

# ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΙΚΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**Θεοδοσίου Γ., Κορωναίος Χ., Μουσιόπουλος Ν.**

*Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Τμήμα Μηχανολόγων  
Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ), Τ.Θ. 483, Τ.Κ. 54124, Θεσσαλονίκη,  
Ελλάδα*

**KEYWORDS:** ανάλυση κύκλου ζωής, θέρμανση, κτίρια, καύσιμα, φυσικό αέριο, ηλεκτρισμός, εκπομπές, καυσαέρια, ενέργεια, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οικιακή κατανάλωση ενέργειας, περιβαλλοντική ρύπανση

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή αφορά στην παρουσίαση και ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από τη χρήση διαφορετικών μορφών ενέργειας (φυσικό αέριο, πετρέλαιο και ηλεκτρισμός) για την κάλυψη των οικιακών ενεργειακών απαιτήσεων με τη βοήθεια της μεθόδου Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. Για τους σκοπούς της μελέτης έχει κατασκευαστεί το μοντέλο μιας τυπικής πολυκατοικίας στη Θεσσαλονίκη στο οποίο προσομοιώνονται σε διάφορα σενάρια οι ενεργειακές απαιτήσεις που εξετάζονται. Τα αποτελέσματα αφορούν εκπομπές ανά  $\text{kg/kWh/m}^3$  καυσίμου/ηλεκτρισμού και σύγκριση των εξεταζόμενων μορφών ενέργειας όσον αφορά στη συνεισφορά τους σε διάφορα φαινόμενα περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

## ENVIRONMENTAL IMPACTS OF THE DOMESTIC USE OF DIFFERENT ENERGY FORMS

**Theodosiou G., Koroneos C., Moussiopoulos N.**

*Laboratory of Heat Transfer and Environmental Engineering, Department of Mechanical  
Engineering, Aristotle University of Thessaloniki (AUTH), BOX 483, 54124, Thessaloniki Greece*

## ABSTRACT

This study focuses on the analysis and presentation of the environmental impacts that result from the use of different energy forms (natural gas, heating oil and electricity) separately or in conjunction, in order to cover the domestic energy requirements through the use of the Life Cycle Analysis methodology. For the study's purposes, a model of a typical apartment building in Thessaloniki has been created that simulates combinations of these operations sorted in five scenarios. The results concern emissions per  $\text{kg/kWh/m}^3$  of fuel/electricity and a comparison of the energy forms under study regarding their contribution to different environmental impacts.

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις περισσότερες περιοχές του κόσμου, τόσο η θέρμανση χώρου όσο και νερού, αποτελούν βασικές ανάγκες, ιδιαίτερα κατά τους ψυχρούς χειμώνες. Από την άλλη, οι βαριές κλιματικές συνθήκες συνεπάγονται και μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση λόγω της απαιτούμενης θέρμανσης χώρου και νερού, επειδή αυτές οι δύο μορφές ενεργειακής χρήσης απαιτούν το υψηλότερο ποσοστό από τους πόρους που καταναλώνονται σε μια πολυκατοικία. Κατά συνέπεια, η επιλογή των κατάλληλων καυσίμων και του κατάλληλου ενεργειακού συστήματος πρέπει να γίνει προσεκτικά, λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο το οικονομικό μέρος αλλά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κάθε μιας από τις εναλλακτικές λύσεις. Αυτό σημαίνει ότι η βέλτιστη λύση μπορεί να μην είναι αυτή με το χαμηλότερο οικονομικό κόστος (για την εγκατάσταση του συστήματος, τη συντήρηση και την κατανάλωση καυσίμων) ή αυτή με τις λιγότερο ρυπογόνες εκπομπές, αλλά μια λύση κάπου στη «μέση», που να ελαχιστοποιεί και τους δύο παράγοντες στο βέλτιστο δυνατό βαθμό. Ο σκοπός αυτής της μελέτης [1] είναι, μέσω της εφαρμογής της μεθοδολογίας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ), να αποτιμήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διάφορων τύπων καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να καλυφθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις της πολυκατοικίας.

## 2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΟΥ ΚΑΙ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου ΑΚΖ στο μοντέλο της πολυκατοικίας όσον αφορά στην κάλυψη των συγκεκριμένων της ενεργειακών απαιτήσεων, τέθηκαν οι ακόλουθοι στόχοι και παρουσιάζονται εκτενώς σε πίνακες και διαγράμματα:

- εκτίμηση οικονομικού κόστους, βασισμένη στις τρέχοντες τιμές κατανάλωσης ενέργειας για κάθε σενάριο σε σχέση με το καύσιμο ή τον ηλεκτρισμό που καταναλώνεται,
- υπολογισμός των εκπομπών καυσαερίων (ποσότητα και ποσοστό) ανά kg ή Nm<sup>3</sup> καυσίμου που καταναλώνεται για την καύση με ελαφρύ πετρέλαιο θέρμανσης (EL) και φυσικό αέριο που πραγματοποιείται στους λέβητες της πολυκατοικίας ή των μεμονωμένων διαμερισμάτων για διεργασίες όπως η θέρμανση χώρου, η θέρμανση νερού και η χρήση μαγειρικών συσκευών,
- υπολογισμός εκπομπών καυσαερίων και σωματιδίων και συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων ανά kWh παραγωγής ηλεκτρισμού, σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από κηροζίνη, πετρέλαιο diesel, φυσικό αέριο και λιγνίτη,
- ανάλυση και σύγκριση των διάφορων σεναρίων ως προς το κόστος και τις εκπομπές καυσαερίων, σωματιδίων και συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων ανά kg, Nm<sup>3</sup> και kWh (καυσίμου ή ηλεκτρισμού) και συνολικά για την ημερήσια απαιτούμενη κατανάλωση καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας στην πολυκατοικία,
- διεξαγωγή μελέτης ανάλυσης κύκλου ζωής για τη λήψη αποτελεσμάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν στο ποσοστό συνεισφοράς του κάθε σεναρίου στις διάφορες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

## 3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Η λειτουργική μονάδα είναι μια πολυκατοικία στη Θεσσαλονίκη βάση της οποίας έγινε το υπολογιστικό μοντέλο. Επίσης, ως λειτουργική μονάδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η μονάδα επιφάνειας της κατοικίας (1 m<sup>2</sup>) υπό τις ίδιες προαναφερθέντες συνθήκες. Τα θερμικά φορτία σχεδιασμού [2] υπολογίστηκαν σε W ανά m<sup>2</sup> επιφάνειας κατοικίας (πίνακας 1). Οι παραδοχές στις οποίες βασίζονται οι υπολογισμοί των θερμικών φορτίων όπως επίσης και τα χαρακτηριστικά της πολυκατοικίας δίνονται πιο κάτω:

