

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΕΤΗΡΙΔΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

APPLIED RESEARCH REVIEW

Περιοδική Επιστημονική Έκδοση
του ΤΕΙ Πειραιά

Journal of the Technological Education
Institute of Piraeus

Έκδοση Τεχνολογία και Επιστήμη

Technology & Science Edition

VOL. XIII	No 1	2008	ISSN - 1106 - 4110
E. GRAVAS, P. KIEKENS, L. VAN LANGENHOVE: Evaluation of "ProKNIT" system for determining the fabric weight per unit area of wool blended yarns			5
Γ. ΒΛΑΧΟΣ, Χ. ΚΟΥΤΣΟΓΕΩΡΓΗΣ, Δ. ΤΣΕΛΕΣ, Κ. ΓΛΥΣΤΡΑΣ, Γ. ΠΟΛΙΠΗΣ, Ι. ΛΙΒΕΡΗΣ, Γ. ΠΟΛΛΑΛΗΣ: Εφαρμογή των νέων υγρών καυσίμων τύπου Super για την κίνηση οχημάτων παλαιάς τεχνολογίας με ελεγχόμενη έναυση της καύσης. Επίδραση στην απόδοση ισχύος και στο περιβάλλον			21
Γ. ΑΤΑΝΑΣΟΒΑ, Σ. ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΥ, Ε. ΦΟΥΝΤΟΥΚΙΔΗΣ, Γ. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ, Α. ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΣ, Ν. ΘΕΟΦΙΛΟΥ, Σ. ΤΣΙΤΟΜΕΝΕΑΣ, Π. ΠΙΣΣΗΣ, Μ. ΚΟΝΤΟΥ-ΔΡΟΥΓΚΑ: Διηλεκτρική σταθερά & ac ηλεκτρική αγωγιμότητα πολυμερών με νανοσωματιδιακά ισοτροπικά μαγνητικά εγκλείσματα.....			41
G. ALEXIS, E. ROGDAKIS, I. PETROPOULOS, I. KALDELLIS, K. NIKAS, A. GRAPCHAS: A verification study of R134a-ejector refrigeration system driven by solar energy			51
S. BARBOUNAKI, A. VLACHOS: Memetic Algorithm Solving the Economic Load Dispatch Problem			59
B. ΣΑΓΚΙΑΣ, Κ. ΣΤΕΡΓΙΟΥ, Κ. ΡΩΣΣΗΣ: Ανάπτυξη Μεθόδων Υπολογισμού και Βελτιστοποίησης Στοιχείων Μηχανών μέσα σε ένα Ολοκληρωμένο Περιβάλλον Σχεδιασμού Προϊόντος CAD/CAE			77
S. POTIRAKIS, M. RANGOUSI, D. LOLOS, S. SAVAYDIS: Acoustic room measurements for the deployment of soft microphones in active noise control			97
Σ. ΠΛΑΚΑΝΤΩΝΑΚΗ, Α. ΜΠΛΑΤΣΗ, Α. ΜΑΥΡΙΔΟΥ, Ο. ΠΑΠΠΑ, Π. ΘΕΟΔΩΡΑΤΟΣ: Επίδραση φυσικο-χημικών παραμέτρων στην παρουσία του βακτηρίου της Legionella στο νερό εσωτερικών συστημάτων ύδρευσης και κλιματισμού νοσοκομείων			111
Γ. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ, Ε. ΦΟΥΝΤΟΥΚΙΔΗΣ, Γ. ΑΤΑΝΑΣΟΒΑ, Σ. ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΥ, Α. ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΣ, Ν. ΘΕΟΦΙΛΟΥ, Σ. ΤΣΙΤΟΜΕΝΕΑΣ, Π. ΠΙΣΣΗΣ, Μ. ΚΟΝΤΟΥ-ΔΡΟΥΓΚΑ: Μαγνητικές ιδιότητες πολυ- μερών με νανοσωματιδιακά μαγνητικά εγκλείσματα (σε ισοτροπική & ανισοτροπική μορφή) ..			131
A. ΜΟΥΡΛΑΣ, Μ. ΚΑΛΤΣΟΓΙΑΝΝΗ, Ι. ΛΕΚΑΚΗΣ, Σ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ, Α. ΧΑΤΖΗΑΠΟΣΤΟΛΟΥ, Χ. ΤΣΑΜΗΣ: Συγκριτική μελέτη ολοκληρωμένου μικρομηχανικού αισθητήρα ανίχνευσης αερίων με βιομηχανική διάταξη μέτρησης καυσασερίων μηχανής Otto.....			139
S. POTIRAKIS, M. RANGOUSI, D. LOLOS, S. SAVAYDIS: Global active noise control using adaptive algorithms.....			149
S. BARBOUNAKI: A Biocybernetic Model Based on a Hybrid Fuzzy Rules Approach for Medical Diagnosis.....			161
A. ΗΑΤΖΙΑΠΟΣΤΟΛΟΥ, G. ΡΑΠΤΙΣ, Α. ΜΟΥΡΛΑΣ, Ι. ΛΕΚΑΚΗΣ, S. ΑΝΤΩΝΙΟΥ: CFD Modeling of the in-cylinder flow and combustion in a variable-compression laboratory Otto engine			179
N. ΨΥΛΛΑ: Τριβή Πλίνθου - Κονιάματος οριζόντιων αερίων Οπλισμένης Τοιχοποιίας			193
Δ. ΣΙΑΧΟΣ: Αποδοχή αιολικών πάρκων από τις τοπικές κοινωνίες - η ενημέρωση & η «συμμετοχή» των πολιτών θα συμβάλλουν αποφασιστικά στην ανάπτυξη των ΑΠΕ			211

Copyright© ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ 2008
Π. Ράλλη και Θηβών 250
122 44 Αιγάλεω
Τηλ.: 210.53.81.100

ISSN - 1106 - 4110

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΕΤΗΡΙΑ 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: Σ. Αντωνίου

Συντακτική Επιτροπή

Λάζαρος Βρυζίδης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Αντώνης Αντωνίου	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Σόλων Αντωνίου	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Μιχαήλ Κοντέσης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Κων/νος Γούδας	Παν/μιο Πατρών
Θεόδωρος Εξαρχάκος	Παν/μιο Αθηνών
Περικλής Κορωνάκης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Παναγιώτης Καζαντζής	Παν/μιο Πατρών
Δημήτριος Τσελές	Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Επιστημονική Επιτροπή

Κ. Αλαφοδήμος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Χ. Κουτσογιώργης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Α. Αντωνίου	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Δ. Κυτάγιας	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Σ. Αντωνίου	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Σ. Μανωλάς	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Κ. Βαρελίδου	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Γ. Μεταξάς	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Λ. Βρυζίδης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Φρ. Μπατζιάς	Παν/μιο Πειραιά
Κ. Γούδας	Παν/μιο Πατρών	Χ. Μπότσαρης	Παν/μιο Στ. Ελλάδας
Κ. Δημόπουλος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Α. Μπουρμπαχάκη	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Θ. Εξαρχάκος	Παν/μιο Αθηνών	Α. Παλιατσός	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Α. Ζήσος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Κ. Πάνος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Ι. Καζαντζάκης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Α. Πέππας	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Π. Καλατζής	Παν/μιο Πατρών	Ν. Πρεζεράκος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Δ. Καλλιγερόπουλος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Μ. Ραγκούση	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Γ. Κόγιας	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Α. Ρούτουλας	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Α. Κοκκόσης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Α. Σπυριδάκος	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Μ. Κοντέσης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Δ. Τσελές	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Π. Κορωνάκης	Τ.Ε.Ι. Πειραιά	Σ. Τσιτομενάς	Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Α. Κοσσίδα	Τ.Ε.Ι. Πειραιά		

APPLIED RESEARCH REVIEW

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

Editor: P. Kililias

Associate Editor: S. Antoniou

Editorial Committee

Lazaros Vrizidis	T.E.I. of Piraeus
Antonis Antoniou	T.E.I. of Piraeus
Solon Antoniou	T.E.I. of Piraeus
Mihail Kontesis	T.E.I. of Piraeus
Konstantinos Goudas	University of Patras
Theodoros Exarchakos	Univeristy of Athens
Periklis Koronakis	T.E.I. of Piraeus
Panagiotis Kazantzis	University of Patras
Dimitris Tseles	T.E.I. of Piraeus

Advisory Board

K. Alafodimos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	A. Kokkosis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
A. Antoniou	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	D. Kitayias	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
S. Antoniou	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	S. Manolas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
Fr. Batzias	<i>Univ. of Piraeus</i>	G. Metaxas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
Ch. Botsaris	<i>Univ. of Central Greece</i>	A. Paliatsos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
A. Bourbahaki	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	K. Panos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
C. Dimopoulos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	A. Peppas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
Th. Exarchakos	<i>Univ. of Athens</i>	N. Prezerakos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
K. Goudas	<i>Univ. of Patras</i>	M. Ragousi	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
P. Kazatzis	<i>Univ. of Patras</i>	A. Routoulas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
J. Kazantzakis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	A. Spyridakos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
D. Kalligeropoulos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	D. Tseles	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
G. Kogias	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	S. Tsitomeneas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
M. Kontesis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	K. Varelidou	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
P. Koronakis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	L. Vrizidis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
X. Koutsoyiorgis	<i>T.E.I. of Piraeus</i>	A. Zisos	<i>T.E.I. of Piraeus</i>
A. Kossidas	<i>T.E.I. of Piraeus</i>		

Evaluation of "proKNIT" system for determining the fabric weight per unit area of wool blended yarns

Efthymios Gravas

TEI of Piraeus, Departement of Textiles

Paul Kiekens

Gent University, Departement of Textiles

Lieva Van Langenhove

Gent University, Departement of Textiles

Abstract

This project deals with the prediction of knitted fabric weight per unit area using appropriate software called "proKNIT". The software has been designed according to the existing bibliography and has the ability of determining the weight of knitted fabrics in different relaxing conditions by entering process and material variables i.e. type of fabric and fiber, knitting machine gauge, yarn count, fabric loop length and tightness factor. The prediction of the fabric weight is dependent upon the non-dimensional parameters of K_c , K_w , K_s and R , which have been fed into the system. Therefore, "proKNIT" has the ability of calculating the fabric weight of single and double knitted structures, i.e. plain-knit, purl, 1×1 rib, 2×2 rib and interlock, for natural fibres such as cotton/cotton blends and wool/wool blends.

Περίληψη

Η συγκεκριμένη εργασία σχετίζεται με την πρόγνωση του βάρους ανά μονάδα επι-

φάνειας πλεκτού υφάσματος χρησιμοποιώντας ανάλογο λογισμικό αποκαλούμενο "proKNIT". Το λογισμικό έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία και έχει την ικανότητα προσδιορισμού του βάρους ενός πλεκτού υφάσματος σε διαφορετικά επίπεδα χαλάρωσης με την καταχώριση των μεταβλητών επεξεργασίας και πρώτων υλών, π.χ. τύπος υφάσματος και ίνας, νούμερο πλεκτομηχανής, τίτλος νήματος, μήκος θηλιάς και συντελεστής κάλυψης. Η πρόβλεψη του βάρους ενός υφάσματος εξαρτάται από τις τιμές των μη διαστασιακών παραμέτρων του K_c , K_w , K_s και R οι οποίες έχουν εισαχθεί προηγουμένως στο σύστημα. Συνεπώς, το σύστημα "proKNIT" έχει την δυνατότητα υπολογισμού του βάρους μονόπλακων και δίπλακων πλεκτών όπως της πλέξης "κάλτσα", λινξ-λινξ, 1×1 ριμπ, 2×2 ριμπ και ίντερλοκ για τις φυσικές ίνες βαμβακιού και μαλλιού καθώς και των σύμμεικτων αυτών.

Key Words: *knitting, tightness, factor, dimensional parameters.*

1. Introduction

The first paper of this series [1] is concerned with the presentation of the "proKNIT" system where all the existing forms were presented and explanations were given for the way of presenting the different data. However, the purpose of this work is to evaluate "proKNIT" system by creating our own database of K values for wool and wool blended yarns.

The most important studies which have yielded the most useful information for a practical approach and provided the basis and the necessary tools for further studies have come, on the one hand, from Doyle [2], who has found that the stitch density depends only on the loop length and is independent of the yarn and knitting variables, and Munden [3] on the other, who based his own approach on Doyle's research and then took it one step further.

On single jersey fabrics Munden suggested that the knitted loop length would take a natural shape when released from mechanical strains and is independent of the yarn properties. A further study by Munden [4] has shown that the dimensions of plain knitted wool fabrics, in a state of minimum energy, are dependent only upon the length of the yarn knitted into each loop. His experimental studies have indicated that courses and wales per unit length and loop length are related to each other by constants as follows:

$$K_c = c.p.i \times \ell \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$K_w = w.p.c \times \ell \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$K_s = S \times \ell^2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$K_r = R = \frac{c.p.i}{w.p.i} = \frac{K_c}{K_w} \quad \dots \dots \dots (4)$$

In the original publication, there is $K_2 = K_c$, $K_3 = K_w$, $K_1 = K_s$ and $K_4 = K_r = R$. In the above equations c.p.i. and w.p.i. define the courses per inch and the wales per inch respectively. S is the loop density and arises by multiplying courses and wales per inch. Finally ℓ is the loop length and can be measured in inches and K_r or R is the loop shape. What is significant about the above equations (1-4) is that the length of yarn in the knitting loop is the major factor determining fabric dimensions. Also, fibre content and state of relaxation can also be identified as variables, which produce different constant values. Experimental studies by Munden [3] on wool plain knit fabrics produced the values presented on Table I below for the two relaxed states.

Table 1: Constants values (K) for fabric geometry on plain knit (Munden)

Fabric state	Parameter			
	K_c	K_w	K_s	R
Dry-relaxed	5.0	3.8	19.0	1.31
Wet-relaxed	5.3	4.1	21.6	1.29

Also both Postle [6] and Munden were in agreement concerning the values of K and R , in particular, which are influenced by the cover factor. Dimensions of a fully-relaxed fabric are stable if the yarns have been adequately treated against felting. The values obtained by Postle are presented in Table II.

Table 2: Constants values (K) for fabric geometry on plain knit (Postle)

Fabric state	Parameter			
	K_c	K_w	K_s	R
Dry-relaxed	4.7±0.3	4.0±0.7	18.0±1.0	1.16±0.12
Wet-relaxed	5.4±0.2	4.2±0.1	22.8±0.9	1.28±0.04
Fully-relaxed	5.8±0.2	4.3±0.1	25.2±0.6	1.32±0.04

Smirfitt [7] proposed a model for 1×1 rib structure based on the Nutting and Leaf [8] equation. He was the first to show that for more practical purposes the dimension properties of wool 1×1 rib structure could also be described by K parameters, which are similar but not identical with those found for the plain knit structure. He defined the repeating unit as the length of the yarn in the knitting loop showing on the face or the back of the fabric. This means that the loop length (ℓ) is associated with any one needle and he calculated the courses and wales per inch as seen on the face of fabric. The values of K as presented by Smirfitt appear on Table III.

Table 3: Constants values (K) for fabric geometry on 1X1 rib (Smirfitt)

Fabric state	Parameter			
	K_c	K_w	K_s	R
Dry-relaxed	4.53	3.34	15.1	1.35
Wet-relaxed	5.00	3.19	16.0	1.57

A subsequent paper by Knapton et al. [9] introduced a new term called "structural knitted cell" (SKC), that is, the smallest repeating unit of structure, and suggested the following definitions. The effective loop length should be the length of yarn in one SKC, defined as the structural-cell stitch length (ℓ_u), and the depth and width respectively of the SKC were defined as $1/C_u$ and $1/W_u$ where C_u is equal to courses units/unit fabric length and W_u equal to wale units/unit fabric width. Therefore, Knapton et al. modified Munden's equations (1-4) as follows:

$$u_c = C_u \times \ell_u \dots \dots \dots (5)$$

$$u_w = W_u \times \ell_u \dots \dots \dots (6)$$

$$u_s = S_u \times \ell_u^2 = C_u \times W_u \times \ell_u^2 \dots \dots \dots (7)$$

$$\frac{u_c}{u_w} = \frac{C_u}{W_u} \dots \dots \dots (8)$$

In other words, the SKC of 1×1 rib structure consists of two single loops and that of interlock of four, etc. According to this logic, the values found in the fully relaxed state by Knapton et al, are recalculated and presented on Table IV together with Natkanski's [10] and Smirfitt experimental values.

Table 4: Constants values (K) for fabric geometry on 1X1 rib fully relaxed.

	Parameter			
	K_c	K_w	K_s	R
Knapton et al.	5.30	3.00	15.9	1.76
Smirfitt	5.30	3.14	16.5	1.69
Natkanski experimental	5.35	3.16	17.0	1.69

Knapton et al [9] also made a preliminary study of the dimensional behaviour of 2×2 rib wool structure without, however, giving any details on the knitting process, which is an important omission, since a 2×2 rib fabric can be knitted using either 2/3 needle arrangement or 2/4 needle arrangement. A series of constant values (K) is obtained which are then recalculated in order to be comparable with the results obtained by the author (Table 5).

Table 5: Constants values (K) for fabric geometry on 2X2 rib (Knapton et al)

Fabric state	Parameter			
	K_c	K_w	K_s	R
Dry-relaxed	4.84	3.66	17.69	1.32
Wet-relaxed	5.12	3.51	17.97	1.46
Fully-relaxed	5.57	3.16	17.59	1.76

A further study by Knapton and Fong [11] on interlock fabric, using wool yarns with three different ranges of loop length or structural cell-stitch length (SCSL), as they call it, has shown that the K values are not constant in dry and wet relaxed states but are significantly dependent on loop length. However, in the fully relaxed state, no significant dependency of K values on SCSL was observed. They also observed that the standard deviations of K values in fully relaxed state were surprisingly large, suggesting that some felting occurs in tumble-drying. The different K values, which they obtained have also been recalculated and presented on the Table 6.

Table 6: Constants values (K) for fabric geometry on interlock (Knapton and Fong)

Fabric state	Parameter			
	K_c	K_w	K_s	R
Dry-relaxed	4.23	2.57	10.87	1.65
Wet-relaxed	4.44	2.58	11.45	1.73
Fully-relaxed	5.12	2.45	12.54	2.10

2. Experimental Details

In order to calculate with substantial accuracy the fabric weight per unit area, it is important to have our own database of K values, and to do this it was considered extremely important to produce the knitted fabrics, which would be subjected to the selected treatments. By analyzing the produced fabrics, the required results would be obtained, which would be fed into "proKNIT" system, thus making it more accurate and realistic.

However, due to the enormous amounts of data required in order to make the system work but also to remain as realistic as possible, it was decided to carry out tests and make predictions about wool mixture fabrics only in dry and wet relaxed states.

Yarns used

The yarns used in this experiment were taken from industry and cover the most popular mixtures and yarn sizes used in the production of knitted goods. The yarns were tested only for yarn count, while the results obtained together with their specifications are listed on Table 7. When knitting fabrics using a thinner yarn count, it is common practice to combine two or three separate ends of the fine yarn, rather than to use a single multi-folded yarn. The difference in K values for the fabrics produced by separate ends and those produced by multi-folded yarn are fairly small, provided that the total number of ends knitting singles and multi-fold yarns is the same [7]. It is seen from Table 7 that according to the yarn count, two and three parallel ends were used to produce the required fabrics.

Table 7: Yarn specifications

Yarn composition	Yarn count	Number	Total count	Total count	
	Nm	Tex	of yarns used	used (tex) (Theoretical)	used (tex) (Actual)
50% Acrylic / 50% Wool extra fine (undyed)	2/28	2/36	3	215	218.4
70% Acrylic /30% Wool (undyed)	2/28	2/36	3	215	218.1
50% Acrylic / 25% Viscose / 25% wool (undyed)	2/17	2/59	2	235	234.4
50% Wool Merinos / 50% Dralon (dyed blue)	2/28	2/36	3	215	219.6
Dry Relaxed 70% Wool / 30% Acrylic (dyed brown)	2/28	2/36	3	215	218.4
50% Acrylic 25% Viscose 25% Wool (dyed beige)	2/17	2/59	2	235	256.8

Knitting Details

The five fabrics (plain knit, purl, 1×1 rib, 2×2 rib and interlock) were knitted from all yarns presented on Table 8 on a STOLL C.M.S. 411 selectanit electronic –V- bed-knitting machine, with 7 needles per inch. The machine has two knitting systems, which can work together or independently. The knitting process of all fabrics, however, involved only one knitting system. The knitting speed was controlled electronically at 1.2 meters/second using the same knitting system for the production of all fabrics. Two or three parallel yarns were fed to the front yarn feeder, which was used throughout the whole knitting process. The take-down tension and the yarn input tension were kept

constant for each type of fabric, by programming through the software of the knitting machine.

Sample fabrics from each yarn were knitted at three different loop lengths so as to cover a range of three different tightness factors (TF), very close to the average value of 1.46 according to the following equation.

$$TF = \frac{\sqrt{\text{tex}}}{\ell}$$

Table 8 presents the values used for stitch cam setting. The values shown do not correlate to stitch length, nor to cover factor, however, 12.5 will create a smaller loop length than 13.5 value and so on.

Table 8: *Stitch cam details*

Type of knitted fabric	Yarn size (Tex)	Stitch cam setting		
Plain Knit and purl fabric	215	12.5	13.5	14.5
	235	13.5	14.5	15.5
1 × 1 Rib Knit	215	10.5	11.5	12.5
	235	11.5	12.5	13.5
2 × 2 Rib Knit	215	11.2	12.2	13.2
	235	11.2	12.2	13.2
Interlock	215	11.5	12.5	12.5
	235	11.5	12.5	12.5

Plain knit, purl and 1 × 1 rib were produced without needle selection, but directly from the cam system. During the production of plain knit only, the front bed needles were active with the back bed needles out of action. The purl structure was produced on the principle that loops are transferred from one bed to another in order to draw reverse loops through face loops and vice versa. For the production of simple 1 × 1 rib structure, both cam boxes were activated to knit with all needles on both beds. Interlock fabric was knitted by selected needles on both needle beds and using half racking to bring the needles alignment from the front and back bed. Finally, the 2 × 2 rib structure was knitted using needle selection where only two of every three needles are active in the front and the rear needle bed. All knitting machine details have been saved for the production of the predicted fabric weight samples.

Fabric analysis

This investigation was concerned solely with the prediction of fabric weight per unit area of wool mixture fabrics, while consolidation and felting conditions were not considered. Static wet treatment was, therefore, used throughout, and agitation of the samples was specifically excluded.

Two sets of knitted samples were produced, one after the other, for all categories of fabrics, yarns and stitch cam settings. One of the samples was placed directly in a testing laboratory for conditioning and relaxing for a period of 48 hours before starting measurements. The other sample was placed flat for two hours inside a large stain steel tub containing water at 40°C. The excess water was hydro-extracted in a domestic washing machine and the sample was left flat to dry. After drying, the fabric was placed in a controlled atmosphere and brought back to standard conditions for a period of over 24 hours before measurements commenced.

After the conditioning of the knitted fabrics, courses and wales per centimeter were counted using a magnifying glass of three by three centimeters viewing. Ten random measurements of the three-centimeter viewer were taken and the values tabulated for estimation of the mean value.

Unraveling the knitting yarn from a 15 cm wide fabric and using a crimp tester 1500mm long, the course length of each fabric width was calculated. From each type of fabric, ten random course lengths were taken and their average value was calculated. It was found, however, that course length variation rarely exceeded 1%. The loop length in mm was calculated simply by dividing the average course length found in each fabric by the amount of wales present in 15 cm knitted fabric.

3. Results and Discussion

According to the values obtained for courses and wales per centimeter and loop length in millimeters, the values of K_c , K_w , K_s and R were calculated. Some of the results obtained have been tabulated on the Table 9.

Table 9: Dimensional values

Type of fabric	c.p.c.	w.p.c	Loop length (mm)	K_c	K_w	K_s	K_c/K_w R
Plain knit 12.5 undyed (dry relaxed)	5.3	4.1	9.50	50.3	39.0	1950	1.29
Plain knit 12.5 undyed (wet relaxed)	5.7	4.3	9.50	54.1	40.9	2213	1.32
Purl knit 14.5 undyed (dry relaxed)	5.6	2.9	12.20	68.3	35.4	2418	1.93
Purl knit 14.5 undyed (wet relaxed)	5.6	3.0	12.28	68.8	36.9	2539	1.87
1 × 1 rib 10.5 undyed (dry relaxed)	5.3	4.0/2	8.52	45.2	34.1	1541	1.33
1 × 1 rib 10.5 undyed (wet relaxed)	5.9	3.7/2	8.51	50.2	31.5	1581	1.59
2 × 2 rib 13.2 undyed (dry relaxed)	4.0	3.1/2	12.25	49.0	37.9	1857	1.29
2 × 2 rib 13.2 undyed (wet relaxed)	4.3	2.9/2	12.21	52.5	35.4	1859	1.48
Interlock 12.5 undyed (dry relaxed)	4.2	3.9/2	11.57	48.6	45.0	2187	1.08
Interlock 12.5 undyed (wet relaxed)	4.5	3.7/2	11.60	52.2	42.9	2239	1.22

At this point, it is necessary to make some comments as far as the obtained K values are concerned. In SI units the recommended length unit for courses and wales per unit length is the centimetre and that of the stitch length is the millimetre. This causes the values of K_s , found in previous works, to be multiplied by 100 and those of K_c and K_w by 10, in order to be compared with the values presented on Table 10. The ratio value R is naturally, not affected. For double jersey fabrics (1×1 rib, 2×2 rib and interlock) the values of wales per unit length are given with a slash and a value of 2 (i.e. 4.0/2). This value refers to the number of wales on the back of the fabric. The estimation of K values has been reached by multiplying courses and wales per centimeter shown on the face of the fabric by the loop length respectively. The logic of the structural knitted cell (SKC) used by Knapton et al has not been adopted in the calculations of K values. The small differences, in tenths of a hundred, found in loop length between dry and wet relaxed states have to be ignored because they do not affect the final values of K, nor the cover factor of the fabrics (Table 9). According to stitch cam settings used, the cover factor was kept within the reason of $\pm 18\%$ of the recommended average value of 1.46, since various authors [4, 8, 12, 13] have commented that the so-called "constants" K_c , K_w and K_s do not remain constant over a wide range of tightness factors. The values presented on Table 10 indicate the above mentioned percentage variation of tightness factor.

Table 10: Variation of tightness factors

Type of fabric	Yarn Count (tex)	Loop length (mm)	Tightness Factor
Plain knit 12.5 undyed (dry relaxed)	218.4	9.50	1.56
Plain knit 12.5 undyed (wet relaxed)	218.4	9.50	1.56
Purl knit 14.5 undyed (dry relaxed)	218.4	12.20	1.21
Purl knit 14.5 undyed (wet relaxed)	218.4	12.28	1.21
1×1 rib 10.5 undyed (dry relaxed)	218.4	8.52	1.74
1×1 rib 10.5 undyed (wet relaxed)	218.4	8.51	1.74
2×2 rib 13.2 undyed (dry relaxed)	218.4	12.25	1.21
2×2 rib 13.2 undyed (wet relaxed)	218.4	12.21	1.21
Interlock 12.5 undyed (dry relaxed)	218.1	11.57	1.27
Interlock 12.5 undyed (wet relaxed)	218.1	11.60	1.27

The constant values (K) that were achieved with 95% confident limits for all fabrics produced, from dyed and undyed yarns in dry and wet relaxed states, were tabulated on the Table 11. The non-dimensional parameters of Table 11 have been fed into "proKNIT" system in order to make it operational. The prediction of fabric weight per unit area is a result of these non-dimensional parameters (constant K values) in conjunction with yarn linear density, loop length and/or tightness factor.

The values of the non-dimensional parameters (K_c , K_w , K_s and R) presented on Table 11 are significantly dependent on the relaxing condition (dry, wet) as well as the type of yarn used, dyed or undyed. Comparing the author's K values with those presented by Munden (Table 1), it becomes clear that the general conclusion is that there is no significant difference between them. In dry relaxed state for undyed wool the values of K are about the same. In wet relaxed state, the authors have estimated separate K values for dyed and undyed yarns in order to have a higher accuracy or small deviations when determining fabric weight in correlation with real fabric weight. When determining the average K values, which result from both yarns, dyed and undyed, it is apparent that there is a very close correlation with K values presented by Munden. In trial testing conducted by applying Munden's K values to "proKNIT" system, it was proven that the results produced did not differentiate greatly from those obtained by measuring the real fabric weight in both states of relaxation (dry and wet).

Moreover, in plain knit fabrics in a dry relaxed state, the K values presented by Postle do not approach either those obtained by Munden or those presented on Table 11. On the contrary, in wet relaxed state there is a clearer picture as far as the constant values are concerned. Postle's K values are very close to those presented by the authors for undyed yarns; however, the ratio of K_c to K_w presented is lower, something which probably has to do with the tightness factors used by Postle.

Table 11: Non-dimensional parameters used on "proKNIT" system.

Type of fabric	Process	K_c	K_w	K_s	R
Plain knit undyed yarn	Dry	50.0±0.3	38.8±0.2	1940	1.29
Plain knit dyed yarn	Dry	50.0±0.3	39.5±0.2	1975	1.27
Plain knit undyed yarn	Wet	54.0±0.3	41.0±0.2	2214	1.32
Plain knit dyed yarn	Wet	53.0±0.3	40.0±0.2	2120	1.32
Purl fabric undyed yarn	Dry	68.8±0.7	36.2±0.4	2490	1.90
Purl fabric dyed yarn	Dry	70.2±0.7	37.0±0.4	2585	1.90
Purl fabric undyed yarn	Wet	70.0±0.7	37.0±0.4	2590	1.89
Purl fabric dyed yarn	Wet	72.4±0.7	38.3±0.4	2773	1.89
1 × 1 Rib undyed yarn	Dry	44.0±0.6	34.0±0.3	1500	1.30
1 × 1 Rib dyed yarn	Dry	45.0±0.6	34.0±0.3	1530	1.32
1 × 1 Rib undyed yarn	Wet	50.0±0.6	31.5±0.3	1575	1.58
1 × 1 Rib dyed yarn	Wet	50.0±0.6	32.5±0.3	1625	1.54
2 × 2 Rib undyed yarn	Dry	49.0±0.2	38.0±0.2	1862	1.29
2 × 2 Rib dyed yarn	Dry	50.0±0.2	38.0±0.2	1900	1.31
2 × 2 Rib undyed yarn	Wet	52.4±0.2	35.5±0.2	1860	1.50
2 × 2 Rib dyed yarn	Wet	53.0±0.2	36.0±0.2	1908	1.47
Interlock undyed yarn	Dry	48.0±0.2	45.0±0.2	2160	1.06
Interlock dyed yarn	Dry	48.8±0.2	45.8±0.2	2235	1.07
Interlock undyed yarn	Wet	51.6±0.2	42.7±0.2	2203	1.21
Interlock dyed yarn	Wet	52.4±0.2	43.3±0.2	2270	1.21

As far as double knitted fabrics are concerned, or 1×1 Rib in particular, Smirfitt analysed this structure using the logical path of plain knit fabrics and thus produced the non-dimensional parameters of K values presented on Table 3. Comparing these values with those obtained by the authors, it seems clearly that there is a very close correlation between them. Knapton et al also presented a set of K values for dry and wet relaxed states using the logic of structural knitted cell (SKC) for 1×1 rib structure. The results as they have been presented do not agree with those listed on Table XI and this is because the logic behind the calculation is different. By recalculating the values presented by Knapton et al, so as to be more easily comparable to those on Table 11 it appears that there is still a great difference between them. When applying Smirfitt's values to "proKNIT" system for determining the fabric weight per unit area of 1×1 rib it is obvious that the predictions of fabric weight are more realistic than those of Knapton et al.

Looking at the K_s values obtained for dry and wet states of double knit structures (1×1 rib, 2×2 rib and interlock) as presented on Table 11, it becomes apparent that there is no substantial increase in the values as the state of relaxation passes from dry to wet. This is due to the fact that the loops inside the structure rearrange themselves, giving out approximately the same total K_s value. However, an increase in the K_c value for 1×1 rib structure in wet state particularly, does not necessarily mean that there will be a proportionate increase in K_w value, which, in fact, decreases. The same behavior is also characteristic of the rest of the structures of 2×2 rib and interlock where the rearrangement of loop position inside the structure results in giving out very small differences in K_s values. This rearranging behaviour of courses and wales per unit length inside the structure is indicated by the value of R, which is directly affected and determined by the increase in differences between courses and wales per unit length and width respectively. The values obtained for the interlock fabric in a dry relaxed state, however, are of particular interest since, while the ratio between courses and wales per centimeter is about equal (1.06 or 1.07), this ratio increases as the process of relaxation moves from dry to wet state. The same behaviour is also the case for 2×2 rib structures.

Knapton et al have also shown this tendency of loop rearrangement in 2×2 rib structure (Table 5). The K_s values they obtain in two relaxed states, dry and wet, do not change distinctively but remain more or less about the same, while at the same time there is an increase in ratio values. All constant values presented by Knapton et al are lower than those recorded by the author on Table 11, therefore, it is precarious to use any of these values for determining fabric weight.

For interlock fabrics Knapton and Fong presented a set of K values in dry and wet relaxed states (Table 6), which are completely different from those presented by the authors on the above table.

4. Estimations of fabric weight per unit area using "proKNIT" software

All the values of K_c , K_w , K_s and R presented on Table 12 were fed into the software of "proKNIT" system so as to set it up with the necessary data. In order to compare the theoretical fabric weight predicted by "proKNIT" system with that of actual fabric weight, new samples called "reference samples" were knitted by the same knitting machine, Stoll CMS 411 selectanit electronic –V- bed-knitting machine with a gauge of 7 needles per inch. The new knitting machine was programmed with the data obtained from experimental trials also using the same types of yarns. All "reference" knitted fabrics produced were relaxed in dry and wet states and then the fabric weight in grams per square meter as well as the loop length of each fabric was determined. The tightness factor for each fabric was calculated using the values of loop length and yarn count.

Then the values of machine gauge, yarn count and tightness factor were entered into "proKNIT", which processed the data given and produced the estimated loop length, courses and wales per centimetre and theoretical fabric weight. Some of the results obtained by both procedures are presented on Table 12.

By making a simple overall comparison of the figures presented on Table 12, it appears that "proKNIT" system has predicted the fabric weight per unit area with a variation of less than $\pm 3.8\%$. The small differences presented in loop length values between actual and theoretical fabric weight have to do with diversion in calculations. The system always starts the prediction of the theoretical fabric weight by determining fabric loop length through the variables of yarn count and tightness factor.

On Table 12 the interlock values of fabric weight represent an undyed fabric knitted at 13.5 stitch cam setting, in both dry and wet relaxed states. According to the values obtained, the increase in mass weight from dry to wet relaxed state is 26gr/m^2 for the tested fabric and 22.5gr/m^2 for the estimation values of "proKNIT" system. In other words, the increase in weight for dry to wet relaxation of the tested fabric is 3.5% and 3.1% for the theoretical values predicted by "proKNIT". The difference between the two percentage values is 0.5%, a value that can be considered as negligible.

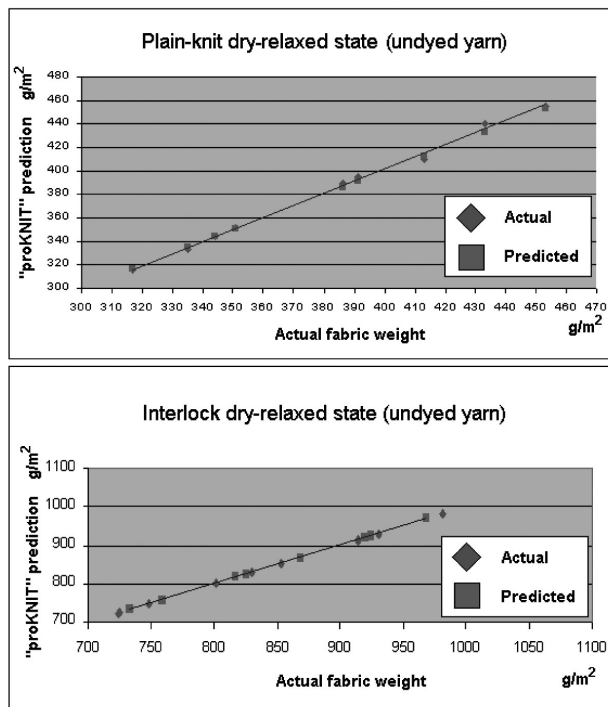
Table 12: Comparison between actual fabric weight and predictions of "proKNIT" system

Fabric type	c.p.c.	w.p.c.	Loop density	Loop length (mm)	Actual fabric weight (g/m ²)	Theoretical fabric weight (g/m ²)	Tightness Factor	Yarn count (tex)
Plain knit undyed dry 12.5	-	-	-	9.72	440	-	1.52	218.1
"proKNIT" estimation plain undyed dry 12.5	5.15	3.99	20.55	9.71	-	435.20	1.52	218.1
Plain knit undyed wet 13.5	-	-	-	11.02	475	-	1.39	234.4
"proKNIT" estimation plain undyed wet 13.5	4.91	3.70	18.17	11.00	-	468.15	1.39	234.4
Purl dyed dry 14.5	-	-	-	12.74	432	-	1.16	218.4
"proKNIT" estimation purl dyed dry 14.5	5.51	2.9	15.98	12.74	-	444.63	1.16	218.4
1X1 rib undyed dry 11.5	-	-	-	10.45	699	-	1.47	234.4
"proKNIT" estimation 1X1 rib undyed dry 11.5	4.22	3.26	13.76	10.42	-	672.16	1.47	234.4
1X1 rib dyed wet 11.5	-	-	-	10.80	768	-	1.48	256.8
"proKNIT" estimation 1X1 rib dyed wet 11.5	4.62	3.00	13.86	10.83	-	770.93	1.48	256.8
2X2 rib dyed dry 13.2	-	-	-	12.40	759	-	1.29	256.8
"proKNIT" estimation 2X2 rib dyed dry 13.2	4.02	3.05	12.26	12.42	-	782.05	1.29	256.8
2X2 rib dyed wet 12.2	-	-	-	10.35	814	-	1.43	218.4
"proKNIT" estimation 2X2 rib dyed dry 12.2	5.13	3.48	17.88	10.33	-	806.77	1.43	218.4
Interlock undyed dry 13.5	-	-	-	12.95	725	-	1.14	218.4
"proKNIT" estimation interlock undyed dry 13.5	3.70	3.47	12.84	12.96	-	726.86	1.14	218.4
Interlock undyed wet 13.5	-	-	-	12.87	751	-	1.15	218.4
"proKNIT" estimation interlock undyed wet 13.5	4.02	3.32	13.35	12.85	-	749.32	1.15	218.4

After a closer look at the other estimated values on Table 12, it becomes clear that "proKNIT" software is, indeed, capable of making predictions of fabric weight per unit area with substantial accuracy, provided, of course, that the values of non-dimensional parameters (K_C , K_w , K_s and R) at different states of relaxation fed into the system are realistic.

Using "proKNIT" system the estimated fabric weight for each reference fabric was predicted simply by entering the values of machine gauge, yarn count and tightness factor. The predicted values of fabric weight were plotted against the real values of fabric weight and the graphs of Figure 1 were produced for plain-knit and interlock structures in dry relaxed state.

The graphs of Figure 1 show the alignment of the results obtained from a plain-knit structure produced from undyed yarn. The square dots show the values of the fabric weight estimated by "proKNIT" system and the rhomb ones the fabric weight found after testing. It is clear that the predicted values largely coincide with the actual ones along the line, which means that the deviation is extremely small. The second graph of the same figure, which represents estimations for the interlock structure, presents a similar picture where most of the dots coincide with each other, giving out small differences between the predicted and the actual fabric weight.



5. Conclusion

After a close study of the results given, the following conclusions can be drawn:

- ❑ "ProKNIT" system has been created according to the existing literature on the geometry and dimensional properties of weft knitted fabrics.
- ❑ The first attempt to predict fabric weight for wool mixture yarns was successful and the predictions did not show significant differences from actual fabric weight.
- ❑ The whole system is constantly being replenished with more data in order to cover a much wider variety of yarns so as to make it more flexible and minimize errors.

At the moment, the system is being tested with a considerable degree of success by two knitting factories, one of which produces cotton knitted fabrics and the other one woollen knitted goods.

References

- [1]. Gravas, E., and Gravas, L., Applied Research Review of TEI Piraeus 185-193, Vol. X (2005).
- [2]. Doyle, P. J., J. 44, J. Textile Inst. 561-P578 (1953).
- [3]. Munden, D. L., J. Textile Inst. 50, T448-T471 (1959).
- [4]. Munden, D. L., J. Textile Inst. 51, P200-P209 (1960).
- [5]. Knapton, J. J. F., Ahrens, F. J., Ingenthron, W. W., and Fong W., Textile Res. J. 38, 999-1012 (1968).
- [6]. Postle, R., J. Textile Inst. 59, 65-77 (1968).
- [7]. Smirfitt, J. A., J. Textile Inst. 56, T248-T259 (1965).
- [8]. Nutting, T. S., and Leaf, G. A. V., J. Textile Inst. 55, T45-T53 (1964).
- [9]. Knapton, J. J. F., Ahren, F. J., Ingenthron, W. W., and Fong W., Textile Res. J. 38, 1013-1026 (1968).
- [10]. Natkanski, K. B., Ph.D. Thesis University of Leeds (1967).
- [11]. Knapton, J. J. F., and Fong W., Textile Res. J. 41, 158-166 (1971).
- [12]. Knapton, J. J. F., and Munden, D. L., Textile Res. J., 36, 1072-1080 (1966).
- [13]. Munden, D. L., Leigh, B. G., and Chell, F. N., J. Textile Inst. 54, P135 (1963).

Εφαρμογή των νέων υγρών καυσίμων τύπου Super για την κίνηση οχημάτων παλαιάς τεχνολογίας με ελεγχόμενη έναυση της καύσης. Επίδραση στην απόδοση ισχύος και στο περιβάλλον

Γ.Θ. Βλάχος

Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά

Χ. Κουτσογιώργης

Γενικό Τμήμα Μαθηματικών

Τομέας Πληροφορικής

Δ. Τσελές

Τμήμα Αυτοματισμού, ΤΕΙ Πειραιά

Κ. Γλύστρας

Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά

Γ. Πολίτης

Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά

Ι. Λιβέρης

Τμήμα Ηλεκτρολογίας, ΤΕΙ Πειραιά

Γ. Πολλάλης

Τμήμα Ηλεκτρολογίας, ΤΕΙ Πειραιά

Περίληψη

Το ενδιαφέρον για τα καύσιμα των μηχανών εσωτερικής καύσης έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, αφενός λόγω της μεγάλης περιβαλλοντικής ρύπανσης που έχουν επιφέρει, και αφετέρου λόγω της μεγάλης ζήτησης εξαιτίας της αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας. Ανάλογα με τον τύπο και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου που χρησιμοποιείται μπορεί να έχει μεγάλη επίπτωση στο σχεδιασμό, στην κατασκευή, στην ισχύ, στην κατανάλωση καυσίμου και πολλές φορές στην αξιοπιστία και στην αντοχή της μηχανής. Σε αυτήν την εργασία θα ασχοληθούμε με τα υγρά καύσιμα που χρησιμοποι-

ούνται από το 99% των μηχανών εσωτερικής καύσεως, το οποίο αποδεικνύει και τη σπουδαιότητα αυτής της έρευνας. Ειδικότερα θα προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε τις διαφορές από τη χρήση βενζίνης τύπου σούπερ, με πρόσθετα μόλυβδου, η οποία καταργήθηκε, και με πρόσθετα καλίου που την αντικαθιστά, στην ισχύ, στην ειδική κατανάλωση, στη ροπή και στις εκπομπές ρύπων ενός παλινδρομικού κινητήρα εσωτερικής καύσεως ελεγχόμενης έναυσης, παλαιάς τεχνολογίας.

Λέξεις Κλειδιά: Καύσιμα, Βενζίνη, Μ.Ε.Κ., Οχήματα, Μόλυβδο, Κάλιο, Περιβαλλοντική Ρύπανση.

Abstract

Interest in fuels for internal combustion engines has increased in recent years because of the big environmental pollution that is involved, as well as the big demand to due increased consumption of energy. Depending on the type and the characteristics of fuels that are used a considerable influence on the design, manufacture, efficiency, consumption of fuel and often the reliability and durability of the engine may result. In this work we will deal with the liquid fuels that are used by the 99% of internal combustion engines. That also proves the importance of this research. More specifically we will try to determine the differences from the use of petrol type super, with additives of lead which is suppressed and with additives of potassium that replaced it, in efficiency, in special consumption, in torque and in emissions of a reciprocating internal combustion engine with spark ignition and carburetor.

Key Words: Gasoline, Fuels, Internal Combustion Engines, Vehicles, lead, Kalium, Environment Pollution.

1. Εισαγωγή

Στους παλινδρομικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης, η θερμική ενέργεια που μετατρέπεται σε μηχανικό έργο, δίνεται από τις χημικές αντιδράσεις οξείδωσης του καυσίμου με το οξυγόνο που περιέχεται στον αέρα. Αυτές οι χημικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται μέσα στον ίδιο κύλινδρο του κινητήρα και θα πρέπει να ολοκληρωθούν σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα της τάξης μερικών [ms]. Μεταξύ των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις μηχανές εσωτερικής καύσης τα υγρά καύσιμα, αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας για αυτούς τους κινητήρες και μάλιστα εκείνων που προκύ-

πουν από την κλασματική απόσταξη του αργού ορυκτού πετρελαίου.

Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου “Αρχιμήδης” που είχε σα στόχο την εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων για την κίνηση των αυτοκινήτων τόσο από οικονομικής άποψης όσο, κυρίως, από προστασίας του περιβάλλοντος, πραγματοποιήθηκαν πειράματα, εκτός των άλλων, σύγκρισης της απόδοσης του ίδιου κινητήρα όταν αυτός χρησιμοποιεί καύσιμο με διαφορετικές παραμέτρους όπως για παράδειγμα βενζίνη, υγραέριο φυσικό αέριο και τέλος υδρογόνο.

Με την ευκαιρία της κατάργησης της βενζίνης με πρόσθετα ενώσεων μολύβδου και την αντικατάστασής της με εκείνη με πρόσθετα ενώσεων καλίου για την κίνηση παλινδρομικών κινητήρων εσωτερικής καύσης παλαιάς τεχνολογίας, τέθηκε το ερώτημα ποιες θα ήταν οι επιπτώσεις τόσο στην απόδοση όσο και στην επίδραση στο περιβάλλον. Για την απάντηση αυτού του ερωτήματος πραγματοποιήθηκε πιο κάτω, ερευνητικό έργο τα αποτελέσματα του οποίου παρατίθενται

2. Αντικρουστικές ιδιότητες των βενζινών

Μια από τις χαρακτηριστικές παραμέτρους των βενζινών που χρησιμοποιούνται για την αυτοκίνηση είναι η αντίσταση που παρουσιάζουν αυτές στην κρουστική καύση. Η κρουστική καύση αποτελεί μια μορφή ανώμαλης καύσης η οποία περιορίζει την απόδοση των κινητήρων, κυρίως της ισχύος και της ειδικής κατανάλωσης ενώ ταυτόχρονα, την ίδια στιγμή, επιβάλλει όρια στην παραγωγή των βενζινών. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται προς τα έξω από τον κινητήρα με ένα χαρακτηριστικό μεταλλικό ήχο όμοιο με εκείνο ενός σφυροκοπήματος, με ταλάντωση των τοιχωμάτων του κινητήρα, υπερθέρμανση αυτού, φθάνοντας σε συνθήκες ειδικά επικίνδυνες που μπορούν να προξενήσουν σοβαρές βλάβες στον κινητήρα.

Το φαινόμενο της κρουστικής ανώμαλης καύσης είναι σύνθετο και συμπεριλαμβάνει ακόμη διάφορες χαρακτηριστικές παραμέτρους του καυσίμου όπως, η καθυστέρηση της αρχής της καύσης, ταχύτητα ομαλής καύσης κ.λπ., καθώς και μεγάλο αριθμό παραμέτρων της κατασκευής και της λειτουργίας του κινητήρα. Έπρεπε να οριστεί με τον απλούστερο δυνατό τρόπο μια μονάδα μέτρησης της αντικρουστικής ιδιότητας των βενζινών.

Η αντίσταση στην πρόωγη ανάφλεξη του καυσίμου προσδιορίζεται με τον αριθμό των οκτανίων που αντιστοιχεί σε αυτή (NO), που δείχνεται με έναν ακέραιο αριθμό που είναι ο πλησιέστερος στον επί της εκατό κατ’ όγκο ενός μείγματος που αποτελείται από ισο-οκτάνιο και από κανονικό επτάνιο, του οποίου οι αντικρουστικές χαρακτηριστικές ιδιότητες είναι ίδιες με εκείνες του καυσίμου του οποίου προσδιορίζεται ο αριθμός οκτανίων του. Η σύγκριση αυτή γίνεται πάνω σε τυποποιημένο κινητήρα C. F. R. (Cooperative Fuel Research) με διαδικασία αυστηρά τυποποιημένη. Διάφοροι μέθοδοι έχουν προταθεί για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση για τον προσδιορισμό του

αριθμού των οκτανίων (NO) ενός καυσίμου. Μεταξύ αυτών δύο επεκράτησαν και εφαρμόζονται μέχρι σήμερα: η μέθοδος Research της οποίας η διαδικασία φαίνεται στους κανονισμούς ASTM-D 2700 και η μέθοδος Motor της οποίας η διαδικασία φαίνεται στους κανονισμούς ASTM-D 2700 και ASTM-D 2699.

Στις εφαρμογές για την ποιοτική βελτίωση των αντικρουστικών ιδιοτήτων των βενζινών χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι:

- Ειδική επιλογή των υδρογονανθράκων που αποτελούν το καύσιμο με βάση τη χημική τους σύσταση
- Η χρήση μείγματος από υδρογονάνθρακες που έχουν μεγάλο αριθμό οκτανίων
- Την πρόσθεση ειδικών αντικρουστικών ουσιών.

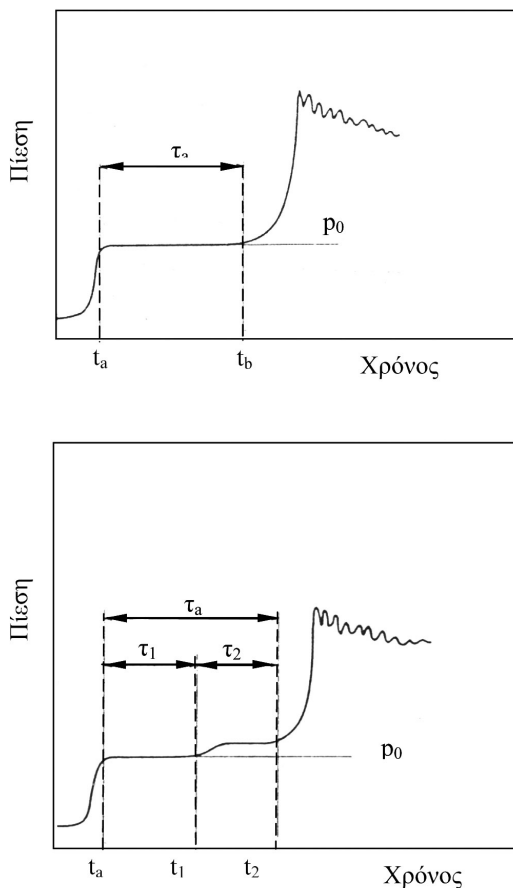
Οι βενζίνες που χρησιμοποιούνται σήμερα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: στις “πράσινες βενζίνες” των οποίων οι αντικρουστικές ιδιότητες επιτυγχάνονται με την εφαρμογή της δεύτερης πιο πάνω μεθόδου και χρησιμοποιούνται για την κίνηση των αυτοκινήτων νέας τεχνολογίας και στις βενζίνες Super των οποίων οι αντικρουστικές ιδιότητες επιτυγχάνονται με την εφαρμογή της τρίτης μεθόδου δηλαδή με την προσθήκη αντικρουστικών ουσιών.

Από αυτές τις ουσίες πολύ δραστικές υπήρξαν ορισμένα άλατα του μολύβδου, όπως:

- Ο τετρααιθυλιούχος μόλυβδος (TEL): $Pb(C_2H_5)_4$
- Ο τετραμεθυλιούχος μόλυβδος (TML): $Pb(CH_3)_4$

Οι ουσίες αυτές χρησιμοποιούμενες σε μικρές ποσότητες (0,1-0,4 [gr/dm³]), αυξάνουν τις αντικρουστικές ιδιότητες του καυσίμου με χαμηλό κόστος σε αντίθεση με τη διαδικασία που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια της κλασματικής απόσταξης αλλάζοντας τη χημική σύνθεση του υδρογονάνθρακα που απαιτεί όμως μεγαλύτερο οικονομικό κόστος.

Η δράση τους φαίνεται ότι αποδίδεται στη διακοπή της αλυσίδας αντιδράσεων με την σύγκρουση των δρώντων σωματιδίων με τα άτομα της πρόσθετης ουσίας. Έτσι υπάρχει μια δράση σταματήματος και αποδραστηριοποίησης από το μέρος του οξειδίου του μολύβδου (που δημιουργείται από την αποσύνθεση του αρχικού άλατος) των ριζών μεταφοράς της αλυσίδας, που παρεμβαίνουν στις χαρακτηριστικές χημικές αντιδράσεις, που λαμβάνουν χώρα στη δεύτερη φάση της καθυστέρησης της αερίων καύσης (σχήμα 1). Οι επιδράσεις των τοξικών ουσιών στο περιβάλλον από τις ενώσεις του μολύβδου που εξέρχονται μαζί με καυσαέρια καθώς και η καταστροφή των καταλυτών για τη μείωση των ρυπογόνων ουσιών στα εξερχόμενα καυσαέρια, αλλά κυρίως τις σοβαρότατες επιδράσεις που προξενεί αυτό στη υγεία των ζώντων οργανισμών, οδήγησε την κατάργηση της χρήσης των ενώσεων μολύβδου ως αντικρουστικά πρόσθετα στη βενζίνη.



Σχήμα 1: Μέτρηση της καθυστέρησης της αρχής της καύσης ενός ομογενούς μείγματος καυσίμου με τη χρήση της μεταβολής της πίεσης εντός ενός κινητήρα γρήγορης συμπίεσης: α) στην περίπτωση της αυτοανάφλεξης σε ένα μοναδικό στάδιο και β) σε εκείνο που πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Με καθυστέρηση έναρξης της καύσης.

Με την κατάργηση των βενζινών με πρόσθετα μολύβδου τέθηκαν σε εφαρμογή για την αυτοκίνηση βενζίνες δίχως ενώσεις μολύβδου οι ονομαζόμενες “πράσινες” βενζίνες με την ταυτόχρονη ανάπτυξη της νέας τεχνολογίας κατασκευής των αυτοκινήτων με την ταυτόχρονη απομάκρυνση του στόλου των αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας.

Στην Ελλάδα εκτός από την είσοδο της νέας τεχνολογίας αυτοκινήτων και τη χρήση των αμόλυβδων βενζινών, χρησιμοποιείται βενζίνη με πρόσθετα καλίου για την κίνηση των αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας, δηλαδή δεν υιοθετήθηκε το μέτρο της απόσυρσης των αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας.

Με δεδομένο το πιο πάνω, έγινε προσπάθεια να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις του νέου τύπου της βενζίνης, τόσο στην απόδοση των κινητήρων των αυτοκινήτων όσο και στο περιβάλλον από τις εκπομπές των καυσαερίων. Ξεκινώντας με την εξακρίβωση ότι οι δύο βενζίνες με πρόσθετα μολύβδου και καλίου έχουν τον ίδιο αριθμό οκτανίων 98 ΝΟ και τροφοδοτώντας τον ίδιο κινητήρα παλαιάς τεχνολογίας, μετρήθηκαν οι διάφορες μηχανικές χαρακτηριστικές παράμετρος αυτού με σκοπό να γίνει η σύγκριση αυτών.

3. Επιδόσεις παλινδρομικού κινητήρα εσωτερικής καύσης

Για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών στα οποία πρέπει να γίνει σύγκριση θα προσδιοριστούν εκείνα που θα δώσουν μια σαφή εικόνα των αποτελεσμάτων αυτής.

Για να πραγματοποιηθεί μια ορθή σύζευξη στις πρακτικές εφαρμογές ενός παλινδρομικού κινητήρα και μιας καταναλώτριας μηχανής (αυτοκίνηση, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, γεωργικά μηχανήματα κ.λ.π) είναι αναγκαίο να είναι γνωστό πως μεταβάλλονται οι επιδόσεις του κινητήρα σε συνάρτηση των απαιτήσεων της καταναλώτριας μηχανής. Η αποδιδόμενη ισχύς, και ροπή στον άξονα του κινητήρα, η ειδική κατανάλωση του καυσίμου και η παραγόμενη ρύπανση ου περιβάλλοντος αποτελούν τις βασικές παραμέτρους της λειτουργίας και των επιδόσεων ενός παλινδρομικού κινητήρα.

Συνεπώς η σύγκριση θα πρέπει να γίνει στις μηχανικές χαρακτηριστικές του κινητήρα στην περίπτωση που αυτός χρησιμοποιείται για την κίνηση του αυτοκινήτου.

Η ισχύς στο άξονα ενός παλινδρομικού κινητήρα θα δίνεται από τη σχέση:

$$P_u = C_m \cdot \omega \quad [1]$$

όπου P_u είναι η ισχύς στον άξονα του παλινδρομικού κινητήρα
 C_m είναι η ροπή στον άξονα του κινητήρα
 ω είναι η γωνιακή ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται ο άξονας του κινητήρα.

Η γωνιακή ταχύτητα ω θα δίνεται ως γνωστόν από τη σχέση:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \text{ σε } [\text{rad} \cdot \text{sec}^{-1}] \quad [2]$$

με n ο αριθμός στροφών ανά πρώτο λεπτό [στροφ/min]

αντικαθιστώντας στην [1] προκύπτει:

$$P_u = C_m \cdot \omega = C_m \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot C_m \cdot n \quad [3]$$

Επίσης η ίδια ισχύς στον άξονα του παλινδρομικού κινητήρα P_u θα δίνεται και από τη σχέση:

$$P_u = P_{me} \cdot i \cdot V \frac{n}{m} = \frac{i \cdot V}{m} \cdot P_{me} \cdot n \quad [4]$$

όπου P_{me} είναι η μέση πραγματική πίεση του κινητήρα
 i είναι ο αριθμός των κυλίνδρων ενός παλινδρομικού κινητήρα
 V είναι ο κυβισμός του ενός κυλίνδρου
 n είναι ο αριθμός στροφών λειτουργίας του κινητήρα
 m είναι ένας σταθερός συντελεστής και είναι:
 $m = 1$ όταν ο κινητήρας είναι δίχρονος
 $m = 2$ όταν ο κινητήρας είναι τετράχρονος

Ο ολικός βαθμός απόδοσης ενός παλινδρομικού κινητήρα η_u δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_u = \frac{\text{ωφέλιμο αποτέλεσμα}}{\text{Κατανάλωση ενέργειας}} \cong L_u \cdot m_b \cdot H_{i,v,tsd} \quad [5]$$

όπου L_u είναι το ωφέλιμο έργο που παράγεται σε ένα κύκλο έργου του κινητήρα.

$H_{i,v,tsd}$ είναι η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου που έχει προσδιοριστεί με καύση σταθερού όγκου στη θερμοκρασία standard

Η παροχή του αέρα m_a θα δίνεται από τη σχέση [6]:

$$m_a = \lambda_v \cdot \frac{i \cdot V}{v_a} \quad [6]$$

όπου λ_v είναι ο συντελεστής πλήρωσης (1) που είναι μικρότερος της μονάδας

v_a είναι ο ειδικός όγκος του αέρα

και αντικαθιστώντας προκύπτει:

$$P_u = \eta_u \cdot \lambda_v \cdot \frac{H_{i,v,tsd}}{\alpha} \cdot \frac{i \cdot V}{v_a} \cdot \frac{n}{m} = n_{id} \cdot n_{\theta i} \cdot n_0 \cdot \lambda_v \cdot \frac{H_{i,v,tsd}}{\alpha} \cdot \frac{i \cdot V}{v_a} \cdot \frac{n}{m} \quad [7]$$

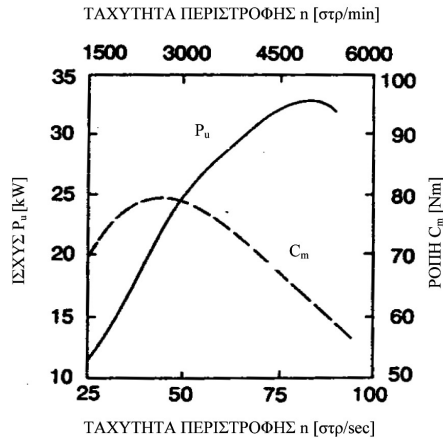
ή ακόμη

$$P_u = L_u \cdot \frac{n}{m} = \eta_u \cdot \lambda_v \cdot \frac{H_{i,v,tsd}}{\alpha} \cdot \frac{i \cdot V}{v_a} \cdot \frac{n}{m} \quad [8]$$

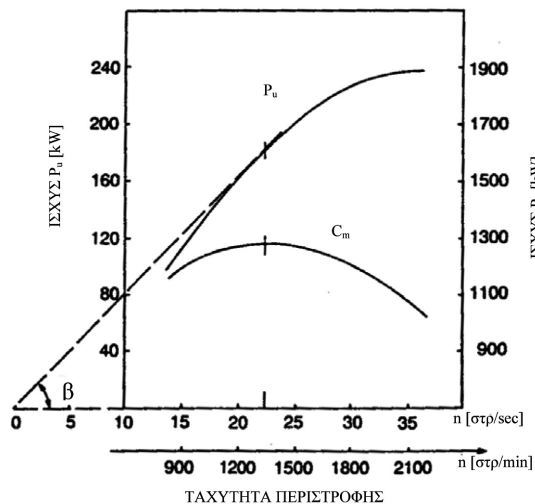
Ο ολικός βαθμός απόδοσης η_u δίνεται από τη σχέση [9]:

$$\eta_u = \eta_{\ell im} \cdot \eta_{\theta i} \cdot \eta_0 \quad [9]$$

όπου $\eta_{\ell im}$ είναι ο οριακός βαθμός απόδοσης



Σχήμα 3: Πραγματική ισχύς και ροπή στον άξονα του κινητήρα σε συνάρτηση των στροφών αυτού σε συνθήκες πλήρους τροφοδότησης που προέκυψαν σε ένα κινητήρα με ελεγχόμενη έναυση της καύσης για κίνηση αυτοκινήτου. Τεχνικά χαρακτηριστικά: κύκλος έργου ΟΤΤΟ, αριθμός κυλίνδρων 4, ολικού κυβισμού $V_0 = 999$ [cm³], $D = 70$ [mm], $C = 64,9$ [mm], $P_u = 33$ [KW] στις $n = 83,3$ [σπρ/sec], $C_{mMax} = 78$ [Nm] στις $n = 45$ [σπρ/sec]



Σχήμα 4: Πραγματική ισχύς και ροπή στον άξονα του κινητήρα σε συνάρτηση των στροφών αυτού σε συνθήκες πλήρους τροφοδότησης που προέκυψαν σε ένα κινητήρα με έναυση της καύσης με συμπίεση Τεχνικά χαρακτηριστικά: κύκλος έργου DIESEL, αριθμός κυλίνδρων 6, ολικού κυβισμού $V_0 = 9,5$ [dm³], $D = 120$ [mm], $C = 140$ [mm], $P_u = 234$ [KW] στις $n=36,7$ [σπρ/sec], $C_{mMax} = 1270$ [Nm] στις $n = 22,5$ [σπρ/sec]

Μια άλλη παράμετρος χρήσιμη είναι η παράμετρος της ελαστικότητας του κινητήρα η οποία συμβολίζεται με το σύμβολο I_e και ορίζεται από τη σχέση :

$$I_e = \frac{n_p}{n_M} \cdot \frac{C_{mMax}}{C_m} \quad [9]$$

Όπου n_M είναι οι στροφές του κινητήρα στις οποίες η ροπή στον άξονά του C_m είναι μεγίστη

n_p είναι οι στροφές του κινητήρα στις οποίες η ροπή στον άξονά του C_m αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ.

Μια άλλη μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ελαστικότητας του κινητήρα είναι:

$$I'_e = \left(\frac{n_p - n_m}{n_p} \right)^2 \cdot \frac{C_{mMax} - C_{mp}}{C_{mMax} - C_{mMax} \cdot \left(\frac{n_M}{n_p} \right)} = \left(\frac{n_p - n_m}{n_p} \right)^2 \cdot \frac{C_{mMax} - C_{mp}}{C_{mMax} \left(1 - \left(\frac{n_M}{n_p} \right) \right)} = \left(1 - \frac{n_M}{n_p} \right) \cdot \left(1 - \frac{C_{mp}}{C_{mMax}} \right) \quad [10]$$

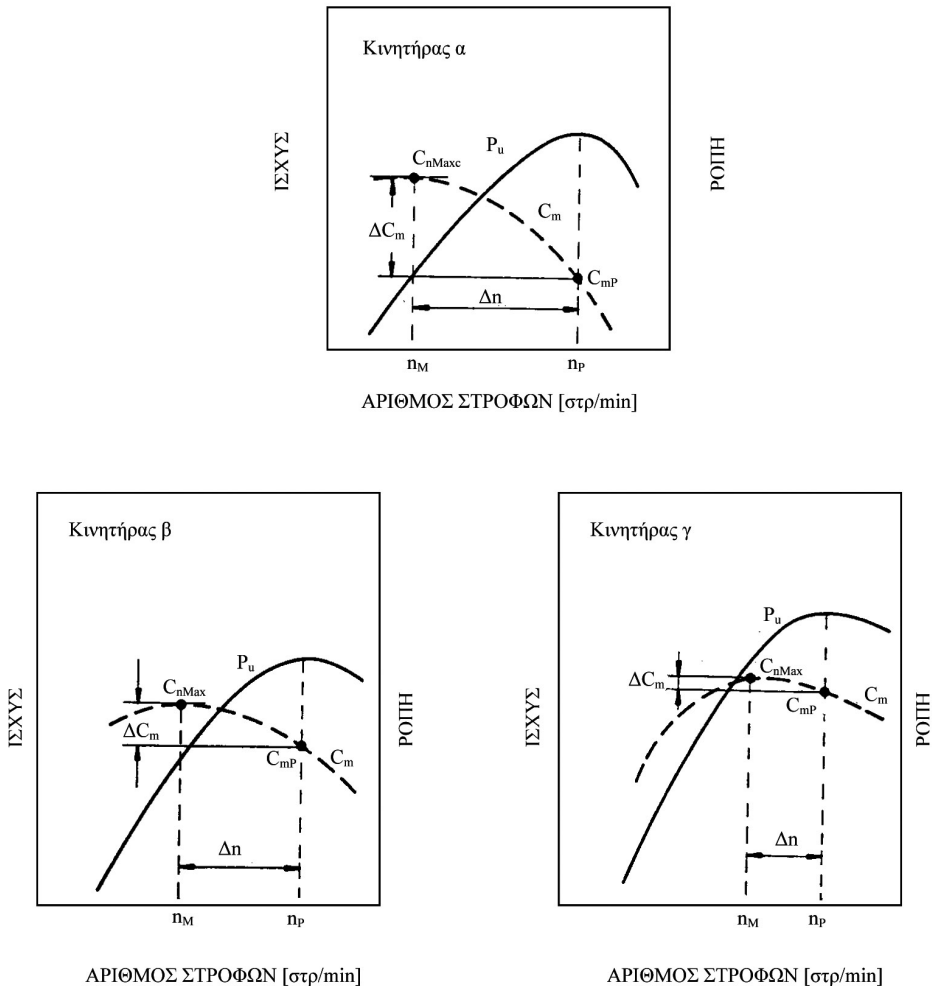
Η έννοια των συμβόλων φαίνεται στο σχήμα 5.

Ο κινητήρας που λειτουργεί σύμφωνα με το σχήμα α αναπτύσσει την μέγιστη ροπή πλησίον στον ελάχιστο αριθμό στροφών λειτουργίας του κινητήρα με μια καμπύλη της ισχύος η οποία μειώνεται δραστικά , μετά όταν αυτή φθάσει στη μέγιστη τιμή το οποίο είναι μικρότερου μεγέθους.(14). Επειδή όμως το καλύτερο πεδίο χρήσης του κινητήρα είναι εκείνο που περιέχεται μεταξύ των στροφών που αντιστοιχούν στη μέγιστη ροπή n_M και εκείνων που αντιστοιχούν στη μέγιστη ισχύ n_P , αυτός ο κινητήρας προσφέρει ένα ευρύ διάστημα μεταξύ αυτών των σημείων, με αποτέλεσμα αυτός να παρουσιάζει μια καλή ελαστικότητα και διευκολύνει τη σχεδίαση και την κατασκευή του συστήματος μετάδοσης της κίνησης στους τροχούς του αυτοκινήτου.

Ο κινητήρας που λειτουργεί σύμφωνα με το σχήμα b παρουσιάζει μια καμπύλη της ροπής λίγο πεπλατυσμένη, με μια μέγιστη τιμή που έχει μετατοπισθεί προς ένα μεγαλύτερο αριθμό στροφών n_M . Επειδή δε η ροπή διατηρείται μεγαλύτερη σε υψηλότερες στροφές προκύπτει να διατίθεται μια μεγαλύτερη μέγιστη τιμή της ισχύος, σε βάρος της ελαστικότητας του κινητήρα κατά ένα μικρό μέρος αυτής.

