)|^p \, dt \right)^{1/p} < \infty, \quad 1 \leq p < \infty \text{ και } \|f\|_{\infty} = \operatorname{ess\,sup}_{t \in [-\pi, \pi]} |f(t)|.$$

Επίσης γράφουμε

$$\|f\|_p = \left(\int_{\mathbb{T}} |f|^p \, d\mu \right)^{1/p}, \quad 1 \leq p < \infty, \text{ όπου } d\mu(t) = \frac{1}{2\pi} dt,$$

δηλαδή το μ είναι μέτρο Lebesgue στον \mathbb{T} που διαιρείται με 2π. Το $C(\mathbb{T})$ είναι ο χώρος όλων των συνεχών συναρτήσεων $f: \mathbb{T} \rightarrow \mathbb{C}$ με τη *supremum* νόρμα

$$\|f\|_{\infty} = \sup_t |f(t)|.$$

Ορισμός 1 Αν $f \in L_1(\mathbb{T})$, τότε το

$$\hat{f}(n) := \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) e^{-int} \, dt, \quad n \in \mathbb{Z},$$

είναι ο **n-οστός συντελεστής Fourier της f**. Η **εξθετική (ή μιγαδική) μορφή της σειράς Fourier της f** είναι η σειρά

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \hat{f}(n) e^{int} \quad (3)$$

και τα μερικά αθροίσματά της είναι τα

$$S_n(f)(t) = \sum_{k=-n}^n \hat{f}(k) e^{ikt}.$$

Η τριγωνομετρική μορφή της σειράς Fourier της f είναι η σειρά

$$\frac{1}{2} \alpha_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (\alpha_n \cos nt + b_n \sin nt),$$

όπου

$$\alpha_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cos nt dt, \quad n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$$

και

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \sin nt dt, \quad n \in \mathbb{N}.$$

Ως γνωστόν, αν $F \in L_1[-\alpha, \alpha]$, $\alpha > 0$, τότε

$$\int_{-\alpha}^{\alpha} F(x) dx = \begin{cases} 2 \int_0^{\alpha} F(x) dx & \text{αν η } F \text{ είναι άρτια,} \\ 0 & \text{αν η } F \text{ είναι περιττή.} \end{cases}$$

Επομένως,

αν η $f \in L_1(\mathbb{T})$ είναι άρτια, $\alpha_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(t) \cos nt dt$, $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ και $b_n = 0$, $n \in \mathbb{N}$,

αν η $f \in L_1(\mathbb{T})$ είναι περιττή, $\alpha_n = 0$, $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ και $b_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(t) \sin nt dt$, $n \in \mathbb{N}$.

Συμβολισμός. Αν $f \in L_1(\mathbb{T})$, με

$$f(t) \sim \sum_{n=-\infty}^{\infty} \hat{f}(n) e^{int}$$

εκφράζουμε τη σχέση που συνδέει τη συνάρτηση f με τη σειρά Fourier της f . Χρησιμοποιείται αυτός ο συμβολισμός για συντομία αντί να γράφουμε τις εξισώσεις

$$\hat{f}(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) e^{-int} dt, \quad n \in \mathbb{Z}.$$

Ένα τριγωνομετρικό πολυώνυμο είναι ένα πεπερασμένο άθροισμα της μορφής

$$f(t) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n (\alpha_k \cos kt + b_k \sin kt), \quad t \in \mathbb{R},$$

όπου $\alpha_0, \dots, \alpha_n$ και b_0, \dots, b_n είναι μιγαδικοί αριθμοί. Ένα τριγωνομετρικό πολυώνυμο γράφεται και στην μορφή

$$f(t) = \sum_{k=-n}^n c_k e^{ikt}, \quad t \in \mathbb{R}, \text{ όπου } c_k \in \mathbb{C}.$$

Τα τριγωνομετρικά πολυώνυμα είναι 2π -περιοδικές συναρτήσεις.

2. Απόδειξη του Λήμματος Fejér-Εφαρμογές

Θεώρημα 1 (Λήμμα του Fejér) Υποθέτουμε ότι η συνάρτηση $g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ (ή $g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$) είναι Lebesgue μετρήσιμη, φραγμένη και περιοδική με περίοδο $T > 0$. Αν $f \in L_1(I)$, όπου I είναι ένα διάστημα του \mathbb{R} , τότε

$$\lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} \int_I f(x)g(\lambda x)dx = \left(\frac{1}{T} \int_0^T g(x)dx \right) \left(\int_I f(x)dx \right). \quad (4)$$

Απόδειξη. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι $\int_0^T g(x)dx = 0$. Πράγματι, αν $\int_0^T g(x)dx \neq 0$ θεωρούμε τη συνάρτηση

$$h(x) := g(x) - \frac{1}{T} \int_0^T g(x)dx.$$

Η h είναι Lebesgue μετρήσιμη, φραγμένη, περιοδική με περίοδο $T > 0$ και

$$\int_0^T h(x)dx = \int_0^T g(x)dx - \int_0^T \left(\frac{1}{T} \int_0^T g(x)dx \right) dx = \int_0^T g(x)dx - \int_0^T g(x)dx = 0.$$

Αν αποδείξουμε ότι $\lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} \int_I f(x)h(\lambda x)dx = 0$, από τον ορισμό της h προκύπτει η απόδειξη της (4).

Υποθέτουμε λοιπόν ότι $\int_0^T g(x)dx = 0$. Πρέπει να δείξουμε ότι $\lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} \int_I f(x)g(\lambda x)dx = 0$. Έστω

$$G(x) := \int_0^x g(t)dt.$$

Αν $x = kT$, $k \in \mathbb{Z}$, επειδή η g είναι T -περιοδική έχουμε

$$G(kT) := \int_0^{kT} g(t)dt = k \int_0^T g(t)dt = 0.$$

Αν $kT < x < (k+1)T$, $k \in \mathbb{Z}$, τότε

$$|G(x)| = \left| \int_0^{kT} g(t)dt + \int_{kT}^x g(t)dt \right|$$

$$\begin{aligned}
 & \leq \left| \int_0^{kT} g(t) dt \right| + \int_{kT}^x |g(t)| dt \\
 & = \left| k \int_0^T g(t) dt \right| + \int_{kT}^x |g(t)| dt \quad (\eta \ g \ \epsilon\acute{\iota}\nu\alpha\iota \ T\text{-}\pi\epsilon\omicron\upsilon\delta\iota\kappa\acute{\eta}) \\
 & = \int_{kT}^x |g(t)| dt \\
 & \leq \int_{kT}^{(k+1)T} |g(t)| dt \\
 & = \int_0^T |g(t)| dt. \quad (\eta \ |g| \ \epsilon\acute{\iota}\nu\alpha\iota \ T\text{-}\pi\epsilon\omicron\upsilon\delta\iota\kappa\acute{\eta})
 \end{aligned}$$

Επομένως, για κάθε $x \in \mathbb{R}$

$$|G(x)| \leq \int_0^T |g(t)| dt,$$

δηλαδή η G είναι ομοιόμορφα φραγμένη στο \mathbb{R} . Αν I είναι ένα οποιοδήποτε φραγμένο διάστημα, έστω $I = (a, b)$, τότε

$$\int_I g(\lambda x) dx = \frac{1}{\lambda} \int_{\lambda a}^{\lambda b} g(t) dt = \frac{1}{\lambda} (G(\lambda b) - G(\lambda a)).$$

Επομένως

$$\left| \int_I g(\lambda x) dx \right| \leq \frac{2}{|\lambda|} \int_0^T |g(t)| dt$$

και κατά συνέπεια

$$\lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} \int_I g(\lambda x) dx = 0.$$

Αν φ είναι μία κλιμακωτή συνάρτηση, δηλαδή γραμμικός συνδυασμός χαρακτηριστικών συναρτήσεων φραγμένων διαστημάτων, τότε

$$\lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) g(\lambda x) dx = 0. \tag{5}$$

Έστω τώρα η συνάρτηση $f : I \rightarrow \mathbb{R}$ (ή $f : I \rightarrow \mathbb{C}$) είναι Lebesgue ολοκληρώσιμη στο διάστημα I του \mathbb{R} . Τότε, για κάθε $\epsilon > 0$ υπάρχει ολοκληρώσιμη κλιμακωτή συνάρτηση φ ορισμένη στο I με

$$\int_I |f(x) - \varphi(x)| dx < \epsilon / \|g\|_{\infty}.$$

Επομένως,

$$\begin{aligned} \left| \int_I f(x)g(\lambda x) dx \right| &\leq \int_I |f(x) - \varphi(x)| |g(\lambda x)| dx + \left| \int_I \varphi(x)g(\lambda x) dx \right| \\ &\leq \varepsilon + \left| \int_I \varphi(x)g(\lambda x) dx \right|. \end{aligned}$$

Άρα, χρησιμοποιώντας τη (5) τελικά έχουμε $\lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} \int_I f(x)g(\lambda x) dx = 0$. ■

Παρατήρηση 1 Για $g(x) = \sin x$ ή $g(x) = \cos x$, το λήμμα του Fejér συνεπάγεται το λήμμα των Riemann-Lebesgue. Πράγματι, αν I είναι ένα διάστημα του \mathbb{R} , από τη (4) έχουμε

$$\lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} \int_I f(x)\cos \lambda x dx = \lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} \int_I f(x)\sin \lambda x dx = 0.$$

Παράδειγμα 1 Να υπολογιστεί το

$$\lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} \int_0^{\pi} \frac{\sin x}{1 + 3\cos^2 \lambda x} dx.$$

Λύση. Η συνάρτηση $g(x) = 1/(1 + 3\cos^2 x)$ είναι συνεχής, φραγμένη και περιοδική με περίοδο π . Από το λήμμα Fejér έχουμε

$$\begin{aligned} \lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} \int_0^{\pi} \frac{\sin x}{1 + 3\cos^2 \lambda x} dx &= \left(\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{1}{1 + 3\cos^2 x} dx \right) \left(\int_0^{\pi} \sin x dx \right) \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{1}{1 + 3\cos^2 x} dx \\ &= \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{1}{1 + 3\cos^2 x} dx \\ &= \frac{4}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{1}{t^2 + 4} dt \quad (\text{αντικατάσταση } t = \tan x) \\ &= \frac{2}{\pi} \lim_{t \rightarrow \infty} \arctan \frac{t}{2} = 1. \end{aligned}$$

Παράδειγμα 2 Έστω το $E \subset \mathbb{R}$ είναι Lebesgue μετρήσιμο σύνολο με $m(E) < \infty$. Αν (k_n) είναι μία γνήσια αύξουσα ακολουθία φυσικών αριθμών και (α_n) είναι μια οποιαδήποτε πραγματική ακολουθία, τότε

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_E \cos^2(k_n x + \alpha_n) dx = \frac{1}{2} m(E).$$

Απόδειξη. Για τον υπολογισμό του ορίου θα χρησιμοποιήσουμε το λήμμα των Riemann-Lebesgue. Πράγματι, επειδή

$$\begin{aligned} \int_E \cos^2(k_n x + \alpha_n) dx &= \frac{1}{2} \int_{\mathbb{R}} [1 + \cos(2k_n x + 2\alpha_n)] \chi_E(x) dx \\ &= \frac{1}{2} \int_{\mathbb{R}} \chi_E(x) dx + \frac{1}{2} \int_{\mathbb{R}} \cos(2k_n x + 2\alpha_n) \chi_E(x) dx \\ &= \frac{1}{2} m(E) + \frac{\cos 2\alpha_n}{2} \int_{\mathbb{R}} \chi_E(x) \cos 2k_n x dx - \frac{\sin 2\alpha_n}{2} \int_{\mathbb{R}} \chi_E(x) \sin 2k_n x dx, \end{aligned}$$

από το λήμμα των Riemann-Lebesgue έχουμε

$$\begin{aligned} &\left| \int_E \cos^2(k_n x + \alpha_n) dx - \frac{1}{2} m(E) \right| \\ &\leq \frac{1}{2} \left| \int_{\mathbb{R}} \chi_E(x) \cos 2k_n x dx \right| + \frac{1}{2} \left| \int_{\mathbb{R}} \chi_E(x) \sin 2k_n x dx \right| \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0. \blacksquare \end{aligned}$$

Δίνουμε τώρα μια άλλη εφαρμογή του λήμματος Fejér.

Παράδειγμα 3 Έστω οι συναρτήσεις f, g είναι Lebesgue μετρήσιμες και 2π -περιοδικές με πραγματικές ή μιγαδικές τιμές. Αν $f \in L_1[-\pi, \pi]$ και η g είναι φραγμένης κύμανσης, έστω

$$f(t) \sim \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt) \text{ και } g(t) \sim \frac{1}{2} c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (c_n \cos nt + d_n \sin nt).$$

Θα αποδείξουμε ότι

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{b_{kn}}{n} = \lim_{k \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{b_{k(2n+1)}}{2n+1} = \lim_{k \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{a_{k(2n+1)}}{2n+1} = 0. \quad (6)$$

Πράγματι, επειδή η g είναι φραγμένης κύμανσης, από το θεώρημα Dirichlet-Jordan (βλέπε [4, page 74])

$$g(t) = \frac{1}{2} c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (c_n \cos nt + d_n \sin nt), \text{ σχεδόν παντού.}$$

Επομένως,

$$f(t)g(kt) = \frac{1}{2} f(t)c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (c_n f(t) \cos nkt + d_n f(t) \sin nkt), \text{ σχεδόν παντού.}$$

Επειδή η συνάρτηση f είναι Lebesgue ολοκληρώσιμη, χρησιμοποιώντας το κλασσικό θεώρημα κυριαρχημένης σύγκλισης του Lebesgue μπορούμε να ολοκληρώσουμε κάθε όρο της παραπάνω σειράς χωριστά οπότε

$$\frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t)g(kt)dt = \frac{1}{2} \alpha_0 c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (\alpha_{nk} c_n + b_{nk} d_n).$$

Όμως, από το λήμμα του Fejér έχουμε

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t)g(kt)dt = \frac{1}{2} \alpha_0 c_0.$$

Επομένως,

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^{\infty} (\alpha_{nk} c_n + b_{nk} d_n) = 0. \quad (7)$$

Θεωρούμε τώρα τις σειρές

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin nx}{n}, \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2n+1)x}{2n+1} \quad \text{και} \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n \cos(2n+1)x}{2n+1}$$

οι οποίες είναι σειρές Fourier συναρτήσεων φραγμένης κύμανσης. Τότε, από την (7) προκύπτει η απόδειξη της (6).

Ισχύει το αντίστροφο του Λήμματος Riemann-Lebesgue; Δηλαδή αν (c_n) είναι ακολουθία μιγαδικών αριθμών τέτοια ώστε $\lim_{n \rightarrow \pm \infty} c_n = 0$, υπάρχει $f \in L_1(\mathbb{T})$ τέτοια ώστε $c_n = \hat{f}(n)$ για κάθε $n \in \mathbb{Z}$; Αποδεικνύουμε στη συνέχεια ότι η απάντηση είναι αρνητική.

Ως γνωστόν, ο πυρήνας του Dirichlet είναι η ακολουθία (D_n) , όπου

$$D_n(t) := \sum_{k=-n}^n e^{ikt}, \quad t \in \mathbb{T}.$$

Είναι

$$(e^{it} - 1)D_n(t) = \sum_{k=-n}^n e^{i(k+1)t} - \sum_{k=-n}^n e^{ikt} = e^{i(n+1)t} - e^{-int},$$

οπότε για $t \neq 0$

$$D_n(t) = \frac{e^{i(n+1)t} - e^{-int}}{e^{it} - 1} \cdot \frac{e^{-it/2}}{e^{-it/2}} = \frac{e^{i(n+\frac{1}{2})t} - e^{-i(n+\frac{1}{2})t}}{e^{it/2} - e^{-it/2}} = \frac{\sin\left(n + \frac{1}{2}\right)t}{\sin \frac{t}{2}}.$$

Δηλαδή,

$$D_n(t) = \begin{cases} \frac{\sin\left(n + \frac{1}{2}\right)t}{\sin \frac{t}{2}} & \text{αν } t \neq 0, \\ 2n + 1 & \text{αν } t = 0. \end{cases}$$

Λήμμα 2 Αν (D_n) είναι ο πυρήνας Dirichlet, τότε $D_N \in L_1(\mathbb{T})$ και οι όροι της ακολουθίας $(\hat{D}_N(n))$ είναι τελικά μηδέν, με $\|\hat{D}_N\|_\infty = 1, N = 1, 2, \dots$. Είναι

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \|D_N\|_1 = \infty.$$

Απόδειξη. Η $D_N, N \in \mathbb{N}$, είναι συνεχής, 2π -περιοδική συνάρτηση, δηλαδή $D_N \in L_1(\mathbb{T})$. Εύκολα φαίνεται ότι

$$\hat{D}_N(n) = \begin{cases} 1 & \text{αν } |n| \leq N, \\ 0 & \text{αν } |n| > N. \end{cases}$$

Επομένως οι όροι της ακολουθίας $(\hat{D}_N(n))$ είναι τελικά μηδέν, με $\|\hat{D}_N\|_\infty = 1$. Είναι

$$\begin{aligned} \|D_N\|_1 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left| \frac{\sin\left(N + \frac{1}{2}\right)t}{\sin \frac{t}{2}} \right| dt \\ &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \left| \frac{\sin(2N + 1)x}{\sin x} \right| dx \quad \left(x = \frac{t}{2}\right) \\ &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \left| \frac{\sin(2N + 1)x}{\sin x} \right| dx + \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \left| \frac{\sin(2N + 1)x}{\sin x} \right| dx \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} \left| \frac{\sin(2N + 1)t}{\sin t} \right| dt \\ &\geq \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} \left| \frac{\sin(2N + 1)t}{t} \right| dt. \quad \left(0 \leq \sin t \leq t, \text{ για } 0 \leq t \leq \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned}$$

Όμως

$$\begin{aligned} \int_0^{\pi/2} \left| \frac{\sin(2N + 1)t}{t} \right| dt &= \sum_{n=0}^{2N} \int_{\frac{n\pi}{2(2N+1)}}^{\frac{(n+1)\pi}{2(2N+1)}} \left| \frac{\sin(2N + 1)t}{t} \right| dt \\ &\geq \sum_{n=0}^{2N} \frac{2(2N + 1)}{(n + 1)\pi} \int_{\frac{n\pi}{2(2N+1)}}^{\frac{(n+1)\pi}{2(2N+1)}} |\sin(2N + 1)t| dt \\ &= \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{2N} \frac{1}{n + 1} \int_{\frac{n\pi}{2}}^{\frac{(n+1)\pi}{2}} |\sin x| dx \quad (\text{αντικατάσταση } x = (2N + 1)t) \end{aligned}$$

$$= \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{2N} \frac{1}{n+1} \int_0^{\pi/2} \sin x dx = \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{2N} \frac{1}{n+1}.$$

Επομένως,

$$\|D_N\|_1 \geq \frac{4}{\pi^2} \sum_{n=0}^{2N} \frac{1}{n+1} = \frac{4}{\pi^2} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{2N}\right).$$

Άρα,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|D_N\|_1 = \infty. \blacksquare$$

Έστω $c_0(\mathbb{Z})$ είναι ο χώρος των μιγαδικών συναρτήσεων $\varphi : \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{C}$, με $\lim_{n \rightarrow \pm\infty} \varphi(n) = 0$. Ορίζουμε

$$\|\varphi\|_\infty = \sup\{|\varphi(n)| : n \in \mathbb{Z}\}.$$

Ο $c_0(\mathbb{Z})$ είναι χώρος Banach.

Θεώρημα 3 Η απεικόνιση

$$\Lambda : L_1(\mathbb{T}) \rightarrow c_0(\mathbb{Z}), \text{ με } \Lambda(f) := \hat{f},$$

είναι ένας 1 – 1 και φραγμένος τελεστής που δεν είναι επί. Επομένως, υπάρχει ακολουθία μιγαδικών αριθμών (c_n) με $\lim_{n \rightarrow \pm\infty} c_n = 0$, για την οποία δεν ισχύει $\hat{f}(n) = c_n$, για κάθε $n \in \mathbb{Z}$ και για κάποια $f \in L_1(\mathbb{T})$.

Απόδειξη. Η Λ είναι γραμμική απεικόνιση. Από το λήμμα Riemann-Lebesgue είναι $\lim_{n \rightarrow \pm\infty} \hat{f}(n) = 0$ και κατά συνέπεια $\Lambda(f) = \hat{f} \in c_0(\mathbb{Z})$. Από τον ορισμό του συντελεστή Fourier είναι προφανές ότι $|\hat{f}(n)| \leq \|f\|_1$, οπότε $\|\hat{f}\|_\infty \leq \|f\|_1$. Δηλαδή $\|\Lambda\| \leq 1$. Αν $f(t) = 1$, τότε

$$\Lambda(f)(n) = \hat{f}(n) = \begin{cases} 1 & \text{αν } n = 0, \\ 0 & \text{αν } n \neq 0. \end{cases}$$

Δηλαδή, $\|\hat{f}\| = 1 = \|f\|_1$. Επομένως $\|\Lambda\| = 1$. Θα αποδείξουμε ότι η Λ είναι 1 – 1. Αρχεί να αποδείξουμε ότι $\hat{f}(n) = 0$ για κάθε $n \in \mathbb{Z}$ συνεπάγεται ότι $f = 0$ σχεδόν παντού. Αυτό όμως ισχύει και μάλιστα είναι άμεση συνέπεια του θεωρήματος Fejér-Lebesgue (βλέπε Θεώρημα 4.18.5 στο σύγγραμμα [1]).

Υποθέτουμε τώρα ότι η απεικόνιση $\Lambda : L_1(\mathbb{T}) \rightarrow c_0(\mathbb{Z})$ είναι επί. Τότε, από το θεώρημα ανοικτής απεικόνισης (open mapping theorem), ο $\Lambda^{-1} : c_0(\mathbb{Z}) \rightarrow L_1(\mathbb{T})$ είναι συνεχής (φραγμένος) τελεστής. Δηλαδή υπάρχει $\delta > 0$ τέτοιο ώστε

$$\|\Lambda(f)\|_\infty \geq \delta \|f\|_1, \quad \forall f \in L_1(\mathbb{T}).$$

Επομένως,

$$\|\hat{f}\|_\infty \geq \delta \|f\|_1, \quad \forall f \in L_1(\mathbb{T}).$$

Θεωρούμε τον πυρήνα Dirichlet (D_N). Από το Λήμμα 2

$$D_N \in L_1(\mathbb{T}), \quad \|\hat{D}_N\|_\infty = 1 \text{ και } \lim_{N \rightarrow \infty} \|D_N\|_1 = \infty.$$

Άρα, δεν υπάρχει $\delta > 0$ τέτοιο ώστε

$$\|\hat{D}_N\|_\infty \geq \delta \|D_N\|_1,$$

άτοπο. ■

Αναφορές

- [1] *G. Bachmann, L. Narici and E. Beckenstein*, Fourier and Wavelet Analysis (2nd printing), *Springer-Verlag (Series: Universitext)*, 2002.
- [2] *R. E. Edwards*, Fourier Series, vol. 1 (2nd edition), *Springer-Verlag*, 1979.
- [3] *R. E. Edwards*, Fourier Series, vol. 2 (2nd edition), *Springer-Verlag*, 1982.
- [4] *Y. Katznelson*, An Introduction to Harmonic Analysis (3rd edition), *Cambridge University Press*, 2004.
- [5] *G. Pólya, G. Szegő*, Problems and Theorems in Analysis I, *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York*, 1998.
- [6] *W. Rudin*, Real and Complex Analysis (3rd ed.), *McGraw-Hill*, 1987.
- [7] *W. Rudin*, Functional Analysis (2nd ed.), *McGraw-Hill*, 1991.
- [8] *A. Zygmund*, Trigonometric series (3rd ed.) (volumes I & II combined), *Cambridge University Press*, 2003.

Η σχέση της εκπαίδευσης προσωπικού και της διαχείρισης κινδύνων εργατικών ατυχημάτων σε αποθηκευτικούς χώρους. Η περίπτωση βιομηχανίας εμφιάλωσης στην περιοχή της Βοιωτίας

M. Πάντα

*Αναπληρώτρια καθηγήτρια
Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων
Τ.Ε.Ι. Χαλκίδας*

B. Βουσαγώτης

*Εργαστηριακός Συνεργάτης
Τμήματος Διοίκησης Συστημάτων
Εφοδιασμού
Τ.Ε.Ι. Χαλκίδας*

X. Καραφωτιά

*Επιστημονικός Συνεργάτης
Τμήματος Διοίκησης Επιχειρήσεων,
Τμήματος Διοίκησης Συστημάτων
Εφοδιασμού
Τ.Ε.Ι. Χαλκίδας*

Περίληψη

Στην παρακάτω εργασία μας διερευνάται η σχέση της εκπαίδευσης προσωπικού και της διαχείρισης κινδύνων εργατικών ατυχημάτων σε αποθηκευτικούς χώρους. Πιο συγκεκριμένα γίνεται μια ανάλυση ενός εργοκεντρικού πρότυπου διαχείρισης κινδύνων.

Για κάθε ένα από τα δομικά στοιχεία του προτύπου : εντοπισμός, ανάλυση, αντιμετώπιση και παρακολούθηση κινδύνων αναλύεται η σχέση τους με την εκπαίδευση προσωπικού. Επιπρόσθετα μια παρουσίαση των διαδικασιών διαχείρισης κινδύνων εργατικών ατυχημάτων σε έναν αποθηκευτικό χώρο μεγάλης ελληνικής βιομηχανίας εμφιάλωσης αναψυκτικών παρατίθεται προς επίρρωση των ευρημάτων του μέρους της ανάλυσης του προτύπου. Στην εργασία για πρώτη φορά γίνεται η σύνδεση του εργοκεντρικού προτύπου διοίκησης κινδύνων εργατικών ατυχημάτων με την εκπαίδευση προσωπικού. Τέλος, δίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Abstract

Risks play an important role in all modern business processes .For this reason management science deals thoroughly and intensively with risk management. Based on this, we apply a project-based risk management standard to job safety in the warehouses. Furthermore we explore the relationship between personnel education and risk management standard. Before we proceed to the analysis we provide a definition of risk, hazard and danger. Risk is the exposure to a hazard, hazard is a situation of risk or danger while danger is a liability or exposure to harm. In the literature we observe that two main risks have been analyzed the risk of fire and the risk of personnel injury. A number of papers deal with the development of safety processes whereas another number of papers the development of business culture and labor behavior directed to warehouse safety. Last but not least, literature concerns job safety standards in geographical areas or industries. Our paper is consisted of four (4) parts . In the first part, the reasons for job safety is analyzed. In the second part the management is presented and its relation with personnel education whereas on the third part a case study is provided. On the last part further research is proposed.

After second World War emphasis is given to the importance of human resource management for the achievement of satisfactory business performance. Firms became concerned for the job safety. Main reasons for this are three. The first reason is the enhancement of safety standards reduces probability of an accident and consequently the amounts paid for victims' compensations. The second reason is that companies with high job safety standards can achieve substantial increases in their financial revenues since they can attract socially responsible investors. The last reason is that firms with safe workplaces enjoy high level of labor morale and increased level of labor 's productivity. Safe workplaces attract capable and skilled logistics and warehouse personnel. To achieve the above mentioned benefits, organizations have to plan and implement an educational program which applies risk management standard to job safety and ensures the continuous improvement of job safety standards. Main objective for an educational program is the development of safety culture. The safety culture should influence the way business operations carried out.

Risk identification is the first element of the standard. It concerns the listing of all risks for the job safety. There are three ways to enlist risks, the first is according to processes, the second is according to warehouse systems and the third is according to warehouse areas. To efficiently identify risks the warehouse management must freely talk about them with the employees. Ways for the risk information exchange are risk checklists and interviews. Concerning the job safety education, an educational program must focus on potential dangers, the dangerous places and machinery and the dangerous workers' habits as well. The program must also inform workers for the safety management hierarchy in order to be clear to workers to whom they can mention the identified dangers. Last but not least, the program should mention the presence of safety technician.

Risk analysis is based on the formula : Risk Rating = [probability, p]x[severity, s] x [frequency, F]. The values of risk rating is an evaluation criterion for the impact of a danger. In the case we would like to assess a set of risks and not just one, fault tree method can be applied. These graphical networks easily offer the probability of a set of dangers. Another method for risk evaluation is Job Safety Analysis. A safety educational program must enhance workers' skills and capabilities to analyze risks. Especially for new employees the program must motivate to study thoroughly safety manuals.

In the risk response analysis, we distinguish two strategies, proactive and reactive. The first strategy focuses on the causes of the dangers whereas the second focuses on the effects of dangers. The proactive strategies include activities for a) safe place b) safe person c) safe hygiene d) safe equipment e) safe work behavior f) danger sensitive. The reactive strategies include a) crisis management plans b) feedback for the plans c) improvement of the plans. Risk response also includes crisis management procedures. The educational program must persuade the workers that the protective measures and equipment are for their safety. It also must focus on stress management, personnel capability to forecast and evaluate dangers, communication during crisis, crisis job allocation and effects management.

The last element of the standard, risk monitoring includes safety checks, system and standard inspection, safety tours, accident examination. Business education should develop a safety culture which leads to more efficient risk monitoring.

Our case study concerns a bottling company located in Viotia prefecture. The plant is certified according to OHSAS 18000 job safety standard and has also the Job Safety Dangers Analysis. Concerning risk management standard we observe the following

Risk identification : the firm uses two procedures «Job Safety Dangers Analysis» and «about to happen accidents». The last procedure gives as an output a score which is a safe basis for job safety risk identification. Risk information exchange is carried out by the employees' committee for hygiene and safety.

Risk Analysis It is included in the Job Safety Dangers Analysis and uses the formula presented in risk analysis section. Concerning educational program for risk analysis,

company has implemented an introductory program which mainly focus on the study of safety manual.

Risk response: Company has proactive and reactive strategies. The first ones mainly focus on the protective equipment whereas the second ones focus on crisis management plans. Company periodically organizes simulation exercises for fire accidents and first aid seminars.

Risk monitoring: Company monitors risks through checklists filled by safety technician. The checklist includes examination of human resources and their working behaviors, machinery, infrastructure. The standard is reviewed according to new safety needs. Company also keeps accident records.

For further research we can propose the risk management standard for job safety for all logistics processes and an study for the risk management standards for all companies located to Viotia prefecture.