- Η πολυκατοικία έχει 5 ορόφους και κάθε όροφος έχει 4 διαμερίσματα. Θεωρείται μια μέση τιμή για το εμβαδό κάθε διαμερίσματος που είναι ίση με 125 m<sup>2</sup> ενώ όσον αφορά στο λόγο της μικρής πλευράς των κατοικιών προς στη μεγάλη, αυτός ορίζεται 1:1,25. Το ποσοστό των

ανοιγμάτων είναι 25% της ελεύθερης παράπλευρης επιφάνειας. Τα διαμερίσματα είναι κατασκευασμένα με συμβατικά υλικά, δηλαδή κυρίως τούβλα και οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των περισσότερων κτιρίων στην Ελλάδα. Τα διαμερίσματα έχουν συμβατικό ορθογώνιο σχήμα και είναι τοποθετημένα σε όσο το δυνατό περισσότερες από τις θέσεις που μπορούν να κατέχουν μέσα στο κτίριο. Δηλαδή: διαμερίσματα διαμπερή με ελεύθερες τις μικρές πλευρές τους, διαμερίσματα γωνιακά με ελεύθερες μια μικρή και μια μεγάλη πλευρά ή γωνιακά με τρεις ελεύθερες πλευρές ή με δύο ελεύθερες πλευρές και τη μια να εφάπτεται σε άλλο κτίριο, διαμερίσματα ισόγεια ή σε ενδιάμεσο όροφο ή ρετιρέ.

- Τα θερμικά φορτία υπολογίστηκαν σύμφωνα με το Γερμανικό Κανονισμό DIN 4701. Όσον αφορά στις απώλειες αερισμού θεωρήθηκε ότι ο αέρας των κατοικιών ανανεώνεται μια φορά την ώρα (για διαφορετική ανανέωση ισχύει ότι: κάθε μια ανανέωση αέρα ανά ώρα αντιστοιχεί σε επιπλέον θερμικό φορτίο 24 [W/m<sup>2</sup>] για την περιοχή της Θεσσαλονίκης). Δεν εξετάστηκε η επίδραση του προσανατολισμού και της ταχύτητας του ανέμου.
- Ανάλογα με την πολυκατοικία και τους κανονισμούς της, το χρονικό διάστημα που ανάβει η κοινή θέρμανση ποικίλει. Συνήθως είναι μεταξύ 8 –16 ωρών είτε είναι συνεχόμενο ή μερικές ώρες το πρωί και μερικές το απόγευμα ή βράδυ. Στο εξεταζόμενο μοντέλο θεωρείται ότι η θέρμανση (καυστήρας φυσικού αερίου ή ελαφρού πετρελαίου θέρμανσης EL) λειτουργεί περίπου 12 ώρες (συνεχόμενα ή με διακοπή). Η πολυκατοικία είναι χωρίς θερμομόνωση.

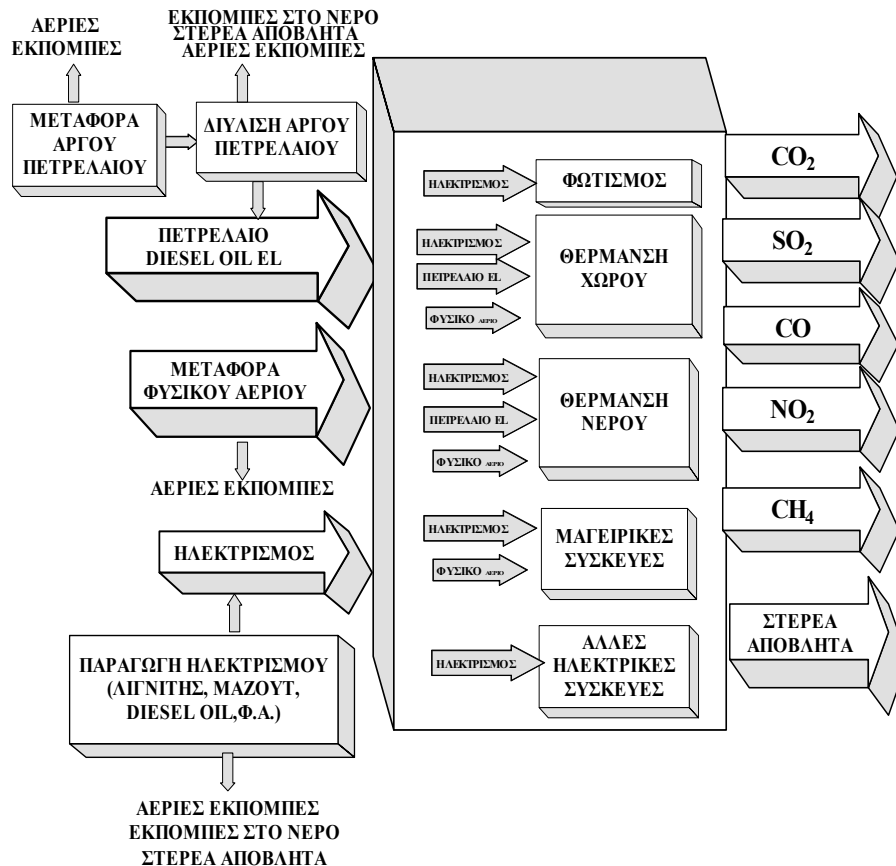
**ΠΙΝΑΚΑΣ 1:** Θερμικά φορτία σχεδιασμού και επιφάνεια διαμερισμάτων της πολυκατοικίας

Όροφος	Αριθμός Διαμερίσματος							
	Θερμικό φορτίο [W/m <sup>2</sup> ] / Εμβαδό [m <sup>2</sup> ]							
Ισόγειο	1		2		3		4	
	82	110	79	110	83	110	89	75
1 <sup>ος</sup>	5		6		7		8	
	59	120	57	110	61	110	67	60
2 <sup>ος</sup>	9		10		11		12	
	59	120	57	110	61	75	67	60
3 <sup>ος</sup>	13		14		15		16	
	59	120	57	75	61	75	67	60
4 <sup>ος</sup>	17		18		19		20	
	104	120	102	75	106	75	112	60