Ο κινητήρας που λειτουργεί σύμφωνα με το σχήμα γ παρουσιάζει μια ρύθμιση και μία γεωμετρία του συστήματος εισαγωγής έτσι αυτό να παρουσιάζει τη βέλτιστη λειτουργία για να έχει τη μέγιστη ροπή σε υψηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα. Για να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα, η μεταβολή της ροπής αναγκάζεται να μειώνεται

γρήγορα όταν μειώνονται οι στροφές λειτουργίας του κινητήρα (για $n < n_M$) και διατηρεί μια πεπλατυσμένη μορφή από τον αριθμό στροφών n_M έως n_P . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μια παραπέρα μείωση του διαστήματος $n_M - n_P$ και συνεπώς της ελαστικότητας του κινητήρα.



Σχήμα 5. Τυπικά διαγράμματα των πραγματικών μηχανικών χαρακτηριστικών της ισχύος, της ροπής σε συνάρτηση των στροφών του κινητήρα. Το διάστημα που περιλαμβάνεται μεταξύ του αριθμού στροφών που αντιστοιχεί στη μέγιστη ροπή n_M και εκείνου που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ n_P μαζί με την αντίστοιχη μεταβολή της ροπής, δίνει ένα μέγεθος της ελαστικότητας για τη χρήση του κινητήρα στην αυτοκίνηση.

4. Τα χρησιμοποιούμενα όργανα

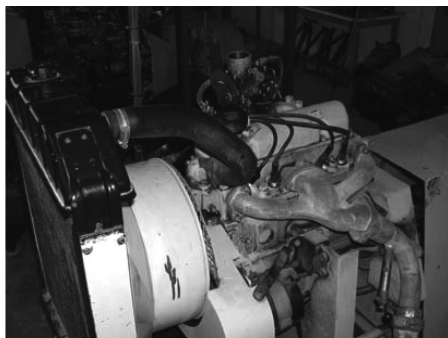
Για την εκπόνηση των δοκιμών και τη λήψη των πειραματικών δεδομένων χρησιμοποιήσαμε τον παρακάτω εξοπλισμό.

4.1 Η Μηχανή Εσωτερικής Καύσεως

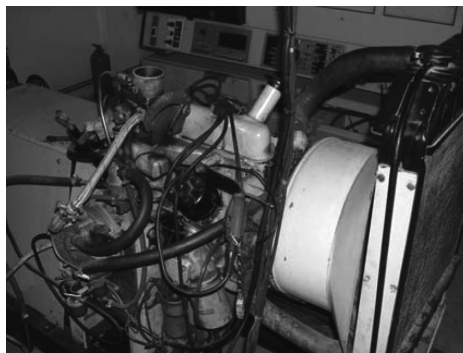
Για τις πειραματικές μας μετρήσεις χρησιμοποιήσαμε την τετράχρονη μηχανή, παλαιάς τεχνολογίας της FORD η οποία βρίσκεται στο εργαστήριο Μηχανών Εσωτερικής Καύσεως του Τ.Ε.Ι. Πειραιά. Η παραπάνω μηχανή καθώς και τα γεωμετρικά και λειτουργικά της χαρακτηριστικά παρουσιάζονται τόσο στον πίνακα 1 όσο και στις εικόνες 1 και 2.

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά της μηχανής..

Εργοστάσιο κατασκευής	FORD
Τύπος	2261E
Τρόπος ψύξης	Υδροψυκτη
Διάμετρος	80,98 mm
Διαδρομή	53,29 mm
Κυβισμός	1.098 cc
Λόγος συμπίεσης	8 : 1
Σειρά ανάφλεξης	1 – 2 – 4 – 3
Μέγιστη ισχύς	32 HP στις 4.000 rev / min
Μέγιστος αριθμός στροφών	5.000 rev / min
Εκκεντροφόρος	Ένας επικεφαλής
Αριθμός βαλβίδων ανά κύλινδρο	Δύο
Έγχυση του καυσίμου	Μονός εξαερωτής καθοδικού ρεύματος



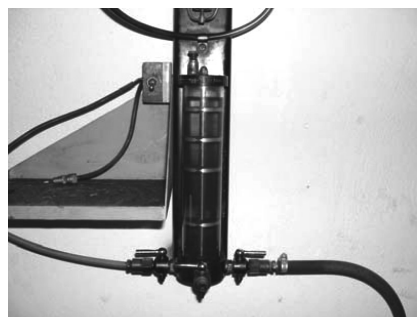
Εικόνα 1: Η Μ.Ε.Κ. ελεγχόμενης έναυσης της καύσης της FORD από τη μεριά της πολλαπλής εξαγωγής.



Εικόνα 2: Η Μ.Ε.Κ. ελεγχόμενης έναυσης της καύσης της FORD από τη μεριά της πολλαπλής εισαγωγής.



Εικόνα 3: Η δυναμοπέδη της Heenan.



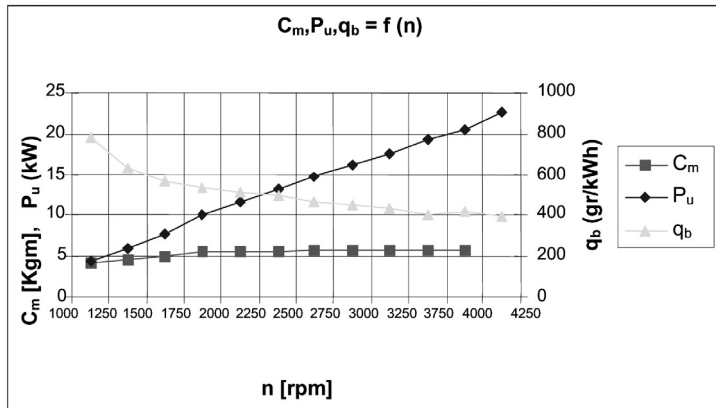
Εικόνα 4: Ο μετρητής καυσίμου του & Froude πειράματος.



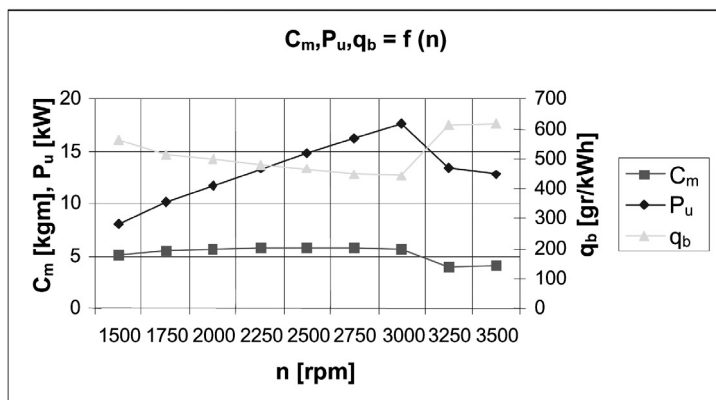
Εικόνα 5: Μέτρηση κατανάλωσης 50 cm³ καυσίμου από την ακμή του πρώτου δίσκου έως την ακμή του δεύτερου.

5. Επεξεργασία μετρήσεων – γραφικές παραστάσεις

Τα μεγέθη που προσδιορίζονται σε συνάρτηση των στροφών του κινητήρα είναι οι μηχανικές χαρακτηριστικές η ροπή C_m σε [Kgf*m], η ισχύς του κινητήρα P_u [kW] και η ειδική κατανάλωση q_b σε [gr / kWh] σύμφωνα με τους κανονισμούς DIN 70020. Από τα πειραματικά μεγέθη προέκυψαν οι μηχανικές χαρακτηριστικές του κινητήρα για τις δύο περιπτώσεις των καυσίμων με πρόσθετα καλίου και μολύβδου.



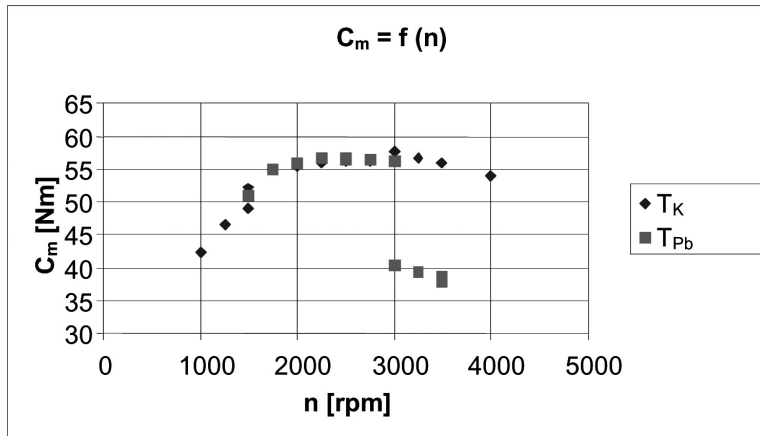
Σχήμα 6: Διάγραμμα των μηχανικών χαρακτηριστικών στην περίπτωση βενζίνης με πρόσθετα καλίου.



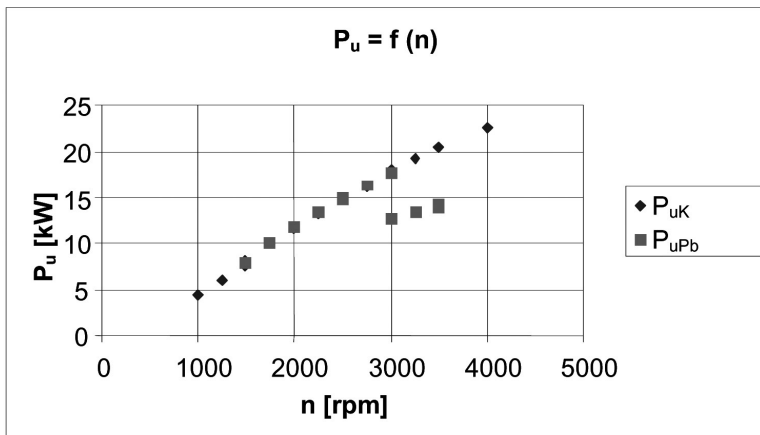
Σχήμα 7: Διάγραμμα των μηχανικών χαρακτηριστικών στην περίπτωση βενζίνης με πρόσθετα μολύβδου.

6. Συγκριτικά διαγράμματα.

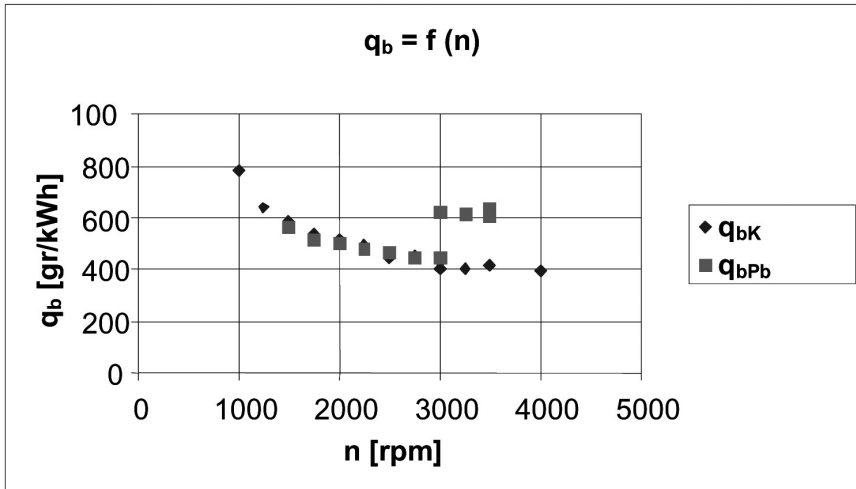
Με στόχο τον εντοπισμό τυχών διαφορών πάνω στις μηχανικές χαρακτηριστικές όταν ο κινητήρας εργάζεται με τις δύο διαφορετικές βενζίνες σχεδιάστηκαν συγκριτικά στα συγκριτικά διαγράμματα.



Σχήμα 8: Συγκριτικό διάγραμμα των δύο ροπών με πρόσθετα καλίου και μολύβδου.



Σχήμα 9: Συγκριτικό διάγραμμα της ισχύος των δύο βενζινών με πρόσθετα καλίου και μολύβδου.



Σχήμα 10: Συγκριτικό διάγραμμα της ειδικής κατανάλωσης των δύο βενζινών με πρόσθετα καλίου και μολύβδου.

Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας των πειραματικών δεδομένων γίνεται προσπάθεια για την ερμηνεία αυτών και μάλιστα στη σύγκριση των μηχανικών χαρακτηριστικών του κινητήρα τόσο όταν αυτός λειτούργησε με καύσιμο με πρόσθετα μολύβδου όσο και με καύσιμα με πρόσθετα καλίου. Τα αποτελέσματα αυτών των συγκρίσεων αναφέρονται στα συμπεράσματα της εργασίας αυτής.

Όπως φαίνεται από τα πιο πάνω δεν γίνεται αναφορά στα εκπεμπόμενα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα αν και πάρθηκαν μετρήσεις και σε ποσότητα αλλά και σε ποιότητα.. Οι λόγοι είναι δύο. Ο πρώτος είναι ότι δεν επιβεβαιώθηκε από καμία πηγή μέχρι στιγμής η μορφή που εκπέμπονται οι ενώσεις του καλίου στην ατμόσφαιρα και συνεπώς μία αναφορά στα καυσαέρια θα ήταν ατελής και ως εκ τούτου προτιμήθηκε να μην επεκταθεί η εργασία προς τα εκεί. Ο δεύτερος και κυριότερος λόγος ήταν ότι από τα πρώτα αποτελέσματα διαφάνηκαν και τρόποι για παραπέρα μείωση αυτών με την εφαρμογή νέων τεχνολογιών. Μέχρι ολοκλήρωσης της έρευνας στα πλαίσια της οποίας πραγματοποιήθηκε και η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων αυτών των τεχνολογιών προτιμήθηκε σε αυτή τη φάση να μην ανακοινωθούν σε αυτή την εργασία.

7. Συμπεράσματα

- Η σύγκριση της μηχανικής χαρακτηριστικής των ροπών στον άξονα του κινητήρα έδωσε ότι η περίπτωση της βενζίνης σουπέρ με αντικρουστικά πρόσθετα ενώσεων

μολύβδου δίνει μεγαλύτερες τιμές στις μικρές και μεσαίες ταχύτητες περιστροφής, ενώ εκείνης με πρόσθετα καλίου δίνει μεγαλύτερες τιμές στις υψηλότερες τιμές περιστροφής του κινητήρα. Αυτό σημαίνει ότι η περίπτωση των βενζινών καλίου παρουσιάζει μικρότερη ακτίνα καμπυλότητας και συνεπώς αλλάζει ελαφρώς η δυναμική του ελαστικότητας του κινητήρα.

- Η σύγκριση της μηχανικής χαρακτηριστικής της ισχύος στον άξονα του κινητήρα παρατηρείται ότι στην περίπτωση της βενζίνης με πρόσθετα μολύβδου παρουσιάζει αυτός μεγαλύτερες τιμές στις μικρές και μεσαίες ταχύτητες περιστροφής, ενώ μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζει αυτός όταν λειτουργεί σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής με τη χρήση βενζινών με πρόσθετα καλίου. Είναι προφανές ότι για να επιτευχθούν οι αυτές επιδόσεις ενός οχήματος με τη χρήση βενζινών καλίου θα πρέπει να καταναλώνεται περισσότερο καύσιμο.
- Με αναφορά στη μηχανική χαρακτηριστική της ειδικής κατανάλωσης του κινητήρα στις δύο αυτές περιπτώσεις των βενζινών, παρατηρείται ότι η ειδική κατανάλωση στην περίπτωση της βενζίνης με πρόσθετα μολύβδου είναι μικρότερη στις χαμηλότερες και στις μεσαίες στροφές της λειτουργίας αυτού, ενώ στην περίπτωση εκείνης με ενώσεις καλίου παρουσιάζονται μικρότερες τιμές στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής. Δηλαδή στην περίπτωση της βενζίνης με πρόσθετα καλίου ο κινητήρας καταναλώνει περισσότερο αφού για να δοθεί στο όχημα η απόδοση της περίπτωσης της βενζίνης μολύβδου θα πρέπει να είναι περισσότερο ανοικτή η πεταλούδα και ως εκ τούτου να καταναλώνει περισσότερο. Στις υψηλές στροφές λειτουργίας επειδή παρουσιάζεται μείωση της δυναμικής ελαστικότητας αυτό σημαίνει θα πρέπει να χρησιμοποιείται συχνότερα το κιβώτιο ταχυτήτων με αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης.
- Από τις πιο πάνω συγκρίσεις προκύπτει ότι για να επιτευχθούν οι αυτές επιδόσεις όπως πριν (χρήση βενζινών μολύβδου) τα οχήματα που κινούνται με κινητήρες ελεγχόμενης έναυσης της καύσης παλαιάς τεχνολογίας θα πρέπει να καταναλώνουν περισσότερο με αποτέλεσμα υψηλότερο κόστος λειτουργίας και περισσότερα εκπεμπόμενα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα ειδικότερα στις μικρές και μεσαίες στροφές λειτουργίας του κινητήρα. Με την υπόθεση ότι αυτό θα επιβεβαιωθεί ότι ισχύει τότε γεννάται το ερώτημα εάν είναι οικονομικά συμφέρον για τη χώρα να διατηρήσει το στόλο οχημάτων παλαιάς τεχνολογίας ή να περάσει στην αντικατάστασή τους με οχήματα νέας τεχνολογίας. Στην απάντηση του ερωτήματος αυτού θα συμβάλει η συνέχιση των δοκιμών στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ώστε να υπάρξει η βεβαίωση των αποτελεσμάτων που αναφέρθηκαν προηγούμενα.
- Στα πρώτα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι οι κατ' όγκο ποσότητες των ενώσεων καλίου ήταν περισσότερες εκείνων των ενώσεων του μολύβδου. Όμως χρειάζεται παραπέρα έρευνα για την επαλήθευση του πιο πάνω αποτελέσματος. Παρόλο που είναι γνωστά τα αποτελέσματα του καλίου στο εξωκυτταρικό υγρό

στους ζωντανούς οργανισμούς, όμως δεν είναι γνωστό πως επιδρούν όταν αυτές εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσα από τις αναπνευστικούς οδούς και εάν απορροφώνται ή όχι από το αίμα. Επιβάλλεται σε αυτή την περίπτωση μια προσεκτικότερη και σε βάθος έρευνα του προβλήματος αυτού και η οποία μέχρι σήμερα δεν έχει πραγματοποιηθεί.

- Η διαφορετική αυτή συμπεριφορά του κινητήρα οφείλεται με βάση τα πειραματικά δεδομένα κυρίως στη μεταβολή του συντελεστή ισχύος η_{hi} και λιγότερο στους άλλους δύο συντελεστές η_0 και λ_n .
- Με αυτά τα πρώτα αποτελέσματα προκύπτει ότι θα ήταν προτιμότερο η αντικατάσταση του στόλου των αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας τόσο από οικονομικής όσο και από την ρύπανση του περιβάλλοντος

Η συνέχεια της έρευνας αυτής πάνω στη χρήση των βενζινών καλίου επιβάλλεται τόσο για το σκέλος που αφορά τις ενώσεις αυτού που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα και τις επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον, όσο στην επιβεβαίωση του πιο πάνω συμπεράσματος. Επίσης όπως προέκυψε θα ήταν δυνατή η χρήση της καταλυτικής τεχνολογίας για την παραπέρα μείωση των κλασικών ρύπων στην ατμόσφαιρα. Μια έρευνα προς αυτήν τη κατεύθυνση θα μπορούσε χρήσιμα συμπεράσματα για τη χρήση των καταλυτών σε αυτή την περίπτωση των βενζινών με πρόσθετα καλίου.

8. Βιβλιογραφία

- Arcumanis C., ED AL., Internal Combustion Engines, Academic press, London, 1988.
- Amann C. A., Cylinder – nPressure Measurements and Its Use in Engine Research, SAE paper 852067, 1985.
- Benson J. D. Some Factors which Affect Octane Requirement Increase, SAE paper 750933, SAE Trans. vol. 84, 1975.
- Blackmore D. R. ET AL., Fuel Economy of the Gasoline Engine, Macmillan, London, 1977
- Βλάχος Γ. Θ., Υπολογισμός και κατασκευή των μηχανών εσωτερικής καύσης, τόμος I, Σύγχρονη Εκδοτική, 2003.
- Βλάχος Γ. Θ.- Κουτσογεώργης Χ., Μελέτη του ενδεικνυόμενου κύκλου στους Κινητήρες Εσωτερικής Καύσης έγκριση παρουσίασης στο Πανελλήνιο Συνέδριο Μηχανολόγων – Ηλεκτρολόγων, 16-17-18 Μαΐου 2007, Αθήνα
- Goodger E. M., Alternative Fuels, Machilan, London, 1980.
- Foster D. E., ET AL., A Comparison of Flame Detection Techniques for Premixed-Charge Combustion in Spark-Ignition Engines, Experiments in Fluids, Vol. 6, pp 283-285, 1988.
- Hancock E. G., Technology of Gasoline, Society of Chemical Industry, 1985.
- Heywood J. B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGrawHill, New York, 1988
- Khovakh M., Motor Vehicle Engines, Mir Publishers, Moscow, 1976.
- McCabe L. J., ET AL, Future Trends in Automotive Fuels and Engine Oils, SAE paper 830935, 1983.
- Nakamura N. ET AL., Control of Knock Improved, SAE Journ. Vol. 36n. 1, 1988
- Obert E. F., Internal combustion engine and air pollution, Intex educational publishers, New York, 1973.
- Owen K., ET AL. Automotive Fuels Handbook. SAE Pub. Warrendale, PA, 1990.
- Ρακόπουλος Κ. Δ, Χουντάλας Θ, Καύση – Ρύπανση Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ., εκδόσεων Ε.Μ.Π. 1998.
- Taylor C. F., Internal Combustion Engines in Theory and Practice, vol. I. & II, MIT Press, 1985.

Διηλεκτρική σταθερά και ac ηλεκτρική αγωγιμότητα πολυμερών με νανοσωματιδιακά ισοτροπικά μαγνητικά εγκλείσματα

Γ. Ατανάσσοβα, Σ. Καλογεροπούλου
Τμήμα Φυσικής Χημείας & Τεχνολογίας Υλικών,
ΤΕΙ Πειραιά

Ε. Φουντουκίδης, Γ.Κ. Νικολαΐδης
Τμήμα Φυσικής Χημείας & Τεχνολογίας Υλικών,
ΤΕΙ Πειραιά

Α. Φωτόπουλος, Ν. Θεοφίλου
Τμήμα Φυσικής Χημείας & Τεχνολογίας Υλικών,
ΤΕΙ Πειραιά

Σ. Τσιτομενέας
Τμήμα Φυσικής Χημείας & Τεχνολογίας Υλικών,
ΤΕΙ Πειραιά

Π. Πίσσης, Μ. Κοντού-Δρούγκα
Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών & Φυσικών Επιστημών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Περίληψη

Με επιτυχία παρήχθη σειρά πολυμερών δοκιμίων με μαγνητικά νανοσωματιδιακά εγκλείσματα του τύπου Nd₂Fe₁₄B, χρησιμοποιώντας νανοκρυσταλλική σκόνη της φάσης αυτής με ισοτροπικές ιδιότητες. Η συγκολλητική ουσία που χρησιμοποιήθηκε για

τα ιστροπικά δοκίμια ήταν το πολυαιθυλένιο. Η μεγαλύτερη επιτευχθείσα περιεκτικότητα σε μαγνητική κόνη είναι περίπου 93% κ.β. με αντίστοιχο ενεργειακό γινόμενο $(BH)_{max} \sim 8$ MGOe. Ιδιαίτερα στα δοκίμια με ιστροπική μαγνητική σκόνη καθώς και στις ενδιάμεσες συγκεντρώσεις, όπου η μαγνητική συμπεριφορά και απόδοση είναι γενικά πτωχή για χρήση των δοκιμίων αυτών ως μόνιμων μαγνητών, μετρήθηκε η ac ηλεκτρική αγωγιμότητα καθώς και η διηλεκτρική σταθερά. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αποδεικνύουν ότι για τις μεν υψηλές συγκεντρώσεις και πάνω από το κατώφλι αγωγιμότητας (percolation threshold) η υπολογιζόμενη αγωγιμότητα, αντιστοιχεί σε αγωγιμότητα DC (ανεξαρτησία από τη συχνότητα), ενώ για συγκεντρώσεις κάτω από το κατώφλι αγωγιμότητας εμφανίζουν διηλεκτρική σταθερά (ϵ') πρακτικά ανεξάρτητη από την συχνότητα με ιδιαίτερα χαμηλές τιμές στις διηλεκτρικές απώλειες (ϵ'').

Λέξεις Κλειδιά: *ac, dc αγωγιμότητα, συγκεκολλημένος μαγνήτης, ac, dc διηλεκτρική σταθερά, Nd Fe B.*

Abstract

In this work we report our results on the preparation and magnetic characterization of polymer samples with magnetic inclusions of nano size dimensions. It is well known that bonded magnets are of extreme importance for several industrial applications today, due to their low manufacturing cost, high magnetic performance and the ability of further morphological shaping-machining ability - using milling and lathe. These are the advantages of these magnets when compared with the sintered permanent magnets, although presenting a compromise in their magnetic performance (moderate values of BH_{max} -their energy product).

By processing first the commercially available magnetic powders with powder metallurgy methods (ball milling in inert atmosphere), we successfully produced samples made out of polyethylene with magnetic inclusions of the type of Nd₂Fe₁₄B with isotropic properties. The mixing of the magnetic powders with the polymers was made at elevated temperatures (180 C for polyethylene and 270 C for the NYLON 6) by using the technique of roll milling in inert atmosphere.

The magnetic characterization which was performed by using a Quantum Design 9T Physical Property Measurement System showed that the high density samples (with filling ratio 93% by weight) indicated a superior quality bonded magnet behaviour and performance and for the isotropic samples the BH_{max} value of 8 MGOe was obtained.

Subsequently we measured the dielectric constant and the ac conductivity of the samples as a function of the frequency and also as a function of the concentration of the magnetic inclusions.

It is found that for the high concentration samples (magnetic particle concentration

above the percolation threshold) the calculated ac conductivity corresponds to DC one, meaning no dependence on frequency (sample 7) suggesting that the material could be good candidate for electromagnetic shielding.

For concentrations below the percolation threshold (samples 1,2,3,5) the values of the real part of the dielectric constant (ϵ'), is independent of the frequency while the imaginary part values (ϵ'') are very low and also independent of the frequency, suggesting that these materials might be good for use in the capacitor manufacturing industries.

Key Words: *ac-dc conductivity, bonded magnets, ac-dc dielectric constant, Nd Fe B.*

1. Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι τα πολυμερή υλικά με νανοσωματιδιακά μαγνητικά εγκλείσματα με υψηλές συγκεντρώσεις τέτοιων σωματιδίων, αποτελούν μια ειδική κατηγορία εν δυνάμει μονίμων μαγνητών που ονομάζονται συγκεκολλημένοι μαγνήτες (Bonded Magnets)[1]. Σήμερα, ειδικά οι συγκεκολλημένοι μαγνήτες του τύπου $Nd_2Fe_{14}B$ έχουν τύχει ευρέων εφαρμογών, λόγω του ευκόλου σχετικά τρόπου παρασκευής τους, του χαμηλού κόστους και της δυνατότητας να τύχουν περαιτέρω μηχανουργικής επεξεργασίας πέραν της αρχικής τους μορφοποίησης.

Ένας συγκεκολλημένος μαγνήτης (bonded magnet) συνίσταται στην τοποθέτηση και ομοιογενή διασπορά μιας μαγνητικής σκόνης μέσα σε πολυμερές υλικό (στην περίπτωση που η συγκολλητική ύλη είναι ένα πολυμερές) όπου τα πολυμερή που χρησιμοποιούνται εδώ είναι ηλεκτρικά μη αγωγίμα[1, 2, 3, 4].

Αν και οι μαγνητικές ιδιότητες των παραπάνω υλικών έχουν διερευνηθεί αρκετά και από πολλούς ερευνητές, τουναντίον λίγα έχουν διερευνηθεί ως προς την ηλεκτρική τους συμπεριφορά εννοώντας την διηλεκτρική σταθερά τους και την ac ηλεκτρική αγωγιμότητά τους. Επειδή κρίθηκε ότι η συμπεριφορά των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των υλικών αυτών ίσως να εμφάνιζε ενδιαφέρον από πλευράς εφαρμογών, σε αυτή την εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα χαρακτηρισμού ως προς τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες σε θερμοκρασία δωματίου που όντως παρουσιάζουν έντονο ενδιαφέρον και δυνατότητες βιομηχανικών εφαρμογών.

2. Πειραματικά

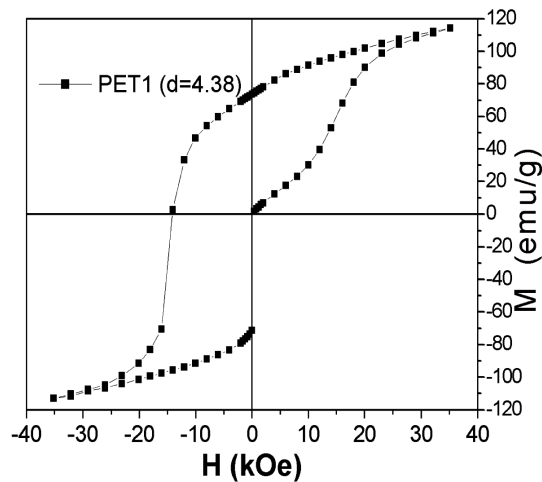
Με επιτυχία παρήχθη σειρά δοκιμίων νανოსύνθετων συγκεκολλημένων μαγνητών

(Bonded Magnets) του τύπου $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ χρησιμοποιώντας μαγνητική σκόνη της φάσης αυτής με ιστροπικές[4] ιδιότητες, κατάλληλα επεξεργασμένη με μεθόδους κονιομεταλλουργίας. Οι αρχικές διαστάσεις των κόκκων του μαγνητικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε ήταν 200μ - 400μ όπου μετά την επεξεργασία το μέγεθος των κόκκων ήταν στην περιοχή των 0,5μ. - 5μ. Η συγκολλητική ουσία που χρησιμοποιήθηκε ήταν το πολυαιθυλένιο. Τα δοκίμια για τις ηλεκτρικές μετρήσεις, μορφοποιήθηκαν σε δισκία πάχους 1mm και διαμέτρου 25mm.

Οι μαγνητικές μετρήσεις έγιναν με την χρήση μαγνητομέτρου του τύπου PPMS 9T της Quantum Design σε θερμοκρασία 300K.

3. Αποτελέσματα

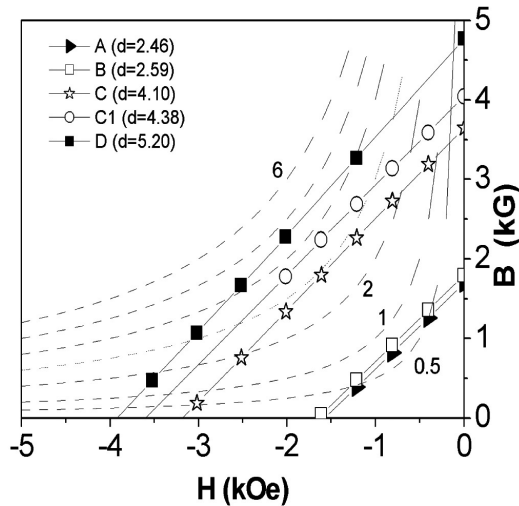
Στο σχήμα 1, παρουσιάζεται ο τυπικός βρόγχος υστέρησης σε θερμοκρασία δωματίου, ενός πλαστικοειδούς μαγνήτη, ο οποίος προήλθε από επεξεργασία ιστροπικής μαγνητικής κόνεως του τύπου $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ με πολυαιθυλένιο.



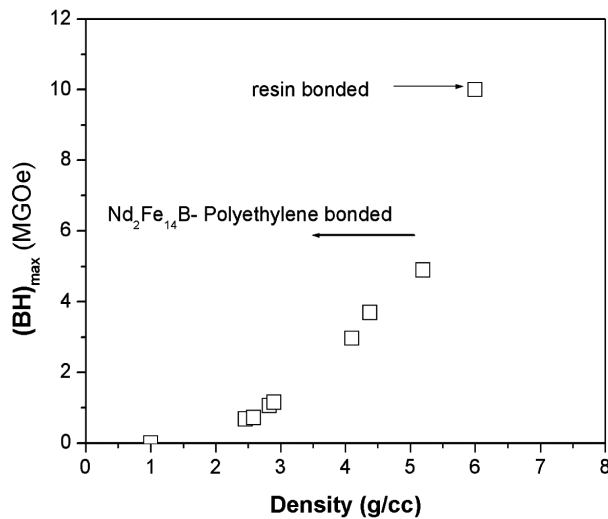
Σχήμα 1: Βρόγχος υστέρησης ιστροπικού πλαστικοειδούς μαγνήτη $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ στους 300K. Η πυκνότητά του είναι 4,38g/cc με $H_c = 15\text{Koe}$ και $M_s = 120\text{emu/g}$.

Είναι εμφανές το γεγονός μη κορεσμού ακόμη και στα 40 kOe, που οφείλεται στο ότι η χρησιμοποιηθείσα μαγνητική σκόνη είναι ιστροπική.

Στο σχήμα 2α παρουσιάζονται οι καμπύλες ενεργειακού γινομένου δοκιμίων πολυαιθυλενίου με διαφορετικές πυκνότητες (διαφορετική συγκέντρωση μαγνητικής σκόνης) και στο σχήμα 2β παρουσιάζεται πώς εμπειρικά εξαρτάται το μέγιστο ενεργειακό γινόμενο $(BH)_{\text{max}}$ από την πυκνότητα του δοκιμίου.

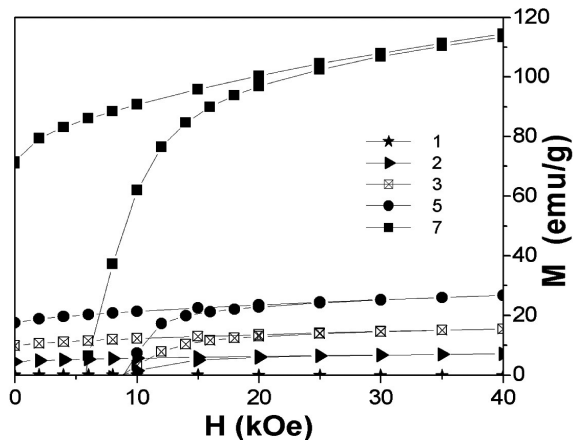


Σχήμα 2α: Παρουσιάζονται οι καμπύλες του $(BH)_{max}$ για δοκίμια με διαφορετικές πυκνότητες. Οι υπερβολές σε υπέρθεση αντιστοιχούν σε ενεργειακό γινόμενο διαφόρων τιμών, όπως φαίνεται από το σχήμα.



Σχήμα 2β. Παρουσιάζεται η πειραματική εξάρτηση του ενεργειακού γινομένου $(BH)_{max}$ από την πυκνότητα του δοκιμίου. Η μεγαλύτερη δυνατή πυκνότητα αντιστοιχεί σε περίπου 93% κ.β. περιεκτικότητα σκόνης στο πλαστικό. Το υψηλότερο ενεργειακό γινόμενο επιτεύχθηκε κάνοντας χρήση σκόνης τύπου HDDR (ανιστροπική) σε πλαστική μήτρα NYLON.

Στο σχήμα 3, παρουσιάζονται οι καμπύλες της μαγνήτισης M σε συνάρτηση με το πεδίο H (πρώτο τεταρτημόριο του βρόγχου υστέρησης), για δοκίμια διαφόρων συγκεντρώσεων μαγνητικής σκόνης.

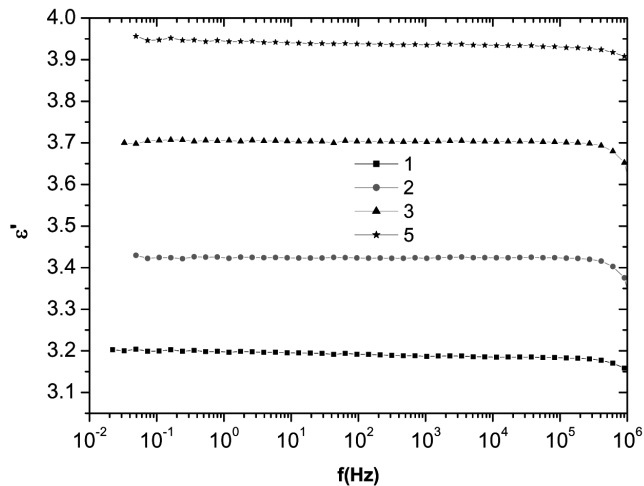


Σχήμα 3: Μαγνήτιση $M(H)$ των δοκιμίων: 1, 2, 3, 5, 7. Η συγκέντρωση μαγνητικής σκόνης και συνεπώς της πυκνότητάς τους βγαίνει αυξανόμενη με την αύξηση του αριθμού του δοκιμίου. Το δοκίμιο 1 είναι καθαρό πολυαιθυλένιο ($M = 0$).

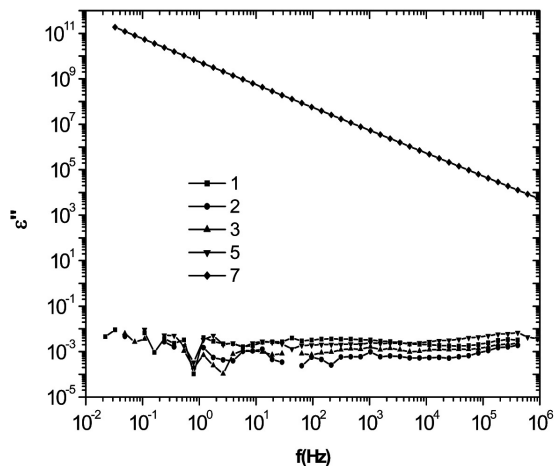
Το δοκίμιο 1, αποτελείται από καθαρό πολυαιθυλένιο και η μαγνήτισή του $M = 0$ (πραγματικά είναι ελαφρώς διαμαγνητικό με τιμή επιδεκτικότητας $\chi = 10^{-6}$ emu/g/Oe). Τα συγκεκριμένα δοκίμια (1, 2, 3, 5, 7) χαρακτηρίστηκαν ως προς την διηλεκτρική σταθερά τους και παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών.

Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η πραγματική συνιστώσα της διηλεκτρικής σταθεράς ϵ' , ως συνάρτηση της συχνότητας και στο σχήμα 5 παρουσιάζεται η φανταστική συνιστώσα ϵ'' ως συνάρτηση της συχνότητας. Είναι εμφανές ότι το πραγματικό μέρος του ϵ , για συγκεντρώσεις κάτω από το κατώφλι της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (δοκίμια 1, 2, 3, 5) η τιμή του αυξάνει συστηματικά με αύξηση της συγκέντρωσης του δοκιμίου. Οι τιμές της συγκέντρωσης για το κάθε δοκίμιο εύκολα υπολογίζονται από το διάγραμμα της μαγνήτισής τους, όπου συμπεραίνεται ότι οι συγκεντρώσεις των δοκιμίων είναι $d_1 < d_2 < d_3 < d_5 < d_7$. Ως συνάρτηση της συχνότητας για το ίδιο δοκίμιο το ϵ' παραμένει σχεδόν σταθερό για μια μεγάλη περιοχή συχνοτήτων. Στην περίπτωση όμως των απωλειών (φανταστικού μέρους ϵ'') στο σχήμα 5 παρατηρείται μια ιδιαίτερα χαμηλή τιμή η οποία είναι ανεξάρτητη της συχνότητας και σχεδόν ανεξάρτητη της συγκέντρωσης των δοκιμίων, όταν η συγκέντρωση είναι χαμηλότερη από αυτή του κατωφλίου αγωγιμότητας-percolation threshold (δοκίμια 1, 2, 3, 5). Για το δοκίμιο όμως 7, με πολύ υψηλή συγκέντρωση σωματιδίων, η τιμή του ϵ'' ελαττούται συστηματικά με την αύξηση της συχνότητας. Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα εξάγεται το συμπέρασμα

ότι τα δοκίμια 1, 2, 3 και 5 αποτελούν εν δυνάμει καλές εφαρμογές ως διηλεκτρικά πυκνωτών.

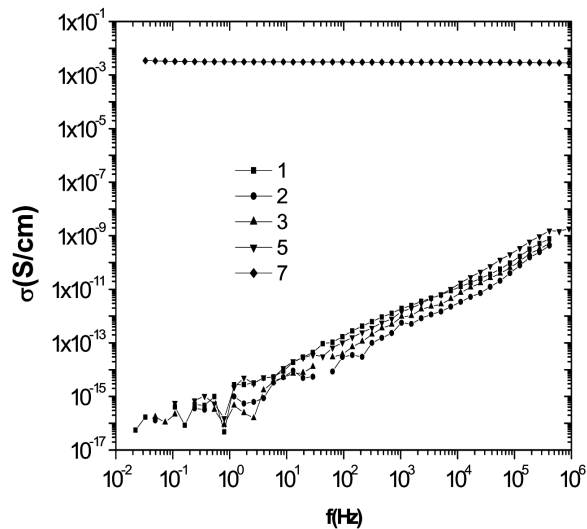


Σχήμα 4: Πραγματική συνιστώσα της διηλεκτρικής σταθεράς (ϵ') σε συνάρτηση με τη συχνότητα. Για τα δοκίμια με συγκέντρωση σκόνης κάτω από το κατώφλι αγωγιμότητας παρατηρείται συστηματική αύξηση της τιμής του ϵ' σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση.



Σχήμα 5: Φανταστική συνιστώσα (απώλειες) της διηλεκτρικής σταθεράς (ϵ'') σε συνάρτηση με τη συχνότητα. Στα δοκίμια 1, 2, 3 και 5 (συγκέντρωση σκόνης κάτω από το κατώφλι αγωγιμότητας) παρατηρούνται πολύ μικρές διηλεκτρικές απώλειες με σχεδόν σταθερή τιμή για ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Το δοκίμιο 7 που έχει συγκέντρωση σαφώς πάνω από το κατώφλι αγωγιμότητας παρατηρείται ότι οι απώλειες ελαττώνονται με την αύξηση της συχνότητας.

Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται η εξάρτηση της υπολογιζόμενης από το ϵ ηλεκτρικής αγωγιμότητας σ ως συνάρτηση της συχνότητας για όλα τα δοκίμια. Παρατηρείται ότι το μεν δοκίμιο υψηλής συγκέντρωσης (7) παρουσιάζει αγωγιμότητα υψηλή και ανεξάρτητη της συχνότητας (χαρακτηριστικό μεταλλικής συμπεριφοράς) ενώ τα δοκίμια με χαμηλές συγκεντρώσεις (κάτω από το κατώφλι αγωγιμότητας) παρουσιάζουν αύξηση της αγωγιμότητας σε συνάρτηση με την συχνότητα. Συμπερασματικά λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι τα δοκίμια με υψηλές συγκεντρώσεις ομοιάζουν με τους μεταλλικούς αγωγούς και για αυτό θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτρομαγνητική θωράκιση..



Σχήμα 6: Αγωγιμότητα σε συνάρτηση με τη συχνότητα. Για τα δοκίμια 1, 2, 3, 5 η αγωγιμότητα αυξάνει σε συνάρτηση με τη συχνότητα και υπάρχει ελαφρά εξάρτηση από τη συγκέντρωση της μαγνητικής σκόνης. Για το δοκίμιο 7 (συγκέντρωση σκόνης πάνω από το κατώφλι αγωγιμότητας) η αγωγιμότητα αυξάνεται απότομα (περίπου 13 τάξεις μεγέθους) είναι σταθερή και μη εξαρτώμενη από τη συχνότητα. Παρατηρείται δηλαδή το πέρασμα από τη μονωτική στην αγώγιμη φάση [4, 5]

4. Συμπεράσματα

Συγκεκριωλλημένα πολυμερή με μαγνητικά νανοσωματιδιακά εγκλείσματα του τύπου $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ παρασκευάσθηκαν με επιτυχία με διάφορες συγκεντρώσεις σωματιδίων. Όταν η συγκέντρωση της μαγνητικής σκόνης είναι κάτω από το κατώφλι αγωγιμότητας, εμφανίζουν διηλεκτρική σταθερά (ϵ') πρακτικά ανεξάρτητη από την συχνότητα

και χαμηλές τιμές στις διηλεκτρικές απώλειες (ϵ''). Τα υλικά αυτά προσφέρονται ως εκ τούτου για εφαρμογές σε πυκνωτές.

Σε περίπτωση δε που η συγκέντρωση της μαγνητικής σκόνης είναι πάνω από το κατώφλι αγωγιμότητας, η υπολογιζόμενη αγωγιμότητα από το ϵ'' αντιστοιχεί σε αγωγιμότητα DC (ανεξαρτησία από τη συχνότητα) με δυνατές εφαρμογές π.χ. ως υλικά κατάλληλα για ηλεκτρομαγνητική θωράκιση.

Βιβλιογραφία

- D.M. Tsamakidis, M.G. Ioanides and G.K. Nicolaidis, *J. All. Comp.* 241(1996)175
- T. Takeshita and K. Moritomo, *J. Appl. Phys.* 79(8)(1996)5040
- G.K. Nicolaidis, Y.K. Atanasova, M.G. Ioanides, D.M. Tsamakidis and H. Gamari-Seale, *J. Appl. Phys.* 81(8)(1997)5100
- E. Logakis, Ch. Pandis, V. Peoglos, P. Pissis, A. Kanapitsas, J. Pionteck, P. Pötschke, M. Micusik and M. Omastovà, *Technical Proceedings of the 2007 Nanotechnology Conference and Trade Show, Volume 2, Chapter 2: Polymer Nanotechnology*, pages: 96-99
- Ch. Pandis, E. Logakis, M. Chorianopoulos, A. Spanoudaki, A. Kyritsis, V. Peoglos, P. Pissis, M. Micusik, I. Krupa, M. Omastovà, J. Pionteck and P. Pötschke *Technical Proceedings of the 2007 Nanotechnology Conference and Trade Show, Volume 2, Chapter 2: Polymer Nanotechnology*, pages: 166-169

A verification study of R134a-ejector refrigeration system driven by solar energy

*G.K. Alexis
Mechanical Engineering
Departement, TEI of Piraeus*

*E.D. Rogdakis
Mechanical Engineering
Departement, NTUA*

*J.I. Petropoulos
Mechanical Engineering
Departement, TEI of Piraeus*

*J.K. Kaldellis
Mechanical Engineering
Departement, TEI of Piraeus*

*K.P. Nikas
Mechanical Engineering
Departement, TEI of Piraeus*

*A.B. Grapchas
Mechanical Engineering
Departement, TEI of Piraeus*

Abstract

Ejectors are used for a wide range of applications. Even though the coefficients of performance (COP) for ejector refrigeration systems are lower than those for conventional compression systems, the input thermal energy that can be used is solar energy, industrial waste heat and exhaust heat instead of electrical energy that the cost is very expensive.

The present work tries to verify a theoretical model with the experimental results. The model is referenced on an ejector refrigeration system driven by solar energy and R134a as working fluid in the Athens area.

The design of the ejector operating in refrigeration system with a low thermal source is presented.

The operation of the system and the related thermodynamics are simulated by suitable computer codes and required local climatologically data are determined by statistical processing over a considerable number of years.

The influence of three major parameters: generator, condenser and evaporator temperature on coefficient of performance is discussed.

The comparison between theoretical model and experimental results showed that this model estimates satisfying the experimental results.

Key Words: *Ejector; Cooling system; Solar energy; COP; R134a.*

Περίληψη

Οι εγχυτήρες χρησιμοποιούνται σε ευρύ πεδίο εφαρμογών. Αν και ο συντελεστής συμπεριφοράς (COP) των συστημάτων ψύξης με εγχυτήρα είναι χαμηλότερος από τον αντίστοιχο των συστημάτων συμπίεσης ατμών, η προσφερόμενη θερμική ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η ηλιακή ενέργεια, τα βιομηχανικά θερμικά απόβλητα, τα θερμά καυσαέρια αντί για ηλεκτρική ενέργεια η οποία κοστίζει πολύ ακριβά.

Η παρούσα εργασία προσπαθεί να επιβεβαιώσει το θεωρητικό μοντέλο με τα πειραματικά αποτελέσματα. Το μοντέλο αναφέρεται σε ψυκτική εγκατάσταση έγχυσης ατμού τροφοδοτούμενη με ηλιακή ενέργεια και εργαζόμενο μέσο R134a, εγκατεστημένο στην περιοχή των Αθηνών.

Παρουσιάζεται ο σχεδιασμός ενός εγχυτήρα ο οποίος λειτουργεί σε ψυκτικό σύστημα με χαμηλή θερμική πηγή.

Η λειτουργία του συστήματος και η σχετιζόμενη θερμοδυναμική ανάλυση, έχουν προσομοιωθεί από ένα κατάλληλο κώδικα ηλεκτρονικού υπολογιστή και τα απαιτούμενα τοπικά κλιματολογικά στοιχεία έχουν ορισθεί από στατιστικές έρευνες για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα.

Συζητείται η επίδραση των τριών σημαντικών παραμέτρων: θερμοκρασία ατμογεννήτριας, συμπυκνωτή και ατμοποιητή πάνω στο συντελεστή συμπεριφοράς.

Η σύγκριση μεταξύ θεωρητικού μοντέλου και πειραματικών αποτελεσμάτων δείχνουν ότι αυτό το μοντέλο εκτιμάει ικανοποιητικά τα πειραματικά αποτελέσματα.

Λέξεις Κλειδιά: *Εγχυτήρας; Σύστημα ψύξης; Ηλιακή ενέργεια; COP; R134a.*

Theoretical analysis

Figure 1 illustrates the operation of a solar ejector cooling system and a schematic view of ejector. Saturated motive vapor of working fluid enters the ejector at a high pressure P_1 , temperature T_1 and zero velocity, corresponding to state (1) and expands to a pressure P_2 through a converging/diverging nozzle, with isentropic efficiency η_{1a} . The motive stream emerges the nozzle and remains as an identifiable stream for some distance downstream. The saturated secondary vapor enters the ejector at pressure P_2 , corresponding to state (2). Rao and Singh [1] and Kouremenos et al [2] showed that the model based on the conservation of fluid momentum in the mixing process gives results in close agreement with those obtained from available design charts. After mixing the stream is brought to near-zero velocity, corresponding to state (3) in the diffuser, with an assumed efficiency of η_{b3} , taking into account the choking phenomena proposed by Munday & Bagster [3]. To better understand how a typical ejector cooling system functions, a description of its operation is given on a T-s chart in Figure 2.

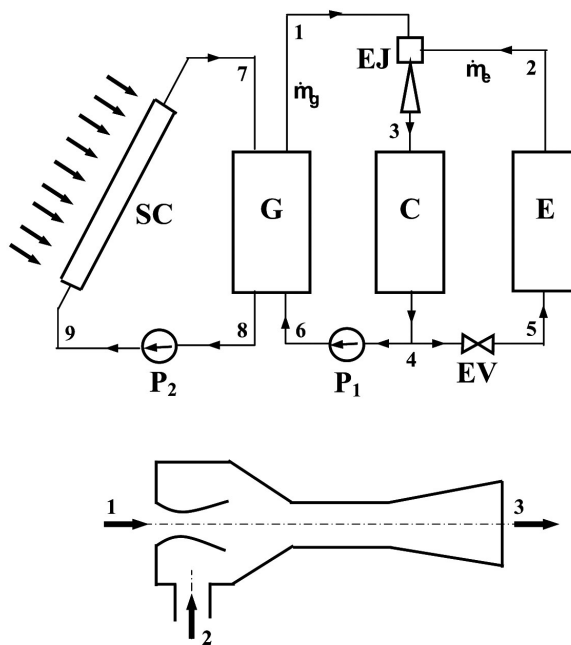


Figure 1: Schematic view of solar ejector refrigeration system and ejector.

- | | |
|---------------|---------------------|
| G: Generator | EV: Expansion valve |
| C: Condenser | SC: Solar collector |
| E: Evaporator | P_1 : Liquid pump |
| EJ: Ejector | P_2 : Water pump |

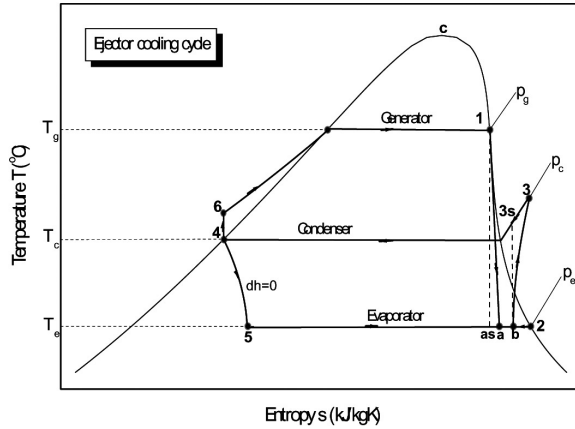


Figure 2: T-s chart of an ejector.

In the present study, R134a is selected as the working fluid for the ejector cooling system. R134a has a low boiling point (-26.5°C) and critical temperature (101.1°C). For thermodynamic properties of R134a, the equations proposed by Wilson and Basu [4] have been used. Also, in the present study has been used a computer model of ejector refrigeration system developed by Alexis and Karayiannis [5].

The governing equations for each unit in the system are:

- *Evaporator*: $\dot{Q}_e = \dot{m}_e(h_2 - h_5)$ (1)

- *Generator*: $\dot{Q}_g = \dot{m}_g(h_1 - h_6)$ (2)

- *Pump*: $\dot{W}_e = \dot{m}_g(h_6 - h_4)$ (3)

Thus the COP of the ejector cooling system is determined by its operating conditions and may be calculated from equation:

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g + \dot{W}_p} = w \cdot \frac{h_2 - h_5}{h_1 - h_6} \quad (4)$$

where $w = \dot{m}_e/\dot{m}_g$ the flow entrainment ratio (kg of secondary stream per kg of motive stream).

The equivalent coefficient of performance for Carnot cycle is calculated from the equation:

$$\text{COP}_C = \frac{T_g - T_c}{T_g} \cdot \frac{T_e}{T_c - T_e} \quad (5)$$

Experimental equipment

The ejector is manufactured by brass, shown in Figure 3. The two main parts of the ejector were connected by fine screws to prevent leakage. In brief, this system works as follows (Figure 1). The solar collector (SC) was used to heat the solar system fluid, which was water and to collect the energy needed to boil the refrigerant R134a in the generator (G). The generator contained two copper spiral heat exchangers (shell and coil). It was used to transfer the heat effect of the solar fluid to the refrigerant in the generator. The generator was connected to a liquid pump. The following control devices were used with the installation.

1. Safety valves
2. Manometers
3. Thermocouples
4. Control valves

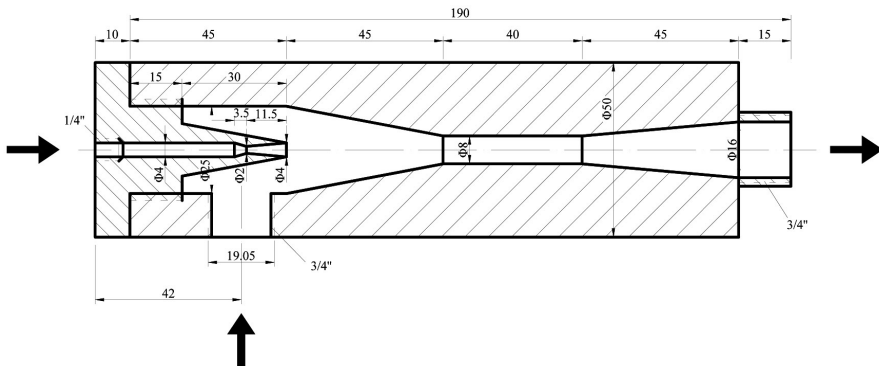


Figure 3: The ejector

The vacuum tube solar collector is performing superior in unfavorable cloudy, windy and cold conditions too. The vacuum envelope eliminates weathering influences such as condensation and moisture that causes early deterioration of internal materials resulting in reduced performance and system failure.

The obtained refrigerant vapor expands through the primary convergent-divergent nozzle at a high velocity and emerges into the mixing section so that the vapor may be drawn from the evaporator (E), (DX air-cooler coil). The mixture was compressed in the diffuser and sent to the condenser (C), (air-cooled condenser). The Figure 4 shows the photo of ejector. Some of the condensate liquid was forced back to the generator used a liquid pump (P_1) and the other part entered the evaporator.

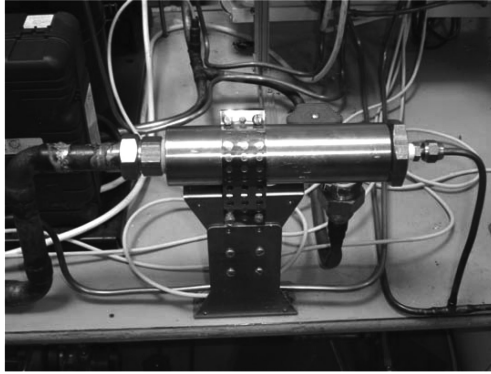


Figure 4. The photo of ejector

Results

In this study, the influence of the generator, condenser and evaporator temperatures on the ejector refrigeration system performance is shown experimentally.

Figure 5 shows the influence of evaporator temperature T_e under different condenser temperatures T_c on coefficient of performance ratio COP/COP_c for a constant generator temperature T_g . It can be seen that the coefficient of performance ratio increases with increasing evaporator temperature and decreasing condenser temperature.

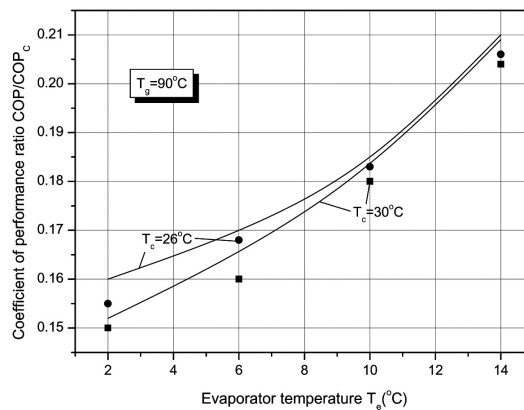


Figure 5: The effect of evaporator temperature T_e under different condenser temperatures T_c on coefficient of performance ratio COP/COP_c for generator temperature $T_g = 90^\circ\text{C}$.

The comparison between theoretical model and experimental results showed that this model estimates satisfying the experimental results.

The coefficient of performance is low but the solar energy is available in Athens.

References

- [1] Rao SPR and Singh RP. Performance characteristics of single-state jet ejectors using two simple models. Chem. Engng. Commun. 1988; 66:207-19.
- [2] Kouremenos DA, Rogdakis ED, Alexis GK. Optimization of enhance steam-ejector applied to steam jet refrigeration. Proc. ASME 1998; Anaheim, CA. 38:19-26.
- [3] Munday JT and Bagster DF. A new ejector theory applied to steam jet refrigeration. Ind. Eng. Chem., Process Res. Dev. 1987; 16(4):442-449.
- [4] Wilson DP and Basu RS. Thermodynamic properties of a new stratospherically safe working fluid-Refrigerant 134a. ASHRAE Transactions 1998; 94:2095-118.
- [5] Alexis GK and Karayannis EK. A solar cooling system using refrigerant R134a in Athens area. Renewable Energy. 2005; 30:1457-1469.

Nomenclature

COP	coefficient of performance
COP_C	coefficient of performance for Carnot cycle
\dot{Q}	heat rate (kW)
T	temperature (°C)
\dot{W}	work rate (kW)
h	specific enthalpy (kJ/kg)
η	isentropic efficiency
\dot{m}	mass flow (kg/s)
w	flow entrainment ratio

Subscripts

1, 2...	cycle locations
a, b...	ejector locations
c	condenser
e	evaporator
g	generator
p	pump

Memetic Algorithm Solving the Economic Load Dispatch Problem

Stavroula Barbounaki
Electrical and Computer Engineer -
Biomedical Engineer, MSc, PhD

Aristidis Vlachos
Electrical and Computer Engineer, PhD
Department of Informatics
University of Piraeus

Abstract

This paper tackles the Economic Load Dispatch (ELD) problem by providing a solution methodology based on a memetic algorithm. Memetic algorithms are a population-based approach for heuristic search in optimization problems and combine local search heuristics with crossover operators.

In particular, this paper suggests a memetic algorithm to deal with equality and inequality constraints found in the ELD problem. The memetic algorithm is applied to sample ELD problems which are composed of six generators.

Specific results analysis is performed, as is also a comparison with respective results from the application of the Particle Swarm Optimization algorithm (PSO).

Περίληψη

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται μια μεθοδολογία για την επίλυση του προβλήματος της Οικονομικής Κατανομής του Ηλεκτρικού Φορτίου, χρησιμοποιώντας τον μιμητικό αλγόριθμο. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζει σύνθετα και μη γραμμικά χαρακτηριστικά καθώς και δυνατούς περιορισμούς ισότητας και ανισότητας.

Πιο συγκεκριμένα, μας απασχολήσει το ποσό της ισχύς που πρέπει να καταναλωθεί από ένα πεπερασμένο αριθμό γεννητριών παραγωγής ενέργειας, έτσι ώστε η απαι-

τούμενη παραγόμενη ενέργεια να επιτυγχάνεται με το ελάχιστο κόστος. Όπως είναι φυσικό το παραπάνω πρόβλημα βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας και τα αποτελέσματα της λύσης του αποτελούν κριτήρια για τον καθορισμό του στρατηγικού σχεδιασμού τους.

Οι μιμητικοί αλγόριθμοι είναι εξελικτικοί αλγόριθμοι, οι οποίοι εφαρμόζουν μια ξεχωριστή διαδικασία τοπικής αναζήτησης. Γενικότερα, εκμεταλλευόμενοι το συμβιωτικό αποτέλεσμα του συνδυασμού δύο διαφορετικών στρατηγικών αναζήτησης, ενσωματώνουν αλγόριθμους γειτονικής αναζήτησης, αυξάνουν την αναζήτηση, ενώ η εξελικτική διαδικασία διευκολύνει την αποτελεσματική συνεχή διαφοροποίηση των πιθανών λύσεων του προβλήματος. Με τη βοήθεια των Μιμητικών Αλγορίθμων επιτυγχάνεται η προσέγγιση εκείνου του συνδυασμού τιμών ισχύος έτσι ώστε να έχουμε το ελάχιστο κόστος παραγωγής ενέργειας.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μιμητικού αλγορίθμου πάνω στα δεδομένα του προβλήματος αναλύονται και συγκρίνονται με αυτά που προκύπτουν κατά την επίλυση του ίδιου προβλήματος με την εφαρμογή του αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους μορίων.

Key Words: *Economic Load Dispatch, evolutionary algorithms, memetic algorithms.*

1. Introduction

Many power system optimization problems, including that of the Economic Load Dispatch (ELD) problem, have complex and non-linear characteristics and carry constraints of equality and inequality. During the past decades, the solution to this problem was performed through complex mathematical methods. An alternative solution to the ELD problem, in contrast with classic mathematical methods is that which originates from heuristic optimization techniques such as genetic algorithms, simulated annealing, Tabu search and Particle Swarm Optimization (PSO) algorithms.

Memetic algorithms (MAs) are a category of metaheuristic algorithms that successfully solve problems of combinatorial optimization (Gnanadass et al., 2004). Memetic algorithms are also known as "Hybrid Genetic algorithms", as they combine heuristic methods of local search with crossover operators or "Genetic Local searchers" (Gnanadass et al., 2005).

Memetic algorithms produce results faster than genetic algorithms. Their success is mainly due to the exploratory capabilities of genetic algorithms, as well as those attributed to the use of the local search method. They usually combine local search with the crossover procedure (Proenca et al., 1999).

This paper includes the following sections:

- Section 2: Short introduction to memetic algorithms;
- Section 3: Formulation of the problem;
- Section 4: Memetic algorithm for solving the ELD problem;
- Section 5: Case study;
- Section 6: Conclusions.

2. Memetic Algorithms: A Short Introduction

Memetic algorithms belong to the field of metaheuristic algorithms, yet they are a composite of heuristic and evolutionary algorithms that include elements that imitate biology principles, as well as social actions. They perform searches using a population of solutions rather than a single solution. The computational time for executing a memetic algorithm is larger than that of a heuristic algorithm, but the anticipated results are of better quality than those of a heuristic or evolutionary algorithm.

2.1. Main Characteristics of Memetic Algorithms

The main characteristics of a memetic algorithm are as follows (Digalakis, 2005):

– **Population.** One of the fundamental characteristics of a memetic algorithm is population size (Moscato, 1999), which constitutes an important evaluation criterion for exploring the solutions. The individuals that make up the population and exchange information in a memetic algorithm are termed as "*parents*", while the individuals that have recently been created or modified are termed as "*children*". Each individual of a population represents a possible solution to the problem. The size of the population can be either constant or variable during the search. The information exchange mechanisms are the operators of recombination and mutation, as well as local search techniques (Moscato, 1999).

During the execution of a memetic algorithm, information regarding the progress of the population thus far is most important. This information represents the knowledge which sets the rules of evolution for the population and is collectively termed as the population's "*history*". The population's "*history*" is the piece of information that is given at evolution's disposal and is used at the stage of selection, which is based on the quality of individuals. Local search contributes to finding the best individuals for recombination and mutation. Following the execution of a local search, the population's "*history*" is updated and recombination and mutation take place next, through which the structure of individuals is disrupted providing further possibilities for exploration of the search space (Digalakis, 2005).

Memetic algorithms do not just use random rules but also take into account information that they acquire during the exploration of the viable space. Hence, the steps are not fully random but adaptable to new circumstances.

– **Coding.** Every solution is codified into a string. The solutions that represent individuals in a memetic algorithm are not maintained in their original form, but in a codified format so that they simulate chromosomes, which hide coded characteristics of an individual. In this manner, genetic operators, such as reproduction, can be applied to the codified solutions.

There are various methods for representing memetic algorithms, such as binary strings, Gray coding and real coding.

Real coding improves memetic algorithm performance for applications that involve continuous variables, and for which finding a solution with great accuracy is required (Lozano et al., 2004).

– **Recombination.** In memetic algorithms, recombination is the operator that which with a P_c probability select two parents from a population and then recombines them in order to create two individuals.

The mechanism of recombination is not applied to all pairs that have been selected for reproduction. The usual values for the recombination probability are $P_c = 0.60$ (Radcliffe and Surry, 1994) and $P_c = [0.75, \dots, 0.95]$ (Jog et al., 1989).

– **Mutation.** The mutation operator in memetic algorithms changes certain bits of individuals by reversing them. The probability of mutation $P_m \in [0, 1]$ per bit is usually very small in memetic algorithms (Digalakis, 2005).

The mutation mechanism assists the memetic algorithm in avoiding local extrema, providing an additional randomness component for the evolution process (Merz, 2001).

In the case that the optimum solution has been determined fairly well, the mutation operator creates slight disturbances in the local optimum region thus accelerating convergence.

– **Neighborhood Function.** The neighborhood is defined as the group of individuals that belong within the boundaries of a geometric shape with the original parent at its center (Digalakis, 2005). The wealth of individuals that exchange information in the case of a memetic algorithm is of great value. The plurality of these individuals depends on the neighborhood function

$$N : P \rightarrow (P)$$

The neighborhood function assigns a subgroup P to every individual X . An operator that is applied to an individual $X \in P$ can be run on another individual that is selected from $N(x)$. In a memetic algorithm the search space is defined, based on the neighborhood function, as

$$\forall X \in P, N(x) \cup X = P$$

– **Replacement Methods.** The evolution of a population within series of generations (repetitions). We use the full replacement model (Merz, 2001) in the case when the whole population is replaced by a single generation, yet in the case when part of the population is replaced we use the consistent replacement model (Merz, 2001).

– **Local Search Methods.** By contrast to evolutionary algorithms, memetic algorithms have the ability to locate the global optimum within a relatively small number of repetitions. In evolutionary algorithms, the process for finding the global optimum is slow because there always exists a random factor. Using the local search method (simulated annealing, Tabu search) before the stage of recombination or mutation, as well as during the population initialization, the algorithm is aided in finding the local optimum (Merz and Freisleben, 2000). Using guided local search, the entrapment of the memetic algorithm in local minima is avoided.

In figure 1, the pseudo code of the memetic algorithm is given.

```

Procedure MA;
  Begin
    For  $j:=1$  to popsize do
       $i:=generateSolution();$ 
       $i:=Local-Search(i);$ 
      Add individual  $i$  to  $P$ ;
    endFor;
    repeat
      For  $i:=1$  to recombinations do
        Select two parents  $i_a, i_b \in P$  randomly ;
         $i_c:=Recombine(i_a, i_b);$ 
         $i_c:=Local-Search(i_c);$ 
        add individual  $i_c$  to  $P$ ;
      endFor ;
      For  $i:=1$  to mutations do
        Select an individual  $i \in P$  randomly ;
         $i_m:=Mutate(i);$ 
         $i_m:=Local-Search(i_m);$ 
        Add individual  $i_m$  to  $P$  ;
      endFor;
       $P:=select(P);$ 
      If  $P$  converged then  $P:=mutateANDLS(P);$ 
    Until terminate=true;
  End ;

```

Figure 1: Pseudo code of memetic algorithm.

3. Formulation of ELD Problem

The goal of the Economic Load Dispatch problem is to achieve optimal electric power production in conjunction with minimization of the production unit's (generator's) function costs, while keeping equality and inequality restrictive conditions satisfied.

The objective function that describes the ELD problem is:

$$\min \sum_{i=1}^n F_i(P_i) = \min \sum_{i=1}^n (a_i + b_i P_i + c_i P_i^2) \quad (1)$$

when

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_D \quad (2)$$

$$P_{i,\min} \leq P_i \leq P_{i,\max} \quad (3)$$

where

n is the number of production units (generators)

P_i is the output power of the i -th unit (generator) in MW,

$F_i(P_i)$ is the hourly production of P_i MW measured in euros per month,

$P_{i,\min}$ is the minimum power limit of the i -th unit (generator) in MW,

$P_{i,\max}$ is the maximum power limit of the i -th unit (generator) in MW,

P_D is the overall load demand in MW,

and

a_i, b_i, c_i are the cost coefficients of the i -th production unit (generator).