Λέξεις Κλειδιά: *Διοίκηση, Κίνδυνος, Ασφάλεια στην εργασία, Αποθηκευτικό σύστημα, Πρότυπο, εκπαίδευση.*

1. Εισαγωγή

Καίριας σημασίας θέμα στην σύγχρονη αναζήτηση στην επιστήμη της διοίκησης αποτελεί η διαχείριση των κινδύνων που απειλούν τόσο εγκαταστάσεις και συστήματα όσο και ανθρώπινο δυναμικό μιας οργανωτικής δομής. Το φάσμα εφαρμογής της διαχείρισης κινδύνων περιλαμβάνει και τις διοικητικές δραστηριότητες, από την διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας μέχρι την χρηματοοικονομική διαχείριση [1]. Υπο το πρίσμα αυτό εφαρμόζουμε ένα εργοκεντρικό πρότυπο διαχείρισης κινδύνων για τον λόγο ότι είναι το πιο σύγχρονο πρότυπο στην διαχείριση κινδύνων στην εργασία σε αποθηκευτικά συστήματα διευρωνώντας παράλληλα την σχέση της εκπαίδευσης προσωπικού με τα στοιχεία του διοικητικού προτύπου. Πριν όμως προχωρήσουμε στην ανάλυση μας, σκόπιμο θεωρούμε να δοθεί ένας ορισμός του κινδύνου. Κίνδυνος είναι η έκθεση σε στοιχείο ή παράγοντα που προκαλεί βλάβη[2]. Στην βιβλιογραφία η διαχείριση κινδύνων αποθηκευτικών συστημάτων δεν έχει λάβει την ανάλογη προσοχή σε σχέση με την αντίστοιχη που έχει λάβει η διαχείριση κινδύνων βιομηχανικών συστημάτων. Εστιάζοντας στα αποθηκευτικά συστήματα, παρατηρούμε ότι η έρευνα αφορά δύο βασικούς κινδύνους αυτών της πυρκαγιάς[13],[7] και αυτών των τραυματισμών του προσωπικού[8]. Μέρος της έρευνας έχει προσανατολιστεί στην ανάπτυξη διαδικασιών διαχείρισης της ασφάλειας [9],[10],[11]. Το ενδιαφέρον επίσης των μελετητών έχει αποσπάσει και η ανάπτυξη εταιρικής κουλτούρας και εργασιακής συμπεριφοράς

που προάγει την ασφάλεια εργασίας σε αποθηκευτικά συστήματα [12],[13]. Τέλος η αρθρογραφία περιλαμβάνει εργασίες για επίπεδα ασφαλείας τόσο σε χωρικό επίπεδο (γεωγραφική περιοχή) [14] όσο και σε κλαδικό (κλάδοι παραγωγικής δραστηριότητας)[15]. Το άρθρο αποτελείται από τα εξής μέρη : το πρώτο μέρος που δίνονται οι λόγοι που αυξάνουν την σημασία της ασφάλειας στην εργασία σε αποθηκευτικούς χώρους από το δεύτερο μέρος που παρουσιάζεται το πρότυπο διαχείρισης κινδύνων στην ασφάλεια των εργαζομένων καθώς και η σχέση του με την εκπαίδευση προσωπικού ενώ στο τρίτο μέρος παρατίθεται η μελέτη περίπτωσης. Τέλος στο τέταρτο μέρος δίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. Οι λόγοι που αυξάνουν την σημασία της ασφάλειας στην εργασία

Στην μεταπολεμική περίοδο εμφανής ήταν η στροφή της θεώρησης των επιχειρήσεων σε σχέση με το ανθρώπινο δυναμικό. Αναδείχτηκε η αξία της εργασίας ως άυλου στοιχείου του ενεργητικού. Υπό το πρίσμα αυτό λογική είναι και η συνεπακόλουθη αύξηση της σημασίας που έδιναν οι επιχειρήσεις στην ασφάλεια των εργαζομένων. Ωστόσο πέρα από την επίδραση της ασφάλειας στο ηθικό των εργαζομένων οι ασφαλείς εργασιακές συνθήκες έχουν άμεσο και απτό αντίκτυπο στην χρηματοοικονομική λειτουργία της επιχείρησης. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση των επιπέδων ασφάλειας μειώνει την πιθανότητα εργατικού ατυχήματος στον αποθηκευτικό χώρο και συνεπώς τις όποιες προβλέψεις για πληρωμή αποζημιώσεων στους εργαζομένους. Αν ο προαναφερόμενος λόγος εστιάζει στην μείωση του κόστους ο παρακάτω λόγος[16] εστιάζει στην αύξηση των εσόδων. Εναλλακτικά επιχειρήσεις με υψηλά επίπεδα ασφάλειας, χαμηλό αριθμό ατυχημάτων και αποδεδειγμένες στην πράξη πολιτικές προαγωγής της ασφάλειας στην αποθηκευτική εργασία προσελκύουν επενδυτικά κεφάλαια προσανατολισμένα σε κοινωνικά υπεύθυνες (socially responsible) εταιρίες με αποτέλεσμα την αύξηση των χρηματοοικονομικών τους εσόδων. Πέρα όμως από τα άμεσα χρηματοοικονομικά οφέλη εταιρίες με υψηλά επίπεδα ασφάλειας απολαμβάνουν και υψηλά επίπεδα ηθικού των εργαζομένων. Ως ηθικό ονομάζουμε την ψυχολογική κατάσταση του εργαζομένου η οποία συνδυάζεται με ενθουσιασμό για την αποστολή που αναλαμβάνει και ανυπόκριτη θέληση και αισιοδοξία για την επιτυχία του οργανισμού [3]. Το υψηλό επίπεδο ηθικού συνεπακόλουθα συσχετίζεται θετικά με την βελτίωση της παραγωγικότητας των εργαζομένων.

Τέλος δεν θα πρέπει να αγνοηθεί ότι εταιρίες με αποθηκευτικά συστήματα υψηλής εργασιακής ασφάλειας προσελκύουν και ικανότερα διοικητικά στελέχη σε τμήματα εφοδιαστικής αλυσίδας ή αποθηκών. Σαφές γίνεται από τα παραπάνω η ευεργετική σχέση της ασφάλειας στην αποθήκη και των επιχειρησιακών επιδόσεων. Ωστόσο θεμελιακό στοιχείο στην προσπάθεια για την αύξηση των επιπέδων ασφάλειας αποτελεί η εκπαίδευση προσωπικού. Προκύπτει συνεπώς το θέμα του σχεδιασμού του εκπαιδευτικού

προγράμματος τέτοιου που να πετυχαίνει τον στόχο της αύξησης των επιπέδων ασφάλειας αλλά και της ενσωμάτωσης του στο διοικητικό πρότυπο διαχείρισης κινδύνων στην ασφάλεια στην εργασία εντός της αποθήκης. Παράγοντες για τον σχεδιασμό του εκπαιδευτικού προγράμματος αποτελούν το ευρύτερο περιβάλλον, οι εργαζόμενοι, οι στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν, η τεχνολογία που χρησιμοποιεί ο οργανισμός αλλά και η ίδια η φύση της εργασίας. Εξαγόμενο της διαδικασίας σχεδιασμού των εκπαιδευτικών προγραμμάτων αποτελούν τα στάδια του εκπαιδευτικού προγράμματος που αποτελούνται από α) την ανάλυση των εργασιακών απαιτήσεων β) τον εκπαιδευτικό σχεδιασμό γ) την υλοποίηση του εκπαιδευτικού προγράμματος δ) την εκτίμηση των αποτελεσμάτων και ε) την συνεχή παρακολούθηση[4]. Βασικό ζητούμενο στην εκπαίδευση του προσωπικού για την ασφάλεια στην εργασία θα πρέπει να αποτελεί η ανάπτυξη μιας κουλτούρας ασφάλειας που θα προσδιορίζει τον τρόπο εργασίας σε όλες τις λειτουργίες και σε όλες τις ιεραρχικές βαθμίδες του αποθηκευτικού συστήματος.

3. Το πρότυπο της διαχείρισης κινδύνων

3.1 Ο Εντοπισμός των κινδύνων

Η ανάλυση για το πρότυπο αρχίζει από τον πρώτο στοιχείο του που αφορά τον εντοπισμό των κινδύνων. Πρόκειται για την καταγραφή όλων των πιθανών αιτιών πρόκλησης βλαβών σε εργαζομένους εντός του αποθηκευτικού συστήματος. Σύμφωνα με τον Stranks J [2] υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις για την καταγραφή των κινδύνων. Ο πρώτος αφορά την εξέταση της κάθε δραστηριότητας που μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό. Τέτοιες δραστηριότητες, αποτελούν η χειροκίνητη παραλαβή παλετών, η ανύψωση φορτίων, καθώς και η διαχείριση εύφλεκτών ή εκρηκτικών και γενικά επικίνδυνων υλικών. Ο δεύτερος τρόπος καταγραφής αφορά την εξέταση κινδύνων κατά ομάδες όπως για παράδειγμα μηχανολογικός εξοπλισμός, υλικά που υπόκεινται σε διαχείριση, μεταφορικά μέσα.. Ο τρίτος τρόπος εντοπισμού κινδύνων είναι προσανατολισμένος στην καταγραφή των χώρων που ενυπάρχουν κίνδυνοι όπως για παράδειγμα διαμερίσματα αποθηκών, τομείς αποθηκών ή ακόμα και εργοτάξια . Η διαδικασία καταγραφής δεν νοείται χωρίς την συμμετοχή των εργαζομένων. Ως εκ τούτου οι εργοδότες είναι υποχρεωμένοι να συζητούν με τους εργαζομένους σχετικά με θέματα ασφάλειας καθώς και για όποια επικείμενη τεχνολογική αλλαγή στο αποθηκευτικό σύστημα. Οι γνώσεις και η εμπειρία των εργαζομένων πρέπει να αξιοποιούνται στο έπακρο για τον εντοπισμό κινδύνων ατυχημάτων στην εργασία [5]. Η διαδικασία των συζητήσεων πρέπει να είναι αμφίδρομη με την έννοια ότι και ο εργαζόμενος πρέπει να ενημερώνεται από την διοίκηση σε σχέση με τον εντοπισμό νέων κινδύνων. Οι απλές συζητήσεις με τους εργαζομένους στην αποθήκη αποτελούν έναν αδόμητο τρόπο εντοπισμού κινδύνων .Ωστόσο υπάρχουν και δομημένοι τρόποι εντοπι-

σμού κινδύνων. Αφορούν τους καταλόγους κινδύνων [1] (risk checklists) και τις προσωπικές συνεντεύξεις. Οι κατάλογοι κινδύνων είναι έγγραφα με κινδύνους εργατικών κινδύνων σε αποθήκες που έχουν εμφανιστεί στο παρελθόν ή ενδέχεται να εμφανιστούν στο μέλλον. Οι συνεντεύξεις αποτελούν τον δεύτερο δομημένο τρόπο εντοπισμού. Μπορεί να είναι δομημένες, παρατίθεται στον ερωτώμενο μια σειρά ερωτήσεων ή αδόμητες στις οποίες ο ερωτώμενος καλείται να δώσει τις απόψεις του επί ενός γενικού ερωτήματος. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί αν και η μέθοδος των συνεντεύξεων είναι φαινομενικά απλή, απαιτεί ειδικές δεξιότητες επικοινωνίας από τους χειριστές της ώστε να διασφαλιστεί ότι ο ερωτώμενος αβίαστα θα διατυπώσει τις απόψεις δηλαδή χωρίς να «καπελωθεί» από το ύψος και την παρουσία του χειριστή. Η σχέση της εκπαίδευσης προσωπικού με τον εντοπισμό των κινδύνων συνίσταται στο ότι ένα εκπαιδευτικό σύστημα πρέπει να εστιάζει στις πηγές των κινδύνων. Είναι προφανές ότι ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα ασφάλειας πρέπει να αναφέρει και να τονίζει τις πιθανές δραστηριότητες, τις ομάδες κινδύνων αλλά και τους χώρους που στατιστικά συγκεντρώνονται οι περισσότεροι κίνδυνοι για τους εργαζομένους στον αποθηκευτικό χώρο. Πέρα όμως από τα παραπάνω ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα θα πρέπει να αναφέρει και όλες τις ενέργειες και συνήθειες των εργαζομένων που αποτελούν πηγή κινδύνων στον εργασιακό χώρο όπως είναι το σκαρφάλωμα στα «πιρουνία» των περονοφόρων ή αυτοσχέδιοι αγώνες ταχύτητας με περονοφόρα εντός τις αποθήκης. Σαφής στόχος και προσανατολισμός του εκπαιδευτικού προγράμματος είναι η εξάλειψη τέτοιων ενεργειών και συνηθειών. Τέλος η εκπαίδευση προσωπικού θα πρέπει να παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την δομή και την οργάνωση της επιχείρησης ώστε να είναι σαφές στους εκπαιδευόμενους που θα αναφέρουν έναν νέο εντοπισμένο κίνδυνο.

Επιτακτική είναι η αναφορά του εκπαιδευτικού προγράμματος στην ύπαρξη τεχνικών ασφαλείας και ιατρού εργασίας καθώς και μεθόδων αντιμετώπισης άγχους και ανίας στην εργασία παράγοντες που αποτελούν έμμεσες πηγές κινδύνων.

3.2 Ανάλυση κινδύνων

Το δεύτερο στοιχείο του προτύπου διαχείρισης κινδύνων αφορά την ανάλυση κινδύνων. Πριν όμως προχωρήσουμε στην ανάλυση των κινδύνων σκόπιμο να παρατεθούν οι συνέπειες των κινδύνων στην εργασία εντός αποθηκευτικών χώρων. Αυτοί είναι οι

- πτώσεις αντικειμένων ή υλικών στο δάπεδο από ύψος,
- πτώσεις εργατών στο δάπεδο από ύψος,
- μυϊκοί τραυματισμοί από χειροκίνητη διαχείριση εμπορευμάτων,
- τραυματισμοί από χρήση εξοπλισμού εργασίας,

- τραυματισμοί από λειτουργία οχημάτων εντός της αποθήκης,
- εγκαύματα από πυροκαγιά
- βλάβες προσωρινές ή μόνιμες από την ύπαρξη υψηλών επιπέδων θορύβων αλλά και συχνές δονήσεις,
- μολύνσεις από ραδιενεργές και άλλες επιβλαβείς για τον ανθρώπινο οργανισμό ουσίες,
- βλάβες από μακροχρόνια αποθήκευση εμπορευμάτων,
- τραυματισμοί και ασθένειες από κακή καθαριότητα, ακατάλληλο φωτισμό, εξαερισμό και θερμοκρασία
- ηλεκτροπληξία από κακή χρήση ηλεκτρισμού,
- τραυματισμοί από μηχανικές λειτουργίες ανύψωσης,

Βασική σχέση στην ανάλυση κινδύνων είναι η εξής

$$\text{Βαθμός Κινδύνου} = (\text{Πιθανότητα εμφάνισης})(p) \times (\text{Σοβαρότητα})(s) \times (\text{Συχνότητα εμφάνισης})(f) [2]$$

Ο βαθμός κινδύνου αποτελεί ταυτόχρονα και κριτήριο αξιολόγησης της κρισιμότητας του κινδύνου. Η ανωτέρω σχέση αφορά έναν κίνδυνο αν ωστόσο επιθυμούμε να αναλύσουμε τους κινδύνους για το σύνολο του Αποθηκευτικού συστήματος τότε χρησιμοποιούνται τα δέντρα σφαλμάτων. Πρόκειται για γραφικές αναπαραστάσεις της αλληλουχίας των πιθανών βλαβών του αποθηκευτικού συστήματος που μπορεί να οδηγήσουν σε επιβλαβείς καταστάσεις για το υπο μελέτη σύστημα. Ο βασικός λόγος χρήσης είναι ο εύκολος προσδιορισμός της πιθανότητας να πραγματοποιηθεί ο κίνδυνος [1]. Για την ολοκλήρωση της ανάλυσης κινδύνων δεν θα πρέπει να παραληφθεί και η τεχνική ανάλυσης κινδύνων που ονομάζεται ανάλυση εργασιακής ασφάλειας [2]. Με την ανωτέρω τεχνική εξετάζεται κάθε λειτουργία της αποθήκης, οι σχετιζόμενοι κίνδυνοι και τα προτεινόμενα μέτρα ασφάλειας. Περιλαμβάνει την εξέταση των χώρων εργασίας, τις επιρροές στην εργασιακή συμπεριφορά, το απαραίτητο επίπεδο εκπαίδευσης των εργαζομένων καθώς και τον απαιτούμενο βαθμό επιστάσις. Στο μέρος της ανάλυσης κινδύνων η εκπαίδευση προσωπικού θα πρέπει να εστιάζει στο σύστημα διαχείρισης ασφάλειας. Πιο συγκεκριμένα, με δεδομένο ότι η ανάλυση κινδύνων αποτελεί προσδιοριστικό παράγοντα του εκπαιδευτικού προγράμματος, εκπαιδευτικά αντικείμενα αναφερόμενα στο σύστημα διαχείρισης ασφάλειας δίνουν έναυσμα για την περαιτέρω ανάλυση κινδύνων στην εργασίας από τους ίδιους τους εκπαιδευόμενους. Από την ανάλυση κινδύνων προκύπτει η βαρύνουσα σημασία των δεξιοτήτων και των ικανοτήτων των εργαζομένων. Συνεπώς το εκπαιδευτικό πρόγραμμα πρέπει να προάγει τις δεξιότητες των εργαζομένων σε σχέση με την ανάλυση των κινδύνων και την αύξηση των επίπεδων ασφαλείας κατ' επέκταση.

Επίσης η εκπαιδευτική διαδικασία πρέπει να ενθαρρύνει τους εργαζομένους στην

μελέτη οδηγιών ασφάλειας. Στις οδηγίες ασφάλειας δίνεται μια εκτενής και χρήσιμη ανάλυση των κινδύνων στην εργασία αποτελώντας ένα από τα κυριότερα μέσα ενημέρωσης του ανθρώπινου δυναμικού σε θέματα ασφαλείας.

3.3 Αντιμετώπιση των κινδύνων

Στο τρίτο στοιχείο του προτύπου συναντάμε την αντιμετώπιση των κινδύνων. Διακρίνουμε δύο είδη ενεργειών αντιμετώπισης κινδύνων: τις προληπτικές και τις διορθωτικές. Οι προληπτικές ενέργειες εστιάζουν τις προσπάθειες στην αντιμετώπιση των αιτιών των κινδύνων. Παράδειγμα προληπτικής ενεργείας είναι ο έλεγχος όλων ηλεκτρολογικών συστημάτων και η επισκευή βλαβών που εντοπίστηκαν στα συγκεκριμένα συστήματα του αποθηκευτικού χώρου. Προφανές είναι οι παραπάνω δύο ενέργειες αποτρέπουν σε πολύ σημαντικό βαθμό κίνδυνους από βραχυκυκλώματα που αποτελούν αιτίες πυρκαγιάς. Αντίθετα οι διορθωτικές ενέργειες δρουν στις συνέπειες οι οποίες καθορίζουν την σημασία του κινδύνου. Για παράδειγμα η κατάσβεση της πυρκαγιάς που προήλθε από βραχυκύκλωμα αποτελεί διορθωτική ενέργεια. Αναλύοντας περαιτέρω τα δύο είδη ενεργειών αντιμετώπισης κινδύνων προκύπτουν οι προληπτικές στρατηγικές ασφάλειας της εργασίας στην αποθήκη και οι διορθωτικές στρατηγικές. [2]. Οι προληπτικές στρατηγικές αποτελούνται από στρατηγικές για:

- ασφαλές μέρος
Περιλαμβάνονται ενέργειες για ασφαλή μονάδα παραγωγής, ασφαλείς διαδικασίες στην μονάδα παραγωγής, επαρκή επιτήρηση, ικανό και εκπαιδευμένο προσωπικό και ασφαλείς υπόλοιπες εγκαταστάσεις.
- ασφαλές πρόσωπο
Αφορά ενέργειες για την ευαισθητοποίηση των εργαζομένων απέναντι στους κινδύνους στην αποθήκη αλλά και στην φροντίδα επιρροών προς ατυχήματα εργαζομένων
- ασφαλή προσωπική υγιεινή
- ασφαλής προσωπικός εξοπλισμός ασφαλείας
- ασφαλή συμπεριφορά
- επαγρύπνηση σε σχέση με τους κινδύνους.

Σε σχέση με τις διορθωτικές στρατηγικές αντιμετώπισης κινδύνων αυτές περιλαμβάνουν:

- σχέδια αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών
- διαδικασίες ανατροφοδότησης
- ενέργειες βελτίωσης των σχεδίων αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών

Πέρα όμως από τις προληπτικές και διορθωτικές στρατηγικές η αντιμετώπιση των

κινδύνων περιλαμβάνει και την καθιέρωση διαδικασιών αντιμετώπισης κρίσεων. Πιο συγκεκριμένα οι συγκεκριμένες διαδικασίες περιλαμβάνουν τις προκαταρκτικές ενέργειες όπως την ετοιμασία σχεδίου ειδικά προσανατολισμένου στις ειδικές απαιτήσεις του συστήματος. Για παράδειγμα άλλο σχέδιο θα καταρτιστεί αν η αποθήκη είναι εντός αστικής ζώνης και άλλο σχέδιο θα Ετοιμαστεί αν η αποθήκη είναι εντός βιομηχανικής περιοχής. Επιπλέον οι προκαταρκτικές διαδικασίες σχεδίων αντιμετώπισης κινδύνων περιλαμβάνουν την εξοικείωση όλων των εργαζομένων να αντιμετωπίζουν κρίσεις μέσω της εκπαίδευσης Άλλες προκαταρκτικές ενέργειες είναι η εκπαίδευση του προσωπικού ασφάλειας, η υιοθέτηση προγραμματίων τακτικού ελέγχου των πηγών των κινδύνων όπως αυτές έχουν οριστεί από το στάδιο της ανάλυσης κινδύνων . Πέρα από τις προκαταρκτικές ενέργειες θα πρέπει να αναπτυχθούν οι κατάλληλες διαδικασίες του σχεδίου αντιμετώπισης κρίσεων για την ειδοποίηση των εργαζομένων για την έλευση του επικείμενου κινδύνου Περιλαμβάνονται όλα τα συστήματα συναγερμού και ειδοποίησης.

Συνεχίζοντας στα σχέδια αντιμετώπισης κινδύνων συναντάμε ενέργειες για την αντιμετώπιση του των συνεπειών των κινδύνων όταν αυτοί εκδηλώνονται. Παραδείγματα τέτοιων ενεργειών είναι η χρήση των πυροσβεστικών μέσων του αποθηκευτικού συστήματος, χρήση των ατομικών μέσων παροχής πρώτων βοηθειών και ειδοποίηση συστημάτων παροχής πρώτων βοηθειών όπως το ΕΚΑΒ Το τελευταίο είδος ενεργειών περιλαμβάνει τις ενέργειες κατά τον τερματισμό της κρίσης όπως η καταγραφή των τραυματισμών, των υλικών ζημιών, των αιτιών που οδήγησαν στην πρόκληση του κινδύνου. Δομικά στοιχεία στα σχέδια αντιμετώπισης κρίσεων αποτελούν ο συντονισμός των ενεργειών αντιμετώπισης, οι δημόσιες σχέσεις της επιχείρησης και φυσικά η εκπαίδευση του προσωπικού σε καταστάσεις κρίσεων. Τα παραπάνω στοιχεία τεκμηριώνονται από τον Ramsey J [11] Παρουσιάζει τον αντικειμενικό σκοπό της διαχείρισης κρίσεων που είναι «η αποτροπή της μετατροπής ενός έκτακτου συμβάντος σε κρίση και της κρίσης σε καταστροφή» . Σημαντικός παράγοντας επιτυχίας των σχεδίων αντιμετώπισης κρίσεων αποτελούν και οι δημόσιες σχέσεις του οργανισμού και ειδικότερα η διαχείριση της επικοινωνίας με τις τοπικές κοινωνίες και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη μέσω των Μέσων Μαζικής Ενημέρωσης. Σε σχέση με την εκπαίδευση του προσωπικού στην αντιμετώπιση των κινδύνων, η εκπαίδευση περιλαμβάνει τα προληπτικά μέτρα, την ενημέρωση και τις πληροφορίες για τους εργαζομένους σε περίπτωση έκτακτου συμβάντος. Η εκπαιδευτική διαδικασία θα πρέπει να εμφυσήσει στον εργαζόμενο ότι τα προστατευτικά μέτρα είναι κύρια για την δίκη του ασφάλεια. Επίσης και η ειδοποίηση της εμφάνισης έκτακτων περιστατικών περιλαμβάνεται στην εκπαιδευτική διαδικασία. Εξειδικεύοντας [10] ακόμα περισσότερο στην σχέση της εκπαίδευσης προσωπικού και της αντιμετώπισης των κινδύνων παρατηρούμε ότι ένα επαρκές εκπαιδευτικό πρόγραμμα στοχεύει

- στην διαχείριση του άγχους των εργαζομένων σε καταστάσεις πίεσης όπως αυτή του κινδύνου στον εργασιακό χώρο της αποθήκης,

- στην ικανότητα του προσωπικού να αξιολογεί και να προβλέπει μελλοντικές ανάγκες σε σχέση με την διαχείριση κρίσεων
- στην ικανότητα διατήρησης της επικοινωνίας καθόλη την διάρκεια της κρίσης
- στον επιμερισμό αρμοδιοτήτων στην διαχείριση της κρίσης
- στην διαχείριση των αποτελεσμάτων

Οι εκπαιδευτικές ανάγκες καθορίζονται από το τρίπτυχο αντίδραση στον, Κίνδυνο, διαχείριση του κινδύνου και διαχείριση της κρίσης . Τέλος η εκπαιδευτική διαδικασία θα πρέπει να βασίζεται σε ασκήσεις προσομοίωσης κρίσεων του αποθηκευτικού συστήματος και να προάγουν το ομαδικό πνεύμα στην διαχείριση κρίσεων.

3.4 Παρακολούθηση των κινδύνων

Το τελευταίο στοιχείο του προτύπου περιλαμβάνει την παρακολούθηση των κινδύνων δηλαδή την παρακολούθηση υλοποίησης διορθωτικών ενεργειών αντιμετώπισης κινδύνων αλλά και τον εντοπισμό νέων κινδύνων μέσω των διαδικασιών που αναπτύχθηκαν στο πρώτο στοιχείο του προτύπου. Πρακτικοί τρόποι παρακολούθησης κινδύνων αποτελούν:

- οι έλεγχοι ασφάλειας
 Πρόκειται για τεχνική συστηματικής παρατήρησης με κύριο σκοπό την ελαχιστοποίηση εμφάνισης κινδύνων .Διαμορφώνονται σύμφωνα με την πολιτική της διοίκησης, την στάση των εργαζομένων, το επίπεδο εκπαίδευσης του προσωπικού και τα χαρακτηριστικά των διαδικασιών. Πρέπει να σχεδιάζονται στην βάση της εμπειρίας προηγούμενων ατυχημάτων
- οι επιθεωρήσεις των συστημάτων και των προτύπων ασφάλειας
 Αποτελούν λεπτομερειακή εξέταση ενός αριθμού κρίσιμων παραμέτρων της αποθηκευτικής λειτουργίας όπως ασφάλεια διαδικασιών, λειτουργίες χειροκίνητης διαχείρισης εμπορευμάτων. Εξαγόμενο των επιθεωρήσεων αποτελεί η αναφορά επιθεώρησης ασφάλειας η οποία στόχο έχει να καταδείξει όλες τις αδυναμίες του υπάρχοντος συστήματος διαχείρισης κινδύνων στην εργασία.
- οι περιηγήσεις ασφάλειας
 αποτελούν απρογραμματίστες επιθεωρήσεις των χώρων εργασίας για την εξέταση θεμάτων ασφάλειας και υγιεινής, επιπέδων καθαριότητας. Σκοπός πρέπει να είναι η υποστήριξη αποφάσεων για την ασφάλεια των κατώτερων επιπέδων της διοικητικής ιεραρχίας.
- και η εξέταση όλων των συμβάντων που έπληξαν το αποθηκευτικό σύστημα

Η εκπαίδευση για την παρακολούθηση των κινδύνων είναι προσανατολισμένη στην δημιουργία κουλτούρας στο προσωπικό τέτοιας ώστε οι κανόνες ασφάλειας να τη-

ρούνται όσο το δυνατόν πιο πιστά . Η διαδικασία της παρακολούθησης των κινδύνων αποτελεί την βάση των προτύπων διαχείρισης ασφάλειας διαδικασιών.[9] Με κυριότερο πρότυπο το CCPS που προέρχεται από κλάδο των χημικών παρέχεται η δυνατότητα συνεχούς βελτίωσης στις αποδόσεις των διαδικασιών ασφάλειας μέσω της υιοθέτησης τακτικών διαδικασιών ή με αλλαγές στις διαδικασίες ασφάλειας.

4. Μελέτη Περίπτωσης

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας παρουσιάζεται η μελέτη περίπτωσης μιας εταιρείας εμφιάλωσης στην περιοχή του νομού Βοιωτίας η οποία διαθέτει αποθηκευτικές εγκαταστάσεις στην προαναφερθείσα περιοχή. Η εταιρεία είναι πιστοποιημένη σύμφωνα με το πρότυπο OHSAS 18.000 και διαθέτει μια Μελέτη Εργασιακών Κινδύνων (Μ.Ε.Κ.). Στο πρώτο στοιχείο του προτύπου, τον εντοπισμό των κινδύνων η εταιρεία έχει ως κύριο γνώμονα για τον εντοπισμό των κινδύνων και των παραγόντων κινδύνων την ΜΕΚ. Στα πλαίσια της Μ.Ε.Κ έχει ανατεθεί στον τεχνικό ασφάλειας να επιθεωρεί το αποθηκευτικό σύστημα με επιτόπιους ελέγχους και να το ελέγχει σε σχέση με τους παράγοντες που οδήγησαν στην πρόκληση ατυχήματος. Πέρα όμως από την Μ.Ε.Κ η εταιρεία έχει υιοθετήσει την διαδικασία «πάρα λίγο ατύχημα» που αποτελεί ένα σύστημα πρόβλεψης κινδύνων. Στόχος της διαδικασίας είναι ο εντοπισμός εργασιακών πρακτικών που μπορεί να προκαλέσουν ατύχημα ακόμα και αν οι πρακτικές δεν έχουν προκαλέσει κανένα ατύχημα. Στην διαδικασία «παρά λίγο ατύχημα» περιλαμβάνει οποιεσδήποτε απουσίες λόγω ασθένειας από την εργασία πάνω από μια μέρα. Ως εξαγόμενο προκύπτει ένας δείκτης που σύμφωνα με την εταιρεία προσφέρεται για ασφαλέστερα συμπεράσματα για το επίπεδο εργασιακής ασφάλειας και υγιεινής. Η διαδικασία ανταλλαγής πληροφοριών για ασφάλεια με τους εργαζομένους περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο συνεντεύξεις με τους εργαζομένους .Επίσης μετάδοση πληροφοριών για νέους κινδύνους γίνεται και με την λειτουργία της Επιτροπής ΥΓΙΕΙΝΗΣ & ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ που αποτελείται αποκλειστικά από εργαζομένους. Αξίζει να αναφερθεί ότι η εταιρεία έχει υιοθετήσει μια εταιρική κουλτούρα που ενθαρρύνει την άμεση και αβίαστη αναφορά κινδύνων από τους εργαζομένους της αποθήκης στην διοίκηση της αποθήκης.

Στο δεύτερο μέρος του προτύπου, την ανάλυση των κινδύνων η εταιρεία έχει συμπεριλάβει την Ανάλυση Εργασιακών Κινδύνων στην Μ.Ε.Κ. Η ΜΕΚ αποτελεί ένα δυναμικό σύστημα που βασικό εξαγόμενο είναι μια βαθμολογία που προκύπτει ως στάθμιση των παραγόντων: ημέρες απουσίας λόγω τραυματισμού, αριθμός συμβάντων θανατηφόρων ατυχημάτων, πιθανότητα πρόκλησης ατυχημάτων, αντίκτυπο στην λειτουργία της εταιρείας .Προφανές είναι ότι η βαθμολογία βασίζεται επί του τύπου που παρατίθεται στο κεφάλαιο 2.2. Όσο αφορά την ενθάρρυνση των νέων εργαζομένων στην μελέτη οδηγιών ασφάλειας η εταιρεία υποβάλλει όλους ανεξαιρέτως τους νεο-

προσλαμβανόμενους εργαζόμενους σε ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα εισαγωγής το οποίο εστιάζει σε μεγαλύτερο βαθμό στην μελέτη οδηγιών ασφάλειας. Επίσης η εταιρεία διαθέτει μια στρατηγική επιλογής προσωπικού που βασίζεται στην πρόσληψη πιστοποιημένων ή εν δυνάμει πιστοποιημένων (βοηθοί που υπάγονται σε προγράμματα on the job training που οδηγούν στην απόκτηση της πιστοποίησης από κρατικό φορέα χειριστών περσονοφόρων).

Για το τρίτο μέρος του προτύπου, την αντιμετώπιση των κινδύνων παρατηρούμε ότι τα προληπτικά μέτρα της εταιρείας απορρέουν τόσο από τις νομικές υποχρεώσεις όσο και από την Μ.Ε.Κ. Στην πρώτη κατηγορία, αυτή των νομικών υποχρεώσεων τα προληπτικά μέτρα είναι η τοποθέτηση κόρνας και φάρου στα περσονοφόρα και ειδική φωσφορίζουσα ενδυμασία (γιλέκα) των πεζών εργαζομένων αλλά και των χειριστών περσονοφόρων. Στην δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται τα εξής προληπτικά μέτρα : α) κίνηση των περσονοφόρων σε αποκλειστικές διαδρομές β) ύπαρξη καθρεφτών στα περσονοφόρα και γ) την χωροθέτηση σημείων στάθμευσης των εισερχόμενων και εξερχόμενων φορητών για την αποφυγή συγκρούσεων. Το πρότυπο διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών είναι μια γραπτή οδηγία που περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες ενέργειες όπως αυτές ορίζονται στην Μ.Ε.Κ . Το εκπαιδευτικό πρόγραμμα για την αντιμετώπιση κρίσεων περιλαμβάνει ασκήσεις προσομοίωσης εκδήλωσης πυρκαγιάς σε συνεργασία με την Πυροσβεστική και σεμινάρια παροχής α βοηθειών από τον Ερυθρό Σταυρό. Οι ασκήσεις προσομοίωσης εκδήλωσης πυρκαγιάς διενεργούνται ανά δύο χρόνια. Τα σεμινάρια α βοηθειών παρέχουν πιστοποίηση. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι σε κάθε βάρδια της αποθήκης υπάρχει και ένας πιστοποιημένος στην παροχή α βοηθειών υπάλληλος.