#### 4 ΟΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Η μέθοδος AKZ όπως προαναφέρθηκε, εφαρμόζεται σε ολόκληρο το σύστημα που περιλαμβάνει εκπομπές από τη μεταφορά, διύλιση και καύση πετρελαίου EL, εκπομπές από τη μεταφορά και καύση φυσικού αερίου στους λέβητες της πολυκατοικίας και σε άλλες οικιακές συσκευές και εκπομπές από την παραγωγή και χρήση ηλεκτρισμού (που προέρχεται από λιγνίτη, φυσικό αέριο, κηροζίνη και πετρέλαιο diesel). Τα όρια, οι διάφορες λειτουργίες και οι εκπομπές παρουσιάζονται στο σχήμα 1. Εξετάζονται πέντε εναλλακτικά σενάρια που αφορούν στη χρήση των τριών μορφών ενεργειακής κατανάλωσης που απαιτούνται για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες των διαμερισμάτων και των κοινόχρηστων χώρων της πολυκατοικίας. Όσον αφορά στην κατανάλωση ηλεκτρισμού, εξετάζονται τέσσερις διαφορετικοί τρόποι παραγωγής του: από λιγνίτη, κηροζίνη, πετρέλαιο diesel και φυσικό αέριο. Οι λειτουργίες που απαιτούν κατανάλωση ενέργειας συνοψίζονται σε πέντε κατηγορίες: θέρμανση χώρου, θέρμανση νερού, κουζίνα, φωτισμό και άλλες ηλεκτρικές συσκευές. Για τις τρεις πρώτες κατηγορίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε φυσικό αέριο ή πετρέλαιο θέρμανσης EL ή ακόμα και ηλεκτρισμός. Για τις άλλες δύο κατηγορίες, θεωρείται ότι χρησιμοποιείται μόνο ηλεκτρισμός. Ο πίνακας 2 και το σχήμα 2 παρουσιάζουν τις κατηγορίες λειτουργιών και τα σενάρια που εξετάζονται αναλυτικά.

**ΣΧΗΜΑ 1: Καθορισμός ορίων συστήματος  
ΣΤΑΔΙΑ Α.Κ.Ζ.**



**ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Εξεταζόμενα σενάρια**

ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΣΕΝΑΡΙΟ 2	ΣΕΝΑΡΙΟ 3	ΣΕΝΑΡΙΟ 4	ΣΕΝΑΡΙΟ 5
Θέρμανση χώρου	Πετρέλαιο EL	Φυσικό αέριο	Φυσικό αέριο	Πετρέλαιο EL	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>
Θέρμανση νερού	Πετρέλαιο EL	Φυσικό αέριο	Φυσικό αέριο	Πετρέλαιο EL	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>
Κουζίνα	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>	Φυσικό αέριο	Φυσικό αέριο	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>
Φωτισμός	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>
Λοιπές ηλεκτρικές συσκευές	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>	Ηλεκτρισμός <sup>1)</sup>
<i>Σημείωση: <sup>1)</sup> Εξετάζεται η παραγωγή ηλεκτρισμού από μαζούτ, diesel oil φυσικό αέριο και λιγνίτη.</i>					

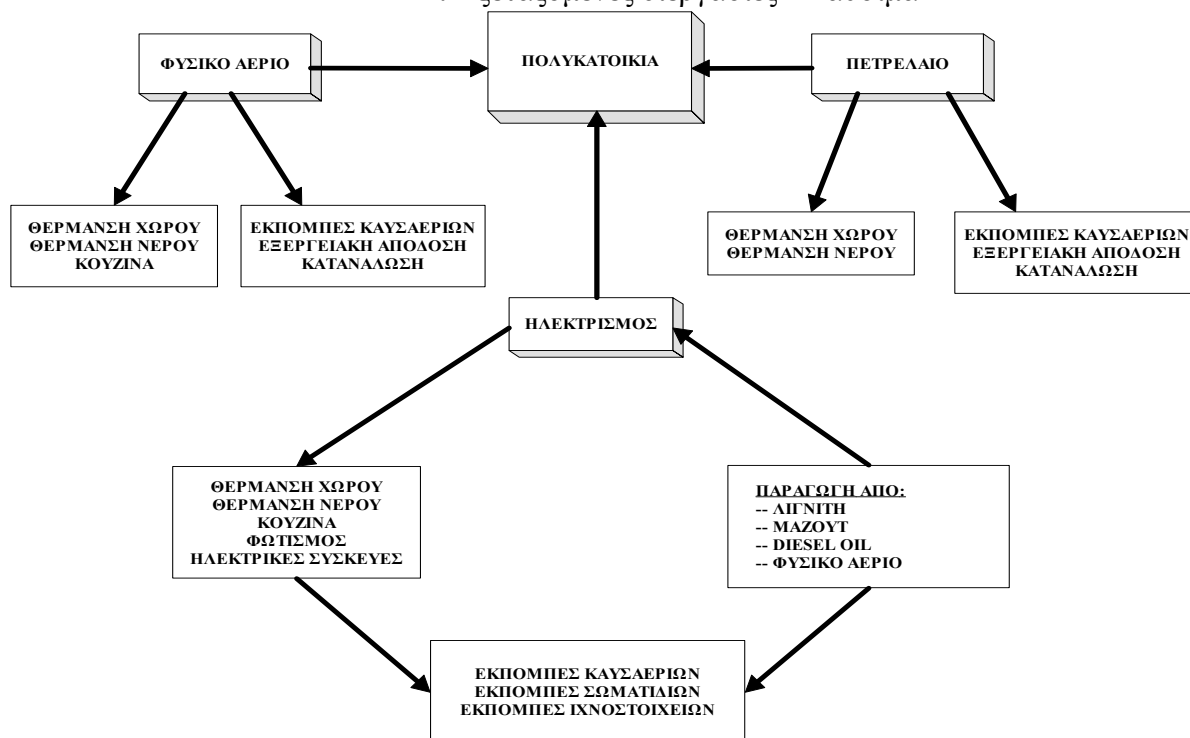
## 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στις ακόλουθες παραγράφους αφορούν στις περιβαλλοντικές εκπομπές που οφείλονται στις λειτουργίες της πολυκατοικίας που παρουσιάζονται στον πίνακα 2 [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

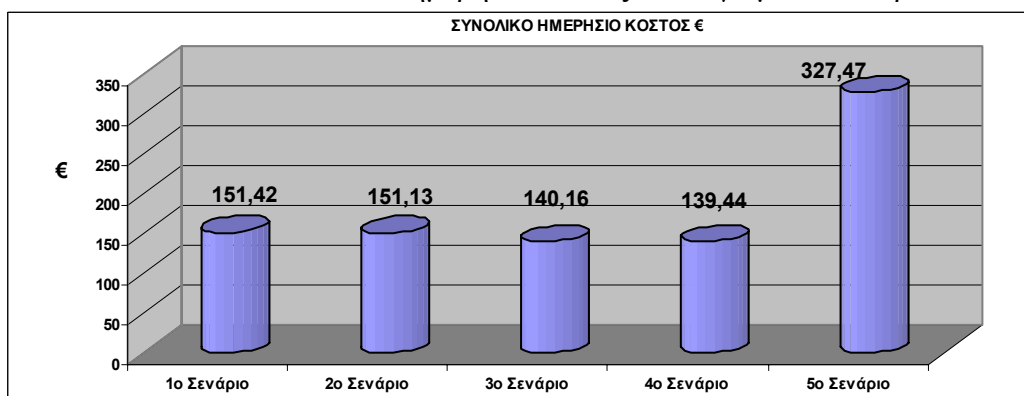
### 5.1 Ημερήσια συνολική κατανάλωση και οικονομικό κόστος για κάθε σενάριο – σημαντικότερες εκπομπές

Με βάση την συνολική ημερήσια κατανάλωση φυσικού αερίου, πετρελαίου θέρμανσης EL και ηλεκτρισμού όπως αυτή υπολογίστηκε από την ανάλυση των σεναρίων, υπολογίστηκε το συνολικό ημερήσιο οικονομικό κόστος για κάθε σενάριο και παρουσιάζεται στο σχήμα 3 [13]. Τα σενάρια 3 και 4 αντιστοιχούν στις λύσεις με το ελάχιστο οικονομικό κόστος. Το 5<sup>ο</sup> σενάριο είναι σχεδόν 2,5 φορές πιο δαπανηρό λόγω της μεγάλης κατανάλωσης ηλεκτρισμού.