4. Memetic Algorithm for Solving the ELD Problem

In order to minimize the overall function cost of the production units (generators), Equation (1), with the help of a memetic algorithm, we implement the steps below which we analyze in the following section:

Step 1: Data representation

Step 2: Formulation of initial population

Step 3: Population optimization

... *Begin of repetitive process*

Step 4: Selection of population

Step 5: Execution of recombination

Step 6: Population optimization

Step 7: Execution of mutation operator

Step 8: Population optimization

... End of repetition

4.1 Data Representation

The main characteristics of the problem that need to be numerically represented are the number of production units (generators), the power produced by each unit (generator) and the population (chromosomes) data that define the presumed solutions to the problem. For our convenience, we have chosen to express the power produced by each unit (generator) using real numbers.

A supposed solution to the problem will be of the form:

$$X_j = [P_{j1}, P_{j2}, \dots, P_{jn}] \quad (4)$$

where

j is the number of the chromosome or alternatively the number of the respective possible solution to the problem, while $j \in [1, N]$.

The initial possible solutions are given in the form of a matrix $j \times i$, where chromosomes are arranged in j rows and the various values of produced power, that need to be evaluated and combined (with each other) in order to minimize the overall function cost of the units (generators), are arranged in i columns.

The initial solutions are represented by the following matrix:

$$M = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N1} & P_{N2} & P_{N3} & \dots & P_{Nn} \end{bmatrix}$$

4.2 Population Initialization

Finding the initial possible solutions to the problem that will form the beginning of the memetic process is achieved with the help of the rand function of MATLAB. According to this function, the presumed initial solutions are random selections of real values for the power of each unit (generator), within a range of values that we define.

In this program, population-initial is the function that is responsible for data initialization and uses as input arguments the overall power demand and population size. The population-initial function outputs the initial population that we desire to optimize

(Viana et al., 2002). The size of the population is given within the function with the argument *pop-size*, and therefore we end up with matrix M of initial solutions with a number of rows $N = \text{pop-size}$ and n columns that correspond to n power production units (generators). The size of the population we select is of order 1.5 to 3.5 times the total number of variables. We then enter the limits of the power values of each production unit (generator) ($P_{i,\min}$ and $P_{i,\max}$).

Through executing the program (or software) a matrix $\text{pop-size} \times n$ is produced with completely random values for power P_i . The above matrix does not satisfy the problem's demands (constraints of equality and inequality). Moreover, it is necessary that the sum of powers produced by each production unit (generator) is equal to power demand, while every production unit (generator) must function within the limits $[P_{i,\min}, P_{i,\max}]$.

We can satisfy the restrictive condition of inequality of implementing a repetitive procedure during initialization for the first $n-1$ production units (generators) (Park et al., 2003). Each time a value occurs, we check whether it lies within the acceptable limits and either accept it if it does, or we repeat the initialization process until we get the desired results.

Since we require that the constraint expressed by equation (2) is not violated, for practical reasons, the output power of the n -th unit (generator) value is calculated, if we subtract the sum of the power produced from the first $n-1$ production units (generators) from the overall power demand:

$$P_{n-1} = P_D - \sum_{i=1}^{n-1} P_i \quad (5)$$

Using equation (5) might give us an unacceptable value for the n -th production unit (generator), a value which is therefore rejected. The repetitive procedure is in that case applied, which stops when the above initial values satisfy both constraints (2) and (3).

4.3 Population Optimization

In this section, we describe the third step of the algorithm that includes the optimization of the initial solutions. Our goal is to reach the same number of solutions but with values of the objective function, that describes the given problem, that are smaller than the respective values of the solutions of step 2. The method that is used is the *local search method* which is an integral part of every memetic algorithm and is based upon finding the neighboring set of the initial possible solution to the problem. The local search procedure is as follows:

Suppose $N(s')$ is the neighboring set we are looking for and $X'_j \in N(s')$ is the neighboring solution of the solution X_j . The value of the power P'_{ji} of every neighboring chromosome X'_j arises if we add a Gaussian random variable with a zero mean and standard deviation σ_i , to the value of the power P_{ji} of every production unit (generator) of the initial chromosomes. The standard deviation of the above variable is dependent upon the particular characteristics of each production unit (generator).

If

$$X'_j = [P'_{j1}, P'_{j2}, \dots, P'_{jn}]$$

is a point with $N(s')$, then each variable P_{ji} can be found as follows:

$$P'_{ji} = P_{ji} + \sigma_i \cdot N(0, 1) \quad (6)$$

where

$$j = 1, \dots, N \text{ and } i = 1, \dots, n$$

Term $N(0, 1)$ defines a Gaussian random variable with a zero-mean and unit standard deviation.

In equation (6), standard deviation is given by the formula (Jayabarathi et al. 2000):

$$\sigma_i = \beta \cdot \frac{f_i}{f_{\min}} (P_{i,\max} - P_{i,\min}) \quad (7)$$

where

f_{\min} is the minimum value of the objective function among N different solutions of the population,

β is a weight operator that determines convergence, and

f_i is the objective function value of production unit (generator) i of chromosome j .

The size of the weight operator is determined according to how different we want neighbouring chromosomes to be from their respective initial ones.

As in step 1, we need to create chromosomes that satisfy constraints (2) and (3), respectively. Since the Gaussian variable is random, it is very possible that the above restricting conditions are being violated. In order to satisfy the constraints of the problem, we initially compute the values that emerge for the $n-1$ production units (generators) of each chromosome.

Suppose that for the first chromosome, we have computed values $P'_{11}, P'_{12}, P'_{13}, \dots, P'_{1n-1}$. If the aforementioned values lie within the limits P_{\min} and P_{\max} , then they are accepted and the value P'_{1n} is computed next, meanwhile controlling in a similar manner as presented in step 1, for the inequality constraint, thus ensuring the overall power demand for the system.

If a certain value of the $n-1$ production units (generators) does not lie within the power limits, then we examine whether this violation occurs below the P_{\min} value or above the P_{\max} value.

Therefore:

$$\text{If } P_{ji} < P_{i,\min}, \text{ then } P_{ji} = P_{i,\min} \text{ and}$$

$$\text{If } P_{ji} > P_{i,\max}, \text{ then } P_{ji} = P_{i,\max}$$

Next, we compute the power value of the n -th production unit (generator) using equation (5), and the algorithm continuous repetitively until we end up with neighbouring chromosomes that satisfy the problem's constraints and have objective function values less than those of the chromosomes acquired in the early phase.

4.4 Population Selection

Since we have optimized the calculated random initial solutions with the help of local search, the algorithm continues to run evaluating and selecting the solutions that originated from step 3.

In this fourth step, we implement a selection method to evaluate which chromosomes are able to continue through the evolutionary procedure and to reject those unable to do so.

Able chromosomes are termed as "*parents*", to which evolution operators will be applied and will thus give "*offspring*".

Two of the most well-known selection techniques that are used in evolutionary algorithms are the roulette technique and the tournament technique (Srinivas and Patnaik, 1994).

The tournament technique is the method used for this project in order to select the parents amongst the chromosomes.

We select a random number k within the interval $[0, \dots, pop-size]$, where the *pop-size* parameter indicates the size of the population. We then select k chromosomes, which we compare to each other and only the one with the best suitability, meaning the least objective function value, passes on to the next generation. The above procedure occurs repetitively and, hence, some of the chromosomes will disappear, while others will appear more than once in the new population, since the population size remains fixed.

For our case study, we chose $k=2$. We, therefore, compare chromosome pairs and the process ends when the number of repetitions equals the population size.

4.5 Execution of Recombination Operator

Following the selection of the population, the recombination operator is executed next. For its execution, two or more solutions/chromosomes are required from whose recombination. We will end up with two or more new chromosomes.

The recombination operators constitute the procedure through which a set of chromosomes ("*parents*") is modified so that another set of chromosomes termed as "*offspring*", arises that inherits all the characteristics of the parents.

We use as recombination operator the method of single-point crossover.

If the electrical power production system consists of six units (generators), the length of the multivariable, which is termed as chromosome, is $\ell=6$. We randomly select crossover points that take on values in the interval $[1, \dots, \ell-1]$. The probability is the same for any value in the interval $[1, \dots, \ell-1]$ these points take on.

Nonetheless, chromosome crossover (Quiddir et al., 2005) does not always occur. Even though the parents we have selected for crossover have emerged from step 4 of the algorithm and are considered the appropriate chromosomes for the task, we do not wish

that the whole population be subjected to crossover, since that would be ineffective.

We create random numbers within the interval $[0, 1]$ as many as the number of chromosomes. Each number created corresponds to a chromosome. We then assign a crossover ratio which for the current project is determined by the *Pr-cross* variable and is equal to 0.7. We select a chromosome pair each time, and to each chromosome of the pair selected a number from the $[0, 1]$ interval is assigned. If this number is greater or equal to *Pr-cross*, the chromosome is selected for crossover, otherwise it is rejected.

For the current case-study, we have six production units (generators); therefore we have the following two parents:

$$\begin{aligned} X_1 &= [P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6] \\ X_2 &= [P'_1, P'_2, P'_3, P'_4, P'_5, P'_6] \end{aligned}$$

We choose two random numbers within the $[1, 6]$ interval, for example 2 and 4. Hence:

$$\begin{aligned} X_1 &= [P_1, P_2, // P_3, P_4, // P_5, P_6] \\ X_2 &= [P'_1, P'_2, // P'_3, P'_4, // P'_5, P'_6] \end{aligned}$$

If the above chromosomes correspond to numbers greater or equal to *Pr-cross* then during crossover, we have the exchange of the common segment between the chromosomes resulting in the following new chromosomes (offspring):

$$\begin{aligned} X'_1 &= [P_1, P_2, // P'_3, P'_4, // P_5, P_6] \\ X'_2 &= [P'_1, P'_2, // P_3, P_4, // P'_5, P'_6] \end{aligned}$$

As in the previous steps, in the recombination procedure the new chromosomes arise through a repetitive process. No one can guarantee through that these new chromosomes do not violate restrictive conditions (2) and (3) of the problem. The procedure that is used in order to satisfy the restrictive conditions of equality and inequality of the problem is the same as that used in step 3.

Thus, by interrupting the repetitive process when we reach an equal number of offspring as parents, we have the population that will continue the evolutionary process.

4.6 Execution of the Mutation Operator

Having executed the recombination operator, the memetic algorithm subjects the offspring that have arisen to optimization, so that emerging chromosomes have objective function values smaller than the respective values of any population that emerged thus far.

As already mentioned in step 3, the rate at which population optimization takes place must be small since we do not want the chromosomes that emerge to have lost their basic properties.

Moreover, the crossover procedure to which the population is subjected in step 5 leads to a better population in the end, as does optimization in step 6, yet the main goal is the exchange of information between chromosomes and so the differentiation of the objective function is not especially distinct.

The mutation that takes place in step 7 is especially and objectively meant to differentiate the chromosomes from each other, and hence cause significant changes to the objective function that will more objectively approach the purpose of the problem.

Through the execution of an operator, the mutation process is applied to the chromosomes' variables, so that new chromosomes will emerge carrying different pieces of information. The operator used is the same we introduced in step 3 for finding the neighbouring set of the respective population (Wong and Yuryevich, 1998), Equations (6) and (7).

One could claim that the mutation process is the same as the process for finding a neighbouring set in step 3. Our utter goal is to find a population with considerably different chromosome objective function values. The first important difference when compared to step 3 is that coefficient β that determines the pace of change is greater than that used for finding the neighbouring set and thus than that used in the local search method. As a result, chromosomes arise that at no previous step of the algorithm but even at none of the repetitions did they belong to the field of attraction of chromosomes that resulted from local search.

Coefficient β plays a very important role in results convergence. Next in the process we are called upon to deal with the violation of restrictive conditions (2) and (3) of the problem.

Just as in previous steps, the manner in which we ensure that equality and inequality constraints are satisfied is the same as the one initially presented during the population optimization and the local search method process.

The algorithm closes with yet another population optimization that results from the execution of the mutation operator.

The number of step repetitions is used as a criterion to terminate the algorithm. A size of 15 to 20 (Park et al., 2003) repetitions is enough in order for us to get the desired results.

5. Case Study

Suppose we are called upon to solve the Economic Load Dispatch problem of six generators, whose characteristics are given in Table 1. Coefficients α_i , b_i and c_i are the fuel consumption coefficients.

Suppose that these generators are expected to cover an overall power demand $P_D = 1680 \text{ MW}$.

Table 1: Generator characteristics

Unit (Generator)	a_i	b_i	c_i	$P_{i,\min}$	$P_{i,\max}$
1	561,0	7,92	0,001562	150,0	600,0
2	310,0	7,85	0,001940	100,0	400,0
3	78,0	7,97	0,004820	50,0	200,0
4	102,0	5,27	0,002690	100,0	500,0
5	51,0	9,90	0,001720	40,0	350,0
6	178,0	8,27	0,006930	100,0	280,0

The memetic algorithm that is used to solve our problem is run within the Matlab environment.

For an initial population size equal to 14 and overall power demand $P_D = 1680\text{MW}$, the initialization function gives the initial population presented in Table 2.

Table 2: Initial population

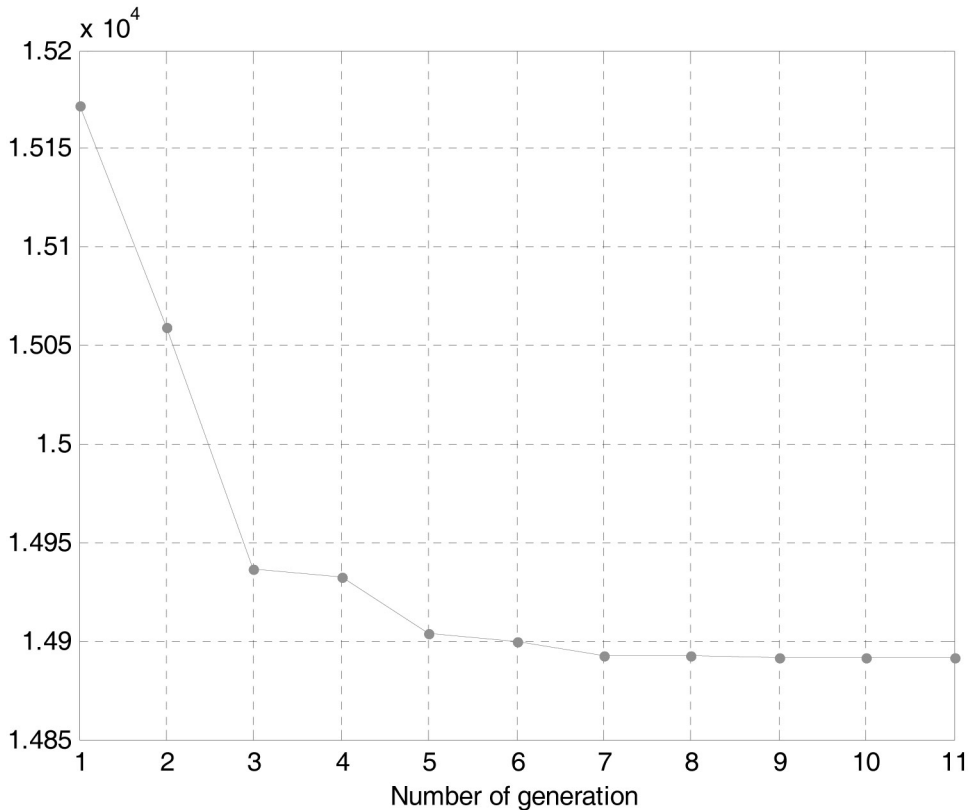
# Chromosome	P1	P2	P3	P4	P5	P6	D
1	339.98	400.00	166.95	323.81	335.20	114.06	1680
2	466.10	341.05	86.676	462.48	81.309	242.39	1680
3	525.23	343.90	124.85	364.15	145.99	175.88	1680
4	510.51	241.02	77.120	286.88	322.57	241.91	1680
5	441.86	274.21	186.81	296.85	281.44	198.82	1680
6	531.17	144.18	173.24	321.70	316.70	193.01	1680
7	364.98	374.12	94.219	304.07	340.02	202.58	1680
8	557.93	268.92	132.69	136.05	331.32	253.10	1680
9	343.47	387.12	125.60	292.44	288.66	242.71	1680
10	420.23	330.65	181.38	436.08	99.757	211.90	1680
11	489.68	263.62	165.68	396.38	229.69	134.95	1680
12	499.90	260.73	79.004	432.62	253.25	154.50	1680
13	449.08	312.64	136.95	379.35	211.82	190.17	1680
14	342.71	375.58	185.33	292.98	294.71	188.69	1680

We notice that the chromosome random variable lie within the limits defined by equation (3) for each production unit (generator). In the last column, the sum P_D for each population snap-shot is recorded and we notice that the sum for all 14 chromosomes is 1680 MW, just as constraint (2) demanded.

Following 11 repetitions of the memetic algorithm, convergence occurs which is shown in figure 2. In Table 3, the best chromosome is presented, meaning listed are those generator values, whose combination minimizes the function cost of the production units (generators).

Table 3: Best chromosome achieved at 11th Memetic Algorithm Repetition

Best Chromosome	P1	P2	P3	P4	P5	P6	D
11	487.73	400	152.26	500	400	100.01	1680

**Figure 2:** Convergence of memetic algorithm for the ELD problem after 11 repetitions.

Running the memetic algorithm to solve the ELD problem, we notice that greatly influences the convergence of the algorithm is the selection of factor β of the Gauss method during the mutation process. In Figure 3, the change in convergence of the memetic algorithm is given with respect to Gaussian operator β during the mutation process.

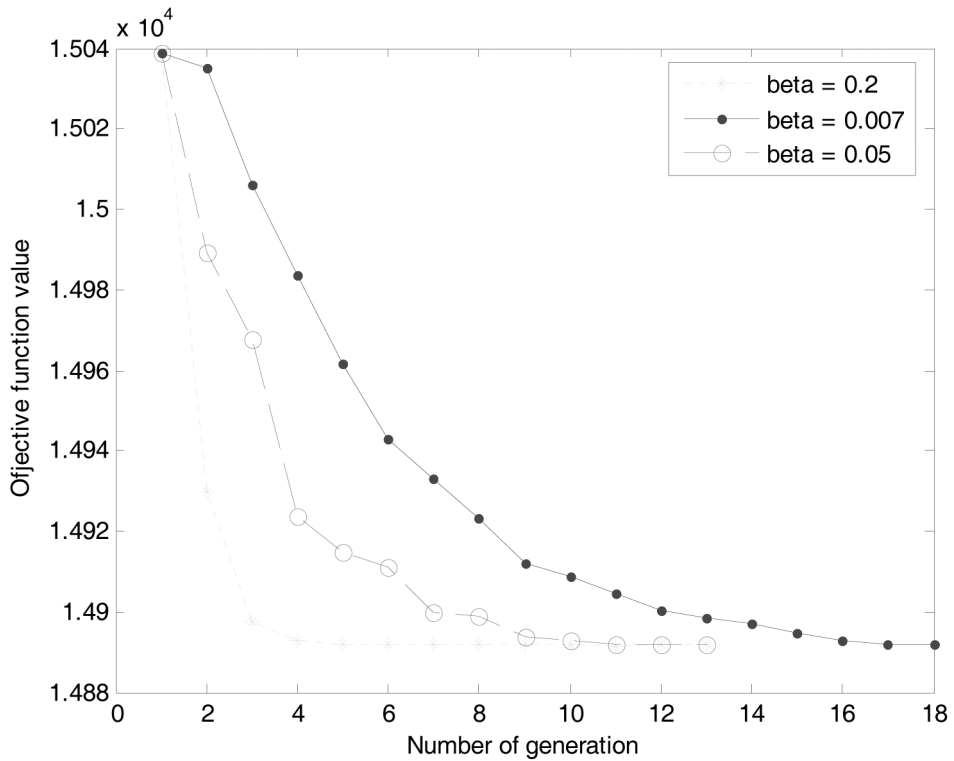


Figure 3: Change in convergence of memetic algorithm with respect to the Gaussian β operator during the mutation process.

In table 4, the ranges of values are given for the parameters that are used for the memetic algorithm.

Table 4: Range of values for parameteres of Memetic Algorithms used for solving the ELD problem.

PARAMETER	RANGE OF VALUES
Population Size	14-18
Crossover Ratio	0.6-0.9
Mutation Rate	0.4-0.8
Gaussian operator	0.05-0.2
Number of repetitions	8-18

In Figure 4(a), (b) a comparison between the solution to the ELD problem using a PSO algorithm and a Memetic algorithm (MA), respectively is presented.

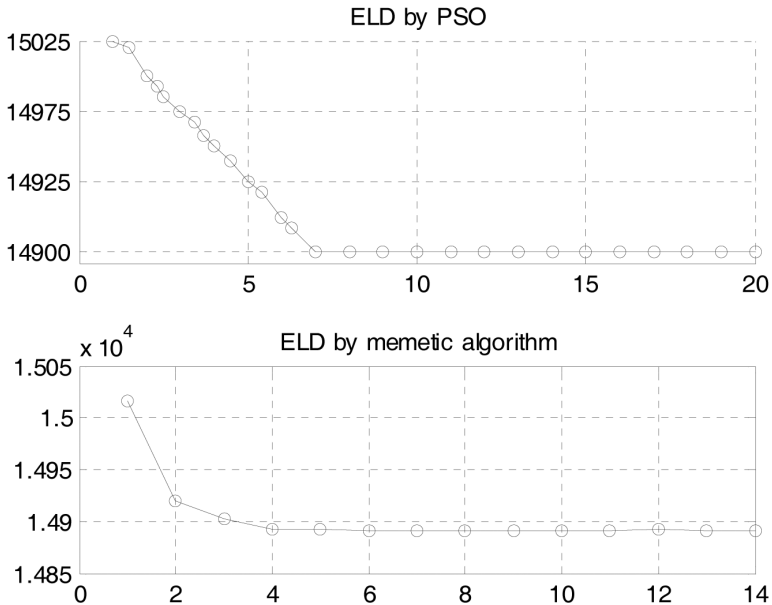


Figure 4: Comparison between the solution to the ELD problem using a PSO algorithm (a) and a Memetic algorithm (b).

The smallest objective function value is achieved after the 4th repetition of the memetic algorithm, for which 14 chromosomes were used, with crossover ratio equal to 0.7, mutation rate equal to 0.6 and a mutation coefficient of 0.3.

6. Conclusions

In this article, we used the memetic algorithm to solve the Economic Load Dispatch Problem in the particular case of six production units (generators). The results were compared to the respective ones from running the PSO algorithm. In the case of running the memetic algorithm, the best results are achieved, while the population size that tends to convergence must be on one hand fairly large in order to ensure the credibility of the results and the other hand small enough so as to avoid large computational time.

The selection of the Gaussian β coefficient is of outmost importance to the convergence of the memetic algorithm.

Finally, the number of repetitions changes in an inversely proportionate manner to the convergence speed and thus to the β Gaussian coefficient.

References

- [1] Gnanadass R., Venkatesh P., Palanivelu T. G., and Manivannan K., (2004). 'Evolutionary Programming Solution of Economic Load Dispatch with Combined Co-generation Effect'. *Twentieth National Convention of Electrical Engineers*, Shimla.
- [2]. Gnanadass R., Venkatesh P. and Narayana Prasad Padhy, (2005). 'Evolutionary Programming Based Optimal Power Flow for Units with Non-Smooth Fuel Cost Functions'. *Electric Power Components and Systems*, 33:349-361.
- [3] Proenca L. M., Luis Pinto J., and Manuel A. Matos, (1999). 'Economic Dispatch in Isolated Networks with Renewables using Evolutionary Programming'. *IEEE Power Tech'99 Conference, BPT99-361-25*, Budapest, Hungary.
- [4] Digalakis J., (2005). 'Parallelisation of Memetic Algorithms and other Metaheuristics', *PhD Thesis*, University of Macedonia.
- [5] Moscato P., (1999). 'Memetic Algorithms: a short introduction', Chapter 14 of *New Ideas in Optimisation*, D. Corne, F. Glover, and M. Dorigo, (eds.), McGraw-Hill pp. 219-234.
- [6] Lozano M., Herrera F., Knasnogor N., Molina D., (2004). 'Real-coded memetic algorithms with crossover hill-climbing'. *Evolutionary Computation*. Vol. 12(3), pp. 273-302.
- [7] Radcliffe N., and Surry N., (1994). 'Formal Memetic Algorithms'. *Evolutionary Computing: AISB Workshop*, Vol. 865 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 1-16, Springer – Verlag.
- [8] Jog P., Suh J., and Gucht D.V., (1989). 'The Effects of Population Size Heuristic Crossover and Local Improvement on a Genetic Algorithm for the travelling Salesman Problem'. *Proceedings of the 3rd International Conference on Generic Algorithms*, pp. 110-115, Morgan Kaufmann.
- [9] Merz P., (2001). 'On the Performance of Memetic Algorithms in Combinational Optimization'. In W. Hart, N. Krasnogor and J. Smith, Editors, *Second Workshop on Memetic Algorithms (WOMA), Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2001)*.
- [10] Merz P., and Freisleben B., (2000). 'Fitness Landscapes, Memetic Algorithms and Greedy Operators for Graph bi-partitioning', *Evolutionary Computation*, 8(1):61-91.

- [11] Holstein D., and Moscato P., (1999). ‘Memetic Algorithms Using Guided Local Search: a Case Study’. *New Ideas in Optimization*, McGraw-Hill’s Advanced Topics In Computer Science Series, McGraw-Hill, pp. 235-244.
- [12] Viana A., Pinho de Sousa J., and Matos M., (2002). ‘A New Metaheuristic Approach to the Unit Commitment Problem’. *14th Power System Computation Conference*. pp. 24-28.
- [13] Park L.-B., Lee K.-S., Shin J.-R., Choe G.-H. and Lee K. Y., (2003). ‘Economic Load Dispatch Based on a Hybrid Particle Swarm Optimization’. *Industry and Energy (MOCIE) and Korea Electric Power Research Institute (KERPI) through MRC program*.
- [14] Jayabarathi T., Sadasivam G., and Ramachandran V., (2000). ‘Evolutionary Programming-Based Multiarea Economic Dispatch with Tie Line Constraints’. *Electric Machines and Power Systems*, 28:1165-1176.
- [15] Srinivas M., and Patnaik L. M., (1994). ‘Genetic Algorithm: A Survey’. *IEEE Computer Society*, 27(6):17-26.
- [16] Ouiddir R., Rahli M. and Abdelhakem-Koridak L., (2005). ‘Economic Dispatch using a Genetic Algorithm: Application to Western Algeria’s Electrical Power Network’. *Journal of Information Science and Engineering*, Vol. 21, 659-668.
- [17] Wang K. P. and Yuryevich J., (1998). ‘Evolutionary-Programming-Based Algorithm for Environmentally-Constrained Economic Dispatch’. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 13, No. 2, pp. 301-306.

Ανάπτυξη Μεθόδων Υπολογισμού και Βελτιστοποίησης Στοιχείων Μηχανών μέσα σε ένα Ολοκληρωμένο Περιβάλλον Σχεδιασμού Προϊόντος CAD/CAE

*Σαγκιάς Βασίλειος Msc
T.E.I. Πειραιά*

*Στεργίου Κωνσταντίνος PhD
Αναπληρωτής Καθηγητής
T.E.I. Πειραιά*

*Ρώσσης Κυριάκος PhD
Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών
Ενέργειας*

Περίληψη

Στην εργασία παρουσιάζεται μια πρωτότυπη μέθοδος αυτόματης σύνδεσης του υπολογιστικού μοντέλου με την “πραγματική” τρισδιάστατη γεωμετρία εντός ενός συστήματος σχεδίασης CAD, κάνοντας χρήση της NURBS-BREP αναπαράστασης των σύγχρονων στερεών μοντελοποιητών. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας έγινε σε στοιχεία δοκών (beams) με μεταβαλλόμενη κατά το μήκος του φορέα τυχούσα διατομή, κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η αυτόματη παραγωγή του αντίστοιχου υπολογιστικού μοντέλου στην πολύ συνήθη σύνθετη καταπόνηση λοξής κάμψης και στρέψης λαμβάνοντας υπόψη τις απαραίτητες παραδοχές. Μέσω της αναπτυχθείσας μεθόδου επιτυγχάνεται η ένταξη της υπολογιστικής διαδικασίας εντός του συστήματος σχεδιασμού CAD χωρίς τη χρήση εξωτερικών υπολογιστικών εργαλείων με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας στη σχεδιαστική διαδικασία.

Για το παραγόμενο υπολογιστικό μοντέλο αναπτύχθηκε μεθοδολογία αυτόματου προσδιορισμού της συγκριτικής τάσης σ_v , για οποιοδήποτε σημείο της κατασκευής, η οποία είναι απαραίτητη για την εκτίμηση του συντελεστή ασφαλείας της κατασκευής,

καθώς και για τον προσδιορισμό του σημείου επί του ορίου της εκάστοτε διατομής στο οποίο η σ_v λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της. Ο υπολογισμός γίνεται με χρήση αναλυτικού υπολογισμού σε συνδυασμό με τη μέθοδο των οριακών στοιχείων (Boundary Element Method). Η αριθμητική αυτή μέθοδος επελέγη, επειδή εκτός από το πλεονέκτημα της υψηλής ακρίβειας, παρουσιάζει και το πλεονέκτημα συμβατής περιγραφής της απαιτούμενης υπολογιστικής γεωμετρίας με τη γεωμετρική αναπαράσταση του σχεδιαζόμενου αντικειμένου στο σύστημα CAD. Παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος αυτόματης μετάβασης από τη “συνεχή” γεωμετρία του CAD μοντέλου στα “διακριτά” στοιχεία στα οποία βασίζεται η αριθμητική υπολογιστική μέθοδος BEM, δοκιμάζοντας ανάμεσα σε άλλα και εργαλεία βελτιστοποίησης.

Abstract

In this paper a novel method for automatically connecting the computational model to the “real” 3D geometry inside a CAD design system, using the NURBS-BREP representation of modern solid modelers is been realized. The way to extract the information needed for the stress calculations from the 3D-CAD-geometry is shown. The method is to be used on beamlike mechanical parts of arbitrary cross-sections, which can also change along the beam. Through the presented method, redundant data collection is avoided, since the beam stress calculation is executed in the CAD-System environment in contrast to the conventional use of an external strength calculation module.

A methodology was developed for the automatic determination of the equivalent stress σ_v , on any point of the construction, which is essential to obtain the construction's safety factor, as well as for the determination of the exact point on the cross section boundary, where σ_v takes its maximum value. The calculation is conducted by using a combination of analytical method together with the Boundary Element Method (BEM). The latter, besides the increased accuracy advantage it offers, provides also the advantage of description compatibility with the required computational geometry by geometrically representing the object being designed in CAD. The automatic transition from the continuous CAD geometry to the discrete elements, on which the numerical calculation method is being based, is analytically presented, together with optimization tools used to achieve this goal.

Introduction

In the construction industry there is increasing demand for construction performance evaluation to be included as an integral part of the design process, using simulation analyses. When designing a construction using a CAD/CAE system, it is useful for the engineer to be able to perform stress analysis calculations inside the integrated design

environment of the CAD system he already uses, without there being need for recourse to additional computer tools. Hence emphasis is placed upon the computational analysis of a structure to constitute an active component of the design process. The above may be implemented if modern design, calculation and simulation CAD/CAE tools cooperate uninterruptedly in order to avoid as much as possible double work, while data collected once in the system database can be used throughout the entire range of the product design phases.

Studying and processing complex geometric models using arithmetic analysis codes to establish their mechanical properties definitely requires a first simplification of the model. Despite the existence of powerful CAD-geometry processing algorithms, its uninterrupted use for stress analysis calculations continues posing problems.

Alongside with the widely used Finite Element Method (FEM), the Boundary Element Method (BEM) is also used to analyze constructions. Among others, it presents the advantage of compatibility in describing the required computational geometry using the geometrical representation of the object being designed in the CAD system. Although BEM analysis offers increased accuracy in many construction calculation problems, and in particular in stress analysis [7], there are very few computation codes that have gone beyond research and are not yet widely used in the industry, while its direct relation to CAD systems, although it offers significant advantages, has not yet matured.

The aim of this research program was the development of an original method for automatically creating a computational model inside a CAD design system, using the NURBS-BREP geometric representation of modern solid modelers. This method is applied to strength analysis for general beam elements with random cross sections.

Geometric modeling in the CAD system

In modeling 3D geometry the method used to store information and in general the management of the geometric model during the design phase play an important part. It is upon these that access to geometric data and the possibility of making changes to it depends, in order to create the respective computational model which will in this case cooperate uninterruptedly with the geometry form required by the calculation method presented above.

3D CAD systems have various geometric model management philosophies. The object description method selected as the basis for this paper is to describe an object using some type of a CSG type “construction history” tree, where objects are a result of an addition, extrusion, linear and rotational scanning operations sequence, as well as of set operations (union, disjoint union, intersection) in the form of parametric features, such as for instance bolts, holes, threadings and other construction elements. Such elements constitute an assembly described in BREP format, where curves and parametric surfaces are described

using NURBS analytical equations and splines. NURBS geometry description provides the advantage of immediate use to generate the computational model for BEM calculation. In this way, the methodology being presented can directly cooperate with the geometric cores used by the most important solid modelers of today's CAD systems.

Analyzing and generating a computational model

The first step in creating the computational model is the reverse redesign of the cross-sections along the structure, in a way to be usable according to the stress analysis calculation needs. For preservation of the method generality and its ability to analyze the 3D solid model, we consider that the processed cross-sections, result by sectioning the solid model using perpendicular surfaces. This way ensures the possibility of integrating stress analysis of arbitrary beam calculations in the CAD system. On the contrary, existing methods require a constant cross-section along the beam, which is stored from the very beginning in the CAD database, providing thus the complete cross-section topology along the beam.

In order to ensure the advantage of design freedom, in combination with the automatic creation of the computational stress analysis model, we have to accept the disadvantage of the topology information loss. The type of consisting elements and their interconnection is no longer provided for the cross sections. However this information is a basic component of the BREP object representation. Depending on the type of element (linear, arc of circle, ellipse or spline), an adequate geometry management is conducted, while essential topological elements are added in order to obtain the final computational model on which the stress calculations will be carried out. During the reverse redesign procedure, each used element type is examined and stored for all cross-sections. Through a repetitive procedure, the starting and ending point of each element in right handed direction is being stored, providing a list of all used elements. This list is essential for the later process of new nodes addition for the stress calculation needs that are presented below.

We consider a beam shaped solid model with random cross section designed by using a 3D CAD system. Our goal is to calculate the maximum equivalent stress $\sigma_v(x,y)$ as well as its position $P(x,y)$ on the boundary for every cross-section along the beam. For this calculation, the von Mises equation of combined fatigue in sidelong bending and torsion will be used. The equivalent stress for a point $P(x,y)$ on the cross-section is

$$\sigma_v(x,y) = \sqrt{\sigma_b^2(x,y) + 3\tau_t^2(x,y)} \quad (1)$$

With bending stress being

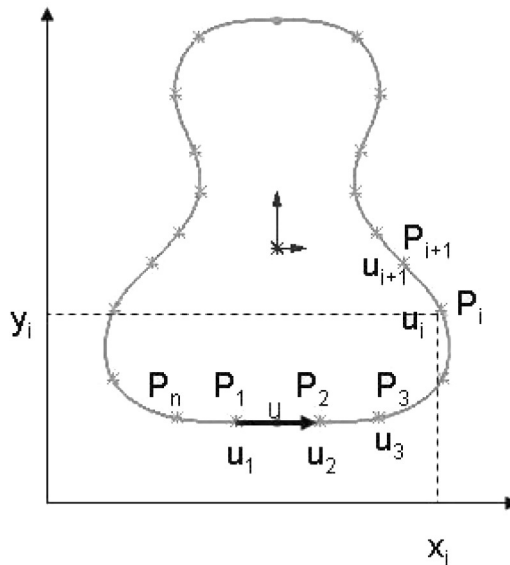
$$\sigma_b(x,y) = \frac{(M_y I_x - M_x I_{xy})x - (M_x I_y - M_y I_{xy})y}{I_x I_y - I_{xy}^2} \quad (2)$$

By taking into account that both bending and torsion stress take their maximum values along the cross-section boundary, a solution is preferable in which the problem is

reduced by one dimension, thus only along the cross-section boundary. We can search that point for which

$$\frac{d\sigma_v(u)}{du} = 0 \tag{3}$$

The new parametric variable u that is introduced in equation (2) follows the one-dimensional coordinates along the cross-section boundary as seen below.



The numerical solution of equation (2) needs the formation of function $\sigma_v(u)$ along the cross-section boundary as following:

$$\sigma_v(u) = \sqrt{\sigma_b^2(u) + 3\tau_t^2(u)} = \max \tag{4}$$

The distribution of torsion strains as a result of applying a torsion torque on the cross section boundary shall be calculated for all verticals to the beam cross section where they shall obtain their higher values.

The use of BEM requires for the purpose of generating the computational model, the description of the cross section geometry using a suitable number of nodes on its boundary. To create such nodes, an analysis is performed in the CAD system of the cross section elements. These may be straight line parts, circle arcs, ellipse sections, splines or a combination of all of them.

For such geometric elements, their topology is analyzed determining the starting and ending points $P_i(x,y)$ of each element and these are placed clockwise to generate a closed cross section. To these parts of the CAD geometry “sides” and depending on the size of

the cross section, a sufficient and adjustable number of nodes is added depending on the length of the side, for BEM calculation, for the accuracy of results to be acceptable. Each cross section element (straight line part, circle arc, ellipse, spline) is converted into its NURBS representation inside the CAD system so that there is a single mathematical function of the closed cross section. The nodes added may be equidistant amongst them, or their geometric position may be determined by a function as that for instance suggested by Sauer [12] where nodes become more dense towards the edges.

Each one of the nodes in the computational model have two degrees of freedom. In the case of torsion it is strain function Φ and cross section distortion tangential component $\gamma_t = -\frac{1}{G\delta} \frac{r\Psi}{fn}$. In many cases (i.e. in polygonal cross sections) during the transition from the one “side” of the cross section to the next one there appear discontinuity points and the vector that is vertical to the side changes from n_1 to n_2 (see Figure 3) resulting in γ_t not being unambiguously defined in the angle. To face the problem at such points, a second node is added so that there is a double node for each angle. Such second node has the same coordinates as the existing node but in the calculation is treated as independent.

For BEM resolution linear or circular elements are used depending on the initial CAD geometry connecting the continuous nodes on the cross section amongst them. Where an angle between two continuous “sides” of the cross section is $\theta < 180^\circ$, then the derivative of strain function $\partial\Phi/\partial n$ at the angle tends towards infinity hence rendering the BEM calculation impossible. Various methods have been suggested to tackle the problem that appears when boundary Dirichlet conditions - such as in this case - apply, as is shown for instance in references [15], [16], [17].

The solution selected is to analyze the cross section in terms of the problematic points and to automatically change the CAD geometry for the computational model. In the angle area a suitable conversion of the NURBS-BREP description is made to round the “problematic” geometry of the computational model. At the rounded points of the cross section 2nd degree circle arc sections are used, once its geometry has been created, which depends on the topology of the construction geometric elements in CAD before and after the “problematic” point.

For the needs of the calculation, the model topology is automatically converted, the existing straight line boundary elements reduce their length and two 2nd degree circular boundary elements are inserted amongst them.

Summarizing, we can list the steps towards creating the computational model. Initially the cross section is redesigned reversely based on CAD geometry. Individual geometric elements are analyzed and placed and using their NURBS representation, depending on their length, the additional nodes are determined and placed on the cross section boundary. At the points where there angles “double” nodes are created, while at those points where $\theta < 180^\circ$ the geometry is converted in order to enable BEM calculation.

Depending on the geometry of the boundary, a combination of linear and circular boundary elements is used for calculation purposes.

Conclusions

This paper presented a new way of analyzing the geometric model of modern solid CAD models to obtain the computational model needed for stress analysis calculations. The used NURBS-BREP representation of the 3D object in CAD presents advantages as compared to others, because it is compatible with the computational model description requirements regarding the use of the Boundary Element Method. The boundary is automatically discretized at the required number of boundary elements by analyzing the topology of the geometric elements making up the 3D body and the calculation is automatic providing results of increased accuracy. The method presented for calculating 3D cross sections may be expanded to include 3D bodies where for calculation purposes the external surface shall be automatically discretized at boundary surface elements.

This paper falls in the scope of the ARCHIMEDES research program cofunded by the European Union (75%) and the Ministry of Education (25%).

Λέξεις Κλειδιά: *Computer Aided Design, Computer Aided Engineering, Boundary Element Method, Stress analysis, Υπολογιστικά Μοντέλα.*

1. Εισαγωγή

Η μείωση του κύκλου ζωής των προϊόντων και οι αυξανόμενες απαιτήσεις στη βιομηχανία για βελτίωση της ποιότητας με ταυτόχρονη μείωση του κόστους και του χρόνου σχεδιασμού για να βγει ένα προϊόν στην αγορά, οδηγεί αναπόφευκτα και στην εξέλιξη των εργαλείων ανάπτυξης αυτών. Τα στάδια για το μεθοδικό σχεδιασμό μιας κατασκευής είναι η διασάφηση του προβλήματος, η σύλληψη της ιδέας, η σχεδιομελέτη και η επεξεργασία. [1], [2]. Στα τρία τελευταία στάδια, στα οποία γίνεται μέσω επαναληπτικών διαδικασιών η μορφοποίηση (γεωμετρία) της κατασκευής, είναι απαραίτητη η παράλληλη εκτέλεση υπολογισμών σε μορφή προδιαστασιολόγησης ή αναλυτικών υπολογισμών (π.χ. κατά Niemann [3]), είτε υπολογισμών με βάση μεθόδους αριθμητικής ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία FEM [4], οριακά στοιχεία BEM [5] και άλλες λιγότερο διαδεδομένες μεθόδους.

Επιθυμία είναι να δίνεται η δυνατότητα ένταξης υπολογισμών σε όσο το δυνατόν αρχικό στάδιο του σχεδιασμού μιας κατασκευής και συγκεκριμένα στο στάδιο της σύλληψης της ιδέας για τη λύση του κατασκευαστικού προβλήματος και στην πρώτη φάση

της σχεδιομελέτης, όπου καθορίζονται χονδρικά η μορφή και η δομή της συνολικής κατασκευής καθώς και των επιμέρους εξαρτημάτων.

Στην κατασκευαστική βιομηχανία υπάρχει αυξανόμενη η απαίτηση να περιλαμβάνεται η αξιολόγηση της απόδοσης μιας κατασκευής ως αναπόσπαστο τμήμα της διαδικασίας σχεδιασμού, μέσω αναλύσεων προσομοίωσης. Ως εκ τούτου δίδεται μεγάλη έμφαση ώστε η υπολογιστική ανάλυση μιας κατασκευής να αποτελεί ενεργό συστατικό της σχεδιαστικής διαδικασίας.

Τα παραπάνω μπορούν να υλοποιηθούν αν τα σύγχρονα εργαλεία σχεδίασης, υπολογισμού και προσομοίωσης CAD/CAE συνεργάζονται απρόσκοπτα μεταξύ τους έτσι ώστε κατά το δυνατό να αποφεύγονται διπλές εργασίες, ενώ δεδομένα που συλλέγονται μια φορά στη βάση δεδομένων του συστήματος, να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλο το εύρος των φάσεων σχεδιασμού του προϊόντος.

Στα πλαίσια του σχεδιασμού της κατασκευής σε ένα σύστημα CAD/CAE είναι χρήσιμο για το μηχανικό να μπορεί να πραγματοποιεί τους υπολογισμούς αντοχής στο σχεδιαστικό περιβάλλον του συστήματος CAD που ήδη χρησιμοποιεί χωρίς να είναι απαραίτητη η προσφυγή σε πρόσθετα υπολογιστικά εργαλεία. Οι σύγχρονοι τρισδιάστατοι μοντελοποιητές CAD βρίσκονται σε υψηλό στάδιο από πλευράς δυνατοτήτων μοντελοποίησης και σύλληψης της πρόθεσης του σχεδιαστή για την κατασκευή τρισδιάστατων αντικειμένων και οδηγούν στην παραγωγή έγκυρων γεωμετρικών μοντέλων.

Η μελέτη όμως και επεξεργασία πολύπλοκων γεωμετρικών μοντέλων με κώδικες αριθμητικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό των μηχανικών τους ιδιοτήτων, απαιτεί απαραίτητα πρώτα μια απλοποίηση του μοντέλου. Παρά την ύπαρξη ισχυρών αλγορίθμων επεξεργασίας της CAD-γεωμετρίας εξακολουθεί και παραμένει προβληματική η απρόσκοπτη χρήση της για υπολογισμούς αντοχής. Στη βάση δεδομένων του συστήματος CAD υπάρχει μια απεικόνιση της “πραγματικής” γεωμετρίας με υψηλό βαθμό ακρίβειας και πλήρους περιγραφής των γεωμετρικών λεπτομερειών του σχεδιαζόμενου αντικειμένου, ενώ για τον υπολογισμό με αριθμητικές μεθόδους είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα διακριτό μοντέλο, στο οποίο θα πρέπει να ληφθούν υπόψη συγκεκριμένοι κανόνες για την εφαρμογή απλοποιητικών παραδοχών στην υπολογιστική γεωμετρία, ώστε να ληφθεί αυτοματοποιημένα το μηχανικό υποκατάστατο της κατασκευής. Επιπρόσθετο πρόβλημα είναι ότι η δομή της γεωμετρικής αναπαράστασης και ο τρόπος περιγραφής των γραμμών, επιφανειών και όγκων σε ένα τρισδιάστατο σύστημα CAD δεν ενδείκνυται για χρήση του σε κώδικες αριθμητικής ανάλυσης. Για το λόγο αυτό η συνήθης μέθοδος πραγματοποίησης υπολογισμών είναι η μετάφραση της CAD-γεωμετρίας με βάση κάποια τυποποιημένη κωδικοποίηση όπως IGES, VDAFS, ή STEP[6]. Στη συνέχεια αυτή επεξεργάζεται και μετατρέπεται κατάλληλα για χρήση της από το σύστημα CAE για τον υπολογισμό. Το μειονέκτημα είναι η απώλεια γεωμετρικών πληροφοριών και προβλήματα σε περίπτωση “μη καθαρής” μοντελοποίησης του αντικειμένου. Επιπλέον, για όλες τις διαδοχικές αλλαγές στη γεωμετρία που προκύπτουν από τον υπολογισμό, πρέπει να γίνει εκ νέου μοντελοποίηση στο σύστημα CAD, μετάφραση της γεωμετρίας, νέος υπολογισμός κ.ο.κ.

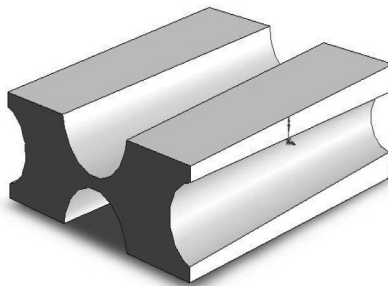
Συχνά στο πεδίο του Μηχανολόγου Μηχανικού χρησιμοποιούνται ως στοιχεία κατασκευών φορείς, οι οποίοι μπορούν να απλοποιηθούν ως προς τον υπολογισμό τους σε δοκούς διαφόρων διατομών. Στο παρόν ερευνητικό έργο αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία μοντελοποίησης της τρισδιάστατης CAD γεωμετρίας λαμβάνοντας ως παράδειγμα εφαρμογής στοιχεία δοκών (beams) με μεταβαλλόμενη κατά το μήκος του φορέα τυχούσα διατομή, κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η αυτόματη παραγωγή του αντίστοιχου υπολογιστικού μοντέλου στην πολύ συνήθη σύνθετη καταπόνηση λοξής κάμψης και στρέψης λαμβάνοντας υπόψη τις απαραίτητες παραδοχές.

Στο υπολογιστικό αυτό μοντέλο αναπτύχθηκε επέκταση της μεθοδολογίας που εισήχθη στο [9] για τον προσδιορισμό της συγκριτικής τάσης σ_v , η οποία είναι απαραίτητη για την εκτίμηση του συντελεστή ασφαλείας της κατασκευής, καθώς και για τον προσδιορισμό του σημείου επί του ορίου της εκάστοτε διατομής στο οποίο η σ_v λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της. Ο υπολογισμός γίνεται με χρήση αναλυτικού υπολογισμού σε συνδυασμό με τη μέθοδο των οριακών στοιχείων (Boundary Element Method). Τέλος αναπτύχθηκε πρωτότυπη μεθοδολογία για εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης στην αυτόματη παραγωγή του υπολογιστικού μοντέλου για τον ακριβή προσδιορισμό της συγκριτικής τάσης.

2. Κύριο μέρος

2.1 Διαχείριση του γεωμετρικού μοντέλου CAD

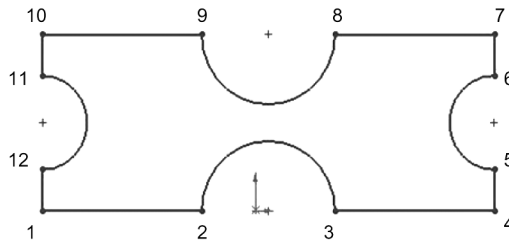
Για τη μοντελοποίηση της τρισδιάστατης γεωμετρίας παίζει σημαντικό ρόλο ο τρόπος αποθήκευσης της πληροφορίας και γενικότερα η διαχείριση του γεωμετρικού μοντέλου κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού. Από αυτά εξαρτάται η πρόσβαση στα γεωμετρικά δεδομένα και η δυνατότητα αλλαγών σε αυτή, ώστε να δημιουργηθεί το αντίστοιχο υπολογιστικό μοντέλο.



Σχ. 1: Δοκός μεταβαλλόμενης διατομής

Θεωρούμε δοκό τυχαίας, μεταβαλλόμενης κατά το μήκος του φορέα διατομής, όπως φαίνεται στο παράδειγμα του σχήματος 1, η οποία έχει σχεδιαστεί σε τρισδιάστατο σύστημα CAD, στη βάση δεδομένων του οποίου υφίσταται ως στερεό μοντέλο.

Η διατομή της δοκού μπορεί να αποτελείται από συνδυασμό στοιχειωδών γεωμετρικών στοιχείων (σχ. 2) όπως ευθύγραμμα τμήματα, κύκλους ή τμήματα κύκλων, ελλείψεις ή καμπύλα τμήματα splines.

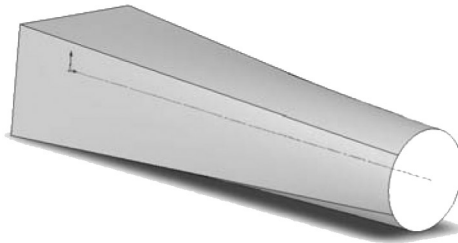


Σχ. 2: Διατομή αποτελούμενη από αλληλουχία γεωμετρικών στοιχείων

Το πρώτο βήμα στα πλαίσια της δημιουργίας του υπολογιστικού μοντέλου είναι η αντίστροφη ανασχεδίαση της διατομής ώστε αυτή να γίνει επεξεργάσιμη ανάλογα με τις ανάγκες του υπολογισμού. Για χάρη της γενικότητας της μεθόδου και της δυνατότητας ανάλυσης του τρισδιάστατου στερεού μοντέλου, θεωρούμε ότι οι προς επεξεργασία διατομές προκύπτουν από τομές κατά μήκος του στερεού με κάθετες σε αυτό επιφάνειες. Ο τρόπος αυτός εξασφαλίζει τη δυνατότητα ένταξης υπολογισμού της κατασκευής εντός του συστήματος CAD, σε αντίθεση με υπάρχουσες μεθόδους [7] όπου ο υπολογισμός στοιχείων δοκών, δεν είναι ενταγμένος στη διαδικασία σχεδιασμού και απαιτείται σταθερή κατά μήκος του φορέα διατομή, η οποία αποθηκεύεται εξαρχής στη βάση δεδομένων του συστήματος, παρέχοντας έτσι την πλήρη τοπολογία των διατομών κατά μήκος της δοκού.

Για να εξασφαλιστεί το πλεονέκτημα της ελευθερίας διαμόρφωσης σε συνδυασμό με την αυτόματη παραγωγή του υπολογιστικού μοντέλου, δεχόμαστε αναγκαστικά το μειονέκτημα της απώλειας πληροφορίας για την τοπολογία. Έτσι για τις κάθετες τομές στο στερεό δεν είναι πλέον γνωστό από τι είδους στοιχεία αποτελείται η προκύπτουσα διατομή και η σύνδεση των στοιχείων μεταξύ τους. Η πληροφορία αυτή είναι όμως βασικό συστατικό της απαιτούμενης BREP αναπαράστασης του αντικειμένου, η οποία αποτελεί τον κορμό περιγραφής του αντικειμένου. Ανάλογα με το είδος του στοιχείου (ευθύγραμμο τμήμα, τόξο κύκλου, έλλειψη, spline) το οποίο συνθέτει τη διατομή, γίνεται ειδική διαχείριση της γεωμετρίας και προσθήκη των απαραίτητων τοπολογικών πληροφοριών ώστε να προκύψει ένα ενιαίο τελικό μοντέλο που θα αποτελέσει τη βάση για τον υπολογισμό της δοκού. Κατά την ανασχεδίαση εξετάζεται και αποθηκεύεται για την εκάστοτε διατομή το είδος κάθε στοιχείου και μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία αποθηκεύεται με τη σειρά, σε δεξιόστροφη φορά, η λίστα με τις κορυφές του σημείου έναρξης και τέλους κάθε επιμέρους στοιχείου (κορυφές 1-12 στο σχ.

2). Η λίστα αυτή είναι απαραίτητη για τη μετέπειτα διαδικασία πρόσθεσης νέων κόμβων για τις ανάγκες του υπολογισμού που παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχ. 3: Δοκός τυχαίας διατομής

Ο υπολογισμός στοιχείων δοκών π.χ. στη συνηθισμένη φόρτιση συνδυασμένης στρέψης και κάμψης, παρουσιάζει πάντοτε ενδιαφέρον, επειδή αναλυτικές λύσεις υπάρχουν μόνο για πολύ λίγα είδη διατομών, (π.χ. τετραγωνικές, κυκλικές), ενώ για τα υπόλοιπα είδη διατομών πρέπει να αναζητηθούν αριθμητικές προσεγγιστικές λύσεις [8]. Στο παράδειγμα του σχήματος 3 έχει κατασκευαστεί στοιχείο δοκού με αρχική τετραγωνική διατομή, το οποίο καταλήγει σε κυκλική διατομή. Η κατασκευή έγινε με χρήση της τρισδιάστατης λειτουργίας LOFT με την οποία δίνεται η δυνατότητα ομαλής μεταβολής της διατομής κατά μήκος του φορέα. Για τη διατομή που προκύπτει σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο της δοκού του παραδείγματος όπως αυτή φαίνεται στο σχήμα 4 δεν υπάρχει αναλυτική λύση. Για το λόγο αυτό σε τέτοιες περιπτώσεις η κατασκευή δεν υπολογίζεται ως στοιχείο δοκού αλλά συνήθως με τη βοήθεια τετραεδρικών στοιχείων όγκου κάνοντας χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων (FEM). Η χρήση τετραέδρων δίνει τη δυνατότητα αυτόματης δημιουργίας πλέγματος από τη γεωμετρική βάση δεδομένων του συστήματος CAD. Επειδή όμως συχνά είναι επιθυμητή η χρήση στοιχείων δοκών κατά τον υπολογισμό κατασκευών που μπορούν να αναχθούν σε τέτοιες, υπάρχει το πρόβλημα της αυτοματοποιημένης παραγωγής του μηχανικού υποκατάστατου συστήματος δοκών ώστε να παραχθεί αυτόματα το υπολογιστικό μοντέλο από την CAD γεωμετρία.



Σχ. 4: Τομή δοκού τυχαίας μεταβαλλόμενης κατά το μήκος διατομής

Ένας τρόπος για να γίνει αυτό μέσω ανάλυσης διατομών κατά μήκος του φορέα παρουσιάζεται παρακάτω.

2.2 Ανάλυση και δημιουργία υπολογιστικού μοντέλου

Θεωρούμε στερεό σώμα σχήματος δοκού τυχαίας διατομής σχεδιασμένο σε τρισδιάστατο σύστημα CAD. Στόχος είναι ο υπολογισμός, εντός του συστήματος σχεδίασης, του σημείου $P(x,y)$ της οριακής καμπύλης της διατομής, στο οποίο η τιμή $\sigma_v(x,y)$ της ισοδύναμης τάσης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της, καθώς και του μεγέθους της ισοδύναμης τάσης σε οποιαδήποτε διατομή κατά το μήκος του φορέα.

Για την επίλυση θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση της καταπόνησης σε λοξή κάμψη και στρέψη, για την οποία η ισοδύναμη τάση σ_v (για όλκιμο υλικό) κατά von Mises για κάποιο σημείο $P(x,y)$ στη διατομή είναι [10]:

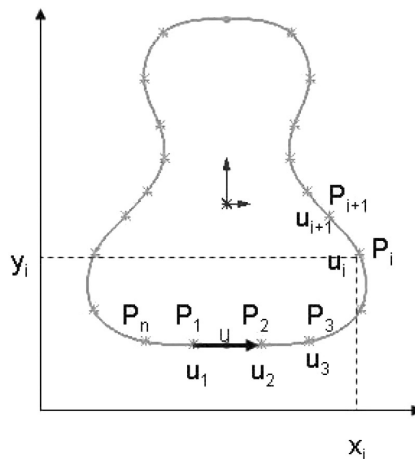
$$\sigma_v(x,y) = \sqrt{\sigma_b^2(x,y) + 3\tau_t^2(x,y)} \quad (1)$$

Με βάση την πραγματική CAD γεωμετρία πρέπει να δημιουργηθεί το υπολογιστικό μοντέλο που θα επιτρέψει τον προσδιορισμό του σημείου $P(x,y)$ στη διατομή, όπου $\sigma_v(x,y) = \max$ καθώς και ο υπολογισμός της τιμής της σ_v .

Επειδή τόσο η καμπτική τάση σ_b , όσο και η στρεπτική τάση τ_t λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές τους στο όριο της διατομής, πλεονεκτεί μια λύση μείωσης του προβλήματος σε μια διάσταση, κατά μήκος του ορίου της διατομής όπου θα αναζητήσουμε το σημείο για το οποίο

$$\frac{d\sigma_v(u)}{du} = 0 \quad (2)$$

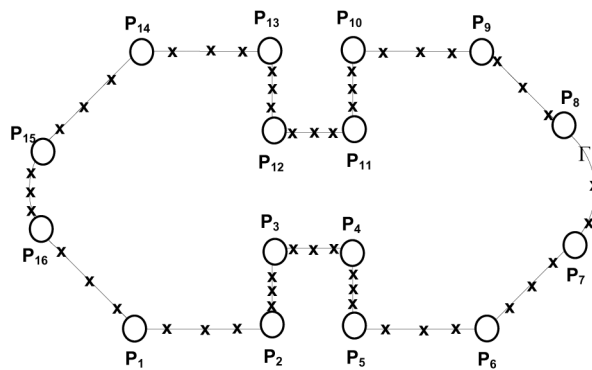
Η νέα παραμετρική μεταβλητή u που εισάγεται με την εξίσωση (2) ακολουθεί τις καμπυλόγραμμες συντεταγμένες της τυχαίας υπό ανάλυση διατομής όπως φαίνεται στο σχ. 5. Για την αριθμητική επίλυση της (2) θα πρέπει να σχηματιστεί η συνάρτηση $\sigma_v(u)$ κατά μήκος της καμπύλης της διατομής.



Σχ. 5: Καμπυλόγραμμες συντεταγμένες u σε τυχαία διατομή

Για τον υπολογισμό του τμήματος της ισοδύναμης τάσης που αναφέρεται στη στρεπτική τάση $\tau_r(x,y)$ γίνεται χρήση της Boundary Element Method. Η μέθοδος αυτή είναι ιδανική για τη συγκεκριμένη περίπτωση, κατά την οποία μειώνουμε τη διάσταση του προβλήματος από την επιφάνεια $F(x,y)$ της διατομής και αναζητούμε τη στρεπτική τάση στο όριο $U(x,y)$ της διατομής, όπου λαμβάνει τις μέγιστες τιμές της.

Η χρήση της BEM απαιτεί για τη δημιουργία του υπολογιστικού μοντέλου, την περιγραφή της γεωμετρίας της διατομής μέσω κατάλληλου αριθμού κόμβων επί του ορίου της. Για τη δημιουργία των κόμβων αυτών, γίνεται εντός του συστήματος CAD ανάλυση των στοιχείων από τα οποία αποτελείται η διατομή. Αυτά μπορεί να είναι ευθύγραμμα τμήματα, τόξα κύκλων, τμήματα έλλειψης, spline ή συνδυασμός αυτών.



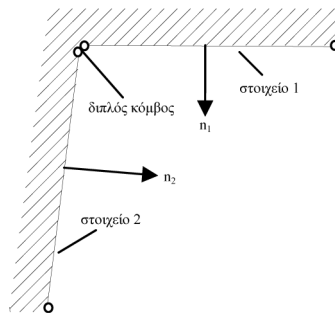
Σχ. 6: Γεωμετρικά στοιχεία διατομής, πρόσθετοι κόμβοι υπολογιστικού μοντέλου

Για τα γεωμετρικά αυτά στοιχεία αναλύεται η τοπολογία, προσδιορίζονται τα σημεία έναρξης και τέλους $P_i(x,y)$ κάθε στοιχείου και τοποθετούνται με δεξιόστροφη σειρά ώστε να δημιουργούν μια κλειστή διατομή. Σε αυτές τις “πλευρές” της διατομής της CAD-γεωμετρίας, ανάλογα με το μέγεθος της διατομής προστίθεται ικανός και ρυθμιζόμενος αριθμός κόμβων ανάλογα με το μήκος της πλευράς, για τον υπολογισμό με τη BEM (σχ. 6), ώστε η ακρίβεια των αποτελεσμάτων να είναι αποδεκτή. Κάθε στοιχείο της διατομής (ευθύγραμμο τμήμα, τόξο κύκλου, έλλειψη, spline) μετατρέπεται στην NURBS αναπαράστασή του εντός του συστήματος CAD, έτσι ώστε να υπάρχει μια ενιαία μαθηματική συνάρτηση της κλειστής διατομής. Οι κόμβοι που προστίθενται μπορούν να ισαπέχουν μεταξύ τους, είτε να προσδιορίζεται η γεωμετρική τους θέση από μια συνάρτηση όπως για παράδειγμα εκείνη που προτείνεται από τον Sauer [12] στην οποία οι κόμβοι πηκνώνουν προς τις ακμές :

$$s_i = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{n-i}{n} \right)^{3/2} \right]$$

όπου s_i το μήκος του διαστήματος μεταξύ δύο κόμβων, i ο αριθμός του κόμβου με τιμές από 0 έως n , με n το συνολικό αριθμό κόμβων επί της κάθε “πλευράς”.

Σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην παράγραφο 2, καθένας από τους κόμβους του υπολογιστικού μοντέλου έχει δύο βαθμούς ελευθερίας. Στην περίπτωση της στρέψης είναι η τασική συνάρτηση Φ και η εφαπτομενική συνιστώσα της διατμητικής παραμόρφωσης $\gamma_t = -\frac{1}{G\delta} \frac{f\Psi}{fn}$. Σε πολλές περιπτώσεις (π.χ. σε πολυγωνικές διατομές) κατά τη μετάβαση από τη μια “πλευρά” της διατομής στην επόμενη παρουσιάζονται σημεία ασυνέχειας και το κάθετο προς την πλευρά διάνυσμα αλλάζει από n_1 σε n_2 (βλ. σχήμα 7) με αποτέλεσμα η γ_t να μην είναι μονοσήμαντα ορισμένη στη γωνία. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα στα σημεία αυτά προστίθεται ένας δεύτερος κόμβος, έτσι ώστε σε κάθε γωνία να υπάρχει ένας διπλός κόμβος. Ο δεύτερος αυτός κόμβος έχει τις ίδιες συντεταγμένες με τον προϋπάρχοντα αλλά αντιμετωπίζεται στον υπολογισμό ως ανεξάρτητος.

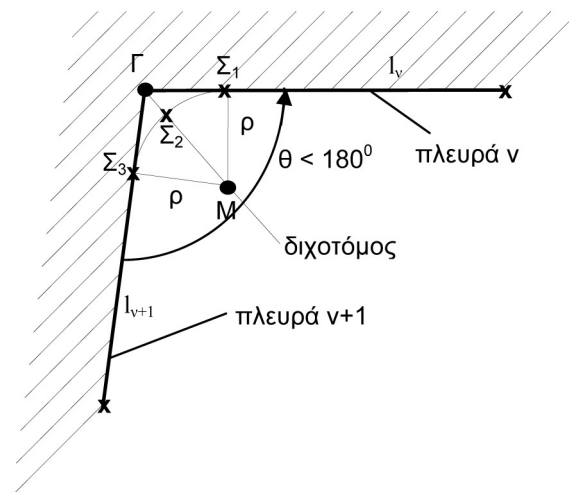


Σχ. 7: Δημιουργία διπλών κόμβων σε ακμή

Για την επίλυση με τη BEM χρησιμοποιούνται ανάλογα με την αρχική CAD-γεωμετρία γραμμικά ή κυκλικά στοιχεία τα οποία συνδέουν τους συνεχόμενους κόμβους επί της διατομής μεταξύ τους. Στην περίπτωση όμως που η γωνία μεταξύ δύο συνεχόμενων “πλευρών” της διατομής είναι $\theta < 180^\circ$ τότε η παράγωγος της τασικής συνάρτησης $\partial\Phi/\partial n$ στη γωνία τείνει στο άπειρο με αποτέλεσμα ο υπολογισμός με τη BEM να είναι αδύνατος. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος το οποίο παρουσιάζεται όταν εφαρμόζονται - όπως εδώ - οριακές συνθήκες Dirichlet, έχουν κατά καιρούς προταθεί διάφορες μέθοδοι όπως φαίνεται ενδεικτικά στις αναφορές [15], [16], [17].

Ο τρόπος αντιμετώπισης που επιλέχθηκε είναι η ανάλυση της διατομής ως προς τα προβληματικά σημεία και η αυτόματη μεταβολή της CAD-γεωμετρίας για το υπολογιστικό μοντέλο. Στην περιοχή της γωνίας γίνεται κατάλληλη μετατροπή της NURBS-BREP περιγραφής, ώστε να δημιουργηθεί στρογγύλευση της “προβληματικής” για το υπολογιστικό μοντέλο γεωμετρίας. Στα στρογγυλευμένα σημεία της διατομής γίνεται χρήση στοιχείων τόξου κύκλου 2^{ου} βαθμού, αφού κατασκευαστεί η γεωμετρία του, η οποία εξαρτάται από την τοπολογία των γεωμετρικών στοιχείων κατασκευής στο CAD πριν και μετά από το “προβληματικό” σημείο.

Συγκεκριμένα όπως φαίνεται και στο σχήμα 8 μεταξύ των ευθύγραμμων τμημάτων n και $n + 1$ προστίθενται δύο κυκλικά στοιχεία ως εξής: Προσδιορίζεται η ακτίνα καμπυλότητας ως 6% του μικρότερου μήκους l από τα δύο ευθύγραμμα στοιχεία. Η προτεινόμενη τιμή για την ακτίνα καμπυλότητας ρ προσδιορίστηκε έτσι κατόπιν ελέγχων ακρίβειας του υπολογισμού [18], αλλά μπορεί να μεταβληθεί κατά βούληση. Στη συνέχεια προσδιορίζεται το σημείο M που ισαπέχει απόσταση ρ από τις δύο πλευρές προς τον ημιχώρο που δεν υπάρχει υλικό και σχηματίζεται η διχοτόμος μεταξύ των ευθύγραμμων τμημάτων ξεκινώντας από τη γωνία Γ . Από το σημείο M σχηματίζονται ευθύγραμμα τμήματα κάθετα προς τις πλευρές της διατομής και προσδιορίζονται τα σημεία Σ_1 , Σ_2 και Σ_3 . Το Σ_2 είναι η τομή μεταξύ της διχοτόμου και του τόξου κύκλου με κέντρο το M και ακτίνα ρ . Με τον τρόπο αυτό από την αρχική “πραγματική” γεωμετρία προκύπτει μια προσεγγιστική υπολογιστική γεωμετρία για τις ανάγκες του υπολογιστικού μοντέλου όπου χρησιμοποιούνται δύο κυκλικά στοιχεία BEM 2^{ου} βαθμού $\Sigma_1\Sigma_2$ και $\Sigma_2\Sigma_3$.



Σχήμα 8: Δημιουργία κυκλικών οριακών στοιχείων σε γωνία

Συνεπώς για τις ανάγκες του υπολογισμού μετατρέπεται αυτόματα η τοπολογία του μοντέλου, τα προϊπάρχοντα ευθύγραμμα οριακά στοιχεία μειώνουν το μήκος τους και μεταξύ τους παρεμβάλλονται δύο κυκλικά οριακά στοιχεία 2^{ου} βαθμού.

Συνοψίζοντας μπορούμε να αναφέρουμε τα βήματα για τη δημιουργία του υπολογιστικού μοντέλου. Αρχικά γίνεται αντίστροφη ανασχεδίαση της διατομής με βάση την CAD-γεωμετρία. Τα επιμέρους γεωμετρικά στοιχεία αναλύονται και τοποθετούνται με τη σειρά και με τη βοήθεια της NURBS αναπαράστασής τους, ανάλογα με το μήκος τους, προσδιορίζονται και τοποθετούνται, οι επιπρόσθετοι κόμβοι επί του ορίου της διατομής. Στα σημεία όπου υπάρχουν γωνίες δημιουργούνται “διπλοί” κόμβοι, ενώ

στα σημεία όπου $\theta < 180^\circ$ γίνεται μετατροπή της γεωμετρίας κατά τρόπο ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός με τη BEM. Ανάλογα με τη γεωμετρία του ορίου χρησιμοποιείται συνδυασμός γραμμικών και κυκλικών οριακών στοιχείων για τον υπολογισμό.