Στο τελευταίο μέρος του προτύπου, αυτό της παρακολούθησης των κινδύνων παρατηρούμε ότι οι έλεγχοι εκτελούνται μηνιαία με την βοήθεια καταλόγου ελέγχου (check list) από τον τεχνικό ασφάλειας. Οι τομείς που ελέγχονται είναι α) το ανθρώπινο δυναμικό και οι εργασιακές συμπεριφορές του β) ο μηχανολογικός εξοπλισμός και γ) η υποδομή, κτίρια. Το πρότυπο ασφάλειας δεν αναθεωρείται σε σταθερά τακτικά χρονικά διαστήματα αλλά με βάση τις ανάγκες που προκύπτουν όπως μια νέα κανονιστική διάταξη ή μια εισαγωγή μια νέας συσκευασίας που διαχειρίζεται η αποθήκη. Τέλος η εταιρεία διατηρεί αρχείο συμβάντων για όλο το εργοστάσιο όμως και όχι για την αποθήκη ξεχωριστά. Από τις νομικές υποχρεώσεις είναι υποχρεωμένη να συντάσσει την έκθεση καταγραφής συμβάντος και την έκθεση επιπτώσεων.

5. Επίλογος και περαιτέρω έρευνα

Στην εργασία μας διαπραγματευτήκαμε την σχέση της εκπαίδευσης προσωπικού με ένα εργοκεντρικό πρότυπο διαχείρισης κινδύνων εργατικών ατυχημάτων σε αποθηκευτικούς χώρους, αποτελώντας με αυτό τον τρόπο την συμβολή της συγκεκριμένης

εργασίας στην έρευνα στους τομείς της ασφάλειας στην εργασία και της διοίκησης. Πιο συγκεκριμένα εξετάσαμε τους λόγους που αυξάνουν την σημασία της ασφάλειας στην εργασία και έπειτα αναλύσαμε την σχέση μεταξύ των τεσσάρων στοιχείων του προτύπου (εντοπισμός κινδύνων, ανάλυση κινδύνων, αντιμετώπιση κινδύνων, παρακολούθηση κινδύνων) και της εκπαίδευσης προσωπικού. Στο τελευταίο μέρος της εργασίας παραθέσαμε μια μελέτη περίπτωσης που αφορά βιομηχανία εμφιάλωσης στην περιοχή της Βοιωτίας. Η περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να προσανατολιστεί στην εξέταση των κινδύνων εργατικών ατυχημάτων στο σύνολο των λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας αλλά και μια εκτενή μελέτη των συστημάτων διαχείρισης κινδύνων εργασιακής ασφάλειας και υγιεινής για όλες τις επιχειρήσεις του Νομού Βοιωτίας.

Βιβλιογραφία

Βιβλία

- [1] Κηρυττόπουλος Κ., (2006), *Εγχειρίδιο διαχείρισης κινδύνων έργων*, σελίδες 53-168, 1η έκδοση, Κλειδάριθμος, Αθήνα.
- [2] Stranks J., (1994) *Management Systems for Safety*, pp. 2-14,50-58,82-99,149 162,173-177 1st edition, Pearson Education, Edinburgh.
- [3] Φαναριώτης Π.(1996), *Ανθρώπινες σχέσεις στο εργασιακό περιβάλλον*, 1^η έκδοση, Σταμούλης, Αθήνα.
- [4] Μόυζα –Λαζαρίδη Α Μ., (2006), *Διοίκηση ανθρωπίνων πόρων*, 1^η έκδοση, Κριτική, Αθήνα.
- [5] Παπαϊωάννου Γ.- Ανδρέαδης Π., (2004) *Ασφάλεια εργαζομένων*, 3^η έκδοση, Ιων, Αθήνα.

Περιοδικά

- [7] Meechan J.B, (1999), Integrating human behavior and response issues into fire safety management of facilities, *Facilities*, **17/9/10**, 303-312.
- [8] Larsson TJ, Rechnitzer G, (1994), Forklift trucks – analysis of severe and fatal occupational injuries, critical incidents and priorities for prevention, *Safety Science*, **17/**, 275-289.
- [9] Arendt S., (2006), Continuously improving PSM effectiveness – a practical roadmap, *Process Safety Progress*, **25/2**, 86-93.
- [10] Baldwin R., (1994), Training for the management of major emergencies, *Disaster Prevention and Management*, **3/1**, 16-23.
- [11] Ramsay C., (1999), Protecting your business: from emergency planning to crisis management, *Journal of Hazardous Materials*, **65/**, 131-149 .
- [12] Williams J., Scott Geller E., (2000), Behavior –Based Intervention for Occupational Safety: Critical Impact of Social Comparison Feedback, *Journal of Safety Research*, **31/3** 135-142.
- [13] DeJoy D., Schaffer B., Wilson M., Vandenberg R. Butts M., (2004), Creating safer workplaces: assessing the determinants and the role of safety climate, *Journal of Safety Research*, **35/**, 81-90 .
- [14] Schaller L., McNulty P., Chinander K., (1998), Impact of Hazardous Substances Regulations on Small Firms in Delaware and New Jersey, *Risk Analysis*, **18/2**, 181-189.

- [15] Torp S., Moen B., (2006), The effects of occupational health and safety management on work environment and health: A prospective study, *Applied Ergonomics*, **37**, 775-783.
- [16] Waring P., Lever J., (2004), The impact of Socially Responsible Investment on Human Resource Management: A conceptual Framework, *Journal of Business Ethics*, **52**,99-108.

An Approach to the Employee of the Greek Construction Sector

M. Rousias

Εργαστηριακός Συνεργάτης Τμήματος Πολιτικών Δομικών Έργων
Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Abstract

Work is a concept that has been a focus of interest since ancient times, obtaining different meanings over the ages, according to the author and historical references. The nature of work constitutes a dynamic social meaning, which is continuously modified. This is confirmed by the historical course of the phenomenon work, which began as a purely layman's term and evolved into a totally new and complex science. A negative meaning of work is the concept of «informal work», widely known as «black work». This «informal work» is due to the structure of the economy of a country, as well as random, temporary economic reasons. Researchers into informal work (or labour) use several different terms, methodologies and theoretical approaches to specify it. There is no universal definition of the phenomenon, but various definitions associated with the particular perspective of each research. In this context, a number of alternative terms such as «atypical», «uncommon», «flexible», or «marginal» work (or labour) on the agenda.

The purpose of this thesis is to investigate the extent and manner that the production rates of a building project participate in the private construction sector. Particularly in regards to the participation of human resources in informal work and the impact such work has on the final quality of the building, as well as in the economy of the construction, safety of the construction process and the representation of institutional accountability to the relevant natural and legal persons

Key Words: *Informal or Flexible Labour, Private Construction Sector, Quid pro quo system, Construction Practices, Illegal Construction.*

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της έκτασης και του τρόπου συμμετοχής των συντελεστών παραγωγής ενός κτιριακού έργου στον τομέα των ιδιωτικών κατασκευών, ιδιαίτερα όσον αφορά τη συμμετοχή του έμπυχου δυναμικού στην άτυπη εργασία αλλά και την επίδραση της άτυπης εργασίας στην τελική ποιότητα του κτιρίου, στην οικονομία της κατασκευής, στην ασφάλεια της κατασκευαστικής διαδικασίας και στην προσωποποίηση της θεσμικής απόδοσης ευθυνών στα εμπλεκόμενα φυσικά και νομικά πρόσωπα.

Η άτυπη εργασία δεν έχει μόνο την προφανή οικονομική συνιστώσα στην οποία παραπέμπει ο όρος αλλά εν προκειμένω, έχει μια καθοριστικής σημασίας – για την ποιότητα και την οικονομία της κατασκευής – συνιστώσα η οποία σχετίζεται με την ειδίκευση (κάθ' οιονδήποτε τρόπο), τη γνωσιολογική ανεπάρκεια και την πλήρη έλλειψη πιστοποίησης σχεδόν όλων των εμπλεκόμενων προσώπων στη διαδικασία παραγωγής ενός κτιριακού έργου.

Επιπλέον, καθιερώνεται δυσμενής διάταξη για όσους έχουν την επιστημονική ιδιότητα του μηχανικού ανεξάρτητα από τις παραπάνω περιγραφόμενες ιδιότητες με την επιβολή διοικητικών ποινών πριν την δικαστική τυχόν διερεύνηση του βαθμού ευθύνης τους¹. Το γεγονός αυτό καθιστά θεσμικά έωλο το υπάρχον πλαίσιο απόδοσης διοικητικών, ποινικών και πειθαρχικών ευθυνών κυρίως έναντι των μηχανικών, δεδομένου ότι με βάση την ισχύουσα νομοθεσία, νομολογία και πρακτική των δικαστηρίων, το σύνολο των ευθυνών αποδίδεται σε αυτόν (Αρθ. 5 § 3 Ν. 3212).

Ας σημειωθεί, ότι τα άλλα δύο εμπλεκόμενα μέρη της κατασκευής, στα οποία (βάσει της νομοθεσίας) αποδίδονται ευθύνες («εργολάβος» και ιδιοκτήτης) είτε είναι πρακτικά και θεσμικά ανύπαρκτα (ο «εργολάβος»), είτε είναι ουσιαστικά αδύνατον να αναλάβουν το εύρος των ευθυνών που τους αποδίδει η τρέχουσα νομοθεσία, αφού δεν πιστοποιείται καθ' οιονδήποτε τρόπο η οποιαδήποτε γενική ή ειδική γνώση τους (Αρθ. 22 Ν. 3212).

Συνεπώς, καθίσταται σαφές, ότι το διερευνώμενο θέμα έχει και άλλη μία παράλληλη συνιστώσα, δεδομένου ότι η έλλειψη πιστοποίησης και θεσμικής υπόστασης για σχεδόν όλα τα εμπλεκόμενα πρόσωπα στον τομέα κατασκευής των ιδιωτικών έργων, επηρεάζει αρνητικά την ασφάλεια της κατασκευής και την αξιοπιστία του τελικού παραγόμενου προϊόντος.

Λέξεις Κλειδιά: Άτυπη Εργασία, Κατασκευαστικός Κλάδος, Αντιπαροχή, Αυθαίρετη Δόμηση, Κατασκευαστικές Πρακτικές.

1. Introduction

In Greece, the distribution of land ownership and the distinctive nature of the Greek social set-up led to significant deviations from the common model of land development that is present in developed capitalist European economies [Tsoukalas K., 1989]. The expression of social demands and the implementation of social rights (i.e. home, work, education, etc.) were based on personal or local networks based on patronage and were achieved by individual and private business practices or by other organizational means, substituting in this way, the absence of central (or regional) planning and public intervention. The organised public intervention to post-war European states, especially in the field of land regulation and practices, never existed in Greek reality. The ownership of subdivided land, individual - private production, and ownership of the constructed area combined with lax legislative framework and the nature of the political system generated the basis for expanded growth of informal employment and construction activities.

In addition, the role of small property in the formation of the special characteristics of the construction process of the built-up area was conclusive. The marginal subdivision of urban land prevented the concentration of land on a larger scale and therefore favoured the division of the construction sector to a number of small company units, whose characteristics were far from the production of residences of the industrially developed European countries with extensive standardisation and mechanisation in the construction of the building parts. The demands of raising capital for private construction companies to date remain small.

Minimising investment capital necessary for construction companies in the housing industry strengthened even more by the *quid quo pro* mechanism. This contributed to shaping the nature of construction companies; their key characteristic was not their technical expertise, equipment, or labour force to undertake a project, but only the ability to finance it. The constructor, therefore, organises, coordinates the construction process, and is the key factor in the commercial exchange of the final constructed product, namely the building.

However, the key elements to the entire process, in order to keep the construction cost to a minimum, provide flexibility in the allocation of work and roles on the building site was and remains how the state deals with the construction process. Not as specific technical application, this must be performed in accordance with the rules of aesthetics and the engineering science, but as a simple operation – production of a commodity that can be coordinated and implemented by anyone. Therefore, the construction process takes place without any necessary guarantee on to quality. It is also clear that – from a technical perspective – informal work favours the economic informal participation of an undetermined technical work force and in the production sector of private construction, where – due to illegal construction – a totally inconspicuous component and corresponding characteristics exist.

1.1 Research Methodology

The research methodology for the development and documentation of the topic is structured into three sections. These being:

A. Methodological tools for the research:

The previously stated theoretical approaches were investigated through the use of relevant sources (such as the Technical Chamber of Greece library, National Technical University Library, Technical Publications, Periodic Press – Daily Press, National Centre for Social Research, National Statistical Service of Greece, Real Estate agents, use of questionnaires, Associations – Associations of Engineers, Manufacturers, Brokers, Owners, Internet) that assisted in the understanding and interpretation of the topic. Whilst, also recording and investigating the quantitative and qualitative components that will determine the extent and importance of the studied subject matter. It is noted that due to the informal nature of this topic, the collection of primary data was very difficult. Furthermore, indicative of the research's difficulty, is the absence of relatively current or previous literature on the subject.

B. Comparison of the investigated parameters:

The qualitative and quantitative data was correlated and evaluated systematically and hence formulated the core of the investigation. Further research and re-evaluation of the researched data was carried out, after it was considered appropriate.

C. Conclusions:

The findings of the research are presented in accordance with the stated purpose and the possibility of extending the research in other directions is examined.

The research field was organised around the formulation of qualitative findings. The quantitative characteristics of the research do not allow for generalisations. The conclusions however are not based solely on the quantitative importance of the research field and the professional experience of the author. Utilisation of data acquired from the National Statistical Service of Greece (NSSG) was limited to the description of general trends, since there is no systematic or detailed information surveyed on work in the construction industry. One of the elements that is evidence to the «informal» characteristics of work is the fact that employees and employers are recorded in the same category as self-employed.

Interviews with contractors and workers have clarified answers that were not fully understandable from the questionnaires or they addressed more specialised topics. Data from the Analytical Periodic Statements of Technical Project submitted monthly to The Social Security Institute (IKA) were used either independently (demographic characteristics) or in relation to the actual records of the working days resulting from the supervision processes of the projects.

1.2 Assumptions and Limitations

This study will deal with conventional and traditional private housing projects i.e. residential buildings and the phenomena of informal activity that has distinct characteristics, as will be seen further in this paper.

The construction activity on large-scale building projects, despite the common use of organisational structures for the production process (e.g. subcontracting, lack of a stable workforce or fixed equipment, contracting organisation according to the provisions of the technical and administrative management) is in a transitional phase. While strict constraints and limitations are in force that impose a more «official» platform in the companies' employment and economic behaviour².

Finally, the investigation is limited to a specific geographic region – representative of the Attica district and not to the whole of Greece as is logical, due to time constraints.

2. Formal and Informal Work in the Construction Sector

Historically, legal and contractual framework for the working standards in construction activity has been developed. The comparison with the general working standards is useful insofar as to clarify some baseline deviations of labour in the construction sector. The standard of «formal» labour relationship, includes [Kouzis J., 2001]:

1. Dependant salaried employment. Whereby, the salary relationship requires the existence and dependence of the worker to the employer. This is an essential prerequisite for the dependence of the conventional relationship with labour law. The legal dimension of the dependent work is established on the basis of criteria laid down by jurisprudence³ as follows:
 - a. economic dependence of the employee toward the employer
 - b. employer identifies the location of the services (work) rendered on the building premises
 - c. the employer identifies the time taken to render the service
 - d. method by which the services were performed by worker, whether in accordance to employer instruction
 - e. supervision and inspection of the services carried out in compliance to the employer's managerial rights (Art. 19 Law 2910/2001)
2. Stable employment. Whereby, the duration of the employment relationship is indefinite, the employee starts work with his recruitment and terminates it at retirement

3. Full-time employment. By which, working time complies with the applicable legal and contractual limitation as to full-time employment
4. Stable daily and weekly working hours
5. Guaranteed remuneration, at least equal to that of the current legal minimum pay, as stipulated by the relevant union contract
6. Inclusion of the employment relationship under the protection of insurance and labour laws, that guarantees fundamental social and employment rights

The traditional organisation of construction in Greece prevents the application of the general model structure of employment in the sector. Key points are the full implementation of the type of dependant work and stable employment. The nature and the organisational structure of the construction companies do not allow the stable employment of the workforce. Mediation of subcontractors is the vital link for the organization of paid work against the constructor or the owner-constructor. However, the subcontractor is nonexistent in the eyes of the law, since all the responsibilities before the law (insurance, worker safety etc.) lies with the party that is granted planning permits for the construction.

A contradictory element of the union arrangement is the agreement between the Building Federation on one side, the constructors association, and the Hellenic Federation of Enterprises (SEV) on the other, whilst in fact the subcontractors are the employers in the construction of a building. The relevant legislation regulating to wages (on per day basis) covers the gap of stable employment, with the regulation of fixed-term employment contracts a practice foreign to the construction workplace.

As to the matters relating to the length of employment, remuneration, social insurance and the establishment of fundamental social and employment rights, are formed completely informally, as will be seen from the processing of the data from the research field below. The flexible set up of employment based on the location of the construction and not the business or construction company is crucial for the creation of informal regulations.

3. The Structure of Remuneration and Employment Time

Remuneration of employment is central to the regulation of working relations. The existence of a Collective Labour Agreement, a typical feature of the employment arrangement is practically unknown by the workers. The amounts of the daily wage, as well as additional provisions, are mainly applied in the calculation of the insurance contributions. Hence there is a perception that «IKA charges some daily wages so as to collect social insurance stamps», confusing the connection of insurance

contributions with the minimum daily wage that the Collective Labour Agreement (CLA) stipulates.

- A.** The Collective Labour Agreement includes basic daily wages scaled according to the expertise and experience of the worker's employment, which is certified by the amount of working days that they are insured for (i.e. 200 daily wages are equivalent to three years work), and their marital status. At the same time, the agreement allows for extra benefits in addition to the basic daily wage, with criteria, the level of education (e.g. primary or secondary education) and professional training. However, the agreement is not applied in practice and the free negotiation of wages between employer and employee prevails. Deviations from the basic daily wages of the Collective Labour Agreement depend on:
 - B.** The position in the «hierarchy». For The technicians deviation from the basic daily wages are small and usually exceed the wage threshold. For workmen, deviations are much larger and on almost all occasions are under the basic daily wage of the Collective Labour Agreement.
 - C.** Nationality. Greeks, who are generally technicians, and a small percentage of immigrants (mostly Poles and to a less extent Albanians with greater work experience) are remunerated above the basic daily wage of the Collective Labour Agreement.
 - D.** Age. Greeks have the highest average age in the construction sector (avg. 45 years old) and as technicians or supervisors are paid better. Younger workers, usually assistant technicians, and workmen are paid less than the basic daily wage of the Collective Labour Agreement.
 - E.** Type of profession. Smaller deviations are observed in technical professions such as concreting, brick laying, mortaring (mainly Greeks and Poles) and much larger in technical professions such as painting and flooring (e.g. tiling)

Regarding indoor professions, there are very small deviations from the agreement, due to the special circumstances, as previously mentioned. The exact size of the deviation is difficult to calculate because of the small sample size and the many parameters that must be taken into account. However, common deviations are as follows: 30% to 35% of workers are paid the basic daily wage or higher, and the rest of the workers are paid less (up to 35% less) than the basic daily wage.

The size of the daily wage is not the only point of divergence from the Collective Labour Agreement for remuneration. The correlation of pay and working time, under the collective labour agreement and Labour Law is perhaps the most critical point of regulating working relations. The basic daily wage of the Collective Labour Agreement is based on 5-day employment, 8-hour shift, and a 40-hour working week. Labour Law governs any work performed in excess of the previous outlined 40 hour workweek (i.e.

overtime is paid at a rate not less than time and one-half of the regular rates payable and overtime hours worked cannot exceed 12 hours). The actual working hours, however, for almost all workers in the construction sector is beyond that of any Collective Labour Agreement and Labour Law limits. This overload in working hours has become the norm, on no construction site does work stop at 14:00, but always one to one and a half hours later. For some workers the day does not stop there but continues as supplementary assistance to another part of the construction crew that is working on another project, overtime is paid the regular hourly rates or a lump sum. As a rule, a 6-day workweek applies, as well as a part-time Sunday employment that usually comprises of additional work or preparation for Monday. Weekend work is not paid any overtime, beside the fact that it is illegal (weekend work is permitted only in exceptional circumstances and with special notification to the Department of Labour Inspection).

In 1985, there was an effective effort of the Union for the de facto application of a 5-day 35-hour workweek, in a referendum of employees in the workplace, a fact reflected in the Collective Labour Agreement. However, after 1990 the 5-day 35-hour workweek was suspended and retracted from the Collective Labour Agreement. The recession in construction activity at the start of this decade, as well as the global financial crisis of our time, was met with the reduction of labour costs and economic coercion of workers to abandon their working rights. Presently, labourers themselves systematically violate the working time and remuneration regulations, in order to keep working. The low daily wages usually require labourers to work overtime (usually work on Saturdays at an approximate pay of 1300 - 1500 € for the Technician per month), especially when it is taken into account, that the labourer is the only working member of the family.

4. Conclusions

Informality and *flexibility* in the construction sector seem to be the rule, since they form its structural characteristics and not interfering elements or a further development or transition of previous typical characteristics, as for example in the Post-Fordist⁴ development of the production industry or the modern organization of services [Vaiou D., Chatzimihalis K., 1997]. Similarly, qualitative phenomena are observed in the workforce as a whole in Greece, both as an object and field for political and social debate of the last decade. In a recent research of the Institute of Labor (INE), the General Confederation of Labour Greece (GSEE) and the Association of Public Servants (ADEDY), a relative decline in formal employment was discovered (for both stable and full-time employment) «in favour of a variety of different forms of flexible employment» (in companies with an average stable 21 employees). The flexibility of labour relations tend to take on typical characteristics since there it refers to the need for changes the current law, and generally relates to the political term «deregulation».

The interrelation between the informal and flexible labour regulation cannot be associated with the general re-organisational tendencies in production, which usually actuates similar characteristics within the global framework. In Greece, the uncontrolled structure and operation of the labour market, is both favoured and supported by the thriving black economy that correspond to 30% of the GNP, according to the estimations of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) [Kouzis J., 2001]. The relevant regulatory framework at a political and institutional level exhibits ambiguities and gaps, thus «legalising» the informal flexibility of the organization of labour relations.

The *informal* peculiarity of the construction sector relates to its general and historical nature. The industrial, commercial, and operational structure of construction companies along with the intermediate but decisive role of sub-contracting, the relationship with small-scale ownership and its social effects, as well as favourable state policies for the re-structure of the whole system allowed the development of construction parallel to that of the official economy.

Construction remains the «life support system» of the Greek economy, despite its technological deficiencies with today's «innovative» progress, it raises capital, uses latent resources and expands the sectoral employment in contrast to the general tendency of the industrial manufacturing sector. For nearly fifty years, it remains one of the main labour-intensive industries. According to NSSG data, with reservations concerning the reliability of the quantitative methodology used, employment in the construction sector increased by 53% in the 90s, while data from the 2nd quarter of 2004 shows that employment in construction accounts for 36% of industrial manufacturing sector and 8.15% of total employment⁵.

The *informal* regulation of the nature of labour relations corresponds to a general modification of the traditional standards of the labour relations and is summarised as follows:

- Contractual Labour Relations
- Stable Employment
- Stable Work Shift
- Application of the Labour and Insurance Laws

The occurrences of flexibility in the organisation of labour relations are identified as follows:

- Employment Flexibility (i.e. redundancies, recruitment, job stability)
- Flexible Working Hours
- Flexibility on direct and indirect Labour Cost
- Flexibility of Labour content, establishment of professions and level of expertise

The issues regarding the organizational and political structuring of the Labour Union movement have weakened have weakened the possibility any collective claims and the

formation of an alternative labour support plan. The echo of the traditional fighting nature of the builder's Labour Union movement operates as an alibi for the current weaknesses in the construction sector. In reality, the influence and contribution of the Labour Union or the GSEE on the development of a collective spirit on small worksites in private constructing activity is nonexistent. One of the requirements of flexibility is disdain for collective bargaining and the individualisation of labour remuneration. This refers to conditions that exist of many years, while the role of the Collective Labour Agreement has been marginal.

The correlation of the labour structure with the constructed product and the mechanisms of its distribution to the market have been analysed in the first part of this paper. The dominance of informal forms of work and regulations on the commercial exchange of housing and private building, have not prevented the integration of the real estate market in the formal economy. On the contrary, both the mechanisms and socio-economic framework have contributed to its tolerance in the uncontrolled real estate market. The socio-economic framework of production of the constructed area has played a central and decisive role in organizational and labour characteristics of the private construction sector. The informal and flexible labour relations do not constitute a marginal feature of construction; instead, they form an integral part of its fundamental structure.

Therefore, informal regulation produces and supplies the organisational and operational flexibility, and vice versa, based on the specificity of capitalist development in the country distinctiveness of capitalist development in the country. It does not refer to one of the new features of deregulation based on the new international conditions of competition. This feature has a historical dimensions related to the distinctiveness of the social and state formation of Greece.

«Time is the space for a human being». The emergence of working hours as a focal point of the Labour Union's demands is perhaps the key factor for change in the construction sector. The formal regulation of working hours and its correlation with remuneration could cause discontinuities and gaps to the constant tendency of reducing labour costs.

The passing on of the increased labour costs to the final commercial value of the constructed product operates as a forcing argument rather than an actual consequence. House prices have increased at uncontrollable rates in recent years, during a period of thriving informal work activity. Any attempt of formal regulation through the market (i.e. objective values) and the taxation system have proven inefficient. The intervention on the part of work could function as a modernisation and humanisation factor on labour relations in construction activity, including the overall modernisation of the construction sector and consolidation of the market. The prospect of such guarantees should not be sought in the dynamics of the institutional or legislative regulations only, but also in the social conditions and correlations that express their dynamic potential.

5. Further Research

This paper makes way for a series of new research questions. In this section reference will be made to the most important of these questions. As emphasised repeatedly in this paper, reference to fundamental productive and geographic standards of Greek formation and the role of informal work in the development of these standards requires a more integrated scientific approach than that attempted in this research. Parallel to this, the in-depth research into the reorganisation of the Greek construction sector and generalization of the conclusions of the present thesis, as well as other relevant research through the exploration of additional local or regional industrial systems.

It must be stressed that the ongoing legislative attempts around labour relations, the emergence of new flexible working standards (e.g. part-time employment in the public and employment through private agencies that provide contract work), as well as, the lack of properly guided state bodies to monitor developments in the labour market, require constant vigilance by all researchers and institutions that want to speak on behalf of the interests of the working class.

Acknowledgments

The completion of this paper is the result of several months of effort. Requirements for its completion were the help and support of some people who I would like to mention and particularly thank.

First, I would like to thank my supervisor, Professor of TEI Piraeus and good friend Mr. George Varelidis for the confidence and support he has provided me during critical points of this research project. His invaluable assistance in providing scientific research and literature, as well as friendly advice on many issues.

Finally, I would like to thank Professor of Panteion University, Pavlos Loukakis for his honorary participation to this paper. His guidance and assistance throughout were most helpful for the commencement and completion of this thesis.

Υποσημειώσεις

- ¹ Παραβιάζεται έτσι το τεκμήριο της αθωότητας και η αρχή της ίσης μεταχείρισης.
- ² This observation should not lead to confusion about the apparent violation of typical characteristics of labour (i.e. wages, hours, six and seven day working week - Social Security) or budget overruns.
- ³ The science or philosophy of law.
- ⁴ The period after Fordism.
- ⁵ NSSG data

References

1. **PricewaterhouseCoopers**, internet webpage: <http://www.pwc.com/gr/en/tax-services/real-estate.jhtml>, (August 10th, 2009).
2. **Tinios P.**, «Housing Demand and Taxation in Greece», Cambridge 1984, pg. 97, fig4.7, pg. 86.
3. **Alpha Bank**, «Οι οικονομικοί μετανάστες στην Ελλάδα: από τη νομιμοποίηση στην ένταξη και προσέλκυση», Οικονομικό Δελτίο (τριμηνιαία έκδοση της Alpha Bank), Σεπτέμβριος 2005, τεύχος 95.
4. **Βαΐου Ντ., Χατζημιχάλης Κ., (Vaiou D., Hadjimichalis K.)**, «Με τη ραπτομηχανή στην κουζίνα και τους Πολωνούς στους αγρούς. Πόλεις, περιφέρειες και άτυπη εργασία», εκδ. Εξάντας, 1997 (β' έκδοση 2003).
5. **Βαρελίδης Γ., (Varelidis G.)**, «Πολοδομική Διάρθρωση και Εξέλιξη της Ελληνικής Πόλης. Δυνατότητες κανονιστικών ρυθμίσεων και παρεμβάσεων», Αθήνα: αυτο-έκδοση, 2006.
6. **Βελέντζας Κ., Καλογήρου Νίκος, Καραγιάννη Σ., Κάτσικας Η., Παπαμίχος Ν., Χατζηπροκοπίου Μ., Χλωμούδης Κ., (Velentzas K., Kalogirou N., Karagiannis S., Katsikas, H. Papamichos N. Chatziprokopiou M., Chlomoudis K.)**, «Η κατοικία στην Ελλάδα. Κρίση των σχέσεων παραγωγής.», εκδ. Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη 1993, σ. 49-67, 87-89, 101-106, 141.
7. **Δασκαλάκης Δ., (Daskalakis D.)**, «Προλεγόμενα για την Εργασία και τις Εργασιακές Σχέσεις», εκδ. Αντ. Ν. Σάκκουλα, Αθήνα, 2000, σ.75. **Πετρινώτη Ξ.**, «Αγορές Εργασίας», εκδ. Παπαζήσης, 1989, σελ.276.
8. **Δελλαδέτσιμας Π. Μ., (Delladetsimas P. M.)**, άρθρο: Η τρέχουσα δυναμική της ανάπτυξης της Αθήνας: συμβατικό – νέο πρότυπο και έργα υποδομής, Γεωγραφίες τ.7 , 2004.
9. **Ιακωβίδης Μ., (Iacovidis M.)**, «Η προβληματική της Κατοικίας στην Ελληνική Πραγματικότητα», ΤΟΠΟΣ, 9/1995, σ. 14, 24-27.
10. **Κοτzaamάνης Β., Μαλούτας Θ., (Kotzamanis B., Maloutas I.)** «Η Κρατική Παρέμβαση στον τομέα της εργατικής – Λαϊκής Κατοικίας», Επιθεώρηση Κοινωνικών Ερευνών, 1985, σ. 136.
11. **Κουβέλη Αν., (Kouvelis A.)**, «Μέσες συνθήκες Στέγασης στα Μεγάλα Αστικά Κέντρα της Χώρας», ΕΚΚΕ, Αθήνα 1998.
12. **Κουβέλη Αν., Οικονόμου Δ., (Kouvelis A., Economou D., 1985)**, «Κρατική Στεγαστική Πολιτική», Αθήνα, ΕΚΚΕ-ΥΧΟΠ, 1985.
13. **Κουζής Γ., (Kouzis J.)**, «Απασχόληση και εργασιακές σχέσεις στην Ελλάδα: Πραγ-

- ματικότητα, τάσεις και προοπτικές», Τετράδια του ΙΝΕ ΓΣΕΕ ΑΔΕΔΥ, ειδικό τεύχος, Αθήνα 2002.
14. Κουζής Γ., (**Kouzis J.**), «Εργασιακές σχέσεις και Ευρωπαϊκή ενοποίηση. Ευελιξία και απορρύθμιση η αναβάθμιση της εργασίας», σειρά Μελέτες του ΙΝΕ ΓΣΕΕ-ΑΔΕΔΥ, Αθήνα 2001.
 15. Λεοντίδου Α., (**Leontidou L.**), «Πολεοδομική Οργάνωση και Κοινωνικοί Μετασχηματισμοί στην Αθήνα 1914 – 1985», στο «Η Αθήνα όπως (δεν) φαίνεται 1940 -1985», ΥΠΠΟ/ΣΑΔΑΣ, Αθήνα 1985, σ. 82.
 16. Οικονόμου Δ., (**Economou D.**), «Σύστημα Γης και Κατοικίας στη Μεταπολεμική Ελλάδα. Λειτουργικές Ισοδυναμίες με το Κεϋνσιανό Κράτος Πρόνοιας», στο «Προβλήματα Ανάπτυξης του Κράτους Πρόνοιας στην Ελλάδα – Χωρικές και Τομεακές Προσεγγίσεις», επιμ Μαλούτας Θ. – Οικονόμου Δ., εκδ. Εξάντας, Αθήνα, 1998, σ. 62, 63, 67, 58-66.
 17. Παπαδοπούλου – Συμεωνίδου Π., (**Papadopoulou - Symeonidou P.**), «Στεγαστική Πολιτική», Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη 1987, σ. 13, 16, 54. **Επιμ. Γετίμης Π. – Γράβαρης Δ.**, «Κοινωνικό Κράτος και Κοινωνική Πολιτική. Σύγχρονη Προβληματική», εκδ Θεμέλιο, 1993, σ. 335-356.
 18. Περεσιάδου – Τσαγκαράκη Κλ., (**Peresiadou – Tsagkaraki Kl.**), «Η Κοινωνική Κατοικία στην Ελλάδα και οι προοπτικές της», Ανακοίνωση στο Συνέδριο ΟΕΚ-ΓΣΕΕ-ΣΕΒ, Αθήνα, 1998.
 19. Τσουκαλάς Κ., (**Tsoukalas K.**), «Κοινωνική ανάπτυξη και κράτος. Η συγκρότηση του δημόσιου χώρου στην Ελλάδα», εκδ. Θεμέλιο, Αθήνα, 1989.