**ΣΧΗΜΑ 2:** Εξεταζόμενες διεργασίες – καύσιμα



**ΣΧΗΜΑ 3:** Συνολικό ημερήσιο κόστος ανάλογα με το σενάριο

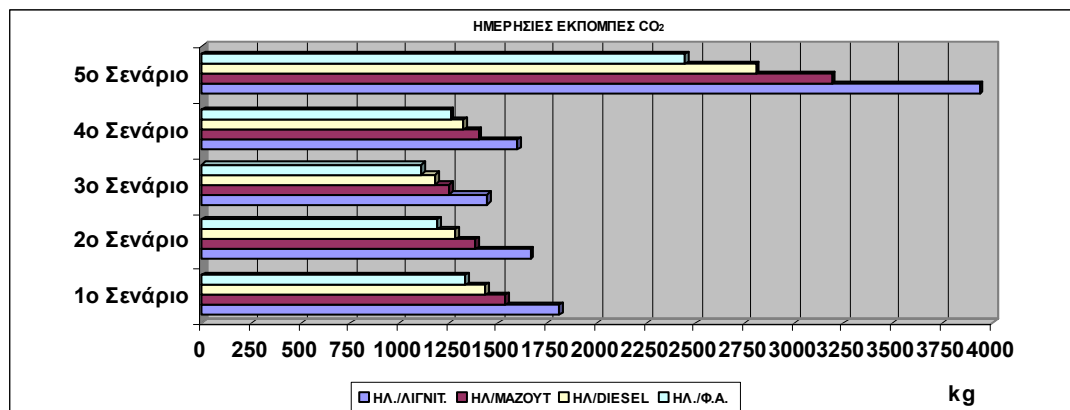


Είναι προφανές ότι στις περιπτώσεις που η χρήση ηλεκτρισμού αποτελεί ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης, το οικονομικό κόστος είναι υψηλό. Με μια γρήγορη ματιά μπορεί κάποιος να πει ότι παρόλο που η χρήση περισσότερου ηλεκτρισμού για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της πολυκατοικίας συνεπάγεται μεγαλύτερο οικονομικό κόστος, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι λιγότερες απ’ ότι όταν χρησιμοποιούνται άλλα φυσικά καύσιμα. Η αλήθεια κρύβεται πίσω από τον ορισμό της λέξης “χρήση” η οποία αναφέρεται στον ηλεκτρισμό. Ο ηλεκτρισμός δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια καθαρή μορφή ενέργειας, έτοιμη να παραδοθεί και να καταναλωθεί, επειδή κατά την παραγωγή του έχουν χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένοι πόροι (π.χ. φυσικά καύσιμα) των οποίων η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια συνεπάγεται και μεγάλες ποσότητες εκπομπών. Συνεπώς, για να είναι εφικτή και σωστή η σύγκριση της χρήσης του ηλεκτρισμού με τη χρήση άλλων φυσικών καυσίμων που προορίζονται για τις ίδιες λειτουργίες, πρέπει να εξεταστεί ολόκληρος ο κύκλος ζωής που αφορά στον ηλεκτρισμό και περιλαμβάνει την παραγωγή, τη μεταφορά και τη χρήση του. Το ίδιο ισχύει για και όλα τα άλλα φυσικά καύσιμα για να μπορούν να γίνουν κατάλληλες και έγκυρες συγκρίσεις ανάμεσα στις διάφορες μορφές ενέργειας, η απαιτούμενη ανάλυση που θα αποκαλύπτει όλες τις πτυχές τους πρέπει να εφαρμόζεται και να περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους.

## 5.2 Εκπομπές CO<sub>2</sub>

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) αποτελεί ένα φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας και μαζί με τους υδρατμούς, απορροφούν την εκπεμπόμενη από την επιφάνεια της γης μεγάλο μήκος κύματος ακτινοβολία (δρώντας σαν παγίδα) και συνεισφέρουν (κατά 80%) στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα την άνοδο της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε παγκόσμια κλίμακα. Το σχήμα 4 παρουσιάζει τις ημερήσιες συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> που αντιστοιχούν στην απαιτούμενη κατανάλωση καυσίμων του μοντέλου της πολυκατοικίας ανάλογα με το καύσιμο που χρησιμοποιείται και τον τρόπο που παράγεται ο ηλεκτρισμός.

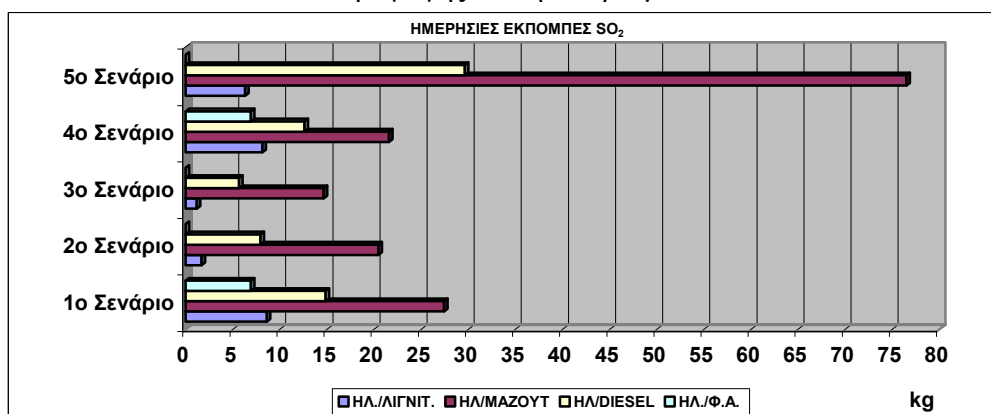
**ΣΧΗΜΑ 4:** Ημερήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub> ανάλογα με το εξεταζόμενο σενάριο και τον τρόπο παραγωγής του ηλεκτρισμού



## 5.3 Εκπομπές SO<sub>2</sub>

Οι μεγάλες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) προκαλούν ερεθισμούς και βλάβες στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου ενώ μαζί με οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) συνεισφέρουν στο σχηματισμό του φαινομένου της οξίνισης. Το SO<sub>2</sub> και SO<sub>3</sub> ανυψώνουν το σημείο δρόσου των καυσαερίων σε θερμοκρασίες άνω των 120 °C και είναι ανυδρίτες του θειώδους και του θειικού οξέως. Οι συγκεντρώσεις στις οποίες παράγονται το SO<sub>2</sub> και SO<sub>3</sub> εξαρτώνται αποκλειστικά από την ποιότητα του καυσίμου. Το σχήμα 5 παρουσιάζει τις ημερήσιες συνολικές εκπομπές SO<sub>2</sub>.