Ο υπολογισμός της στρεπτικής τάσης $\tau_t(u)$ γίνεται για τους n κόμβους της διατομής. Στη συνέχεια κατασκευάζεται με τη βοήθεια μιας cubic spline παρεμβολής [13] η συνάρτηση $\tau_t(u)$ κατά μήκος της καμπύλης της διατομής.

Ο υπολογισμός της τάσης $\sigma_b(x,y)$ για λοξή κάμψη προκύπτει [11] από τη σχέση:

$$\sigma_b(x,y) = \frac{(M_y I_x - M_x I_{xy})x - (M_x I_y - M_y I_{xy})y}{I_x I_y - I_{xy}^2} \quad (3)$$

Τα μεγέθη φορτίσεων στα δύο επίπεδα για τη ροπή M_x και M_y είναι παράμετροι ενώ οι ροπές αδράνειας I_x , I_y και I_{xy} εξαρτώνται από τη γεωμετρία της διατομής και υπολογίζονται εντός του συστήματος CAD.

Η τάση κάμψης υπολογίζεται για όλα τα προκαθορισμένα σημεία P_i επί της καμπύλης της διατομής και αντιστοιχίζονται στις καμπυλόγραμμες συντεταγμένες, έτσι ώστε μέσω της cubic spline παρεμβολής [13] να κατασκευαστεί η συνάρτηση $\sigma_b(u)$.

Εφόσον έχουν σχηματιστεί οι συναρτήσεις που αντιστοιχίζουν σε κάθε σημείο $u(x,y)$ της διατομής τις τιμές $\sigma_b(u)$ και $\tau_t(u)$ μπορεί από τη σχέση (2) να σχηματιστεί η συνάρτηση για την ισοδύναμη τάση με στόχο την αναζήτηση του σημείου $u(x,y)$ της διατομής στο οποίο αυτή γίνεται μέγιστη.

$$\sigma_v(u) = \sqrt{\sigma_b^2(u) + 3\tau_t^2(u)} = \max \quad (4)$$

Για την επίλυση γίνεται προσαρμογή στο πρόβλημα της μεθόδου του Brent [14]. Το όριο U της διατομής χωρίζεται ανάλογα με την περίμετρό της σε ικανό αριθμό σημείων. Για κάθε διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων εξετάζεται εάν η συνάρτηση $F(u) = \frac{d\sigma_v(u)}{du}$ μεταβάλλει το πρόσημό της. Στα διαστήματα που συμβαίνει αυτό αναζητείται το σημείο μηδενισμού της. Με τη διαδικασία αυτή σχηματίζεται η λίστα των σημείων επί της διατομής όπου παρουσιάζονται τα τοπικά μέγιστα για τη συγκριτική τάση $\sigma_v(u)$. Προσδιορίζεται η κατ' απόλυτη τιμή μέγιστη συγκριτική τάση και στη συνέχεια από το αντίστοιχο σημείο u της διατομής, γίνεται ο μονοσήμαντος προσδιορισμός του σημείου $P(x_{\max}, y_{\max})$ το οποίο αναζητούμε.

3. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε πρωτότυπη μεθοδολογία για την αυτόματη παραγωγή του υπολογιστικού μοντέλου από μια τρισδιάστατη γεωμετρία CAD, όπως αυτή χρησιμοποιείται στους σύγχρονους στερεούς μοντελοποιητές.

Η χρήση της NURBS-BREP αναπαράστασης του τρισδιάστατου αντικειμένου στο

σύστημα CAD πλεονεκτεί έναντι άλλων, επειδή είναι συμβατή με τις απαιτήσεις περιγραφής του υπολογιστικού μοντέλου για την εφαρμογή της μεθόδου των οριακών στοιχείων. Η διακριτοποίηση και ο χωρισμός του ορίου στον απαιτούμενο αριθμό οριακών στοιχείων επετεύχθη μέσω ανάλυσης της τοπολογίας των γεωμετρικών στοιχείων που συνθέτουν το τρισδιάστατο σώμα και ο υπολογισμός πραγματοποιείται αυτόματα δίνοντας αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης στη διακριτοποίηση του ορίου των διατομών κατά μήκος του φορέα. Στόχος είναι η το μέγεθος των οριακών στοιχείων, στα οποία βασίζεται η BEM, να έχουν το ιδανικό μήκος ώστε η ακρίβεια στον υπολογισμό της συγκριτικής τάσης να είναι μέγιστη. Για απλές διατομές έχουν επιτευχθεί ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ εξετάζεται η γενικότητα της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας για μεγάλο εύρος διατομών τυχούσας μορφής.

Ο τρόπος που παρουσιάστηκε για τον υπολογισμό δισδιάστατων διατομών μπορεί να διευρυνθεί για τρισδιάστατα σώματα όπου για τον υπολογισμό θα διακριτοποιείται αυτόματα η εξωτερική επιφάνεια σε οριακά επιφανειακά στοιχεία.

Βιβλιογραφία

- [1] Pahl, G.; Beitz, W.: *Konstruktionslehre*. Springer Verlag 1986
- [2] Στεργίου Κ.: *Σχεδιασμός των Κατασκευών*. Σύγχρονη Εκδοτική. Αθήνα 2004. ISBN 960-8165-80-6
- [3] Niemann, G: *Maschinenelemente*. Springer Verlag 1961
- [4] Zienkiewicz, O.C.: *The Finite Element Method*. Butterworth-Heinemann; 6th edition (March 21, 2005)
- [5] Brebbia C.A.: *The Boundary Element Method for Engineers*. Computational Mechanics. 1988
- [6] Sitharam, M.; Oung, J.; Arbree, A.: Geometric constraints within feature hierarchies. *Computer-Aided Design* 38: 22-38 (2006)
- [7] UGS: *I-DEAS 11 NX Series Documentation*. Finite Element Modeling User's Guide.
- [8] Young, W.C.; Budynas, R.: *Roark's Formulas for stress and strain*. Mc Graw Hill Professional. 7th ed. 2001.
- [9] Stergiou C.: Numerisches Verfahren zur Ermittlung des Ortes der maximalen Vergleichsspannung bei beliebigen, durch schiefe Biegung und Torsion beanspruchten Querschnitten. *Konstruktion*
- [10] Kuhn, G.; Löbel, G.; Sichert, W.: Abschlußbericht zum AiF - Forschungsvorhaben "BETTI - Erstellung eines EDV-Programms zur Berechnung der Wärmeleitung in ebenen, axialsymmetrischen und allgemein dreidimensionalen Bauteilen unter Anwendung der BEM". *FKM Forschungsheft* 132, 1987.
- [11] Hagedorn, P.: *Technische Mechanik, Bd. 2 Festigkeitslehre*, Frankfurt: Verlag Harri Deutsch 1990
- [12] Sauer, E.: Schub und Torsion bei elastisch prismatischen Balken. *Mitteilungen aus dem Institut für Massivbau der Technischen Hochschule Darmstadt*. Berlin: Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn 1980.
- [13] Akima, H.: A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures, *Journal of the ACM*, 17, 589_602. (1970)
- [14] Brent, R.P.: An algorithm with guaranteed convergence for finding a zero of a function. *The Computer Journal*, 14, 422-425 (1971).
- [15] Rosen, D.; Cormack, D.: On corner analysis in the BEM by the continuation approach. *Engineering Analysis with Boundary Elements* 16 (1995)
- [16] Kassaab, A.; Nordlund, R.: Addressing the corner problem in BEM solution of heat

- conduction problems. Comm. in Numerical Methods in Eng. Vol. 10 (1994)
- [17] Gray, L.G.; Lutz, E.: On the treatment of corners in the boundary element method. Journal of Computational and Applied Mathematics 32 (1990).
- [18] Kasper, T.: Innerhalb einer rechnerinternen CAD-Datenstruktur ist ein Berechnungsmodell zur Berücksichtigung der Torsion bei Balkenstrukturen mit beliebigen Querschnitten zu ermitteln. Diplomarbeit TH Darmstadt 1993

Acoustic room measurements for the deployment of soft microphones in active noise control

*S.M. Potirakis
Department of Electronics,
TEI of Piraeus*

*M. Rangoussi
Department of Electronics,
TEI of Piraeus*

*D. Lolos
Department of Electronics,
TEI of Piraeus*

*S. Savaidis
Department of Electronics,
TEI of Piraeus*

Abstract

Active Noise Control (ANC) refers to the application of automatic control methods on acoustic systems aiming to minimize the acoustic noise. Large rooms ANC is an active research field, employing, among others, multichannel control systems. These systems require large numbers of sensors (microphones) and actuators (loudspeakers) and demand high computational power. In search for a low-cost yet quality solution, the "soft microphones" have already been proposed and their effectiveness has been investigated in the frequency domain (octave-band noise level measurements/ mapping). Their effectiveness in the time domain has yet to be proved before they can be fully exploited in ANC systems. This calls for a specially designed electroacoustic measurements experiment that would provide all the data necessary for a thorough investigation on the practical aspects of the definition, implementation and evaluation of soft microphones. In this paper, first we present briefly the soft microphones idea, then we address the practical aspects of the involved functions/signals that are necessary for the definition and

evaluation of soft microphones, and finally we present the electroacoustic measurements experiment that has been performed in order to provide a full set of measurements that can lead to a thorough investigation on soft microphones time domain efficiency.

Περίληψη

Ο ενεργός έλεγχος του θορύβου (Active Noise Control, ANC) αναφέρεται στην εφαρμογή μεθόδων από το πεδίο του αυτομάτου ελέγχου σε ακουστικά συστήματα και μάλιστα με στόχο τη μείωση του ακουστικού θορύβου. Ο ενεργός έλεγχος του θορύβου σε μεγάλους κλειστούς χώρους είναι ένα σύγχρονο πεδίο έρευνας, που χρησιμοποιεί, ανάμεσα σε άλλα, πολυδιαυλικές δομές ελέγχου. Οι δομές αυτές έχουν ανάγκη από μεγάλο αριθμό ενεργοποιητών (μικροφώνων) και αισθητήρων (ηχείων) και απαιτούν υψηλή υπολογιστική ισχύ. Στην αναζήτηση για μια οικονομική αλλά και ποιοτική λύση για τέτοιου είδους συστήματα ελέγχου έχουν ήδη προταθεί τα μικρόφωνα λογισμικού (“soft microphones”) και η αποδοτικότητά τους έχει διερευνηθεί στο πεδίο των συχνοτήτων (οκταβική ανάλυση στάθμης θορύβου, χαρτογράφηση θορύβου). Η αποδοτικότητά τους στο πεδίο του χρόνου μένει να αποδειχθεί προκειμένου να μπορέσουν να εφαρμοστούν πλήρως σε συστήματα ANC. Κάτι τέτοιο δημιουργεί την ανάγκη για ένα ειδικά σχεδιασμένο ηλεκτρακουστικό πείραμα που θα μπορούσε να παρέχει τα απαραίτητα δεδομένα που είναι κατάλληλα για μια διεξοδική διερεύνηση των πρακτικών πλευρών του ορισμού, υλοποίησης και αξιολόγησης των soft microphones. Στην εργασία αυτή αρχικά παρουσιάζουμε σύντομα την ιδέα των soft microphones, στη συνέχεια θέτουμε τα θέματα πρακτικής υλοποίησης που σχετίζονται με τα εμπλεκόμενα σήματα, διεργασίες που είναι απαραίτητες για τον ορισμό και την αξιολόγηση των soft microphones και τελικά παρουσιάζουμε το ηλεκτρακουστικό πείραμα που εκτελέστηκε για να αποκτήσουμε μια πλήρη σειρά μετρήσεων που μπορεί να οδηγήσει σε διεξοδική διερεύνηση και αξιοποίηση των soft microphones στο πεδίο του χρόνου.

Key Words: *Active Noise Control, Soft Microphones, Acoustic Room Measurements.*

1. Introduction

The use of multi-channel structure control systems for the Active Noise Control (ANC) of large rooms is a necessity, since the ANC systems aim in achieving a so-called “quiet zone” around the error microphone/s. These quiet zones cover small volumes

around each microphone; therefore, large numbers of sensors (and actuators) are necessary to cover larger spaces such as large rooms, [1]. The idea of “soft microphones”, already proposed in [1], offers a possible solution to the reduction of the number of necessary microphones / input channels. The cost of the overall solution is thus shifted from the need for large numbers of input channels (increased hardware and computation power) to the need for increased computation power per input channel. An ANC system implementing the soft microphones idea would require fewer microphones – even one single microphone placed at one single position within the room (depending on the room dimensions and room acoustic properties) – to operate.

In brief, soft microphones are based on the following idea: If the room impulse responses (RIRs) of the acoustic paths connecting a specific (“base”) location, where the real measuring microphone is to be installed, with each one of a set of other locations of interest within the room, are efficiently extracted, then the noise (error) signal at all the desired locations where the soft microphones are considered can be estimated or predicted, based on

- (a) the extracted room impulse responses and
- (b) the noise signal acquired from the single measuring microphone at the “base” position.

This technique is especially advantageous provided that the room acoustics do not vary significantly with time. In such a case the acoustic path modeling (RIRs extraction) can be carried out only once and off-line.

Although the theoretical background of soft microphones is solid and simple, [2], there are significant practical aspects that have to be considered and investigated before soft microphones can be applied for the ANC of large rooms. As it is presented in the following, these practical issues are mostly related to mathematic constrains, the accuracy of numerical computations and room acoustics parameter. A first approach to the evaluation of soft microphones has already been performed, as their effectiveness has been investigated in the frequency domain (octave-band noise level measurements/mapping), [2]. Although the results have been positive and rather encouraging, this does not warranty their effectiveness in the time domain – a necessary step before they can be used on ANC systems. This calls for a specially designed electroacoustic measurements experiment that would provide all data (measurements) necessary for a thorough investigation on the practical aspects of the definition, processing and evaluation of soft microphones.

In this paper, first we present briefly the soft microphones idea, then we address the practical aspects of the involved functions/signals that are necessary for the definition and evaluation of soft microphones, and finally we present the electroacoustic measurements experiment that has been performed in order to provide a full set of measurements that can lead to a thorough investigation on soft microphones time domain efficiency.

2. Soft Microphones

2.1. Outline of the soft microphones approach

If the impulse response, $h_{AB}(n)$, between two points within a given room (for example points A and B, Figure 1), is known, then the acoustic signal time-series at point B, $h_B(n)$, can be calculated via the acoustic signal time-series at point A, $b_A(n)$, by:

$$b_B(n) = h_{AB}(n) * b_A(n) \quad (1)$$

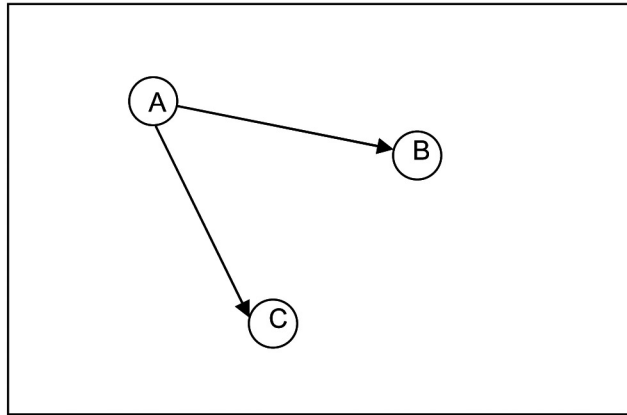


Figure 1. The acoustic path (direct and reverberant) in a room from point A, where the real microphone is to be placed, to each one of points B and C, where soft microphones are to be considered, is expressed by a long impulse response for each one of them.

Generalising [2], if the room impulse response $\{h_{oj}, j = 1, 2, \dots, L\}$ of the path connecting locations l_0 and l_j is known for all $j = 1, 2, \dots, L$, then the noise signal $\{b_j(n), n = 0, 1, 2, \dots, N - 1\}$ can be estimated or predicted, rather than measured, as follows:

$$\hat{b}_j(n) = h_{oj}(n) * b_o(n) \quad (2)$$

where $\{b_o(n), n = 0, 1, 2, \dots, N - 1\}$ denotes a noise signal recording of length N , obtained at the “base” location of the plant area, hereafter referred to as location l_0 , while $\{b_j(n), n = 0, 1, 2, \dots, N - 1, j = 1, 2, \dots, L\}$ denote the noise signal recordings, each of length N , obtained at a series of L other locations $\{l_j, j = 1, 2, \dots, L\}$, and $\hat{b}_j(n)$ are the corresponding noise signal estimates.

The acquired response \hat{h}_{oj} is in fact the convolution of the “anechoic” response of the acoustic system (amplifier, filters, sound source, connecting cables, microphone), h_{oj}^{an} , with the desired room impulse response, h_{oj} :

$$\hat{h}_{oj}(n) = h_{oj}(n) * h_{oj}^{an}(n) \quad (3)$$

The room impulse response h_{oj} can be deconvolved out of it, by resorting to the frequency domain, if the “anechoic” acoustic system response h_{oj}^{an} is known.

To put it simply, in order to predict the sound signal in a number of points around a single microphone in a room, we need to know a model of the relation (acoustic path) between each one of those points and the unique position of the microphone. As the impulse response is the absolute time-domain model of a Linear and Time Invariant (LTI) system, this can be achieved by measuring the room impulse response (RIR) functions connecting the unique position of the microphone to all other positions, either

- (i) using a sound source at the position of the microphone and measuring the impulse response at each other point, or
- (ii) using a sound source at some other point within the room (for example, at the place where the noise source is actually located) and simultaneously measuring the acoustic signals at the microphone position and each one of the other points of interest,

depending on the modelling method to be used.

2.2. Practical aspect of soft microphones definition and use

The theoretical background of the soft microphones is simple enough to give someone the misleading impression that it is straightforward to put them to work. However, several practical issues arise and have to be addressed for their successful practical implementation. These issues extend from room acoustic properties that have to be taken into consideration before measurements are taken that will be used for room impulse responses and finally for soft microphones, down to numerical problems rising from the discrete and finite duration nature of the calculations.

The actual measurement of the room impulse response is not a trivial procedure, and considerable effort has been put in doing it well. In principle, one could measure impulse responses simply by “feeding” the system under test with a sharp impulse input and measuring the response at the system output. In practice, however, the power of an impulse that can safely be fed to a speaker and amplifier without overloading them is limited, leading to the compromise of using short orthogonal pulses of limited energy instead. Apart from the bandwidth limitations thus imposed, any room noise will degrade measurement accuracy. For this reason, the standard approach of researchers is to use test signals that have much higher power than an impulse; typically, either a pseudo-random test sequence or a chirp test signal. Such test signals last long enough to have many thousands of times the power of a single impulse and therefore give a correspondingly improved signal-to-noise ratio in the measurement.

Even if such a widely recognised method of measuring impulse response is adopted, other problems still arise. It could be claimed that one option for the estimation of the RIR is to

- (i) perform an independent, anechoic measurement of the impulse response of the elec-troacoustic system used for the measurement of the total (RIR and electroacoustic system) acquired response, and then
- (ii) deconvolve it out of the total response, to obtain the RIR.

In practice, however, it is usually not easy to perform anechoic measurements, so this approach degenerates to using a semi-anechoic (or pseudo-anechoic) limited duration impulse response of the electroacoustic system. This can be obtained from the signal measurement interval before the first major reflection is superimposed to the directly transmitted acoustic sig-nal. This is possible by inspection of the time domain data, since the first reflection is typically of high amplitude and can easily be located within the time-domain measurement. The first practical issue arising if we adopt the above approach is that it remains to be proved whether the limited duration impulse response of the electroacoustic system provides a satisfactory alternative. Obvious problems are (i) the limited low frequency accuracy resulting from the limited duration of the semi-anechoic response, and (ii) the windowing necessary for the transition to the frequency domain. Moreover, numerical problems due to zero-padding – typically employed to prolong measurements for computational efficiency purposes – have to be taken into consideration as well.

Furthermore, equation (3) is not realistic, since the measurement always carries a noise component, even if it can be considered as additive. So, more accurately (3) should be re-written as:

$$\hat{h}_{0j}(n) = h_{0j}(n) * h_{0j}^{an}(n) + n(n) \quad (4)$$

The importance of this additive noise component depends on the measurement method used. The Maximum Length Sequence (MLS) is a deterministic signal typically employed as input in acoustic measurements. If MLS is used for the above measurements, an averaging procedure can be applied to improve the SNR, giving +3dB after each average, [3], [4]. Also, the MLS period should be longer than the 60dB reverberation time, $t_{MLS} > RT_{60}$, in order to avoid time aliasing and obtain a good measurement SNR. Usually, in building acoustics measurements, a t_{MLS} of 10 times the RT_{60} is selected, giving over 20dB rise to the measurement SNR, [3], [4]. Another rather popular method for impulse response extraction, reconsidered and highly appreciated during the last decade, [5], [6], is that of the exponential (or logarithmic as often found) sine sweeps /chirp, which provides a more insensitive to distortion and time variance alternative to MLS-based impulse response extraction.

Even if the above condition is satisfied, there still remain two major practical problems. The first problem is related to the deconvolution methods employed for room impulse response evaluation (RIR) and the required length of the measured signal (regardless of the test signal and method used). This problem is also present in the closely related problem of room transfer function (RTF) equalization by inverse filtering [7]. It results in an

extremely large filter order (following the filter order of a real RIR). In practice any of the $h_{oj}(n)$ is a finite-length sequence, defined for $0 < n \leq n_{max}$, where n_{max} is the maximum value of the time index, usually dictated by the dynamic range of the involved measurement. This can be related to actual time (in seconds) via the well-known acoustic parameter of 60dB reverberation index, RT_{60} , of a room. Then the number of samples required to measure $h_{oj}(n)$ and also to perform all related calculations is given by:

$$n_s = RT_{60} \cdot f_s \quad (\text{samples}) \quad (5)$$

where f_s is the sampling rate in Hz. When shorter impulse responses (filters) are used the method deteriorates, as the acoustics of the specific room path are not sufficiently modelled.

The second practical problem is related to the variation of RIR with the position of source (actuator) and receiver (sensor); in our case, though, it should not be considered, because we deal only with specific positions within the room, i.e. the positions of the reference (real) microphone and the positions of the soft microphones.

Another practical problem is the directivity of the source (loudspeaker) and receiver (microphone) used for the measurements. Theoretically, the best case is the use of an omni-directional point source and an omni-directional microphone.

After having successfully addressed all the practical issues mentioned earlier, the deconvolution process itself is a serious theoretical and practical challenge. The creation of the inverse filter involved in the deconvolution process is not an easy task for a mixed-phase impulse response, such as that of a loudspeaker, and thus of an electroacoustic measurement system, although it was addressed by many researchers. In particular, in [8] and [7] is introduced the least-mean-square algorithm in the loudspeaker equalizer design, while the deconvolution-based scheme is developed in [9]. The use of direct inverse response filtering (given the mixed-phase character of room responses) can introduce pre-echo and strong narrow-band colouration effects, rendering undesirable the perceived results of the processed audio signal, [10]. In some cases, better results are obtained if a simple zero-phase (or equivalent minimum phase) inversion is done, [8], following the well-known Neely and Allen approach, [11], [12]. In this way a simple frequency domain equalisation is performed, the all-pass component of the measurement system is left unequalised, the complete filters produced are more stable and no audible artefact is introduced.

Alternatives to the above deconvolution methods have been widely investigated and different methods have been proposed, from homomorphic deconvolution, [13], [14] and parametric estimators (maximum-likelihood, [15], Bayesian, [15], [16]) to other nonlinear methods [17], [18].

It could be argued that the room impulse response task should be addressed as a common system identification task and proceed to white noise based methods, based only on measured input-output data and just pre-requiring long enough measurements to account for room acoustics aspects. Then, apart from a linear (ARMA) model that could be fit to the specific acoustic paths of interest, non-linear models based on universal

approximators like NARMAX, Neural Networks, Fuzzy Systems and any possible combination of them could also be used, [19].

In order to use soft microphones efficiently, the related RIRs should be pre-calculated off-line and pre-stored, under the assumption that essentially they remain unchanged over time as far as the major architectural characteristics, major noise sources and equipment / furniture set up of the room remain unchanged. In practice, the whole procedure should be repeated in order to update the stored room impulse responses each time this assumption is violated – something expected not to occur frequently, though. Sensitivity to changes could also be reduced by use of non-linear models, especially those based on fuzzy logic, [19].

3. Measurements for time-domain investigation

Along the line of thought presented above, our aim is to find the most effective way to soft microphones practical definition and use. At this point, maximum accuracy on RIR estimation is not the objective. Rather, the objective is to follow the simplest way in measuring and practically defining soft microphones that will prove their efficient use in ANC systems.

In this direction, an electroacoustic experiment was designed that would provide all necessary data for a thorough investigation of the practical aspects for the definition, processing and evaluation of soft microphones.

A closed room like the one depicted in Figure 2 was first chosen and analyzed.

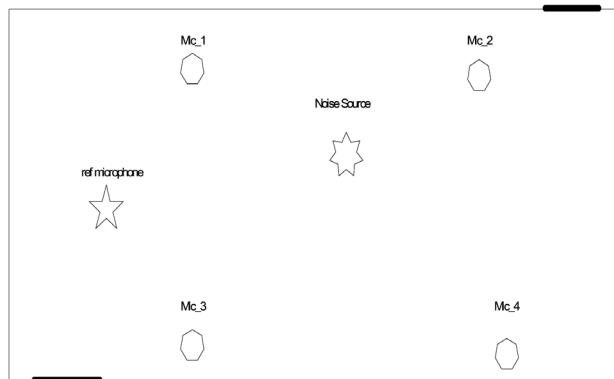


Figure 2: Ground plan sketch of the room used for measurements, showing (a) the positions of soft microphones (Mic1, Mic2, Mic3, and Mic4), (b) the position of the real (reference) microphone, and (c) a noise source. Room dimensions are $(L \times W \times H) = (4.85m \times 4m \times 2.75m)$. During the measurement process, the two doors on the sides (bold lines) were closed and nobody was inside the room.

The acoustics of the room were first analysed by simulating the tendency of the room to resonate at specific frequencies. The room modes were determined for this purpose, (see Table 1 and Figure 3). The total number of modes up to 200 Hz has been calculated and 70 modes were found, with 1.5 Hz mode spacing (@200Hz), while up to 500 Hz 837 modes were found with 0.2 Hz mode spacing (@500Hz).

Table 1. Eigenfrequencies for the first axial modes.

	l	w	h	Hz
	1	0	0	35,5
	0	1	0	43,1
	0	0	1	62,7
	2	0	0	71,0
	0	2	0	86,1
	0	0	2	125,4
	3	0	0	106,4
	0	3	0	129,2
	0	0	3	188,1
	4	0	0	141,9
	0	4	0	172,3
	0	0	4	250,7

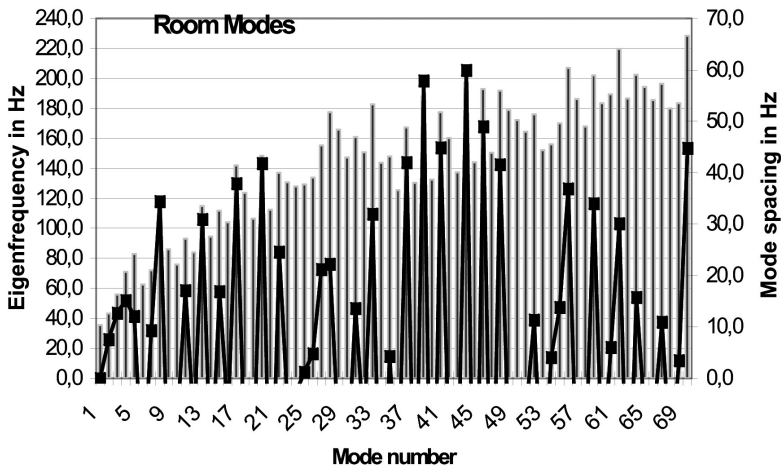


Figure 3. Eigenfrequencies (bars, left vertical axis) and mode spacing (points, right vertical axis) of the first 70 modes of the room.

The measured RT_{60} was more than 700ms, revealing after analysis that the mean absorption index of the room was less than 0.14.

The measurements performed can be divided into two groups. The first group contains impulse response measurements by classic electroacoustic methods using MLS and Log-Chirp signals while the second group contains measurements using other test signals.

An omni-directional sound source is usually preferred for measurements of room impulse responses. Albeit the ideal dodecahedron does not correspond to the effective directivity pattern of real-world sound sources (such as musical instruments or human talkers and singers), the use of an omni-directional sound source is predicated by current standards (i.e. ISO 3382), as it avoids exploiting strange room effects (abnormal concentration of energy and focalizations for selected orientations of the source), as it might happen with highly directive loud-speakers, [20]. Omni-directional laboratory microphones and an omni-directional dodecahedron laboratory spherical source were available; however, we performed impulse response measurements using a regular commercial loudspeaker for home use, as well. In this way, the corresponding measurements could be used to investigate the influence of a common directional loudspeaker on the soft microphones and to evaluate the actual need for an expensive laboratory omni-directional source.

A laboratory power amplifier was used to drive the sound sources, while an audio generator was used when other than MLS or Log-Chirp signals were used, following the period and acquisition length conditions presented in paragraph 2.2, for the measured room RT_{60} . Sampling rate was 48 KHz for the Praxis™ measurement system and 100kHz for the MLSSA™ measurement system, and the precision was set to 16 bits per sample.

The room impulse responses (convolved measuring system and room responses) were measured with the sound source (first omni-directional and then directional) placed at the future real position of the microphone (indicated in Figure 2 as the reference microphone) and measurements were taken at each one of the other positions where the soft microphones are to be evaluated.

Semi-anechoic measurements of the measurement configurations (all combinations of the different measurement instruments and sound sources) were taken separately in open area conditions, ensuring maximum length of anechoic sections (latest possible arrivals of the first reflection).

The well known measurement systems MLSSA™ (DRA Labs) and Praxis™ (Liberty Instruments) were used, the first one with MLS signal and the second with MLS and Log-Chirp signals, to measure the above impulse responses.

Apart from the impulse response measurements, simultaneous measurements at the reference microphone and each one of the other positions were taken while a sound source was reproducing each one of the following test signals:

- White noise,
- Pink noise,
- Brown noise (centre frequency = 400Hz, bandwidth = 100Hz),

- A 400Hz sinus,
each signal lasting for more than 2 minutes. The real-time sound analyser Symphonie™ (01dB-Metravib) was used for these measurements.

4. Conclusions-Further research

We have investigated some of the practical issues concerning the implementation of the soft microphones solution. Some of them are related to room acoustic properties, other to the acoustic room impulse response methods or generally to modelling methods of acoustic room paths, while others are related to theoretical and practical issues of the involved operations and processing. Taking into account all these practical aspects, we have designed and conducted an electroacoustic experiment that provides a full set of measurements that can lead to a thorough investigation of the efficiency of the soft microphones approach in the time domain. Further research should be concentrated to the optimisation of the parameters discussed here, as well as the exploitation of the measurement data obtained, for the practical implementation and evaluation of soft microphones time domain efficiency for large room ANC applications.

References

- [1] S.M. Potirakis and M. Rangoussi, A system development method for global active noise control, Proceedings IWSSIP 2005, Chalkida, Greece, Sept. 2005, pp. 375-379.
- [2] M. Rangoussi, S.M. Potirakis, D. Lolos, Single Microphone Noise Mapping, Euronoise 2006, Tampere, Finland, May 2006.
- [3] M. Vorlander, E. Mommertz, Guidelines for the Applications of the MLS Technique in Building Acoustics and in Outdoor Measurements, Proc. of the International Con-gress on Noise Control Engineering, Inter-Noise 1997, pp. 1423-1428, Budapest, Hun-gary August 1997.
- [4] M. Vorlander, M. Kob, Practical aspects of MLS measurements in building acoustics, Applied Acoustics, Volume 52, Number 3, November 1997, pp. 239-258.
- [5] A. Farina, Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique, 108th AES Convention, Paris, France, February 2000.
- [6] A. Farina, Advancements in impulse response measurements by sine sweeps, 122th AES Convention, Vienna, Austria, May 2007.
- [7] J.N. Mourjopoulos, Digital Equalization of Room Acoustics, JAES vol. 42, n. 11, November 1994, pp. 884-900.
- [8] A. Farina, E. Ugolotti, Spatial equalisation of sound systems in cars by digital inverse filtering, Proc. of IOA Conference “Reproduced Sound 13”, Hydro Hotel, Bowness on Windermere, GB, October 1997.
- [9] Wee Ser, Peng Wang, Ming Zhang, Loudspeaker Equalization with Post-Processing, EURASIP Journal on Applied Signal Processing, vol. 2002, Issue 1, January 2002, pp. 1296-1300.
- [10] Results for Room Acoustics Equalisation Based on Smoothed Responses - paper-AES114.pdf
- [11] S.T. Neely, J.B. Allen, Invertibility of a room impulse response, J.Ac.Soc.Am., vol. 66, 1979, pp. 165-169.
- [12] A. Farina, F. Righini, Software implementation of an MLS analyzer, with tools for convolution, auralization and inverse filtering, Pre-prints of the 103rd AES Convention, New York, USA, pp. 26-29, September 1997.
- [13] J. Mourjopoulos and al., A comparative study of least squares and homomorphic techniques for the inversion of mixed phase signals, Speech, and Signal Processing, IEEE In-ternational Conference on ICASSP '82, vol: 7, pp. 1858-1861, May 1982.

- [14] Simone Fontana, *Deconvolution and Applications to Binaural Technologies*, PhD Thesis, Nov. 2007, Italo-French University (UIF@ University of Turin).
- [15] A. Baskind, O. Warusfel, *Monaural and binaural processing for automatic estimation of room acoustics perceptual attributes*, 17th International Congress on Acoustics, Rome, Italy, 2001.
- [16] Yuanqing Lin, Daniel D. Lee, *Bayesian regularization and nonnegative deconvolution for room impulse response estimation* IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 54, no. 3, March 2006, pp. 839- 847.
- [17] Elizabeth A. O'Sullivan and Colin F. N. Cowan, *Harmonic Inversion of Room Impulse Response* 7th International Conf. on Mathematics in Signal Processing, the Institute of Mathematics and Its Applications, 2006, [http:// www.ima.org.uk/ Conferences/mathssignalprocessing2006/o%20sullivan.pdf](http://www.ima.org.uk/Conferences/mathssignalprocessing2006/o%20sullivan.pdf)
- [18] Tim Collins, *A non-linear technique for room impulse response estimation*, Sixth International Conf. on Digital Audio Effects (DAFX-03), The Queen Mary University, London, UK, September 2003.
- [19] S.M. Potirakis, G.E. Alexakis, M.C. Tsilis and P.J. Xenitidis, “*Time-Domain Modeling of Practical Electroacoustic Transducers*”, *Journal of the Audio Engineering Society*, 1999, vol 47, no. 6, pp. 447-468.
- [20] A. Farina, L. Tronchin, *Measurement And Reproducing of Spatial Sound Characteristics Of Auditoria*, *Acoustical Science and Technology*, vol. 26, n.2, March 2005.

Επίδραση φυσικο-χημικών παραμέτρων στην παρουσία του βακτηρίου της Legionella στο νερό εσωτερικών συστημάτων ύδρευσης και κλιματισμού νοσοκομείων

*Σ. Πλακαντωνάκη
ΤΕΙ Αθήνας ΕΔΥ*

*Α. Μπλάτση
ΤΕΙ Αθήνας ΕΔΥ*

*Α. Μαυρίδου
ΤΕΙ Αθήνας ΤΙΕ*

*Ο. Παππά
ΕΣΔΥ*

*Π. Θεοδωράτος
ΤΕΙ Αθήνας ΕΔΥ*

Περίληψη

Το βακτήριο της Legionella απαντάται συχνά στο περιβάλλον και αποτελεί σοβαρό κίνδυνο για τα συστήματα ύδρευσης και υδρόψυκτου κλιματισμού σε μεγάλες κτιριακές εγκαταστάσεις όπως είναι τα μεγάλα Νοσοκομεία. Αναπτύσσεται στο νερό μεταξύ 18°C και 60°C, με βέλτιστο εύρος 25-45°C. Μεταδίδεται στον άνθρωπο με την εισπνοή μολυσμένων σταγονιδίων νερού.

Στην παρούσα έρευνα συμμετείχαν 14 μεγάλες νοσοκομειακές μονάδες της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας στις οποίες διερευνήθηκαν:

1. Κατασκευαστικά στοιχεία και συνθήκες λειτουργίας των υδρόψυκτων συστημάτων κλιματισμού και των εσωτερικών δικτύων παροχής ζεστού και κρύου νερού.
2. Οι συνθήκες απολύμανσης του νερού στα ως άνω δίκτυα. Στο πλείστον των περιπτώσεων όπου χρησιμοποιείται το χλώριο ως βασικό απολυμαντικό μέσο μετρήθηκε η επάρκεια ή μη της υπολειμματικότητας του σε κρίσιμα σημεία ελέγχου.

3. Η συσχέτιση των θετικών δειγμάτων νερού στο βακτήριο της *Legionella* με το εύρος τιμών ορισμένων φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού όπως της θερμοκρασίας, του PH, της αγωγιμότητας, της θολότητας, της σκληρότητας, των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς και μεταλλικών στοιχείων που περιέχονται στα κατασκευαστικά υλικά των αγωγών του δικτύου νερού (του σιδήρου, του ψευδαργύρου, του χαλκού)

Abstract

Legionella is a common bacterium in many environments and poses a significant threat to water distribution networks and water-using air-conditioning units in large buildings such as Hospitals. It is usually encountered in water temperatures ranging from 20-60°C, with an ideal growth range between 25 and 45°C. *Legionella* transmission is via aerosols –the inhalation of mist droplets containing the bacteria.

In the course of this research project, 14 hospitals in the Greater Athens area were examined, with a focus on:

1. Structural data and operating conditions of central air-conditioning systems through wet cooling towers and hot and cold water supply networks.
2. The effectiveness of water disinfection methods applied to the said networks. In most cases chlorine is used as the main disinfectant, and its residual concentration was measured in critical control points.
3. The correlation between positive *Legionella* samples and the range of values for certain physicochemical water parameters (temperature, pH, conductivity, turbidity, hardness of water, suspended particles, Fe, Cu and Zn).

Λέξεις Κλειδιά: Βακτήριο *Legionella*, κεντρικά συστήματα υδρόψυκτου κλιματισμού, εσωτερικά δίκτυα ύδρευσης Νοσοκομείων, φυσικοχημικές παράμετροι νερού, απολύμανση.

1. Γενική Περιγραφή

Η παρούσα έρευνα διεξήχθη στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ του Τ.Ε.Ι.- Αθήνας σε συνεργασία με την Εθνική Σχολή Δημόσιας Υγείας, το Νοσοκομείο Ευαγγελισμός και το ΕΜΠ.

Συμπεριλαμβάνει:

- α) τη διερεύνηση των επικρατουσών συνθηκών στα συστήματα κλιματισμού και στα δίκτυα ζεστού και κρύου νερού 13 Νοσοκομείων και ενός παραρτήματος στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας.
- β) επιτόπιες μετρήσεις σε κρίσιμα σημεία των ως άνω εγκαταστάσεων και δικτύων όσον αφορά την θερμοκρασία του νερού και το υπολειμματικό χλώριο εφόσον το χλώριο ή άλλες ενεργές μορφές του χρησιμοποιούνται ως μέσα απολύμανσης αυτού του νερού.
- γ) δειγματοληψίες νερού για φυσικο-χημικές εξετάσεις στο εργαστήριο (επιλέχθηκαν να μετρηθούν η θολότητα, η αγωγιμότητα, η σκληρότητα, τα αιωρούμενα στερεά, ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και ο χαλκός).
- δ) δειγματοληψίες νερού για μικροβιολογικές εξετάσεις στο εργαστήριο προκειμένου να εντοπισθούν τυχόν αποικίες *Λεγιωνέλλας*.
- ε) συμπεράσματα για πιθανή συσχέτιση των τιμών των φυσικο-χημικών παραμέτρων με τις αντίστοιχες τιμές των μικροβιολογικών εξετάσεων για *Λεγιωνέλλα*, καθώς και με τις επικρατούσες συνθήκες λειτουργίας, συντήρησης και απολύμανσης των εγκαταστάσεων.

2. Η νόσος των λεγεωνάριων, τρόποι μετάδοσης

Η Νόσος των Λεγεωνάριων είναι ασθένεια του αναπνευστικού συστήματος, μεταδίδεται με εισπνοή μολυσμένων σταγονιδίων νερού από το βακτήριο *Legionella pneumophilla* και εκδηλώνεται με δύο μορφές, τον πυρετό Pontiac ή την άτυπη πνευμονία η οποία έχει υψηλή θνησιμότητα (περίπου 20% στο γενικό πληθυσμό). Το βακτήριο απαντάται συχνά στο περιβάλλον και αποτελεί σοβαρό κίνδυνο για τα συστήματα ύδρευσης και υδρόψυκτου κλιματισμού σε μεγάλες κτιριακές εγκαταστάσεις όπως είναι τα μεγάλα Νοσοκομεία. Είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό και αναπτύσσεται στο νερό μεταξύ 18°C και 60°C με βέλτιστο εύρος 25-45°C.

Σε εγκαταστάσεις και στα σημεία όπου δημιουργούνται σταγονίδια νερού και το αντίστοιχο δίκτυο έχει εποικιστεί από το στέλεχος της *Legionella*, ο κίνδυνος για τη μετάδοση της ασθένειας είναι υπαρκτός. Η κατάποση μολυσμένου νερού δεν μεταδίδει τη νόσο. Επίσης η *Λεγιωνέλλωση* δεν μεταδίδεται από άνθρωπο σε άνθρωπο.

3. Εγκαταστάσεις νερού-Προβλήματα

Οι εγκαταστάσεις νερού που αποτελούν τις συνήθεις οδούς μετάδοσης της νόσου είναι:

- Μονάδες υδρόψυκτου κλιματισμού.
- Οι πύργοι ψύξης.
- Τα εσωτερικά δίκτυα ζεστού και κρύου νερού.
- Τα σιντριβάνια, τα SPA, οι πισίνες, τα λουτρά, οι υγραντήρες, τα αρδευτικά συστήματα τεχνητής βροχής κλπ.

Ο κίνδυνος είναι ανάλογος με τον αριθμό των αποικιών της *Legionella* στις ως άνω εγκαταστάσεις οι οποίες ανιχνεύονται με εργαστηριακές εξετάσεις στο νερό. Αν οι εγκαταστάσεις του νερού δεν είναι κατασκευασμένες σωστά και η συντήρησή τους ικανοποιητική τότε μπορεί να συμβάλλουν στην εμφάνιση και ενίσχυση της μόλυνσης.

Θα πρέπει το νερό κυκλοφορίας να βρίσκεται κατά το δυνατόν εκτός του κρίσιμου φάσματος τιμών της θερμοκρασίας που ευνοεί την ανάπτυξη της *Legionella* (20-60°C) και να έχει χαμηλό ρυθμό ροής.

4. Η ποιότητα του νερού

Το νερό κυκλοφορίας πρέπει να είναι καθαρό και κατάλληλο για την αντίστοιχη χρήση με βάση τις θεσμοθετημένες προδιαγραφές. Ειδικότερα για τα εσωτερικά δίκτυα κρύου και ζεστού νερού στα Νοσοκομεία το νερό πρέπει να τηρεί τις προδιαγραφές της ελληνική νομοθεσίας ΚΥΑ Υ2/2600/2001 «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998, όπως τροποποιήθηκε από ΔΥΓ2/Γ.Π. οικ.38295 (ΦΕΚ Β 630/26.04.2007).

Συνήθεις παράμετροι της ποιοτικής υποβάθμισης του νερού είναι η αυξημένη θολότητα, η περιεκτικότητα αλάτων, μεταλλικών στοιχείων λόγω διάβρωσης των σωληνώσεων, η παρουσία μικροοργανισμών, αλγών, ευτροφικών υλικών κ.λπ.

Είναι αναγκαία η σωστή διαχείριση του νερού όσον αφορά τη χημική και μικροβιολογική του σύνθεση μέσω διεργασιών πρόληψης και αντιμετώπισης, όπως συχνοί ποιοτικοί έλεγχοι, εφαρμογή φυσικών και χημικών μεθόδων καθαρισμού και απολύμανσης).

5. Υλοποίηση της έρευνας

Από το σύνολο των Νοσοκομείων που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα λήφθηκαν συνολικά 71 δείγματα νερού από διάφορα κρίσιμα σημεία των δικτύων ύδρευσης και κεντρικού κλιματισμού-πύργων ψύξεως. Τα δείγματα εξετάστηκαν ως προς τις φυσικοχημικές παραμέτρους που συμπεριλαμβάνονται στους επιμέρους πίνακες ανά Νο-

νοσοκομείο. Ταυτόχρονα, αντίστοιχος αριθμός δειγμάτων λήφθηκε από τα ίδια σημεία. Τα δείγματα εξετάστηκαν στο εργαστήριο ως προς την παρουσία στελεχών *Legionella* προκειμένου να ερευνηθεί οποιαδήποτε συσχέτιση μεταξύ των τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων και της ανάπτυξης του βακτηρίου.

Οι μέθοδοι μέτρησης και εργαστηριακών απολυμάνσεων που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι κάτωθι:

• **Φυσικοχημικές παράμετροι:**

PH	:	Ηλεκτρομετρική
Αγωγιμότητα	:	Αγωγιμομετρία
Θολότητα	:	Νεφελομετρική
Σκληρότητα	:	Συμπλοκομετρική
Υπολειμματικό χλώριο	:	Χρωματομετρική
Θερμοκρασία	:	Θερμομετρική
Αιωρούμενα στερεά	:	Σταθμική
Fe	:	Φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης
Zn	:	Φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης
Cu	:	Φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης

• **Βακτήριο *Legionella***

Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος που προβλέπεται στο ISO 11737 και η ταυτοποίηση έγινε με latex agglutination kit (Pro-Lab Diagnostic, Canada).

6. Περιγραφή συστημάτων ψύξης και ζεστού νερού νοσοκομείων και αποτελέσματα μετρήσεων

Νοσοκομείο Α

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Πρόκειται για μεγάλο συγκρότημα κτιρίων που έχουν εγκαταστάσεις διαφορετικής ηλικίας. Μερικές έχουν ανακαινιστεί πρόσφατα. Σε μερικές περιπτώσεις οι εγκαταστάσεις εξυπηρετούν περισσότερα από ένα κτίρια και σε άλλες ένα.

Το νοσοκομείο διαθέτει πύργους ψύξεως και προστίθενται χημικά πρόσθετα. Τα πρόσθετα είναι το C-Fine 3001 και το C-Fine 1009 (χρησιμοποιούνται μετά από αραιώση).

Το ζεστό νερό παρέχεται από boiler και υπάρχει ανακνυλοφορία στο δίκτυο του ζεστού νερού.

Το νερό του νοσοκομείου προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ. Υπάρχουν δεξαμενές αποθήκευσης. Το δίκτυο αποτελείται από χαλύβδινους σωλήνες.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

- ΝΟΣ Α-1 : Υπόγειο πτέρυγας Π. Νερό επιστροφής από τον πύργο ψύξεως Ν^ο3.
- ΝΟΣ Α-2 : Ζεστό νερό επιστροφής πτέρυγας Πατέρα. Το ζεστό νερό έχει $\theta = 75^{\circ}\text{C}$ και επιστρέφει με $\theta = 60^{\circ}\text{C}$.
- ΝΟΣ Α-3 : Νερό επιστροφής ψύξης συντήρησης $\theta = 22,8^{\circ}\text{C}$.
- ΝΟΣ Α-4 : Νερό επιστροφής ψύξης κατάψυξης $\theta = 22,5^{\circ}\text{C}$. Εξυπηρετείται το ψυχτικό υγρό όλου του νοσοκομείου από συμπιεστές που στεγάζονται στο κτίριο Π.
- ΝΟΣ Α-5 : Νερό επιστροφής πύργου ψύξης χειρουργείου κτιρίου Α $\theta = 22^{\circ}\text{C}$. Ο πύργος ψύξης βρίσκεται στο επίπεδο του ισογείου ακριβώς πίσω από εξωτερικό μαντρότοιχο του νοσοκομείου.
- ΝΟΣ Α-6 : Ζεστό νερό επιστροφής κτιρίου Α $\theta = 49,5^{\circ}\text{C}$. (προσαγωγή 75°C).
- ΝΟΣ Α-7 : Ζεστό νερό επιστροφής Παλαιού κτιρίου $\theta = 52,7^{\circ}\text{C}$. (προσαγωγή 68°C).
- ΝΟΣ Α-8 : Ζεστό νερό χειρουργείου, ισόγειο, τερματική βρύση $\theta = 63,7^{\circ}\text{C}$.
- ΝΟΣ Α-9 : Εξωτερική βρύση, κρύο νερό.
- ΝΟΣ Α-10 : Κατάστημα εκτός του νοσοκομείου, έναντι κεντρικής εισόδου.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ Α

Σημεία Δείγματο- ληψίας	pH	Αγωγιμό- τητα μs/cm	Θολό- τητα FTU	Σκληρό- τητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμο- κρασία (°C)	Αιωρού- μενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέ- σματα Legionella*
ΝΟΣ Α-1	6,90	487	1,36	246		20	70	<0,20	<0,04		Αρνητικό
ΝΟΣ Α-2	7,27	269	0,87	138		60	75	<0,20	<0,04		Θετικό
ΝΟΣ Α-3	7,90	1103	1,81	584		22,8	250	<0,20	0,16		Αρνητικό
ΝΟΣ Α-4	8,00	7390	1,17	>1698		22,5	145	<0,20	0,35		Αρνητικό
ΝΟΣ Α-5	8,24	288	0,7	146		29	20	<0,20	<0,04		Αρνητικό
ΝΟΣ Α-6	8,08	270	2,48	144		49,5	0	<0,20	0,13		Αρνητικό
ΝΟΣ Α-7	7,97	268	0,88	138		52,7	35	<0,20	0,09		Θετικό
ΝΟΣ Α-8	7,90	261	2,11	130		63,7	45	<0,20	0,06		Αρνητικό
ΝΟΣ Α-9	7,92	271	2,2	142			45	<0,20	<0,04		Αρνητικό
ΝΟΣ Α-10	8,03	272	0,74	100			175	<0,20	<0,04		Αρνητικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU.

Νοσοκομείο Β

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νοσοκομείο δεν διαθέτει πύργους ψύξης, αλλά δύο κεντρικά κλιματιστικά.
Το δίκτυο ύδρευσης αποτελείται από σωλήνες χαλύβδινους αλλά και χάλκινους.

Υπάρχουν δεξαμενές εφεδρείας νερού στην ταράτσα (παράλληλα συνδεδεμένες, από πολυαιθυλένιο).

Το νερό προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ. Δε γίνεται χρήση χημικών πρόσθετων στο νερό.

Το δίκτυο του ζεστού νερού διαθέτει ανακυκλοφορία. Υπάρχει boiler στο υπόγειο για τους 2^ο έως 6^ο όροφο. Το boiler αυτό φαίνεται μικρό σε μέγεθος. Η θερμοκρασία του νερού επιστροφής ήταν χαμηλή. Υπάρχουν και διάφοροι διάσπαρτοι ατομικοί ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

- ΝΟΣ Β-1 : Δεξαμενή αποθήκευσης νερού στην ταράτσα
 ΝΟΣ Β-2 : Βρύση κρύου νερού κουζίνας στον 6^ο όροφο (απομακρυσμένο σημείο)
 ΝΟΣ Β-3 : Βρύση ζεστού νερού από θάλαμο (τουαλέτα) καρδιολογικής κλινικής στο 2^ο όροφο
 ΝΟΣ Β-4 : Βρύση κρύου νερού από τουαλέτες υπογείου. Είναι το πλέον κοντινότερο σημείο του κτιρίου στην τροφοδοσία από την ΕΥΔΑΠ.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ Β

Σημεία Δείγματοληψίας	pH	Αγωγιμότητα μs/cm	Θολότητα FTU	Σκληρότητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμοκρασία (°C)	Αιωρούμενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέσματα Legionella*
ΝΟΣ Β-1	6,62	320	0,67	154	0,10	19	0	<0,20	<0,04	7,1	Αρνητικό
ΝΟΣ Β-2	7,03	318	2,11	150	0,60	19	15	<0,20	<0,04	<2,0	Αρνητικό
ΝΟΣ Β-3	7,12	317	0,96	150	0,00	35	0	<0,20	0,56	320	Αρνητικό
ΝΟΣ Β-4	7,38	319	1,5	150	0,60	16	5	<0,20	<0,04	<2,0	Αρνητικό

*θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU.

Νοσοκομείο Γ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νοσοκομείο διαθέτει δύο (2) πύργους ψύξης. Αυτοί βρίσκονται κοντά σε παράθυρα και δρόμο. Την εποχή της επίσκεψής μας στο νοσοκομείο (Νοέμβριος 2004) ήταν εκτός λειτουργίας, κλειστοί. Είχαν νερό στάσιμο, όπως είχε παραμείνει από τη τελευταία ημέρα λειτουργίας τους. Όταν φτάσει η εποχή να επαναλειτουργήσουν οι πύργοι ψύξης, εκκενώνονται από το νερό και συντηρούνται. Το νερό των πύργων ψύξεως είναι αφαλατωμένο και δεν προστίθενται χημικά σε αυτό.

Το δίκτυο του ζεστού νερού διαθέτει ανακυκλοφορία και για τα τέσσερα κτίρια του

νοσοκομείου υπάρχουν τέσσερα boiler αντίστοιχα. Το ζεστό νερό χρήσης είναι αφαλάτωμένο. Η αφαλάτωση γίνεται με ρητίνες που αναγεννούν οι ίδιοι.

Το νερό παρέχεται από την ΕΥΔΑΠ και υπάρχει υπόγεια δεξαμενή νερού. Το δίκτυο ύδρευσης αποτελείται από σωλήνες χαλύβδινους αλλά και χάλκινους.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

- ΝΟΣ Γ-1 : Ψυχιατρική κλινική (ισόγειο)
 ΝΟΣ Γ-2 : Λήψη πριν τη δεξαμενή νερού (αρχικό νερό)
 ΝΟΣ Γ-3 : Κτίριο Νο4, 3^{ος} όροφος, τουαλέτες, ζεστό νερό
 ΝΟΣ Γ-4 : Κτίριο Νο3, 3^{ος} όροφος, κουζίνα χειρουργείου, ζεστό νερό
 ΝΟΣ Γ-5 : Παλιό κτίριο, 4^{ος} όροφος, τουαλέτες παλαιών εργαστηρίων, ζεστό νερό
 ΝΟΣ Γ-6 : Πύργος ψύξης λιθοτριψίας, από στάσιμο νερό της λεκάνης του

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ Γ

Σημεία Δείγματο- ληψίας	pH	Αγωγιμό- τητα μs/cm	Θολό- τητα FTU	Σκληρό- τητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμο- κρασία (°C)	Αιωρού- μενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέ- σματα Legionella*
ΝΟΣ Γ-1	7,52	291	1,2	140	0,00	34,3	10	<0,20	0,12	<2,0	Αρνητικό
ΝΟΣ Γ-2	7,75	292	1,28	144	0,70	12,5	5	<0,20	<0,04	<2,0	Αρνητικό
ΝΟΣ Γ-3	7,85	292	2,11	144	0,00	44,6	15	<0,20	0,07	9,0	Αρνητικό
ΝΟΣ Γ-4	6,30	297	0,91	8	0,00	52,2	0	<0,20	0,04	360	Αρνητικό
ΝΟΣ Γ-5	6,60	285	1,12	130	0,00	48	100	<0,20	0,07	33,6	Αρνητικό
ΝΟΣ Γ-6	8,65	387	3,2	142	0,00	12,8	40	<0,20	0,06	14,1	Αρνητικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU.

Νοσοκομείο Δ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νοσοκομείο διαθέτει τέσσερις (4) πύργους ψύξης που βρίσκονται στην ταράτσα και λειτουργούν παράλληλα υδραυλικά.

Ακόμη και το χειμώνα, είναι και η εποχή που πραγματοποιήθηκε η επίσκεψη μας στο νοσοκομείο, λειτουργούν εκ περιτροπής τον ανεμιστήρα του ενός πύργου. Το νερό επιστροφής στους πύργους είχε $\theta = 26^{\circ}\text{C}$.

Χρησιμοποιούν χημικά:

- 1) Απολυμαντικό NaClO ST₄O, NaOH, και Alkaline Bromine
- 2) Αντιαποθετικό 8504: phosphonocarboxylic acid οργανικό, όξινο
- 3) Διασπαρτικό βιομάζας μικροοργανισμών 7348
- 4) Αντιδιαβρωτικό 73400: φωσφορικό οξύ και ZnCl₂

Το ζεστό νερό χρήσης κυκλοφορεί συνεχώς με κυκλοφορητή. Η δεξαμενή ζεστού νερού είναι κατακόρυφη χωρίς αναδευτήρα. Έχει θερμοκρασιακή στρωματοποίηση. Το πόσιμο νερό προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ, αποθηκεύεται σε δεξαμενές και διανέμεται με αντλίες.

Το δίκτυο ύδρευσης είναι χάλκινο και οι αντλίες σιδερένιες.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

- ΝΟΣ Δ-1 : Θάλαμος 615, βρύση ζεστού νερού (απομακρυσμένο σημείο)
 ΝΟΣ Δ-2 : Drain cohe A, ψύκτης Ν^ο1. Είχε σχετική στασιμότητα λόγω εποχής
 ΝΟΣ Δ-3 : Ψύκτης Ν^ο3, νερού πύργου ψύξης σε λειτουργία
 ΝΟΣ Δ-4 : Υπόγειο, πριν τη δεξαμενή αποθήκευσης νερού (νερό ΕΥΔΑΠ στην είσοδο του κτιρίου)
 ΝΟΣ Δ-5 : Νερό ΕΥΔΑΠ μετά τη δεξαμενή
 ΝΟΣ Δ-6 : Δεξαμενή ζεστού νερού. Λήψη από χαμηλά. Δεν υπάρχει αναδευτήρας στη δεξαμενή.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ Δ

Σημεία Δείγματοληψίας	pH	Αγωγιμότητα μs/cm	Θολότητα FTU	Σκληρότητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμοκρασία (°C)	Αιωρούμενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέσματα Legionella*
ΝΟΣ Δ-1	7,16	320	1,84	156	0,20	52,4	0	<0,20	<0,04	240	Αρνητικό
ΝΟΣ Δ-2	7,10	872	3,38	196	0,00	12	55	<0,20	2,28	380	Αρνητικό
ΝΟΣ Δ-3	7,68	883	3,50	186	0,00	26,6	95	0,24	2,91	280	Θετικό
ΝΟΣ Δ-4	7,20	328	0,95	200	0,45	10,7	5	0,20	0,04	<2,0	Αρνητικό
ΝΟΣ Δ-5	7,16	238	1,02	116	0,30	13,4	5	<0,20	0,04	12,6	Αρνητικό
ΝΟΣ Δ-6	7,05	326	2,02	204	0,00	36,7	10	<0,20	0,10	420	Θετικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU.

Νοσοκομείο Ε

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νοσοκομείο δε διαθέτει πύργους ψύξης. Υπάρχουν ατομικά κλιματιστικά και fan-coil.

Δεν προστίθεται χημικά στο νερό.

Για το ζεστό νερό υπάρχουν δύο boiler, στα πλυντήρια και στο κεντρικό κτίριο (φαίνονται μικρού μεγέθους). Υπάρχει ανακυκλοφορία του ζεστού νερού.

Το πόσιμο νερό είναι ΕΥΔΑΠ και υπάρχουν τέσσερις μεγάλες δεξαμενές κι από εκεί διανέμεται με αντλία.

Το δίκτυο ύδρευσης αποτελείται από σωλήνες χαλύβδινους αλλά και χάλκινους.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

- ΝΟΣ E-1 : Boiler κεντρικού κτιρίου
 ΝΟΣ E-2 : Πτέρυγα ΨΑ1, 1^{ος} όροφος, τουαλέτες, βρύση ζεστού νερού (απομακρυσμένο σημείο)
 ΝΟΣ E-3 : Νευρολογική κλινική αντρών (ΝΑ) ισόγειο, πτέρυγα Κατσαρά, θάλαμος 3, ζεστό νερό
 ΝΟΣ E-4 : Από καφετέρια έναντι κεντρικής εισόδου του νοσοκομείου (είσοδος από ΕΥΔΑΠ)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ Ε

Σημεία Δείγματοληψίας	pH	Αγωγιμότητα μs/cm	Θολότητα FTU	Σκληρότητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμοκρασία (°C)	Αιωρούμενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέσματα Legionella*
ΝΟΣ E-1	7,23	292	1,04	192	0,20	43,4	0	<0,20	<0,04	6,0	Αρνητικό
ΝΟΣ E-2	7,16	288	1,19	184	0,15	42	0	<0,20	<0,04	68,2	Αρνητικό
ΝΟΣ E-3	7,09	284	1,08	136	0,30	64	0	<0,20	<0,04	66,0	Αρνητικό
ΝΟΣ E-4	7,05	289	1,08	184		13	0	<0,20	<0,04	29,3	Αρνητικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU.

Νοσοκομείο ΣΤ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

1. Παράρτημα 1: Παλαιά πολυκατοικία, λειτουργεί ως εξωτερικά ιατρεία. Δε γίνεται διανυκτέρευση.
2. Παράρτημα 2 : Παλαιά μικρή πολυκατοικία, λειτουργεί ως ξενώνας ασθενών.
 Και τα δύο κτίρια:
 - Δεν έχουν πύργους ψύξης
 - Ζεστό νερό παράγεται από συνήθεις ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες
 - Το νερό παρέχεται από την ΕΥΔΑΠ και δε γίνεται καμία παρέμβαση ούτε αποθήκευση.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

- ΝΟΣ ΣΤ-1 : Κτίριο Δ, 2^{ος} όροφος, τουαλέτα, ζεστό νερό
 ΝΟΣ ΣΤ-2 : Κτίριο Δ, ισόγειο, βρύση κρύου νερού (είσοδος από ΕΥΔΑΠ)
 ΝΟΣ ΣΤ-3 : Κτίριο Α, 2^{ος} όροφος, τουαλέτα, ζεστό νερό
 ΝΟΣ ΣΤ-4 : Κτίριο Α, ισόγειο, τουαλέτα, βρύση κρύου νερού (είσοδος από ΕΥΔΑΠ)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΣΤ

Σημεία Δείγματο- ληψίας	pH	Αγωγιμό- τητα μs/cm	Θολό- τητα FTU	Σκληρό- τητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμο- κρασία (°C)	Αιωρού- μενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέ- σματα Legionella*
ΝΟΣ ΣΤ-1	7,50	279	1,58	194		41,5	0	<0,20	<0,04	3,0	Αρνητικό
ΝΟΣ ΣΤ-2	7,46	288	1,18	200		12,8	5	<0,20	<0,04	3,6	Αρνητικό
ΝΟΣ ΣΤ-3	7,45	285	1,45	204		46,5	5	<0,20	<0,04	<2,0	Αρνητικό
ΝΟΣ ΣΤ-4	7,43	288	1,82	210		14	0	<0,20	<0,04	<2,0	Αρνητικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU.

Νοσοκομείο Ζ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νοσοκομείο έχει οκτώ νοσηλευτικά κτίρια διάσπαρτα σε μεγάλη έκταση. Δεν υπάρχουν πύργοι ψύξης. Ο κλιματισμός γίνεται από τέσσερις μεγάλες αντλίες θερμότητας και διάφορα συνήθη κλιματιστικά.

Το ζεστό νερό παράγεται από boiler στα κεντρικά κτίρια (κτίριο Ν, κτίριο Ε) και από ηλιακούς / ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες στα άλλα κτίρια.

Το νερό προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ και δε γίνεται προσθήκη χημικών.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

ΝΟΣ Ζ-1 : Κτίριο Ε, ισόγειο, θάλαμος 16, βρύση ζεστού νερού

ΝΟΣ Ζ-2 : Εξωτερική βρύση, πλησίον εισόδου από ΕΥΔΑΠ

ΝΟΣ Ζ-3 : Κτίριο Ν, ισόγειο, φυσικοθεραπευτήριο, ακριβώς επάνω από το λεβητοστάσιο, βρύση ζεστού νερού

ΝΟΣ Ζ-4 : Κτίριο Ν, 4^{ος} όροφος, θάλαμος 51, βρύση ζεστού νερού (το πιο μακρινό σημείο από το boiler)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ Ζ

Σημεία Δείγματο- ληψίας	pH	Αγωγιμό- τητα μs/cm	Θολό- τητα FTU	Σκληρό- τητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμο- κρασία (°C)	Αιωρού- μενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέ- σματα Legionella*
ΝΟΣ Ζ-1	7,67	304	1,33	214	0,15	37	5	<0,20	0,24	<2,0	Θετικό
ΝΟΣ Ζ-2	7,56	307	1,40	220	0,30	14	5	<0,20	<0,04	<2,0	Αρνητικό
ΝΟΣ Ζ-3	7,59	304	3,66	208	0,00	47,5	5	0,50	0,34	250	Θετικό
ΝΟΣ Ζ-4	7,48	311	1,01	224	0,00	45	0	<0,20	0,17	100	Αρνητικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU

Νοσοκομείο Η

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νοσοκομείο έχει 3 πύργους ψύξης που εξυπηρετούν το κτίριο ΝΑ και το κτίριο ΝΒ. Οι πύργοι ψύξης είναι τοποθετημένοι στο δώμα του κτιρίου του κεντρικού μηχανοστασίου-τεχνικών υπηρεσιών. Οι πύργοι ψύξης λειτουργούν ανεξάρτητα. Χρησιμοποιούν το χημικό πρόσθετο με την ονομασία C-fine 1009. Λόγω μη λειτουργίας των πύργων ψύξης τον Μάιο του 2005 πραγματοποιήθηκε νέα επίσκεψη τον Σεπτέμβριο του 2005. Τα νέα κτίρια του νοσοκομείου έχουν αερόψυκτες μονάδες κλιματισμού.

Το ζεστό νερό παράγεται σε λεβητοστάσιο, σε ιδιαίτερο κτίριο και διανέμεται σε όλο το νοσοκομείο. Υπάρχει δίκτυο ανακυκλοφορίας.

Το δίκτυο νερού αποτελείται από χαλύβδινους σωλήνες. Το νερό προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ. Στο νοσοκομείο υπάρχει κεντρική μονάδα απολύμανσης με ανόδια χαλκού. Το νερό της ΕΥΔΑΠ μετά από τις δεξαμενές αποθήκευσης υφίσταται απολύμανση με ιονισμό και διανέμεται.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

- ΝΟΣ Η-1 : Κτίριο τεχνικής υπηρεσίας, τουαλέτες ισογείου, βρύση ζεστού νερού
- ΝΟΣ Η-2 : Υπόγεια δεξαμενή νερού
- ΝΟΣ Η-3 : Μαγειρεία, πολύ κοντά στα boiler, βρύση ζεστού νερού
- ΝΟΣ Η-4 : Κτίριο ΝΒ, 7^{ος} όροφος, δωμάτιο 709, ζεστό νερό
- ΝΟΣ Η-5 : Πύργος ψύξης 1, νερό προς πύργο
- ΝΟΣ Η-6 : Πύργος ψύξης 2, νερό από πύργο
- ΝΟΣ Η-7 : Πύργος ψύξης 3, νερό από πύργο

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ Η

Σημεία Δείγματο- ληψίας	pH	Αγωγιμό- τητα μs/cm	Θολό- τητα FTU	Σκληρό- τητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμο- κρασία (°C)	Αιωρού- μενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέ- σματα Legionella*
ΝΟΣ Η-1	7,54	162	0,93	140		48	10	0,46	0,48	260	Αρνητικό
ΝΟΣ Η-2	7,50	173	0,41	148	0,20	17	0	<0,20	<0,04	20,1	Αρνητικό
ΝΟΣ Η-3	7,52	166	0,42	142		57	5	<0,20	0,18	16,3	Αρνητικό
ΝΟΣ Η-4	7,50	164	0,35	142		56	10	<0,20	0,09	24,8	Αρνητικό
ΝΟΣ Η-5	7,50	195	0,70	158	0,00	23	25	<0,20	0,04	60,4	Αρνητικό
ΝΟΣ Η-6	7,63	217	0,85	164	0,00	22	20	<0,20	0,07	60,2	Θετικό
ΝΟΣ Η-7	7,64	402	0,73	310			25	<0,20	0,09	38,7	Αρνητικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU.

Νοσοκομείο Θ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νοσοκομείο δεν διαθέτει πύργους ψύξης, αλλά απλά συνήθη air-condition.

Το ζεστό νερό χρήσης των θαλάμων παρέχεται από ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες. Υπάρχουν boiler στα μαγειρεία (μόνο για το χειμώνα), στα χειρουργεία και την ΜΕΘ.

Το νερό προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ και δεν γίνεται καμία προσθήκη χημικών. Το νοσοκομείο έχει 4 κτίρια θαλάμων και διάφορα άλλα κτίρια. Πολλά κτίρια ήταν σε εργασίες ανακαίνισης. Το δίκτυο ύδρευσης αποτελείται από χαλυβδοσωλήνες κυρίως. Τα νεότερα όμως κτίρια έχουν χάλκινους σωλήνες.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

- ΝΟΣ Θ-1 : ΜΕΘ, ισόγειο, βρύση ζεστού νερού
 ΝΟΣ Θ-2 : Μαγειρεία, βρύση ζεστού νερού (παροχή από boiler)
 ΝΟΣ Θ-3 : Αιμοδοσία, βρύση ζεστού νερού (παροχή από θερμοσίφωνα)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ Θ

Σημεία Δείγματο- ληψίας	pH	Αγωγιμό- τητα μs/cm	Θολό- τητα FTU	Σκληρό- τητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμο- κρασία (°C)	Αιωρού- μενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέ- σματα Legionella*
ΝΟΣ Θ-1	7,43	188	0,27	132		47,4	0	<0,20	0,04	<100	Αρνητικό
ΝΟΣ Θ-2	7,46	187	0,27	134		49,4	5	<0,20	0,06	<100	Αρνητικό
ΝΟΣ Θ-3	7,50	166	0,24	126		41,0	5	<0,20	<0,04	<100	Αρνητικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU.