Τρεις κόσμοι διδασκαλίας των μαθηματικών: ένα νέο πλαίσιο για τη διδακτική των μαθηματικών

Μακρυγιάννης Α. Παναγιώτης
Υποψ. Διδάκτορας
Πανεπιστημίου Αθηνών
Εργαστηριακός Συνεργάτης
Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Μακρυγιάννης Σ. Παναγιώτης
Εκπαιδευτικός Δ/θμιας Εκπ/σης
ΕΜΜΒΑ

Περίληψη

Ένας γόνιμος διάλογος ανάμεσα στον Tall και τους συνεργάτες του και σε αμφισβητίες με επικεφαλής τον Inglis σε σχέση με την θεωρία του πρώτου για τους τρεις κόσμους των μαθηματικών ανέδειξε ότι η θεωρία αυτή αποτελούσε στην πραγματικότητα δύο θεωρίες: μία ταξινομική και μία διδακτικής των μαθηματικών. Δεδομένου ότι το γεγονός αυτό δεν έγινε εξαρχής αντιληπτό στον Tall εκείνος δεν προχώρησε στην απαραίτητη τροποποίηση των διατυπώσεων του για τη δημιουργία μιας συνεκτικής θεωρίας-πλαίσιου για τη διδακτική των μαθηματικών. Δια γνώσκοντας το κενό, το παρόν άρθρο προχωρά στην διατύπωση ενός τέτοιου πλαισίου με τρόπο συνεκτικό με τις διατυπώσεις του αρχικού δημιουργού. Το πλαίσιο αυτό εκτός της δυνατότητας να ενσωματώσει ποικίλα στοιχεία διδακτικής που έχουν αλλού διατυπωθεί, περιγράφει επιπλέον αδρά μια διδακτική μεθοδολογία που ενισχύει σημαντικά τις διδακτικές παρεμβάσεις.

Abstract

A fruitful dialogue between Tall and his colleagues and challengers led by Inglis relevant to Tall's theory on the three worlds of mathematics showed that this theory was in fact two theories: one taxonomic and one on teaching of mathematics. Since this was not perceived by Tall originally, he did not go to the necessary amending the wording to create a coherent theory framework for the teaching of mathematics. Diagnosing the gap, this article goes to the formulation of such a framework in a manner consistent with the wording of the original author. This framework, except from the ability to incorporate various elements of didactics delivered by others, also roughly describes a didactic methodology that significantly enhances teaching interventions.

Λέξεις κλειδιά: μαθηματικά αντικείμενα, σπειροειδής ανάπτυξη, μαθησιακοί στόχοι, θεμελιώδεις κύκλοι γνωστικής ανάπτυξης, συσσωματωμένο αντικείμενο, συμβολικό διακείμενο, αξιωματική έννοια.

1. Εισαγωγή – Ένας παραγωγικός διάλογος

Οι Gray και Tall εισήγαγαν σταδιακά από το 1984 έως το 2001 την ιδέα τριών τύπων μαθηματικών εννοιών ή/και αντικειμένων στα πλαίσια των μαθηματικών. Όπως οι ίδιοι το θέτουν σε ένα άρθρο του 2001 για αρκετά χρόνια τους απασχολούσε η ιδέα των τριών διαφορετικών τύπων εννοιών και συγκεκριμένα του συσσωματωμένου αντικειμένου (embodied object), του συμβολικού «διακειμένου» (symbolic procept) και τέλος της αξιωματικής έννοιας (axiomatic concept).

Η επιλογή των ελληνικών όρων δεν ήταν αυτόματη: Για τον όρο embodied εξετάστηκαν επίσης οι αποδόσεις ενσωματωμένο (που όμως δεν απέδιδε την διάσταση της μετατροπής σε αντικείμενο), σωματοποιημένο (που όμως δεν απέδιδε την ένταξή του σε ένα corpus λειτουργικών εννοιών), υλοποιημένο (που έδινε μια ελαφριά μεταφυσική διάσταση). Για τον όρο procept που αποτελεί νεολογισμό προερχόμενο από συνδυασμό των λέξεων procedure και object επιλέξαμε να ακολουθήσουμε την πρακτική της επανάληψης της διαδικασίας στα ελληνικά αφού αποδώσαμε το procedure ως διαδικασία και όχι ως διεργασία που είναι και το ορθότερο αφού το τελευταίο θα οδηγούσε σε μια κακοφωνία. Επίσης αποφύγαμε την προτεινόμενη από τον Inglis αντιστροφή που θα οδηγούσε με όποια απόδοση procedure στο νεολογισμό «αντικασία» που δε μας φάνηκε διόλου προτιμότερος.

Στην πραγματικότητα αρχικά ήταν ανοιχτός ο αριθμός των τύπων εννοιών, με τους ίδιους τους συγγραφείς (Gray και Tall) να πειραματίζονται με ένα διαχωρισμό μεταξύ εκ-

δοχών της λεγόμενης ψευδο-εμπειρικής αφαίρεσης (abstraction) και αυτών της εμπειρικής αφαίρεσης. Η ιδέα της διαφοροποίησης ανάμεσα στην εστίαση σε ενέργειες (actions) πάνω σε νοητικά (mental) αντικείμενα και στην εστίαση στις ιδιότητες αφηρημένων νοητικών εννοιών εγκαταλείφθηκε αφού και στις δύο περιπτώσεις τα τυπικά (formal) μαθηματικά αφορούν στον καθορισμό ενός συστήματος αξιωμάτων για έναν τύπο αξιωματικής δομής και συναγωγή των ιδιοτήτων της δομής μέσω τυπικών, λογικοθεωρητικών αποδείξεων.

Αργότερα ο Tall μαζί με την Poynter (τότε ονομαζόταν Watson) και τον Σπύρου εισήγαγαν το 2002 την έννοια τριών κόσμων των μαθηματικών βασιζόμενοι και στη δουλειά της Watson πάνω στην συσσωματωμένη δράση στη μαθηματική ανάπτυξη.

Σε αυτό το πλαίσιο τα *συσσωματωμένα αντικείμενα*, είναι αυτά που αντιλαμβανόμαστε είτε ως τέτοια είτε ως άμεσες αφαιρέσεις των όσων αντιλαμβανόμαστε. Συνθέτουν έναν κόσμο που είναι μια, εμπλουτισμένη με εννοιολογικές κατηγοριοποιήσεις, εκδοχή του αντιληπτού κόσμου. Η σχολικού επιπέδου γεωμετρία ανήκει σε αυτόν τον κόσμο.

Τα «*διακείμενα*» (διαδικαστικά αντικείμενα) είναι όσα αναπαριστώνται από ένα σύμβολο που μπορεί με μια ελαστικότητα να αποδίδει τόσο μια διαδικασία όσο και ένα αντικείμενο. Διατηρώντας κοινό το σύμβολο για τη διαδικασία και το αποτέλεσμα της (βλέπε π.χ. το άθροισμα, το όριο κλπ.) συνθέτουν έναν κόσμο ενεργών ή δραστικών αντικειμένων, όχι ιδιαίτερα δεσμευμένο από τον αντιληπτό παρ' ότι σε ένα βαθμό εκκινεί από αυτόν. Η σχολικού επιπέδου άλγεβρα και μέρος του οπλοστασίου εννοιών της πανεπιστημιακής ανάλυσης ανήκουν σε αυτόν τον κόσμο. (βλ. και Gray and Tall 1994).

Οι *αξιωματικές έννοιες* ή αξιωματικά αντικείμενα σχηματίζονται χρησιμοποιώντας αξιωματικούς ορισμούς και τα χειριζόμαστε μέσα από λογικές αποδείξεις (και ταυτολογικούς μετασχηματισμούς). Τα αφηρημένα ή ανώτερα μαθηματικά και ειδικά αυτά που αποτελούν ερευνητικά αντικείμενα σε μεγάλο βαθμό ζουν σε έναν αξιωματικό, λογικοθεωρητικό κόσμο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι διάφορες τοπολογίες.

Οι τρεις αυτοί κόσμοι, με τις διαφορετικές πρακτικές και μεθοδολογίες τους εξαντλούν αφενός τα μαθηματικά αντικείμενα και αφετέρου θέτουν τις προκλήσεις για την ανάπτυξη της μαθηματικής σκέψης.

Το 2003 ο Inglis χρησιμοποιώντας την φανταστική σφαίρα του Lambert, που δεν ταξινομείται διαισθητικά σε κάποιον από τους τρεις κόσμους, αμφισβητεί κατά πόσον όλα τα αντικείμενα μπορούν να ενταχθούν στην κατηγοριοποίηση του Tall. Επιπλέον χρησιμοποιεί την διαισθητική αντίληψη που ο Abbott δημιουργεί στο παιδικό βιβλίο «Η επίπεδη χώρα» (1995) στους μικρούς αναγνώστες του, του υπερκύβου και γενικότερα μιας τετραδιάστατης γεωμετρίας μέσω αναλογιών και επιχειρηματολογεί ότι το αντικείμενο που οι μικροί μαθητές κατέχουν με την έννοια που ο Tall et al (2000) δίνουν – κάτι που μπορούν να διαχειριστούν και να μελετήσουν – επίσης δεν κατηγοριοποιείται.

Το σκεπτικό του μεταξύ άλλων στηρίζεται στην ιδέα της αναλογίας ως «δομικής μεταφοράς» (Pimm, 1987) και της μάθησης ως κύρια «μεταφορικής» διαδικασίας (Davis, 1984) η οποία χτίζει αναπαραστάσεις νέων ιδεών χρησιμοποιώντας αυτές οικείων και τροποποιώντας τις κατάλληλα.

Ο Tall στο άρθρο του *Introducing three worlds of mathematics* (2004) προσπαθεί να χρησιμοποιήσει παραγωγικά την κριτική του Inglis για να ισχυροποιήσει τη θεωρία του την οποία αντιμετωπίζει ως θεωρία σε ανάπτυξη. Στο κυρίως επιχείρημα που σχετίζεται με τον τύπο του αντικειμένου φανταστική σφαίρα ο Tall απαντά αναφερόμενος στην «φυσική διαδικασία» (natural process) της επέκτασης του χειρισμού συμβόλων που έχουν νόημα στον διακειμενικό κόσμο σε μια κατάσταση όπου η αντιστοίχιση με τον συσσωματωμένο κόσμο δεν υφίσταται πλέον. Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον ότι αντιστοιχίζει την περίπτωση με αυτή της χρήσης της τετραγωνικής ρίζας ενός αρνητικού αριθμού ως διαχειρίσιμο σύμβολο πριν αυτή συσσωματωθεί.

Εισάγει έτσι, σχεδόν απρόσεχτα, μια έννοια ιστορικότητας στην θεωρία του. Ακόμα και αν αυτή η προσθήκη είναι αιτία αμφισβήτησης της χρησιμότητας της θεωρίας ως ταξινομίας μαθηματικών αντικειμένων μπορεί να παίξει μεγάλο ρόλο στη διαμόρφωση μιας διδακτικής των μαθηματικών με βάση τους τρεις κόσμους τους.

Υπερασπίζεται τα σύνορα των κόσμων διευρύνοντας την έννοια της συσσωμάτωσης. Διευρύνει την αντιληπτική συσσωμάτωση στην εννοιολογική συσσωμάτωση, περιλαμβάνοντας κάθε σύλληψη με οπτικο-χωρικούς όρους και όχι μόνο όσες προκύπτουν από την αντίληψη πραγματικών (actual) αντικειμένων.

Στην προσπάθειά του αυτή προχωρεί ουσιαστικά σε επαναδιατύπωση της θεωρίας του η οποία δεν είναι φανερή στον ίδιο αν και φαίνεται να του προκύπτει φυσικά. Ο ίδιος άλλωστε αναφέρεται στη συνήθειά του να προσεγγίζει διασταλτικά τις έννοιες που χρησιμοποιεί. Ήδη στην ιδέα της εικόνας μιας έννοιας (concept image) των Vinner και Hershkowitz (1980) πρόσθεσε συγκεκριμένο και σημαντικό γνωστικό βάρος όταν στο άρθρο του με τον Vinner (1981) προσθέτει στον ορισμό της ως «η συνολική γνωστική δομή που συνδέεται με την έννοια και περιλαμβάνει όλες τις νοητικές της εικόνες και τις σχετιζόμενες ιδιότητες (properties)» την συμπλήρωση «και διαδικασίες». Ο ίδιος ο Tall θεωρεί ότι πρόκειται απλώς για μια διεύρυνση που επεκτείνει την ιδέα πέρα από μια οπτικο-χωρική έννοια ώστε να περιλάβει κάθε γνωστική δομή που συνδέεται με την εξεταζόμενη έννοια.

Έμμεσα αλλά σαφώς προσθέτει το ίδιο μη τετριμμένο γνωστικό βάρος στην περιγραφή τόσο της σωματοποίησης όσο και των τριών κόσμων. Οι διαδικασίες παίρνουν έναν κύριο ρόλο, στη θέση των αντικειμένων. Επίσης μιλά τώρα για εννοιολογικό-συσσωματωμένο κόσμο και για διακειμενικό-συμβολικό.

Ο Inglis στο αποχαιρετιστήριο του Tall αποδέχεται την αναδιατύπωση και αναγνωρίζει τα θετικά της υποδεικνύοντας όμως παράλληλα ότι η νέα προσέγγιση αποκλείει την αρχική στοχοθεσία μιας ταξινομίας μαθηματικών αντικειμένων. Αμφισβητεί την απάντηση του Tall σε σχέση με τον τύπο της φανταστικής σφαίρας χωρίς ιδιαίτερη ζέση ή επιτυχία.

Δύο σημεία παρουσιάζουν εδώ ενδιαφέρον με πρώτο την επιμονή του Inglis στη διατυπωμένη και το 2003 άποψή του ότι οι Gray and Tall έχουν την συνήθεια να χρησιμοποιούν εναλλακτικά τους όρους έννοια και αντικείμενο. Παρά το αναμφισβήτητο γεγονός ότι ο Tall δεν έχει απαντήσει ικανοποιητικά στην αιτίαση υπάρχει εύκολη απά-

ντηση που έχει σχέση με την ιδέα της ιστορικότητας σε μια θεωρία ανάπτυξης της μαθηματικής σκέψης. Περισσότερα όμως σχετικά στο τελευταίο μέρος.

Το δεύτερο είναι ο ισχυρισμός του ότι η χρήση της «έννοιας του αριθμού» έναντι του «αντικειμένου του αριθμού» είναι πιο φυσική απλά και μόνο γιατί ο αριθμός δεν είναι αντικείμενο ούτε όμως και διακείμενο. Αυτό δε το στηρίζει στην ανυπαρξία διαδικασίας του αριθμού. Όμως αν μιλήσουμε για θετικούς φυσικούς αριθμούς υπάρχει η διαδικασία και είναι αυτή της αρίθμησης. Η επέκτασή της σε κάθε διεύρυνση, με τη σειρά που ιστορικά αυτή έγινε, της έννοιας του αριθμού μπορεί να γίνει προσθέτοντας μια από τις διαδικασίες που καθιστούσε τη διεύρυνση απαραίτητη. Για παράδειγμα από τους πραγματικούς στους μιγαδικούς η διαδικασία είναι ο υπολογισμός τετραγωνικής ρίζας αρνητικού αριθμού.

Για έναν πληροφορικό δε ο σχετικός ισχυρισμός του ότι είναι παράδοξη η κατάταξη της έννοιας συνάρτηση στην ίδια κατηγορία με διάφορες συναρτήσεις προκαλεί αντιρρήσεις. Η ιδέες ότι το στιγμιότυπο ενός αντικειμένου είναι αντικείμενο, το πρότυπο ενός αντικειμένου επίσης και η κληρονομικότητα μεταξύ αντικειμένων, είναι δομικές στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό. Το γεγονός δε ότι υπάρχουν καλά ορισμένες αντικειμενοστραφείς γλώσσες, που έχουν δομηθεί σε αυτή τη βάση, επιβεβαιώνει ότι μια τέτοια κατάταξη μπορεί να είναι λειτουργικότερη. Ίσως ο Inglis δεν συνέλαβε τελικά όλες τις συνέπειες της από μέρους του αποδοχής της αναδιατύπωσης στην βάση των διαδικασιών της θεωρίας του Tall.

2. Η παιδαγωγική διάσταση κατά Tall

Παράλληλα, και θεωρητικά ανεξάρτητα, ο Tall το 2002 έχει αποπειραθεί μια αντιστοίχιση της θεωρίας του – που εδώ αναφέρεται ως 3 κόσμοι αναπαραστάσεων, αποδεικνύοντας ότι από νωρίς έπαιξε με εναλλακτικές εκδοχές της θεωρίας - με παιδαγωγικές οπτικές και κύρια του Bruner και της αναθεωρητικής σχολής διδασκαλίας απειροστικού λογισμού του Harvard δηλ. με τον κανόνα των τριών και κυρίως των τεσσάρων (Tall, 2003, αφού τότε παρουσιάστηκε σε έντυπη μορφή.). Έτσι, για παράδειγμα, αντιστοιχεί τον συσσωματωμένο αναπαραστατικό κόσμο με τους δύο πρώτους τρόπους μάθησης του Bruner (enactive, iconic) ενώ τόσο ο συμβολικός-διακειμενικός αναπαραστατικός κόσμος όσο και ο τυπικός-αξιωματικός αντιστοιχίζονται με επιμέρους λειτουργίες του συμβολικού τρόπου.

Συγκεκριμένα ο πρώτος αντιστοιχίζεται στον αριθμητικό και αλγεβρικό τρόπο συμβολικής διαχείρισης ενώ ο δεύτερος αφενός στην λογική και αφετέρου στην προφορική (verbal) διαχείριση. Η θεωρία του Bruner είναι δομημένη κυρίως ως διδακτική και για αυτό το λόγο η ευθεία αντιστοίχιση που ο ίδιος ο Tall βλέπει έχει ιδιαίτερη σημασία.

Παρόμοια συμβαίνουν με την αντιστοίχιση, με ενδιάμεσο τους τρόπους του Bruner, με τον κανόνα των τεσσάρων της αναθεωρητικής σχολής διδασκαλίας απειροστικού

λογισμού του Harvard. Δεν έχει ιδιαίτερη αξία να επεκταθούμε στην αντιστοίχιση που χρησιμοποίησε, και στις διαφορές που εντόπισε, αλλά στο γεγονός ότι και πάλι πρόκειται για αντιστοίχιση με μια κατ' ουσία διδακτική θεωρία. Στο ίδιο άρθρο προχωρά στη σύνδεση με την ταξινομία SOLO, που είναι κατά βάση μια ταξινομία αξιολόγησης (assessment) της επίτευξης διδακτικών στόχων.

Είναι γεγονός ότι ο ίδιος είναι σαφώς ενήμερος για τις εξελίξεις της γνωστικής επιστήμης και επηρεασμένος από την έννοια της ενσωματωμένης γνώσης (embodied cognition) στην οποία φόρο τιμής αποτελεί ο όρος συσσωματωμένος κόσμος στα Αγγλικά χρησιμοποιείται, αλλά με διακριτό νόημα, ο ίδιος όρος embodied. Μια ενιαία μετάφραση των δύο όρων στα ελληνικά θα δημιουργούσε σύγχυση. Αξιοσημείωτη είναι η χρήση των Lacoff και Nunez (2000) του embodied ως χαρακτηριστικού του συνόλου των μαθηματικών αντικειμένων και εννοιών. Οι τελευταίοι εννοούν κατά βάση ότι τα μαθηματικά εξαρτώνται από δομές του ανθρώπινου εγκεφάλου όσο και από τις κοινές έννοιες που αναπτύσσονται στα πλαίσια των διάφορων μαθηματικών πολιτισμών (mathematical cultures). Ο Tall προτιμά να αναφέρεται με τον όρο σε σκέψη κατά βάση δομημένη στην αισθητηριακή αντίληψη ως διακριτή της συμβολικής λειτουργίας και της λογικής αφαίρεσης.

Όμως δεν επεκτείνεται σε σύνδεση με τις γνωστικές θεωρίες, αντίθετα η προσέγγισή του είναι κυρίως διδακτική. Αυτό δεν εμποδίζει τον ίδιο σε μια σειρά άλλων άρθρων του όπου συνδυάζει τη θεωρία του με την APOS και συνεργάτες του (όπως π.χ. ο Pegg, 2002) να την προσεγγίζουν ως αναφερόμενη στην ακολουθία με την οποία οι έννοιες δομούνται στο μυαλό του ατόμου, πράγμα που την βάζει στην ίδια κατηγορία με τις θεωρίες των Davis (1984) Dubinsky (Czarnocha et al, 1999), Sfard (1991) κ.ά.

Τα παραπάνω δικαιολογούν την υποψία ότι «η θεωρία των τριών κόσμων» είναι στην πραγματικότητα δύο θεωρίες: μία επιστημολογική – οντολογική με αναφορές σε σωματικές/ βιολογικές λειτουργίες του ανθρώπου και μια καθαρά διδακτική που ενώ συνδέεται με την πρώτη είναι σε κάποιο βαθμό αυτόνομη και πάντως πιο καλά δομημένη. Είναι στην πρώτη που απευθύνει την πετυχημένη κριτική του ο Inglis αλλά είναι η δεύτερη αυτή που αποδέχεται.

3. Η πρότασή μας: τρεις κόσμοι διδασκαλίας

Πιστεύουμε ότι είναι στο παιδαγωγικό/ διδακτικό πεδίο που η θεωρία των τριών κόσμων, στην εκδοχή της που αφορά σε διεργασίες μαθηματικής σκέψης, έχει να προσφέρει τα περισσότερα. Πέρα από το γεγονός ότι σε αυτό το πλαίσιο και με τη συγκεκριμένη μορφή παρουσιάζεται σφριγηλότερη, επιτρέπει και μια σειρά τροποποιήσεων που την ενισχύουν ακόμη περισσότερο για τους σκοπούς μας.

Τροποποιώντας το αντικείμενο ώστε να περιλάβει διεργασίες μάθησης στα πλαίσια της μαθηματικής σκέψης αναδύεται μια αμιγώς αναπτυξιακή θεωρία διδακτικής των μαθηματικών. Για να έχει όμως νόημα η διεύρυνση αυτή οφείλουμε να ξεφύγουμε από

την έννοια (concept) καθ' εαυτή που χρησιμοποιεί ο Tall και να την αντικαταστήσουμε με την εικόνα της (concept image) όπως ο ίδιος και ο Vinner την έχουν ορίσει. Αντίστοιχα θα πρέπει να αποδεχτούμε για τα αντικείμενα τον διευρυμένο ορισμό των Tall et al (2000), δηλαδή ότι αντικείμενο είναι κάτι που οι μαθητές μπορούν να διαχειριστούν και να μελετήσουν.

Ταυτόχρονα τίθεται και το θέμα ιστορικότητας που νωρίτερα αναφέραμε. Η ίδια έννοια μπορεί να κινείται ανάμεσα στους κόσμους όσο ο μαθητής-μαθηματικός εξελίσσεται και αντιλαμβάνεται με διαφορετικό τρόπο και αυξημένη πληρότητα τα πράγματα. Έτσι δίνεται μια άλλη διάσταση στη ρήση του Lakoff και των συνεργατών του (Lakoff και Johnson 1999, Lakoff και Nunez 2000) ότι όλα είναι ενσωματωμένα. Μπορεί επίσης η έννοια να μετακινείται ανάμεσα στους κόσμους ανάλογα με τη διεργασία που επιλέγει κανείς να εφαρμόσει πάνω της.

Με την έννοια της ρήσης του Lakoff, οι δυο όροι θα μπορούσαν ξανά να αντικατασταθούν και στα ελληνικά από έναν αφού η ενσωμάτωση/ συσσωμάτωση θα λάμβανε χώρα με την ολοκλήρωση της γνωστικής προσέγγισης της κάθε έννοιας/ αντικειμένου, και την επαναφορά της σε ένα πλαίσιο οικειότητας σαν αυτό του συσσωματωμένου κόσμου. Και αυτό συνδέεται άμεσα με τις δομές του ανθρώπινου μυαλού που ο Lakoff και οι συνεργάτες του εξετάζουν.

Για να επιστρέψουμε στο βασικό σκεπτικό, οι έννοιες και τα αντικείμενα αντιμετωπίζονται έτσι ως δυναμικά, μπορούν να συναλλάζουν μεταξύ τους περνώντας από τον ένα κόσμο στον άλλο ενώ και οι ίδιοι οι κόσμοι είναι μεταβαλλόμενοι στα πλαίσια της διαρκούς εξέλιξης της μαθηματικής αντίληψης του μανθάνοντος υποκειμένου, το οποίο μπορεί να είναι ο μαθητής-μαθηματικός, ο ερευνητής-μαθηματικός, ή μια κοινότητα με κοινό μαθηματικό πολιτισμό και ανοιχτά προς διερεύνηση ζητήματα. Στην πραγματικότητα βέβαια πρόκειται για την εικόνα των εννοιών και τα νοητικά αντικείμενα (Mamona 2006) που μεταβάλλονται. Σε αυτό το πλαίσιο δεν υπάρχει καμιά σύγκρουση μεταξύ των προσεγγίσεων Tall και Inglis.

Μια τέτοια προσέγγιση μπορεί ακόμα να ενσωματώσει διδακτικούς στόχους που αντιστοιχούν στο τέταρτο (unistructural) επίπεδο της ταξινομίας SOLO (Biggs και Collis 1982) όπου ο διαχωρισμός ανάμεσα στις δύο πιθανότητες γνωστικής ανάπτυξης πέρα από το σχεσιακό επίπεδο εξαρτάται από το άτομο και την οπτική του. Δηλαδή από το αν αντιλαμβάνεται πλέον ως μία ενιαία και συνοπτική οντότητα αυτό που πριν ήταν η ολοκλήρωση διαφόρων πτυχών ή αν αντίθετα η νέα προσέγγιση αντιπροσωπεύει μια ποιοτική διαφοροποίηση στο επίπεδο αφαίρεσης. Στην τελευταία περίπτωση αλλάζουμε τρόπο ή, στο πλαίσιο της θεωρίας μας, αντιληπτικό κόσμο.

Σε παρόμοιο πλαίσιο κινήθηκε ο Pegg (2002) σε συνεργασία με τον Tall στο άρθρο του για τους θεμελιώδεις κύκλους γνωστικής ανάπτυξης. Εκεί ασχολείται με τοπικές θεωρίες όπως διαμορφώνονται μέσα σε ένα σφαιρικό πλαίσιο με παράδειγμα τους αναδυόμενους, σε σχέση με πολλές από αυτές, θεμελιώδεις κύκλους μάθησης.

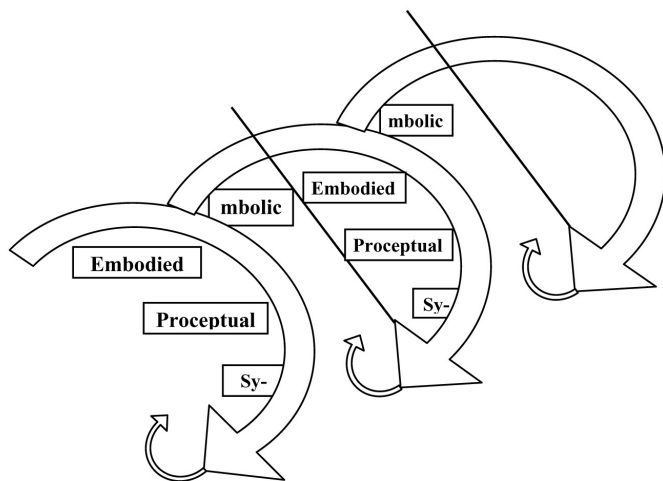
Η δική μας προσέγγιση αντιμετωπίζει τους τρεις κόσμους ως το ευρύτερο πλαίσιο

και ταυτίζει τις διδακτικές διεργασίες με εμπρόθετες κινήσεις μέσα ή δια μέσου αυτών κατά περίπτωση. Αμφισβητούμε την οικουμενικότητα των θεμελιωδών κύκλων γνωστικής ανάπτυξης θεωρώντας λογικό ότι άτομα διαφορετικού κατά Gardner αντιληπτικού τύπου θα μπορούν να προσεγγίσουν τα μαθηματικά με διαφορετική σειρά προσέγγισης των τριών κόσμων τους.

Άλλωστε και ο ίδιος ο Pegg αναγνώρισε ότι με την ορολογία του Pinto (1998) μια συσσωματωμένη προσέγγιση μπορεί να ευνοεί τους φυσικούς (natural) διανοητές αλλά να δυσχεραίνει τους τυπικούς (formal). Το αντίστροφο φυσικά ισχύει για μια συμβολική προσέγγιση.

Αποδεχόμαστε ωστόσο τη λογική του Skemp (1971) ότι είναι αδύνατο να ορίσεις έννοιες υψηλότερης τάξης και είναι απαραίτητο για το άτομο να αντιμετωπίσει παραδείγματα (και στιγμιότυπα) της έννοιας για να δομήσει το νόημα υψηλότερης τάξης. Η υψηλότερου επιπέδου σκέψη απαιτεί κατοχή του συνόλου των σχετιζόμενων ιδιοτήτων χαμηλότερου επιπέδου. Η υψηλότερου επιπέδου σκέψη σε αυτό το πλαίσιο δεν σημαίνει αυτόματα μεγαλύτερη αφαίρεση. Αντίθετα υποδεικνύει μια ποιοτική κυρίως διαφορά.

Ο συνδυασμός των παραπάνω δίνει στη σπειροειδή ανάπτυξη του Bruner μια διασταλτική ερμηνεία όπου ο καθένας ανεβαίνει στην κάθε σπείρα από διαφορετικό σημείο αλλά διασχίζει ούτως ή άλλως τους κόσμους-τριμόρια για να φτάσει στο αγαπημένο του σημείο για την επόμενη σπείρα. Η άνοδος των επιπέδων της μαθηματικής σκέψης προσομοιάζει σε μας περισσότερο με τον κοχλία του Αρχιμήδη όπου το νερό ανεβαίνει διασχίζοντας ολόκληρη την επιφάνεια της κάθε σπείρας και ανεβαίνοντας σπείρα σπείρα. Η διαδικασία της αποκάλυψης της ανάγκης για έννοιες ενός συγκεκριμένου ορισμού περνά έτσι μέσα από τη διάσχιση των κόσμων, όχι απαραίτητα με την σειρά που τους εισάγει ο Tall αλλά πάντως σειριακά.