**ΣΧΗΜΑ 5:** Ημερήσιες εκπομπές SO<sub>2</sub> ανάλογα με το εξεταζόμενο σενάριο και τον τρόπο παραγωγής του ηλεκτρισμού

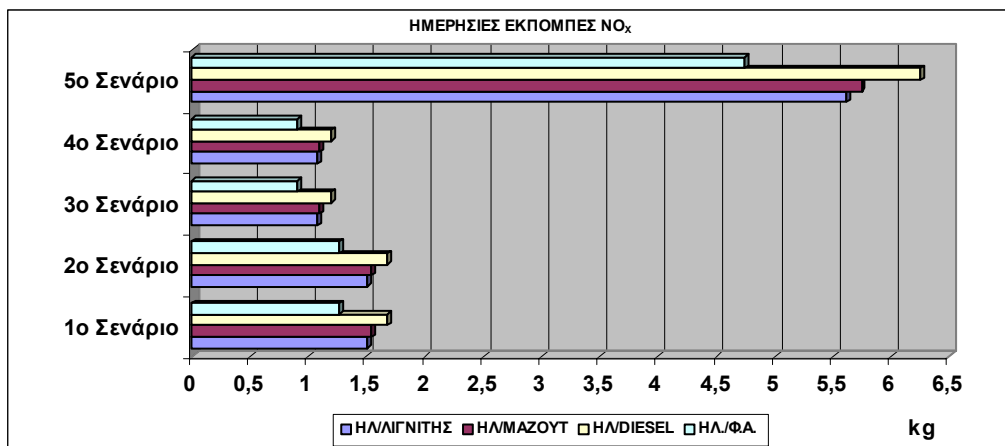


## 5.4 Εκπομπές No<sub>x</sub>

Τα οξείδια του αζώτου (NO και NO<sub>2</sub>) εάν έρθουν σε επαφή με την υγρασία της ατμόσφαιρας δημιουργείται νιτρικό οξύ (H<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>) που μαζί με το θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) συντελούν στη δημιουργία της όξινης βροχής (φαινόμενο οξίνισης), η οποία διαβρώνει προσόψεις κτιρίων, καταστρέφει τα δάση και καθιστά όξινα τα εδάφη και τα ύδατα. Επίσης συμμετέχουν στο σχηματισμό όζοντος (O<sub>3</sub>)

κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Τα NO<sub>x</sub> σε μεγάλης διάρκειας ψηλές συγκεντρώσεις προκαλούν νόσους του αναπνευστικού συστήματος. Το σχήμα 6 παρουσιάζει τις ημερήσιες συνολικές εκπομπές NO<sub>x</sub>.

**ΣΧΗΜΑ 6:** Ημερήσιες εκπομπές NO<sub>x</sub> ανάλογα με το εξεταζόμενο σενάριο και τον τρόπο παραγωγής του ηλεκτρισμού



### 5.5 Εφαρμογή της μεθόδου AKZ ανάλογα με το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του μοντέλου της πολυκατοικίας

Η μέθοδος της AKZ [14] εφαρμόστηκε για το κάθε καύσιμο που χρησιμοποιείται στο καθορισμένο μοντέλο. Η AKZ περιέλαβε εκπομπές από τη μεταφορά, τη διύλιση και την καύση του πετρελαίου θέρμανσης EL, εκπομπές από τη μεταφορά και την καύση του φυσικού αερίου στους λέβητες της πολυκατοικίας και σε άλλες οικιακές συσκευές και εκπομπές από την παραγωγή και χρήση του ηλεκτρισμού (που προέρχεται από λιγνίτη, φυσικό αέριο κηροζίνη και πετρέλαιο diesel). Συνεπώς τα όρια του συστήματος καθορίστηκαν όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2. Η εκτίμηση της περιβαλλοντικής τιμής για την κάθε επίπτωση βασίστηκε στην εξής απλή εξίσωση:

$$\text{Περιβαλλοντική Τιμή} = \text{Τιμή Χαρακτηρισμού} \times \text{Συντελεστής Κανονικοποίησης} \times \text{Συντελεστής Αξιολόγησης}$$