Νοσοκομείο Ι

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νοσοκομείο διαθέτει ένα μεγάλο πύργο ψύξης που είναι τοποθετημένος σε προ-αύλιο χώρο. Υπάρχουν ακόμη ατομικά, συνήθη, air-condition και μεγαλύτερες αερό-ψυκτες μονάδες. Ο πύργος ψύξης κάθε 5-6 μήνες συντηρείται και το νερό του πύργου απολυμαίνεται μηνιαία με NaClO. Ακόμη προστίθεται καθημερινά χημικό με την ονομασία BUSAN K148 με χρήση δοσιμετρικής αντλίας.

Το νερό στις τουαλέτες και το ζεστό νερό χρήσης προέρχονται από πηγάδι του νοσοκομείου. Το νερό αυτό χλωριώνεται και αποθηκεύεται σε δεξαμενή. Στη συνέχεια υφίσταται αποσκλήρυνση. Το ζεστό νερό παράγεται σε boiler και υπάρχει ανακνυλοφορία. Η απολύμανση του νερού του πηγαδιού γίνεται με NaClO. Υπάρχουν δοσιμε-

τρικές αντλίες και στοχεύουν σε χλώριο 0,3mg/L.

Το νερό που χρησιμοποιείται ως πόσιμο, το νερό μηχανημάτων και το νερό του πύργου ψύξης προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ.

Το δίκτυο νερού έχει κυρίως χαλύβδινους σωλήνες, μερικοί όμως είναι χάλκινοι.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

- ΝΟΣ I-1 : Νερό πηγαδιού μετά την αποσκλήρυνση, χλωριωμένο
 ΝΟΣ I-2 : Νερό πηγαδιού πριν την αποσκλήρυνση, χλωριωμένο
 ΝΟΣ I-3 : Ζεστό νερό χρήσης, πηγαδιού, επιστροφή στο boiler, θαλάμων (υπόγειο)
 ΝΟΣ I-4 : Ζεστό νερό χρήσης, πηγαδιού, επιστροφή στο boiler, χειρουργείων (υπόγειο)
 ΝΟΣ I-5 : Είσοδος νερού ΕΥΔΑΠ (υπόγειο)
 ΝΟΣ I-6 : Νερό πύργου ψύξης, επιστροφή από πύργο (υπόγειο)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ I

Σημεία Δείγματοληψίας	pH	Αγωγιμότητα μs/cm	Θολότητα FTU	Σκληρότητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμοκρασία (°C)	Αιωρούμενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέσματα Legionella*
ΝΟΣ I-1	7,88	651	0,32	10	0,10		0	<0,20	<0,04	<100	Αρνητικό
ΝΟΣ I-2	7,17	627	0,08	430	0,20		5	<0,20	<0,04	<100	Αρνητικό
ΝΟΣ I-3	7,75	648	0,48	110		43,7	5	<0,20	0,12	300	Θετικό
ΝΟΣ I-4	7,69	652	0,31	80		57,5	5	<0,20	0,09	<100	Θετικό
ΝΟΣ I-5	7,47	172	0,27	122	0,60		0	<0,20	<0,04	<100	Αρνητικό
ΝΟΣ I-6	7,43	211	0,86	136	0,00		10	<0,20	<0,04	<100	Θετικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU.

Νοσοκομείο ΙΑ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νοσοκομείο έχει 2 πύργους ψύξης, τοποθετημένους στο δάμα του κτιρίου ΔΚ, διαχωρισμένους υδραυλικά. Οι πύργοι ψύξης σύντομα θα αντικατασταθούν με αερόψυκτες μονάδες. Στους πύργους ψύξης εδώ και ένα χρόνο δεν χρησιμοποιούν χημικά. Εκτός των πύργων ψύξης υπάρχουν και αερόψυκτες μονάδες.

Το νερό προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ και δεν προσθέτουν χημικά. Το ζεστό νερό παράγεται από boiler που υπάρχουν σε τρία κτίρια (Ανατολικό Κ, Δυτικό Κ και Α) και υπάρχει ανακυκλοφορία.

Το δίκτυο νερού αποτελείται από σωλήνες χαλύβδινους και χάλκινους.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

- ΝΟΣ ΙΑ-1 : Πύργος ψύξης δυτικός
 ΝΟΣ ΙΑ-2 : Πύργος ψύξης ανατολικός
 ΝΟΣ ΙΑ-3 : Κτίριο Δυτικό Κ, Δώμα (4ος όροφος), ‘κουζίνα’ χειρουργείου, ζεστό νερό
 ΝΟΣ ΙΑ-4 : Κτίριο Α, 3^{ος} όροφος, κουζίνα (μακρινό σημείο), ζεστό νερό
 ΝΟΣ ΙΑ-5 : Ψυχιατρική κλινική, ισόγειο (μακρινό σημείο από το ΑΚ), ζεστό νερό
 ΝΟΣ ΙΑ-6 : Είσοδος νερού ΕΥΔΑΠ, βρύση κήπου δίπλα στη περιφραγή

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΙΑ

Σημεία Δείγματο- ληψίας	pH	Αγωγιμό- τητα μs/cm	Θολό- τητα FTU	Σκληρό- τητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμο- κρασία (°C)	Αιωρού- μενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέ- σματα Legionella*
ΝΟΣ ΙΑ-1	7,72	337	0,80	234	0,05	16,0	5	<0,20	0,05	<100	Θετικό
ΝΟΣ ΙΑ-2	7,78	374	0,52	250	0,00	16,5	10	<0,20	<0,04	<100	Αρνητικό
ΝΟΣ ΙΑ-3	7,75	168	0,47	120		48,6	5	<0,20	<0,04	250	Αρνητικό
ΝΟΣ ΙΑ-4	7,68	165	0,43	114		52,2	0	<0,20	0,04	<100	Αρνητικό
ΝΟΣ ΙΑ-5	7,63	169	0,32	118		36,6	5	<0,20	0,04	530	Θετικό
ΝΟΣ ΙΑ-6	7,64	167	0,55	116	0,00	19,4	0	<0,20	0,90	<100	Αρνητικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU.

Νοσοκομείο IB

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νοσοκομείο διαθέτει έναν πύργο ψύξης που εξυπηρετεί τα εξωτερικά ιατρεία. Ο πύργος ψύξης αυτός συντηρείται δύο φορές το χρόνο, καθαριζόμενος με κατάλληλα χημικά. Επιπλέον, το νοσοκομείο διαθέτει συνήθη κλιματιστικά και κεντρικές, αερό-ψυκτες, κλιματιστικές μονάδες.

Το νερό προέρχεται από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ εκτός από ένα ανεξάρτητο δίκτυο που χρησιμοποιεί νερό γεώτρησης και αφού χλωριωθεί τροφοδοτεί (μόνο) τα πλυντήρια.

Το ζεστό νερό παράγεται από 3 boiler και υπάρχει ανακυκλοφορία.

Το δίκτυο ύδρευσης αποτελείται κυρίως από σιδηροσωλήνες και λίγους χαλκοσωλήνες.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

- ΝΟΣ ΙΒ-1 : Κτίριο Π, Ισόγειο, τουαλέτα προσωπικού, απομακρυσμένο σημείο, ζεστό νερό
 ΝΟΣ ΙΒ-2 : Κτίριο Μαιευτικού, Ισόγειο, απομακρυσμένο σημείο, ζεστό νερό

ΝΟΣ ΙΒ-3 : Πύργος ψύξης, απέναντι από τα εξωτερικά ιατρεία (εκτός λειτουργίας από τα τέλη φθινοπώρου).

ΝΟΣ ΙΒ-4 : Θυρωρείο, κοντά στην παροχή της ΕΥΔΑΠ.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΙΒ

Σημεία Δείγματο- ληψίας	pH	Αγωγιμό- τητα μs/cm	Θολό- τητα FTU	Σκληρό- τητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμο- κρασία (°C)	Αιωρού- μενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέ- σματα Legionella*
ΝΟΣ ΙΒ-1	7,76	159	0,08	116		50	5	<0,2	0,15	<100	Αρνητικό
ΝΟΣ ΙΒ-2	7,83	157	0,09	114		53,5	0	<0,2	0,13	<100	Αρνητικό
ΝΟΣ ΙΒ-3	7,6	1843	0,96	940	0		55	1,52	0,53	<100	Αρνητικό
ΝΟΣ ΙΒ-4	7,92	159	0,07	120	0,4	20	0	<0,2	0,04	<100	Αρνητικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU.

Νοσοκομείο ΙΓ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νοσοκομείο δεν έχει πύργους ψύξης, αλλά αερόψυκτες μεγάλες κλιματιστικές μονάδες. Το νερό προέρχεται μόνον από την ΕΥΔΑΠ και δεν προστίθενται χημικά σε αυτό. Έχει δύο δεξαμενές όγκου 40 m³. Το ζεστό νερό παράγεται από δύο boiler που ευρίσκονται σε διαφορετικά κτίρια και υπάρχει ανακυκλοφορία.

Το δίκτυο νερού αποτελείται από χαλκοσωλήνες και σιδηροσωλήνες.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

ΝΟΣ ΙΓ-1 : Νέα πτέρυγα, εκτός ορόφου, γρ. προϊσταμένης, απομακρυσμένο σημείο, ζεστό νερό

ΝΟΣ ΙΓ-2 : Παλαιά πτέρυγα, τρίτος όροφος, γραφείο, απομακρυσμένο σημείο, ζεστό νερό

ΝΟΣ ΙΓ-3 : Κυλικείο, δίπλα στην είσοδο, κοντά στην παροχή ΕΥΔΑΠ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΙΓ

Σημεία Δείγματο- ληψίας	pH	Αγωγιμό- τητα μs/cm	Θολό- τητα FTU	Σκληρό- τητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμο- κρασία (°C)	Αιωρού- μενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέ- σματα Legionella*
ΝΟΣ ΙΓ-1	7,81	168	0,09	124		43,7	0	<0,2	<0,04	<100	Αρνητικό
ΝΟΣ ΙΓ-2	7,85	164	0,11	120		51,3	5	<0,2	<0,04	350	Αρνητικό
ΝΟΣ ΙΓ-3	7,95	165	0,08	120	0,4	15,6	0	<0,2	<0,04	<100	Αρνητικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU.

Νοσοκομείο ΙΑ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Στο νοσοκομείο υπάρχουν δύο πύργοι ψύξης, που ευρίσκονται στην ταράτσα του κτιρίου. Στους πύργους ψύξης γίνεται χρήση χημικών. Οι πύργοι ψύξης λειτουργούν από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο κάθε έτους και ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες.

Το νερό ύδρευσης προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ και υπάρχουν τρεις δεξαμενές των 30m³. Το ζεστό νερό παράγεται από boiler που ευρίσκονται σε υπόγειο λεβητοστάσιο και υπάρχει ανακυκλοφορία.

Το δίκτυο νερού αποτελείται από χαλκοσωλήνες και σιδηροσωλήνες.

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

ΝΟΣ ΙΑ-1 : Πύργος ψύξης 2 (νότιος).

ΝΟΣ ΙΑ-2 : Πύργος ψύξης 1 (βόρειος).

ΝΟΣ ΙΑ-3 : Δέκατος όροφος, τουαλέτα δωματίου ιατρών, απομακρυσμένο σημείο, ζεστό νερό.

ΝΟΣ ΙΑ-4 : Υπόγειο, τεχνική υπηρεσία, πλησίον παροχής ΕΥΔΑΠ.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΙΑ

Σημεία Δείγματο- ληψίας	pH	Αγωγιμό- τητα μs/cm	Θολό- τητα FTU	Σκληρό- τητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμο- κρασία (°C)	Αιωρού- μενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέ- σματα Legionella*
ΝΟΣ ΙΑ-1	7,6	366	0,53	244	0,1	20,8	10	<0,2	<0,04	<100	Αρνητικό
ΝΟΣ ΙΑ-2	7,53	340	0,45	230	0,05	24,3	10	<0,2	0,19	<100	Θετικό
ΝΟΣ ΙΑ-3	7,7	282	0,1	170	0	44	0	<0,2	<0,04	<100	Θετικό
ΝΟΣ ΙΑ-4	7,8	282	0,1	174	0,3	23,3	0	<0,2	<0,04	<100	Αρνητικό

* Θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU

Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Θετικών δειγμάτων όλων των Νοσοκομείων

Σημεία Δείγματο- ληψίας	pH	Αγωγιμό- τητα μs/cm	Θολό- τητα FTU	Σκληρό- τητα mg CaCO ₃ /L	Cl υπολ. mg/L	Θερμο- κρασία (°C)	Αιωρού- μενα mg/L	Fe mg/L	Zn mg/L	Cu ppb	Αποτελέ- σματα Legionella*
ΝΟΣ Α-2	7,27	269	0,87	138		60	75	<0,20	<0,04		Θετικό
ΝΟΣ Α-7	7,97	268	0,88	138		52,7	35	<0,20	0,09		Θετικό
ΝΟΣ Δ-3	7,68	883	3,50	186	0,00	26,6	95	0,24	2,91	280	Θετικό
ΝΟΣ Δ-6	7,05	326	2,02	204	0,00	36,7	10	<0,20	0,10	420	Θετικό
ΝΟΣ Ζ-1	7,67	304	1,33	214	0,15	37	5	<0,20	0,24	<2,0	Θετικό
ΝΟΣ Ζ-3	7,59	304	3,66	208	0,00	47,5	5	0,50	0,34	250	Θετικό
ΝΟΣ Η-6	7,63	217	0,85	164	0,00	22	20	<0,20	0,07	60,2	Θετικό
ΝΟΣ Ι-3	7,75	648	0,48	110		43,7	5	<0,20	0,12	0,30	Θετικό
ΝΟΣ Ι-4	7,69	652	0,31	80		57,5	5	<0,20	0,09	<0,10	Θετικό
ΝΟΣ Ι-6	7,43	211	0,86	136	0,00		10	<0,20	<0,04	<0,10	Θετικό
ΝΟΣ ΙΑ-1	7,72	337	0,80	234	0,05	16,0	5	<0,20	0,05	<0,10	Θετικό
ΝΟΣ ΙΑ-5	7,63	169	0,32	118		36,6	5	<0,20	0,04	0,53	Θετικό
ΝΟΣ ΙΑ-2	7,53	340	0,45	230	0,05	24,3	10	<0,2	0,19	<100	Θετικό
ΝΟΣ ΙΔ-3	7,7	282	0,1	170	0	44	0	<0,2	<0,04	<100	Θετικό

* θετικό: >100CFU, αρνητικό <100CFU

7. Συμπεράσματα

- Από το σύνολο των 71 δειγμάτων νερού που λήφθηκαν από όλες τις συμπεριληφθείσες στην έρευνα Νοσοκομειακές Μονάδες και τα οποία αναλύθηκαν για βασιικές φυσικοχημικές παραμέτρους, τα 14 βρέθηκαν θετικά (>100CFU/ml) στο βακτήριο της Legionella ήτοι ποσοστό 19,7%.
- Παρουσία υπολειμματικού χλωρίου μετρήθηκε στο 55% των δειγμάτων, ενώ σε επαρκή συγκέντρωση μεγαλύτερη των 0,20 mg/l μετρήθηκε μόνο στο 37,5% των δειγμάτων. Σε όλα τα θετικά δείγματα στο βακτήριο της Legionella, το υπολειμματικό χλώριο ήταν μηδενικό ή ανεπαρκές. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να ληφθούν μέτρα στην πλειοψηφία των Νοσοκομείων – στα οποία η μέθοδος αυτή επιλέγεται για την απολύμανση των δικτύων ύδρευσης και κλιματισμού – ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος ανάπτυξης και μετάδοσης της Legionella.
- Όσον αφορά το pH, στα θετικά δείγματα κυμαίνεται από 7 έως 8 μονάδες ενώ στα δείγματα με pH κάτω των 7 και πάνω των 8 μονάδων δεν ανιχνεύθηκε το βακτήριο.
- Συστηματική συσχέτιση μεταξύ των θετικών δειγμάτων και εύρους τιμών ορισμένων φυσικοχημικών παραμέτρων που επελέγησαν για εξέταση στην παρούσα έρευνα δεν προέκυψε (δηλαδή της θολότητας, της αγωγιμότητας, της σκληρότητας, της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς και των συγκεντρώσεων με-

ταλλικών ιόντων που εμπεριέχονται στα υλικά κατασκευής των υδραυλικών εγκαταστάσεων όπως χαλκός και ψευδάργυρος).

Εντοπίστηκε εν τούτοις σημαντικός αριθμός αποικιών Legionella στα μεμονωμένα δείγματα που παρουσίασαν εξαιρετικά υψηλές τιμές -τις μέγιστες παρατηρηθείσες- σε ιόντα ψευδάργυρου και χαλκού.

5. Όσον αφορά στην παράμετρο της θερμοκρασίας στα σημεία δειγματοληψίας εμφάνισε τιμές κατά 92,5% εκτός του κρίσιμου εύρους των 22-60°C όπου ευνοείται η ανάπτυξη της Legionella.

Επιβάλλεται η ρύθμιση της θερμοκρασίας του ζεστού νερού πάνω από τους 60°C καθώς και του νερού επιστροφής ή των πύργων ψύξεως των κεντρικών υδρόψυκτων συστημάτων κλιματισμού κάτω των 20°C ώστε να αναστέλλεται η ανάπτυξη του βακτηρίου της Legionella. Έτσι θα μειωθεί σημαντικά ο κίνδυνος μετάδοσής της σε άτομα που έρχονται σε επαφή με τα ως άνω δίκτυα ύδρευσης και κεντρικού κλιματισμού κυρίως μέσω σταγονιδίων.

Βιβλιογραφία

- MARTSON BJ, LIPMAN HB, BREIMAN RF. Surveillance for Legionnaires' disease. Risk factors for morbidity and mortality. Arch. Interm. Med. 1994, 154: 2417-2422
- MUDER RR, YU VL, FANG GD. Community acquired Legionnaires' disease. Semmin Respir. Infect. 1989, 4: 32-39.
- STOUT JE, YU VL. Legionellosis. N. Engl. j. Med. 1997, 337: 682-687.
- ΑΛΕΞΙΟΥ-ΔΑΝΙΗΛ Σ, ΠΑΠΑΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ Ι., ΣΤΕΦΑΝΟΥ Θ. Λεγμονέλλωση στην Ελλάδα. Ελλην. Ιατρ. 1988, 54: 206-212.
- ΜΑΥΡΙΔΟΥ Α, ΛΑΜΠΙΡΗ Μ, ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ ΙΑ. Έλεγχος κεντρικών κτιρίων της Αθήνας για εποίκηση με Legionella pneumophilla. Δελτ. Ελλ. Μικροβ. Ετ. 1995, 40: 322-327.

Μαγνητικές ιδιότητες πολυμερών με νανοσωματιδιακά μαγνητικά εγκλείσματα (σε ισοτροπική και ανισοτροπική μορφή)

Γ.Κ. Νικολαΐδης, Ε. Φουντουκίδης,
Τμήμα Φυσικής Χημείας & Τεχνολογίας Υλικών,
ΤΕΙ Πειραιά

Γ. Ατανάσοβα, Σ. Καλογεροπούλου
Τμήμα Φυσικής Χημείας & Τεχνολογίας Υλικών,
ΤΕΙ Πειραιά

Α. Φωτόπουλος, Ν. Θεοφίλου
Τμήμα Φυσικής Χημείας & Τεχνολογίας Υλικών,
ΤΕΙ Πειραιά

Σ. Τσιτομενέας
Τμήμα Φυσικής Χημείας & Τεχνολογίας Υλικών,
ΤΕΙ Πειραιά

Π. Πίσσης, Μ. Κοντού-Δρούγκα
Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών & Φυσικών Επιστημών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Περίληψη

Με επιτυχία παρήχθη σειρά πολυμερών δοκιμίων με μαγνητικά νανοσωματιδιακά εγκλείσματα του τύπου $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, χρησιμοποιώντας νανοκρυσταλλική σκόνη της φάσης αυτής με ισοτροπικές ή ανισοτροπικές (HDDR-hydrogenation, disproportionation,

desorption and recombination) ιδιότητες. Ανάλογα με την χρησιμοποιηθείσα μέθοδο παρασκευής και επεξεργασίας της αρχικής μαγνητικής σκόνης, προκύπτουν και οι ανισοτροπικές ή μη ιδιότητες των τελικών δοκιμίων. Η συγκολλητική ουσία που χρησιμοποιήθηκε ήταν για μεν τα ιστροπικά δοκίμια το πολυαιθυλένιο για δε τα ανισοτροπικά δοκίμια το NYLON 6. Η μεγαλύτερη επιτευχθείσα περιεκτικότητα σε μαγνητική κόνη είναι περίπου 93% κ.β. για τα ιστροπικά δοκίμια με αντίστοιχο ενεργειακό γινόμενο (BH)max~ 10 MGOe.

Λέξεις Κλειδιά: *νανοσύνθετοι NdFeB μαγνήτες, συγκεκολλημένοι NdFeB μαγνήτες, μαγνητικά εγκλείσματα*

Abstract

In this work we report our results on the preparation and magnetic characterization of polymer samples with magnetic inclusions of nano size dimensions. It is well known that bonded magnets are of extreme importance for several industrial applications today, due to their low manufacturing cost, high magnetic performance and the ability of further morphological shaping-machining ability - using milling and lathe. These are the advantages of these magnets when compared with the sintered permanent magnets, although presenting a compromise in their magnetic performance (moderate values of BHmax-their energy product).

By processing first the commercially available magnetic powders with powder metallurgy methods (ball milling in inert atmosphere), we successfully produced samples made out of polyethylene with magnetic inclusions of the type of Nd₂Fe₁₄B with isotropic properties and in addition samples based on NYLON 6 including magnetic particles of the above mentioned magnetic phase but produced with the well known HDDR process (Hydrogenation, Disproportionation, Desorption and Recombination) leading to anisotropic samples. The mixing of the magnetic powders with the polymers was made at elevated temperatures (180 C for polyethylene and 270 C for the NYLON 6) by using the technique of roll milling in inert atmosphere.

The magnetic characterization which was performed by using a Quantum Design 9T Physical Property Measurement System showed that the high density samples (with filling ratio 93% by weight) indicated a superior quality bonded magnet behaviour and performance and for the isotropic samples the BHmax value of 8 MGOe was obtained, while the anisotropic ones (using the HDDR magnetic powder) approached a value of about 10 MGOe.

Key Words: *nanocomposite NdFeB magnets, bonded NdFeB magnet, magnetic inclusions*

Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι τα πολυμερή υλικά με νανοσωματιδιακά μαγνητικά εγκλείσματα με υψηλές συγκεντρώσεις τέτοιων σωματιδίων, αποτελούν μια ειδική κατηγορία εν δυνάμει μονίμων μαγνητών που ονομάζονται συγκεκολλημένοι μαγνήτες (Bonded Magnets)[1]. Σήμερα, ειδικά οι συγκεκολλημένοι μαγνήτες του τύπου Nd₂Fe₁₄B έχουν τύχει ευρέων εφαρμογών, λόγω του ευκόλου σχετικά τρόπου παρασκευής τους, του χαμηλού κόστους και της δυνατότητας να τύχουν περαιτέρω μηχανουργικής επεξεργασίας πέραν της αρχικής τους μορφοποίησης.

Ένας συγκεκολλημένος μαγνήτης (bonded magnet) συνίσταται στην τοποθέτηση και ομοιογενή διασπορά μιας μαγνητικής σκόνης μέσα σε πολυμερές υλικό (στην περίπτωση που η συγκολλητική ύλη είναι ένα πολυμερές) όπου τα πολυμερή που χρησιμοποιούνται εδώ είναι ηλεκτρικά μη αγωγά[1,2,3,4].

Με σκοπό να διερευνηθεί η μαγνητική συμπεριφορά των πολυμερών αυτών με τα μαγνητικά νανοσωματιδιακά εγκλείσματα και την δυνατότητα εφαρμογής τους ως μόνιμοι συγκεκολλημένοι μαγνήτες, παρήχθησαν δοκίμια τα οποία μελετήθηκαν ως προς την μαγνητική τους συμπεριφορά.

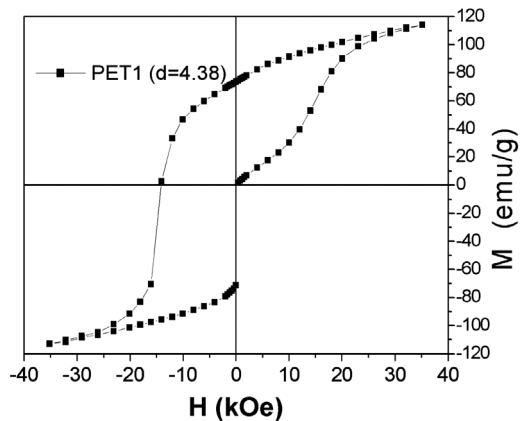
Πειραματικά

Με επιτυχία παρήχθη σειρά δοκιμίων νανοςύνθετων συγκεκολλημένων μαγνητών (Bonded Magnets) του τύπου Nd₂Fe₁₄B χρησιμοποιώντας μαγνητική σκόνη της φάσης αυτής με ισοτροπικές ή ανισοτροπικές (HDDR)[4] ιδιότητες κατάλληλα επεξεργασμένη με μεθόδους κονιομεταλλουργίας. Οι αρχικές διαστάσεις των κόκκων του μαγνητικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε ήταν 200μ-400μ όπου μετά την επεξεργασία το μέγεθος των κόκκων ήταν στην περιοχή των 0,5μ-5μ. Ανάλογα με την χρησιμοποιηθείσα μέθοδο παρασκευής και επεξεργασίας της αρχικής μαγνητικής σκόνης, προκύπτουν και οι ανισοτροπικές ή μη ιδιότητες των τελικών δοκιμίων. Η συγκολλητική ουσία που χρησιμοποιήθηκε ήταν για μεν τα ισοτροπικά δοκίμια το πολυαιθυλένιο για δε τα ανισοτροπικά δοκίμια το NYLON 6.

Οι μαγνητικές μετρήσεις έγιναν με την χρήση μαγνητομέτρου του τύπου PPMS 9T της Quantum Design σε θερμοκρασία 300 K.

Αποτελέσματα

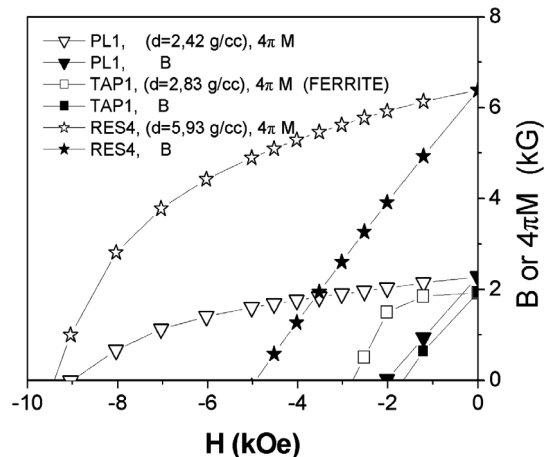
Στο Σχήμα 1, παρουσιάζεται ο τυπικός βρόγχος υστέρησης σε θερμοκρασία δωματίου, ενός πλαστικοειδούς μαγνήτη, ο οποίος προήλθε από επεξεργασία ισοτροπικής μαγνητικής κόπωσης του τύπου Nd₂Fe₁₄B με πολυαιθυλένιο.



Σχήμα 1: Βρόγχος υστέρησης ιστροποικού πλαστικοειδούς μαγνήτη $Nd_2Fe_{14}B$ στους 300K. Η πυκνότητά του είναι 4,38g/cc με $H_c = 15kOe$ και $M_s = 120emu/g$.

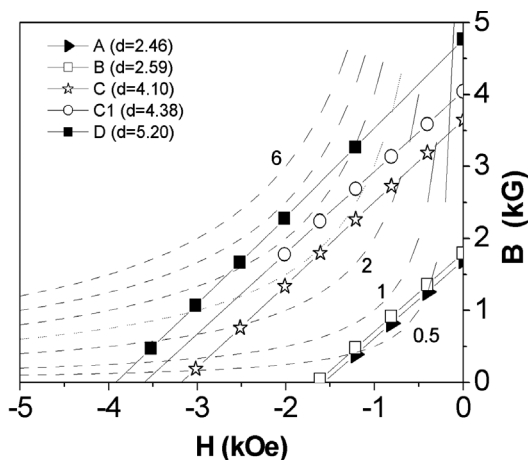
Είναι εμφανές το γεγονός μη κορεσμού ακόμη και στα 40 kOe, που οφείλεται στο ότι η χρησιμοποιηθείσα μαγνητική σκόνη είναι ιστροποική.

Στο παρακάτω σχήμα 2, παρουσιάζονται οι καμπύλες απομαγνήτισης μερικών δοκιμών με υψηλή σχετικά συγκέντρωση μαγνητικής σκόνης. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις οδηγούν και σε υλικά κατάλληλα για χρήση ως μόνιμων μαγνητών υψηλών προδιαγραφών, και με ενεργειακό γινόμενο $(BH)_{max} \sim 8-10 MGOe$ [1] αρκετά μεγαλύτερο από αυτό των ανιστροποικών φερριτικών μαγνητών ($BH_{max} \sim 3-4 MGOe$).

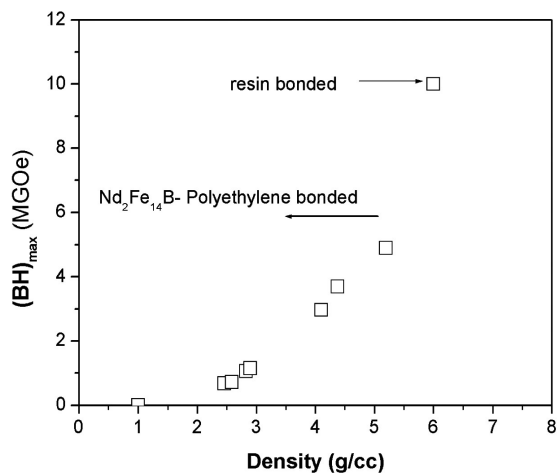


Σχήμα 2. Καμπύλες απομαγνήτισης διαφόρων πλαστικοειδών δοκιμών. Τα μαυρισμένα σύμβολα αντιστοιχούν στο B και τα ανοικτά στο $4\pi M$. Για λόγους σύγκρισης συμπεριλαμβάνεται και δοκίμιο φερριτή (TAP1).

Στο σχήμα 3α παρουσιάζονται οι καμπύλες ενεργειακού γινομένου δοκιμίων πολυαιθυλενίου με διαφορετικές πυκνότητες (διαφορετική συγκέντρωση μαγνητικής σκόνης) και στο σχήμα 3β παρουσιάζεται πώς εμπειρικά εξαρτάται το μέγιστο ενεργειακό γινόμενο $(BH)_{max}$ από την πυκνότητα του δοκιμίου.

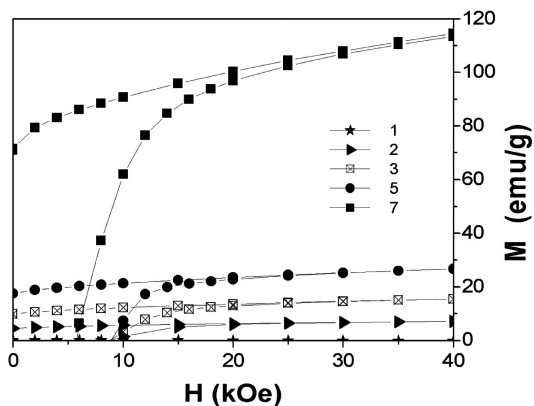


Σχήμα 3α: Παρουσιάζονται οι καμπύλες του $(BH)_{max}$ για δοκίμια με διαφορετικές πυκνότητες. Οι υπερβολές σε υπέρθεση αντιστοιχούν σε ενεργειακό γινόμενο διαφόρων τιμών, όπως φαίνεται από το σχήμα.



Σχήμα 3β. Παρουσιάζεται η πειραματική εξάρτηση του ενεργειακού γινομένου $(BH)_{max}$ από την πυκνότητα του δοκιμίου. Η μεγαλύτερη δυνατή πυκνότητα αντιστοιχεί σε περίπου 90%κ.β. περιεκτικότητα σκόνης στο πλαστικό. Το υψηλότερο ενεργειακό γινόμενο ετετεύχθη κάνοντας χρήση σκόνης τύπου HDDR (ανισοτροπική) σε πλαστική μήτρα NYLON.

Στο σχήμα 4, παρουσιάζονται οι καμπύλες της μαγνήτισης M σε συνάρτηση με το πεδίο H (πρώτο τεταρτημόριο του βρόγχου υστέρησης), για δοκίμια διαφόρων συγκεντρώσεων μαγνητικής σκόνης.



Σχήμα 4: Μαγνήτιση $M(H)$ των δοκιμίων: 1, 2, 3, 5, 7. Η συγκέντρωση μαγνητικής σκόνης και συνεπώς της πυκνότητάς τους βγαίνει αυξανόμενη με την αύξηση του αριθμού του δοκιμίου. Το δοκίμιο 1 είναι καθαρό πολυαιθυλένιο ($M = 0$).

Το δοκίμιο 1, αποτελείται από καθαρό πολυαιθυλένιο και η μαγνήτισή του $M = 0$ (πραγματικά είναι ελαφρώς διαμαγνητικό με τιμή επιδεκτικότητας $\chi = 10^{-6}$ emu/g/Oe).

Συμπεράσματα

Συγκεκολλημένα πολυμερή με μαγνητικά νανοσωματιδιακά εγκλεισμάτα του τύπου $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ παρασκευάστηκαν με επιτυχία με διάφορες συγκεντρώσεις σωματιδίων. Τα δοκίμια με υψηλές συγκεντρώσεις απέδειξαν μια μαγνητική συμπεριφορά τύπου μόνιμων μαγνητών (bonded magnets) με εξαιρετικά υψηλές προδιαγραφές για χρήση τους σε κινητήρες συνεχούς ρεύματος, ενεργοποιητές (actuators) μια και το ενεργειακό γινόμενο τους (ιδιαίτερα των δοκιμίων με ανισοτροπική σκόνη HDDR) έφθασε την τιμή $(BH)_{\text{max}} \sim 10$ MGOe.

Βιβλιογραφία

- D.M. Tsamakis, M.G. Ioanides and G.K. Nicolaides, *J. All. Comp.* 241(1996)175
- T. Takeshita and K. Moritomo, *J. Appl. Phys.* 79(8)(1996)5040
- G.K. Nicolaides, Y.K. Atanasova, M.G. Ioanides, D.M. Tsamakis and H. Gamari-Seale, *J. Appl. Phys.* 81(8)(1997)5100
- E. Logakis, Ch. Pandis, V. Peoglos, P. Pissis, A. Kanapitsas, J. Pionteck, P. Pötschke, M. Micusik and M. Omastovà, *Technical Proceedings of the 2007 Nanotechnology Conference and Trade Show, Volume 2, Chapter 2: Polymer Nanotechnology*, pages:96-99
- Ch. Pandis, E. Logakis, M. Chorianopoulos, A. Spanoudaki, A. Kyritsis, V. Peoglos, P. Pissis, M. Micusik, I. Krupa, M. Omastovà, J. Pionteck and P. Pötschke *Technical Proceedings of the 2007 Nanotechnology Conference and Trade Show, Volume 2, Chapter 2: Polymer Nanotechnology*, pages:166-169

Συγκριτική μελέτη ολοκληρωμένου μικρομηχανικού αισθητήρα ανίχνευσης αερίων με βιομηχανική διάταξη μέτρησης καυσαερίων μηχανής Otto

A. Μουρλάς

Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά

M. Καλτσογιάννη

Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά

I. Λεκάκης

Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά

Σ. Αντωνίου

Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά

A. Χατζηαποστόλου

Τμήμα Ενεργειακής Τεχνικής ΤΕΙ

Αθήνας

X. Τσάμης

E.K.E.Φ.E. “Δημόκριτος”

Ινστιτούτο Μικροηλεκτρονικής

Περίληψη

Ολοκληρωμένος μικρομηχανικός αισθητήρας χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση εκπομπής καυσαερίων μικρής βενζινομηχανής μεταβλητής συμπίεσης σε σύγκριση με βιομηχανική διάταξη μέτρησης καυσαερίων. Ο αισθητήρας αυτός παρουσιάζει καλή ευαισθησία και σχετικά υψηλή απόκριση συχνότητας, ικανοποιητική για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, στη παρούσα φάση.

Abstract

An integrated micromechanical sensor is used in the present study for the evaluation of the exhaust gases of small petrol engine of variable compression in comparison with industrial flue analyzers. This sensor shows very good sensitivity and relatively good time response, which are considered satisfactory for this application at the present stage of development

Λέξεις Κλειδιά: Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, αισθητήρες, καυσαέρια, ανάλυση, βελτιστοποίηση.

1. Βασικές έννοιες και προβλήματα της λειτουργίας MEK

Τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται εντατική προσπάθεια σε διεθνές επίπεδο για την αποδοτική χρήση και εξοικονόμηση των πηγών ενέργειας σε εξάντληση και τον έλεγχο της μόλυνσης του περιβάλλοντος που υποβαθμίζει την ποιότητα ζωής των κατοίκων του πλανήτη μας. [1,2] Η προσπάθεια αυτή δεν είναι δυνατόν να αποδώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα χωρίς τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης (MEK), που αποτελούν ιδιαίτερα ρυπογόνο τεχνολογικό κατασκευάσμα και κατ' επέκταση το αυτοκίνητο που είναι ο κύριος χρήστης τους.

Οι προσπάθειες για την αύξηση της απόδοσης των MEK και της μείωσης της ρύπανσης (και μόλυνσης) του περιβάλλοντος, που είναι ενδεικτικές της πολυπλοκότητας του προβλήματος, μπορεί να μην έχουν δώσει δραστική λύση στο πρόβλημα, έχουν οδηγήσει όμως σε σημαντικές βελτιώσεις της λειτουργίας των MEK και στην επιβολή λεπτομερών κανονισμών σχετικά με τη σύνθεση και την οικονομία του καυσίμου και τις εκπομπές καυσαερίων. Οι κανονισμοί αυτοί είναι αποτέλεσμα συμβιβασμού των στόχων και απόψεων μεταξύ κατασκευαστών, χρηστών και κοινωνικού συνόλου. Περαιτέρω βελτίωση της λειτουργίας των MEK απαιτεί μεγαλύτερη εντατικοποίηση της έρευνας στο πεδίο αυτό και χρήση και αξιοποίηση νέων τεχνολογιών.[3,4] Στην περιοχή αυτή ακριβώς εντάσσεται και η προσπάθεια χρήσης ολοκληρωμένων μικρομηχανικών αισθητήρων για τη μέτρηση και τον έλεγχο των παραμέτρων καύσης σε πραγματικό χρόνο.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η βελτιστοποίηση της λειτουργίας μικρής βενζινομηχανής (οι βενζινομηχανές γενικά και ιδιαίτερα οι μικρές είναι ως γνωστόν πολύ ρυπογόνες), με στόχο την ελαχιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων και κατά συνέπεια την προστασία του περιβάλλοντος, μέσω της συνεχούς ανίχνευσης της σύστασης

των καυσαερίων σε πραγματικό χρόνο με ολοκληρωμένους μικρομηχανικούς αισθητήρες. Σε επόμενη φάση οι πληροφορίες από τους αισθητήρες θα ανατροφοδοτούν το σύστημα αυτόματου ελέγχου της μηχανής ώστε η λειτουργία της να περιορίζεται εντός προκαθορισμένων ορίων επιτρεπτής «ασφαλούς» λειτουργίας.

Ένας επιπλέον στόχος είναι η αξιοποίηση και βελτιστοποίηση νέας τεχνολογίας για την κατασκευή μικρομηχανικών αισθητήρων, η οποία έχει αναπτυχθεί στην Ελλάδα, στο εργαστήριο Μικροηλεκτρονικής του ΕΚΕΦΕ ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ και έχει κατοχυρωθεί με διεθνές δίπλωμα ευρεσιτεχνίας.[5,6,7]

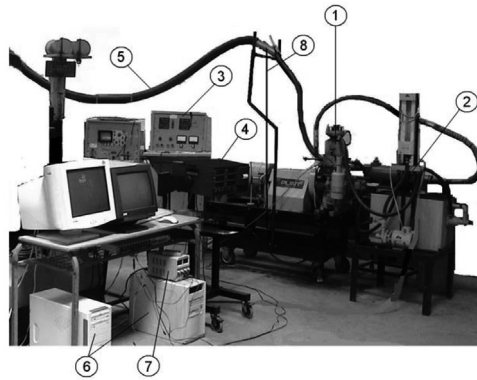
Η υπολογιστική προσομοίωση της επίδρασης του λόγου συμπίεσης και της γεωμετρίας του θαλάμου καύσης της ειδικής εργαστηριακής βενζινομηχανής μεταβλητού λόγου συμπίεσης στη σύσταση των καυσαερίων σε πραγματικό χρόνο απετέλεσε ένα πρώτο βήμα στην προσπάθεια για τη μέτρηση των καυσαερίων, τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας της ΜΕΚ, μέσω ενός συστήματος ανάδρασης.[8,9,10] Για την προσομοίωση αυτή χρησιμοποιήθηκε ένας κώδικας CFD πεπερασμένων όγκων του εμπορίου για την αριθμητική επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes (Fluent 2005). Από την ανάλυση αυτή προέκυψε και η μεγάλη σημασία της σχέσης συμπίεσης στην καύση και τη σύνθεση καυσαερίων στον οχετό απαγωγής.[11,12,13,14] Σαν αποτέλεσμα της προσπάθειας αυτής θα είναι σε ένα επόμενο βήμα, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των διαφόρων τύπων καταλυτών, και επιπλέον η προοπτική συνεχούς ελέγχου των καυσαερίων των αυτοκινήτων και όχι μόνο κατά την προσέλευση τους στα Κέντρα Τεχνικού Ελέγχου Οχημάτων.

Η χρήση ΜΕΚ μεταβλητής γεωμετρίας θαλάμου καύσης κατά το πειραματικό μέρος της εργασίας δίνει τη δυνατότητα χρήσης της σχέσης συμπίεσης (αλλά και της γεωμετρίας του θαλάμου καύσης) ως παραμέτρου βελτιστοποίησης. Ως καύσιμο χρησιμοποιήθηκε απλή αμόλυβδη βενζίνη του εμπορίου, ως αντιπροσωπευτικότερο καύσιμο των συνήθων μικρών βενζινοκινητήρων οχημάτων. Στην περίπτωση αυτή, το όζον καθώς και η εκπομπή στερεών κατατμημάτων ως παράγοντες γενικότερης περιβαλλοντικής ρύπανσης έχουν σχετικά μικρή σημασία. Το ενδιαφέρον περιορίζεται κατά συνέπεια κυρίως στο μονοξείδιο του άνθρακα CO και δευτερευόντως στο διοξείδιο του άνθρακα CO₂ και τους άκαυστους υδρογονάνθρακες HC ως δεικτών περιβαλλοντικής αξιολόγησης της μηχανής ενώ τα οξείδια του αζώτου NO_x δεν αξιολογούνται ως μη μετρούμενα από τους αναλυτές καυσαερίων.

2. Πειραματική διάταξη και μετρήσεις

Χρησιμοποιήθηκε πειραματική βενζινομηχανή τύπου PLINT του Εργαστηρίου Μ.Ε.Κ του Τμήματος Μηχανολογίας του Τ.Ε.Ι. Πειραιά, συμβατικής τεχνολογίας, η οποία διαθέτει κατάλληλο σύστημα μεταβολής της σχέσης συμπίεσης από $r = 4 : 1$ έως $r = 10 : 1$. Στη μηχανή αυτή έγιναν οι αναγκαίες μετατροπές για την προσθήκη των αι-

σθητήρων και των λοιπών μετρητικών διατάξεων για να καλυφθούν οι πειραματικές απαιτήσεις.



Εικόνα 1. Πειραματική διάταξη.

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1 Μηχανή εσωτερικής καύσης | 5 Απαγωγός καυσαερίων |
| 2 Εναλλάκτης θερμοότητας | 6 Σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων |
| 3 Πίνακας ελέγχου και ρύθμισης MEK | 7 Τροφοδοτικό σταθερής ισχύος |
| 4 Αναλυτής καυσαερίων | 8 Σωλήνας παροχέτευσης αερίων προς αναλυτή και μικρομηχανικό αισθητήρα |

Η μηχανή αυτή συνδέεται με σύστημα φόρτισης (ηλεκτρική δυναμοπέδη) και σύστημα ελέγχου της λειτουργίας της και ηλεκτρονικού δυναμοδείκτη (PLINT). Στη μηχανή αυτή προσαρμόστηκαν οι διατάξεις συνήθους ανάλυσης καυσαερίων και ο ολοκληρωμένος μικρομηχανικός αισθητήρας στην εξαγωγή της μηχανής. Για την αποφυγή δημιουργίας προβλημάτων από υπερθέρμανση, τα καυσαέρια ψύχονται με κατάλληλο εναλλάκτη θερμοότητας ώστε η θερμοκρασία τους κατά την προσαγωγή τους στον αισθητήρα να μην υπερβαίνει τους 45-50°C. Οι μετρήσεις και ο έλεγχος όλων των παραμέτρων του πειράματος, όπως μετρήσεις πίεσης και σύστασης καυσαερίων συναρτήσει της γωνίας στροφάλου της μηχανής, έγινε μέσω δύο Η/Υ με τη χρήση κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων προσαρμογής και λογισμικού που αναπτύχθηκε για το σκοπό αυτό σε περιβάλλον Labview.

3. Χρησιμοποιούμενες μετρητικές διατάξεις και αισθητήρες

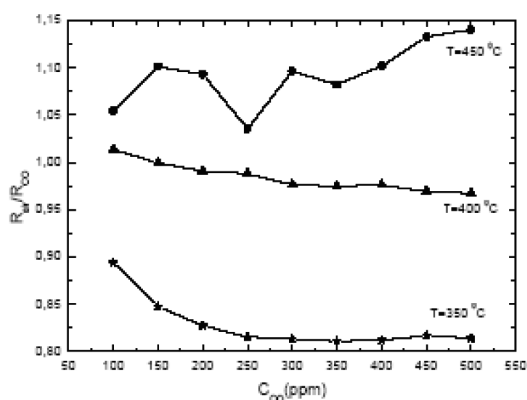
Ως μετρητικές διατάξεις αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν δύο αναλυτές καυσαερίων του εμπορίου (Opus 40 B και GreenLine MK2) που στηρίζονται είτε σε φασματοσκοπική ανάλυση υπέρυθρου φωτός που διέρχεται μέσα από τα καυσαέρια (Opus) είτε σε ηλεκτροχημική ανάλυση (GreenLine). Τυπικά χαρακτηριστικά ευαισθησίας & ακρίβει-

ας για τα αέρια που μετρήθηκαν, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα που για την συγκεκριμένη μελέτη κρίνονται επαρκή.

Στοιχεία	Κλίμακα	Ευαισθησία	Ακρίβεια
CO	0 – 10%	0,01%	0,06% vol
HC	0 – 2.000 ppm	1 ppm	12 ppm vol
	2.000–20.000ppm	1 ppm	
CO ₂	0 – 16%	0,1%	0,5% vol
O ₂	0 – 21%	0,1%	0,1% vol

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας χρησιμοποιήθηκαν πρωτότυποι ελληνικοί μικρομηχανικοί αισθητήρες ανίχνευσης αερίων (ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος). Η ανάπτυξη των αισθητήρων αυτών βασίζεται σε μία νέα τεχνολογία, η οποία παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα συγκριτικά με άλλες υπάρχουσες τεχνολογίες. Κυρίως εμφανίζουν πολύ μικρή κατανάλωση ισχύος, για την επίτευξη της υψηλής θερμοκρασίας που απαιτείται για την ανίχνευση του αερίου (<20mW για θερμοκρασία λειτουργίας 400°C) και πολύ μεγάλη μηχανική σταθερότητα.

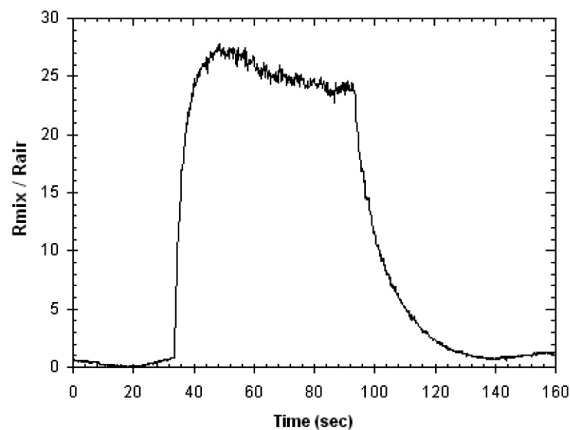
Επιπλέον, οι αισθητήρες αυτοί, εξαιτίας του πολύ μικρού μεγέθους τους, έχουν εξαιρετικά ταχεία απόκριση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την ανίχνευση των εκπεμπόμενων καυσαερίων σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογία αυτή έχει κατοχυρωθεί με ελληνικό (ΟΒΙ, No. 1004040, 31/10/2002) και διεθνές δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (PCT Pending, No. PCT/GR02/00008). Ο ολοκληρωμένος μικρομηχανικός αισθητήρας τύπου αγωγιμότητας για ανίχνευση αερίων βαθμονομήθηκε σε μίγμα αέρα και CO και υπό τρεις σταθερές τιμές παρεχόμενης ισχύος στην αντίσταση θέρμανσης που αναπτύσσουν τις θερμοκρασίες (T = 350°C, T = 400°C, T = 450°C) όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Η αντίσταση του ευαίσθητου υλικού για τιμές συγκέντρωσης 250ppm και 150ppm CO στους 350°C.

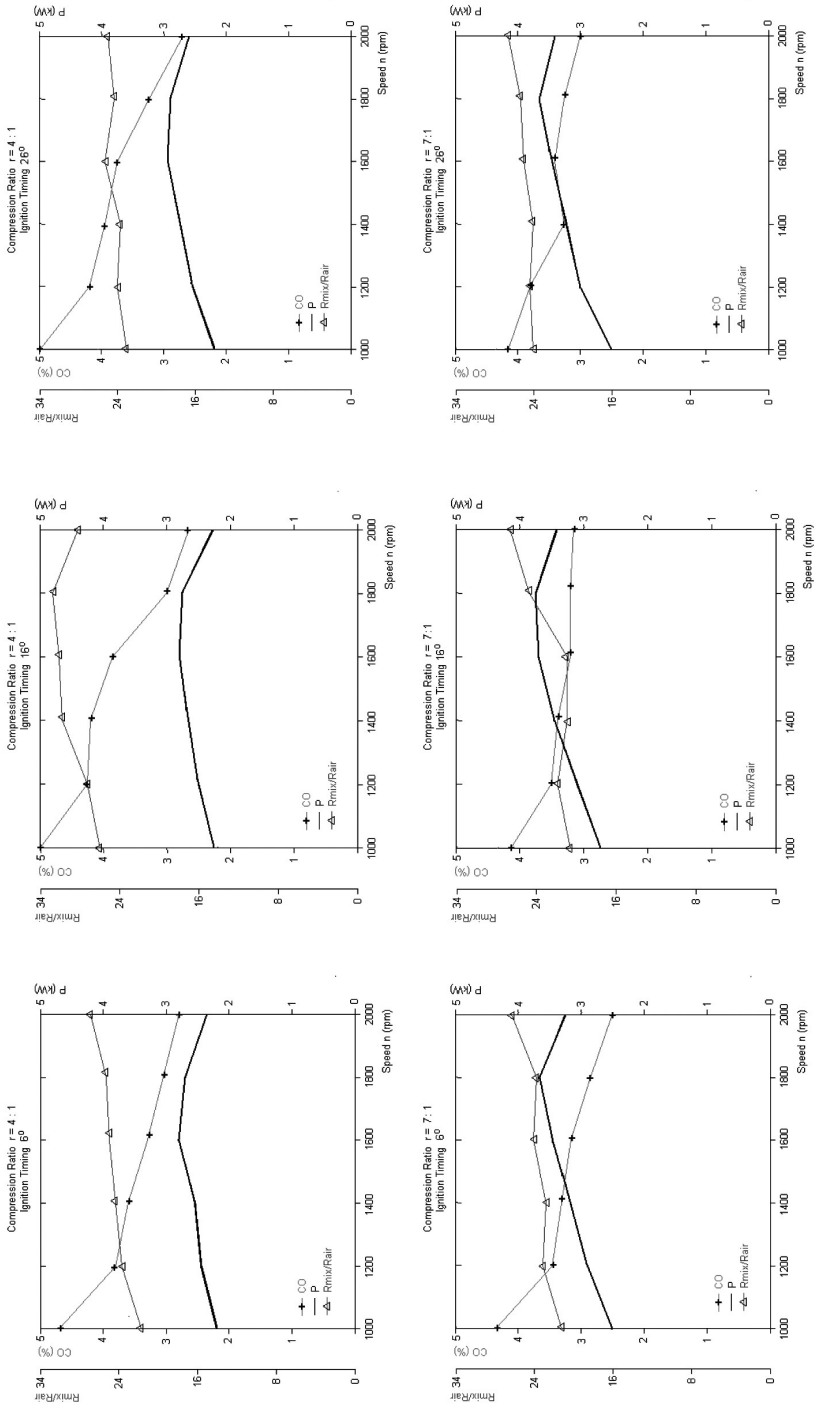
4. Μετρήσεις και αξιολόγηση

Ταυτόχρονες μετρήσεις των καυσαερίων της βενζινομηχανής έγιναν με τη χρήση αναλυτή καυσαερίων και του μικρομηχανικού αισθητήρα. Τυπική απόκριση του μικροαισθητήρα παρουσιάζεται στο Σχήμα 2, όπου ο αισθητήρας αρχικά σε περιβάλλον αέρα υπόκειται ξαφνικά στην επίδραση του μίγματος αερίων όπως αυτά εξέρχονται από τη μηχανή και αφού ψυχθούν σε θερμοκρασία 30-40°C. Η απόκριση του αισθητήρα αυτού είναι της τάξεως μερικών δευτερολέπτων κρίνεται ικανοποιητική για τη συγκεκριμένη εφαρμογή όπως επίσης και η ευαισθησία του $R_{mix}/R_{air} \approx 25$ για μίγμα CO:3.2%, CO₂:3.7%, O₂:12.26%, HxCy 138ppm και NOx(-).



Σχήμα 2. Χρονική απόκριση του αισθητήρα.

Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για δύο χαρακτηριστικές σχέσεις συμπίεσης $\gamma = 4$ και $\gamma = 7$ και γωνίες προπορείας της μηχανής $\varphi = 6^\circ$, $\varphi = 16^\circ$, (η προτεινόμενη από τον κατασκευαστή για το συγκεκριμένο καύσιμο και $\varphi = 26^\circ$). Για κάθε ζεύγος γ , φ έγινε πλήρης προσδιορισμός της μεταβολής ισχύος με την ταχύτητα $P = P(n)$ υπό ταυτόχρονη μέτρηση των καυσαερίων. Τυπικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 3, όπου φαίνεται σαφής συσχέτιση του αδιάστατου λόγου P_{mix}/R_{air} του αισθητήρα με την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO%, δηλαδή ο αδιάστατος λόγος αυξάνεται με τη μείωση της περιεκτικότητας των καυσαερίων σε CO%.



Σχήμα 3. Τυπικές μετρήσεις σύστασης CO στα καυσάεα και αισθητήρα για διαφορετικές παραμέτρους λειτουργίας της MEK

5. Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι ο ολοκληρωμένος μικρομηχανικός αισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αξιοπιστία για την αξιολόγηση των καυσαερίων μηχανών εσωτερικής καύσης. Για την ακριβέστερη αξιολόγηση της μηχανής και τη βελτιστοποίησή της απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση, τόσο όσον αφορά τον αισθητήρα αυτόν καθαυτόν όσο και των συνθηκών καύσης εντός της μηχανής, καθώς και των πιθανών παραμέτρων του συστήματος.

Βιβλιογραφία

- Kihara N., Tsukamoto T., Matsumoto K., Ishida K., Kon, M., and Murase, T., (2000), Real-time, on board measurement of mass emission of Nox, fuel consumption, road load, and engine output for diesel vehicles SAE 2000 World Congress, Detroit, MI, USA.
- Office of Technology Assessment of the US Congress (1995), Environmental Policy Tools: A User's Guide OTS-ENV-634, Washington DC: US Printing Office, September 1995
- Heather L, MacLean, Lester B. (2003), Lave: Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies, Progress in Energy & Combustion Science issue 29(2003) p.p1-69
- Lee J.S., Park J. W., Shin S. M. (1997), Fabrication of a micro catalytic gas sensor using thin film process and Si anisotropic etching techniques, Sensors and Actuators B 45, 265-269
- Tsamis C., Tserepi A. and Nassiopoulou A.G, Fabrication of suspended porous silicon micro-hotplates for thermal sensor applications, Physica Status Solidi (a), Vol. 196, Issue 2, April 2003
- Tsamis C., Nassiopoulou A. G. and Tserepi A., "Thermal properties of suspended porous silicon micro-hotplates for sensor applications", Accepted Sensors and Actuators A
- Tserepi A., Tsamis C., Kokkoris G., Goggolides E. and Nassiopoulou A. G., Fabrication of suspended thermally insulating membranes using front-side micromachining of the Si substrate: characterization of the etching process, J. of Micromech. and Microeng, Vol.13, p. 323-329, March 2003.
- Caton J., Effects of Burn Rate Parameters on Nitric Oxide Emissions for a Spark Ignition Engine: Results From a Three-Zone, Thermodynamic Simulation, SAE 2003-01-0720.
- Dong M., Chen G. T., Xu M., Daniels C. F., A Preliminary CFD Investigation of In-Cylinder Stratified EGR for Spark Ignition Engines, SAE 2002-01-1734.
- Kuwahara K., Ueda K., Ando H., "Mixing Control Strategy for Engine Performance Improvement In a Gasoline Direct-Injection Engine", SAE 980158.
- Sodrae J. R., A Parametric Model for Spark Ignition Engine Turbulent Flame Speed, SAE 982920.
- Kubach H., Gindele J., Spicher U., Investigations of Mixture Formation and Combustion in Gasoline Direct Injection Engines, SAE 2001-01-3647.

Arcoumanis C., Kampanis N., Kometani S., Kato R., Flow, Combustion and Emissions in a Five-Valve research Gasoline Engine, SAE 2001-01-3556.

Hatziapostolou A., Raptis G., Mourlas A., Lekakis J, Antoniou S., CFD modeling of the in-cylinder flow and combustion in a variable-compression laboratory Otto engine, 2007

Global active noise control using adaptive algorithms

*S.M. Potirakis
Department of Electronics
TEI of Piraeus*

*M. Rangoussi
Department of Electronics
TEI of Piraeus*

*D. Lolos
Department of Electronics
TEI of Piraeus*

*S. Savaidis
Department of Electronics
TEI of Piraeus*

Abstract

Acoustic Noise Control (ANC) –also referred to as cancellation or reduction– is an active research area because noise affects all aspects of personal, professional and social life and has a direct impact on human health. Passive noise control solutions include installation of panels of absorbing material or the use of various types of headphones and ear protection, each coming with its advantages and disadvantages. For the frequency range below 500 Hz, however, passive control is ineffective; active control solutions are sought instead. Apart from the frequency range of interest, another major parameter is the open or closed type as well as the dimensions of the room where noise control is required. Moreover, noise sources exhibit spectral and time domain characteristics that vary over time, depending on the underlying noise-producing activity. The acoustics of a large room may vary as people or equipment move inside. Due to these factors, existing solutions of proven success for the ANC of small rooms, e.g., of car or other vehicle cabins, cannot be exploited for large rooms or near-free-field spaces. Noise control of the later, or global ANC, poses a series of challenging research problems, including sound wave propagation in large/open spaces, non-stationarity of the sources and

dimensionality of the solution space. A combination of passive control techniques for the mid-high and high frequencies with active control for low frequencies is the approach we propose here. For the active control part, we study comparatively alternative adaptive algorithms that optimize the proposed control structure and present their relative merits under different application scenarios.

Key Words: *global active noise control, industrial noise reduction, adaptive filter algorithms, FxLMS.*

Περίληψη

Ο ενεργός έλεγχος του ακουστικού θορύβου (Active Noise Control, ANC), αναφερόμενος και ως ακύρωση ή μείωση του θορύβου, αποτελεί ερευνητική περιοχή μεγάλου ενδιαφέροντος διότι ο ακουστικός θόρυβος επηρεάζει κάθε ατομική, επαγγελματική ή κοινωνική δραστηριότητα του ανθρώπου, έχει δε άμεσες επιπτώσεις στην υγεία του. Τεχνικές λύσεις παθητικού ελέγχου του θορύβου περιλαμβάνουν την εγκατάσταση ηχοαπορροφητικών πετασμάτων καθώς και τη χρήση διαφόρων τύπων ακουστικών ή ωτασπίδων, καθεμιά με τα υπέρ και τα κατά της. Στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων, εντούτοις, δηλαδή κάτω από τα 500 Hz, ο παθητικός έλεγχος δεν λειτουργεί, οπότε καταφεύγουμε στην αναζήτηση λύσεων ενεργού ελέγχου. Εκτός από την περιοχή συχνοτήτων όπου επιζητείται ο έλεγχος του θορύβου, σημαντικές παράμετροι του προβλήματος είναι και ο ανοικτός ή κλειστός τύπος καθώς και οι διαστάσεις του θεωρούμενου χώρου. Επιπλέον, οι πηγές θορύβου συχνά επιδεικνύουν χαρακτηριστικά μη στάσιμης φασματικά ή χρονικά συμπεριφοράς, εξαρτώμενης από τη δραστηριότητα που παράγει το θόρυβο. Η ακουστική ενός μεγάλου χώρου ενδεχομένως μεταβάλλεται καθώς το προσωπικό ή ο εξοπλισμός μετακινούνται στο εσωτερικό του. Εξαιτίας των παραγόντων αυτών, οι υπάρχουσες και αποδεδειγμένα αποδοτικές τεχνικές λύσεις για κλειστούς χώρους μικρών διαστάσεων, όπως π.χ. οι καμπίνες αυτοκινήτων ή άλλων οχημάτων, δεν μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλους ή σχεδόν ανοικτούς χώρους. Ο έλεγχος τέτοιων χώρων, ή σφαιρικός έλεγχος, θέτει μια σειρά από ενδιαφέροντα ερευνητικά ερωτήματα, όπως η διάδοση των ηχητικών κυμάτων σε μεγάλους / ανοικτούς χώρους, η μη στασιμότητα του θορύβου και οι διαστάσεις της λύσης. Στην παρούσα εργασία προτείνουμε τον συνδυασμό παθητικών λύσεων για τις μεσαίες και υψηλές συχνότητες με ενεργό σύστημα ελέγχου για τις χαμηλές συχνότητες. Διερευνούμε συγκριτικά εναλλακτικούς προσαρμοστικούς αλγόριθμους που βελτιστοποιούν την προτεινόμενη δομή ελέγχου και παρουσιάζουμε τα συγκριτικά πλεονεκτήματα καθενός σε διαφορετικές εφαρμογές.

Λέξεις Κλειδιά: *Σφαιρικός, Ενεργός Έλεγχος του Θορύβου, μείωση του βιομηχανικού θορύβου, προσαρμοστικοί αλγόριθμοι φίλτρων, FxLMS.*

1. Introduction

Acoustic noise reduction, cancellation or control, as it is often called, can be achieved by a variety of methods, including passive and active solutions. Passive noise cancellation can be both effective and cost efficient for broadband noise of high and mid-high frequencies, (Kuo et al., 2003). A typical solution requires the installation of panels invested with porous and oscillating absorbing materials. For low frequencies, however, (below 500 Hz), passive noise cancellation becomes inefficient in terms of obtained results, required space and incurred cost. Research is directed towards Active Noise Control (ANC) methods that offer an efficient solution (Kuo and Morgan, 1999).

An ANC system is an electroacoustic or/and electromechanical control system that is based on the superposition principle to cancel the noise. An antinoise signal, of equal amplitude but opposite phase to the noise, is generated by an electronic system. The antinoise is superimposed to the noise signal, resulting in the cancellation of the primary noise within a specific volume around the noise sensor (microphone) called the "quiet zone". Although active control is seen to outperform passive approaches, practical exploitation of ANC in products is restricted to small room applications, like headphones, air ducts, car interiors or small aircraft cabins.

Global ANC aims at noise control in large or near-free-field areas, with numerous noise sources of various types. The presence of multipath sound propagation, of dynamically changing acoustic characteristics in a part of them, of reverberation and room modes domination (induced resonance) with incoherence to reference signals, renders global ANC a challenging field of great practical interest. Despite the intense research effort on ANC over the last decade, global ANC still represents an area of open questions, both in its theoretic and practical aspects.

Acoustic noise in large rooms or near-free-field areas can be addressed in a variety of approaches, ranging from self-protective equipment for the personnel (earplugs, passive protective ear caps, active noise reduction (ANR) headphones) to the acoustic isolation of the noise sources by passive (physical) or active inhibitors, (Sawa et al., 1997). Multichannel ANC systems are currently drawing the attention of researchers, in an attempt to generalize already established results for small rooms. The elementary ANC idea, either in its feed-forward or in its feedback implementation is developed for small rooms using a single channel approach. What is sought, in order to cover a wider area, is the expansion of this approach into a solution using multiple control channels and multiple sets of sensors (microphones) and actuators (loud-speakers). As it has early been realized that direct expansion of the small room, single channel solution to the multi-channel case would require the installation of impractically many sets of sensors and actuators, along with a rather complicated control structure, alternative approaches have been investigated. These are either linear – mostly based on adaptive filters – or non-linear.

2. ANC control structures

Two major control structures are developed for ANC, each depending on the characteristics of the disturbance (noise) to be controlled:

- **Feedback ANC:** The system output itself is modified by the controller (e.g., damping). Noise reduction is achieved even for broadband, random disturbances.
- **Feedforward ANC:** An antinoise signal is calculated adaptively and superimposed to the system output in order to cancel the disturbance (noise) within a specific zone. This structure is appropriate for deterministic types of noise (e.g., sums of harmonics, etc.).

The feedforward ANC structure may be either broadband or narrowband. Broadband adaptive feedforward control requires a control field (e.g., acoustic) reference sensor while narrowband adaptive feedforward control requires a reference sensor that is not influenced by the control field (e.g., tachometer). In general, feedforward ANC is more robust than feedback ANC, particularly when the feedforward system has a reference input isolated from the secondary antinoise source.

2.1. Outline of the feedforward ANC structure

The core control structure of a typical feedforward ANC system is shown in figure 1. The reference noise signal, $x(n)$, drives an adaptive digital (discrete-time) filter, here denoted by $W(z)$, to produce the antinoise signal $y(n)$. This is transformed to an acoustic signal via a transducer and acoustically / mechanically superimposed with the actual noise disturbance signal or primary noise, $d(n)$, to cancel $d(n)$ within a specific area called "the quiet zone". The filter coefficients are optimised dynamically to minimize the power of the error noise signal, $e(n)$, remaining in the quiet zone after cancellation and measured by a sensor. The reference noise $x(n)$ may be either sensed directly from the noise source by a second sensor, or generated within the ANC system, based on information obtained from the noise source via non-acoustic sensors (rotation period, speed, etc.)

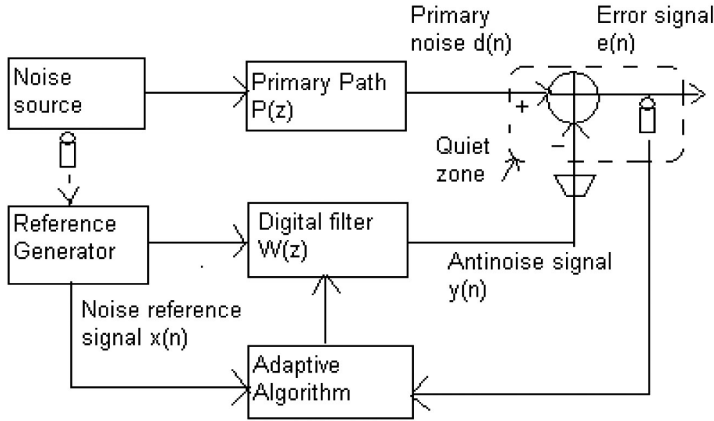


Figure 1: Block diagram of an ANC system (feed-forward type). A loudspeaker produces the quiet zone. Two microphones sense (a) the error signal $e(n)$ and (b) the noise source.

Experimental results indicate that the dimensions of the quiet zone produced by a secondary source are related to the source wavelength by a 1 over 10 ratio approximately, (Elliott et al., 1988). As an example, cancellation of a 100 Hz noise produces a quiet zone of a 34 cm diameter approximately, while for a 1000 Hz noise this reduces to a 3.4cm diameter. Apart from the quiet zone size problem, the number and spacing density of the actuators render this approach impractical. Indeed, approximately 54 actuators spaced every 13.6cm are necessary to produce a 1m² quiet zone in the frequency of 500 Hz!

In addition, analysis shows that the maximum acceptable spacing density, d_{\max} , between the transducers is related to the maximum frequency f_{\max} of the noise that should be controlled. Maximum distance between actuators should not exceed half the wavelength of the corresponding acoustic wave, as shown in equation (1):

$$d_{\max} \leq \frac{c}{2 \cdot f_{\max}} \quad (1)$$

where c denotes the speed of sound, (Kuntz and Rabenstein, 2004). For $c = 340$ m/sec and $f_{\max} = 500$ Hz this results in a d_{\max} of 34 cm, which means that approximately 9 transducers are required to control one square meter of a plane.