Σχήμα 1: Η Μαθηματική Ανάπτυξη δια μέσου των τριών κόσμων

Τέλος είναι φανερό από τη φύση των τριών κόσμων και των διεργασιών τους ότι απαιτούν διαφορετικές δεξιότητες για το βέλτιστο χειρισμό τους. Άσχετα από το αν και ποιες από αυτές είναι περισσότερο ανεπτυγμένες στο μαθητή κατά την έναρξη μιας μαθησιακής διαδικασίας η ίδια η γνωσιακή ανάπτυξη προσδιορίζεται για μας από την ισομερή ανάπτυξη των τριών αυτών συνόλων δεξιοτήτων, την ευκολία εναλλαγής ανάμεσα σε αυτά και την αύξηση της επίγνωσης και επιτυχίας με την οποία η εναλλαγή αυτή γίνεται. Το ποιες ακριβώς είναι αυτές οι δεξιότητες και πως ακριβώς θα διασφαλιστεί η ανάπτυξή τους αποτελεί μια εξειδίκευση που ξεφεύγει από την εμβέλεια του παρόντος άρθρου αλλά θέτει σημαντικά ζητήματα που θα μας απασχολήσουν στη συνέχεια.

Οι Annie και John Selden (1999) θεωρούσαν ότι ήταν πολύ νωρίς για μία ενοποιημένη θεωρία όμως από τότε μέχρι σήμερα μεσολάβησε ένας μεγάλος αριθμός μελετών που αφορούν στα επιμέρους ζητούμενα και πιθανόν η συγκυρία να έχει ωριμάσει.

Βιβλιογραφία – Πηγές

1. Abott, E. A. (1995), Η Επίπεδη χώρα, Εκδόσεις Νικκαν (original publication: «Flatland: A Romance of Many Dimensions»,1884).
2. Asiala, M., Cottrill, J., Dubinsky, E. and Schwingendorf, K. (1997), 'The development of students' graphical understanding of the derivative', *Journal of Mathematical Behavior* 16(4), 399-431.
3. Biggs, J. & Collis, K. (1982). *Evaluating the Quality of Learning: the SOLO Taxonomy*. New York: Academic Press.
4. Bruner, J. S. (1966). *Towards a Theory of Instruction*, New York: Norton.
5. Czarnocha, B., Dubinsky, E., Prabhu, V., Vidakovic, D. (1999). One theoretical perspective in undergraduate mathematics education research. In O. Zaslavsky (Ed.), *Proceedings of the 23rd Conference of PME*, Haifa, 1, 95-110.
6. Davis, R. (1984) *Learning mathematics: the cognitive science approach to mathematics education*, Norwood, NJ, Ablex.
7. Dubinsky, E. (1991). Reflective abstraction in advanced mathematical thinking. In D. O. Tall (Ed.), *Advanced Mathematical Thinking*, (pp. 95–123). Dordrecht: Kluwer.
8. Gardner, Howard. (1983) «*Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences.*» New York: Basic Books. Gardner, Howard. (1993) «*Multiple Intelligences: The Theory In Practice.*» New York: Basic Books.
9. Gray, E. M. & Tall, D. O. (1994). Duality, ambiguity and flexibility: A proceptual view of simple arithmetic. *Journal for Research in Mathematics Education*, 25, 2, 115–141.
10. Inglis, Matthew (2003) *Three worlds and the imaginary sphere* (<http://www.lsri.nottingham.ac.uk/mji/files/flm2003.pdf>).
11. Inglis, Matthew (2006) *Reconsidering the Imaginary Sphere*, In *Retirement as Process and Concept. A Festschrift for Eddie Gray and David Tall presented at Charles University, Prague 15-16 July, 2006*.
12. Lakoff, G. & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the Flesh*. New York: Basic Books.
13. Lakoff, G. & Nunez, R. (2000). *Where Mathematics Comes From*. New York: Basic Books.
14. Mamona-Downs, Joanna (2006) *Procepts and Property-Based Thinking, to what extent the two are co-operative?* In *Retirement as Process and Concept. A Festschrift for Eddie Gray and David Tall presented at Charles University, Prague 15-16 July, 2006*.
15. Pegg, J. (2002). *Fundamental Cycles of cognitive growth*. In *Proceedings of the 26th*

- Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, Norwich, UK, 4, 369–376.
16. Pimm, D. (1987) *Speaking mathematically: communication in mathematics classrooms*, London, Routledge and Kegan Paul.
 17. Selden Annie, Selden John (1999). *Tertiary Mathematics Education Research and Its Future*. Tennessee Technological University, Technical Report, No. 1999-6, 1-3 (http://www.math.tntech.edu/techreports/TR_1999_6.pdf).
 18. Sfard, A. (1991). On the dual nature of mathematical conceptions: reflections on processes and objects as different sides of the same coin, *Educational Studies in Mathematics*, 22, 1, 1–36.
 19. Skemp R.R. (1971). *The Psychology of Learning Mathematics*, Penguin Books Ltd.
 20. Tall, D. O. (2000). *Biological Brain, Mathematical Mind & Computational Computers* (how the computer can support mathematical thinking and learning). Plenary presentation for ATCM conference, Chang Mai, Thailand, December 2000. { In Wei-Chi Yang, Sung-Chi Chu, Jen-Chung Chuan (Eds), *Proceedings of the Fifth Asian Technology Conference in Mathematics*, Chiang Mai, Thailand (pp. 3–20). ATCM Inc, Blackwood VA.. }
 21. Tall, D. O., Thomas, M. O. J., Davis, G. E., Gray, E. M. & Simpson A. P (2000). What is the object of the encapsulation of a process?, *Journal of Mathematical Behavior*, 18 (2), 1–19.
 22. Tall, D.O., Gray, E., M., bin Ali, M., Crowley, L., DeMarois, P., McGowen, M., Pitta, D., Pinto, M., Thomas, M., Yusof, Y., (2000). Symbols and the Bifurcation between Procedural and Conceptual Thinking, *The Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 1, 80–104.
 23. Tall, D. O. & Vinner S., (1981). Concept image and concept definition in mathematics, with particular reference to limits and continuity, *Educational Studies in Mathematics* 12 151–169.
 24. Tall, D. O. (2002a). Natural and Formal Infinities, *Educational Studies in Mathematics*, 48 (2&3), 199–238.
 25. Tall, D. O. (2002b). Differing Modes of Proof and Belief in Mathematics, *International Conference on Mathematics: Understanding Proving and Proving to Understand*, 91–107. National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.
 26. Tall, D.O. (2004) *Introducing three worlds of mathematics* (<http://www.warwick.ac.uk/staff/David.Tall/pdfs/dot2004a-3worlds-flm.pdf>).
 27. Vinner, S. & Hershkowitz R. (1980). Concept Images and some common cognitive paths in the development of some simple geometric concepts', *Proceedings of the Fourth International Conference of P.M.E., Berkeley*, 177–184.
 28. Watson, A. (2002). Embodied action, effect, and symbol in mathematical growth. In Anne D., Cockburn & Elena Nardi (Eds), *Proceedings of the 26th Conference of*

- the International Group for the Psychology of Mathematics Education, 4, 369–376. Norwich: UK.
29. Watson, A., Spirou, P., Tall, (2003). The Relationship between Physical Embodiment and Mathematical Symbolism: The Concept of Vector. *The Mediterranean Journal of Mathematics Education*. 1 2, 73– 97.

Development of natural soundscapes – a pattern recognition approach

*Ioannis Paraskevas
Department of Electronics
Engineering
T.E.I. of Piraeus*

*Maria Rangoussi
Department of Electronics
Engineering
T.E.I. of Piraeus*

Abstract

The aim of this work is the mapping of areas of ecological interest focusing on the sound rather than the visual features of this area. Mapping of an area focusing on the visual (morphological) features of the landscape is a mature field with a wide range of applications. On the other hand, «soundscapes» are maps which convey the sound content of an area at a certain time instant. Sound features encapsulate information which can be combined with the visual features of the landscape, in order to derive useful ecological related conclusions. These include monitoring of the wildlife, or the various human activities in the area. Of great interest is the monitoring of the change in the use or inhabitation of the area over time – an aim requiring repeated measurements at regular time intervals. In this work, a method is described for the combination of pattern recognition of the sound recordings with the development of the soundscape of the area of interest.

Keywords: *Soundscape, sound pattern recognition, feature extraction, classification.*

Περίληψη

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η χαρτογράφηση περιοχών οικολογικού ενδιαφέροντος εστιάζοντας στα ηχητικά και όχι στα οπτικά χαρακτηριστικά τους. Η χαρτογράφηση που εστιάζεται στα οπτικά (μορφολογικά) χαρακτηριστικά του τοπίου αποτελεί ένα ήδη αναπτυγμένο ερευνητικό πεδίο με ευρύ φάσμα εφαρμογών. Τα ‘ηχοτοπία’ είναι χώρες που φέρουν το ηχητικό περιεχόμενο μιας περιοχής για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Τα ηχητικά χαρακτηριστικά συμπυκνώνουν πληροφορία η οποία μπορεί να συνδυαστεί με την πληροφορία που φέρουν τα οπτικά χαρακτηριστικά του τοπίου, προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα που σχετίζονται με το περιβάλλον. Αυτά τα συμπεράσματα περιλαμβάνουν την παρακολούθηση της ‘άγριας ζωής’ ή των διαφόρων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην περιοχή. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρακολούθηση της αλλαγής χρήσης ή της αλλαγής στην ενδημικότητα μιας περιοχής με την πάροδο του χρόνου – οι παρατηρήσεις αυτές απαιτούν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Σε αυτή την εργασία, περιγράφεται μια μέθοδος που συνδυάζει την αναγνώριση προτύπων για ηχητικές καταγραφές με τη δημιουργία του ηχοτοπίου της περιοχής ενδιαφέροντος.

Λέξεις κλειδιά: *Ηχοτοπίο, ηχητική αναγνώριση προτύπων, εξαγωγή χαρακτηριστικών, ταξινόμηση.*

1. Introduction

Research related to the environmental / ecological information of landscapes is usually focused on their visual content e.g. geometric or landscape characteristics of the biotopes. Surveillance engineering methods are typically employed to produce maps at the required resolution. In this research, the sound content of the landscapes is proposed as an additional information stream, aiming to produce useful audio-visual features. Hence, after appropriate processing, sound is used as an additional ecological related indicator of the area of interest.

The term «acoustic ecology» is first introduced by R. Murray Schafer (Schafer, 1994). Important work in the research area of acoustic ecology is also contributed by the SEKI Group (SEKI Group, 2008). The objective of their study is to examine whether environmental sound recordings convey useful information and consequently, whether features extracted from these recordings can be employed as indicators for the health of biotopes and for the biotopes’ dynamic balance. Recently, the interest for the acoustic

ecology has increased due to the activities of the World Forum for Acoustic Ecology (WFAE) which was founded in Canada in 1993.

A soundscape (Krause, 1987; Krause, 2002) is the map of a certain region at a given time instant, which is focused on its sound rather than its visual content. Soundscapes form a useful feature of natural conservation (Turner et al., 2001). Indeed, periodic comparison of the soundscapes of a certain area - e.g. regions of the NATURA 2000 network (European Union's network of nature protection areas) - can provide useful ecological related observations. Note that, in this work the terms acoustic / audio are avoided as natural soundscapes may include sounds that are not necessarily audible by the human ear.

For the case of environmental sounds, there are two types of sound pattern recognition: «coarse» and «fine». The first aims to classify sounds that do not belong to the same family, so as to identify the three categories of environmental sounds; namely, human-related, geophysical-related and animal-related (Gage et al., 2001). The second aims to classify sounds that belong to the same family, so as to identify different species of e.g., bats, based on the sounds they produce (Parsons and Jones, 2000). Obviously, the «fine» type is more demanding, in terms of feature extraction and classification, compared to the «coarse» type. It is worth mentioning that the majority of existing research work for content based sound pattern recognition belongs to the «coarse» type (Wold et al., 1996; Foote, 1997; Mingchun and Chunru, 2001; Zhang and Kuo, 2001) rather than to the «fine» type (Paraskevas and Chilton, 2003; Paraskevas and Chilton, 2004; Paraskevas et al., 2006).

In the proposed method, each sound recording is classified and then placed on the map so as to form the soundscape. The application of pattern recognition to environmental sounds is a hierarchical process. The three main categories of environmental sounds i.e. human-related, geophysical-related and animal-related are initially classified («coarse» classification). Then follows the classification into subcategories of each of the three aforementioned classes of sounds e.g. classification of different species of bats as a subcategory of the animal-related sounds («fine» classification). Finally, the soundscape is developed placing each classified recording to the exact area of the map where the sound was recorded. Consequently, the development of a soundscape becomes more complicated as the number of sound classes increases.

In the following, a description of the proposed pattern recognition process is provided along with an example which shows the importance of signal representation for the application of environmental sound pattern recognition.

2. Pattern Recognition for Environmental Sounds

In this Section, the proposed method for the application of sound pattern recognition is presented. As for any pattern recognition application, the process can be divided into two stages: the feature extraction and the classification stage (Duda et al., 2000; Webb, 2002).

In the feature extraction stage, features that encapsulate the information content of the signal are extracted from each sound recording while in the classification stage the sound recordings are classified based on the feature vectors formed in the feature extraction stage (figure 1).

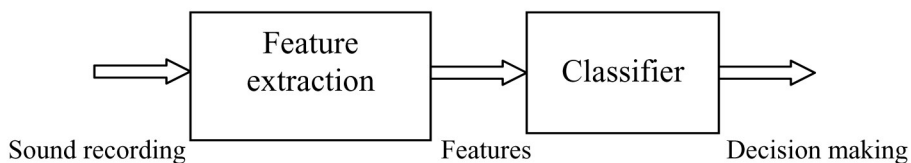


Figure 1: Pattern recognition system model

In the feature extraction stage, class - discriminating features are extracted in order to classify each sound recording to the corresponding class. As in all pattern recognition applications, the classification rate depends on the selection of the appropriate features that form the feature vectors.

The features can be extracted from:

- the time domain signal recordings e.g., zero-crossing rate (ZCR), linear prediction coefficients (Makhoul, 1975),
- the frequency domain e.g. pitch (Rabiner et al., 1976), cepstral coefficients (Childers et al., 1967), bandwidth and
- the time – frequency signal representations (Cohen, 1989; Esmaili et al., 2004) e.g. statistical features (Lambrou et al., 1998) / coefficients extracted from the magnitude spectrogram (Rabiner and Schafer, 1978; Paraskevas et al., 2006).

The importance of the appropriate signal representation for an efficient feature extraction is illustrated in the following example, where a sound recording consists of two simultaneous sound events. Specifically, the two sound events are: «birds croaking» and «waterfall». Figures 2a, 2b and 2c show the time domain signals of the recordings of:

- «sound of birds croaking»,
- «sound of waterfall» and
- the simultaneous occurrence of both sound events i.e. «sound of waterfall with birds croaking», respectively.

Figures 3a, 3b and 3c show the magnitude spectrogram of the sounds presented in figures 2a, 2b and 2c, respectively.

From figure 2c, it is observed that in the case of the simultaneous occurrence of the two sound events i.e. «simultaneous sounds of waterfall and of birds croaking», it is not possible to distinguish from the time domain these two events, whereas, these events are distinguishable from the corresponding magnitude spectrogram (figure 3c). Consequently,

for this case, the feature vector should be formed from features extracted from the frequency (magnitude spectrogram) rather than from the time domain of the signal.

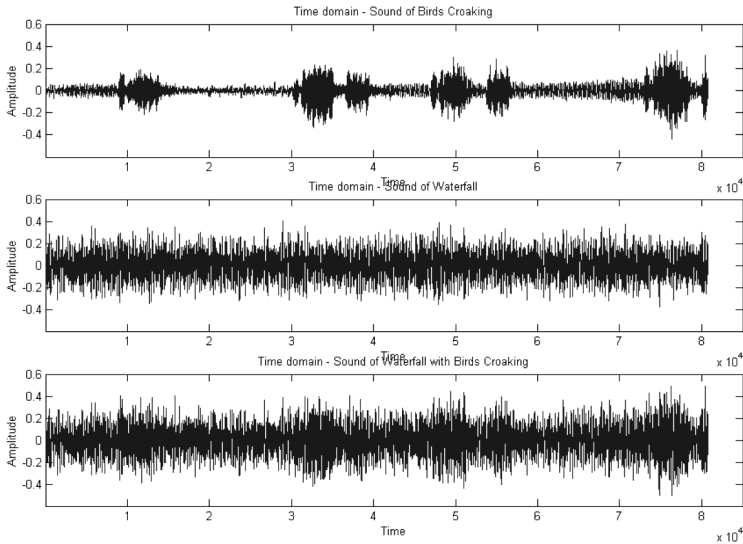


Figure 2a: Time Domain – Sound of Birds Croaking

Figure 2b: Time Domain – Sound of Waterfall

Figure 2c: Time Domain – Sound of Waterfall with Birds Croaking

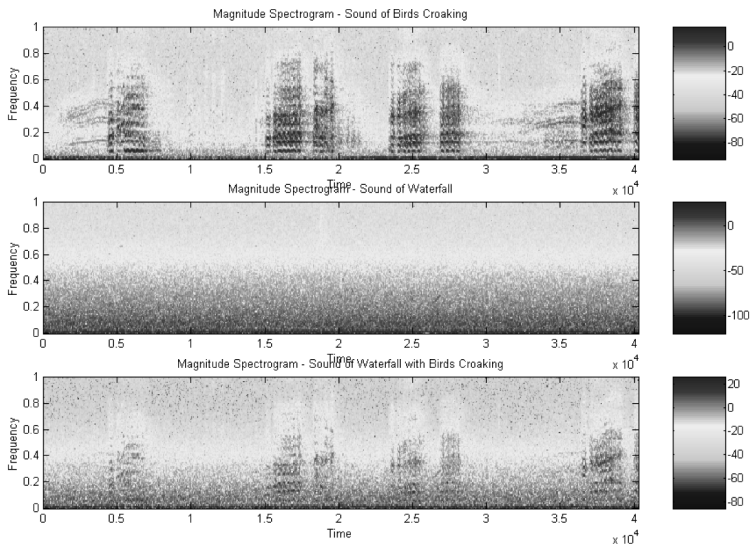


Figure 3a: Magnitude Spectrogram – Sound of Birds Croaking

Figure 3b: Magnitude Spectrogram – Sound of Waterfall

Figure 3c: Magnitude Spectrogram – Sound of Waterfall with Birds Croaking

It is known that, for efficient feature extraction, mathematical transforms may be applied to the signal e.g. Fourier transform (Proakis and Manolakis, 1992), Hartley transform (Bracewell, 1986). The feature vectors formed from the features extracted from each recording should present its information content to the classifier in a compact manner. Different kinds of classifiers e.g. distance metric classifiers, neural networks (Kohonen, 2001) etc. can be employed depending on the intrinsic characteristics of the sound classes aiming to classify.

The environmental sounds recorded from microphones that are spread to different places of an area, form the sound database. Then, each sound recording is classified / identified via pattern recognition methods. The classified sound recordings are placed to the corresponding location on the sound map thus, forming the soundscape. Therefore, the proposed method may be put in steps as follows:

- i. Development of the database of environmental sound recordings.
- ii. Features are extracted from the aforementioned sound recordings (sound signals) which will be employed for the classification stage of the sound pattern recognition.
- iii. Classification (coarse / fine) of the environmental sound recordings based on the features extracted from the sound signals in step (ii).
- iv. Development of the soundscape employing the classified sound recordings (sound signals).

3. Conclusions

The aim of this work is to present a research method which combines the application of sound pattern recognition with the development of soundscapes for areas of ecological interest. The periodic development of soundscapes for the same area is a useful tool for the detection of changes in the ecosystem. Soundscapes can be combined with other sources of information (e.g. territorial morphology), via Geographic Information Systems (GIS) software, in order to develop complete models of areas of interest.

References

- Bracewell R.N. (1986). *The Fourier Transform and Its Applications*. 2nd edition McGraw-Hill.
- Childers D.G., Skinner D.P., and Kemerait R. (1967). The cepstrum: a guide to processing. *Proceedings of IEEE*, pp. 1428 – 1443.
- Cohen L. (1989). Time-frequency distributions-a review. *Proceedings of the IEEE*, volume: 77, issue: 7, pp. 941 – 981.
- Duda R.O., Hart P.E., and Stork D.G. (2000). *Pattern Classification*. 2nd edition John Wiley & Sons, Ltd.
- Esmaili S., Krishnan S., and Raahemifar K. (2004). Content based audio classification and retrieval using joint time-frequency analysis. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, volume: 5, pp. V- 665-8.
- Foote J. (1997). Content-based retrieval of music and audio. *SPIE Multimedia Storage and Archiving Systems (II)*, vol.3229, pp. 138-147.
- Cage S.H., Napoletano B.M., and Cooper M.C. (2001). Assessment of ecosystem biodiversity by acoustic diversity indices. *American Institute of Physics*, 109, 2430.
- Kohonen T. (2001). *Self-organizing maps*. 3rd Edition Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York.
- Krause B. (1987). Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance. *Whole Earth Review*, 57.
- Krause B. (2002). *Wild soundscapes: Discovering the voice of the natural world*. Berkeley, California: Wilderness Press.
- Lambrou T., Kudumakis P., Speller R., Sandler M., and Linney A. (1998). Classification of audio signals using statistical features on time and wavelet transform domains. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, volume: 6, pp. 3621 - 3624.
- Makhoul J. (1975). Linear Prediction: A tutorial review. *Proc. IEEE*, pp. 561-580.
- Mingchun L., and Chunru W. (2001). A study on content-based classification and retrieval of audio database. *International Symposium on Database Engineering & Applications*, pp. 339 – 345.
- Paraskevas, I., and Chilton, E. (2003). Audio classification for retrieval from multimedia databases. *Proceedings of the EC-VIP-MC, 4th EURASIP Conference focused on Video/Image Processing and Multimedia Communications*, Zagreb, Croatia, pp.187–192.
- Paraskevas, I., and Chilton, E. (2004). Combination of Magnitude and Phase Statistical

- Features for Audio Classification. *Acoustics Research Letters Online*, 5 (3), 111–117.
- Paraskevas, I., Chilton, E., and Rangoussi, M. (2006). Audio classification using features derived from the Hartley transform. *Proceedings of the 13th Intl. Workshop on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP'2006)*, Budapest, Hungary, pp.309–312.
- Parsons S., and Jones G. (2000). Acoustic Identification of twelve species of echolocation bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *The Journal of Experimental Biology*, 203, 2641-2656.
- Proakis J.G., and Manolakis D.G. (1992). *Digital Signal Processing Principles, Algorithms, and Applications*. Macmillan Publishing Company.
- Rabiner L., Cheng M., Rosenberg A., and McGonegal C. (1976). A comparative performance study of several pitch detection algorithms. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, volume: 24, issue: 5, pp. 399 – 418.
- Rabiner L., and Schafer R.W. (1978). *Digital processing of speech signals*. Prentice-Hall.
- Schafer R. M. (1994). *The soundscape: Our sonic environment and the tuning of the world*. Rochester, Vermont: Destiny Books.
- SEKI Group (2008). www site: <http://envirosonic.cevl.msu.edu/seki>
- Turner M.G., Gardner R.H., and O’Neill R.V. (2001). *Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process*. New York, New York: Springer-Verlag New York, Inc.
- Webb A.R. (2002). *Statistical Pattern Recognition*. 2nd edition John Wiley & Sons.
- Wold E., Blum T., Keislar D., and Wheaton J. (1996). Content-Based classification, search and retrieval of audio. *IEEE Multimedia Fall 1996*, pp. 27-36.
- Zhang T., and Kuo C.C.J. (2001). Audio content analysis for online audiovisual data segmentation and classification. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, vol. 9, no. 4.

Προσδιορισμός των βασικών παραμέτρων ενός ενδεικνυόμενου κύκλου έργου στους παλινδρομικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης

Γεώργιος Θ. Βλάχος
Τμήμα Μηχανολογίας, Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Χρήστος Κουτσογεώργης
Γενικό Τμήμα Μαθηματικών, Τομέας Πληροφορικής
Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Δημήτριος Τσελές
Τμήμα Αυτοματισμού, Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Κων/νος Γλύστρας
Τμήμα Μηχανολογίας, Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Θεόδωρος Βλάχος
Τμήμα Μηχανολογίας, Πολυτεχνείου του Τορίνο

Γεώργιος Πολίτης
Τμήμα Μηχανολογίας, Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Ιωάννης Λιβέρης
Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Ιωάννης Σαλμόν
Οικονομικό Τμήμα Κεντρικής Διοίκησης, Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Γεώργιος Πολλάλης
Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Αυτή εργασία προέκυψε από το ερευνητικό έργο «Αρχιμήδης» που χρηματοδοτήθηκε από το από την Ευρωπαϊκή Ένωση (75%) και από το Υπουργείο Παιδείας (25%) στα πλαίσια ΕΠΕΑΕΚ II

Περίληψη

Με βάση τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά τη φάση της καύσης στους παλινδρομικούς κινητήρες και συνθέτοντας κατάλληλα τις μαθηματικές σχέσεις που εκφράζουν αυτά με τη χρήση των αρχών της θερμορυστοδυναμικής και της χημείας, είναι δυνατόν να δημιουργηθεί ένα «μοντέλο» προσομοίωσης του φαινομένου της καύσης σε ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης με ελεγχόμενη έναυση της καύσης, του οποίου τα αποτελέσματα θα πρέπει να επαληθεύονται με εκείνα που προκύπτουν από τα πειραματικά δεδομένα. Με την εμφάνιση νέων γνώσεων των χημικών και φυσικών φαινομένων που αυτά λαμβάνουν χώρα στο φαινόμενο της καύσης και με τη διάθεση δυνατών υπολογιστικών εργαλείων και συστημάτων μετρήσεων, δείχνεται πράγματι μια πολύτιμη μέθοδος για τη μελέτη των διαφόρων παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα. Στις παραμέτρους αυτές ιδιαίτερο βάρος έχουν οι παράμετροι που αφορούν τον ενδεικνυόμενο κύκλο έργου του κινητήρα και ιδιαίτερα τη φάση της καύσης αυτού, αφού το ποσό της θερμικής ενέργειας που εκλύεται σε αυτή είναι εκείνο που καθορίζει την απόδοση του κινητήρα. Στόχος της εργασίας αυτής είναι να δώσει ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο ξεκινώντας από τα πειραματικά δεδομένα της πίεσης που επικρατεί μέσα στο θάλαμο καύσης να επιτρέψει τη δημιουργία ενός δυνατού υπολογιστικού εργαλείου σε κώδικα matlab για τον προσδιορισμό των βασικών παραμέτρων ενός ενδεικνυόμενου κύκλου στον οποίο η φάση της καύσης αποτελεί βασικό μέρος αυτού.

Λέξεις κλειδιά: Ενδεικνυόμενος κύκλος, HRR, πίεση, θάλαμος καύσης, κυβισμός, θερμοκρασία.

Abstract

According to the phenomena that take place in the combustion stage at reciprocating engines and combining the suitable mathematic relations that express the above, as also with the use of the hot fluid dynamics laws and chemistry laws it is possible to create a simulation model for the combustion stage in a spark ignition internal combustion engine. The results from the simulation should be verified with those from the experimental data. With the evolution in knowledge of the chemical and physical properties at combustion process and the growth of calculating tools and measurement systems is revealed a precious method for the study of various engine operation parameters. From these parameters more significant are the parameters that concern the indicated work cycle of an engine and particularly at the stage of combustion, since the amount of thermal energy which is released in this stage determines the output of the engine. The aim of this work is to give a mathematic model, which starts from the experimental data of pressure that

exist in the combustion chamber allows the creation of a strong calculating tool in Mat lab for the determination of basic parameters of an indicated cycle.

Keywords: *Indicated cycle, HRR, pressure, combustion chamber, displacement, temperature.*

1. Εισαγωγή

Στην προσπάθεια της εξέλιξης των παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη των φαινομένων που εμφανίζονται και ελέγχουν τη διεργασία της καύσης και στους δύο τύπους κινητήρων, σε εκείνους με ελεγχόμενη έναυση της καύσης και σε εκείνους με έναυση της καύσης με συμπίεση. Στις δύο αυτές περιπτώσεις η καύση είναι εκείνη που ελέγχει τη μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε θερμική ενέργεια, αποτελώντας έτσι κυρίαρχη φάση λειτουργίας του κύκλου έργου του κινητήρα. Πράγματι, αυτή έχει επίδραση στις επιδόσεις του κινητήρα, όπως η αποδιδόμενη ισχύς και η κατανάλωση του καυσίμου, καθώς και στο περιβάλλον, όπως η σύνθεση των αερίων που εκπέμπονται σε αυτό.

Ο τρόπος που συμβάλει η καύση στην απόδοση του κινητήρα φαίνεται από τη μορφή που έχει ο ενδεικνυόμενος κύκλος έργου του κινητήρα που είναι γνωστό ότι αυτός αποτελεί αξιόπιστο κριτήριο, καθώς προκύπτει από τον ίδιο τον κινητήρα με τη χρήση του ειδικού μηχανισμού που καταγράφει την πίεση που επικρατεί μέσα στον κύλινδρο. Ο μηχανισμός αυτός ήταν δύσκολος στη χρησιμοποίησή του αφού, εκτός των άλλων, απαιτούσε ειδικά την επικοινωνία με το περιβάλλον εντός του κυλίνδρου. Σύμφωνα με το ερευνητικό πρόγραμμα «Αρχιμήδης» θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά καύσιμα σε ίδιους και σε διαφορετικούς κινητήρες με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά κυρίως τη δραστική μείωση των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων στη ατμόσφαιρα. Είναι φανερό η ανάγκη της γνώσης του ειδικού αυτού κύκλου έργου για να αποφασιστούν τόσο οι καλύτερες δυνατές παρεμβάσεις πάνω στους κινητήρες όσο η επιλογή της λύσης εκείνης που έχει τα περισσότερα πλεονεκτήματα. Αντί της λύσης της κατασκευής ενός δυναμοδεικτικού μηχανισμού για την αποτύπωση των κύκλων έργων και η κατασκευή των υποδοχών αυτού πάνω στους κινητήρες, έγινε επιλογή η κατασκευή αυτών των κύκλων με τη βοήθεια των τιμών της πίεσης που επικρατεί μέσα στο θάλαμο καύσης και στον κύλινδρο με την εφαρμογή ενός αισθητήρα πιεζοηλεκτρικού τύπου κατάλληλα τοποθετημένου πάνω στον κινητήρα. Στη συνέχεια η ανάλυση και η μελέτη του ενδεικνυόμενου κύκλου πραγματοποιήθηκε όπως πιο κάτω: Ξεκινώντας από το σήμα της πίεσης είναι δυνατόν να εξεταστούν και να μελετηθούν οι παράμετροι και τα χαρακτηριστικά της διεργασίας της καύσης, η οποία αποτελεί βα-

σική συνιστώσα στη διαμόρφωση του κύκλου αυτού. Στόχος της εργασίας αυτής είναι η εξομοίωση του φαινομένου της καύσης με ένα μαθηματικό μοντέλο που θα εκφράζει τις μαθηματικές σχέσεις θα ελέγχουν το φαινόμενο αυτό και τις παραμέτρους ενός ενδεικνυόμενο κύκλου έργου, θεωρώντας γνωστές τις τιμές της πίεσης που έχουν ληφθεί με πειραματικές δοκιμές πάνω στον κινητήρα. Το μοντέλο αυτό σε ένα επόμενο στάδιο θα χρησιμοποιήσει για τη διαμόρφωση ενός αλγόριθμου με τη βοήθεια του υπολογιστικού πλαισίου matlab τόσο για την κατασκευή του ενδεικνυόμενου κύκλου όσο και για την ανάλυση αυτού για τον προσδιορισμό των βασικών παραμέτρων που ελέγχουν αυτόν.

Η γνώση του κύκλου αυτού θα δώσει την ευκαιρία της πάρα πέρα βελτίωσης της απόδοσης ενός παλινδρομικού κινητήρα αφού δίνει τη ευκαιρία να μελετηθούν και να χρησιμοποιηθούν τόσο νέοι μηχανισμοί όπως, οι μηχανισμοί μεταβλητού εσωτερικού χρονισμού, όσο της ρύθμισης αυτού βελτιώνοντας τους εξωτερικούς και εσωτερικούς χρονισμούς λειτουργίας.

2. Προσομοίωση του φαινομένου της καύσης.