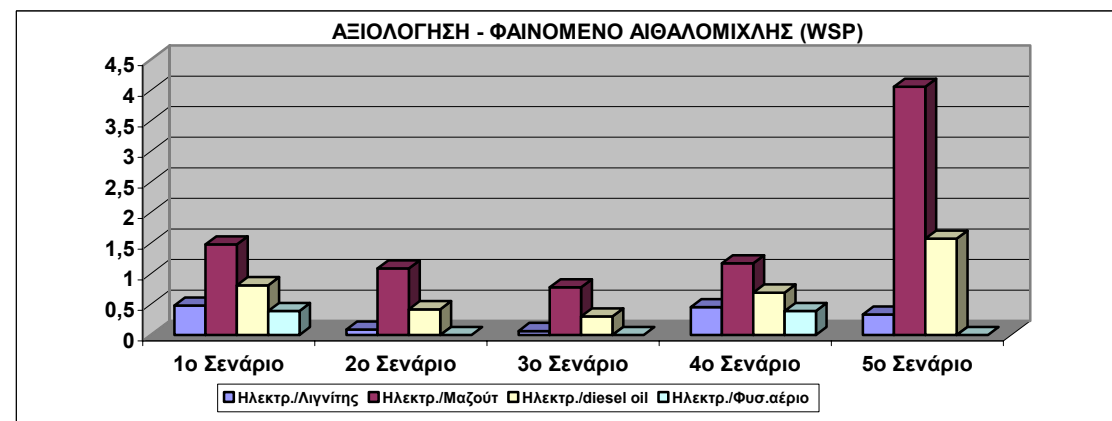
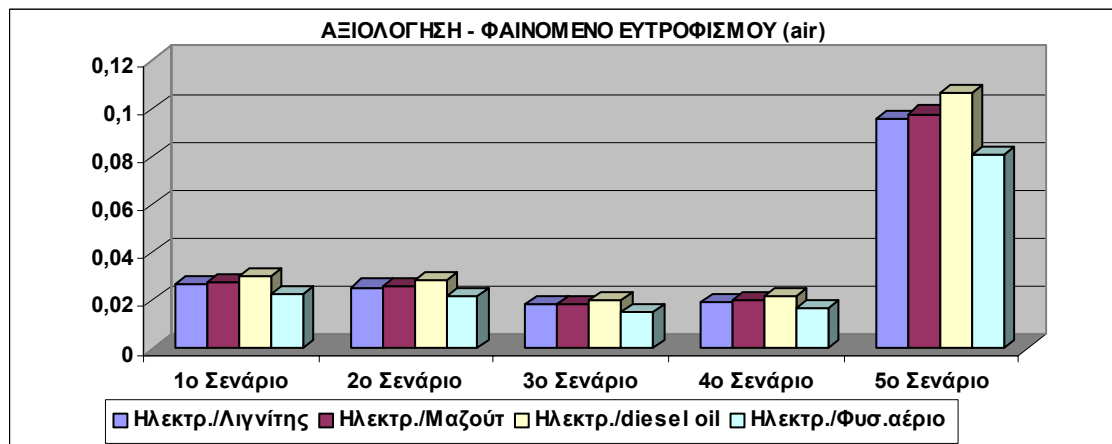
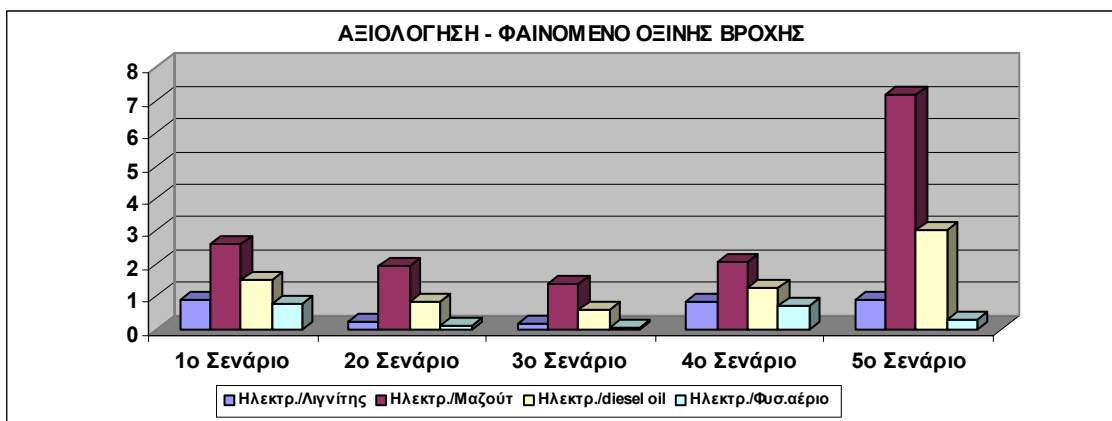
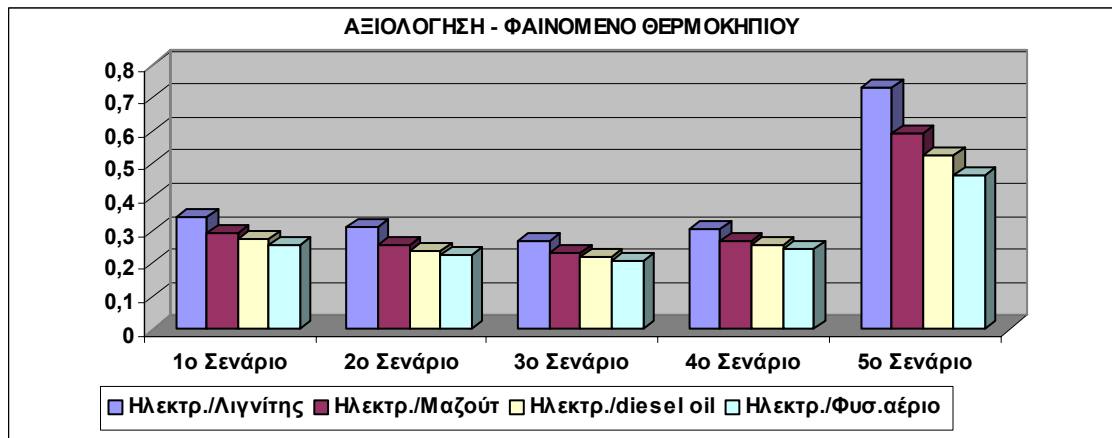
Λόγω έλλειψης τέτοιων συντελεστών κατάλληλων για την Ελλάδα, η ταξινόμηση των δεδομένων του καταλόγου απογραφής σε κατηγορίες επιπτώσεων έγινε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο EcoIndicator 95.

Τα σχήματα 7 (α, β, γ, δ) παρουσιάζουν τις τιμές της αξιολόγησης για τέσσερις κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανά σενάριο και σε σχέση με τον τρόπο παραγωγής του ηλεκτρισμού. Οι παρατηρήσεις που μπορούν να γίνουν από την αξιολόγηση είναι οι εξής:

- Οι κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το κάθε σενάριο είναι:

<b>Σενάρια</b>	<b>Κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις</b>
1 <sup>ο</sup> και 5 <sup>ο</sup>	οξίνιση, αιθαλομίχλη (χρήση ηλεκτρισμού που προέρχεται από κηροζίνη, πετρέλαιο diesel, λιγνίτη) και βαρέα μέταλλα (χρήση ηλεκτρισμού που προέρχεται λιγνίτη)
2 <sup>ο</sup> , 3 <sup>ο</sup> και 4 <sup>ο</sup>	οξίνιση, αιθαλομίχλη (χρήση ηλεκτρισμού που προέρχεται από κηροζίνη, πετρέλαιο diesel, λιγνίτη), φαινόμενο θερμοκηπίου και βαρέα μέταλλα (χρήση ηλεκτρισμού που προέρχεται λιγνίτη)
- Γενικά, όσον αφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η πιο σοβαρή είναι οι εκπομπές βαρέων μετάλλων που προκύπτουν στο 5<sup>ο</sup> σενάριο και για χρήση ηλεκτρισμού που προέρχεται από λιγνίτη. Ακολουθούν τα φαινόμενα της οξίνισης και της αιθαλομίχλης (5<sup>ο</sup> σενάριο, παραγωγή από κηροζίνη, πετρέλαιο diesel, λιγνίτη).