The performance of ANC can be determined by frequency-domain analysis of the residual error signal $e(n)$. The Power Spectral Density of $e(n)$ is given by

$$S_{ee}(\omega) = [(1 - C_{dx}(\omega))]S_{dd}(\omega) \quad (2)$$

where $C_{dx}(\omega)$ is the magnitude-squared coherence function of the two wide-sense stationary random processes $x(n)$ and $d(n)$ and $S_{dd}(\omega)$ is the PSD of $d(n)$. Coherence is

indispensable in order to measure the performance of an ANC system. For a small residual error it is necessary to obtain high coherence values close to one, $C_{dx}(\omega) \approx 1$, in the range of frequencies where there is significant noise power. The maximum noise reduction of an ANC system at frequency ω is given by $-10\log_{10}[1 - C_{dx}(\omega)]$, in decibels.

Another critical factor for the performance of a feedforward ANC system is the time delay incurred by the system between the time point when the reference signal is picked up by the reference sensor and the time point when the correct output is produced by the cancelling loudspeaker. Calculation times are not negligible. If such a computational (electronic) delay becomes longer than the acoustical delay from the reference microphone to the cancelling loudspeaker, then the performance of the ANC system is expected to be degraded. That is because the controller response becomes non-causal when the computational (electronic) delay becomes longer than the acoustical delay. A causal ANC control system is capable of cancelling broadband random noise while a non-causal system is effective only for narrowband or periodic noise.

2.2. Secondary path model fitting

A more detailed look into the ANC structure of figure 1 shows that the acoustic signal undergoes a series of transformation in its way through the digital filter and the loudspeaker to the error microphone. These include the D/A and A/D blocks and related filters involved in the transduction, the acoustic path from loudspeaker to error microphone itself, the power amplification and the loudspeaker and microphone transfer functions – considered as non-ideal. The total effect of these factors is modelled by a transfer function $S(z)$, called the "secondary path" and shown right after the digital filter $W(z)$ in figure 2.

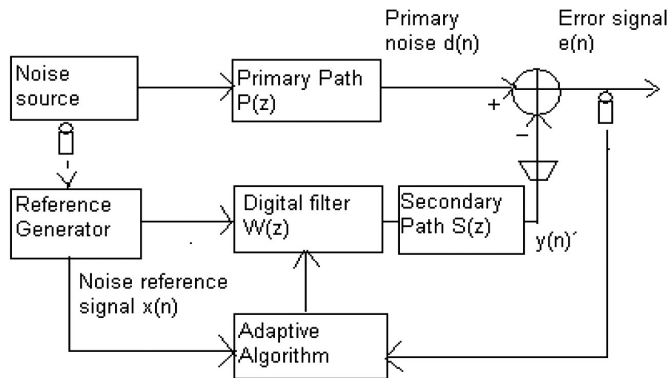


Figure 2: Secondary path transfer function $S(z)$ accounts for D/A and A/D blocks and related filters, acoustic path from loudspeaker to error microphone, power amplification and

the loudspeaker and microphone transfer functions.

To account for the presence of $S(z)$, the reference noise signal $x(n)$ should be filtered by an estimate of $S(z)$, because $S(z)$ itself is unknown. Secondary path transfer function modelling is a critical issue for the successful noise cancellation, (Kuo and Morgan, 1999). The algorithm used to estimate the filter parameters is the Filtered- x LMS (FxLMS). This belongs to the Least Mean Square (LMS) family of stochastic gradient minimization algorithms. The normalized form of this algorithm, NFXLMS, is used in practice, in order to render the algorithm convergence speed and stability independent from the filtered signal power. The step size of the adaptation is normalized in NFXLMS. Off-line modelling (system identification) of $S(z)$ is possible for time invariant secondary paths, such as is the case when there is no significant movement of machinery and/or people in the target area. The Maximum Length Sequence (MLS), proposed in (Rife and Vanderkooy, 1989) for impulse response measurement of Linear and Time Invariant (LTI) systems, is appropriate for use as an input signal at this step, thanks to its property of allowing for exact measurement of long impulse responses.

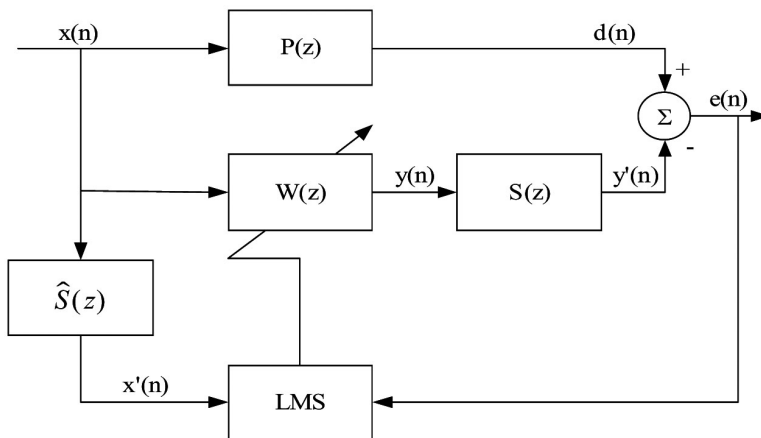


Figure 3. Filtered- x LMS: The reference noise signal $x(n)$ is filtered by an estimate of $S(z)$, $\hat{S}(z)$.

Under the more realistic assumption of a time-varying secondary path, adaptive methods are required for the secondary path modelling. An existing adaptive solution is based on the virtual microphones method, which – due to extrapolation – "has the potential to adapt to environmental changes and observer movements," (Kestell and Hansen, 2001). On-line secondary path modelling may be employed instead, (Kuo and Morgan, 1999). A variety of established system identification methods may be exploited in the later case, such as those based on white noise inputs. Non-linear approaches are also worth examining at this point, as they offer the potential of adaptation without an explicit

system modelling, (Potirakis et al., 1999).

2.3. Feedback Effects

The ANC system illustrated in figure 1 uses a reference microphone to pick up the reference noise $x(n)$, processes this input with an adaptive filter to generate the antinoise signal $y(n)$ to cancel the primary noise acoustically in the quiet zone and uses an error microphone to measure the performance (error) in order to update the adaptive filter coefficients. Unfortunately, the loudspeaker generates plane waves propagating omnidirectionally, and therefore a feedback effect is generated: the antinoise signal not only cancels primary noise but also affects the reference microphone, resulting in a corrupted reference signal $x(n)$. The coupling of the acoustic wave from the cancelling loudspeaker to the reference microphone is called acoustic coupling or acoustic feedback.

Feedback introduces poles in the response of the model and thus results in potential instability if the gain of this feedback loop becomes too large. This problem has been extensively studied in the ANC literature and several solutions have been proposed, including the use of directional microphones and loudspeaker or the use of neutralization filters that cancel the feedback mechanism.

The FxLMS algorithm assumes that no acoustic feedback is present; yet this is not realistic in practical systems. Figure 4 shows the modified block diagram of an ANC system that includes feedback effect from the secondary source to the reference sensor. $u(n)$ denotes the primary noise source, $x(n)$ is the signal picked up by the reference sensor, and $F(z)$ is the feedback path transfer function from the output of adaptive filter $W(z)$ to the reference sensor. $F(z)$ reflects all the characteristics of the secondary path $S(z)$, and will therefore render the reference signal nonstationary during adaptation. To address this problem, a small adaptation step size is required. The steady-state transfer function of $W(z)$ is given by

$$W^{\circ}(z) = \frac{P(z)}{S(z) + P(z)F(z)} \quad (3)$$

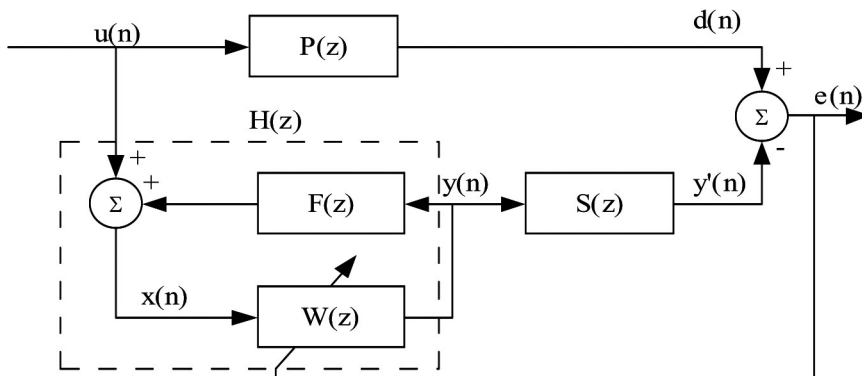


Figure 4. Block diagram of an ANC system with feedback.

From figure 4, the open-loop transfer function associated with the feedback loop is given by $H_{OL} = W(z)F(z)$. When the adaptive filter $W(z)$ converges to the noiseless optimal solution of equation (3), $H_{OL}(z)$ becomes

$$H_{OL} = \frac{P(z)F(z)}{S(z) + P(z)F(z)} \quad (4)$$

This open-loop transfer function can be used to test the stability of the system. Instability will occur if the open-loop phase lag reaches 180° while the open-loop gain is greater than unity.

Among possible solutions, the Filtered-u LMS algorithm is used in practice, where $F(z)$ is modeled by a linear model of the ARMA type and standard ARMA parameter estimation methods (recursive) are employed. However, global convergence and stability of the FuLMS recursive algorithm have not yet been proven formally, (Eriksson, 1991).

3. Conclusion

The alternative control structures investigated in the previous paragraph have been introduced in the Global ANC system design methodology proposed in (Potirakis, 2005) and specifically in the system identification / modeling part of it. The Global ANC design methodology for public and industrial environments is based on the innovative idea of exploiting the best of different noise reduction methods, and placing the active ones under a self-evaluated and self-optimised competitive control structure.

The main advantages of the proposed global approach include:

- MLS-based modelling and/or the non-linear, white noise based system identification for secondary path modelling,
- The possibility for extensive search through simulation for the optimal distribution of sensors and actuators over the target area,
- The use of special acoustic configurations and numerical methods for expanding the effectiveness of each channel of the ANC system.

Furthermore, the proposed approach is currently applied in a real world (not simulated) ANC development project, in the Department of Electronics, TEI Piraeus, Greece, for a large, textile engineering industrial room. The alternative control structures presented in this work have been comparatively evaluated within this project framework. Conclusions drawn from the comparative evaluation of the adaptive algorithms lead us to adopt the feedforward ANC structure with the FxLMS algorithm for adaptation, mainly thanks to its inherent stability properties. Moreover, the feedback structure is adopted for narrowband noise sources, typically present in actual plants with rotating machinery parts.

Finally, the non-linear minimization methods evaluated within the scope of the same project, based on fuzzy logic or on artificial neural network structures, have shown performance comparable to the linear modeling methods, and are therefore considered as viable alternatives to the linear algorithms. Further research is aimed towards the efficient implementation of the chosen control structures on real time DSP processor hardware.

References

- [1] Elliott, S.J., Joseph, P., Bullmore, A.J. and Nelson, P.A. (1988) 'Active cancellation at a point in a pure tone diffuse sound field', *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 120, pp. 183–189.
- [2] Eriksson, L.J., Development of the filtered-U algorithm for active noise control, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 89, no. 1, January 1991.
- [3] Kestell, C.D. and Hansen, C.H. (2001) 'Active noise control with virtual sensors', *Proceedings of the 8th International Congress on Sound and Vibration*, Hong Kong, China, July.
- [4] Kuntz, A. and Rabenstein, R. (2004) An approach to global noise control by wave field synthesis, *Proceedings of the 12th European Signal Processing Conference*, Vienna, Austria, September.
- [5] Kuo, S.M. and Morgan, D.R. (1999) 'Active noise control: a tutorial review', *Proceedings of the IEEE*, Vol. 87, No. 6, pp. 943–973.
- [6] Kuo, S.M., Kong, X. and Gan, S.W. (2003) 'Applications of adaptive feedback active noise control system', *IEEE Trans. on Control Syst. Technology*, Vol. 11, No. 2, pp. 216-220.
- [7] Potirakis, S.M., Alexakis, G.E., Tsilis, M.C. and Xenitidis, P.J. (1999) Time-domain modeling of practical electroacoustic transducers, *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol. 47, No. 6, pp. 447-468.
- [8] Potirakis, S.M. and Rangoussi, M., A system development method for global active noise control, *Proceedings IWSSIP 2005*, Chalkida, Greece, Sept. 2005, pp. 375– 379.
- [9] Rife, D. and Vanderkooy, J. (1989) Transfer-function measurement with maximum-length sequences, *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol. 37, No. 6, pp.419-443.
- [10] Sawa, K., Sugiyama, T., Owaki, M., Sugiki, Y. (1997) Noise barrier using active noise control for electric power facilities: experimental study in the outdoors, *Proceedings of the Intl. Conference International Symposium Active Acoustic & Vibration*, Budapest, Hungary, August, pp.1113-1125.

A Biocybernetic Model Based on a Hybrid Fuzzy Rules Approach for Medical Diagnosis

*Stavroula Barbounaki
Electrical and Computer Engineer -
Biomedical Engineer, MSc, PhD
sbarb@teipir.gr*

Abstract

The aim of developing a fuzzy rule based model is to provide the appropriate decision making framework that can support anaemia medical diagnosis. This research focuses on the development of a fuzzy expert system for anaemia diagnosis. There is no automated system that can utilise fuzzy logic in anaemia diagnosis. A prototype system has been designed and developed on a personal computer using the Matlab technical computing language for the Microsoft Windows TM environment. The system has also been evaluated after consulting a group of experts by means of a questionnaire driven analysis of their views. The results of the prototype evaluation were satisfactory, thus justifying the development of a fuzzy expert system that can also support hybrid decision making, in the sense that models used for anaemia diagnosis contain crisp as well as fuzzy variables. The use of the system simplifies anaemia diagnosis and classification because it can incorporate the linguistic terms which are normally produced by medical experts during the diagnosis.

Περίληψη

Βασικός σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανάπτυξη ενός βιοκυβερνητικού μοντέλου βασισμένου στην έκφραση κανόνων με χρήση ασαφούς λογικής, για τη διάγνωση και τον καθορισμό του τύπου της αναιμίας. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία αυτή αφορά στη σχεδίαση και την ανάπτυξη ενός έμπειρου πρωτότυπου και αυτοματοποιημένου συστήματος διάγνωσης της αναιμίας. Η υλοποίηση του συστήματος έγινε σε περιβάλλον Matlab για Windows και βασίστηκε στην αποτύπωση της γνώσης έμπειρων και εξειδικευμένων ιατρών σε θέματα αναιμίας, αναπαριστώντας λεκτικούς όρους, κρί-

σεις, εκτιμήσεις και κανόνες διάγνωσης και κατηγοριοποίησης. Το σύστημα προτείνει μια υβριδική μεθοδολογική προσέγγιση με χρήση ασαφούς λογικής, για τη διάγνωση διαφόρων παθήσεων, αίροντας την υποκειμενικότητα των ιατρών, βασιζόμενο στην εμπειρία και την γνώση τους. Η αξιολόγηση και η αποτίμηση του συστήματος κατέδειξαν ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο ως προς την απόδοσή του όσο και ως προς την αποτελεσματικότητά του.

Key Words: *Fuzzy Logic, Expert System, Anaemia Medical Diagnosis, Hybrid Decision Making*

1. Introduction

The importance of effective anaemia diagnosis is attributed to the fact that the characterization and the accurate determination of anaemia's type in children influence the decision making process and specify patients treatment planning. Difficulties to characterise anaemia and classify its types are found in the way doctors perceive a patient's clinical data based on their experience and the way they express their beliefs with regard to the outcome of their judgment. As a result medical doctors may come to different or even contradicting conclusions with respect to a patient's situation.

Anaemia can be seen as both a primary pathological disease and as a secondary symptom to other medical diseases. Anaemia is defined as a reduction in red blood cell (RBC) mass or as a lowered concentration of haemoglobin in the blood, resulting in a decrease in the oxygen-carrying capacity of it. The exact range of normal values for a given anaemia factor is not well-defined among the medical community. Hence, values found that are near the upper or lower normal limits can be misinterpreted, possibly leading to false diagnosis. Prompt diagnosis is based on understanding the classification of anaemia, the associated presenting symptoms and the proper ordering and interpretation of laboratory results. The characterization as well as the accurate determination of the type of anaemia in children is very important, as it influences the decision making process and specifies patients treatment planning.

Fuzzy expert systems are rule-based systems that use fuzzy logic instead of boolean logic in their knowledge base. They reach conclusions by taking into consideration user inputs that are analysed with the application of the fuzzy inference process [1]. The knowledge base contains knowledge that is modelled with the use of fuzzy rules and fuzzy variables that are defined with their membership functions. The goal of fuzzy systems is to accommodate the subjectivity that arises from differing and sometimes contradicting views of decisions makers. Not necessarily all experts hold the same opinion regarding the estimation of a current given situation nor do they definitely draw the same conclusions. This is the case with anaemia diagnosis where the evaluation of the clinical condition of a

patient and the corresponding diagnosis result from experts' partially true perceived facts. The resolution of such uncertain and subjective problems is achieved with the application of fuzzy knowledge-based expert systems that apply to certain reasoning and aggregation strategies to produce useful decisions [2].

The purpose of this research is to apply fuzzy logic principles and techniques in order to implement and evaluate a prototype fuzzy expert system which can effectively facilitate the diagnosis of anaemia. The system presented in this paper is designed to analyse medical data and to suggest whether there is a case of anaemia as well as to determine the type of anaemia. The proposed approach investigates the use of fuzzy logic in anaemia diagnosis for children older than 0.5 year of age. Newborns are excluded from our study, since immediately after their birth, the Hb concentration presents perturbations. The system uses knowledge about anaemia represented as fuzzy rules and allows for personal medical examinations' data to be analysed. The proposed approach suggests the use of fuzzy logic based rule based systems in medical diagnosis problems as well as it provides the theoretical and the technological foundation for considering and resolving contradicting diagnoses resulting from different medical experts. By using the developed system, which uses linguistic terms for representing concepts and values found near the upper or lower normal limits, the medical community can avoid false diagnoses thus tackling misinterpretations and contradictions of the exact range of normal values of laboratory results.

This study proposes that the proposed system cannot only help for anaemia diagnosis but also suggests an approach and methodology for tackling medical diagnosis problems in general.

The paper is organized as follows. In Section 2, we present a brief review of the literature on applications of artificial intelligence (AI)/expert system (ES) technology in medicine. Section 3 describes the development of the system based on the 11-stage proposed system development approach for fuzzy expert systems. Section 4 concludes the paper and discusses further enhancements of the system.

2. Fuzzy Logic in Medical Diagnosis

Many published studies focus on applications of Artificial Intelligence and Experts Systems technology which support medical diagnosis ([3], [4], [5]). Fuzzy expert systems have found widespread use in engineering, particularly in control systems. The advantages of these systems over conventional production rule-based expert systems may be characterised as follows [2, 6]:

- > fuzzy sets neatly symbolise natural language terms used by experts;
- > since the expert knowledge captured in "IF... THEN" statements is often not naturally true or false, fuzzy sets afford representation of the knowledge in a smaller number of rules; and
- > smooth mapping can be obtained between input and output data.

Medical diagnosis is a very complex problem. Medical experts are faced with patients who have their own personal experiences, knowledge from books, and mental endowment. The doctors analyse patients' symptoms, combine these with the patients' medical history, physical examination and laboratory findings and then diagnose the disease. Making errors and coming up with wrong conclusions is human and doctors are human beings. Thus, medical decision-making and particularly the establishment of a diagnosis is an error-prone process [7]. The context of diagnosis problem is typified by clinical diagnosis, whereby an expert is attempting to classify a patient into a disease category(ies) using limited vague knowledge consisting primarily of elicited linguistic information. This context arises in many problem domains. The medical context is an extreme case whereby most or even all available information is of a linguistic nature when patients are first seen, and the diagnosis problem is severe because of the possibility to confuse different diseases in their early developmental stages [8].

Recalling from [9], "Medical Science, whose range is as vast as its history is old, has led to the formation of a specific style in the grasping of its problems and of a specific way of treating medical phenomena, i.e. to a specific type of thinking". This assumption is exemplified in [7]: "Even the very subject of medical cognition differs in principle from that of scientific cognition. A scientist looks for typical, normal phenomena, while a medical man studies precisely the atypical, abnormal, morbid phenomena. And it is evident that he finds on this road a great wealth and range of individuality of these phenomena which form a great number without distinctly delimited units, and abounding in transitional, boundary states. There exists no strict boundary between what is healthy and what is diseased, and one never finds exactly the same clinical picture again. But this extremely rich wealth of forever different variants is to be surmounted mentally, for such is the cognitive task of medicine. How does one find a law for irregular phenomena? This is the fundamental problem of medical thinking. In what way should they be grasped and what relations should be adopted between them in order to obtain a rational understanding?"

Medicine was one of the first fields in which Zadeh's fuzzy set theory was applied [10, 11]. The theory was used to deal with vagueness in perceptions of reality phenomena. Fuzzy logic based system was developed by (Alayon et al., 2007) [12]. The system collects the available expert knowledge about cortical malformations and assists the medical expert to make the diagnosis and to reach the correct conclusion. The proposed system allows the study to capture and model the influence of the various factors that take part in the decision. Furthermore, (Polat and Gunes, 2007) [13], proposed that fuzzy weighting can be used within a decision support system that can assist in diagnosis of hepatitis disease, while (Sengur and Turkoglu, 2007) [14] proposed a fuzzy system for heart disease diagnosis. Furthermore, (Reyes and Sipper, 1999; Sahan et al. 2007) [15, 16] developed a fuzzy evolutionary system and a machine learning based system utilising fuzzy logic respectively for breast cancer diagnosis. Fuzzy logic is also applied in [17], in image processing for supporting medical diagnosis, in [18] for supporting thyroid diagnosis and in [19] for the analysis of diabetic neuropathy.

3. Development of the system

The prototype system drawing on the fuzzy logic theory is designed so that it can equally handle quantitative and qualitative knowledge thus supporting hybrid decision making. This section, discusses the proposed methodology for the development of the system. The following figure provides an overview of the methodology.



Figure 1: The Development Methodology of a Prototype Fuzzy Expert System for Anaemia Diagnosis.

Essentially, there are 9 fundamental phases in the development of a fuzzy expert system that consist of a combination of the fuzzy inference process and the 5-stage development methodology [20]. In this study, the fuzzy inference process proceeds in six steps that is a common procedure for fuzzy inference which can be demonstrated in several past studies [21, 22]. The preference of this approach with respect to the system's development is based on previous experience and lessons learnt from the development of several knowledge based systems such as [23, 24]. It is easy to apply and will provide valuable guidance for developing the proposed system. Nine phases in the development are outlined in Table 1.

Table 1: Eleven phases in the development of the system

Phases	Objectives
1	Identify the domain factors and define membership functions and fuzzy sets
2	Develop the Fuzzy Rules Set
3	Fuzzification of Medical Data
4	The Fuzzy Inference Engine
5	Perform defuzzification
6	Compare the overall rating for all anaemia's type
7	The Architecture Fuzzy Expert System
8	Building the Prototype System
9	Evaluation of the System

With reference to Table 1 above, phases 1–6 (fuzzy inference processing) are designed to reach a crisp solution to any problem involving a crisp-to-fuzzy transformation (“fuzzification”), an inference mechanism that applies fuzzy rules, and a fuzzy-to-crisp transformation (“defuzzification”). Phases 7–9 are used to construct and evaluate the system following the [20] 5-stage methodology for information system development.

The overview of the approach for building the systems is shown in the following figure:

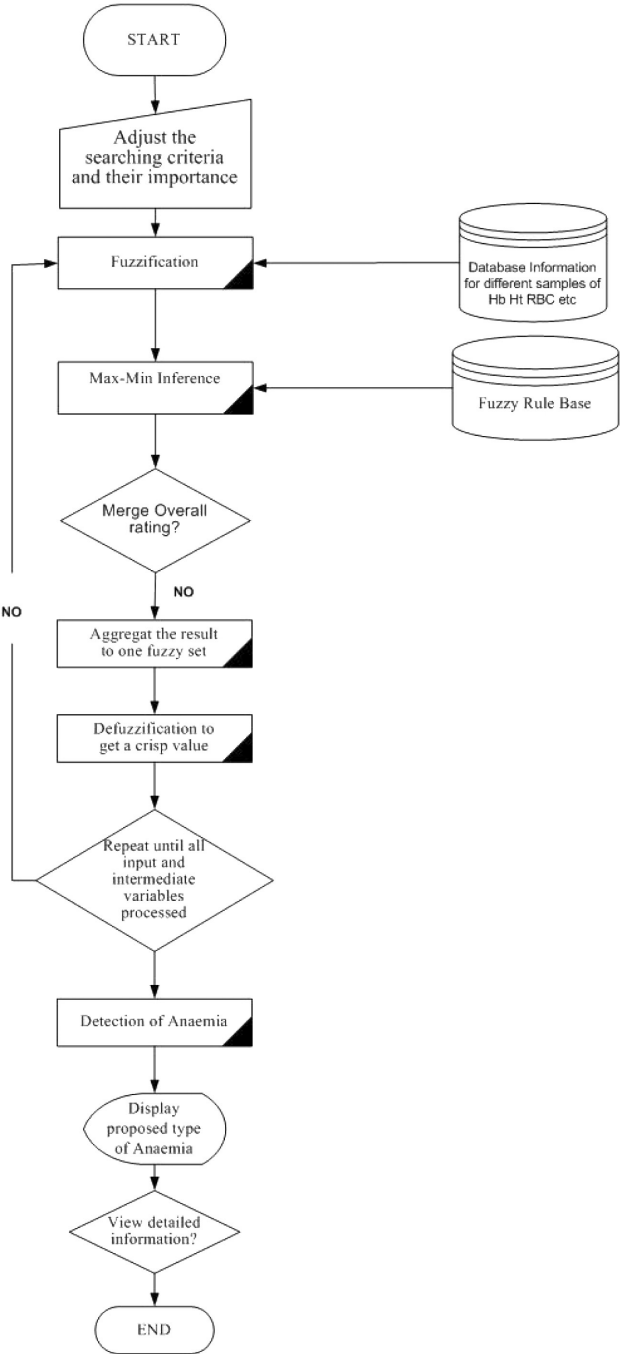


Figure 2: The Overview of the Fuzzy Expert System Building

The detailed description of these phases is as follows:

Phase 1: Identify the domain factors and define membership functions and fuzzy sets.

The first phase involves a thorough analysis of the literature relevant to anaemia, so that to identify all domain factors that should be taken into consideration during the diagnosis process. A series of interviews with 15 medical experts was also organised in order to refine and complete the list of factors to be modelled as well as to determine the search criteria from medical databases. The data displayed in figure 3 is based on factors obtained from the literature [25]. The following figure provides a graphical representation of a subset of the factors considered in the prototype fuzzy system.

Decision-makers are expected to easily assign linguistic classifiers such as “low”, “normal” and “high” to factors involved in diagnosis and manipulate them easier than numerical data when coming into conclusions. Each linguistic term assigned to a variable in the model is defined by a membership function, which helps to take the crisp input values and transform them into degrees of membership, thus resulting into fuzzy sets that represent linguistic variables such as ‘*low haemoglobin*’, ‘*high haematocrit*’, etc. The most commonly used membership function is the trapezoid-shaped. In the present study, we assume the input and output fuzzy numbers are trapezoid forms and these forms approximate medical experts’ views, beliefs and thought processes.

Phase 2: Develop the Fuzzy Rules Set.

In association with the identification of the domain factors, phase two specifies the rules that would form the knowledge base and would support the anaemia diagnosis. The rules reflect experts’ knowledge. A group of experts is used in order to improve the knowledge acquisition process in terms of forming a set of rules that would satisfy all of them. The experts were separately asked to describe the relationship among variables and to infer a linguistic weight for each interconnection. The advantage of this approach is that it is not necessary for the experts to express the perceived causality among variables with numerical values, but rather to use linguistic terms that would depict in qualitative terms the degree of causality among the variables. Therefore, the rules were finalised after a series of structured and iterative interviews of medical experts. After the prototype was built, the experts were also called to evaluate the set of rules making all necessary changes. The consolidation of the rules follows results to a number of *IF _condition_ THEN _action_ rules*. In total 139 rules were modelled.

Examples of the fuzzy rules follow below:

- > **IF** (Reticulocyte is High) and (Bilirubin is High) and (Anaemia is True) **THEN** (Hemolytic is True)
- > **IF** (Reticulocyte is High) and (Bilirubin is Normal) and (Anaemia is True) **THEN** (MicroHemolytic is True)

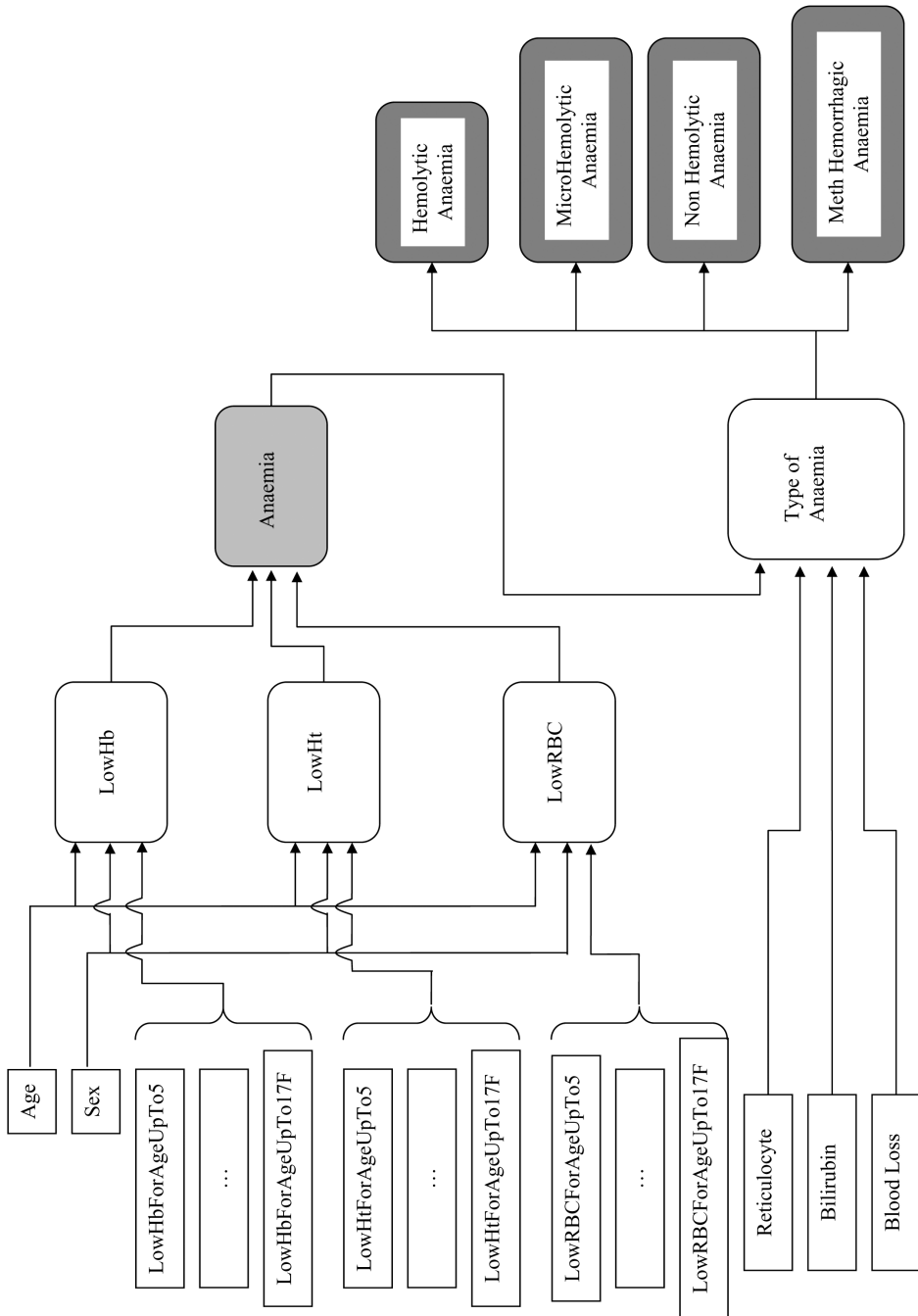


Figure 3: (a) Subset of critical factors for anaemia diagnosis, and a Subset of critical factors for anaemia's classification

- > **IF** (Reticulocyte is Normal) and (Bilirubin is High) and (Anaemia is True) **THEN** (NonHemol+Disease is True)
- > **IF** (Reticulocyte is Normal) and (Bilirubin is Normal) and (BloodLoss is not True) and (Anaemia is True) **THEN** (NonHemolytic is True)
- > **IF** (Reticulocyte is Normal) and (Bilirubin is Normal) and (BloodLoss is True) and (Anaemia is True) **THEN** (MethHemorrhagic is True)

Phase 3: Fuzzification of Medical Data.

In order to be able to manipulate the linguistic variables that are defined in the previous phases, the fuzzification process begins and transforms the numerical data obtained from the medical examinations for every domain variable into fuzzy linguistic terms. For each variable, a number of linguistic classifiers such as “low”, “high” and “normal” are defined, as requested from developing the rules set in the previous phase. The fuzzification process takes as input the numerical value of a variable and assigns it a membership degree according to the membership function that represents each linguistic variable. The “fuzzified” values are determined by intersecting the input value to the fuzzy set membership function that is associated with each linguistic label. For instance, an input value of haematocrit “Ht” (31 %) for a 3 year of age boy, results in a degree of membership in the set labelled “Low” of 0.75 and a degree of membership in the set labelled “Normal” of 0.6 (see figure 4a, 4b).

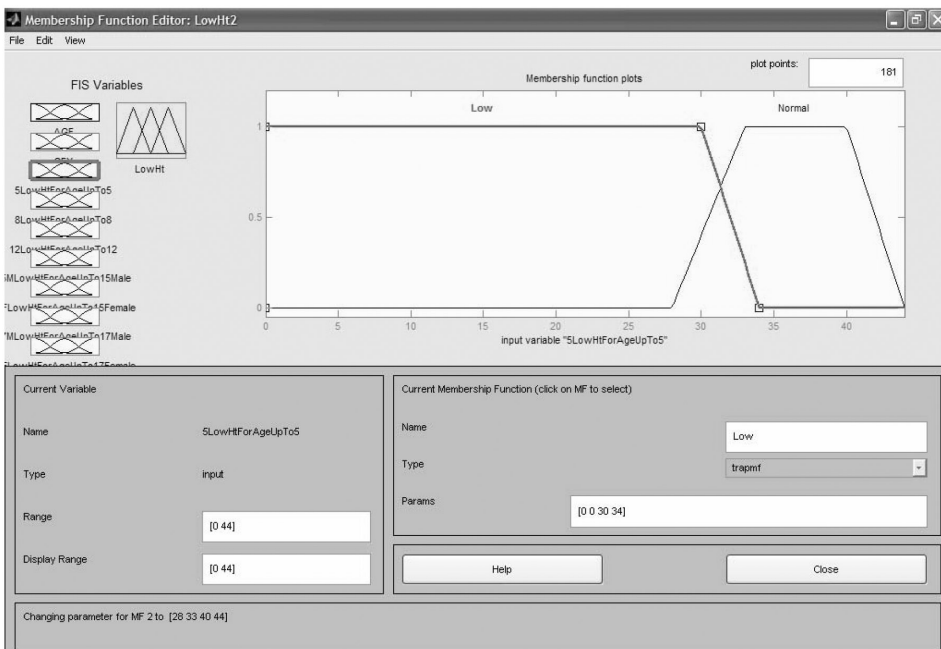


Figure 4a: The Fuzzification of the Low term of the “LowHtForAgeUpTo5” variable.

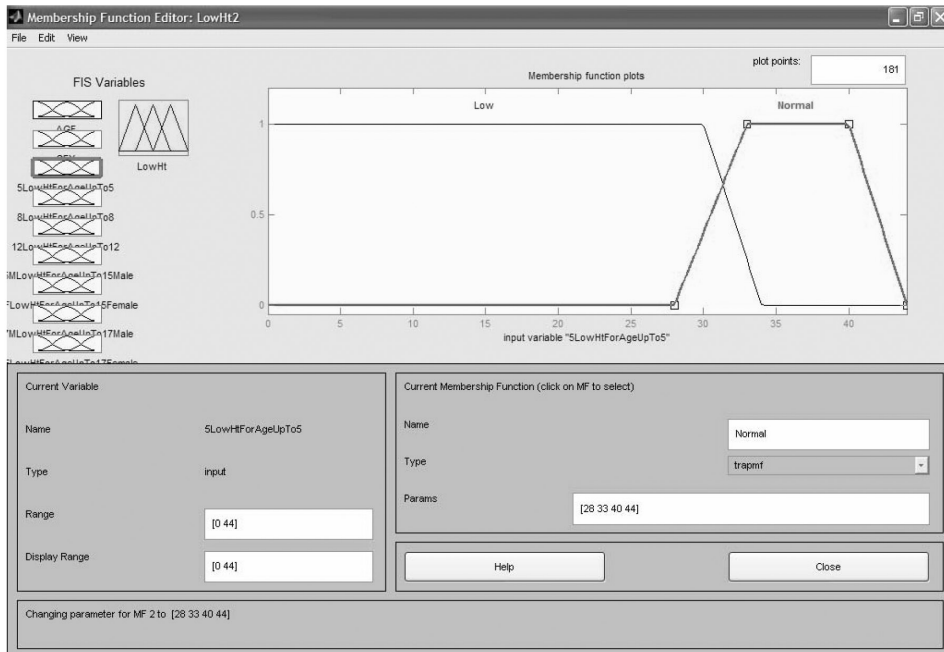


Figure 4b: The Fuzzification of the Normal term of the “LowHtForAgeUpTo5” variable.

In the case that a crisp variable (i.e. a variable that only can be true or false) is needed during modelling, the methodology allows for the definition of the membership function that only depicts the values 1 or 0 to the medical data. For example, in the case of the variable sex, the approach defines a dichotomous function in order to distinguish data regarding the variable sex.

Phase 4: The Fuzzy Inference Engine.

The fuzzy inference process applies the widely used standard max–min inference algorithm, which uses the min operation for the AND conjunction (set intersection) and the max operation for the OR disjunction (set union), in order to evaluate the grade of membership of the antecedent clause in each rule during the max–min composition.

When the user inputs parameters through the user interface, the fuzzy inference engine performs according to the fuzzy rules and membership functions, using data from the database, and sends fuzzy or crisp results through the user interface to the user as outputs. For example, in order to illustrate the inference mechanism, assume that for a boy of 4.5 years age the medical examinations results give the following data set:

- > Haemoglobin (Hb) = 11.5
- > Haematocrit (Ht) =31.5
- > Red Blood Cells (RBC) =4.23

Then suppose that the fuzzification process returns for variable *Haematocrit* the 0.714 degree of membership in the set “Low”, for variable *Haemoglobin* produces the 0.1 degree of membership in the set “Low” and for variable *Red Blood Cells* produces the 0.38 degree of membership in the set “Low”.

Then the following rules (from the knowledge base) are fired with the corresponding membership function values for each variable also shown in the brackets below:

IF Ht=(Low/0.714) THEN Anaemia=(Weak/0.214)

IF Hb=(Low/0.1) THEN Anaemia=(Weak/0.5)

IF RBC=(Low/0.38) THEN Anaemia=(Weak/0.229)

The figure that follows presents the interface used in the MatLab tool that applies Mamdani method.

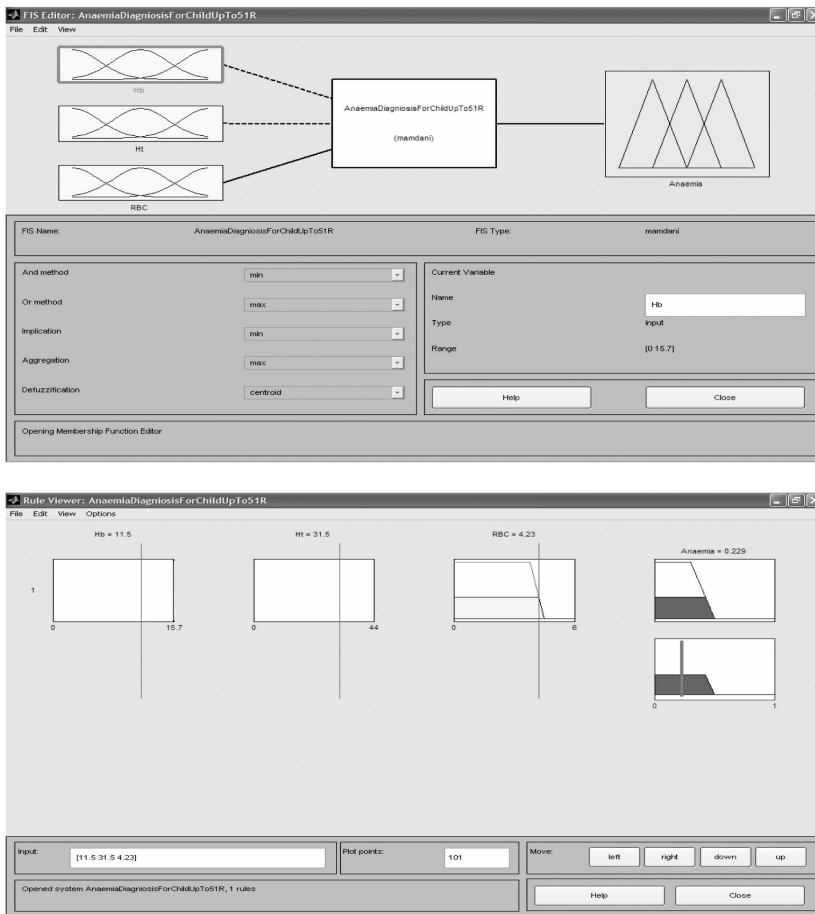


Figure 5: Firing Fuzzy Rules using the MatLab tool: The Graphical representation of max–min inference of anaemia diagnosis.

In order to estimate the result from applying the rules, the membership values for the fuzzy set *anaemia*, need to be combined. Therefore, by applying the *max* operator the result is *anaemia=weak* (0.5). The inference is graphically shown in Figure 5, which is a screen from Matlab tool. The clipped membership functions resulting from the application of the 3 rules are then merged to produce 3 final crisp set (one for each anaemia diagnosis).

Phase 5: Perform defuzzification.

After the completion of the inference process, the resulting data for each output of the fuzzy classification system is a collection of fuzzy sets that undergo the defuzzification phase. There are several existing methods that can be used for defuzzification. These include the methods of maximum or the average heights methods, and others. These methods tend to jump erratically on widely non-contiguous and non-monotonic input values [26]. The centroid method, also referred to as the “center-of-gravity (COG)” method is applied in this study, as it is frequently used and appears to provide a consistent and well-balanced approach. The defuzzification process is applied after the anaemia diagnosis so that anaemia is represented with a crisp type variable (yes or no). It is also applied after the type of anaemia is diagnosed.

Phase 6: Compare the overall rating for all anaemia’s type.

The system finally ranks all types of anaemia according to their final scores and provides them for the final diagnosis, which is made by the medical experts.

Phase 7: The Architecture Fuzzy Expert System.

Good system architecture provides a road map for the system building process, by putting the system components into perspective, defining the functionalities of the system components, and demonstrating how they interact with one another [20]. Based on the conceptual framework discussed in the previous phases and our interview with medical experts and potential users, this study developed the following architecture of the system, which includes 5 main components: (1) a user interface, (2) a database, (3) a fuzzy rule base, (4) a fuzzy inference engine, and (5) a membership function base. Figure 6 depicts the basic architecture of the system.

(i) The Explanation Component.

The explanation component provides the interface functionality between the system and its users. It enables the user-system communication, which is carried out mainly in menus and GUI (Graphical User Interface). The system allows the user to define new, to update and search for medical data. When a parameter item is selected, the crisp input value is translated into the fuzzy term. After a diagnosis is made, the user can ask for justification. More specifically, the user can request the system to perform a consistency checking for the diagnosis. The system’s response results in the presentation of a number of anaemia factors and rules which are associated to the diagnosis. As a consequence, the user can evaluate the proposed diagnosis.

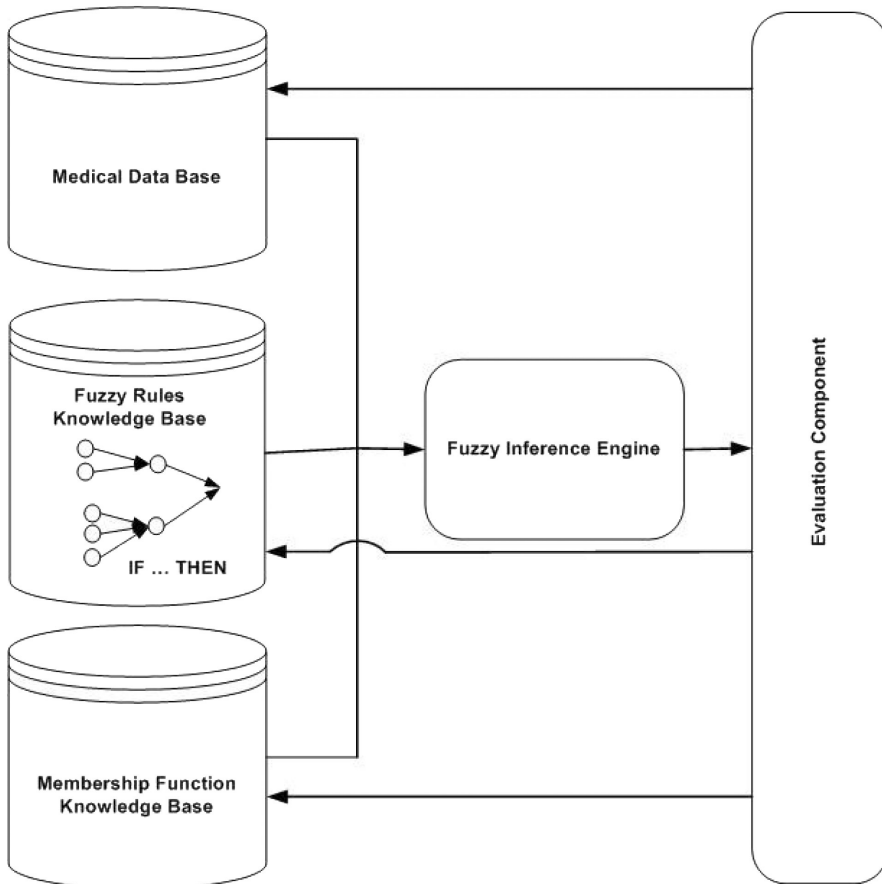


Figure 6: The Architecture of the Fuzzy Expert System for Anaemia Diagnosis.

(ii) Medical Database

The medical database contains data from medical examinations. Data protection act is satisfied, since no personal data is held in the database.

(iii) Fuzzy Rule Knowledge Base:

The fuzzy rule base stores fuzzy rules that represent experts' knowledge.

(iv) Fuzzy Inference Engine:

This is the software component of the system that implements the algorithm for rules matching and execution, conflict resolution and results presentation.

(v) Membership Function Knowledge Base:

The membership function base stores and presents several options of membership functions for different linguistic terms, in order to assist fuzzy modelling.

Phase 8: Building the Prototype System.

The prototype system was developed using Matlab language and ran on a personal computer under a Microsoft Windows™ 98 environment. Matlab was chosen because it is an easy-to-learn and easy-to-use graphical user interface (GUI) programming language which allows fuzzy modelling and rapid prototype development.

Phase 9: Evaluation of the System.

Once the prototype system was built, testing and evaluation of the prototype system followed. The system was tested and evaluated by the developers and domain experts for its accuracy and completeness. The system produced answers that were realistic, meaningful and acceptable by the medical doctors [27].

A group of 35 medical doctors from a private children hospital, were invited and agreed to participate in the evaluation. The prototype was demonstrated and feedback was obtained from the experts through discussion and an evaluation form.

Table 2: Mean responses to the system evaluation by experts and potential users

Evaluation Criteria	<i>Medical Experts n=15</i>	
	<i>Mean rating</i>	<i>S.D.</i>
	<i>1–5 scale</i>	
Effectiveness of the system		
1. Helps in selecting suitable variables	4.5	0.5
2. Provides clear information for selected variables	4.0	1.0
3. Provides new insight in characterize and classify anaemia’s type	4.2	0.87
Usability of the system		
4. System is easy to use	4.3	0.4
5. System is user friendly	3.5	0.6
6. Screen display is well designed	3.4	0.6
7. Achieves the stated objective	4.5	0.3
8. Response time in the system is acceptable	3.5	0.5
9. System contains functions which user requires	4.0	0.8
10. System’s commands are self-explanatory and easy to understand	2.5	0.6
11. Likely to recommend to other users	4.0	0.7

A formal questionnaire was designed and used in order to support the evaluation. The questionnaire consists of three sections: (a) demographic data, (b) the effectiveness of the prototype system, and (c) the usability of the prototype system. In order to collect the evaluation data a five-point Likert Scale was used ranging from 1 = strongly disagree, with 3 = undecided to 5 = strongly agree. The evaluation objective is to assess the overall value of a fuzzy expert system [28]. Evaluations by domain experts help to determine the accuracy of the embedded knowledge [29], and the consistency and completeness of responses.

The results of the analysis of the questionnaire are shown in Table 2. The prototype is seen to be a promising system for supporting the diagnosis of anaemia based on the positive results of its evaluation.

4. Conclusions

This research discusses the development of a fuzzy expert system which is used to assist and support medical experts for anaemia's diagnosis. This paper suggests that it is feasible to use fuzzy logic to assist medical diagnoses. The system provides a convenient consulting tool in characterising and classifying anaemia. A prototype system was evaluated using expert validation, testing and outcome evaluation to see whether the system achieved its designed purposes effectively and accurately. The results of the prototype evaluation are satisfactory and support the view that the developed system has performed its functions as expected. The results of the questionnaires evaluation feedback strongly support the position that the developed system has achieved the primary objectives of being easy to use and able to enhance efficiency and effectiveness in supporting medical diagnoses using fuzzy logic.

References

- [1] Kandel A., Fuzzy expert systems. Boca Raton, FL: CRC Press, 1992.
- [2] Vadiée N., Jamshidi M., The promising future of fuzzy logic. *IEEE Expert*, 9(4):36–8, 1994.
- [3] Bell K.R.W., Daniels A.R. and Dunn R.W., Alleviation of transmission system overloads using fuzzy reasoning. *Fuzzy Sets and Systems*, 102:41–51, 1999.
- [4] Nguyen Hoang Phuong and Vladik Kreinovich, Fuzzy logic and its applications in medicine. *International Journal of Medical Informatics*, 62:165–173, 2001.
- [5] Kazem Sadegh-Zadeh, Fundamentals of clinical methodology, Diagnosis. *Artificial Intelligence in Medicine*, 20:227-241, 2000.
- [6] Zadeh L.A., Biological applications of the theory of fuzzy sets and systems. In: *The Proceedings of an International Symposium on Biocybernetics of the Central Nervous System*. Boston: Little, Brown and Company, p.199—206, 1969.
- [7] Seising R., From vagueness in medical thought to the foundations of fuzzy reasoning in medical diagnosis. *Artificial Intelligence in Medicine*, 38:237-256, 2006.
- [8] Innocent P.R. and John R.I., Computer aided fuzzy medical diagnosis. *Information Sciences*, 162:81–104, 2004.
- [9] Cohen R.S. and Schnelle T., Cognition and fact. *Materials on Ludwik Fleck*. Dordrecht, Boston, Lancaster, Tokyo, D. Reidel Publ. Comp, p.39-46, 1986.
- [10] Zadeh L., Fuzzy Sets. *Information and Control*, Vol.8, No.3, p.338-353, 1965.
- [11] Brasil Lourdes Mattos, Fernando Mendes de Azevedo and Jorge Muniz Barreto, Hybrid expert system for decision supporting in the medical area: complexity and cognitive computing. *International Journal of Medical Informatics*, 63:19–30, 2001.
- [12] Silvia A., Robertson R., Warfield S.K. and Ruiz-Alzola J., A fuzzy system for helping medical diagnosis of malformations of cortical development. *Journal of Biomedical Informatics*, 40:221–235, 2007.
- [13] Polat K. and Gunes S., Medical decision support system based on artificial immune recognition immune system (AIRS), fuzzy weighted pre-processing and feature selection. *Expert Systems with Applications*, 33:484–490, 2007.
- [14] Sengur A. and Turkoglu I. (in press), A hybrid method based on artificial immune system and fuzzy k-NN algorithm for diagnosis of heart valve diseases. *Expert Systems with Applications*, 2007.

- [15] Reyes C.A.P. and Sipper M., A fuzzy-genetic approach to breast cancer diagnosis. *Artificial Intelligence in Medicine*, 17:131–155, 1999.
- [16] Sahan S., Polat K., Kodaz H. and Gunes S., A new hybrid method based on fuzzy-artificial immune system and k-nn algorithm for breast cancer diagnosis. *Computers in Biology and Medicine*, 37:415 – 423, 2007.
- [17] Kodogiannis V.S., Boulougoura M., Wadge E. and Lygouras J.N., The usage of soft-computing methodologies in interpreting capsule endoscopy. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 20:539–553, 2007.
- [18] Ali Keles and Ayturk Keles, ESTDD: Expert system for thyroid diseases diagnosis. *Expert Systems with Applications*, 34:242–246, 2007.
- [19] Luigi Di Lascioa, Antonio Gisola, Antonio Albuinaa, Giuseppe Galardib and Franco Meschi, A fuzzy-based methodology for the analysis of diabetic neuropathy. *Fuzzy Sets and Systems*, 129:203–228, 2002.
- [20] Nunamaker J.F., Chen M. and Purdin D.M., Systems development in information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 7:89–106, 1990.
- [21] Chen K. and Gorla N., Information system project selection using fuzzy logic. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics - Part A: Systems and Human*, 28(6):849–55, 1998.
- [22] Machacha L.L. and Bhattacharya P., A fuzzy-logic-based approach to project selection. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 47(1):65–73, 2000.
- [23] Tsang E.F. and Ngai Ewt., EXSGACM: an expert system for gas crisis management. *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 10(1):75–90, 1996.
- [24] Ngai Ewt and Cheng Tce, MSS4TQM: a management support system for TQM. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, 29(3):371–86, 1999.
- [25] Blackman S. and Gonzales del Rey J., Hematologic Emergencies: Acute Anemia. *Clinical Pediatric Emergency Medicine*, Vol. 6, p.124-137, 2005.
- [26] Cox E., *The Fuzzy systems handbook: a practitioners' guide to building, using and maintaining fuzzy systems*. San Diego, CA: AP Professional, 1999.
- [27] Metersky M.L., A decision-oriented approach to system design and development. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 23(4):1024–37, 1993.
- [28] O'Keefe R.M., Balci O. and Smith E.P., Validating expert system performance. *IEEE Expert*, 2(4):81–90, 1987.
- [29] Gasching J., Klahr P., Pople H., Shortlie E. and Terry A., Evaluation of expert systems: issues and case studies. In: Hayes-Roth F., Waterman D.A., Lenat D.B., Editors. *Building expert systems*. Reading, MA: Addison-Wesley, p.241–80, 1983.

CFD modeling of the in-cylinder flow and combustion in a variable-compression laboratory Otto engine

*A. Hatziapostolou,
Energy Technology Dept.,
TEI of Athens*

*G. Raptis
Energy Technology Dept.,
TEI of Athens*

*A. Mourlas
Mechanical Engineering Dept.,
TEI of Piraeus*

*I. Lekakis
Mechanical Engineering Dept.,
TEI of Piraeus*

*S. Antoniou
Mechanical Engineering Dept.,
TEI of Piraeus*

Abstract

Three dimensional flow calculations of the complete operation cycle of a small 4-stroke variable compression laboratory Otto engine have been performed for different engine speeds under full load conditions. The compression ratio is adjusted within the range of 4 to 10, by means of a special piston, which moves manually and alters accordingly the combustion chamber volume. The investigation started with a grid independence study with the aim to choose a grid suitable for the complex geometry of the specific engine and at the same time to result in reasonable computational run times. Calculations were performed for three different engine speeds and two compression ratios. Ensemble-

averaged velocity data are presented in two main forms: velocity magnitude at characteristic points as a function of crank angle and two-dimensional vector plots at characteristic cross sections inside the combustion chamber at specific crank angles. The results confirm that the in-cylinder flow field scales well with the engine speed and that, by increasing the compression ratio results in more pronounced large scale flow-field effects, such as the tumbling motion generated during the induction stroke and persisting through the compression stroke and, further, affecting the combustion process.

Περίληψη

Η υπολογιστική προσομοίωση της τρισδιάστατης ροής ενός πλήρους κύκλου λειτουργίας μικρού εργαστηριακού 4χρονου κινητήρα Otto μεταβλητής συμπίεσης πραγματοποιήθηκε για διάφορες ταχύτητες υπό πλήρες φορτίο. Η σχέση συμπίεσης ρυθμίστηκε μεταξύ 4 και 10 μέσω ειδικού χειροκίνητου εμβόλου προσαρμοσμένο στην κυλινδροκεφαλή. Αρχικά έγινε διερεύνηση της ανεξαρτησίας των αποτελεσμάτων από το μέγεθος του πλέγματος ώστε να επιλεγεί το πλέον κατάλληλο πλέγμα για την πολύπλοκη γεωμετρία της συγκεκριμένης μηχανής και ταυτόχρονα να μειωθεί κατά το δυνατό ο υπολογιστικός χρόνος. Οι υπολογισμοί έγιναν για τρεις διαφορετικές ταχύτητες και δυο σχέσεις συμπίεσης. Οι συνολικά μέσες ταχύτητες παρουσιάζονται σε δυο μορφές: ως γραφήματα του μέτρου ταχύτητας σε χαρακτηριστικά σημεία μέσα στο θάλαμο καύσης και στον κύλινδρο σαν συνάρτηση της γωνίας στροφάλου και ως δισδιάστατα διανυσματικά πεδία σε επιλεγμένες διατομές σε χαρακτηριστικές γωνίες στροφάλου. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι το πεδίο ροής εντός του κυλίνδρου συσχετίζεται ικανοποιητικά με την ταχύτητα της μηχανής και ότι η αύξηση της σχέσης συμπίεσης προκαλεί εντονότερα ροϊκά φαινόμενα μεγάλης κλίμακας, όπως την δίνη με άξονα κάθετο στον άξονα του κυλίνδρου – γνωστή στη βιβλιογραφία σαν tumble-, η οποία δημιουργείται κατά τη φάση εισαγωγής και διατηρείται κατά τη συμπίεση, επιδρώντας και στη διαδικασία της καύσης.

Key Words: *CFD modeling, Internal combustion engine, Otto engine.*

Introduction

During the last few decades, internal combustion engines have been greatly improved in terms of efficiency and reduction of pollutant emissions (Drake, 2007, Kamura, 1998). This trend must continue in the near future, since international organizations and

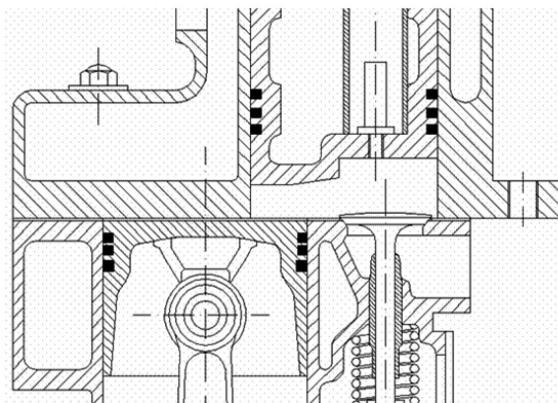
governments are issuing more severe emissions restrictions for passenger cars. At the same time, although new concepts have appeared as alternatives to the IC engine, such as fuel cells (Stobart, 2004), it seems that it will take several decades for them to mature enough for large scale production. It follows that the internal combustion engine will remain as the major power source for automobiles, even if it will be part of a hybrid package, either Otto-electric or Diesel-electric.

In spark-ignition engines, the majority of commercial engines still use port-fuel injection to generate a homogeneous-charge in the cylinder. During the last few years, stratified-charge direct-injection gasoline engines have appeared in commercial form, following in-depth investigations for the last two decades, combining experimental and theoretical calculations. The latter were made possible through the use of reliable commercial computational fluid dynamics (CFD) codes, which have been developed and validated extensively. CFD codes are and will remain a valuable tool in the design of improved engines of all kinds

The present study investigates the in-cylinder flowfield and combustion of a small laboratory homogeneous-charge variable-compression single-cylinder spark-ignited engine. The main motivation is to study the combined effect of engine speed and compression ratio on the flowfield during the induction and compression strokes, as well as the combustion process.

Case Description

The engine studied in this paper is a Petter W1 model modified by Plint, in order to be able to modify the compression ratio. A cross-section of the engine combustion chamber, as well as its main characteristics, are presented in Figure 1. The engine is equipped with one intake and one exhaust side valve, with the camshaft situated close to the crankshaft. This is quite an old design, which presents a big advantage in the present case: it is quite easy to incorporate a manually-adjusted piston in the engine head, which, by moving up or down, alters the engine volume at top-dead-center (TDC). At the top right corner of Figure 1, the bottom half of this piston can be seen, as well as the spark plug situated just opposite of the valves. A better representation of the engine configuration can be seen in Figure 2, where the cross-section is presented in 3-D. It becomes evident that the shape of the combustion chamber with the inserts for the two valves, as well as the passage to the main cylinder is quite complex, compared with a conventional 2 or 4-valve spark-ignited engine. The latter required considerable effort in developing the grid for the CFD calculations, dictating the division of the chamber volume in several zones with different grid characteristics.



Peter W1 / Plint variable compression engine	
Bore	85mm
Stroke	82.5mm
Swept volume	468cc
Compression ratio	4:1 to 10:1
Maximum speed	2500 rpm

Figure 1: Cross-section of the modified Peter W1 engine combustion chamber and its main geometrical characteristics.

Numerical Methodology

A finite volume commercial CFD code was employed in order to solve the discretised Navier-Stokes equations (Fluent, 2005). The standard $k-\epsilon$ turbulence model for high Reynolds numbers with standard wall functions is used for model closure. The code is based on the pressure-correction method (Patankar 1980), using the PISO algorithm. The first order upwind differencing scheme is used in the discretisation of momentum and turbulence equations.

The temporal discretisation is implicit on the variable time step depending on the stage of the 4-stroke cycle. When the valve lift is small, at the beginning and at the end of

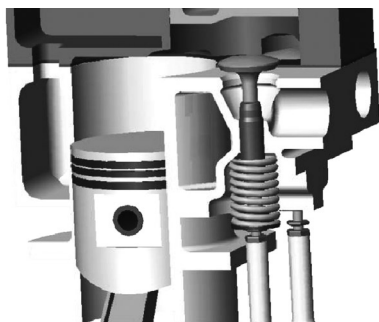


Figure 2: 3-D representation of the modified Peter W1/Plint engine.

the intake stroke, velocities at the valve jet are expected to be high. It follows that the time step must be in the range of 0.1° crank angle (CA), in order to comply with the convergence criterion. During the middle phase of the intake stroke and most of the compression stroke, the time step was doubled to save processing time and was reduced again towards the end of the compression stroke and, especially, during the combustion phase. The latter was simulated using the turbulent premixed combustion model of Zimont, which involves the solution of a transport equation for the reaction

progress variable (Zimont, 1995 & 2000). The closure of this equation is based on the definition of the turbulent flame speed, which is computed using a model for wrinkled and thickened flame fronts (Zimont, 1998). The main assumption in the Zimont model is that it considers the reacting flowfield to be divided into regions of burnt and unburnt species, separated by a moving thin flame sheet.

For each case, the calculation begins at the inlet valve opening which is 6° CA before the TDC of induction and ends at 240° CA after the TDC of combustion. The initial turbulence intensity level was set at 10% of the mean flow, which is large enough for the flow to be considered fully turbulent. Constant pressure boundary conditions were assigned at both inlet and outlet valves and all walls were considered adiabatic.

Grid independence study

The computational domain includes both intake and outlet ports and valves, the combustion chamber and the cylinder. The grid developed can be seen in Figure 3. The number of cells varies between 245000 at TDC to 376000 at bottom-dead-center (BDC). The majority of the cells used were hexahedral, since they provide better accuracy and stability than tetrahedral. The combustion chamber was divided in six zones; each zone has been meshed separately. This technique is very useful to obtain a good quality grid and to reduce the time of the meshing procedure. The connectivity of the various zones is achieved by means of arbitrary interfaces that connect common faces of adjacent sub-domains. Tetrahedral cells have been used in the areas where the “moving and deforming mesh” concept was employed. During the compression stroke once the intake valve is closed, the intake port sub-domain is disconnected from the calculation, so that to save CPU time; the same applies to the outlet port.

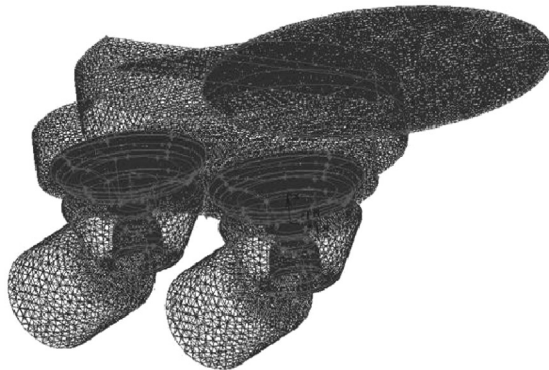


Figure 3: Computational grid at TDC together with inlet and outlet ports.

In order to ensure grid independence and improved accuracy of the results, two calculations during the compression stroke were performed using two different grids: the reference grid was the one already presented and the second was refined in certain areas where steep gradients are expected. Figure 4 depicts the velocity magnitude during the compression stroke at a point near the inlet valve. It can be easily deduced that there are no significant differences between the two cases, therefore all subsequent calculations were performed with the reference grid.

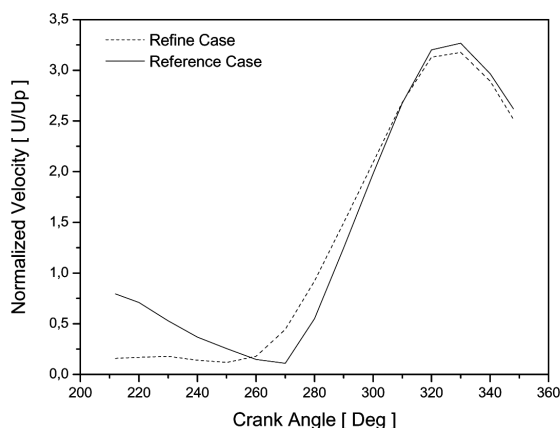


Figure 4: Velocity magnitude comparison for grid independence study.

Results and discussion

Five cases were examined and analyzed: at the low compression ratio of 5.7, the engine speed settings at full load were 750 rpm, 1200 rpm and 2000 rpm, whereas at the high compression ratio of 10, the engine speed settings at full load were 1200 rpm and 2000 rpm. It is worth noting that these speed settings cover almost the whole operating range of the laboratory engine; the maximum speed of 2500 rpm was not examined, because it was considered unsafe to operate the specific engine at this level. The present investigation is accompanied by parallel experimental measurements for comparison purposes, which will be included in a future publication.

Ensemble-averaged mean velocity data are presented in two main forms: velocity magnitude at characteristic points as a function of crank angle and two-dimensional vector plots at characteristic cross sections inside the cylinder and combustion chamber at specific crank angles. All velocity data are in dimensionless form, as they are normalized by the mean piston speed (denoted hereafter as V_p), which is 2.0625 m/s, 3.3 m/s and 5.5 m/s at 750 rpm, 1200 rpm and 2000 rpm, respectively. Figure 5 depicts the

locations of the points within the combustion chamber, which were selected for presentation: point A is within the spark gap, point B is close to the inlet valve and point C is at the top center of the main engine cylinder.

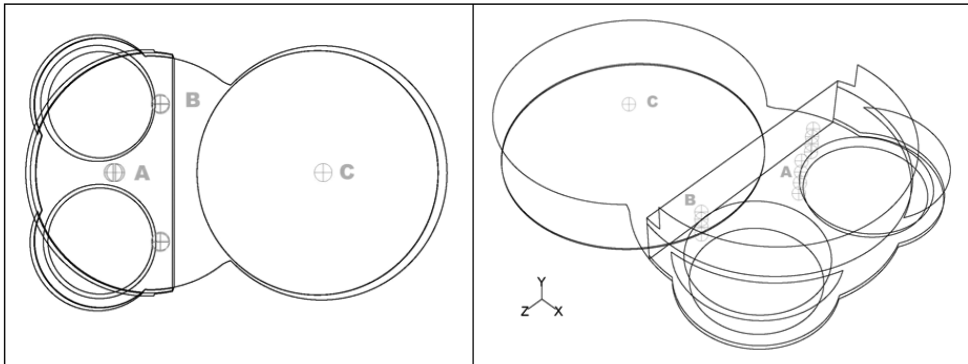


Figure 5: Locations of the points under investigation within the cylinder and chamber volume.

Figure 6 presents the mean velocity magnitude at point A as a function of CA during most of the operating cycle. The engine speed in this case is 1200 rpm and the compression ratio is 5.7. The zero value of CA corresponds to the TDC of induction and the value 360° corresponds to the TDC of compression. The same applies to all CA values in the subsequent graphs. During the induction stroke, the maximum mean velocity magnitude presents a maximum of almost $7V_p$ (seven times the mean piston speed) at around 83° CA after the TDC of induction. This

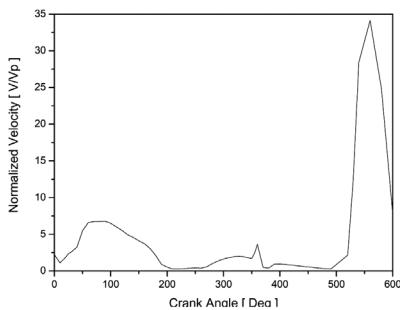


Figure 6: Mean Velocity magnitude at point A vs. CA, 1200rpm, CR = 5.7.

can be attributed to the close proximity of point A to the inlet valve. Later on during the induction stroke, the velocity magnitude drops at $2V_p$ at BDC and $0.4V_p$ at the inlet valve closure, which is at 25° CA after BDC. During the compression stroke the velocities remain low, as the piston movement does not affect the spark area, due to the rather unconventional design of the specific engine configuration. There is a local maximum of $3.6V_p$ at the TDC of compression, which is directly related to the onset of combustion. The velocities remain low during the expansion

stroke and start to increase abruptly after the BDC with a maximum value of $34V_p$ at 20° CA after the BDC of expansion. The latter is attributed to the exhaust valve, which opens at 25° CA before the BDC of expansion (EVO - exhaust valve opening).