Επιλέγεται το θερμοδυναμικό μοντέλο προσομοίωσης για την παρουσίαση του φαινομένου της καύσης στους παλινδρομικούς κινητήρες. Ο αλγόριθμος εκτελεί μια σειρά από υπολογισμούς που προσδιορίζουν τις χρήσιμες παράμετρος που είναι κατάλληλες για την κατασκευή, την ανάλυση και τη μελέτη του ενδεικνυόμενου κύκλου. Αυτές παράμετρος υπολογίστηκαν με τη χρήση των πιο κάτω μαθηματικών σχέσεων:

- Ο γεωμετρικός νόμος του κινηματικού μηχανισμού διωστήρα – στροφαλοφόρου άξονα.
- Η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας των αερίων μαζών μέσα στον θάλαμο καύσης.
- Η μεταβολή του πηλίκου των ειδικών θερμοτήτων $C_p/C_v = k$ σε συνάρτηση της θερμοκρασίας.
- Η μεταβολή του συντελεστή συναγωγής της εναλλαγής της θερμότητας h με τα τοιχώματα του κυλίνδρου σε συνάρτηση της θερμοκρασίας.
- Η μεταβολή του μέρους της μάζας του καυσίμου που έχει καεί x_b σε συνάρτηση της γωνίας θ της περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα.
- Η νόμος που εκφράζει το ποσό της θερμότητας που ελευθερώνεται κατά την καύση.

3. Προσδιορισμός του νόμου της κίνησης του κινηματικού ζεύγους διωστήρα – στροφαλοφόρου άξονα

Για να προσδιοριστεί η θέση του εμβόλου σε συνάρτηση της γωνίας θ του στροφαλοφόρου άξονα γίνεται αναφορά στο σχήμα 3.1. Για το σκοπό αυτό εισάγονται τα πιο κάτω γεωμετρικά μεγέθη:

- Η εσωτερική διάμετρος « d » του κυλίνδρου μέσα στο οποίο παλινδρομεί το έμβολο.
- Η διαδρομή του εμβόλου « c » από το (Α.Ν.Σ.) στο (Κ.Ν.Σ) και προφανώς θα ισούται με το διπλάσιο της ακτίνας του στροφάλου « r » του στροφαλοφόρου άξονα.
- Το μήκος του διωστήρα « l » με « a » η απόσταση από την κάτω επιφάνεια του εμβόλου μέχρι το κέντρο του πείρου σύνδεσης του διωστήρα με το έμβολο.
- Η κάθετος διατομή του κυλίνδρου « A_c » και η οποία θα δίνεται από τη σχέση:

$$A_c = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

- Ο όγκος ενός κυλίνδρου « V » θα δίνεται από τη σχέση: $V = A_c \cdot c$
- Το πηλίκο « λ » που δίνεται από τη σχέση: $\lambda = \frac{r}{l}$.
- Η σχέση συμπίεσης « ε » η οποία είναι το πηλίκο του μέγιστου όγκου στο εσωτερικό του κυλίνδρου και του ελάχιστου που είναι ο νεκρός χώρος V_M και η οποία

$$\text{θα δίνεται από τη σχέση: } \varepsilon = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V + V_M}{V_M} = 1 + \frac{V}{V_M}.$$

- Η ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα που μπορεί να εκφραστεί σε στροφές αυτού ανά δευτερόλεπτο [$n \cdot \text{sec}^{-1}$] ή σε γωνιακή ταχύτητα « ω » εκφρασμένη σε ακτίνια το δευτερόλεπτο [$\text{rad} \cdot \text{sec}^{-1}$] ή [sec^{-1}] που δίνεται από τη

$$\text{σχέση: } \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \text{ με } n \text{ σε } [\text{στρ} \cdot \text{min}^{-1}].$$

- Η γωνιακή περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα « θ » εκφράζει τη γωνία που διαγράφει η περιστροφή του στροφάλου που μετρείται όταν το έμβολο βρίσκεται στο (Α.Ν.Σ) και θα δίνεται από τη σχέση: $\theta = \omega \cdot t = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot t$.

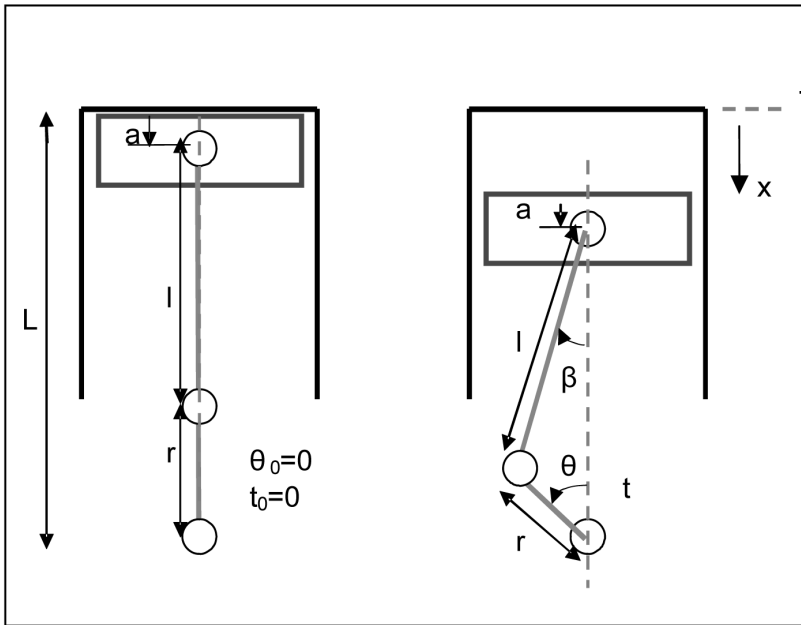
Επιλέγοντας ως αρχή του χρόνου τη στιγμή κατά την οποία το έμβολο βρίσκεται στο (Α.Ν.Σ) δηλαδή για $t = 0$ η γωνία $\theta = 0$. Με φορά περιστροφής του κινητήρα αυτή που φαίνεται στο σχήμα 3.1.

Μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει:

$$\begin{aligned}
 x(\theta) &= r \cdot \left\{ (1 - \sigma\upsilon\nu\theta) + \frac{1}{\lambda} \cdot (1 - \sigma\upsilon\nu\beta) \right\} = r \cdot \left\{ (1 - \sigma\upsilon\nu\theta) + \frac{1}{\lambda} \cdot (1 - \sqrt{1 - (\lambda\eta\mu\theta)^2}) \right\} = \\
 &= r \cdot \left\{ (1 - \sigma\upsilon\nu\theta) + \frac{1}{\lambda} \cdot (1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \eta\mu^2\theta^2}) \right\} \quad [1]
 \end{aligned}$$

$$x(\theta) = \frac{c}{2} \cdot \left\{ (1 - \sigma\upsilon\nu\theta) + \frac{1}{\lambda} \cdot (1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \eta\mu^2\theta^2}) \right\} \quad [2]$$

$$\frac{x}{c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (1 - \sigma\upsilon\nu\theta) + \frac{1}{\lambda} \cdot (1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \eta\mu^2\theta^2}) \right\} \quad [3]$$



Σχήμα 3.1: Κινηματικό ζεύγος διωστήρα – στροφαλοφόρου άξονα.

Παραγωγίζοντας τη σχέση [2] ως προς το χρόνο προσδιορίζεται η ταχύτητα του εμβόλου, πράγματι:

$$\frac{dx}{dt} = \omega \cdot \frac{c}{2} \cdot \left\{ \frac{\eta\mu\theta + \lambda \cdot \eta\mu 2\theta}{2 \cdot (1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \eta\mu^2\theta^2})} \right\} \quad [4]$$

Η επιτάχυνση του εμβόλου θα δίνεται από τη σχέση

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \omega^2 \cdot \frac{c}{2} \cdot \left\{ \frac{\sigma\upsilon\nu\theta + \lambda \cdot \sigma\upsilon\nu 2\theta}{(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \eta\mu^2\theta^2})} \right\} \quad [5]$$

Ο όγκος ο οποίος καταλαμβάνει το εργαζόμενο ρευστό σε συνάρτηση της γωνίας θ του στροφαλοφόρου άξονα. Ο στιγμιαίος όγκος στο εσωτερικό του κυλίνδρου θα απο-

τελείται από δυο όρους, ένα σταθερό που εκφράζει το νεκρό χώρο και ο άλλος είναι ανάλογος της μετατόπισης του εμβόλου $x(\theta)$:

$$V(\theta) = V_M + V_{\text{σεμβόλου}} \quad [6]$$

Ο νεκρός χώρος εκφράζεται σε συνάρτηση της σχέσης συμπίεσης ε :

$$\varepsilon = 1 + \frac{V}{V_M}$$

από την οποία προκύπτει:

$$V_M = \frac{V}{\varepsilon - 1} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot c}{4 \cdot (\varepsilon - 1)} \quad [7]$$

Ο όγκος που μεταβάλλεται με τη σχέση: $V_{\text{χεμβόλου}} = A_c \cdot x(\theta) = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot x(\theta)}{4}$

$$V(\theta) = V_M + V_{\text{χεμβόλου}} = \left\{ \frac{\pi \cdot d^2 \cdot c}{4 \cdot (\varepsilon - 1)} + \frac{\pi \cdot d^2 \cdot x(\theta)}{4} \right\} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \left\{ \frac{c}{(\varepsilon - 1)} + x(\theta) \right\}$$

και με την αντικατάσταση της [5] στην τελευταία προκύπτει:

$$V(\theta) = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \left\{ \frac{c}{(\varepsilon - 1)} + \frac{c}{2} \cdot \left[(1 - \sigma \nu \theta) + \frac{1}{\lambda} \cdot (1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \eta \mu^2 \theta}) \right] \right\} \quad [8]$$

4. Η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας των αερίων μαζών μέσα στον θάλαμο καύσης

Για να προσδιοριστεί η μεταβολή της θερμοκρασίας μέσα στο θάλαμο καύσης σε συνάρτηση της γωνίας του στροφαλοφόρου άξονα, θεωρείται ότι: η μάζα του ρευστού που περιέχεται στο κύλινδρο παραμένει σταθερή κατά τη χρονική διάρκεια ενός κύκλου έργου κατά την οποία οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κλειστές, είναι ομογενής τόσο στην κατανομή της θερμοκρασίας και στην χημική σύνθεση, σε αυτές τις συνθήκες θεωρείται ότι οι αέρια μάζες συμπεριφέρονται σαν ιδανικά αέρια, δηλαδή ισχύει:

$$P \cdot v = R \cdot T \quad \text{ή ακόμη} \quad P \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T \quad [9]$$

όπου P είναι η πίεση που επικρατεί μέσα στο θάλαμο καύσης

V_1 είναι ο στιγμιαίος διαθέσιμος όγκος

m είναι η μάζα του αερίου μείγματος

R είναι η σταθερά του αερίου μείγματος (αέρας, καύσιμο και παραμένοντα καυσαέρια), ίση με $287 \text{ [J} \cdot \text{Kg}_m^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

Η αρχή διατήρησης της ύλης θα εκφράζεται από τη σχέση:

$$m = m_b + m_a + m_r$$

με m μάζα σε μια τυχαία χρονική στιγμή

m_b η μάζα του καυσίμου

m_a η μάζα του εισερχομένου αέρα

m_r η μάζα των καυσαερίων που παραμένουν στον κύλινδρο μετά το τέλος της φάσης της εξαγωγής. Η συμμετοχή των λαμβάνεται ποσοτικά υπόψη από την παράμετρο « α' ». Αυτή ορίζεται από το πηλίκο της μάζας των παραμενοντων

$$\text{καυσαερίων προς τη μάζα του καυσίμου } \alpha' = \frac{m_r}{m_b}.$$

Αφού ληφθεί υπόψη το πηλίκο μείγματος $\alpha = \frac{m_a}{m_b}$ τότε θα ισχύει:

$$m = m_b + m_a + m_r = m_b + \alpha \cdot m_b + \alpha' \cdot m_b = m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \quad [10]$$

Από τη σχέση [9] προκύπτει:

$$T = \frac{P \cdot V_1}{m \cdot R} = \frac{P \cdot V_1}{m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \cdot R} \quad \text{ή ακόμη}$$

$$T(\theta) = \frac{P(\theta) \cdot V(\theta)}{m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \cdot R} \quad [11]$$

για το λόγο ότι η θερμοκρασία είναι συνάρτηση της γωνίας του στροφαλοφόρου άξονα επειδή και ο διαθέσιμος όγκος όσο και η πίεση εξαρτώνται απ' αυτήν.

Για το πηλίκο των ειδικών θερμοτήτων k , του μείγματος χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας με μεταβολή αυτού μόνο με τη θερμοκρασία:

$$k = \text{σταθερό}$$

$$k = A + B \cdot T$$

$$k = A + B \cdot T + C \cdot T^2$$

Για την περνούσα εργασία οι τιμές των σταθερών A , B , και C δίνονται από πίνακες των οποίων οι τιμές προσδιορίζονται πειραματικά, χρησιμοποιήθηκαν για παράδειγμα οι σχέσεις:

$$k = 1,392 + 8,13 \cdot 10^{-5} \cdot T \quad [12]$$

$$k = 1,357 - \left(\frac{0,037 \cdot \alpha_{st}}{\alpha} \right) - 1,036 \cdot 10^{-4} \cdot T + 2,5 \cdot 10^{-8} \cdot T^2$$

δείχνοντας με α_{st} το στοιχειομετρικό πηλίκο μείγματος που για το χρησιμοποιούμενο καύσιμο λαμβάνεται $\alpha_{st} = 14,6$.

5. Προσδιορισμός της θερμικής ενέργειας που ελευθερώνεται κατά την καύση

Στην παράγραφο αυτή θα προσδιοριστεί η πρόοδος της καύσης, δηλαδή ο νόμος που εκφράζει τη θερμότητα που παράγεται κατά την καύση του μείγματος, με βάση των τιμών της πίεσης που επικρατεί στο θάλαμο καύσης σε συνάρτηση της γωνίας θ του στροφαλοφόρου άξονα.

Στο σχήμα 5.1 θεωρείται ως σύστημα μελέτης, για την επίλυση του αυτού θερμοδυναμικού προβλήματος, το αέριο μείγμα που περιέχεται στο θάλαμο καύσης.

Με την υπόθεση ότι το καύσιμο μείγμα είναι ομογενές, καθώς επίσης και ότι οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας είναι ομοιόμορφα κατανομημένες, παρόλο που βρίσκεται σε εξέλιξη η καύση του μείγματος, εφαρμόζεται η αρχή διατήρησης της ενέργειας στο προς μελέτη σύστημα που θεωρείται κλειστό (μέθοδος Langrange) μεταξύ αρχής και τέλους της καύσης.

Για μια τυχούσα θέση του στροφαλοφόρου άξονα θ , η ροή της θερμότητας που ελευθερώνεται από τις χημικές αντιδράσεις οξείδωσης $\left(\frac{dU_{ch}}{d\theta}\right)$ και η ποσότητα ενέργειας που οφείλεται στη μάζα των αερίων που εισέρχεται στο σύστημα δια μέσου της επιφάνειας ελέγχου του $\left(\sum_i \left(h_i \cdot \frac{dm_i}{d\theta}\right)\right)$, προκαλούν στο σύστημα: μια μεταβολή της εσωτερικής του ενέργειας $\left(\frac{dU}{d\theta}\right)$, την παραγωγή ενός μηχανικού έργου στο εξωτερικό χώρο αυτού δια μέσου του εμβόλου $\left(\frac{dL_c}{d\theta}\right)$ καθώς και μιας απώλειας από τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης $\left(\frac{dQ_{ht}}{d\theta}\right)$, γράφεται η σχέση:

$$\frac{dU_{ch}}{d\theta} + \sum_i h_i \cdot \frac{dm_i}{d\theta} = \frac{dU}{d\theta} + \frac{dL_c}{d\theta} + \frac{dQ_{ht}}{dt} \quad [13]$$

Η σχέση αυτή ισχύει τόσο για τους κινητήρες με ελεγχόμενη έναυση της καύσης όσο και για εκείνους με έναυση της καύσης με συμπίεση.

Παρατηρείται ότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται από την ακρίβεια με την οποία προσδιορίζονται οι όροι της σχέσης [13].

Θεωρώντας ότι η μάζα του συστήματος παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια του φαινομένου της καύσης, ο όρος $\frac{dm_i}{d\theta}$ είναι μηδενικός $\left(\frac{dm_i}{d\theta} = 0\right)$, προκύπτει ότι:

$$\frac{dU_{ch}}{d\theta} = \frac{dU}{d\theta} + \frac{dL_c}{d\theta} + \frac{dQ_{ht}}{d\theta} \quad [14]$$

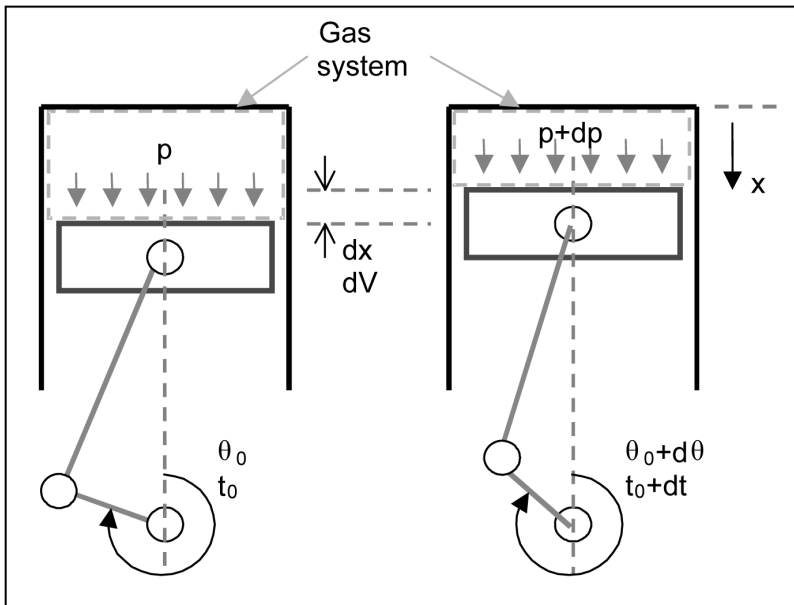
Αυτή η σχέση μπορεί να εκφράζει τον νόμο προόδου του φαινομένου της καύσης, δηλαδή της θερμικής ενέργειας που παράγεται σε αυτή και που συμβολίζεται ως HRR (HRR: Heat Release Rate). Το HRR δείχνει την ταχύτητα με την οποία μετατρέπεται η χημική ενέργεια που περιέχεται στο καύσιμο στις άλλες μορφές ενέργειας που περιγράφονται πιο πάνω.

Ο πρώτος όρος του δεύτερου σκέλους της σχέσης [14] γράφεται:

$$\frac{dU}{d\theta} = m \cdot C_v \cdot \frac{dT}{d\theta} + C_v \cdot T \cdot \frac{dm}{d\theta} \quad \text{επειδή} \quad \frac{dm}{d\theta} = 0 \quad \text{προκύπτει:}$$

$$\frac{dU}{d\theta} = m \cdot C_v \cdot \frac{dT}{d\theta} \quad [15]$$

όπου C_v είναι η ειδική θερμότητα του μείγματος υπό σταθερό όγκο.



Σχήμα 5.1: Σύστημα πάνω στο οποίο εφαρμόζεται η αρχή διατήρησης της ενέργειας για τον προσδιορισμό της ενέργειας που παράγεται κατά τη καύση.

Ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας των αερίων μαζών μέσα στο κύλινδρο υπολογίστηκε από τη σχέση [11] η οποία ξαναγράφεται:

$$T(\theta) = \frac{P(\theta) \cdot V(\theta)}{m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \cdot R} \quad \text{και}$$

$$\frac{dT(\theta)}{d\theta} = \frac{P}{m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \cdot R} \cdot \frac{dV(\theta)}{d\theta} + \frac{V}{m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \cdot R} \cdot \frac{dP(\theta)}{d\theta} \quad [16]$$

Αντικαθιστώντας την τελευταία στην [15] προκύπτει:

$$\frac{dU}{d\theta} = m \cdot C_v \cdot \left(\frac{P}{m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \cdot R} \cdot \frac{dV(\theta)}{d\theta} + \frac{V}{m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \cdot R} \cdot \frac{dP(\theta)}{d(\theta)} \right) \quad [17]$$

Το έργο που παράγει το σύστημα στον εξωτερικό χώρο L_e αυτού θα δίνεται από τη σχέση [18]:

$$L_e = \iint_{A_s} \bar{\Pi} \cdot dA \times ds = \iint_{A_x} P \cdot dA \times dx = \int_0 P(\theta) \cdot dV$$

όπου $\bar{\Pi}$ είναι ο τανιστής πρώτου βαθμού (3) και ως εκ τούτου $dL_e = P \cdot dV$ και παραγωγίζοντας ως προς $d\theta$:

$$\frac{dL_e}{d\theta} = P \cdot \frac{dV}{d\theta} \quad [18]$$

παρατηρείται ότι στην τελευταία σχέση η πίεση P και ο όγκος dV αφορούν στιγμιαίες τιμές στο εσωτερικό του επιλεγέντος συστήματος μελέτης.

Αθροίζοντας τις σχέσεις [17] και [18] προκύπτει:

$$\begin{aligned} \frac{dU}{d\theta} + \frac{dL_e}{d\theta} &= m \cdot C_v \cdot \left(\frac{P}{m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \cdot R} \cdot \frac{dV(\theta)}{d\theta} + \frac{V}{m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \cdot R} \cdot \frac{dP(\theta)}{d(\theta)} \right) + \\ &+ p \cdot \frac{dV}{d\theta} \end{aligned}$$

$$\frac{dU}{d\theta} + \frac{dL_e}{d\theta} = \left(\frac{P \cdot m \cdot C_v}{m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \cdot R} \cdot \frac{dV(\theta)}{d\theta} + \frac{V \cdot m \cdot C_v}{m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \cdot R} \cdot \frac{dP(\theta)}{d(\theta)} \right) + p \cdot \frac{dV}{d\theta}$$

$$\begin{aligned} \frac{dU}{d\theta} + \frac{dL_e}{d\theta} &= \left(\frac{P \cdot C_v}{R} \cdot \frac{dV(\theta)}{d\theta} + \frac{V \cdot C_v}{R} \cdot \frac{dP(\theta)}{d(\theta)} \right) + p \cdot \frac{dV}{d\theta} = P \cdot \frac{dV}{d\theta} \cdot \left(\frac{C_v}{R} + 1 \right) + \\ &+ V \cdot \frac{C_v}{R} \cdot \frac{dP}{d\theta} \end{aligned} \quad [19]$$

Έχοντας: $R = C_p - C_v$ και $k = \frac{C_p}{C_v}$ προκύπτει:

$$\frac{C_v}{R} = \frac{C_v}{C_p - C_v} = \frac{1}{\frac{C_p - C_v}{C_v}} = \frac{1}{\frac{C_p}{C_v} + 1} = \frac{1}{k - 1}$$

Η σχέση παραγόμενης θερμοότητας HRR γίνεται:

$$HRR = \frac{dU_{ch}}{d\theta} = \frac{dU}{d\theta} + \frac{dL_e}{d\theta} + \frac{dQ_{ht}}{d\theta}$$

$$\begin{aligned} \text{HRR} &= P \cdot \frac{dV}{d\theta} \cdot \left(\frac{C_v}{R} + 1 \right) + V \cdot \frac{C_v}{R} \cdot \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{ht}}{d\theta} = P \cdot \frac{dV}{d\theta} \cdot \left(\frac{1}{\kappa - 1} + 1 \right) + V \cdot \frac{1}{\kappa - 1} \cdot \frac{dP}{d\theta} + \\ &+ \frac{dQ_{ht}}{d\theta} \\ \text{HRR} &= P \cdot \frac{dV}{d\theta} \cdot \left(\frac{1}{\kappa - 1} + 1 \right) + V \cdot \frac{1}{\kappa - 1} \cdot \frac{dP}{d\theta} = P \cdot \frac{dV}{d\theta} \cdot \left(\frac{\kappa}{\kappa - 1} \right) + V \cdot \frac{1}{\kappa - 1} \cdot \frac{dP}{d\theta} + \\ &+ \frac{dQ_{ht}}{d\theta} \end{aligned} \quad [20]$$

Για τον προσδιορισμό των θερμικών απωλειών από τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης δημιουργήθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο, με την υπόθεση ότι έχει αποκατασταθεί κανονική σταθερή λειτουργία του κινητήρα, του τύπου:

$$\frac{dQ_{ht}}{d\theta} = S \cdot h \cdot (T - T_p) \quad [21]$$

δείχνοντας με $\frac{dQ_{ht}}{d\theta}$ τη θερμότητα που εναλλάχτηκε με τα τοιχώματα σε συνάρτηση της γωνίας θ του στροφαλοφόρου άξονα, με h τον στιγμιαίο συντελεστή μετάδοσης της θερμότητας, με S το εμβαδόν της εσωτερικής επιφάνειας του κυλίνδρου όπου στιγμιαία επιδρούν τα καυσάεα, με T η θερμοκρασία των αερίων μαζών και T_p η θερμοκρασία των τοιχωμάτων του κυλίνδρου, η οποία λαμβάνεται, για λόγους απλούστευσης, σταθερή με τη γωνία θ περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα. Η θερμοκρασία αυτή δεν είναι ομοιόμορφη για τις επιφάνειες που περιβάλλουν το θάλαμο καύσης. Στην εφαρμογή αυτές διακρίνονται σε τρεις περιοχές που σε κάθε μία η θερμοκρασία θεωρείται ομογενής: η κεφαλή (περίπου 550 [K]) το έμβολο (περίπου 500 [K]) και ο κύλινδρος (περίπου 400 [K]). Συνήθως η μορφή που έχουν οι επιφάνειες της κεφαλής και του εμβόλου καθιστούν δύσκολο τον υπολογισμό του αντιστοίχου εμβαδού της επιφάνειας εναλλαγής της θερμότητας όπου εφάπτονται οι αέριες μάζες, για το λόγο αυτό θεωρείται ότι αυτές έχουν εμβαδόν ίσο με εκείνη την επιφάνεια που έχει διάμετρο ίση με τη διάμετρο του κυλίνδρου. Στη συνέχεια γίνεται διόρθωση των αποτελεσμάτων με διάφορους συντελεστές μορφής. Η επιφάνεια του κυλίνδρου, αντίθετα, μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του ενδεικνυόμενου κύκλου έργου σε συνάρτηση της θέσης του εμβόλου και του κινηματικού μηχανισμού διωστήρα – στροφαλοφόρου άξονα του κάθε κινητήρα.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή μετάδοσης της θερμότητας h , που προσδιορίζεται με δυσκολία, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που βασίζονται στο να θεωρηθεί ότι το αέριο εργαζόμενο ρευστό κινείται με τυρβώδη ροή και ότι έχουν αποκατασταθεί οι συνθήκες σταθερότητας της κίνησης αυτής. Με αυτές τις υποθέσεις επιτρέπεται να συνδεθούν μεταξύ τους οι αριθμοί των Nusselt και Reynolds με τη σχέση:

$$N_u = c_0 \cdot R_e^2 \quad [22]$$

Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο υπολογισμού του h που έχει προτείνει ο Woschni (15). Αυτό το μοντέλο προσδιορίζει το συντελεστή h σε συνθήκες βεβιασμένης συναγωγής και αυξανόμενης της τιμής του για να ληφθεί υπόψη το μέρος που μεταδίδεται με ακτινοβολία. Η σχέση υπολογισμού κατά τον Woschni είναι:

$$h = C \cdot d^{n-1} \cdot p^n \cdot w^n \cdot T^{0.75-1.62n} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad [23]$$

Ο όρος « w » λαμβάνει υπόψη του την τυρβώδη ροή που προκαλείται από την καύση. Ειδικά ο όρος αυτός του Woschni (15) είναι μια χαρακτηριστική ταχύτητα που αποτελείται από δύο μέρη, ένα που θεωρεί τη μέση ταχύτητα του εμβόλου και ειδικότερα έχει να κάνει με την ταχύτητα που είναι συνδεδεμένη με το βαθμό «swirl» του κινητήρα, το άλλο αναφέρεται στην τυρβώδη ροή που οφείλεται στην καύση. Αυτή η επιπλέον τυρβώδη ροή λαμβάνεται υπόψη δια μέσου της διαφοράς μεταξύ της πίεσης που μετρείται μέσα στο θάλαμο καύσης και της πίεσης που μετρείται όταν ο κινητήρας περιστρέφεται δίχως να υπάρχει καύση.

Από τη σχέση [23] προκύπτουν άλλες που συναντώνται στη βιβλιογραφία. Από αυτές θεωρήθηκαν χρήσιμες αυτή που πρότεινε ο Gatowski (9) [24] και αυτή που πρότεινε ο Heywood (10) [26]:

$$h = 1,31 \cdot C_1 \cdot d[m]^{0,2} \cdot p[atm]^{0,8} \cdot T[K]^{0,53} \cdot w \left[\frac{m}{s} \right]^{0,8} \quad [24]$$

$$\text{με} \quad w = 2,28 \cdot \left(u \left[\frac{m}{s} \right] + 3,24 \cdot 10^{-3} \cdot C_2 \cdot \frac{V_{disp} \cdot T_{IVC} \cdot (p_f - p_m)}{V_{IVC} \cdot P_{IVC}} \right) \quad [25]$$

όπου C_1 και C_2 είναι σταθερές και από εμπειρία προτείνονται τιμές ίσες με τη μονάδα.

$$h = 3,26 \cdot C_1 \cdot d[m]^{n-1} \cdot p[KPa]^n \cdot T[K]^{0,75-1,62n} \cdot w \left[\frac{m}{s} \right]^n \quad [26]$$

$$\text{με} \quad w = 2,28 \cdot \left(u \left[\frac{m}{s} \right] + u_{swirl} \left[\frac{m}{s} \right] + 3,24 \cdot 10^{-3} \cdot C_2 \cdot \frac{V_{disp} \cdot T_{IVC} \cdot (p_f - p_m)}{V_{IVC} \cdot P_{IVC}} \right) \quad [27]$$

Οι σταθερές C_1 και C_2 εδώ θα κυμαίνονται μεταξύ 0,7 και 1,3.

Στις προηγούμενες μαθηματικές σχέσεις « p_f » είναι η μετρούμενη πίεση στο θάλαμο καύσης, παρουσία αυτής (firing), και « p_m » είναι η πίεση που επικρατεί στο θάλαμο καύσης δίχως την παρουσία του φαινομένου αυτής (motored). Τα μεγέθη « T_{IVC} », « P_{IVC} » και « V_{IVC} » αφορούν θερμοκρασίες, πιέσεις και όγκους σχετικούς σε μια χρονική στιγμή του κύκλου του κινητήρα που περιέχεται μεταξύ του κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής και της αρχής της καύσης, για παράδειγμα ακριβώς τη στιγμή του κλεισίματος της βαλβίδας (Intake Valve Closing)· « V_{disp} » είναι ο όγκος που δημιουργεί το έμβολο κατά την κίνησή του, δηλαδή ο κυβισμός ενός κυλίνδρου.

Φυσικά η πίεση « p_m » υπολογίζεται δια μέσου μιας πολυτροπικής θερμοδυναμικής μεταβολής της οποίας ο εκθέτης προσδιορίζεται πειραματικά.

Για την τιμή του εκθέτη « n » που παρουσιάζεται στη σχέση [26] αυτός λαμβάνεται ίσος με 0,8.

Από τα πιο πάνω προσδιορίστηκε η μαθηματική σχέση της HHR η οποία θα έχει τη μορφή:

$$\text{HHR} = \frac{dU_{ch}}{d\theta} = P \cdot \frac{dV}{d\theta} \cdot \left(\frac{k}{k-1} \right) + V \cdot \frac{1}{k-1} \cdot \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{ht}}{d\theta} \quad [28]$$

Ολοκληρώνοντας το HHR ως προς τη γωνία περιστροφής θ του στροφαλοφόρου άξονα προκύπτει η συσσώρευση όλης της θερμικής ενέργειας που παράχθηκε από τη μετατροπή της χημικής ενέργειας από το φαινόμενο της καύσης.

Είναι ανάγκη να προσδιοριστεί με προσοχή το σημείο κατά το οποίο θα αρχίσει η ολοκλήρωση. Θεωρητικά, πράγματι, η χημική ενέργεια που ελευθερώνεται θα πρέπει να είναι ίση με το μηδέν μέχρι τη στιγμή που θα αρχίσει η καύση. Όμως, η παρουσία πολλών ενοχλητικών σημάτων στο κυρίως σήμα της πίεσης, που συνοδεύεται προφανώς από την εισαγωγή αβεβαιοτήτων, και η παρουσία σφαλμάτων που μπορούν να παρουσιαστούν κατά τη διάρκεια λήψης αυτού, μπορούν να δώσουν μη μηδενικές τιμές στο HHR, ακόμη, και στις στιγμές που δεν υπήρχε το φαινόμενο της καύσης. Η μεταβολή στο χρόνο του σήματος της πίεσης οφείλεται από αυτά τα παρασιτικά σήματα. Πράγματι, ένα μέρος αυτών τείνει να εξουδετερωθεί μεταξύ των, με αποτέλεσμα να έχουν επίδραση πάνω στο νόμο ελευθέρωσης της θερμικής ενέργειας και στην ολοκλήρωση αυτής.