### ΣΧΗΜΑΤΑ 7 (α, β, γ, δ): Αξιολόγηση κύκλου ζωής



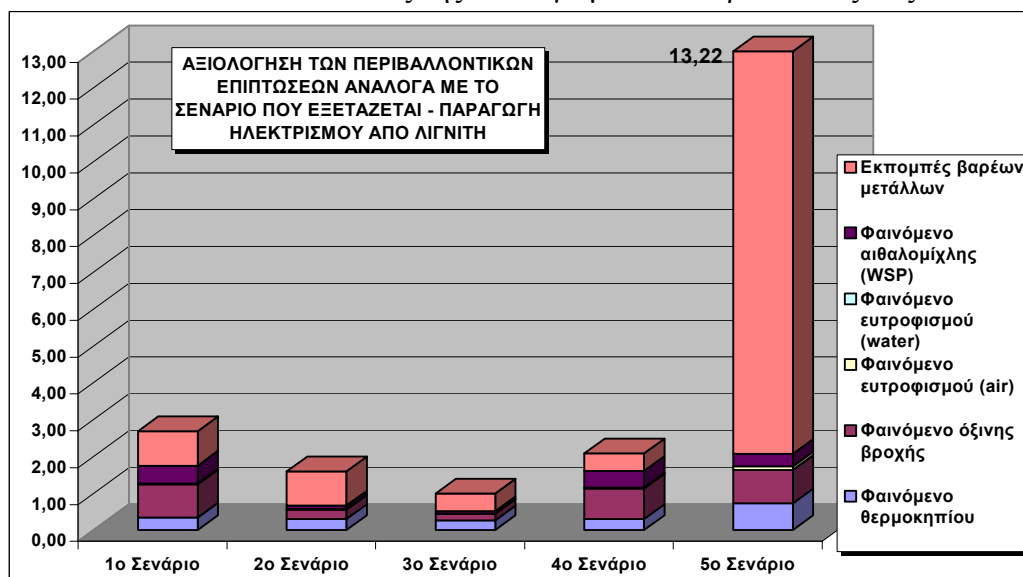


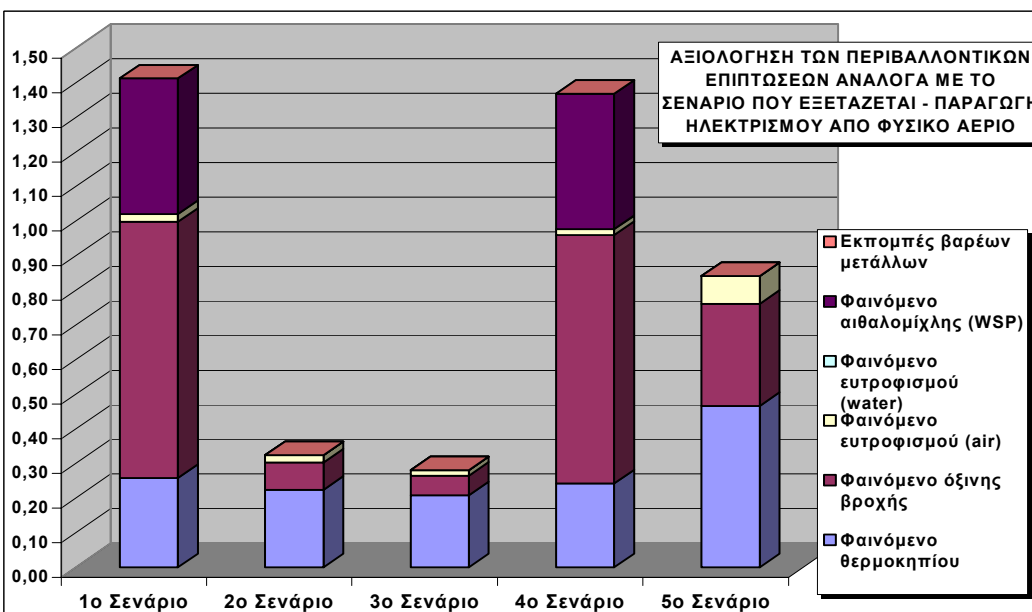
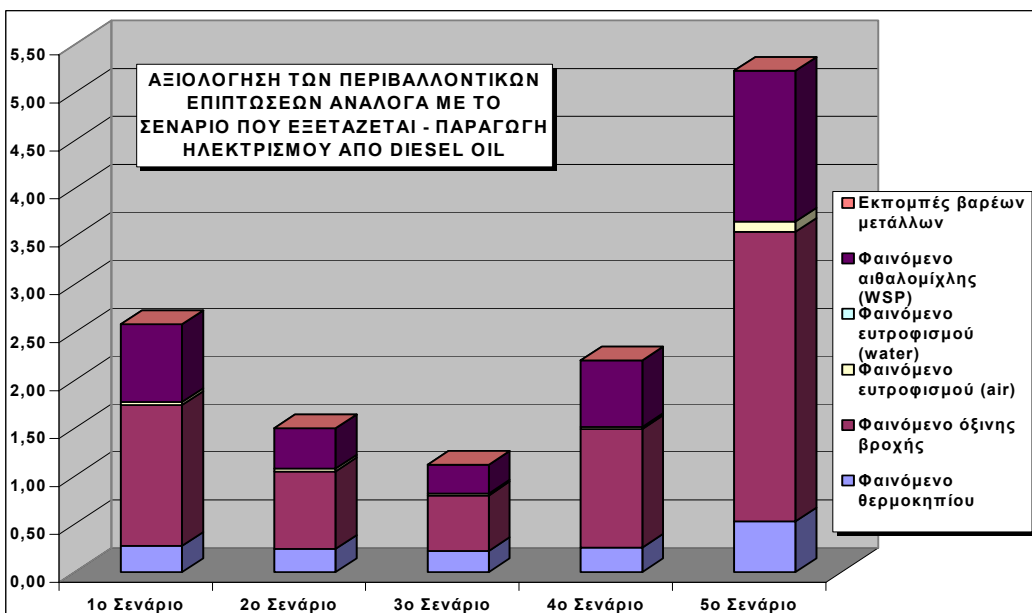
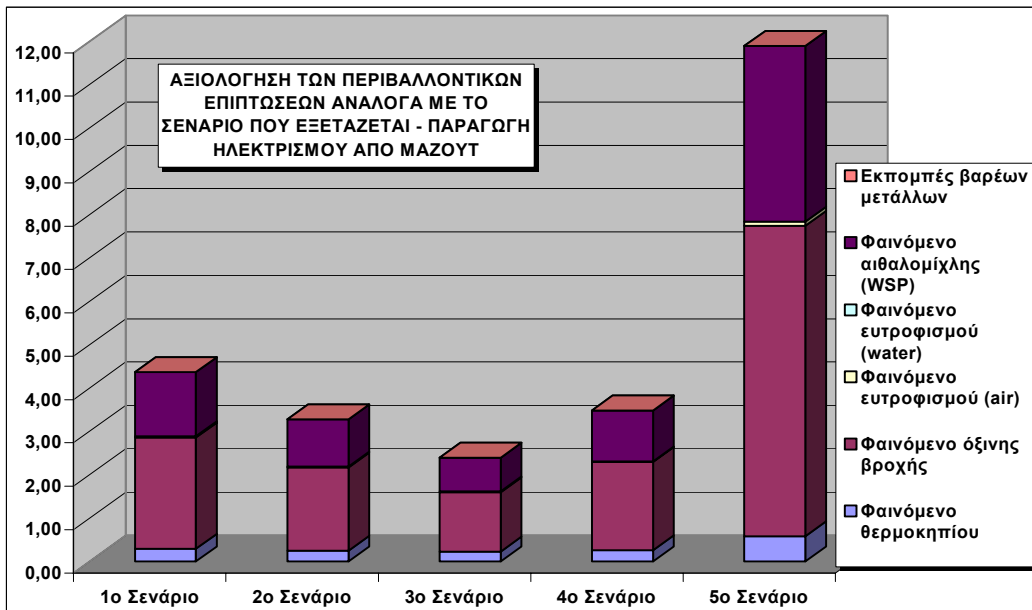
Τα σχήματα-δείκτες 8 (α, β, γ, δ) παρουσιάζουν το μέγεθος και τη σημασία της κάθε περιβαλλοντικής επιπτώσεως σε σχέση με τον τρόπο παραγωγής του ηλεκτρισμού. Η άθροιση των τιμών των επιπτώσεων που υπολογίστηκαν στα στάδια κανονικοποίησης και αξιολόγησης της ΑΚΖ, αποτελούν τα δεδομένα των διαγραμμάτων αυτών.