In order to study in detail the effect of engine speed during the induction and compression stroke, all three engine speeds examined that correspond at the same point A are presented in Figure 7. The general trend is that the normalized velocity patterns are quite similar, confirming the fact that the in-cylinder flow-field scales well with engine speed. This is particularly true until 60° CA

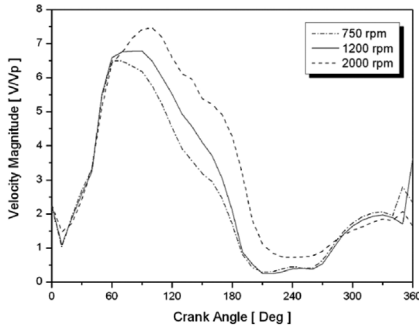


Figure 7: Mean Velocity variations point A vs. CA at three eng. speeds, CR = 5.7.

after the TDC of induction. However, later on, there is a clear deviation from that rule: increasing the engine speed, results in higher normalized velocity magnitude at a later stage during induction (compare graphs at 70 - 180° CA). This is probably related to higher momentum effects due to the increasing engine speed.

Figure 8 presents mainly the compression ratio effect, that includes velocity magnitude data for the two compression ratios studied (low, CR = 5.7 and high, CR = 10) at the same point A and at engine speeds of 1200 and 2000 rpm. It becomes evident that the increase of the compression ratio significantly modifies the velocities from very early at the induction stroke. At 1200 rpm, the maximum value of the normalized velocity magnitude during induction increases by approximately 75%, (from 6.8Vp to 11Vp), when the compression ratio increases by 62% (from 5.7 to 10). In qualitative terms, the same applies at the higher engine speed of 2000 rpm. The velocity magnitude evolution during induction is also affected, especially in the case of 2000rpm, with a second local maximum appearing at 145°CA. It follows that the compression ratio has a more pronounced effect than speed on the in-cylinder flow-field and this can be attributed to the fact that the in-cylinder flow is a mainly a pressure-driven phenomenon. It is also worth noting that, after the IVC (inlet valve closure at 25° CA after BDC) and during the compression stroke, all four velocity patterns appear similar, confirming that the flow scaling with engine speed is the dominant factor during the compression stroke.

Figure 9 presents velocity magnitude data at point B, which is close to the inlet valve. The engine speed effect at this point is less apparent as evidenced by the similarity of all three graphs covering the engine speed operating range of the specific engine, during the

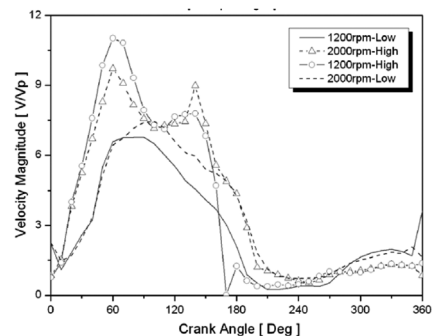


Figure 8: Mean Velocity variations at point A vs. CA, at two eng. speeds, and two CR = 5.7 low and CR = 10, high.

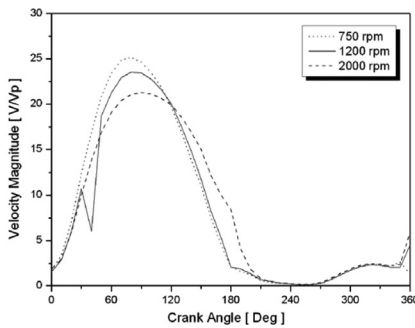


Figure 9: Mean Velocity variations at point B vs. CA, at three eng. speeds, CR = 5.7.

the in-cylinder flowfield, two-dimensional vector plots are presented for specific cross-sections at characteristic CA. The cross-sections selected are shown in Figure 11: “I” is the plane which includes the two valve axes, II is the plane, parallel to the previous one, which divides the cylinder in two halves. The former was selected in order to visualize the flow entering through the valves, the latter to depict the main in-cylinder flow structures.

Figure 12 presents the four cases at cross section I at mid-induction stroke, i.e. 90° CA after TDC. At that CA the inlet valve is open almost at maximum valve lift and the the piston is

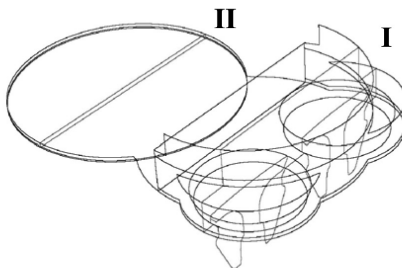


Figure 11. Cross-sectional planes for the 2D vector plots.

induction and, especially compression stroke.

Finally, similar velocity data are presented for all five cases studied at point C (Figure 10), which is located at the center and close to the top of the main cylinder. This point is considered critical, as it is close to the hypothetical position of the spark gap in an engine with more conventional design than the one investigated in the present study. Figure 10 confirms that the compression ratio effect is quite strong during the induction stroke, while the engine speed does not differentiate the velocity patterns significantly.

In order to have a better understanding of

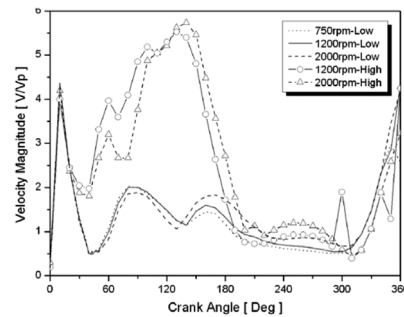


Figure 10: Mean Velocity variations at point C vs. CA at all five cases, low, CR = 5.7, high CR = 10.

moving at maximum speed. The mixture flow rate through the valve is quite high, with the maximum velocities appearing close to the valve stem inside the inlet port, as evidenced by all four vector plots; this can be attributed to the orientation and the right angle (90°) shape of the inlet port (see Figure 1). However, the magnitude values are different, depending both on speed and compression ratio, with the higher values associated, surprisingly, with the low compression ratio. The latter can be

attributed to the lower height of the combustion chamber, as can be seen in Figures 12c and d. In general, the vector plots show a similar pattern.

More insight on the in-cylinder flow structure can be revealed by the vector plots at section II at the BDC (Figure 13). All four flow-patterns are dominated by a major vortex, which is known as “tumble” or tumbling motion (Jaffri, 1997). In most engines, this motion is created by the inlet port (or ports in the case of two or more inlet valves). In the present engine configuration, the tumbling motion is mainly created by the geometry of the extended combustion chamber and the inlet valve position. The velocity magnitude depends on both the speed and compression ratio, with the latter being the dominant factor. At the CR of 10 (Figures 13 c and d) the maximum values of velocity magnitude are much higher compared to the CR = 5.7 case, confirming that the tumbling motion is stronger with increasing compression ratio provided the engine speed is kept constant. Finally, Figures 13 a and b show that the weaker main vortex in the case of the lower compression ratio is associated with the existence of two smaller counter-rotating vortices at the two top corners, close to the engine head.

Conclusions

A theoretical investigation involving a variable compression spark-ignition laboratory engine was performed. A commercial CFD package was employed to study the effect of engine speed and compression ratio on the in-cylinder flow field during the whole operating cycle, with emphasis on the induction and compression strokes. Ensemble-averaged mean velocity data are presented in two main forms: normalized velocity magnitude at characteristic points as a function of the crank angle and two-dimensional velocity vector plots at characteristic cross sections inside the cylinder and combustion chamber at specific crank angles. The results confirm that the in-cylinder flow scales well with engine speed, except at the early induction phase. The compression ratio plays a more dominant role on the development of the in-cylinder flow than the engine speed, resulting in more pronounced bulk fluid movements. The latter is particularly supported by the 2D vector plots, which reveal that, in the case of higher compression ratio, the mixture tumbling motion is stronger in quantitative terms at BDC, but also different in qualitative terms, resulting in the disappearance of secondary vortices.

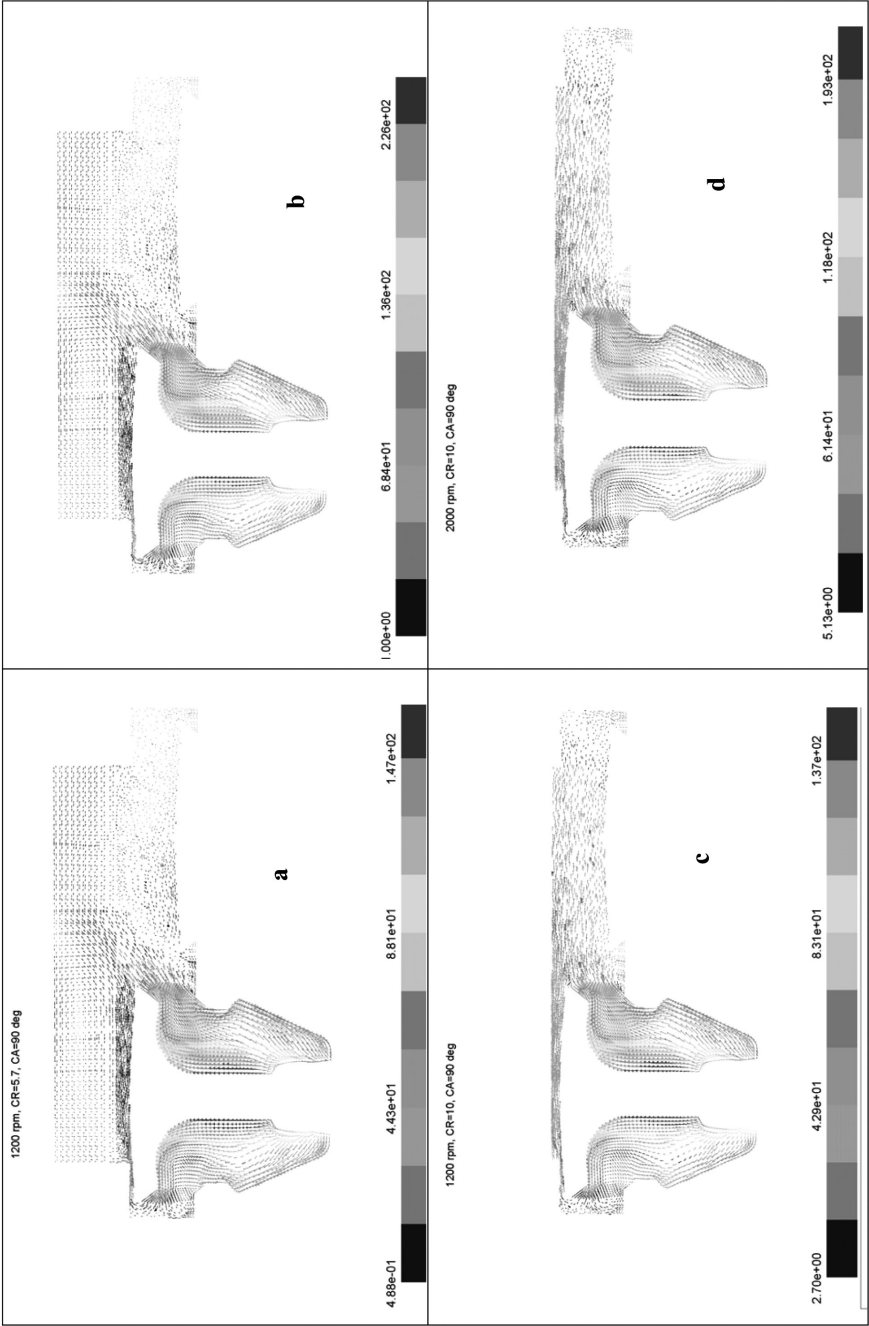


Figure 12 Vector plots at section I at 90° CA after TDC of induction: (a) 1200rpm & CR = 5.7, (b) 2000rpm & CR = 5.7, (c) 1200rpm and CR = 10, (d) 2000rpm and CR = 10.

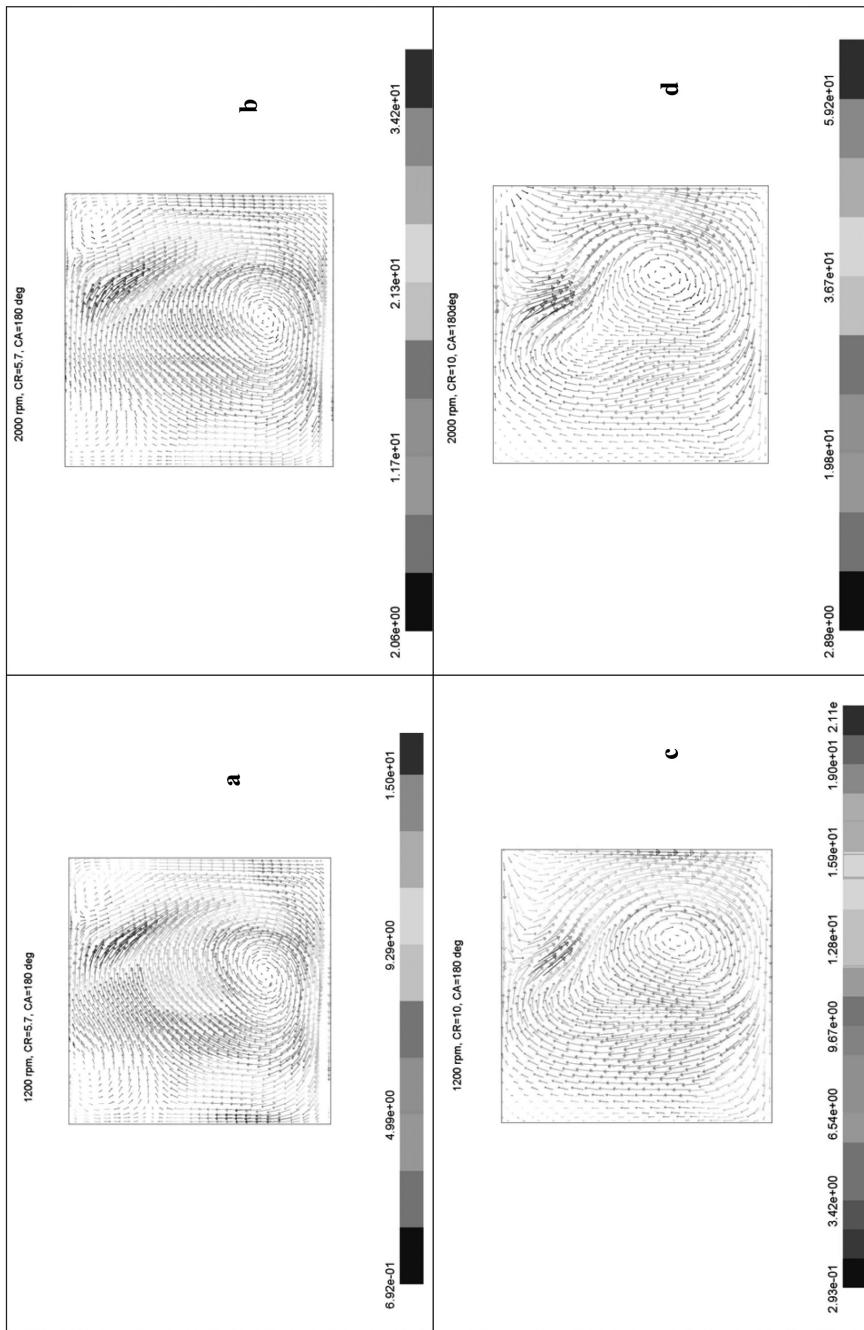


Figure 13 Vector plots at section II at the BDC of induction: (a) 1200rpm & CR = 5.7, (b) 2000rpm & CR = 5.7, (c) 1200rpm and CR = 10, (d) 2000rpm and CR = 10.

References

- Drake, M.C. and Haworth, D.C. (2007) Advanced gasoline engine development using optical diagnostics and numerical modeling, *Proc. Combust. Inst.* 31:99-124
- FLUENT 6.2.User's Guide, (2005), Fluent Inc.
- Jafri, K.,Hasher HG, Novak M., Lee K., Schock H., Bonne M (1997), Tumble and swirl quantification within a motored four-valve SI engine cylinder based 3-D LDV measurements, SAE 970792.
- Kamura, H. and Takada K (1998) Development of in-cylinder gasoline direct injection engine, *JSAE Review* 19:175-180
- Patankar, VS (1980), *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Washington, Hemisphere Publishing Corp.
- Stobart, R.K. (2004), *Fuel cell Technology for Vehicles 2002-2004*, SAE International.
- Zimont, V.L. and Lipatnikov, A.L. (1995) A numerical Model of Premixed Turbulent Combustion of Gases, *Chem. Phy. Report*, 14(7):993-1025
- Zimont, V.L., Polifke, W., Bettelini, M. and Weisenstein, W. (1998) An efficient Computational Model for Premixed Combustion at High Reynolds Numbers Based on a Turbulent Flame Speed Closure, *J. of Gas Turbines Power*, 120:526-532.
- Zimont, V.L.(2000) Gas Premixed Combustion at High Turbulence. Turbulent Flame Closure Model Combustion Model, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 21:179-186.

Τριβή πλίνθου - κονιάματος οριζόντιων αρμών Οπλισμένης Τοιχοποιίας

Νικολέττα Ψύλλα

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ενός πειραματικού προγράμματος που αφορά τη διερεύνηση του μηχανισμού τριβής πλίνθου - κονιάματος των οριζόντιων αρμών Οπλισμένης Τοιχοποιίας. Για το σκοπό αυτό 21 δοκίμια (τριπλέτες) υποβλήθηκαν σε μονοτονικές και ανακυκλιζόμενες δράσεις. Χρησιμοποιήθηκαν ορθόγυρες πλίνθοι με υψηλό ποσοστό κενών (55%), διαστάσεων 320x250x155-mm σχεδιασμένες έτσι ώστε να εξασφαλίζουν θερμοκή και ακουστική μόνωση στην τοιχοποιία. Το πειραματικό πρόγραμμα επικεντρώθηκε στην διερεύνηση της επιρροής της κατακόρυφα επιβαλλόμενης θλιπτικής τάσης σ_0 , και του πάχους των οριζόντιων αρμών t_m . Όπως προκύπτει από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, το φαινόμενο της τριβής πλίνθου - κονιάματος των οριζόντιων αρμών φαίνεται ότι καθορίζεται από την σημαντική εμπλοκή του κονιάματος και των ορθόγυρων πλίνθων, η οποία οδηγεί στην αύξηση της αρχικής "συνοχής" υπό μηδενική μετακίνηση, ενώ μετά την έναρξη της ολίσθησης προκαλεί δευτερογενώς μια κατάσταση τεχνητής "συνοχής", διαφοροποιώντας την συμπεριφορά των διεπιφανειών σε σχέση με αυτές του Οπλισμένου Σκυροδέματος. Η τιμή της μέγιστης διατμητικής τάσης, τόσο κατά την στατική όσο και κατά την κινηματική φάση, αυξάνεται με την αύξηση της εγκάρσια επιβαλλόμενης θλιπτικής τάσης. Διαπιστώθηκε ότι ο αναπτυσσόμενος συντελεστής τριβής περιορίζεται από την θλιπτική αντοχή των νευρώσεων των πλίνθων σε διεύθυνση παράλληλη της επιβαλλόμενης μετακίνησης. Η τιμή του κατά την επίτευξη της μέγιστης διατμητικής τάσης βρέθηκε να είναι της τάξης του 0,3, τόσο κατά την στατική όσο και κατά την κινηματική φάση.

Abstract

In this paper the results of an experimental programme, concerning the investigation

of brick to mortar friction along the horizontal joints of Reinforced Masonry Structures, are presented and discussed. For this purpose 21 specimens (triplets) were tested against monotonic and cyclic actions. Vertically highly perforated bricks (55%) were used. The brick 320x250x155-mm was designed to ensure thermal and acoustic isolation of masonry within its thickness. The experimental programme focused on the investigation of the influence of the normal compressive stress and of the thickness of the horizontal joints. The main experimental findings are:

- Due to the deep interlocking of mortar into the vertical holes of the bricks, the initial "cohesion" under static conditions (zero displacement) seems to increase. In addition, after the initiation of slip, an "artificial cohesion" is being developed, resulting to an entirely different behaviour of interfaces, as compared to that of Reinforced Concrete.
- The value of the maximum shear stress increases with the increase of the normal compressive stress. This is valid for the "static" and the "kinematic" phase, as well.
- The value of the friction factor is limited by the compressive strength of the vertical webs of the brick, in direction parallel to the direction of the applied displacement. Its value was found to be around 0,3 for the "static" and the "kinematic" phase, as well.

Λέξεις Κλειδιά: *Οπλισμένη Τοιχοποιΐα, μηχανισμοί μεταφοράς δυνάμεων, τριβή.*

1. Εισαγωγή

Η Οπλισμένη Τοιχοποιΐα είναι ένα ραγδαία αναπτυσσόμενο κατασκευαστικό σύστημα στην Ευρώπη, ειδικά για χρήση υπό σεισμικές συνθήκες. Συνήθως χρησιμοποιούνται ορθόγυρες πλίνθοι και ασβεστοσιμεντοκονιάματα (χαμηλής περιεκτικότητας σε ασβέστη) για την πλήρωση των οριζοντίων αρμών. Διάσπαρτος κατακόρυφος οπλισμός τοποθετείται σε κατακόρυφες οπές που μορφώνονται εντός του σώματος της τοιχοποιΐας, οι οποίες στην συνέχεια πληρώνονται με σιμεντένεμα, ενώ οπλισμός τοποθετείται επίσης και στους οριζόντιους αρμούς. Η συμπεριφορά των στοιχείων της Οπλισμένης Τοιχοποιΐας μετά τη ρηγμάτωση εξαρτάται από τους επιμέρους μηχανισμούς μεταφοράς δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά μήκος μιας ρωγμής και συγκεκριμένα του μηχανισμού τριβής πλίνθου – κονιάματος ή πλίνθου – πλίνθου λόγω της εμπλοκής των διεπιφανειών και της τυχόν παρουσίας εγγάρσιας θλιπτικής τάσης, και των μηχανισμών εξόγκωσης και βλήτρου των ράβδων του οπλισμού που βρίσκονται ενσωματωμένοι στους οριζόντιους αρμούς και τις κατακόρυφες οπές της τοιχοποιΐας

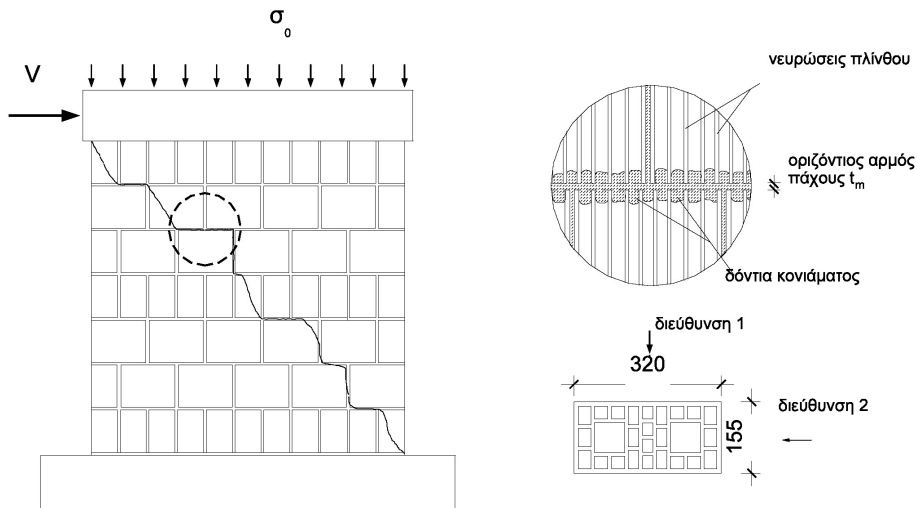
και τέμνουν την ρωγμή. Οι μηχανισμοί αυτοί χαρακτηρίζουν την απομένουσα αντίσταση του τοίχου στην μετά την αστοχία περιοχή των μεγάλων παραμορφώσεων, και συνδέονται άμεσα με την διατιθέμενη πλαστιμότητα του στοιχείου, αφού αποτελούν τις κύριες πηγές απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας. Η γνώση της μηχανικής συμπεριφοράς αυτών των τοπικών μηχανισμών αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ερμηνεία της γενικής συμπεριφοράς των τοίχων μετά την ρηγμάτωση και για την ανάπτυξη των σχετικών αναλυτικών προσομοιωμάτων, τα οποία είναι δυνατόν να βαθμονομηθούν εκ των υστέρων με πειράματα φυσικής κλίμακας. Εντούτοις, η ερευνητική κοινότητα δεν έχει δώσει μέχρι σήμερα την ανάλογη προσοχή στην πειραματική διερεύνηση των μηχανικών ιδιοτήτων των τοπικών μηχανισμών ανάληψης δυνάμεων κατά μήκος των ρωγμών για τις κατασκευές από Ο.Τ. Ειδικότερα, και όσον αφορά τον μηχανισμό τριβής πλίνθου – κονιάματος τα μέχρι σήμερα δημοσιευμένα αποτελέσματα είναι μάλλον ελλιπή. Πράγματι, ο Van der Pluijm (1993) μελέτησε συστηματικά την διατμητική συμπεριφορά των διεπιφανειών κονιάματος – πλίνθου εκτελώντας δοκιμές διάτμησης σε διπλέττες και καταγράφοντας την πλήρη μονοτονική καμπύλη διατμητικής απόκρισης – ολίσθησης υπό διάφορες τιμές εγκάρσιας θλιπτικής τάσης, για συμπαγείς κεραμικές και ασβεστοπυριτικές πλίνθους, με διάφορους τύπους κονιαμάτων. Εντούτοις δεν ανευρίσκονται στην βιβλιογραφία ανάλογες εργασίες που να αφορούν την διερεύνηση της πλήρους διατμητικής συμπεριφοράς των διεπιφανειών κονιάματος – πλίνθου σε μονοτονικές και ανακυκλιζόμενες φορτίσεις για τοιχοποιίες από ορθότροπες δομικές μονάδες οι οποίες κατά κανόνα χρησιμοποιούνται στις κατασκευές Ο.Τ.

Στην παρούσα εργασία, επιχειρείται η διερεύνηση του μηχανισμού τριβής πλίνθου - κονιάματος οριζοντίων αρμών. Το πειραματικό πρόγραμμα σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε στο Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος στο ΕΜΠ και αποτελεί μέρος ενός ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος με τίτλο "Βιομηχανική Ανάπτυξη Κτιρίων από Οπλισμένη Τοιχοποιία" (DREMAB 1996).

Στην περίπτωση που η αναπτυσσόμενη διαγώνια διατμητική ρωγμή ενός τοίχου Ο.Τ. που υπόκειται σε οριζόντιες δράσεις εντός του επιπέδου του, διέλθει από τους οριζόντιους αρμούς, μέρος της διατμητικής αντίστασης του τοίχου είναι δυνατόν να μεταφερθεί από το ένα τμήμα της τοιχοποιίας στο άλλο μέσω της τριβής κονιάματος – πλίνθου (βλ. Σχ. 1). Πράγματι, λόγω της σχετικής ολίσθησης των δύο τμημάτων του τοίχου κατά μήκος της ρωγμής, και λόγω της παρουσίας της εξωτερικά επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης (λόγω των κατακορύφων φορτίων) είναι δυνατή η ανάπτυξη αντίστασης λόγω τριβής στην διεπιφάνεια κονιάματος – πλίνθου. Πρέπει δε να σημειωθεί ότι και στα εφελκόμενα ακόμα τμήματα, η βαθειά εμπλοκή πλίνθων – κονιάματος είναι δυνατόν να προσφέρει αντίσταση διατμητική κατά μήκος της ρωγμής.

Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι οι διεπιφάνειες μεταξύ των ορθότροπων πλίνθων της Ο.Τ. και του κονιάματος των οριζοντίων αρμών παρουσιάζουν ορισμένες ιδιομορφίες που δεν συναντώνται σε διεπιφάνειες μέσα σε μέλη κατασκευών Οπλι-

σμένον Σκυροδέματος. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια κατασκευής τοίχων Ο.Τ. το κονίαμα των οριζοντίων αρμών, αναπόφευκτα εισέρχεται στις κατακόρυφες οπές των πλίνθων, δημιουργώντας "δόντια" κονιάματος, δηλαδή μεγάλων διαστάσεων εξοχές κονιάματος, που μεταβάλλουν τη συμπεριφορά των διεπιφανειών σε σχέση με αυτές του Ο.Σ. (βλ. Σχ. 1).



Σχήμα 1: Μορφή ρηγμάτωσης τοίχου Ο.Τ. που υπόκειται σε δράσεις εντός του επιπέδου του – Γεωμετρία πλίνθων και δόντια κονιάματος δημιουργούμενα κατά την κατασκευή των τοίχων Ο.Τ.

2. Περιγραφή πειραματικού προγράμματος

Για τη διερεύνηση του μηχανισμού τριβής κονιάματος - πλίνθου κατασκευάστηκαν 21 δοκίμια, εκ των οποίων τα 15 δοκιμάστηκαν σε μονοτονικές δράσεις ενώ στα υπόλοιπα 6 εκτελέστηκε και μια ανακύνκιση για την εκτίμηση της απόκρισης στην αντίθετη διεύθυνση φόρτισης. Το πειραματικό πρόγραμμα επικεντρώθηκε στην διερεύνηση της επιρροής της κατακόρυφα επιβαλλόμενης θλιπτικής τάσης σ_0 , και του πάχους των οριζοντίων αρμών t_m .

α) Υλικά

Για την κατασκευή των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν πλίνθοι των οποίων η μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} παράλληλα στις οπές μετρήθηκε ίση με 8,5 MPa, ενώ κάθετα στις οπές κατά την διεύθυνση 1 και 2 (βλ. Σχ. 1) βρέθηκε ίση με 2,20 και 1,15 MPa αντί-

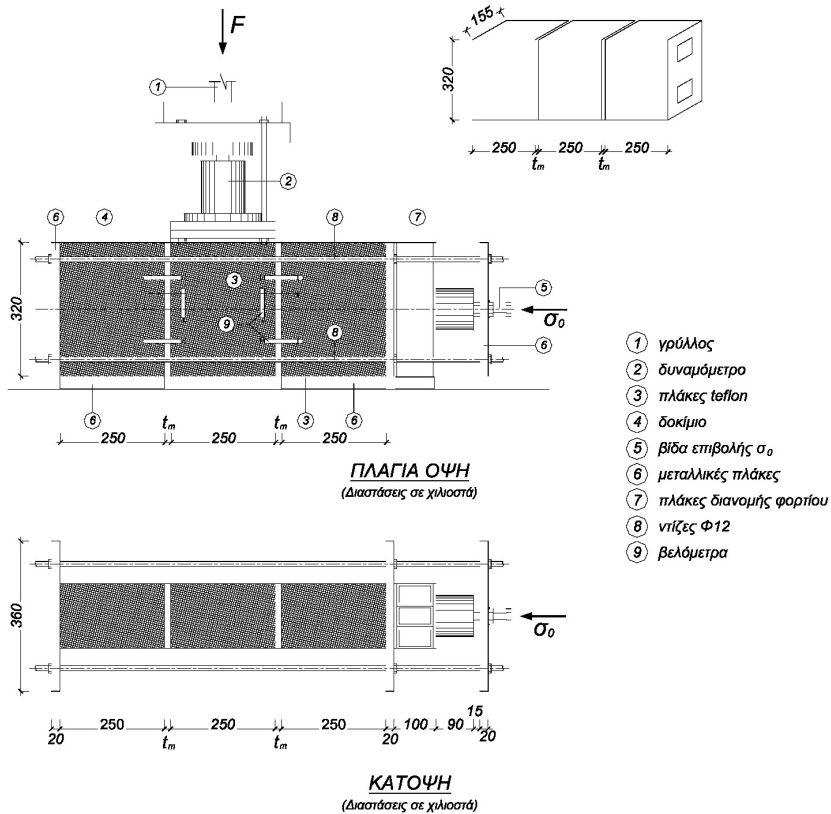
στοιχα. Για την πλήρωση των οριζοντίων αρμών, χρησιμοποιήθηκαν δύο ποιότητες κονιάματος δομήσεως (M1 και M2). Το M1 ήταν ένα ασβεστοσιμεντοκονίαμα με κ.ο. σύνθεση Τσιμέντο:Ασβέστης:Αμμος:Νερό = 1:0,25:4:1,30, και το M2 ένα τσιμεντοκονίαμα με κ.ο. σύνθεση Τσιμέντο:Αμμος:Νερό = 1:5:1,50. Στο κονίαμα M2 η απαραίτητη εργασιμότητα του μίγματος, επιτεύχθηκε με την χρήση ενός ρευστοποιητή, που προστέθηκε στο μίγμα σε αναλογία 1% επί του βάρους του τσιμέντου. Κατά την κατασκευή των δοκιμών τα υλικά μετρήθηκαν με αναλογίες κ.β., που ήταν Τσιμέντο:Ασβέστης:Αμμος:Νερό = 1:0,26:6:1 για το κονίαμα M1, και Τσιμέντο:Αμμος:Νερό = 1:7,5:1,15 για το κονίαμα M2. Χρησιμοποιήθηκε άμμος κοκκομετρικά διαβαθμισμένη με μέγιστο κόκκο 2,4 mm. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των δύο κονιαμάτων, δηλ. η εφελκυστική αντοχή από κάμψη και η θλιπτική αντοχή τους, μετρήθηκαν επί συμβατικών δοκιμών, (πρίσματα 40 x 40 x 160 mm και κύβοι 40 x 40 x 40 mm), που λήφθηκαν κατά την διάρκεια κατασκευής των δοκιμών τριβής, συντηρήθηκαν στις ίδιες συνθήκες και δοκιμάστηκαν την ίδια μέρα με αυτά. Βρέθηκε ότι οι αντοχές των δύο τύπων κονιαμάτων πρακτικώς ήταν παρόμοιες. Συγκεκριμένα, η μέση θλιπτική αντοχή των M1 και M2 βρέθηκε ίση με 9,14 MPa και 10,79 MPa αντίστοιχα, ενώ η μέση εφελκυστική αντοχή τους από κάμψη ίση με 2,64 MPa και 3,04 MPa αντίστοιχα.

β) Γεωμετρία δοκιμών

Η γεωμετρία των δοκιμών παρουσιάζεται στο Σχ. 2. Αποτελούνται από τρείς πλίνθους (τριπλέττα) και περιλαμβάνουν δύο οριζόντιους αρμούς. Τα δοκίμια κατασκευάστηκαν σε κατακόρυφη θέση, όπως στις πραγματικές κατασκευές Ο.Τ.

γ) Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στο Σχ. 2. Το δοκίμιο τοποθετήθηκε στη θέση δοκιμής με τους οριζόντιους αρμούς σε κατακόρυφη θέση. Οι δύο ακραίες πλίνθοι παρέμεναν ακίνητες κατά την διάρκεια της δοκιμής, ενώ η μεσαία ήταν ελεύθερη να κινείται παράλληλα με τους οριζόντιους αρμούς. Η ορθή θλιπτική τάση επιβαλλόταν μέσω μιάς βίδας και τεσσάρων εξωτερικών μεταλλικών ράβδων (ντίξες) Φ12, ενώ διορθωνόταν και παρέμενε σταθερή καθόλη τη διάρκεια της δοκιμής. Οι δοκιμές εκτελέστηκαν με την επιβολή μετακινήσεων στη μεσαία πλίνθο, ενώ ένα δυναμόμετρο μετρούσε την επιστρατευόμενη διατμητική αντίσταση του δοκιμίου. Οι σχετικές μετακινήσεις κονιάματος - πλίνθου καταγράφονταν μέσω 4 βελομέτρων (δύο σε κάθε όψη του δοκιμίου - ένα σε κάθε αρμό) που τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια των πλίνθων, πολύ κοντά στον οριζόντιο αρμό. Τέλος, το άνοιγμα των οριζοντίων αρμών ως αποτέλεσμα διατμητικής διόγκωσης (dilatancy), μετριόταν μέσω οκτώ βελομέτρων (4 βελόμετρα σε κάθε όψη του δοκιμίου).



Σχήμα 2: Γεωμετρία δοκιμίων και πειραματική διάταξη μέτρησης τριβής πλίνθου – κονιάματος στους οριζόντιους αρμούς.

δ) Ιστορία φορτίσεως

Οι δοκιμές εκτελέστηκαν με αύξηση των επιβαλλόμενων μετακινήσεων μονοτονικά, μέχρι αποτυχίας του δοκιμίου. Σε έξι δοκιμια εκτελέστηκε και μια ανακύκλιση για την εκτίμηση της απόκρισης στην αντίθετη διεύθυνση φόρτισης.

ε) Παράμετροι που εξετάστηκαν

Διερευνήθηκαν οι ακόλουθες παράμετροι:

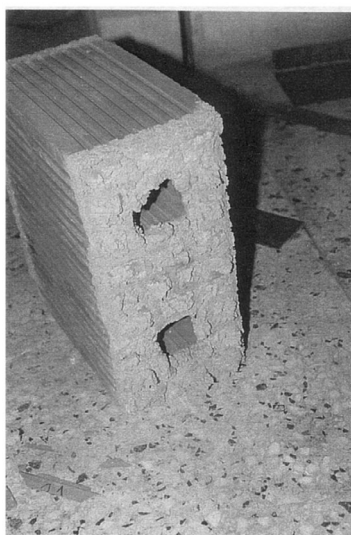
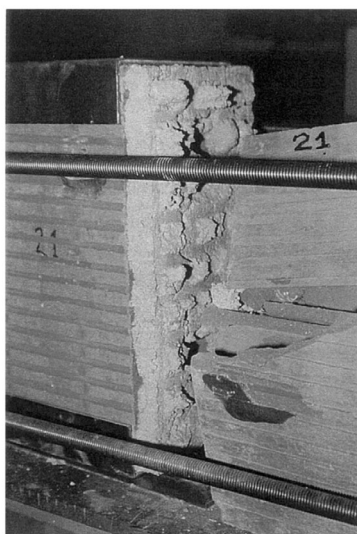
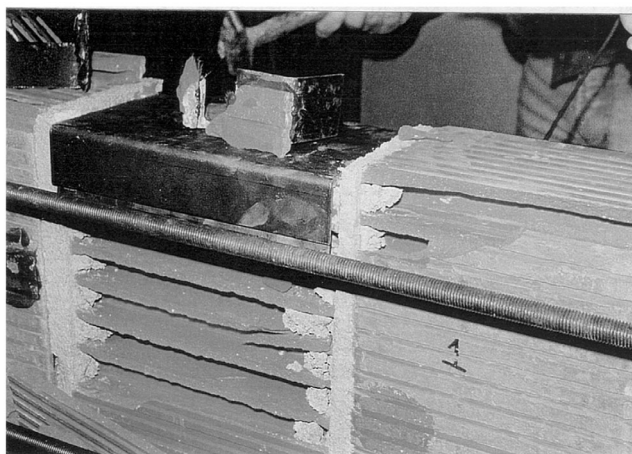
- Το πάχος των οριζοντίων αρμών t_m . Επιλέχθηκαν 2 πάχη αρμών : 10 και 15 mm.
- Το μέγεθος της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης σ_0 . Επιλέχθηκαν τρεις τιμές, βάσει των αναμενόμενων ορθών θλιπτικών τάσεων στις πραγματικές κατασκευές Ο.Τ., συγκεκριμένα, $\sigma_0 = 0,05$ MPa, 0,15 MPa και 0,30 MPa.

Στον Πιν. 1 παρουσιάζεται το πλήρες πειραματικό πρόγραμμα που εκτελέστηκε.

3. Πειραματικά αποτελέσματα

α) Μορφές αστοχίας

Διαπιστώθηκαν θραύσεις των "δοντιών" του κονιάματος και αστοχία των νευρώσεων των πλίνθων (κατακόρυφες ρηγματώσεις), που σε όλες τις περιπτώσεις οδήγησαν είτε σε αποκολλήσεις του εξωτερικού τοιχώματος, είτε σε αποδιοργάνωση τμημάτων των πλίνθων (βλ. Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Μορφή αστοχίας δοκιμίων: Θραύσεις "δοντιών" κονιάματος και αστοχία των νευρώσεων των πλίνθων.

β) Πειραματικές καμπύλες διατμητικής τάσης - μετακίνησης

Στο Σχ. 3(α) παρουσιάζονται τυπικές πειραματικές καμπύλες αντίστασης τριβής - μετακίνησης του αρμού, σε μονοτονική φόρτιση. Για τα πλήρη πειραματικά αποτελέσματα βλ. Ψύλλα (2000). Για τον υπολογισμό των μετακινήσεων χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των ενδείξεων των τεσσάρων βελομέτρων που είχαν τοποθετηθεί στις δύο όψεις του δοκιμίου, ενώ θεωρήθηκε ότι η διατμητική δύναμη που αναλάμβανε κάθε ένας από τους αρμούς, ήταν η μισή της καταγραφόμενης μέσω του δυναμομέτρου.

Παρατηρείται πάντα ένας αρχικός ανοδικός κλάδος, όπου η αντίσταση τριβής αυξάνεται υπό οιονεί μηδενική μετακίνηση. Η τιμή της μέγιστης αντίστασης " τ_0 " υπό μηδενική μετακίνηση, φαίνεται να εξαρτάται από την επιβαλλόμενη θλιπτική τάση, και κυμαίνεται από 0,08 έως 0,18 MPa. Πράγματι, η θλιπτική τάση εξασφαλίζει την εμπλοκή των διεπιφανειών κονιάματος- πλίνθου, και αυξάνει την διατμητική τάση που απαιτείται για την έναρξη της ολίσθησης.

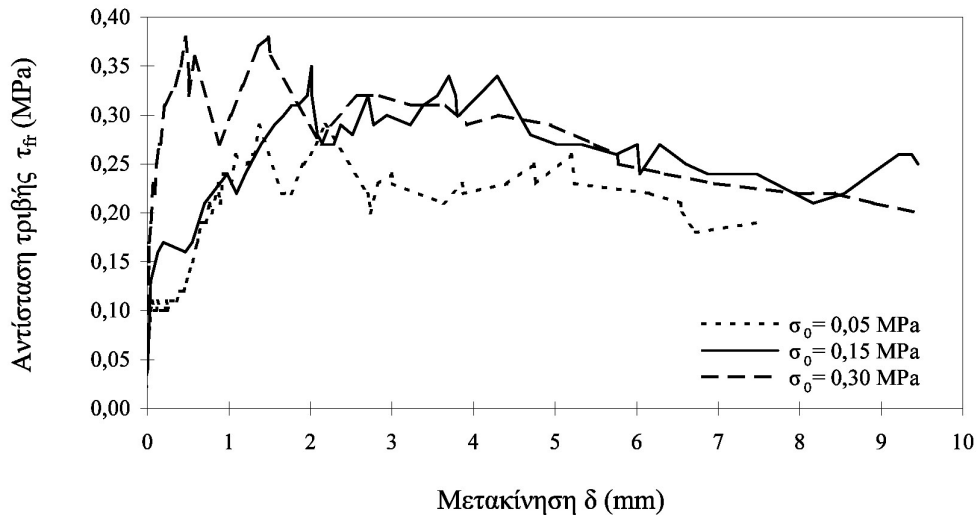
Στην συνέχεια, η αντίσταση του μηχανισμού αυξάνει με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετακινήσεων, ενώ παρατηρούνται συνεχείς μικροαυξομειώσεις στην καμπύλη διατμητικής αντίστασης - μετακίνησης, μέχρι την επίτευξη της μέγιστης αντίστασης τριβής. Αυτό οφείλεται στην προοδευτική μείωση των αντιστάσεων που προσφέρονται από τα δόντια του κονιάματος. Πράγματι, μετά την αστοχία (υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής) ενός δοντιού κονιάματος, η διατμητική αντίσταση του μηχανισμού πέφτει απότομα, μέχρι να ενεργοποιηθεί η αντίσταση κάποιων άλλων δοντιών, προκαλώντας την εκ νέου αύξησή της. Η τιμή της μέγιστης διατμητικής αντίστασης " $\tau_{fr,u}$ " κυμαίνεται από 0,28 έως 0,38 MPa, (ανάλογα με την τιμή της επιβαλλόμενης θλιπτικής τάσης), ενώ επιτυγχάνεται σε μετακινήσεις δ_u που παρουσιάζουν αρκετή διασπορά (από 0,5 έως 2,5 mm).

Αμέσως μετά την επίτευξη της μέγιστης αντίστασης παρατηρούνται μεγάλες και απότομες αυξομειώσεις της διατμητικής αντίστασης καθώς, με την αύξηση των μετακινήσεων, επέρχονται διαδοχικές ολίσθησεις των θραυσμάτων του κονιάματος ή τοπικές θραύσεις των νευρώσεων των πλίνθων.

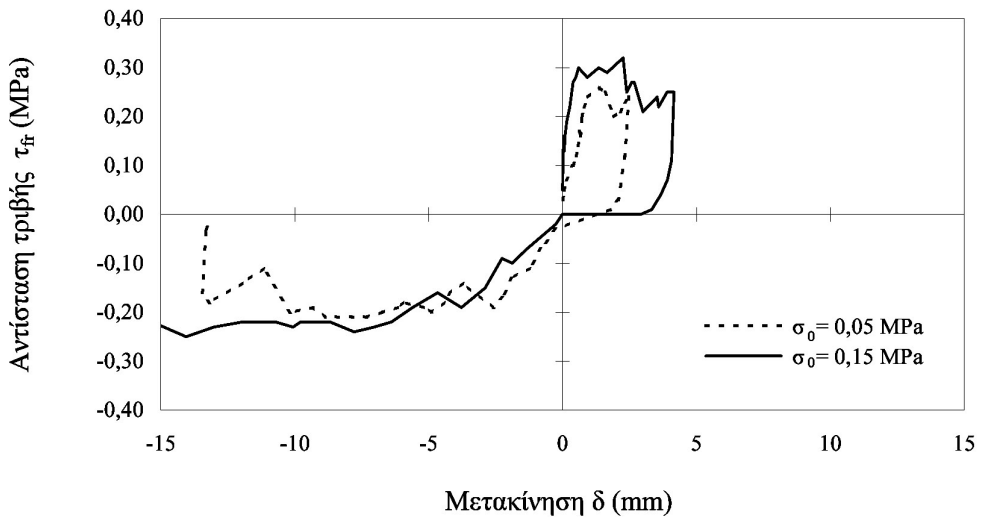
Τέλος καταγράφεται μία παραμένουσα διατμητική αντίσταση " $\tau_{fr,res}$ ", όπου παρατηρείται σημαντική εξομάλυνση των καταγραφόμενων αυξομειώσεων. Φαίνεται ότι και μετά την απεμπλοκή των δοντιών του κονιάματος αλλά και των τοπικών αστοχιών των πλίνθων, το σύστημα είναι ακόμη ικανό να επιδείξει μία σημαντική αντίσταση τριβής (0,15 έως 0,25 MPa), που κυρίως οφείλεται στην αδρομέρεια των επιφανειών του κονιάματος, οι οποίες δημιουργούνται μετά την αποκοπή των δοντιών. Επίσης παρατηρείται σημαντική διασπορά των τιμών των μετακινήσεων δ_{res} στις οποίες αυτή επιτυγχάνεται (2,8 έως 10,5 mm).

Όσον αφορά τα δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε ανακνυλιζόμενες δράσεις, χαρακτηριστικές καμπύλες παρουσιάζονται στο Σχ. 3(β). Παρατηρείται μια μικρή μείωση της μέγιστης επιτυγχανόμενης αντίστασης τριβής κατά την αντίθετη φορά φόρτισης

(της τάξεως του 20%), γεγονός που πιθανώς οφείλεται στην λείανση των επιφανειών της ρωγμής και στην αποκόλληση των δοντιών του κονιάματος κατά την αρχική διεύθυνση φόρτισης.



(α)



(β)

Σχήμα 3: Τυπικές πειραματικές καμπύλες διατμητικής αντίστασης τριβής – μετακίνησης (α) μονοτονικών και (β) ανακυκλιζόμενων δοκιμών.

Τα αποτελέσματα του πειραματικού προγράμματος παρουσιάζονται στον Πιν. 1. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι το πάχος των αζμών δεν έχει ουσιώδη επιρροή στην συμπεριφορά των δοκιμίων, τουλάχιστον για το εύρος των τιμών που δοκιμάστηκαν στο συγκεκριμένο πειραματικό πρόγραμμα ($t_m=10$ mm και 15 mm).

Πίνακας 1. Πειραματικό πρόγραμμα και πειραματικά αποτελέσματα μηχανισμού τριβής πλίνθου-κονιάματος: (α) μονοτονικά και (β) ανακυκλιζόμενα δοκίμια

α/α δοκιμίου	σ_0 (MPa)	t_m (mm)	Κονίαμα	τ_0 (MPa)	$\tau_{fr,u}$ (MPa)	δ_u (mm)	$\tau_{fr,res}$ (MPa)	δ_{res} (mm)	$\tau_{fr,res}/\tau_{fr,u}$
7	0,05	15	M1	0,08	0,34	2,48	0,20	5,20	0,59
8	0,05	15	M1	0,11	0,29	1,37	0,20	2,80	0,69
9	0,05	15	M1	0,08	0,32	2,61	0,17	6,10	0,53
10	0,15	15	M1	0,14	0,38	0,62	0,20	5,10	0,53
11	0,15	15	M1	0,10	0,30	1,06	0,25	5,00	0,83
12	0,15	15	M1	0,15	0,30	0,57	0,25	3,00	0,83
13	0,30	15	M1	0,17	0,38	0,47	0,20	9,40	0,53
14	0,30	15	M1	0,13	0,37	1,09	0,22	4,50	0,60
15	0,30	15	M1	0,18	0,34	1,15	0,27	6,00	0,79
16	0,15	10	M1	0,15	0,33	1,75	0,25	2,80	0,76
17	0,15	10	M1	0,09	0,30	1,78	0,22	3,00	0,73
18	0,15	10	M1	0,10	0,34	8,67	0,25	10,50	0,74
19	0,15	15	M2	0,15	0,36	2,58	0,20	10,00	0,56
20	0,15	15	M2	0,13	0,35	2,01	0,25	5,00	0,71
21	0,15	15	M2	0,12	0,28	1,42	0,15	8,50	0,54

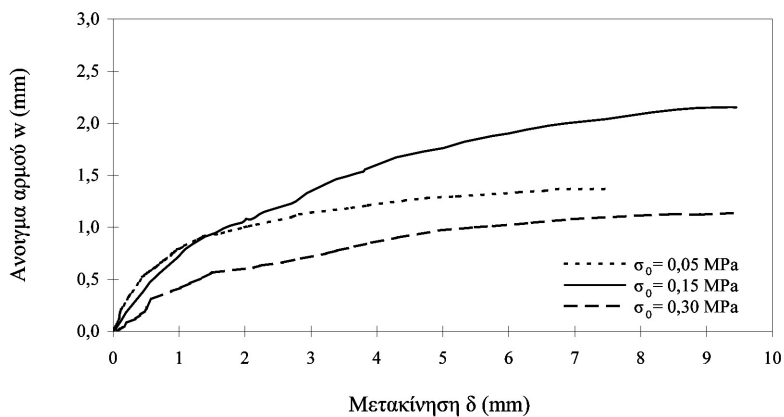
(α) μονοτονικά δοκίμια

α/α δοκιμίου	σ_0 (MPa)	t_m (mm)	Κονίαμα	τ_0 (MPa)	$\tau_{fr,u}(+)$ (MPa)	$\delta_u(+)$ (mm)	$\tau_{fr,u}(-)$ (MPa)	$\tau_{fr,u}(+)/\tau_{fr,u}(-)$
1	0,05	15	M1	0,05	0,26	1,51	-0,23	0,89
2	0,05	15	M1	0,05	0,26	1,38	-0,21	0,81
3	0,05	15	M1	0,13	0,27	1,00	-0,16	0,59
4	0,15	15	M1	0,16	0,28	0,81	-0,33	1,18
5	0,15	15	M1	0,16	0,32	2,26	-0,25	0,78
6	0,15	15	M1	0,15	0,35	1,67	-0,26	0,74

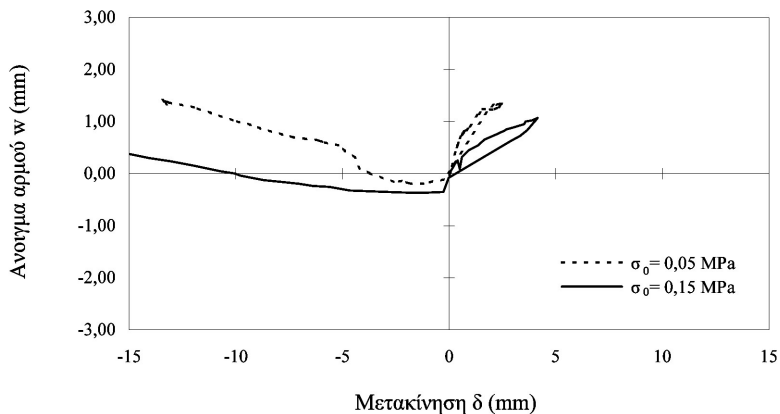
(β) ανακυκλιζόμενα δοκίμια

γ) Πειραματικές καμπύλες επιβαλλόμενης μετακίνησης - ανοίγματος ρωγμής

Στο Σχ. 4, παρουσιάζονται τυπικές πειραματικές καμπύλες του ανοίγματος των αρμών "w" έναντι της επιβαλλόμενης διατμητικής μετακίνησης δ. Για το σύνολο των πειραματικών αποτελεσμάτων βλ. Ψύλλα (2000). Με την έναρξη της ολίσθησης παρατηρείται ένας έντονος ρυθμός αύξησης του ανοίγματος της ρωγμής. Στη συνέχεια το εύρος του αρμού συνεχίζει να αυξάνει αλλά με μειωμένους ρυθμούς. Στις μεγάλες μετακινήσεις, όπου η αντίσταση τριβής έχει πρακτικά σταθεροποιηθεί, και το άνοιγμα της ρωγμής δείχνει να σταθεροποιείται αφού έχει επέλθει σημαντική λείανση των επιφανειών ή σημαντικές τοπικές αστοχίες των πλίνθων.



(α)



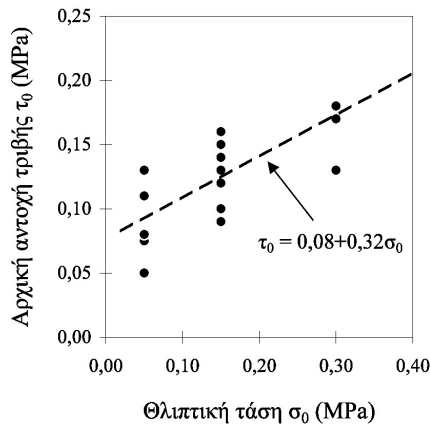
(β)

Σχήμα 4: Τυπικές πειραματικές καμπύλες ανοίγματος αρμού - μετακίνησης (α) μονοτονικών και (β) ανακυκλιζόμενων δοκιμών.

Όπως έχει παρατηρηθεί και στο Ο.Σ. (βλ. Vintzileou και Tassios 1985), στην περίπτωση άοπλων επιφανειών το αρχικό άνοιγμα της ρωγμής είναι σχετικά μεγάλο (και μάλιστα συνοδεύεται από μια αναπόφευκτη, τυχαία ολίσθηση κατά μήκος της ρωγμής) στην συνέχεια δε παρατηρείται σταθεροποίηση της τιμής του ανοίγματος των αρμών, λόγω της λείανσης των διεπιφανειών της ρωγμής. Αυτό οδηγεί σε ήπιες καμπύλες w - δ , που όμως παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη διασπορά.

4. Ανάλυση των αποτελεσμάτων

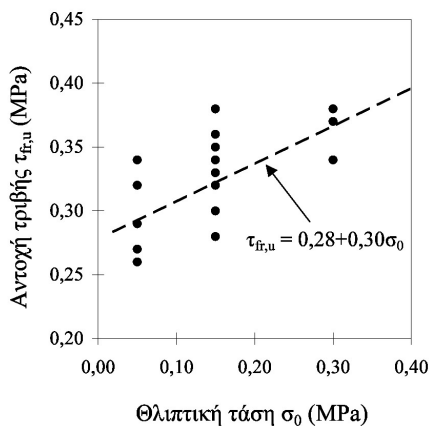
Στο Σχ. 5, σχεδιάζεται για όλα τα δοκίμια η μέγιστη αρχική αντοχή τριβής τ_0 υπό οιονεί μηδενική μετακίνηση έναντι της κάθετα επιβαλλόμενης θλιπτικής τάσης σ_0 . Η μέγιστη αρχική αντοχή, φαίνεται να αυξάνει με την αύξηση της σ_0 . Αυτό ήταν αναμενόμενο, αφού η αύξηση της θλιπτικής τάσης οδηγεί σε στενότερη εμπλοκή των διεπιφανειών και συνεπώς σε αύξηση της αντίστασης του μηχανισμού. Στο Σχ. 5 σχεδιάζεται επίσης η ευθεία των ελαχίστων τετραγώνων που προσαρμόζεται καλύτερα στα πειραματικά σημεία, βάσει της οποίας είναι δυνατόν να εκτιμηθεί ένας αρχικός συντελεστής τριβής υπό οιονεί μηδενική μετακίνηση της τάξεως του 0,3.



Σχήμα 5: Επιρροή της ορθής θλιπτικής τάσης σ_0 στην αρχική αντοχή τριβής τ_0 υπό μηδενική μετακίνηση.

Στο Σχ. 6, σχεδιάζεται η αντοχή τριβής $\tau_{fr,u}$ κάθε δοκιμίου έναντι της κάθετα επιβαλλόμενης θλιπτικής τάσης σ_0 . Η μέγιστη διατμητική τάση που μεταβιβάζεται λόγω τριβής μέσω της διεπιφάνειας κονιάματος - πλίνθου, φαίνεται να αυξάνει με την αύξηση της σ_0 . Αναμένεται ότι η αντοχή τριβής δεν θα αυξάνεται αναλογικά με την κάθετη θλιπτική τάση, γιατί οι μεγάλες θλιπτικές τάσεις εξομαλύνουν τις ανωμαλίες των

διεπιφανειών κονιάματος - πλίνθου. Πράγματι, οι υψηλές θλιπτικές τάσεις δυσχεραίνουν την υπέρβαση των προεξοχών του κονιάματος των οπών και οδηγούν σε τοπικές αστοχίες των πλίνθων, (λόγω της υπέρβασης της διατμητικής αντοχής των νευρώσεων), θέτοντας ένα άνω όριο στην απόκριση του μηχανισμού. Εντούτοις, για το εύρος των τιμών της σ_0 που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία η επιρροή της σ_0 στην απόκριση του μηχανισμού μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά σταθερή. Μέσω της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων που προσαρμόζεται καλύτερα στα πειραματικά σημεία (βλ. Σχ. 6), ο συντελεστής τριβής στην μέγιστη διατμητική αντίσταση βρέθηκε ίσος περίπου με 0,3. Φαίνεται ότι η μέγιστη αναπτυσσόμενη αντίσταση του μηχανισμού εξαρτάται από την χαμηλή αντοχή των νευρώσεων των πλίνθων, οι οποίες συντρίβονται ακαριαίως, περιορίζοντας τον συντελεστή τριβής στα ίδια και σε χαμηλότερα επίπεδα με αυτά της αρχικής αντοχής υπό οιονεί μηδενική μετακίνηση.



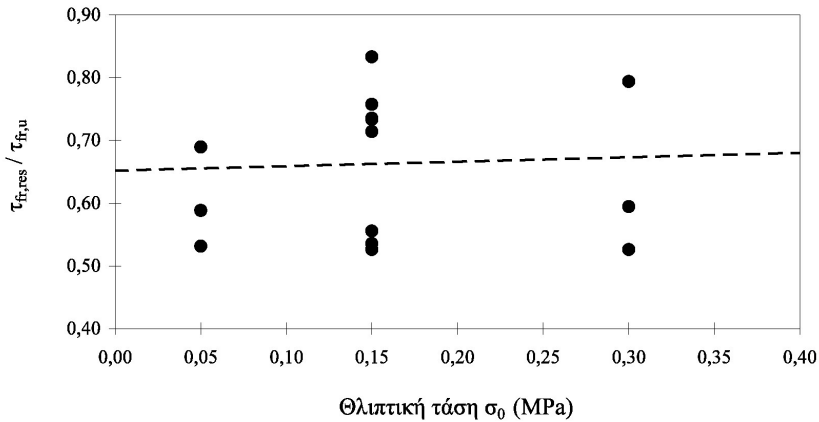
Σχήμα 6: Επιρροή της ορθής θλιπτικής τάσης σ_0 στην αντοχή τριβής $\tau_{fr,u}$.

Στο Σχ. 7 σχεδιάζεται ο λόγος $\tau_{fr,res}/\tau_{fr,u}$ της απομένουσας προς την μέγιστη αντοχή τριβής κάθε δοκιμίου έναντι της κάθετα επιβαλλόμενης θλιπτικής τάσης σ_0 . Όπως φαίνεται, παρουσιάζεται μεγάλη διασπορά των αποτελεσμάτων, έτσι είναι δυνατόν να θεωρηθεί ότι ο λόγος αυτός είναι πρακτικά ανεξάρτητος της σ_0 .

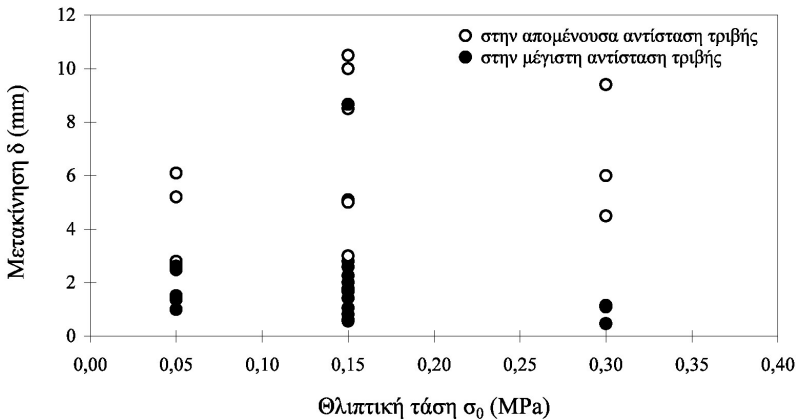
Όσον αφορά τις μετακινήσεις δ_u και δ_{res} στις οποίες επιτεύχθηκε η μέγιστη και η απομένουσα αντίσταση τριβής αντίστοιχα, δεν ήταν δυνατόν να βρεθεί μία ικανοποιητική συσχέτιση με την τιμή της θλιπτικής τάσης σ_0 , λόγω της μεγάλης διασποράς των τιμών των μετακινήσεων (βλ. Σχ. 8). Παρατηρείται πάντως μία τάση μείωσης της δ_u με την αύξηση της θλιπτικής τάσης σ_0 .

Η επιρροή της θλιπτικής τάσης στο άνοιγμα του αρμού για διάφορα μεγέθη μετακινήσεων φαίνεται στο Σχ. 9. Φαίνεται ότι με την αύξηση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης το άνοιγμα του αρμού μειώνεται, ενώ δείχνει να σταθεροποιείται σε

σχετικά υψηλές τιμές της σ_0 (μεγαλύτερες των 0,30 MPa). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι οι σχετικά υψηλές κατακόρυφες τάσεις εξασφαλίζουν την εμπλοκή των διεπιφανειών και μειώνουν το μέγεθος των προεξοχών, μειώνοντας έτσι το άνοιγμα της ρωγμής για τις ίδιες μετακινήσεις.



Σχήμα 7: Επιρροή της ορθής θλιπτικής τάσης σ_0 στον λόγο $\tau_{fr,res} / \tau_{fr,u}$



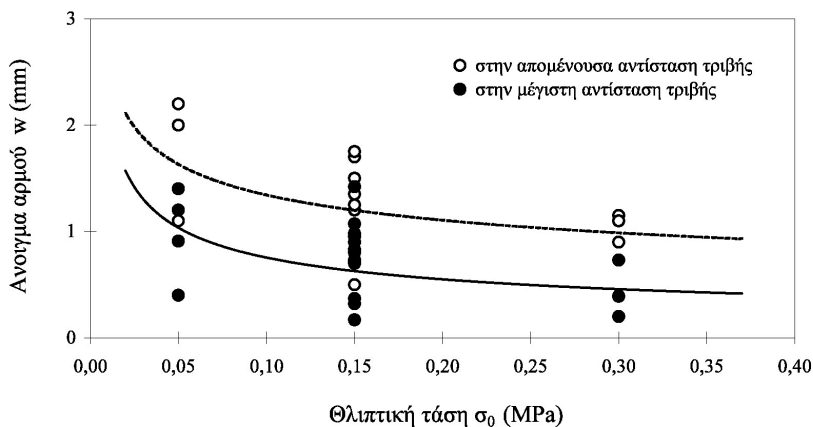
Σχήμα 8: Επιρροή της ορθής θλιπτικής τάσης σ_0 στην μετακίνηση επίτευξης της μέγιστης και της απομένουσας αντίστασης τριβής δ_u και δ_{res} αντίστοιχα.

Εντούτοις, όπως φαίνεται και στο Σχ. 10, το άνοιγμα του αρμού σε κάθε στάθμη μετακίνησης, περιορίζεται σε μία ζώνη σχετικά μικρού εύρους, ανεξαρτήτως του μεγέ-

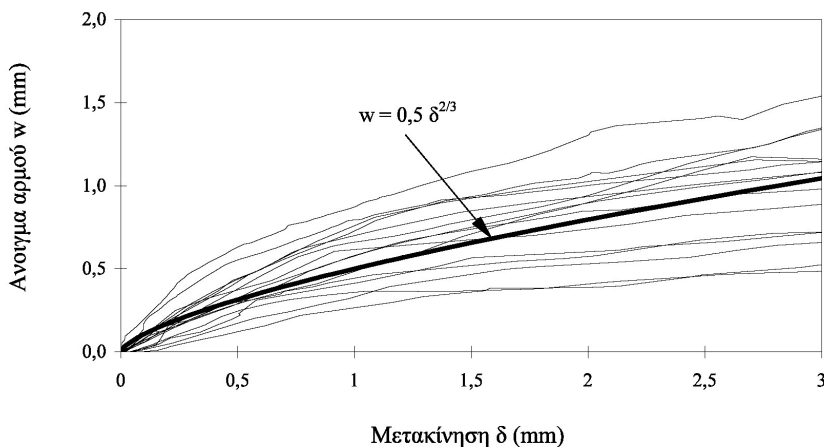
θους της επιβαλλόμενης θλιπτικής τάσης, είναι δε δυνατόν να περιγραφεί από τη σχέση:

$$w = 0,5 \cdot \delta^{2/3} \quad (1)$$

Η ίδια σχέση έχει προταθεί και από διάφορους ερευνητές (Vintzileou και Tassios 1985, Walraven 1980) για την συσχέτιση της διατμητικής ολίσθησης και του ανοίγματος φυσικών ρωγμών άοπλου σκυροδέματος, για μετακινήσεις μικρότερες ή ίσες εκείνης της επίτευξης της αντοχής τριβής.



Σχήμα 9: Επιρροή της ορθής θλιπτικής τάσης σ_0 στο άνοιγμα του αρμού, για μετακινήσεις ίσες με την μετακίνηση επίτευξης της μέγιστης και της απομένουσας αντίστασης τριβής.



Σχήμα 10: Άνοιγμα αρμού έναντι επιβαλλόμενης μετακίνησης όλων των δοκιμών.

Φαίνεται, ότι το ανάγλυφο των διεπιφανειών (το οποίο και καθορίζει την αντίσταση σε τριβή), παρόλο που δημιουργείται τυχαία, τόσο κατά την διάρκεια κατασκευής των δοκιμίων όσο κατά τη διάρκεια επιβολής των μετακινήσεων, αποτελεί τελικά ένα χαρακτηριστικό των υλικών της τοιχοποιϊας. Το ίδιο φαινόμενο έχει εξάλλου παρατηρηθεί και κατά την ανάπτυξη του μηχανισμού τριβής σε διεπιφάνειες "φυσικών" ρωγμών άοπλου σκυροδέματος (βλ. Tassios και Vintzileou 1987).

4. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν σε αυτή την εργασία είναι δυνατόν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Το φαινόμενο της τριβής πλίνθου - κονιάματος των οριζοντίων αρμών φαίνεται ότι καθορίζεται από την σημαντική εμπλοκή του κονιάματος και των ορθότροπων πλίνθων, η οποία οδηγεί στην αύξηση της αρχικής "συνοχής" υπό μηδενική μετακίνηση, ενώ μετά την έναρξη της ολίσθησης προκαλεί δευτερογενώς μια κατάσταση τεχνητής "συνοχής", διαφοροποιώντας την συμπεριφορά των διεπιφανειών σε σχέση με αυτές του Οπλισμένου Σκυροδέματος.
2. Η τιμή της μέγιστης διατμητικής τάσης, τόσο κατά την στατική όσο και κατά την κινηματική φάση, αυξάνεται με την αύξηση της εγκάρσια επιβαλλόμενης θλιπτικής τάσης. Εντούτοις διαπιστώθηκε ότι ο αναπτυσσόμενος συντελεστής τριβής περιορίζεται από την θλιπτική αντοχή των νευρώσεων των πλίνθων σε διεύθυνση παράλληλη της επιβαλλόμενης μετακίνησης. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις πλίνθους που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο πειραματικό πρόγραμμα, οι οποίες αποδείχτηκαν ιδιαίτερα ψαθυρές. Αναμένεται λοιπόν μια βελτιωμένη συμπεριφορά του μηχανισμού στην περίπτωση χρησιμοποίησης λιγότερο ψαθυρών πλίνθων. Η τιμή του αναπτυσσόμενου συντελεστή τριβής κατά την επίτευξη της μέγιστης διατμητικής τάσης βρέθηκε να είναι της τάξης του 0,3, τόσο κατά την στατική όσο και κατά την κινηματική φάση.