Για την εξουδετέρωση αυτών των παρεμβολών θα πρέπει να γίνει η ολοκλήρωση μόνο από τη στιγμή κατά την οποία το φαινόμενο της καύσης έχει ήδη αρχίσει, για παράδειγμα, αμέσως μετά την αρχή της καύσης ή αμέσως μετά την αρχή της έγχυσης του καυσίμου.

Αφού κατασκευαστεί το γράφημα της συσσωρευμένης θερμικής ενέργειας, είναι δυνατόν να γίνει η επεξεργασία αυτού με διάφορους τρόπους, φέροντας στην επιφάνεια μερικά χαρακτηριστικά μεγέθη. Για παράδειγμα, με στόχο να προσδιοριστεί η ταχύτητα και η γωνιακή διάρκεια του φαινομένου της καύσης στο εσωτερικό του ενδεικνυόμενου κύκλου έργου, συχνά τυποποιείται η καμπύλη που δείχνει τη συσσώρευση της χημικής ενέργειας που ελευθερώθηκε ως προς την μέγιστη τιμή αυτής. Με την υπόθεση ότι κάθε μόριο του καυσίμου ελευθερώνει, καιγόμενο, το ίδιο ποσό ενέργειας (αν και στην πραγματικότητα η θερμογόνο δύναμη μεταβάλλεται μετά της θερμοκρασίας), δια μέσου αυτής της τυποποίησης προσδιορίζεται σε πρώτη προσέγγιση η μεταβολή του μέρους της μάζας του καυσίμου μείγματος που έχει ήδη καεί.

Για να προσδιοριστεί η ταχύτητα και η θέση που βρίσκεται η καύση γίνεται αναφορά μόνο σε συγκεκριμένα σημεία της τυποποιημένης με αυτόν τον τρόπο αρχικής καμπύλης. Ειδικότερα, προσδιορίζονται οι γωνίες θ του στροφαλοφόρου άξονα στις οποίες αντιστοιχούν: το 10% μάζας που κάηκε (αρχή της καύσης), το 50% και το 90%

(τέλος καύσης). Το γωνιακό διάστημα μεταξύ 10% και 90% δίνει πληροφορίες για τη χρονική διάρκεια και τη ταχύτητα της καύσης. Η γωνία του στροφαλοφόρου άξονα που αντιστοιχεί στο 50%, αντίθετα, λαμβάνεται σα δείκτης της θέσης του φαινομένου της καύσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου και είναι ένα από τα σημεία αναφοράς για την απόφαση εάν θα πρέπει να πραγματοποιηθεί παρέμβαση στην προπορεία ή στην καθυστέρηση της έναρξης του φαινομένου της καύσης.

Από την καμπύλη που προκύπτει από την ολοκλήρωση του νόμου απελευθέρωσης ενέργειας HHR είναι δυνατόν να βγουν και άλλα συμπεράσματα, όπως για παράδειγμα εάν έχει ολοκληρωθεί ή όχι το φαινόμενο της καύσης. Από το καύσιμο που εισάγεται στο θάλαμο καύσης για κάθε κύκλο έργου και για κάθε κύλινδρο, είναι γνωστά τόσο η μάζα του καυσίμου « m_b » όσο και η τιμή της κατώτερης θερμογόνου δύναμης υπό σταθερό όγκο του καυσίμου « H_i ». Το γινόμενο της μάζας του καυσίμου που εισήχθη στον θάλαμο καύσης επί τη θερμογόνο δύναμη αυτού, παριστάνει τη μέγιστη τιμή της ενέργειας που το καύσιμο μπορεί να ελευθερώσει στην ιδανική περίπτωση της τέλει καύσης των διαφόρων χημικών ενώσεων που συμμετέχουν στο φαινόμενο αυτής (κανονικά θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η «εξέργεια» της μάζας του καυσίμου μείγματος που εισέρχεται στο σύστημα μελέτης. Επειδή η διαφορά του μεγέθους της «εξέργειας» και του γινομένου $m_b \cdot H_i$ είναι πολύ μικρή, δίνει τη δυνατότητα στο γινόμενο $m_b \cdot H_i$ να χρησιμοποιηθεί ως ποσό της εισερχόμενης χημικής ενέργειας στο σύστημα).

Μια δυνατή τυποποίηση της καμπύλης, που παριστάνει τη συσσωρευμένη χημική ενέργεια που ελευθερώθηκε, μπορεί να γίνει ως προς την τιμή « $m_b \cdot H_i$ ». Σε αυτήν την περίπτωση όμως πολύ δύσκολα η ολοκληρωμένη καμπύλη θα μπορούσε να φτάσει στη τιμή ένα, που σημαίνει ότι όλο το ποσό της χημικής ενέργειας που θεωρητικά εισήχθη με το καύσιμο δε μετατράπηκε σε θερμική ενέργεια. Θεμελιώνεται έτσι η έννοια του βαθμού απόδοσης της καύσης, που ορίζεται από το πηλίκο μεταξύ της θερμικής ενέργειας που ελευθερώθηκε και της εισαγόμενης χημικής ενέργειας στο σύστημα. Με αναφορά σε αυτό το βαθμό απόδοσης « η_b », το ολοκλήρωμα μπορεί να πάρει ως μέγιστη τιμή « $\eta_b \cdot m_b \cdot H_i$ ».

6. Μεθοδολογία αριθμητικής ανάλυσης

Οι μαθηματικές σχέσεις του μαθηματικού μοντέλου που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα μπορούν να επιλυθούν με την εφαρμογή της αριθμητικής ανάλυσης δια μέσου:

- Της διαίρεσης των περιοχών που αποτελούν το επιλεγέν σύστημα ελέγχου σε ένα πεπερασμένο αριθμό ζωνών προκαθορισμένης μορφής, που φέρουν το όνομα: όγκοι ή στοιχεία, ανάλογα με τη μεθοδολογία που εφαρμόζεται και που μαζί με τους αντίστοιχους κόμβους αποτελούν το πλέγμα του υπολογισμού.
- Η επιλογή των διαφορικών εξισώσεων στο πλέγμα του υπολογισμού, δια μέσου

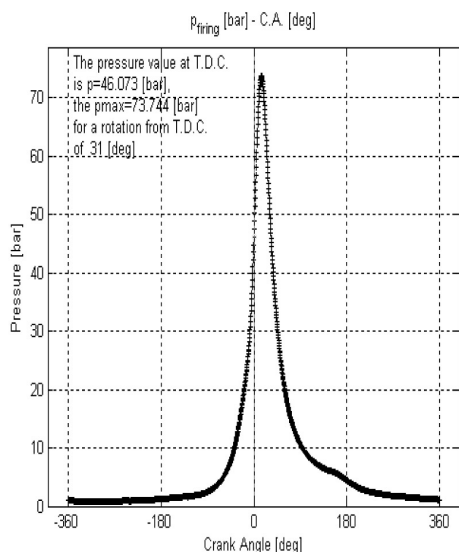
μιας κανονικής ολοκλήρωσης και μιας προσέγγισης στο περιβάλλον του κάθε όγκου (ή του κάθε στοιχείου), έτσι ώστε να μετατραπεί σε ένα σύστημα απλών αλγεβρικών εξισώσεων.

- c) Η λύση αυτού του συστήματος των αλγεβρικών εξισώσεων που δεν είναι γραμμικές, που συνδέουν τις τιμές των εξαρτημένων μεταβλητών στους κόμβους με τη χρήση ενός κατάλληλου για τον σκοπό αυτόν αριθμητικού αλγορίθμου.
- d) Της χρήσης κωδικών μαθηματικών μοντέλων επίλυσης συστημάτων διαφορικών εξισώσεων.

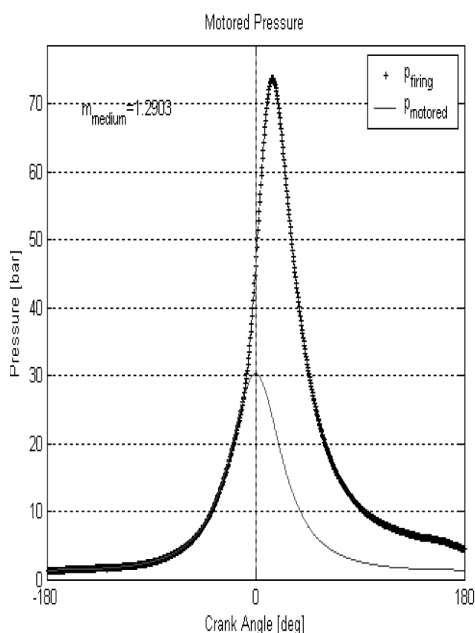
Είναι φανερό ότι τα αποτελέσματα θα πρέπει να επαληθεύονται από τα πειραματικά δεδομένα που προκύπτουν από δοκιμές πάνω σε κινητήρες.

Στην περίπτωση αυτή εφαρμόστηκε αλγόριθμος επίλυσης των προτεινόμενων διαφορικών εξισώσεων με πρόγραμμα που προτάθηκε από το Εργαστήριο Μηχανών Εσωτερικής καύσης του Τ.Ε.Ι. Πειραιά γραμμένο με το υπολογιστικό πλαίσιο Matlab (15). Το συγκεκριμένο πρόγραμμα εφαρμόστηκε σε πειραματικές μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν πάνω σε συγκεκριμένους κινητήρες χρησιμοποιώντας για τη λήψη αυτών πιεζοηλεκτρικούς μετατροπείς τοποθετημένους στους σπινθηριστές.

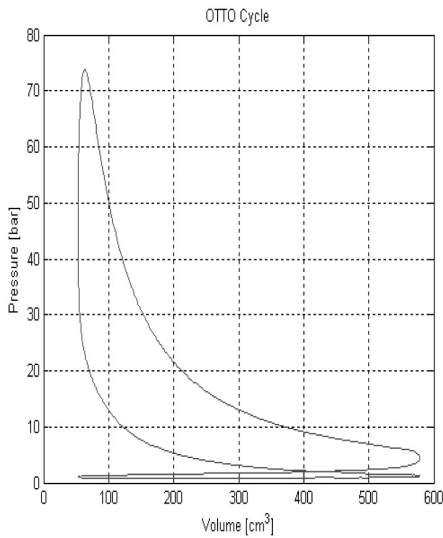
Το ολοκληρωμένο πρόγραμμα (16) που εφαρμόστηκε με τις πιο πάνω πειραματικές μετρήσεις έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα μέρος των οποίων φαίνονται πιο κάτω:



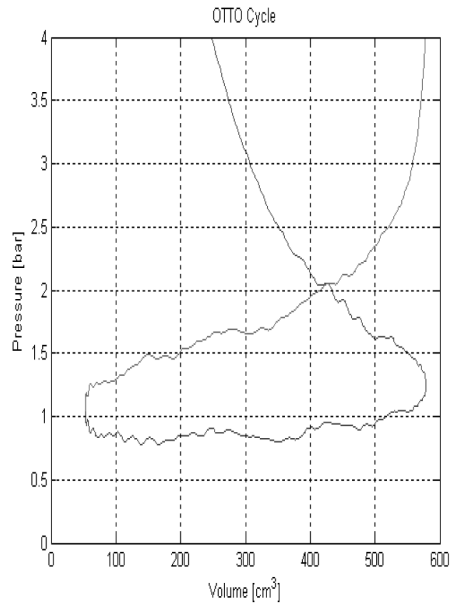
Σχήμα 6.1: Διάγραμμα $P_{firing} - C.A.$ (4244 $[cm^3]$ – 6500 $[rpm]$ – W.O.T.).



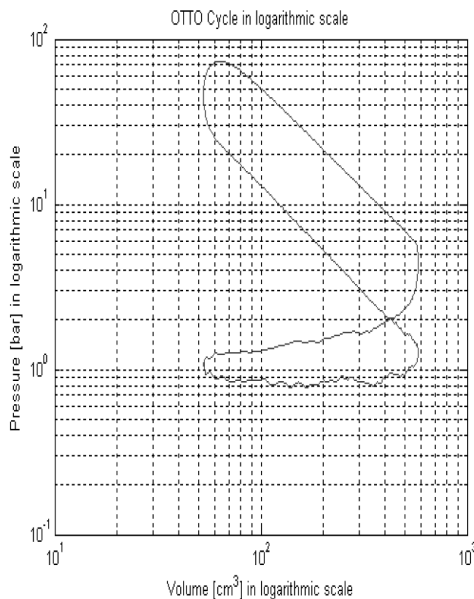
Σχήμα 6.2: Διάγραμμα $P_{firing} - P_{motored}$ (4244 $[cm^3]$ – 6500 $[rpm]$ – W.O.T.).



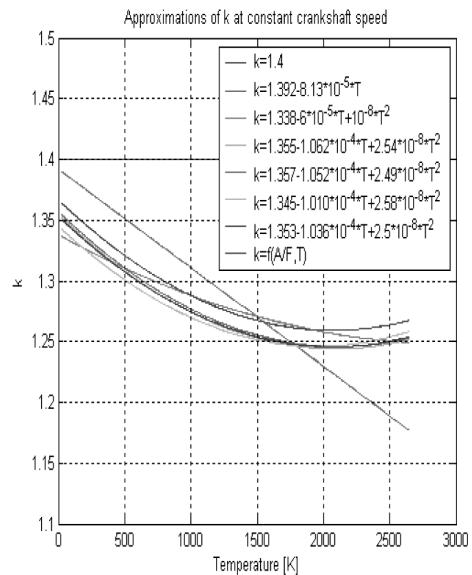
Σχήμα 6.3: Διάγραμμα ενδεικνυόμενου κύκλου (4244 [cm³] – 6500 [rpm] – W.O.T.).



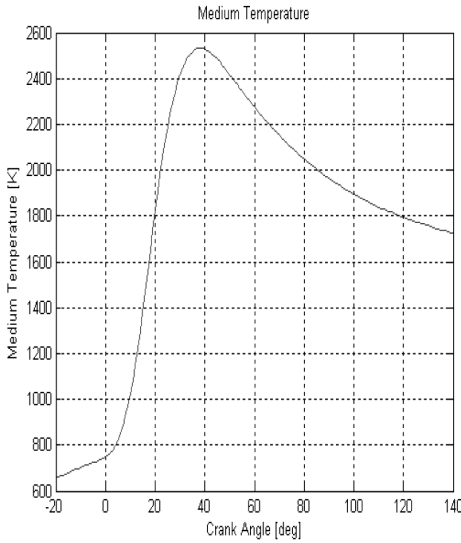
Σχήμα 6.4: Κύκλος ΟΤΤΟ – αλλαγή ρευστού (4244 [cm³] – 6500 [rpm] – W.O.T.).



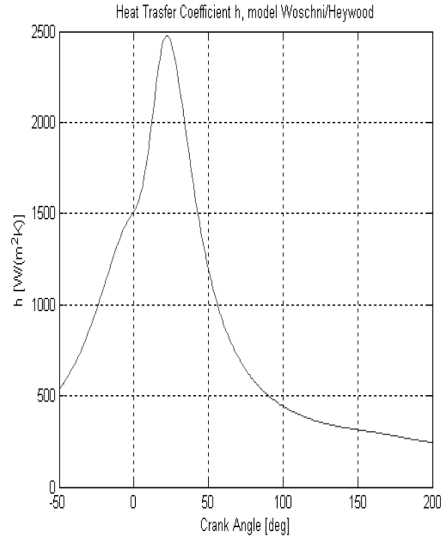
Σχήμα 6.5: Κύκλος ΟΤΤΟ – διπλό λογαριθμικό διάγραμμα (4244 [cm³] – 6500 [rpm] – W.O.T.).



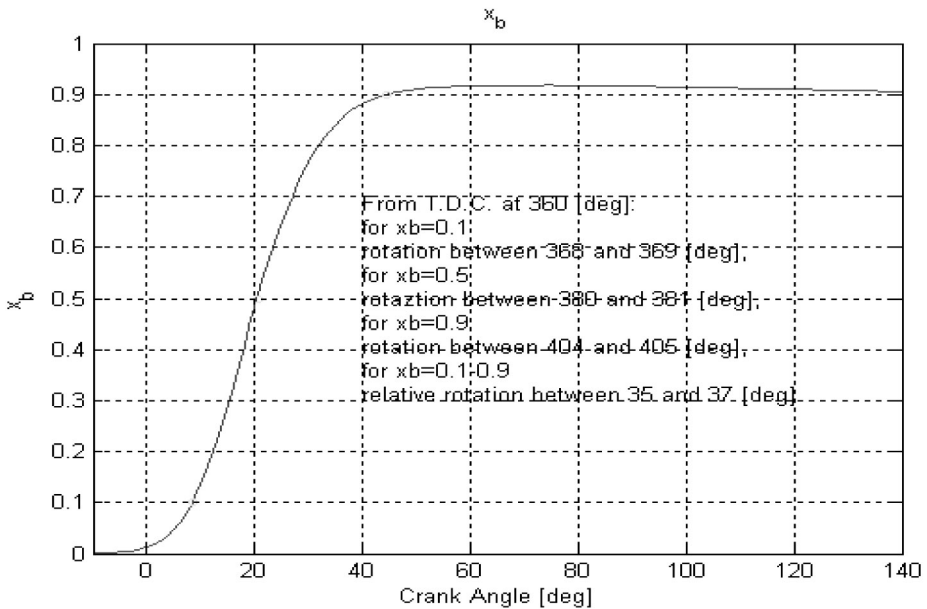
Σχήμα 6.6: Διάγραμμα πηλίκου k – Θερμοκρασίας (4244 [cm³] – 6500 [rpm] – W.O.T.).



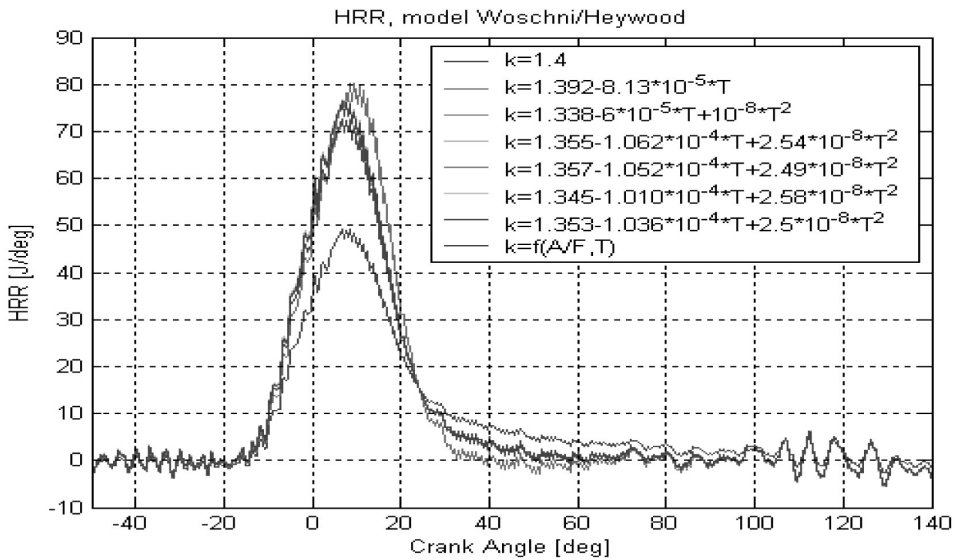
Σχήμα 6.7: Διάγραμμα θερμοκρασίας – C.A. (4224 [cm³] – 6500 [rpm] – W.O.T.).



Σχήμα 6.8: Διάγραμμα του h – C.A. (4244 [cm³] – 6500 [rpm] – W.O.T)



Σχήμα 6.9: Διάγραμμα x_b – C.A. (1242 cm³ – 4750 rpm – W.O.T.)



Σχήμα 6.10: Διάγραμμα HHR – C.A. ($4244 [cm^3] - 6500 [rpm] - W.O.T$)

7. Προοπτικές

Το ηλεκτρικό σήμα της πίεσης που προέρχεται από το εσωτερικό του θαλάμου καύσης δεν είναι μόνο χρήσιμο για την ανάλυση του ενδεικνυόμενου κύκλου έργου των παλινδρομικών κινητήρων. Μπορεί επίσης να είναι άλλο τόσο χρήσιμο αφού επεξεργαστεί με διάφορες μεθοδολογίες για να δώσει πληροφορίες όπως, στατιστικές επεξεργασίες πάνω σε ένα αριθμό ενδεικνυόμενων κύκλων έργου, τα αποτελέσματα των οποίων μπορούν να δείξουν τη μεταβλητότητα του φαινομένου της καύσης με στόχο τη ρύθμιση του κινητήρα έτσι ώστε να παραχθεί ο καλύτερος κύκλος.

Πολλές δοκιμές δείχνουν, ότι όταν ένας κινητήρας εργάζεται σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας με σταθερό αριθμό στροφών, ένας κύκλος έργου ποτέ δεν επαναλαμβάνεται ο ίδιος με τον προηγούμενο δημιουργώντας έτσι το γνωστό φαινόμενο της «κυκλικής διασποράς».

Η στατιστική ανάλυση των σημάτων της πίεσης θα μπορούσε να προσδιορίσει τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ του ενός κύκλου και του προηγούμενου για ότι αφορά, για παράδειγμα, την πρόοδο της καύσης. Θα μπορούσε επίσης να προσδιοριστεί η μέγιστη μεταβλητότητα της γωνίας θ για την οποία έχει καεί το 50% του καυσίμου ή ακόμη το γωνιακό τόξο μεταξύ του 10 και του 90% του καυσίμου που έχει καεί. Με βάση αυτών των αποτελεσμάτων είναι δυνατόν να γίνει επέμβαση τόσο στη φάση της μελέτης και κατασκευής όσο και για τη ρύθμιση του κινητήρα.

8. Συμπεράσματα

Η μεταβολή της πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου στους παλινδρομικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης και η ανάλυση αυτού μπορεί να δώσει μια σε βάθος γνώση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα κατά τη δημιουργία του ενδεικνυόμενου κύκλου έργου. Το ενδιαφέρον αυτών των πληροφοριών δικαιολογεί την εξέλιξη των διαφόρων μεθοδολογιών που κατά καιρούς εφαρμόστηκαν σχετικά.

Η προσομοίωση του φαινομένου της καύσης δίνει τη ευκαιρία για την ανάπτυξη διαφόρων αλγόριθμων χρησιμοποιώντας σύγχρονους υπολογιστικούς μεθόδους όπως για παράδειγμα εκείνων που προσφέρει το υπολογιστικό πλαίσιο MatLab. Η εφαρμογή αυτών των αλγόριθμων μπορεί δώσουν πληροφορίες όπως, για παράδειγμα, η μέγιστη τιμή της πίεσης και η θέση του στροφαλοφόρου άξονα που επιτυγχάνεται αυτή, μπορούν επίσης να συμβάλλουν να πραγματοποιηθεί μια σε βάθος ανάλυση του ενδεικνυόμενου κύκλου με στόχο τον προσδιορισμό μερικών βασικών μεγεθών σχετικά με τη λειτουργία του. Η εφαρμογή των μηχανισμών που μεταβάλλουν το εσωτερικό χρονισμό του κινητήρα είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα των κινητήρων μεταβλητού χρονισμού είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα που οφείλεται στη μελέτη του ενδεικνυόμενου κύκλου έργου του κινητήρα.

Η πρόταση αυτή έδωσε την ευκαιρία να αναπτυχθεί ένας αξιόπιστος αλγόριθμος με βάση το υπολογιστικό πλαίσιο MatLab με ιδιαίτερη προσοχή στην ανάλυση του φαινομένου της καύσης που αφορά το ποσό της θερμότητας που ελευθερώνεται κατά τη διάρκεια αυτής. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί με σημαντικά αποτελέσματα και στους δύο τύπους των παλινδρομικών κινητήρων εσωτερικής καύσης.

Η μέτρηση της πίεσης εντός του κινητήρα και η επεξεργασία των σημάτων αυτών σε πραγματικό χρόνο αποτελεί την εξέλιξη της πρότασης αυτής με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η ρύθμιση του κινητήρα είτε αυτόματα είτε με την παρέμβαση του οδηγού ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.

Βιβλιογραφία

1. AVL 670 Indimaster/660 Indistation, Operating Instructions. 1997.
2. Βλάχος Γ. Θ.- Κουτσογεώργης Χ., «Μελέτη του ενδεικνυόμενου κύκλου στους Κινητήρες Εσωτερικής Καύσης» Πανελλήνιο Συνέδριο Μηχανολόγων – Ηλεκτρολόγων, 16-17-18 Μαΐου 2007, Αθήνα.
3. Βλάχος Γεώργιος, «Μηχανές Εσωτερικής Καύσης. Θεωρία και πράξη». Τόμος Ι Εφαρμοσμένη θερμοδυναμική στις Μ.Ε.Κ, Προοπτική 2002.
4. Brunt M. F. J. - LucasG. G., «The effect of Crank Angle Resolution on Cylinder Pressure Analysis». SAE 910041, 1991.
5. Brunt M. F. J. - Emtage A. L., «Evaluation of Burn Rate Routines and Analysis Errors». SAE 970037, 1997.
6. Brunt M. F. J. - H. Rai H., - Emtage A. L. «The Calculation of Heat Release Energy from engine Cylinder Pressure Data». SAE 981052, 1998.
7. Cheung H. - Heywood J. B., «Evaluation of a One – Zone burn-Rtate analysis Procedure Using Production SI Enine Pressure data». SAE 932749, 1993.
8. Eriksson L., «Requirements for and a Systematic Method for Indntifying Heat Release model parameteres». SAE 980626, 1998.
9. Gatowski J. A. et al., «Heat Release Analysis of Engine Pressure Data». SAE Trans., Vol – 93, 8413359, 1984.
10. Heywood J. B., Internal Cuombustion Engines Fundamentals, McGraw-Hill Book company, New York, 1988.
11. LAB VIEW 61, User Manual, National Instruments. 2000.
12. Power G. T. 6.0, User Manual, Gamma Technologies 2003.
13. Ulrich O. - Wlodarczyk R., «High-accurancy low –cost cylinder pressure sensor for advanced controls». SAE 2001 01-0991, 2001.
14. Watts P. A. et al., «Simulation Studies of the Effects of Turbocharging and Reduced Heat Tranferon Spark-Ignition Engine SAE 800289, 1980.
15. Whoschni G., Universally Applicable Equation for the instantaneous Heat Transfer Coefficient in the Internal Cumbustion Engine, SAE paper 670931, SAE Trans., vol. 76, 1967.
16. Zhao H. - Ladamatos N., «Engine Combustion Instrumentation and Diagnostics». SAE Order N⁰ R-284, 2001.

Παράρτημα

Για το διάγραμμα $x_b = f(\theta)$ του σχήματος 6.9, αυτό προκύπτει από τη σχέση:

$$x_b = 1 - \exp\left[-\alpha \cdot \left(\frac{\theta - \theta_i}{\theta_f - \theta_i}\right)^{m-1}\right]$$

Απόδειξη της πιο πάνω σχέσης. Από τη σχέση [20]:

$$\text{HRR} = P \cdot \frac{dV}{d\theta} \cdot \left(\frac{1}{\kappa - 1} + 1\right) + V \cdot \frac{1}{\kappa - 1} \cdot \frac{dP}{d\theta} = P \cdot \frac{dV}{d\theta} \cdot \left(\frac{\kappa}{\kappa - 1}\right) + V \cdot \frac{1}{\kappa - 1} \cdot \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{ht}}{d\theta} \quad 20'$$

κάθε φορά που έχει προσδιοριστεί με αρκετή ακρίβεια η μεταβολή της πίεσης σε συνάρτηση της γωνίας θ του στροφαλοφόρου άξονα $p = p(\theta)$, έχοντας γνωστή και τη μεταβολή του όγκου σε συνάρτηση της γωνίας θ ,

$$V = V(\theta) \quad [8]$$

$$V(\theta) = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \left\{ \frac{c}{(\varepsilon - 1)} + \frac{c}{2} \cdot \left[(1 - \sin\theta) + \frac{1}{\lambda} \cdot (1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \eta \mu^2\theta}) \right] \right\}$$

και από τη σχέση [10]

$$T(\theta) = \frac{P(\theta) \cdot V(\theta)}{m_b \cdot (1 + \alpha + \alpha') \cdot R}$$

Μπορεί να υπολογιστεί η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας του μείγματος μέσα στον κύλινδρο, αφού αυτό θεωρηθεί ως ομοιογενές. Είναι δυνατόν στη συνέχεια να υπολογιστούν οι απώλειες της θερμότητας δια μέσου των ψυχομένων τοιχωμάτων του κυλίνδρου $\frac{dQ_{ht}}{d\theta}$ που στο προτεινόμενο μοντέλο είναι [21]:

$$\frac{dQ_{ht}}{d\theta} = S \cdot h \cdot (T - T_p)$$

Επειδή στο δεύτερο μέρος της σχέσης [20'] όλοι οι όροι είναι γνωστοί, από αυτή, μπορεί να υπολογιστεί το ποσό της παραγόμενης θερμότητας $\text{HRR} = \frac{dU_{ch}}{d\theta}$ σε συνάρτηση της γωνίας θ .

Παρατηρείται ότι το ολοκλήρωμα της σχέσης [20'] από τη γωνία που αρχίζει η καύση θ_i μέχρι τη γωνία που τελειώνει αυτή θ_f δίνει το ποσόν της ολικής θερμότητας που ελευθερώθηκε από την καύση και αυτή είναι ίση με το γινόμενο της μάζας του καυσίμου m_b που κάηκε σε κάθε κύκλο επί την κατώτερη θερμογόνο αυτού H_i .

$$U_{ch} = \int_{\theta_i}^{\theta_f} \left(\frac{DU_{ch}}{d\theta} \right) * d\theta \approx m_b * H_i$$

με μια προσέγγιση (γενικά περίπου μερικών επί τοις % μονάδων) η οποία εξαρτάται από το βαθμό ολοκλήρωσης των χημικών αντιδράσεων οξείδωσης του φαινομένου της καύσης και από την ακρίβεια με την οποία έγινε η ενεργειακή ανάλυση του φαινομένου.

Παίρνοντας τους λογαρίθμους των δυο μερών της προηγούμενης σχέσης και πραγματοποιώντας τη διαφοροποίηση αυτής προκύπτει:

$$\frac{1}{U_{ch}} * \frac{dU_{ch}}{d\theta} = \frac{1}{m_b} * \frac{dm_b}{d\theta} = \frac{dx_b}{d\theta}$$

και μαζί με τις σχέσεις:

$$HRR = P \cdot \frac{dV}{d\theta} \cdot \left(\frac{1}{\kappa - 1} + 1 \right) + V \cdot \frac{1}{\kappa - 1} \cdot \frac{dP}{d\theta} = P \cdot \frac{dV}{d\theta} \cdot \left(\frac{\kappa}{\kappa - 1} \right) + V \cdot \frac{1}{\kappa - 1} \cdot \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{ht}}{d\theta}$$

και

$$U_{ch} = \int_{\theta_i}^{\theta_f} \left(\frac{dU_{ch}}{d\theta} \right) * d\theta \approx m_b * H_i$$

προκύπτει εύκολα η σχέση:

$$x_b = 1 - \exp \left[-\alpha * \left(\frac{\theta - \theta_i}{\theta_f - \theta_i} \right)^{m1} \right] \quad \text{σχέση του Wiebe}$$

Αυτή δίνει με ικανοποιητική ακρίβεια το x_b με την κατάλληλη επιλογή των τιμών των παραμέτρων α και m ,

α παράμετρος απόδοσης η οποία δίνει την ολοκλήρωση του φαινομένου

m παράμετρος μορφής του θαλάμου καύσης, καθορίζει την ταχύτητα της καύσης.

Η παράμετρος α λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 4,6 έως 6,9.