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κύριο συμπέρασμα που προκύπτει από την ανάλυση που διεξήχθη είναι ότι το βέλτιστο σενάριο τόσο από άποψη οικονομικού κόστους όσο και από περιβαλλοντική άποψη είναι το 3<sup>ο</sup>, όπου χρησιμοποιείται φυσικό αέριο σε όλες σχεδόν τις λειτουργίες/διεργασίες του μοντέλου της πολυκατοικίας και για την παραγωγή του ηλεκτρισμού που καταναλώνεται. Λόγω των φυσικών του ιδιοτήτων, το φυσικό αέριο είναι το πιο καθαρό φυσικό καύσιμο και μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και των υδάτων, ειδικά όταν χρησιμοποιείται στη θέση άλλων, πιο ρυπογόνων πηγών ενέργειας. Η καύση του φυσικού αερίου έχει ως αποτέλεσμα ουσιαστικά αμελητέες ποσότητες ατμοσφαιρικών εκπομπών SO<sub>2</sub> και στερεών σωματιδίων και πολύ μικρές ποσότητες εκπομπών CO, αντιδρώντων υδρογονανθράκων, NO<sub>x</sub> και CO<sub>2</sub> σε σχέση με τις εκπομπές από την καύση άλλων φυσικών καυσίμων. Το φυσικό αέριο μπορεί να έχει άμεση συμβολή στον περιορισμό προβλημάτων περιβαλλοντικής ρύπανσης. Για παράδειγμα, είναι δυνατό να καίγεται φυσικό αέριο εναλλακτικά ή παράλληλα με άλλα φυσικά καύσιμα που είναι λιγότερο φιλικά για το περιβάλλον. Η 'επιλεκτική αυτή χρήση' του φυσικού αερίου μαζί με άλλα καύσιμα μπορεί να μειώσει σημαντικά τη ρύπανση του αέρα που προέρχεται από διάφορα εργοστάσια και από εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρισμού. Η επιλογή αυτή απαιτεί ελάχιστο χρόνο για εγκατάσταση και σχετικά χαμηλή επένδυση κεφαλαίου και επιτρέπει ευελιξία όσον αφορά στην εναρμόνιση με περιβαλλοντικά πρότυπα και νομοθεσίες. Εκτός από την αποκλειστική χρήση του φυσικού αερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες τεχνολογίες που συνδυάζουν τη χρήση φυσικού αερίου με άνθρακα και άλλα φυσικά καύσιμα για να μειωθεί η ρύπανση. Η συμπαραγωγή και η παραγωγή με καύση αερίου συνδυασμένου κύκλου, περιλαμβάνουν και οι δύο καύση φυσικού αερίου μαζί με άλλο καύσιμο, κάτι το οποίο συνεπάγεται τη χρήση λιγότερου καύσιμου από άλλες μεθόδους, και μείωση της απορριπτόμενης θερμότητας, αφού εκμεταλλεύεται την ενέργεια της θερμότητας σε διάφορα σημεία πριν αυτή απορριφθεί.

**ΣΧΗΜΑΤΑ 8 (α, β, γ, δ):** Διαγράμματα – δείκτες μεγέθους και σοβαρότητας συνολικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής ανάλογα με το σενάριο που εξετάζεται





## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Theodosiou G., Koroneos C. and Moussiopoulos N. (2002) **“Alternative scenarios analysis concerning different types of fuels used for the coverage of the energy requirements of a typical apartment building in Thessaloniki, Greece. Part I: Fuel consumption and emissions”**, Aristotle University of Thessaloniki, Department of Mechanical Engineering, Laboratory of Heat Transfer and Environmental Engineering, 54124 Thessaloniki, Greece.
- [2] Papacostas K. (1999) **“Planning Thermal and Refrigerate Loads estimation for residences in Athens and Thessaloniki”**, Scientific edition, Ktirio magazine. Thessaloniki.
- [3] Adrianopoulos N., Dimou D. and Koroneos C. (2000) **“Life Cycle Assessment and exergy analysis of solar energy generation in a natural gas fired combined cycle unit (PEC, Layrio power station)”**, Aristotle University of Thessaloniki, Mechanical Engineering Department, Energy Division, Laboratory of Heat Transfer and Environmental Mechanics.
- [4] Michaloglou K., Charitakis I. and Koroneos C. (2000) **“Research of alternative systems of a 95 MW power generation unit at the power station of Linoperamaton, Crete”**, Aristotle University of Thessaloniki, Mechanical Engineering Department, Energy Division, Laboratory of Heat Transfer and Environmental Mechanics.
- [5] Paspalas K. (1999) **“Natural gas installations technology, Mechanical – Electrical Engineers”**. Union of N. Greece edition, Thessaloniki, Greece.
- [6] DOE/EIA-0545 (October 1999) **“Petroleum-An Energy Profile”**, Energy Information Administration, Washington, DC.
- [7] U.S. EPA (1999) **“Profile of the Oil and Gas Extraction Industry”**, Office of Compliance Sector Notebook Project.
- [8] U.S. EPA (September 1995) **“Profile of the Petroleum Refining Industry”**, Office of Compliance Sector Notebook Project.
- [9] U.S. EPA (April 1993) **“Emission Factor Documentation For AP-42. Section 1.3- Fuel Oil Combustion”**, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC.
- [10] U.S. EPA (April 1993) **“Emission Factor Documentation For AP-42. Section 5.1- Petroleum Refining”**, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC.
- [11] U.S. EPA (April 1993) **“Emission Factor Documentation For AP-42. Section 5.2- Transportation and Marketing of Petroleum Liquids”**, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC.
- [12] Laboratory of Industrial & Energy Economics National Technical University of Athens (1997) **“External Costs of Electricity Generation in Greece”**, Research funded by the European Commission in the framework of the Non Nuclear Energy Program JOULE III, Chapter 4 & 5.
- [13] Based on data published by the Public Power Corporation, [www.dei.gr](http://www.dei.gr)
- [14] ISO (1997c) **“Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment”**, ISO/CD 14 042.