Βιβλιογραφία

1. DREMAB (*Industrial Development of Reinforced Masonry Buildings*). (1996) Final Technical Report, Commission of the European Communities, proj. no BE-4001.
2. Pluijm, R. Van der (1993) Shear behaviour of bed joints. *Proceed. 6th North American Masonry Conf.* eds. A.A. Hamid and H.G. Harris, Drexel University, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 125-136.
3. Tassios, T.P. and Vintzileou, E. (1987) Concrete to concrete Friction. *Jour. Struct. Engrg*, ASCE, 113(4), April 1987.
4. Vintzileou, E. and Tassios, T.P. (1985) Mechanisms of load transfer along interfaces in R.C.: Prediction of shear force vs shear displacement curves. *Studi et Ricerche*, 7.
5. Walraven, J.C. (1980) *Aggregate interlock: A theoretical and experimental analysis*. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology.
6. Ψύλλα, Ν. (2000) *Συμπεριφορά Οπλισμένης Τοιχοποιίας υπό μονοτονικές και ανακυκλιζόμενες δράσεις εντός του επιπέδου της*. Διδακτορική Διατριβή, Εργαστήριο Ω.Σ., Ε.Μ.Π.

Αποδοχή αιολικών πάρκων απο τις τοπικές κοινωνίες - Η ενημέρωση & η «συμμετοχή» των πολιτών θα συμβάλλουν αποφασιστικά στην ανάπτυξη των ΑΠΕ

Σιάχος Δημήτρης

Περίληψη

Ο περσινός θερμός χειμώνας -ο θερμότερος των τελευταίων 100 χρόνων-, με τις εντυπωσιακές συνέπειες στη συμπεριφορά της φυσικού περιβάλλοντος αλλά και την πολύ ανησυχητική λειψυδρία που απειλεί ήδη μεγάλες περιοχές της χώρας μας, αποτελεί αδιάφραστη απόδειξη ότι ο πλανήτης μας έχει ημερομηνία λήξεως και ότι αν δεν αναλάβουμε άμεσα δράση, σε λίγο θα είναι πολύ αργά..

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, με βάση τις αποφάσεις του Κιότο, συνέταξε τη «Λευκή Βίβλο» για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, στοχεύοντας μέχρι το 2010 στο διπλασιασμό της συνεισφοράς τους στο 12% του ενεργειακού ισοζυγίου της Ε.Ε. (από 6% που ήταν το 1995).

Δυστυχώς, παρά το ότι βρισκόμαστε πολύ κοντά στο 2010, η χώρα μας βρίσκεται πολύ μακριά από τον αρχικό της στόχο. Η Ελλάδα παρά το πλούσιο Ηλιακό και Αιολικό της δυναμικό βρέθηκε να είναι αντί για Πρωτοπόρος, Ουραγός στην αξιοποίηση των ΑΠΕ. Αισιοδοξούμε βέβαια ότι ο Ν.3468/06 θα δώσει κίνητρα για την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Εκτός όμως από την πολυπλοκότητα της Νομοθεσίας και την έλλειψη κινήτρων για την ανάπτυξη ΑΠΕ κατά την τελευταία επταετία, θα πρέπει να αναζητήσουμε και άλλους τους λόγους της δυσκολίας στην ανάπτυξη των ΑΠΕ στη χώρα μας. Σε μεγάλο βαθμό οι τοπικές κοινωνίες αντί να αγκαλιάσουν το εγχείρημα της εγκατάστασης σταθμών ΑΠΕ στις περιοχές τους, βρέθηκαν να είναι πολέμιες σε κάθε σχετική προσπάθεια.

Στα πλαίσια της προσπάθειας να καταγράψουμε τους λόγους που κάνουν τις τοπικές κοινωνίες να αντιδρούν, το καλοκαίρι του 2006 πραγματοποιήσαμε επιτόπια

έρευνα σε τρεις νομούς της Ελλάδος: την Εύβοια και το Λασιθί (Νομοί όπου λειτουργούν Αιολικά Πάρκα) και τη Λακωνία όπου παρά το ότι έχουν δοθεί σχετικές άδειες, οι τοπική κοινωνία έχει αποτρέψει την εγκατάσταση ανεμογεννητριών.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της έρευνας καταλαβαίνουμε ότι εάν είχαν προηγηθεί προσεκτικές χωροταξικές μελέτες αλλά και υπομονετική ενημέρωση των τοπικών κοινωνιών για τα οφέλη της χρήσης της αιολικής ενέργειας αλλά και για τις επιπτώσεις που μπορεί να έχουν οι εφαρμογές της, όλα τα προβλήματα που εμφανίζονται σήμερα λόγω των αντιδράσεων κατά της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ θα είχαν ξεπεραστεί, με αποτέλεσμα οι ΑΠΕ να συμβάλλουν αποφασιστικότερα όχι μόνο στην κατεύθυνση της προστασίας του περιβάλλοντος και την επίτευξη των στόχων του Κιότο, αλλά και στην ανάπτυξη της περιφέρειας, όπως και την ενίσχυση της Εθνικής μας Οικονομίας.

Abstract

The last year's hot winter –was the hottest of the last 100 years -, with the impressive consequences in the behaviour of natural environment, but also the very concerning water shortage that threatens already big regions of our country, it constitutes irrefutable proof that our planet has date of expiry and that if we do not undertake immediately action, in little it will be very late..

The European Union, with base the Kyoto's decisions, drew up "White Bible" on the Renewable Sources of Energy, aiming up to 2010 in the doubling of their contribution in the 12% of energy balance of EU (from 6% in 1995).

Unfortunately, despite that we are very near in 2010, our country is very long by our initial objective. Greece despite the rich Solar and Aeolian potential is now one of the last countries of EU in the exploitation of APE. We hope that the N.3468/06 will give motives for the development of APE.

Besides the complexity of Legislation and the lack of motives for the development of APE at the last seven-year period, we must also search other reasons of difficulty in the development of APE in our country.

The local societies are very unfriendly for the installation of stations APE in their regions.

The summer of 2006, we tried to record and study the reasons that make the local societies react, we make a field research in three regions of Greece: Evia, Lasithi (Regions where Aeolian Parks function) and Lakonia where the local society has deterred the installation of wind generators, despite the license of installation.

From the treatment of research's results we understand that if the government had made careful land-planning studies, and patient briefing of local societies on the public benefit and effects of using Aeolian energy, all the problems (from local society reaction) would have exceeded, with result the APE contribute decisively not only in the direction

of environment's protection and the achievement of objectives of Kyoto, but also in the regional development, and the aid of the National Economy.

Λέξεις Κλειδιά: Περιβάλλον, Αιολικά Πάρκα, Αποδοχή τοπικών Κοινωνιών, σύνδρομο NIMBY, Ανάπτυξη

Έρευνα

Στην Εύβοια συγκεντρώθηκαν 74 ερωτηματολόγια (Πόλη Καρύστου 15, Καλύβια Καρύστου 10, Κοινότητα Καφηρέα 7, Ν.Στύρα 5, περιοχή Κεφαλάς 3, Πολυπόταμος 2, Στύρα 5, Μαρμάρι 10, Κριεζά 6, Ζάρακες 6, Παραλία Ζαράκων 5

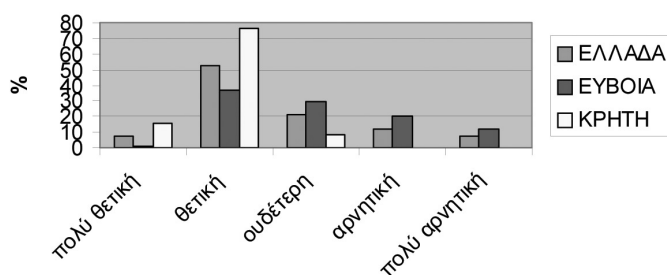
Αντίστοιχα στο Νομό Λασιθίου συγκεντρώθηκαν 50 ερωτηματολόγια (Αγ. Νικόλαος 10, Ελούντα 10, Σητεία 25, Παλαιόκαστρο 5).

Στο Νομό Λακωνίας στην έρευνα έλαβαν συνολικά 55 άτομα: (Μολάοι 20, Μονεμβάσια 10, Λιρά-Ελληνικό 5, Νεάπολη 15, Ρειχέα 5).

1.α. Βαθμός αποδοχής Αιολικών Πάρκων σε περιοχές λειτουργίας

Αρχικά στα Ερωτηματολόγια μετρήθηκε ο βαθμός αποδοχής των Αιολικών Πάρκων στην περιοχή μελέτης.

Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης στις περιοχές όπου λειτουργούν Αιολικά Πάρκα και στη συνέχεια στις περιοχές όπου δεν λειτουργούν ακόμα:

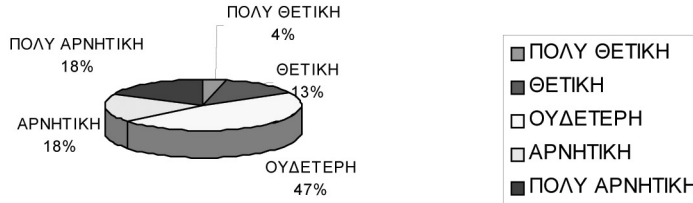


Σχήμα 1. Αποδοχή Αιολικών Πάρκων

Όπως βλέπουμε ανάμεσα στις δύο περιοχές που εξετάζουμε υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά στο βαθμό αποδοχής των Αιολικών Πάρκων, δεν είναι τυχαίο ότι στην Κρήτη δεν συναντάμε καμία αρνητική άποψη σε αντίθεση με την Εύβοια όπου οι αρνητικές και πολύ αρνητικές απόψεις ξεπερνούν το 32%.

Τους λόγους για την στάση αυτή των κατοίκων των δύο περιοχών τους αναλύουμε πιο κάτω και δεν είναι δύσκολο να τους κατανοήσουμε.

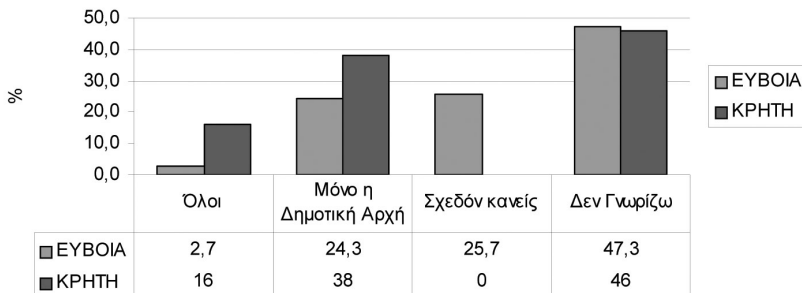
1.β. Βαθμός αποδοχής της πρότασης για εγκατάσταση Αιολικού Πάρκου σε περιοχή μη λειτουργίας



Σχήμα 2. Αποδοχή της προοπτικής εγκατάστασης Αιολικού Πάρκου

Η τοπική κοινωνία είναι στην πλειονότητά της ουδέτερη απέναντι στην ιδέα εγκατάστασης αιολικού πάρκου στην περιοχή. Καταγράφεται όμως ένα μεγάλο ποσοστό (36,4%) που δηλώνει αρνητικό απέναντι σε μια τέτοια προοπτική. Ειδικά στις περιοχές όπου φαίνεται ότι το αιολικό πάρκο θα είναι πολύ κοντά οι αντιδράσεις καταγράφονται ως πολύ αρνητικές σε βαθμό 100%. Στις υπόλοιπες όμως περιοχές οι θετικές και οι αρνητικές απόψεις φαίνεται ότι είναι μοιρασμένες.

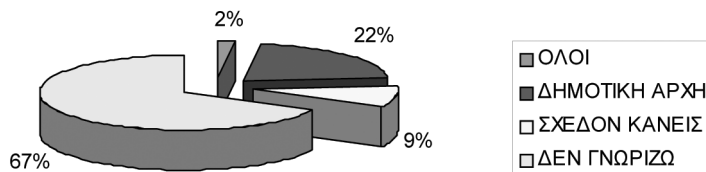
1.γ. Έρευνα για το κατά πόσο έχει ενημερωθεί η τοπική κοινωνία.



Σχήμα 3. Ποιοι είχαν ενημερωθεί πριν την εγκατάσταση των Α/Γ

Βλέπουμε ότι στην Εύβοια σχεδόν το 26% των κατοίκων δηλώνει ότι κανείς δεν είχε ενημερωθεί πριν την εγκατάσταση των πάρκων, ενώ στην Κρήτη κανείς δεν μας έδωσε αντίστοιχη απάντηση, δίνοντάς μας μία ακόμη εξήγηση της αρνητικής στάσης των πολιτών στην Εύβοια.

1.δ. Έρευνα για το κατά πόσο έχει ενημερωθεί η τοπική κοινωνία σε περιοχές που δεν έχει εγκατασταθεί ακόμα αιολικό πάρκο.



Σχήμα 4. Ποιοι έχουν ενημερωθεί για την πρόταση εγκατάστασης αιολικών πάρκων στην περιοχή.

Η μεγάλη πλειονότητα του κόσμου (67%) δηλώνει άγνοια, ενώ αυτοί που δηλώνουν κατηγορηματικά ότι κανείς δεν έχει ενημερωθεί είναι σαφώς περισσότεροι (9%) αυτών που δηλώνουν ότι όλοι είναι ενημερωμένοι (2%).

Είναι προφανές ότι το μεγάλο ποσοστό που δηλώνει ότι δεν έχει ενημερωθεί, δίνει μια εξήγηση για την αρνητική στάση της τοπικής κοινωνίας.

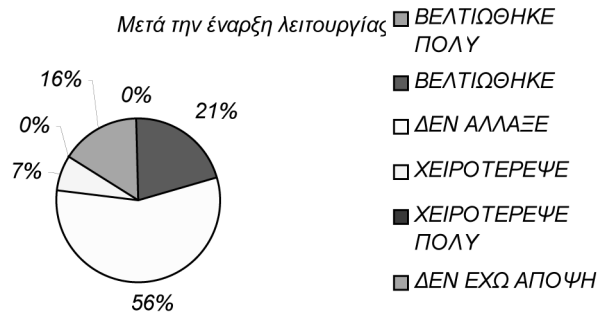
1.ε. Έρευνα του κατά πόσο γνώριζαν οι κάτοικοι τι σημαίνει Αιολικό πάρκο και Αιολική ενέργεια πριν την εγκατάσταση των Ανεμογεννητριών στην περιοχή.



Σχήμα 5. Γνωρίζατε τι σημαίνει Αιολικό Πάρκο και Αιολική ενέργεια πριν την εγκατάσταση Ανεμογεννητριών στην περιοχή

Σχεδόν το 57% του κόσμου δηλώνει ότι δεν ήξερε τίποτα για την αιολική ενέργεια και τα αιολικά πάρκα πριν την εγκατάστασή τους στην περιοχή. Όπως ήταν αναμενόμενο το ποσοστό αυτών που δηλώνουν πλήρη άγνοια πριν την εγκατάσταση είναι πολύ μεγαλύτερο στην Εύβοια (62,2%) έναντι 48% στην Κρήτη.

1.ζ. Πως διαμορφώνεται η γνώμη του κόσμου για τα Αιολικά Πάρκα λίγους μήνες μετά την λειτουργία τους.



Σχήμα 6: Διαμόρφωση κοινής γνώμης για τα Αιολικά Πάρκα λίγους μήνες μετά την λειτουργία τους

Η ερώτηση αυτή έγινε για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της έρευνάς με αυτά αντίστοιχης έρευνας στη Δανία όπου φαινόταν η κοινή γνώμη να γίνεται πιο θετική μετά την έναρξη της λειτουργίας του πάρκου ενώ είχε επιδεινωθεί στο στάδιο της εγκατάστασης.

Εδώ εμείς βλέπουμε ότι πράγματι το 21% των ερωτηθέντων δηλώνουν ότι η άποψή τους βελτιώθηκε, όμως το 12% αυτών που απάντησαν αρνητικά στην προηγούμενη ερώτηση εξακολουθεί να απαντάει αρνητικά. Για άλλη μια φορά το σύνολο των αρνητικών θέσεων προέρχεται από την Εύβοια.

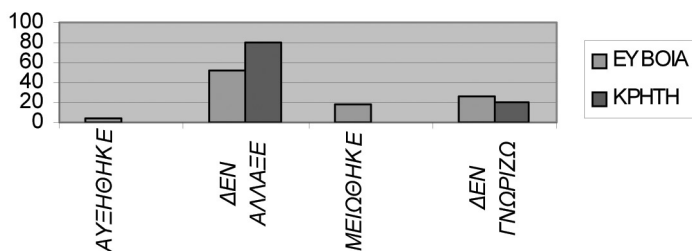
1.στ. Καταγραφή για το εάν υπήρχαν κινητοποιήσεις στην περιοχή.

Με τη σειρά της και αυτή η ερώτηση μας επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα που έχουμε ήδη βγάλει καθώς στην Κρήτη δεν υπήρξαν καθόλου αντιδράσεις ενώ το 30% των κατοίκων δηλώνει ότι η κοινή γνώμη ήταν θετική απέναντι στα Αιολικά Πάρκα, στον αντίποδα το 31% των κατοίκων της Εύβοιας μας μίλησε για έντονες κινητοποιήσεις.

1.ζ. Έρευνα για την άποψη της κοινής γνώμης για την πορεία του τουρισμού μετά την εγκατάσταση των Α/Γ.

Οι Α/Γ δεν έχουν εμφανή επίδραση στον τουρισμό παρά το ότι όλα τα μέρη που επισκεφθήκαμε ήταν παραθαλάσσια και ιδιαίτερα τουριστικά. Μείωση του τουρισμού καταγράφεται μόνο στους Ζάρακες όπου τα προβλήματα αναφέρθηκαν και προηγουμένως με αποκορύφωση τις ανεμογεννήτριες τόσο κοντά στην παραλία.

1.η. Έρευνα για την άποψη της κοινής γνώμης για την αξία της γης μετά την εγκατάσταση των Α/Γ.



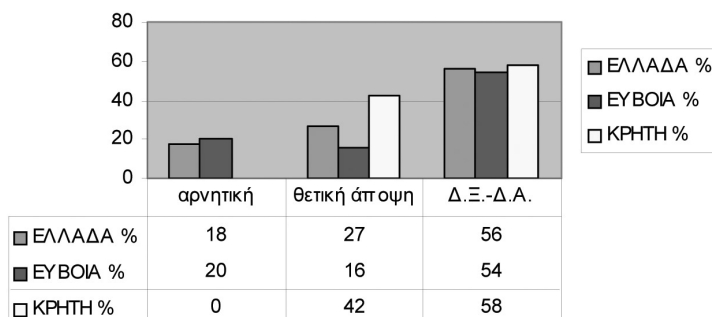
Σχήμα 7: Άποψη της κοινής γνώμης για την αξία της γης μετά την εγκατάσταση του Αιολικού Πάρκου

Όπως είναι αναμενόμενο ένα ποσοστό πάνω από το 20% των πολιτών δεν μας απαντά σε αυτήν την ερώτηση καθώς όπως είδαμε στην αρχή το 35% των ερωτηθέντων δεν μένουν μόνιμα στην περιοχή και έτσι είναι λογικό να μην γνωρίζουν.

Για άλλη μία φορά κανένας δεν μιλά για μείωση της αξίας της γης στην Κρήτη ενώ στην Εύβοια το ποσοστό αυτό είναι 17,6%. Είναι αξιοσημείωτο ότι στην Εύβοια υπάρχει και ένα 4% που μιλά για αύξηση της αξίας της γης. Αυτό το ποσοστό προφανώς αναφέρεται στη γη η οποία εκμισθώνεται από τους επενδυτές για την εγκατάσταση των Α/Γ.

Αν και η συντριπτική πλειοψηφία απαντά ότι η αξία της γης δεν άλλαξε, στους Ζάρακες και στα Στυρά το ποσοστό αυτών που απαντούν ότι η αξία της γης τους μειώθηκε είναι πάρα πολύ μεγάλο.

1.θ. Έρευνα για την άποψη της τοπικής κοινωνίας για τα έσοδα που θα προκύψουν μετά τη λειτουργία του αιολικού πάρκου.



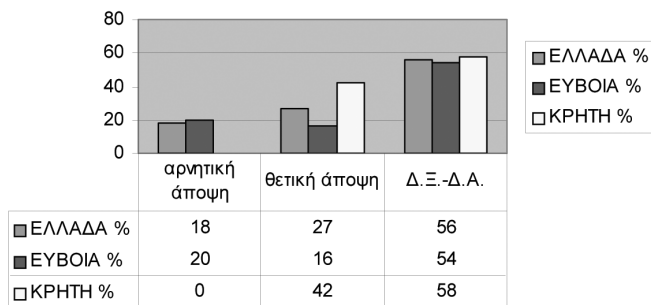
Σχήμα 8: Άποψη της κοινής γνώμης για τα έσοδα του δήμου μετά την λειτουργία του Αιολικού Πάρκου

Η αρνητική στάση μεγάλης μερίδας του κόσμου στην Εύβοια επιβεβαιώνεται και σε αυτό το ερωτηματολόγιο, όπου το 26% θεωρεί τα έσοδα του Δήμου μηδαμινά μπροστά στη ζημιά του τόπου.

Όπως ήταν αναμενόμενο, η μεγάλη πλειονότητα των κατοίκων και στις δύο περιοχές απαντά ότι θα ήθελε περισσότερα έσοδα για την τοπική κοινωνία.

Επίσης και σε αυτήν την ερώτηση είναι εμφανής η ύπαρξη δύο διαφορετικών ομάδων «συμφερόντων» στην Εύβοια, όπου ενώ το 25,7% χαρακτηρίζουν τα έσοδα μηδαμινά μπροστά στη ζημιά του τόπου, το 15% τα χαρακτηρίζουν σημαντικό μοχλό ανάπτυξης.

1.1. Αξιολόγηση της κοινής γνώμης για την επιδότηση της αιολικής ενέργειας

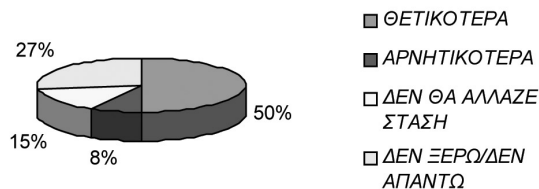


Σχήμα 9: Διαμόρφωση της κοινής γνώμης για την επιδότηση της Αιολικής Ενέργειας

Είναι χαρακτηριστικό ότι η μεγάλη πλειονότητα αποφεύγει να μας απαντήσει σε αυτή την ερώτηση.

Ούτε και σε αυτή την ερώτηση εμφανίζονται αρνητικές απαντήσεις στην Κρήτη, ενώ στην Εύβοια ένα 30% των κατοίκων διατηρεί αρνητική στάση. Από αυτές τις απαντήσεις μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι ο «οικονομικός παράγοντας» είναι καθοριστικός στη διαμόρφωση ή τη διατήρηση του αρνητικού κλίματος, καθώς αυτοί που εναντιώνονται στα αιολικά πάρκα, θεωρούν ότι κάποιοι ωφελούνται σε βάρος τους από αυτά.

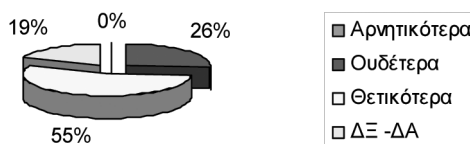
1.2 Έρευνα για την άποψη της κοινής γνώμης για το πώς θα αντιμετωπιζόταν η αιολική ενέργεια εάν υπήρχε καλύτερη ενημέρωση.



Σχήμα 10: Άποψη της κοινής γνώμης για τα Αιολικά Πάρκα αν υπήρχε καλύτερη ενημέρωση

Εδώ βλέπουμε ότι το σύνολο σχεδόν αυτών που αντιμετωπίζουν θετικά την αιολική ενέργεια και τα αιολικά πάρκα, πιστεύει ότι εάν υπήρχε καλύτερη ενημέρωση, ο κόσμος θα αντιμετώπιζε την αιολική ενέργεια θετικότερα και χρεώνουν τις αντιδράσεις σε κακή πληροφόρηση.

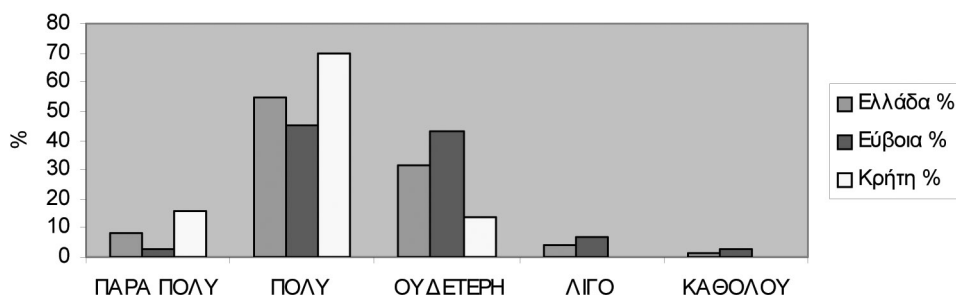
1.λ. Έρευνα για το ποια θα ήταν η άποψη της κοινής γνώμης εάν υπήρχε η δυνατότητα να έχουν και οι ίδιοι άμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. συμμετοχή στην επιχείρηση)



Σχήμα 11. Άποψη της κοινής γνώμης εάν υπήρχε προσωπικό οικονομικό όφελος

Είναι πράγματι εντυπωσιακό ότι σχεδόν το 60% των ερωτωμένων απάντησε ότι η εγκατάσταση αιολικών πάρκων θα αντιμετωπιζόταν θετικότερα εάν οι πολίτες είχαν τη δυνατότητα συμμετοχής στην επιχείρηση. Επίσης κανείς δεν απαντά αρνητικά σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο.

1.μ. Έρευνα για το κατά πόσο πιστεύει η κοινή γνώμη ότι μπορεί να συμβάλει η αιολική ενέργεια στην αντιμετώπιση των προβλημάτων της μόλυνσης του περιβάλλοντος και της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας μας από τα εισαγόμενα καύσιμα.



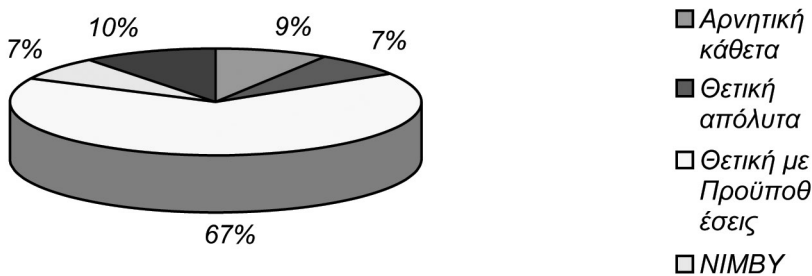
Σχήμα 12: Πόσο πιστεύει η κοινή γνώμη ότι μπορεί να συμβάλει η αιολική ενέργεια στην αντιμετώπιση των σημερινών προβλημάτων (Μόλυνση του περιβάλλοντος, ενεργειακή εξάρτηση της χώρας μας).

Βλέπουμε ότι ο βαθμός αποδοχής των αιολικών πάρκων σε μεγάλο βαθμό αντι-

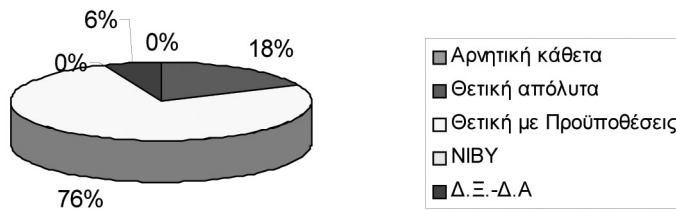
στοιχεί με το βαθμό που πιστεύει ο κόσμος ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση των προβλημάτων από τη μόλυνση του περιβάλλοντος και την εξάρτηση από τα εισαγόμενα καύσιμα.

Στην Κρήτη το 86% των ερωτηθέντων απαντά ότι η Αιολική Ενέργεια μπορεί να συμβάλει πολύ ή πάρα πολύ στην αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στην Εύβοια είναι λιγότερο από 50%.

1.ν. Σύνοψη της κοινής γνώμης για την Αιολική Ενέργεια



Σχήμα 13: Αποψη της κοινής γνώμης για τα αιολικά πάρκα στην Εύβοια



Σχήμα 14: Αποψη της κοινής γνώμης για τα αιολικά πάρκα στην Κρήτη

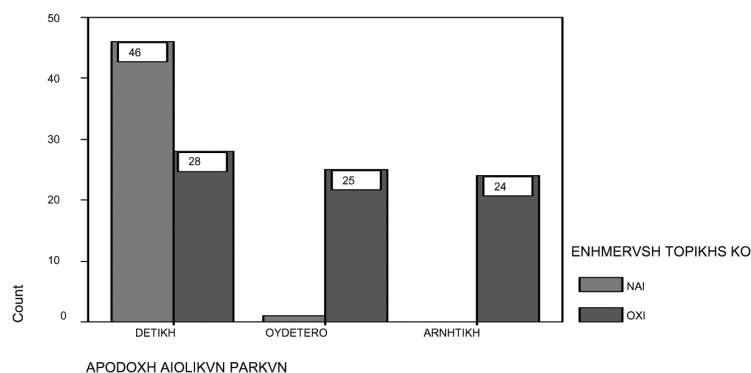
Η έρευνα αποδεικνύει ότι η συντριπτική πλειονότητα του κόσμου είναι θετική απέναντι στην αιολική ενέργεια εάν ακολουθούνται προσεκτικά οι περιβαλλοντικοί όροι και δεν γίνεται η εγκατάσταση των αιολικών πάρκων δίχως να προηγηθεί ενημέρωση της τοπικής κοινωνίας.

Όταν οι πολίτες ενημερώνονται, υιοθετούν από μόνοι τους τη λύση της αιολικής ενέργειας, ως λύση απέναντι στην ενεργειακή εξάρτηση της χώρας μας από τα εισαγόμενα καύσιμα και τη μόλυνση του περιβάλλοντος. Στην αντίθετη περίπτωση αντί για υποστηρικτές γίνονται πολέμιοι των αιολικών πάρκων καθώς αισθάνονται ότι κάποι-οι έρχονται να θησαυρίσουν σε βάρος των περιουσιών, της υγείας και της ηρεμίας τους.

Το υψηλό ποσοστό αρνητικών απόψεων για την αιολική ενέργεια στην Εύβοια καταγράφεται και σε αυτό το ερωτηματολόγιο. Από το 27% συνολικά που τοποθετείται κατά των αιολικών πάρκων το 15% δεν θεωρεί ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να είναι

αξιόπιστη εναλλακτική μορφή ενέργειας, ενώ το 12% δεν αρνείται τα οφέλη που έχει να δώσει η αιολική ενέργεια αλλά αντιδρά όταν τα αιολικά πάρκα έρχονται να τοποθετηθούν στην περιοχή του (αντίδραση γνωστή ως «NIMBY» (not in my back yard).

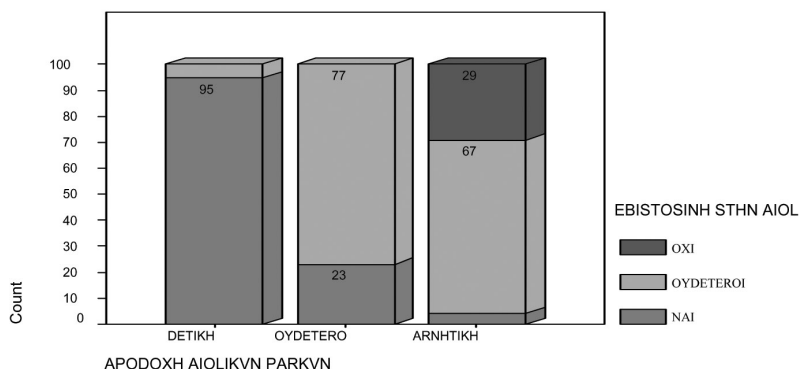
1.ξ. Στατιστική Ανάλυση των αποτελεσμάτων σε Ν. Εύβοια και Α. Κρήτη



Σχήμα 15: Συσχετισμός Αποδοχής Αιολικού Πάρκου και ενημέρωσης της Τοπικής Κοινωνίας πριν την εγκατάσταση των Α/Γ.

X ²	Df	P – value
45,965	2	0,000

Βλέπουμε ότι πράγματι συσχετίζεται η άποψη που υιοθετεί η τοπική κοινωνία με το βαθμό που θεωρεί ότι έχει ενημερωθεί πριν την έναρξη των έργων. Κανένας από αυτούς που δηλώνουν ότι είχαν ενημερωθεί οι ίδιοι ή οι δημοτικές αρχές δεν εκφράζει αρνητική άποψη.

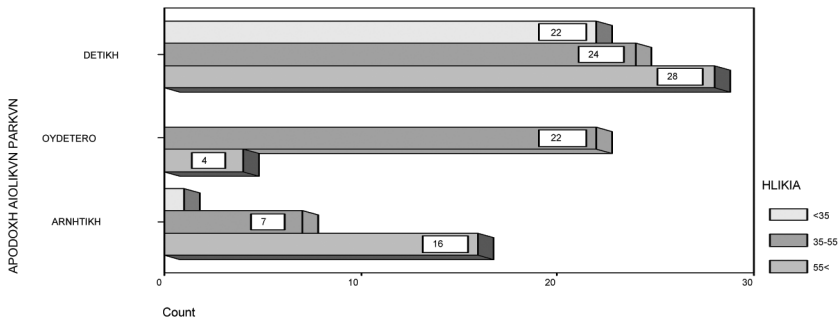


Σχήμα 16: Συσχετισμός αποδοχής του αιολικού πάρκου με το πόσο πιστεύουν (εμπιστεύονται) οι ερωτώμενοι στην αιολική ενέργεια και τις δυνατότητές της να προσφέρει λύσεις.

X^2	P-Value
102,527	0,000

Όπως ήταν αναμενόμενο υπάρχει συσχετισμός μεταξύ του βαθμού αποδοχής των αιολικών πάρκων και του κατά πόσο πιστεύουν οι ερωτώμενοι ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστη εναλλακτική λύση στα σημερινά προβλήματα της μόλυνσης του περιβάλλοντος και της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας από τα εισαγόμενα καύσιμα.

Όλοι όσοι δεν πιστεύουν ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική λύση στα σημερινά προβλήματα (29 %), όπως είναι αναμενόμενο, τοποθετούνται ενάντια στη λειτουργία των αιολικών πάρκων. Υπάρχει επίσης και ένα 4% που τοποθετούνται κατά των αιολικών πάρκων, παρά το ότι πιστεύουν στην αιολική ενέργεια, προφανώς αυτοί κατατάσσονται στην «κατηγορία NIMBY»



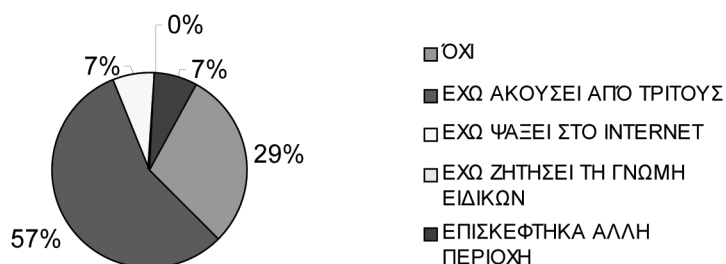
Σχήμα 17: Συσχέτιση της αποδοχής των αιολικών πάρκων με την ηλικία των ερωτώμενων.

X^2	P-Value
34,542	0,000

Μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της ηλικίας των ερωτώμενων και του βαθμού αποδοχής του αιολικού πάρκου. Όλοι σχεδόν οι νέοι (<35) τοποθετούνται θετικά απέναντι στην αιολική ενέργεια. Δεν μπορούμε όμως να πούμε ότι για τις μεγαλύτερες ηλικίες μπορεί να βγει κάποιο ασφαλές συμπέρασμα. Είναι προφανές ότι ο υπολογισμός των ερωτηματολογίων της Κρήτης μαζί με αυτά της Εύβοιας δεν μπορεί να μας βοηθήσει να βγάλουμε πολύ ασφαλή συμπεράσματα καθώς εκεί δεν καταγράφεται καμία αρνητική άποψη ανεξάρτητα από ηλικία ή βαθμό ενημέρωσης.

Αποτελέσματα έρευνας στη Λακωνία

2.α. Έρευνα του κατά πόσο γνωρίζουν οι κάτοικοι τι σημαίνει αιολικό πάρκο και αιολική ενέργεια.



Σχήμα 17: Γνωρίζετε τι σημαίνει αιολικό πάρκο και αιολική ενέργεια;

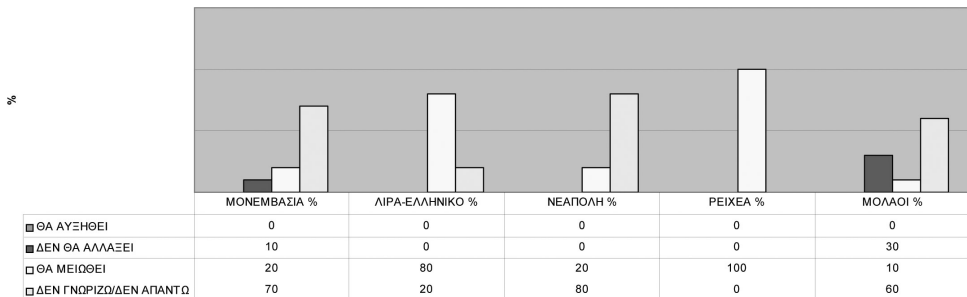
Η έρευνά μας δείχνει ότι η τοπική κοινωνία δεν έχει ενημερωθεί για την αιολική ενέργεια και ένα πολύ μεγάλο ποσοστό (29%) δηλώνει πλήρη άγνοια.

Από την έρευνα φαίνεται επίσης ότι η τοπική κοινωνία είναι πολύ ευάλωτη σε οποιοδήποτε θέλει να καλλιεργήσει μία συγκεκριμένη άποψη και να επηρεάσει τους πολίτες, καθώς το 56% δηλώνουν ότι η ενημέρωσή τους προέρχεται αποκλειστικά από τρίτα άτομα, όχι κατ' ανάγκη επιστήμονες. Ακόμη μόλις το 14% έχει μπει στη διαδικασία να ψάξει στο διαδίκτυο ή να επισκεφθεί άλλο πάρκο.

2.β. Απάντηση στο ερώτημα αν υπήρξαν κινητοποιήσεις στην περιοχή

Μόνο στις περιοχές που έγινε συζήτηση να εγκατασταθούν αιολικά πάρκα κοντά στους οικισμούς υπήρξαν κινητοποιήσεις. Στις υπόλοιπες περιοχές οι κινητοποιήσεις είτε ήταν περιορισμένες είτε οι κάτοικοι δεν γνωρίζουν τι ακριβώς έχει γίνει.

2.γ. Έρευνα για την άποψη της κοινής γνώμης για την πορεία του τουρισμού μετά την εγκατάσταση των Α/Γ.



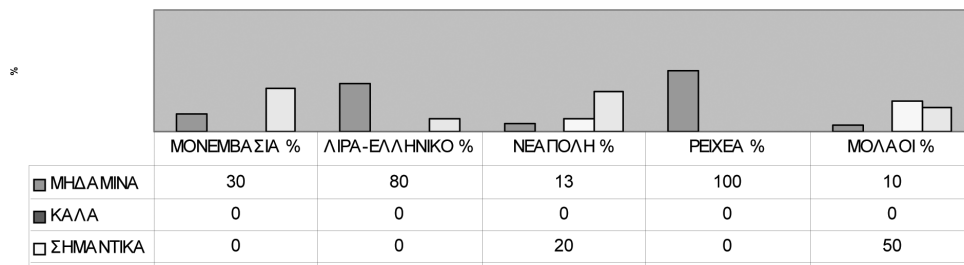
Σχήμα 18: Άποψη για τον τουρισμό μετά την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου.

Η τοπική κοινωνία είναι έντονα ανήσυχη για το μέλλον του τουρισμού μετά την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου. Σε ποσοστό πάνω από 30% φοβούνται ότι η διαταραχή που θα φέρει στην περιοχή η εγκατάσταση του αιολικού πάρκου θα μειώσει δραματικά τον τουρισμό, ενώ σχεδόν οι μισοί δεν μπορούν να προβλέψουν τι θα γίνει και αισθάνονται ανασφαλείς με την ιδέα της εγκατάστασης των Α/Γ. Υπάρχει επίσης ένα μικρό ποσοστό που είναι πιο αισιόδοξο και πιστεύει ότι η εγκατάσταση αιολικών πάρκων στην περιοχή θα προσελκύσει τουρισμό σε αυτά.

2.δ. Έρευνα για την άποψη της κοινής γνώμης για την αξία της γης μετά την εγκατάσταση των Α/Γ.

Αντίστοιχα με την έρευνα για την πορεία του τουρισμού μετά την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου, η έρευνα δείχνει ότι η ανησυχία της τοπικής κοινωνίας για την αξία της γης μετά την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου είναι πολύ μεγάλη. Καθώς το 30% των ερωτηθέντων πιστεύει ότι η αξία της γης θα μειωθεί μετά την εγκατάσταση των Α/Γ. Επίσης σχεδόν το 60% των ερωτηθέντων αποφεύγει να κάνει οποιαδήποτε εκτίμηση.

2.ε. Έρευνα για την άποψη της τοπικής κοινωνίας για τα έσοδα που θα προκύψουν μετά τη λειτουργία του αιολικού πάρκου.

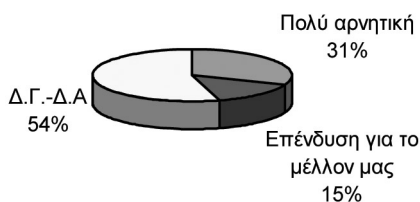


Σχήμα 19: Η άποψη της κοινής γνώμης για τα έσοδα που θα έχει ο τόπος από τη λειτουργία του αιολικού πάρκου.

Με δεδομένο ότι –όπως είδαμε προηγουμένως-, η τοπική κοινωνία δεν είναι ενημερωμένη για την προοπτική εγκατάστασης αιολικού πάρκου στην περιοχή, είναι αναμενόμενο η πλειοψηφία να μην εκφράζει άποψη για τα αναμενόμενα έσοδα. Βλέπουμε βέβαια ότι το 30% περίπου που είναι εξ' αρχής τοποθετημένο ενάντια στα αιολικά πάρκα είναι αρνητικό σε όλες σχεδόν τις ερωτήσεις. Έτσι κι εδώ το ποσοστό αυτό χαρακτηρίζει τα έσοδα «μηδαμινά μπροστά στη ζημιά που θα υποστεί ο τόπος».

Εμφανίζεται επίσης ένα σημαντικό ποσοστό (σχεδόν 25%), που βλέπει τα έσοδα ως σημαντικό έσοδο και επένδυση για τον τόπο και φυσικά αυτό το ποσοστό συμπεριλαμβάνει τους πιο φανατικούς υποστηρικτές της αιολικής ενέργειας.

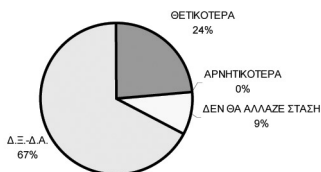
2.στ.. Αξιολόγηση της κοινής γνώμης για την επιδότηση της αιολικής ενέργειας



Σχήμα 20: Άποψη των πολιτών για την επιδότηση των αιολικών πάρκων.

Η συντριπτική πλειοψηφία των ερωτηθέντων (54,5%) δεν απαντά σε αυτή την ερώτηση καθώς δηλώνει άγνοια. Παρόλα αυτά το ποσοστό του 30% που τοποθετείται κατά των αιολικών πάρκων υιοθετεί και σε αυτή την ερώτηση πολύ αρνητική στάση, δηλώνοντας ότι «η επιδότηση θα καταλήξει σε τσέπες ημετέρων» είτε ότι «όταν η επιδότηση σταματήσει θα σταματήσουν και τα αιολικά πάρκα».

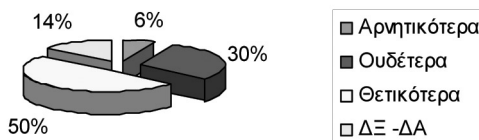
2.ξ. Έρευνα για την άποψη της κοινής γνώμης για το πώς θα αντιμετωπιζόταν η αιολική ενέργεια εάν υπήρχε καλύτερη ενημέρωση.



Σχήμα 21: Πως θα αντιμετώπιζε ο κόσμος τα αιολικά πάρκα αν υπήρχε καλύτερη ενημέρωση.

Εντύπωση προκαλούν τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, καθώς κανείς δεν υποστηρίζει ότι εάν η ενημέρωση ήταν καλύτερη, η άποψη του κόσμου για τα αιολικά πάρκα θα γινόταν χειρότερη. Ενώ ποσοστό μεγαλύτερο του 67% δεν έχει άποψη, υπάρχει ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό 24% που απαντά ότι εάν υπήρχε καλύτερη ενημέρωση η κοινή γνώμη θα αντιμετώπιζε θετικότερα την αιολική ενέργεια. Είναι προφανές ότι το 67% που δεν παίρνει θέση σε αυτή την ερώτηση αποδεικνύει ότι στην περιοχή δεν έχει προηγηθεί σωστή ενημέρωση.

2.η. Έρευνα για το ποια θα ήταν η άποψη της κοινής γνώμης εάν υπήρχε η δυνατότητα να έχουν και οι ίδιοι άμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. συμμετοχή στην επιχείρηση)



Σχήμα 22. Άποψη της κοινής γνώμης εάν υπήρχε προσωπικό οικονομικό όφελος

Είναι πράγματι εντυπωσιακό ότι –όπως και στην περίπτωση των περιοχών που ήδη λειτουργούν Αιολικά Πάρκα -, σχεδόν το 50% των ερωτωμένων απάντησε ότι η εγκατάσταση αιολικών πάρκων θα αντιμετωπιζόταν θετικότερα εάν οι πολίτες είχαν τη δυνατότητα συμμετοχής στην επιχείρηση. Επίσης, το 6% που απαντά αρνητικά σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο είναι πολύ μικρότερο από το 25% που είναι εντελώς αρνητικό στο ενδεχόμενο εγκατάστασης αιολικού πάρκου στην περιοχή και προέρχεται κυρίως από άτομα μεγαλύτερης ηλικίας.

2.θ Έρευνα για το κατά πόσο πιστεύει η κοινή γνώμη ότι μπορεί να συμβάλει η αιολική ενέργεια στην αντιμετώπιση των προβλημάτων της μόλυνσης του περιβάλλοντος και της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας μας από τα εισαγόμενα καύσιμα.

Πίνακας 1. Πόσο πιστεύετε ότι μπορεί να συμβάλει η αιολική ενέργεια στην αντιμετώπιση των σημερινών προβλημάτων (Μόλυνση του περιβάλλοντος, ενεργειακή εξάρτηση της χώρας μας).

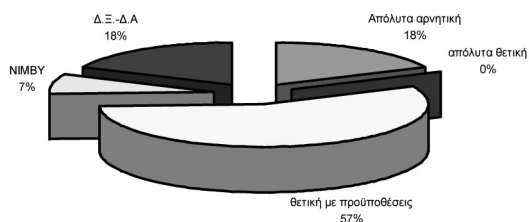
Καθόλου	0%
Λίγο	18%
Πολύ	35%
Πάρα πολύ	4%
ουδέτερα	43%

Παρά το ότι η κοινή γνώμη θεωρεί ότι τα προβλήματα της μόλυνσης του περιβάλλοντος και της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας μας, είναι πολύ σοβαρά, δεν θεωρεί στο ίδιο ποσοστό ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να συμβάλει αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών.

Παρά το ότι σχεδόν το 40% των ερωτηθέντων πιστεύει ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, το 18% δεν πιστεύει ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να αποδειχθεί λύση ενώ το 43% είναι ουδέτερο.

Αυτή η μέτρηση δικαιολογεί τις αρνητικές θέσεις απέναντι στα αιολικά πάρκα, καθώς η τοπική κοινωνία δεν πιστεύει στα πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει η αιολική ενέργεια.

2.ι. Σύνοψη της άποψης της τοπικής κοινωνίας για τα Αιολικά Πάρκα γενικά.



Σχήμα 23: Ποια είναι η άποψη της κοινής γνώμης για τα αιολικά πάρκα.

Η έρευνα αυτή αποδεικνύει ότι όταν υπάρξει σωστή ενημέρωση της τοπικής κοι-

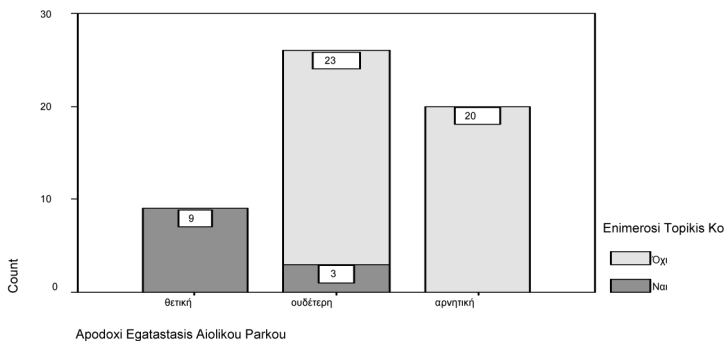
νωνίας και όταν προηγηθεί περιβαλλοντική μελέτη και χωροταξικός σχεδιασμός ο κόσμος είναι έτοιμος να δεχθεί την εγκατάσταση αιολικών πάρκων σε πολύ μεγάλο ποσοστό (57%).

Επίσης το ποσοστό που στην προηγούμενη έρευνα δεν συμμεριζόταν τη δυνατότητα της αιολικής ενέργειας να αποτελέσει ουσιαστική εναλλακτική λύση στο ενεργειακό μας πρόβλημα (σχεδόν 18%), είναι λογικό να τοποθετείται αρνητικά απέναντι στην αιολική ενέργεια και να δηλώνει: «Θεωρώ ότι η όλη συζήτηση για την Αιολική Ενέργεια είναι υπερβολική και τα οφέλη που έχει να δώσει είναι πολύ λιγότερα σε σχέση με αυτά που μας κοστίζει. Οι επιδοτήσεις θα έπρεπε να δοθούν σε άλλες μορφές ενέργειας».

Σημειώνουμε ότι το ποσοστό των ερωτηθέντων που αναγνωρίζουν την αιολική ενέργεια ως εναλλακτική λύση αλλά δεν συμφωνούν με την εγκατάσταση αιολικού πάρκου στην περιοχή τους (σύνδρομο NIMBY), δεν είναι υπερβολικά μεγάλο και είναι μικρότερο από το αντίστοιχο που καταγράφεται στην Εύβοια.

Τέλος, το ποσοστό αυτών που απαντούν ότι δεν έχουν άποψη είναι αρκετά μεγάλο (18%) σε σχέση με το αντίστοιχο ποσοστό στις υπόλοιπες περιοχές της έρευνάς μας, κάτι τέτοιο βέβαια ήταν αναμενόμενο καθώς στην περιοχή της Λακωνίας δεν υπάρχουν ακόμα αιολικά πάρκα και ο βαθμός ενημέρωσης των κατοίκων είναι πολύ μικρός.

2.2. Στατιστική Ανάλυση των αποτελεσμάτων στη Λακωνία

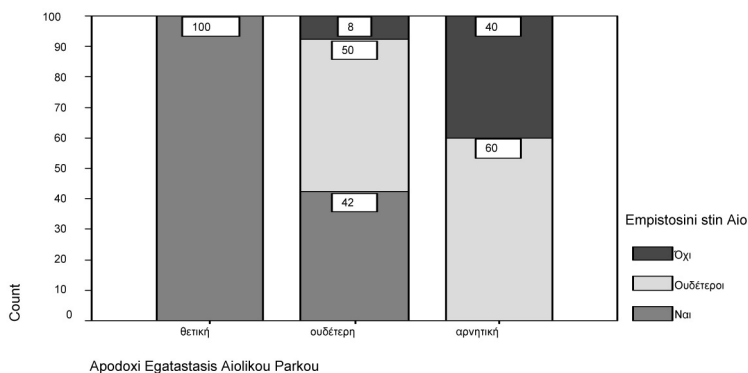


Σχήμα 24: Συσχέτιση της αποδοχής της πρότασης για εγκατάσταση αιολικού πάρκου με το βαθμό ενημέρωσης που έχουν.

χ^2	df	P-Value
39,442	2	0,000

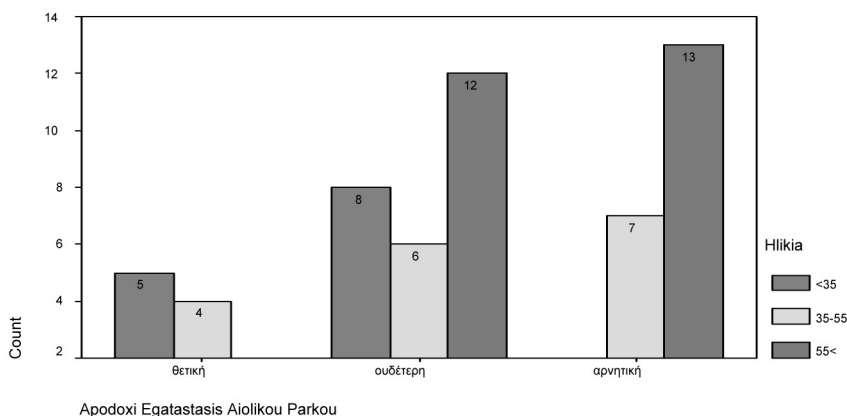
Αντίστοιχα με τα συμπεράσματα από τις περιοχές που ήδη λειτουργούν αιολικά πάρκα, η έρευνα επιβεβαιώνει ότι υπάρχει συσχέτιση της αποδοχής εγκατάστασης αι-

ολικών πάρκων στην περιοχή με το βαθμό ενημέρωσης της τοπικής κοινωνίας. Κανείς από αυτούς που δηλώνουν ενημερωμένοι δεν είναι αντίθετος με την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου, το ακριβώς αντίστροφο συμβαίνει με αυτούς που δηλώνουν ότι δεν είναι ενημερωμένοι. Βλέπουμε βέβαια ότι αυτοί που δηλώνουν ότι γνωρίζουν ποιοι για τα σχέδια εγκατάστασης είναι πολύ λίγοι (μόλις 12 στους 55), αυτό δικαιολογεί το μεγάλο ποσοστό αρνητικών τοποθετήσεων.



Σχήμα 25: Συσχέτιση της αποδοχής της πρότασης για εγκατάσταση αιολικού πάρκου με το αν πιστεύουν ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών και ενεργειακών μας προβλημάτων.

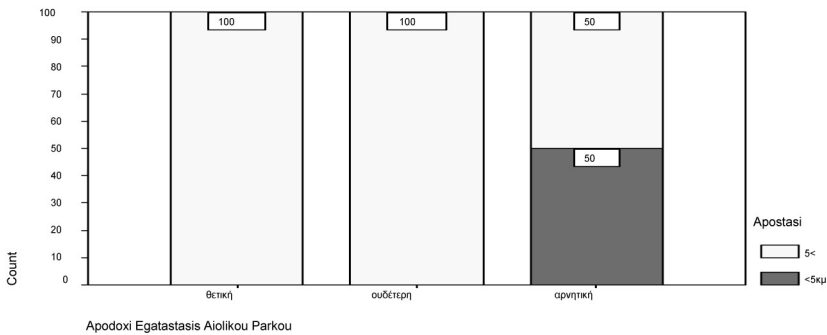
Είναι προφανές ότι υπάρχει συσχέτιση της αποδοχής των αιολικών πάρκων με το βαθμό που πιστεύουν οι ερωτώμενοι ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστη εναλλακτική ενεργειακή λύση. Κανείς από αυτούς που πιστεύουν στις δυνατότητες της αιολικής ενέργειας δεν είναι αρνητικός απέναντι στις ανεμογεννήτριες. Στην έρευνα αυτή δεν παρουσιάζεται ποσοστό του Συνδρόμου NINMBY.



Σχήμα 26: Συσχέτιση του βαθμού αποδοχής των αιολικών πάρκων με την ηλικία των ερωτώμενων.

Στην έρευνα έλαβαν μέρος 13 άτομα με ηλικία (<35), 17 με ηλικία (35-55) και 25 με ηλικία (55<).

Βλέπουμε ότι υπάρχει συσχέτιση της αποδοχής του αιολικού πάρκου και της ηλικίας, κανένα από τα άτομα που είναι κάτω από 35 δεν τοποθετήθηκε αρνητικά στην εγκατάσταση ανεμογεννητριών στην περιοχή. Αντίστοιχα κανένα από τα άτομα που είναι πάνω από 55 δεν είναι θετικό απέναντι στην εγκατάσταση αιολικών πάρκων στην περιοχή. Τα άτομα μεταξύ 35 και 55 «μοιράζονται» σε θετικές, αρνητικές και ουδέτερες απόψεις.



Σχήμα 27: Συσχέτιση της αποδοχής εγκατάστασης αιολικών πάρκων στην περιοχή με την απόσταση της κατοικίας των ερωτώμενων από τον τόπο εγκατάστασης των Α/Γ.

χ^2	df	P-Value
21,389	2	0,000

Το σύνολο των κατοίκων των περιοχών στις οποίες υπάρχει πρόταση για εγκατάσταση αιολικού πάρκου, είναι ενάντιο στις ανεμογεννήτριες. Είναι προφανές ότι υπάρχει συσχέτιση της απόστασης με τον τρόπο που αντιδρά η τοπική κοινωνία.

Συμπεράσματα

Απαιτείται λοιπόν να υπάρξουν πολύ προσεκτικές χωροταξικές μελέτες αλλά και υπομονετική ενημέρωση των τοπικών κοινωνιών για τα οφέλη της χρήσης της αιολικής ενέργειας αλλά και για τις επιπτώσεις που μπορεί να έχουν οι εφαρμογές της. Η ενημέρωση στις περιοχές αυτές είναι τις περισσότερες φορές δύσκολη καθώς οι κάτοικοι είναι συνήθως μεγαλύτερης ηλικίας και χαμηλότερου μορφωτικού επιπέδου.

Το Νέο Σχέδιο Χωροταξικού Σχεδιασμού για τις ΑΠΕ που προωθεί το

ΥΠΕΧΩΔΕ, σίγουρα θα βοηθήσει στην επίλυση των διενέξεων μεταξύ επενδυτών και τοπικών κοινωνιών, όμως τα προβλήματα δεν θα λυθούν εάν οι πολίτες δεν γίνουν συμμετοχοί σε αυτή τη διαδικασία.

Σήμερα από τα 30.000 MW εγκατεστημένης αιολικής ενέργειας στην Ε.Ε., περισσότερα από τα μισά έχουν εγκατασταθεί στη Γερμανία. Αξίζει να σταθεί κανείς στη Γερμανία, καθώς το παράδειγμά της είναι πραγματικά παράδειγμα προς μίμηση! Βασικό στοιχείο της πολιτικής της Γερμανίας απέναντι στις ΑΠΕ ήταν οι Φοροαπαλλαγές σε μικροεπενδυτές που προσελκύουν το ενδιαφέρον ντόπιων κατοίκων και μικρομεσαίων κοινωνικών στρωμάτων, ώστε να συμμετέχουν ως συνεταιίροι σε εταιρείες λειτουργίας αιολικών πάρκων. Περισσότερα ίσως και από 50% "σε εγκατεστημένη ισχύ" των αιολικών πάρκων της Γερμανίας είναι σήμερα ετερόρρυθμες εταιρείες λαϊκής βάσης!

Μία εταιρεία, η οποία σχεδιάζει τεχνικά, αδειοδοτικά και χρηματοδοτικά ένα αιολικό πάρκο, σε ένα ορισμένο στάδιο ωριμότητας του σχεδιασμού του έργου ενημερώνει τους ενδιαφερόμενους μικροεπενδυτές. Βαρύτητα δίδεται στην ενημέρωση και προσέλευση του ενδιαφέροντος κυρίως των κατοίκων της περιοχής όπου πρόκειται να εγκατασταθεί το αιολικό πάρκο. Μ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται άμεση συμμετοχή κατοίκων της περιοχής στο αιολικό πάρκο, με παροχή οικονομικών κινήτρων, γεγονός που επιδρά αποφασιστικά στην επίτευξη ευρείας κοινωνικής συναίνεσης για την υλοποίηση και επιτυχή λειτουργία του αιολικού πάρκου. Οι πολίτες που συμμετέχουν ως συνεταιίροι -δεσμεύοντας κεφάλαιο από 5 έως 50 χιλιάδες ευρώ και απόδοση μεταξύ 8% και 10%-, είναι ετερόρρυθμοι εταίροι της εταιρείας. Συμπερασματικά, η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας αλλά και των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη Γερμανία έχει να επιδείξει εξαιρετικές και πολύπλευρες επιδόσεις. Όλα αυτά καθίστανται δυνατά τόσο γιατί διατυπώνονται οράματα και ακολουθούνται με συνέπεια σαφείς πολιτικές προσέγγισής τους, όσο και διότι καλλιεργείται ποικιλότροπα η κατάλληλη παιδεία. Ήρθε επιτέλους ο καιρός να βγούμε για λίγο από το μικρόκοσμο μας και να δούμε τι γίνεται στον υπόλοιπο κόσμο, το παράδειγμα της Γερμανίας –και όχι μόνο– πρέπει να μας προβληματίσει. Θα είναι έγκλημα σε βάρος των παιδιών μας αν δεν εκμεταλλευτούμε το πλούσιο ηλιακό και το ανεξάντλητο αιολικό δυναμικό που προσφέρει η χώρα μας.

Οι εταιρίες «λαϊκής βάσης» για την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, θα συμβάλλουν αποφασιστικά όχι μόνο στην κατεύθυνση της προστασίας του περιβάλλοντος και την επίτευξη των στόχων του Κιότο, αλλά και στην ανάπτυξη της περιφέρειας, όπως και την ενίσχυση της Εθνικής μας Οικονομίας.

Βιβλιογραφία

- Δασκαλάκη Ε., Μπαλαράς Κ., Τσαγρασούλης Ά. (2000). *Αναλύση Ενεργειακών Συστημάτων, Διαχείριση Ενεργειακών Συστημάτων*, ΤΕΙ Πειραιά, 2000.
- Αργυρίου Α., Μπαλαράς Κ., Στεργιόπουλος Β. (1999). *Αναλύση Ενεργειακών Συστημάτων, Διαχείριση Ενεργειακών Συστημάτων*, ΤΕΙ Πειραιά, 2000.
- Καλδέλλης, Ι. (1999). *Διαχείριση Αιολικής Ενέργειας*, Εκδόσεις Σταμούλης, 1999.
- Makofske/ Karlin (1997). *Τεχνολογία και Παγκόσμια Περιβαλλοντικά Προβλήματα*, Εκδόσεις «ION», 1997.
- Αμπελιώτης, Κ. (2000). *Η Συνεισφορά των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη Βιώσιμη Ανάπτυξη, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο*, 2002.
- Βαζαΐος, Ε. (1987). *Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας*, Γ΄ Έκδοση, Αθήνα.
- ΤΕΕ (1999). Η Αιολική Ενέργεια το 1999, Ενημερωτικό Δελτίο ΤΕΕ, Νο 2046, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.
- Υπουργείο Ανάπτυξης (2001). Η Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα, Τεύχος 1, Φεβρουάριος.
- Χριστοδουλάκης, Ν. (2001). Απελευθέρωση της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα, Υπουργείο Ανάπτυξης, Φεβρουάριος.
- Ειδική Έκδοση Τύπου Κυριακής (2004). Εξοικονόμηση Ενέργειας, Ιούλιος.
- Μπινόπουλος, Ε., Χαβιαρόπουλος, Π., (2004) *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων: «Μύθος ή Πραγματικότητα»*, ΚΑΠΕ, 2004.
- ΚΑΠΕ (2001). *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία – Εφαρμογές στην Ελλάδα*, Μάρτιος.
- Κεραμάρης, Κ., Καλδέλλης, Ι., (2002). *Επιπτώσεις λειτουργίας Αιολικών Πάρκων στην Ελλάδα, Σεμινάριο, Τμήματος Μηχανολογίας*, 2002.
- Πασχαλίδης, Β. (2000). Δίκτυο Συνδέσεως Σταθμών Παραγωγής από ΑΠΕ με το Δίκτυο της ΔΕΗ, Συνέδριο «Τεχνολογίες Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Περιβάλλοντος», Δεκέμβριος 2000.
- Μπέτζιος Γ, (2000). Εμπειρίες από τη Λειτουργία Συστημάτων ΑΠΕ στην Ελλάδα, Συνέδριο «Τεχνολογίες Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Περιβάλλοντος», Δεκέμβριος 2000.
- Καλδέλλης, Ι. (2002). Κοινωνική Αποδοχή Εγκαταστάσεων Ηλεκτροπαραγωγής, *Εργαστήριο Ηπίων Μορφών Ενέργειας*, ΤΕΙ Πειραιά.
- Kaldellis, J. (2002) THE “NIMBY” SYNDROME IN WIND ENERGY APPLICATION SECTOR, *Lab of Energy Applications & Environmental Protection, TEI of Piraeus*.
- Καράμπελας, Α. (2003). Ανάλυση των επιπτώσεων στο περιβάλλον από την κατασκευή

- και λειτουργία διαφορετικών τύπων ενεργειακών μονάδων, 4^η Διεθνής Έκθεση και Συνέδριο για την Τεχνολογία Περιβάλλοντος, ΤΕΕ, Φεβρουάριος 2003.
- Καούσιας, Κ. (2003). Αρμονική ένταξη του συστήματος μεταφοράς στο περιβάλλον, 4^η Διεθνής Έκθεση και Συνέδριο για την Τεχνολογία Περιβάλλοντος, ΤΕΕ, Φεβρουάριος.
- Καλδέλλης, Ι. (2000), Αξιοποίηση της Αιολικής Ενέργειας στα Νησιά του Νοτίου Αιγαίου, *Περιοδικό Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων*, pp 16-18, τεύχος 330.
- Καλδέλλης, Ι., Γιαννακόπουλος, Δ., (1999), Αιολικές Μηχανές στο Λυκόφως του Πολιτισμού, Μέχρι τον 21^ο Αιώνα (Εμπειρική Περίοδος), *Περιοδικό Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων*, pp 52-57, τεύχος 318.
- Καλδέλλης, Ι., Γιαννακόπουλος, Δ., (1999), Αιολικές Μηχανές στο Λυκόφως του Πολιτισμού, Μέχρι τον 21^ο Αιώνα (Σύγχρονες Εξελίξεις), *Περιοδικό Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων*, pp 46-53, τεύχος 319.
- Καλδέλλης, Ι., Κοδοσάκης, Δ. (1999), Καταγραφή Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από τη λειτουργία Αιολικών Πάρκων, 6^ο Διεθνές Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Παν. Αιγαίου, pp 675-683.
- Kaldellis, J., (2003), "Investigation of Greek Wind Energy Market Time- Evolution", *Energy Policy Journal*, Vol.32/7, pp.865-879.
- Kaldellis, J., Kavadias, K., Paliatsos, A., 2003, Environmental Impacts of Wind Energy Applications: Myth or Reality?, *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 12(4), pp.326-327.
- Kaldellis, J., Tzioti, M., Kavadias, K., 2003, Noise and Visual impact of Wind Power Stations: What is the Public Opinion in Greece?, *Ecological Protection of the Planet Earth II, Conference Proceeding*, pp 528-535, Sofia, Bulgaria.
- Kaldellis, J., 2003, Social Attitude Towards Wind Energy Applications in Greece, to be published in *Energy Policy Journal*, on-line available in www.ScienceDirect.
- Kaldellis, J., Kavadias, K., 2003, Evaluation of Greek Wind Parks Visual Impact, The Public Attitude, *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 13 (5), pp.413-423.
- Καλογερόπουλος, (Κ., 2004), Το μέλλον μας είναι τα Πάρκα του Αιόλου, *Περιοδικό Πολιτικά Θέματα*, pp 30-31, τεύχος 1430, 27 Αυγούστου 2004.
- RENEWABLE ENERGY WORLD, Vol. 5, Sept-Okt 02.
- ANEMΟΛόγια, Έκδοση της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας.

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, Διοικητικά και Πολιτικά θέματα). 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.

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 floppy disk, ή CD-ROM, που περιέχει ένα ακριβές αντίγραφο της εργασίας του (σε αρχείο **Word97**, ή νεώτερο) 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 συνοβιβάλλουν 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 χαρακτήρες 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 λεξάντες). Κατά την συγγραφή να ακολουθείται η εξής σειρά παρουσίασης των εννοιών της εργασίας: *Τίτλος, Συγγραφέας, Διεύθυνση συγγραφέα, Περίληψη, Λέξεις κλειδιά, Κύριο κείμενο εργασίας, Ευχαριστίες (π.χ. προς χορηγούς), Παραρτήματα, Βιβλιογραφία, Εκτενής Περίληψη στα Αγγλικά, Διαγράμματα-Εικόνες και Πίνακες, Λεξάντες 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 **Εκτενή Περίληψη** 1000-1500 λέξεων, γραμμένη στα Αγγλικά, επιπλέον της κανονικής Περίληψης στα Ελληνικά. Η Εκτενής αυτή Περίληψη 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. Οπότε 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, οικονομικά ή διαφορετικά, 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 παραδίδονται 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 σμίξινση (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 floppy disk, ή 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 νεώτερο). 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 κατάλληλο 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 (1) floppy disk, ή CD-ROM** με όλα τα σχετικά αρχεία (κειμένου 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 κρινομένης εργασίας, αυτός (ο συγγραφέας) οφείλει όπως προσκομίσει (εντός 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.

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 Thionon & 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 diskette (or 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. Follow this order when typing manuscripts: *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.
- **Appendix.** 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 appendices 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.