Σκοπός και Στόχοι της Επιστημονικής Επετηρίδας

Η *Επιστημονική Επετηρίδα Εφαρμοσμένης Έρευνας (ΕΕΕΕ)*, αποτελεί την επίσημη Επιστημονική Επετηρίδα του ΤΕΙ Πειραιά στην οποία μπορούν να δημοσιεύονται πρωτότυπες ερευνητικές εργασίες μετά από αξιολόγηση (συνήθως, 2 κριτών) με θεματικό αντικείμενο σε μια από τις περιοχές των Μηχανικών Επιστημών και Τεχνολογίας, της Φυσικής, των Μαθηματικών, των Τεχνών, των Κοινωνικών και Ανθρωπιστικών Επιστημών (Ιστορικά, Κοινωνικά, Νομικά) και την επιστήμη Διοίκησης και Οικονομίας. Στόχοι της ΕΕΕΕ είναι, αφενός η παρουσίαση νέων ερευνητικών αποτελεσμάτων, μεθόδων, ή (και) αναλύσεων, αφετέρου δε η δημιουργία μιας νέας πηγής επιστημονικής πληροφόρησης χρήσιμης στην εφαρμοσμένη, κυρίως, έρευνα. Η ΕΕΕΕ εκδίδεται σε δύο τεύχη, το τεύχος Ι περιλαμβάνει τις εργασίες στις θετικές επιστήμες και την τεχνολογία και το τεύχος ΙΙ εργασίες στις κοινωνικές, ανθρωπιστικές και οικονομικές επιστήμες.

Οδηγίες προς τους Συγγραφείς

Η ΕΕΕΕ δέχεται προς αξιολόγηση για δημοσίευση πρωτότυπες ερευνητικές εργασίες γραμμένες στην Ελληνική, ή στην Αγγλική, που δεν έχουν δημοσιευθεί ούτε βρίσκονται υπό κρίση σε άλλο μέσο. Μια πρωτότυπη εργασία είναι δημοσιεύσιμη στην ΕΕΕΕ εφόσον πρόκειται για εργασία που αποδειγμένα προσθέτει στην επιστημονική γνώση. Για τον λόγο αυτό η εργασία οφείλει να αναπτύσσει με πληρότητα την επιστημονική σκέψη και εξέλιξη του εξεταζόμενου θέματος, αναφερόμενη εισαγωγικά στην υπάρχουσα (κατά κύριο λόγο πρόσφατη) βιβλιογραφία, αλλά και σε άλλα αποδεικτικά στοιχεία.

Η υποβολή πρωτότυπων εργασιών προς δημοσίευση στην ΕΕΕΕ γίνεται σύμφωνα με τους εξής γενικούς κανόνες. Κάθε εργασία υποβάλλεται προς κρίση στη Γραμματεία της ΕΕΕΕ (Θηβών 250 & Π. Ράλλη, 12244 Αιγάλεω) σε **τρία (3) αντίγραφα**. Μετά την αξιολόγηση των κριτών, η εργασία που κρίνεται δημοσιεύσιμη επιστρέφεται μαζί με τις εκθέσεις των κριτών στον υπεύθυνο συγγραφέα ο οποίος, αφού προβεί στις υποδεικνυόμενες από τους κριτές σχετικές διορθώσεις ή αλλαγές, υποβάλλει μέσα σε χρονικό διάστημα **τριών (3) μηνών** από τη γνωστοποίηση προς αυτόν των εκθέσεων των κριτών, ξανά στη Γραμματεία της ΕΕΕΕ την εργασία στην τελική της μορφή, πάλι σε **τρία (3) αντίγραφα**, προς δημοσίευση. Στην τελική αυτή φάση ο συγγραφέας οφείλει να παραδώσει μαζί με τα 3 αντίγραφα όλης της εργασίας του (κάθε ένα αντίγραφο περιλαμβάνει Κείμενο, Πίνακες, Γραφικές Παραστάσεις, Φωτογραφίες, Λεζάντες Πινάκων, Λεζάντες Γραφικών Παραστάσεων, Λεζάντες Φωτογραφιών) και ένα CD-ROM, που περιέχει ένα ακριβές αντίγραφο της εργασίας του (σε αρχείο **Word97**, ή νεότερο) καθώς και όλα τα υπόλοιπα αρχεία χωριστά σε ηλεκτρονική μορφή (οι τύποι αρχείων δίνονται σε σχετική παράγραφο παρακάτω).

Υποχρεωτικά, κάθε εργασία που υποβάλλεται στην ΕΕΕΕ προς αξιολόγηση πρέπει να συνοδεύεται με επιστολή υπογεγραμμένη από τον υπεύθυνο συγγραφέα που δηλώνει, ότι **η εργασία με τίτλο «...», κατά το παρελθόν, δεν έχει δημοσιευθεί ούτε έχει υποβληθεί προς αξιολόγηση σε άλλο μέσο**. Απουσία σχετικής επιστολής έχει σαν αποτέλεσμα τη μη προώθηση για αξιολόγηση της συγκεκριμένης εργασίας.

Σημειωτέον, ότι κάθε υποβληθείσα προς κρίση εργασία δεν επιστρέφεται στον υπεύθυνο συγγραφέα, πλην της περιπτώσεως που σχετική αίτηση έχει κατατεθεί στη Γραμματεία κατά την αρχική υποβολή. Επίσης, για λόγους αρχειοθέτησης, καλούνται οι συγγραφείς όπως συνυποβάλλουν με την κατάθεση προς αξιολόγηση της εργασίας τους και σύντομο Βιογραφικό Σημείωμα.

Διαμόρφωση περιεχομένου υποβαλλόμενης εργασίας

• **Δομή Κειμένου.** Το κείμενο να είναι γραμμένο, σε λευκό χαρτί A4 (στη μία πλευρά), διπλό διάστιχο, μονόστηλο, αφήνοντας αρκετό πλευρικό χώρο δεξιά και αριστερά της σελίδας για υποδείξεις από τους κριτές, κατά προτίμηση, με χαρακτηριστές Times New Roman 12 pts. (πλην του τίτλου, των ονομάτων και διευθύνσεων των συγγραφέων, της περίληψης και τέλος των γραμμάτων στις λέξεις κλειδιά και στις λεζάντες). Η εργασία δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 20 σελίδες στις οποίες συμπεριλαμβάνονται τα διαγράμματα, η βιβλιογραφία και οι πίνακες ενώ το κείμενο της εργασίας δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 6.500 λέξεις. Κατά την συγγραφή να ακολουθείται η εξής σειρά παρουσίασης των ενότητων της εργασίας: *Τίτλος, Συγγραφέας, Διεύθυνση συγγραφέα, Περίληψη, Λέξεις κλειδιά, Κύριο κείμενο εργασίας, Ευχαριστίες (π.χ. προς χορηγούς), Παραρτήματα, Βιβλιογραφία, Περίληψη στα Αγγλικά, Διαγράμματα-Εικόνες και Πίνακες, Λεζάντες Διαγραμμάτων-Εικόνων και Πινάκων.*

• **Σύστημα Μονάδων, Μαθηματικά Σύμβολα και τύποι.** Κατά την παρουσίαση μεγεθών που εκφράζονται με διαστάσεις και γενικά σε τεχνικά θέματα οι συγγραφείς οφείλουν να χρησιμοποιούν το **Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.)**.

Είναι όμως δυνατόν, εφόσον έχει επικρατήσει ή συνηθίζεται διαφορετικά, να παραθέτονται επιπροσθέτως, μέσα σε παρενθέσεις, οι τιμές μεγεθών εκφρασμένες σε μονάδες άλλου Συστήματος Μονάδων. Κλασματικές παραστάσεις πρέπει να αποδίδονται χωρίς τη γραμμή του κλάσματος, αλλά με τον αριθμητή, μετά διάστημα και στη συνέχεια τον παρανομαστή υψωμένο στην (-1) δύναμη). Έτσι γράφεται: $m\ s^{-1}$ και όχι m/s , ή ms^{-1} . Ρίζες παραστάσεων ή αριθμών πρέπει να αποδίδονται ως εξής: Κλείνεται η παράσταση μέσα σε παρενθέσεις και στην συνέχεια υψώνεται στη (θετική ή αρνητική, μορφής δεκαδικού αριθμού) δύναμη που αποδίδει τη ρίζα. Προκειμένου για ρίζες αριθμών δεν είναι υποχρεωτικό να χρησιμοποιηθούν παρενθέσεις. Όλοι οι μαθηματικοί χαρακτήρες ή σύμβολα που χρησιμοποιούνται σε μια εργασία πρέπει να ερμηνεύονται μέσα στο κείμενο υποχρεωτικά. Όλα τα έχοντα διαστάσεις μεγέθη που εμφανίζονται σε μαθηματικές εξισώσεις, ή ξέχωρα, πρέπει να αποδίδονται στις σωστές τους διαστάσεις.

• **Τίτλος Εργασίας, Όνομα, Θέση και Διεύθυνση κάθε Συγγραφέα.** Ο τίτλος της εργασίας πρέπει να είναι βραχύς και εννοιολογικά να αποδίδει πιστά το θέμα της εργασίας. Χημικές ενώσεις, ή μαθηματικοί τύποι δεν πρέπει να εμφανίζονται στον τίτλο. Στην περίπτωση που η εργασία αφορά συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, πρέπει να αναγράφεται (στον τίτλο) το όνομα της περιοχής. Εκτός του ονόματος, της θέσης και της διεύθυνσης, στοιχεία που αφορούν κάθε μέλος της επιστημονικής ομάδας, θα πρέπει να αναγράφεται, υποχρεωτικά, η τηλεφωνική και ηλεκτρονική διεύθυνση του υπεύθυνου συγγραφέα (το άτομο που εμφανίζεται να εκπροσωπεί την επιστημονική ομάδα), αν βέβαια διαθέτει fax και e-mail. Τα ονόματα των μελών μιας επιστημονικής ομάδας παραθέτονται αριθμημένα με τη σειρά που εμφανίζονται στην εργασία, με διαδοχικούς αριθμούς στο τέλος του επωνύμου. Για παράδειγμα, Jones⁽¹⁾ K.L., Petridis⁽²⁾, P.R. Επιπλέον, για να ξεχωρίζει, το επώνυμο του υπεύθυνου συγγραφέα φέρει υπογράμμιση.

• **Περίληψη.** Η ύπαρξη Περίληψης στην αρχή κάθε εργασίας είναι υποχρεωτική. Η Περίληψη, που δεν πρέπει να ξεπερνά τις **250 λέξεις**, είναι μια σύντομη αλλά πλήρης παρουσίαση των βασικών σημείων/μεθόδων/αποτελεσμάτων που προκύπτουν ή αποδίδουν κάθε εργασία. Στην Περίληψη δεν πρέπει να υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές, ή επανάληψη του τίτλου. Κάθε εργασία γραμμένη στα Ελληνικά, πρέπει να συνοδεύεται από μια **Περίληψη** 100-150 λέξεων, γραμμένη στα Αγγλικά, επιπλέον της κανονικής Περίληψης στα Ελληνικά. Η Περίληψη αυτή τοποθετείται αμέσως μετά τη Βιβλιογραφία.

• **Λέξεις Κλειδιά.** Επιλέξτε 5-6 λέξεις που στοιχειοθετούν, αναφέρονται ή και εκφράζουν εννοιολογικά τμήματα της εργασίας, εξαιρουμένων αυτών του τίτλου.

• **Κείμενο.** Το κείμενο (γραμμένο με **Word97**, ή νεότερη έκδοση) κάθε εργασίας χωρίζεται σε ενότητες και κάθε ενότητα σε υπο-ενότητες, όλες με **έντονους** τίτλους αριθμημένους διαδοχικά και φερόμενους σε μια γραμμή, που χωρίζεται με διάστημα από την αμέσως επόμενη παράγραφο. Η Εισαγωγή αποτελεί την πρώτη ενότητα του κυρίως κειμένου, έτσι, σημειώνεται: **1. Εισαγωγή.** Στην Εισαγωγή παραθέτονται: (α) Αναφορές στη (πρόσφατη κυρίως) βιβλιογραφία, που καλύπτουν πλήρως το υπάρχον επιστημονικό υπόβαθρο το σχετιζόμενο με το γνωστικό αντικείμενο της προς δημοσίευση εργασίας. (β) Οι λόγοι που υποστηρίζουν και αναδεικνύουν το επιστημονικά «χρήσιμο», «πρωτότυπο», ή «καινοτόμο» της εργασίας, πάντοτε σε σχέση με τις προηγούμενες προσπάθειες. Οι υπο-ενότητες, εφόσον υπάρχουν, αριθμούνται διαδοχικά με πρώτο τον αριθμό της ενότητας, τελεία και στη συνέχεια τον αριθμό της υπο-ενότητας. Σε κάθε εργασία, πρέπει να συμπεριλαμβάνεται μια τελευταία ενότητα στην οποία να αναφέρονται τα συμπεράσματα από τα προκύπτοντα αποτελέσματα, καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη με στόχο τη βελτίωση των μεγεθών. Όταν στο κείμενο γίνεται παρουσίαση μαθηματικών εξισώσεων ή τύπων, θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο MS Equation Editor (διαθέσιμος σε όλες τις εκδόσεις του προγράμματος γραφής κειμένου **Word**).

• **Ευχαριστίες.** Στη θέση αυτή αναφέρονται όσοι συνεισέφεραν, με κάθε τρόπο, στην πραγμάτωση του ερευνητικού έργου, αποτέλεσμα του οποίου είναι η προς δημοσίευση εργασία.

• **Παραρτήματα.** Μακροσκελείς μαθηματικές αποδείξεις, αναλύσεις που ενδιαφέρουν αποκλειστικά τους πλέον ειδικούς ή αναλυτικό υλικό υποστήριξης θέσεων στο κείμενο κάθε εργασίας πρέπει να τοποθετείται με τη μορφή Παραρτήματος, ενός ή και περισσότερων, με διαδοχική ονομασία, π.χ. Παράρτημα Α, Παράρτημα Β, κ.ο.κ. Εξισώσεις, εικόνες, γραφήματα, πίνακες κλπ στοιχεία αριθμούνται διαδοχικά, φέροντας το γράμμα του παραρτήματος στο οποίο έχουν ενσωματωθεί. Πίνακας Α.1, Πίνακας Α.2, Εικόνα Β.1, κ.ο.κ..

• **Βιβλιογραφία ή Κατάλογος Βιβλιογραφικών Αναφορών.** Όλες οι βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον αυτές που υπάρχουν στο κείμενο κάθε εργασίας, πρέπει να καταχωρούνται αλφαβητικά, με βάση το επώνυμο του πρώτου συγγραφέα σε κατάλογο υπό τον τίτλο **Βιβλιογραφία**, που καταχωρείται μετά τα Παραρτήματα αν υπάρχουν, διαφορετικά αμέσως μετά την τελευταία ενότητα του κειμένου. Πριν την υποβολή προς αξιολόγηση, κάθε εργασία πρέπει να ελέγχεται για την ορθότητα εμφάνισης της κάθε αναφοράς, τόσο ως προς τα ονόματα των συγγραφέων και του έτους δημοσίευσης, όσο και ως προς την παρουσίαση στην Βιβλιογραφία. Για την ορθή αναφορά με σύντμηση του τίτλου προκειμένου περί διεθνών επιστημονικών περιοδικών, υπάρχει σχετικός πίνακας με τα ονόματα των περιοδικών στο *World List of Scientific Periodicals, 4th Edition*. Όλες οι εργασίες που υποβάλλονται προς αξιολόγηση στην ΕΕΕΕ πρέπει να ακολουθούν τους εξής κανόνες συγγραφής για αναφορές στη βιβλιογραφία:

Παραδείγματα περιπτώσεων αναφορών γενομένων μέσα στο κείμενο

- Thompson (1990), ή (Thompson, 1990), αν είναι ένας μόνο συγγραφέας.
- Thompson and Clog (1996), ή (Thompson and Clog, 1996), αν είναι δύο οι συγγραφείς.
- Thompson et al. (1997), ή (Thompson et al., 1997), αν είναι πάνω από δύο οι συγγραφείς.
- Thompson, 1990; Thompson and Clog, 1996; Thompson et al., 1997), αν γίνονται αναφορές σε πάνω από δύο εργασίες.
- (Thompson, 1990a; 1990b), αν αναφέρονται δύο ή περισσότερες εργασίες του ίδιου συγγραφέα.

Παραδείγματα δομής παρουσίασης καταχωρημένων στο Βιβλιογραφικό Κατάλογο αναφορών.

- **Δημοσίευση σε Επιστημονικό Περιοδικό.** Επώνυμο και αρχικά κάθε συγγραφέα, έτος δημοσίευσης, τίτλος εργασίας, *Πλήρης τίτλος του περιοδικού*, **αριθμός τόμου/αριθμός τεύχους**, σελίδες (από-μέχρι) στο τεύχος δημοσίευσης.

Για παράδειγμα:

Thompson D.C., Clog R., and Batman A.Q. (1997). Global and diffuse solar irradiance models. *Solar Energy*, **23/5**, 208-216.

- **Από σελίδες βιβλίου.** Επώνυμο, και αρχικά κάθε συγγραφέα, έτος έκδοσης, Τίτλος βιβλίου, σελίδες στο βιβλίο (από-μέχρι), Αριθμός Έκδοσης, Όνομα και πόλη εκδοτικού οίκου.

Για παράδειγμα:

Duffie J.A., and Beckman W.A. (1991), *Solar Engineering of Thermal Processes*, pp. 68-83, 2nd Edition, Wiley Interscience, N.Y.

- **Ανακοίνωση σε Συνέδριο.** Όνομα, και αρχικά κάθε συγγραφέα, (έτος Συνεδρίου), Τίτλος ανακοίνωσης, Τίτλος τόμου Πρακτικών, Όνομα αυτού (-ών) που είχε την επιμέλεια της έκδοσης του τόμου των Πρακτικών (από-μέχρι), μέρος που έλαβε χώρα το Συνέδριο.

Για παράδειγμα:

Marble D.G. (1987). UV-B induced human tissue disorders. In *Proceedings of Solar Energy World Congress*, Homsted H. and Elbow K. (Eds), pp. 1256-1265, Ithaki, Greece.

- **Εικόνες, Γραφήματα, Πίνακες.** Κάθε εικόνα, γράφημα ή πίνακας που υπάρχει στην εργασία, πρέπει υποχρεωτικά, να αναφέρεται και μέσα στο κείμενο. Οι εικόνες, τα γραφήματα και οι πίνακες που αναφέρονται στην εργασία παροδίδονται κατά το στάδιο της αξιολόγησης σε δύο μορφές:

(α) **Εκτυπωμένα** σε ανάλογο άριστης ποιότητας χαρτί (κάθε περίπτωση σε ξεχωριστή σελίδα, με τη λεξάντα στο κάτω μέρος της σελίδας) και τοποθετούμενα σε κάθε αντίγραφο της εργασίας, διαδοχικά, αμέσως μετά τη Βιβλιογραφία.

(β) **Σε μορφή ηλεκτρονικών αρχείων**, ένα αρχείο για κάθε γράφημα, εικόνα ή πίνακα (**μόνον αρχεία pcx, jpg, cif, xls, tif, org, cdr γίνονται δεκτά**).

Το μέγεθος και οι φυσικές διαστάσεις των εικόνων, γραφημάτων και πινάκων πρέπει να είναι κατάλληλο και ανάλογο του μεγέθους των γραμμάτων/αριθμών που έχουν χρησιμοποιηθεί σ' αυτά. Επιπλέον, οφείλουν να είναι ευανάγνωστα και μετά την σμίξρυνση (περίπου 50%) που θα υποστούν κατά την εκτύπωση στην ΕΕΕΕ. Όλα τα γραφήματα, κλπ. πρέπει να αριθμούνται κατά κατηγορία, με τη σειρά εμφάνισης και παρουσίασης στο κείμενο, συνοδευόμενα από τη σχετική λεξάντα.

- **Λεξάντες.** Κάθε γράφημα, εικόνα, πίνακας συνοδεύεται από μια επεξηγηματική λεξάντα, που συνοδεύει το εκτυπωμένο αντίγραφο του γραφήματος κλπ., τοποθετούμενη στο κάτω μέρος της σελίδας. Επιπροσθέτως, παραδίδεται ένα CD-ROM με όλες τις λεξάντες αριθμημένες κατά σειρά εμφάνισης στο κείμενο για κάθε κατηγορία ξεχωριστά (π.χ. κατηγορία εικόνες, κατηγορία γραφήματα, κατηγορία πίνακες), σε μορφή ηλεκτρονικού αρχείου *.doc (**Word97** ή νεότερο). Έτσι, σε κάθε περίπτωση εμφανίζονται: Σύντμηση ονομασίας κατηγορίας, τελεία, αριθμός, τελεία και στη συνέχεια η αντίστοιχη λεξάντα. Για παράδειγμα: Fig. 1. Model simulation results vs. measurements of daily diffuse solar irradiance. Πίνακας 1. Ένταση διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε ώρα και ημέρα κατά το μήνα Ιούλιο 1999, σε $W m^{-2}$.

- **Λοιπά Συνοδευτικά Στοιχεία Υποστήριξης.** Εργασίες που πραγματεύονται εξειδικευμένες περιπτώσεις ή μεγάλης έκτασης αναλύσεις, που αποτελούν συνέχεια άλλων, θα πρέπει να συνοδεύονται, κατά το πρώτο στάδιο της υποβολής τους στην ΕΕΕΕ, με κατάλληλου περιεχομένου υλικό υποστήριξης (π.χ. αντίγραφα εσωτερικών δημοσιεύσεων, αναφορών, εργασιών, άρθρων υπό δημοσίευση, κλπ.) που δεν είναι εύκολα διαθέσιμο στον ευρύτερο επιστημονικό χώρο. Το υλικό αυτό θα βοηθήσει τους αξιολογητές στην κρίση της εργασίας.

• **Διαδικασία Υποβολής Θετικά Αξιολογημένης Εργασίας (τελική φάση).** Μέσα σε χρονικό διάστημα **τριών (3) μηνών** από την παραλαβή της έκθεσης αξιολόγησης των κριτών, ο υπεύθυνος συγγραφέας, αφού προβεί στις σχετικές αλλαγές ή και αναθεωρήσεις που προτείνονται (αν προτείνονται) από τους κριτές, οφείλει να παραδώσει ή να στείλει επί αποδείξει στην Γραμματεία της ΕΕΕΕ τα εξής:

1. **Τρία (3) πλήρη αντίγραφα** της αναθεωρημένης εργασίας, πάντα σύμφωνα με τις υποδείξεις των κριτών. Όλες οι αλλαγές ή και αναθεωρήσεις, πρέπει να σημειώνονται και να υποδεικνύονται μέσα στο κείμενο, όπου έχουν γίνει, σε όλα τα αντίγραφα. Κάθε αντίγραφο πρέπει να συνοδεύεται και από μία εκτενή περίληψη 1000-1500 λέξεων στα Αγγλικά.
2. **Ένα CD-ROM** με όλα τα σχετικά αρχεία (κειμένων και γραφικών), σύμφωνα με τις οδηγίες συγγραφής.
3. **Υπογεγραμμένη** (από τον υπεύθυνο συγγραφέα) **Επιστολή**, στην οποία να δηλώνεται η αποδοχή της αξιολόγησης των κριτών, καθώς και ότι η τελική αναμόρφωση της υποβαλλόμενης αναθεωρημένης εργασίας έγινε σύμφωνα προς όλες τις γενόμενες από τους κριτές υποδείξεις. Σε περίπτωση που η αξιολόγηση κριτή δεν γίνεται αποδεκτή από τον υπεύθυνο συγγραφέα κρινόμενης εργασίας, αυτός (ο συγγραφέας) οφείλει όπως προσκομίσει (εντός του προβλεπόμενου διαστήματος των τριών μηνών από την κοινοποίηση της σχετικής έκθεσης) κατάλληλα και αναγνωρισμένου κύρους αποδεικτικά στοιχεία, με τα οποία ουσιαστικά αναιρούνται ή αντικρούονται ως αβάσιμες, οι υποδεικνυόμενες στην αξιολόγησή του κριτή ενέργειες.

Υποβολή εργασίας εκτός της ανωτέρω διαδικασίας δεν γίνεται δεκτή, ενώ αυτομάτως παύει η προώθηση της εν λόγω εργασίας προς δημοσίευση.

Aims and Scope of the Scientific Journal

Journal of Applied Research Review (JARR), the official journal of the Technological Education Institute of Piraeus, is devoted to the presentation of properly judged (two referees, usually) original papers. Papers in the areas of Engineering, Physics, Mathematics, Arts, Social Sciences and Humanities handling in any way administrative, economic, historical, and political aspects are welcome. Main aims of JARR are to provide a scientific understanding of novel results or analysis, and to serve as a source of information on research and development in these fields. The JARR is published in two volumes, Volume I includes papers from Sciences and Technology in the area of Engineering and Volume II includes papers in the area of Economics, Business Social Sciences and Education.

Instructions for Authors

JARR welcomes manuscripts, not previously published in any other journal, written in Greek, or English (authors of articles written in English whose native tongue is not English are advised to have their manuscripts edited by someone skilled in English prior to submission). An acceptable manuscript must reflect a thorough knowledge and review of the relevant literature indicated by references to prior publications, or presentations.

Manuscripts must be submitted in the format outlined below. Originally, **Three (3) copies must be delivered to the Editorial Office** (Journal of Applied Research, TEI of Piraeus, 250 Thion & P. Ralli Avenue, 12244 Aegaleo, Greece). After approval and **within a 3month period** from official notification of acceptance, **three (3) revised copies are delivered to the Editorial Office** accompanied by a CD-ROM containing an identical copy of the manuscript (**Word97** or later), as well as all illustration and caption files. Note that unless requested at submission, the Editorial Office will not return the original manuscripts, or disks to the authors at any stage of the process. Every submitted manuscript must be accompanied by a covering letter stating that the manuscript neither has been published in nor submitted to a journal previously. In addition, a short C.V. of the authors involved is welcome at submission.

Manuscript Format

• **Manuscript Layout.** All copies of the manuscript must be **double-spaced, single-column**, on one side of A4 white sheets of paper, leaving ample left and right margins, preferably using 12 pts Times New Roman characters on main text (smaller size for **Affiliation, Abstract, key words** and **captions**, accordingly).

Maximum manuscript length should be kept at less than 20 pages (all pages numbered consecutively) including diagrams, references and tables, with text not exceeding 6500 words. The structure of typed manuscript must follow the order: *Title, Authors (s), Affiliations, Abstract, Key words, Text, Acknowledgements, Appendix, References, Illustrations, Captions.*

• **Units of Measure, Mathematical symbols and Formulae.** Authors of technical papers are strongly advised to use S.I. units throughout their work, providing alternate units in parentheses for convenience, when necessary. When writing fractions, please use negative exponents rather than the fraction sign/ and leave space between symbols, e.g. $m\ s^{-1}$, not ms^{-1} or m/s . Where showing roots, the radical sign should be avoided. To indicate roots, use positive (or negative) exponents, accordingly. Formulae should be composed carefully and with the utmost economy. Numbers that identify equations should be placed at the right-hand margin in parentheses. All symbols used (mathematical, or otherwise) are to be explained in the text. In equations, all (dimensional) figures are to be given with units.

• **Title, Author's names and Affiliation.** Title should be informative, short and precise in describing the full article. Avoid chemical formulae in title. If the paper covers a specific location, this should usually be mentioned in the title. The affiliation should be as concise as possible, including complete mailing address, corresponding author's telephone and fax numbers, and e-mail address (if available). When more than one affiliation (co-authors), please use superscript ⁽¹⁾, ⁽²⁾, etc after each co-author's name. In addition, the corresponding author's name is to be identified by underlining the surname.

• **Abstract.** An abstract not exceeding **250 words** is required at the beginning of each paper. Abstracts should be complete in themselves giving all main points of the paper, without repeating title, or making reference citations, but summarizing conclusions/ results obtained, or method(s) used.

• **Key words.** Include five or six key words (avoid words used in the title) illustrating substantial points or features in the work.

• **Text.** Text in the manuscript is to be divided into sections, each section with a separate heading **bold typed** on a line of its own, numbered consecutively. The first section should be an Introduction. **Introduction** offers a scientific **background** by going through the literature review, and indicating the reasons for making the paper by explaining and (or) defending how the particular work is an advance on previous effects. Subsections, when needed, should bear the section number followed by the consecutive subsection number, the two separated by a dot. A final section title **Conclusions** (or **Concluding Remarks**) must be included at the end of the text. When writing in electronic form, only **Word97** files (or later versions) are acceptable. Mathematical equations, in the proper character size and appearance, should be written using the MS Equation Editor (available to all **Word** versions).

• **Acknowledgements.** Any provisional funding, and or help granted, if there are any, should be mentioned in this separate paragraph placed right after the main text.

• **Appendixes.** Lengthy mathematical analyses, items of interest only to specialists, model formulations, or other material that are subordinate to the main theme of the article should normally be put into one or more appendixes titled accordingly A, B, etc. Equations, Figures, and Tables in the appendix A are labeled and numbered consecutively, (i. e. Eq. (A4), Fig. A1, Table A, etc.).

• **References.** All articles cited in the text should be presented in a list of references following the **Appendix** (if there is one), or otherwise right after the main text of the manuscript. References shown in the **References List** should be arranged alphabetically by author's last name. Before submitting their manuscript, authors should compare text citations with bibliographic listings shown under the "References List" section to ensure completeness. Also, manuscript should be carefully checked to ensure that the spelling of author's names and dates are correct and in agreement in the text as well as in the References List. Journal title abbreviations given in the References List must follow those given in the *World List of Scientific Periodicals*, 4th Edition. In general, references should be given in the following form:

Where cited in the text

- Thompson (1990), or (Thompson, 1990), if only one author.
- Thompson and Clog (1996), or (Thompson and Clog, 1996), if two authors.
- Thompson et al. (1997), or (Thompson et al., 1997), if more than two authors.
- Thompson, 1990; Thompson and Clog, 1996; Thompson et al., 1997), if two or more references are cited together.
- (Thompson, 1990a; 1990b), if two (or more) same author articles published the same year are cited together.

Where listed in the References List

1. Journal article. Author's name(s), initials, (year of publication), title, *full periodical title name*, **volume number**/issue number, and inclusive page numbers. For example:

Thompson D.C., Clog R., and Batman A.Q., (1997). Global and diffuse solar irradiance models. *Solar Energy*, **23/5**, 208-216.

2. Book. Author's name(s), initials, (year of publication), *Title*, inclusive page numbers, Edition, publisher's name and location. For example:

Duffie J.A., and Beckman W.A. (1991), *Solar Engineering of Thermal Processes*, pp. 68-83, 2nd Edition, Wiley Interscience, N.Y.

3. Conference article. Author's name(s), initials, (year of Conference), *title*, volume of Proceedings, Editor(s), inclusive page numbers, location. For example:

Marble D.G. (1987). U.V.-B induced human tissue disorders. In *Proceedings of Solar Energy World Congress*, Homested H. and Elbow K. (Eds), pp. 1256-125, Ithaki, Greece.

• **Illustrations (Tables, Pictures, Figures, Drawings).** All illustrations shown **must** be referred to in the text. They are included in the text following the References List. Each illustration should be provided as a **separate electronic file** (in a floppy, or CD-ROM), and as a good quality print out hardcopy (one illustration per page A4) placed right after the References List. Only PCX, JPG, CIF, XLS, TIF, ORG, CDR electronic files for drawings, charts, or pictures can be accepted. Make sure that the physical dimensions of each illustration provided are appropriate for the dimensions of the JARR page. Illustrations should be numbered according to their sequence in the text using appropriate naming convention and must be accompanied by a suitable caption, e.g. Fig. 1. Model simulation results vs. measurements of daily diffuse solar irradiance.

• **Captions.** Illustrations and Tables must have a caption. Captions are numbered consecutively for each category and they are placed in the manuscript following Illustrations. In addition, they are provided in electronic form in floppy disk, or a CD-ROM as separate (**Word97** or later) files.

• **Initial Manuscript Submission Supporting Material.** Manuscripts presenting particular and (or) lengthy modeling studies should be accompanied at the refereeing stage (initial submission) by copies of relevant supporting material e.g. internal reports, items in press, etc.

• **Revised Manuscript Submission Procedure.** Within a period of **three (3) months** after receiving referee notes regarding the submitted paper, followed by the necessary interventions (additions, cuts, alterations, corrections), authors are to turn in **three (3) copies** of the revised manuscript, plus a floppy disk (or CD-ROM) with all files. Highlight and indicate all interventions performed on the **3 submitted manuscripts**. Please, make sure that a brief **letter/note** is included and delivered with the rest of the package expressing corresponding author's response/conformation to the referee's comments.

